天津市2026年职业教育国家教学成果奖
支撑材料

成　果　名　称　双链耦合．六维融通．实景共育：装备制造类专业群产教融合育人体系构建

成果完成人姓名　郑伟、王超群、高雅雯、林丽、刘建红、赵亚楠、吴宗保、张君、王超凡、费晓瑜、司炜、郑士成、韩东搏

成果完成单位名称　天津职业大学、天津航天长征火箭制造有限公司、天津长荣科技集团股份有限公司、深圳市越疆科技股份有限公司、北京白海豚科技有限公司

教　育　类　别　☑学历教育　☐培训

成　果　来　源　☐中职学校　☐高职专科学校　☑职业本科学校　☐普通本科学校　☐研究机构　☐行业企业　☐其他_____

专　业　类　别　26-装备制造大类

成　果　类　别　☐立德树人　☐专业和课程建设　☐教学方法　☐育人模式　☑校企合作　☐质量评价　☐育训并举　☐综合改革　☐教育数字化　☐教师培养培训　☐国际交流与合作

成　果　网　址　https://jwc.tjtc.edu.cn/jxgl/jxcgj/sbcl3.htm

推　荐　序　号　04

推荐单位（盖章）　天津职业大学

推荐行指委教指委名称_____

推　荐　时　间　2026　年　6　月　12　日

目 录

1.教师获奖一览表和支撑材料 1

（1）全国优秀教师 4

（2） 国务院政府特殊津贴 4

（3）机械行业职业教育卓越贡献人物 5

（4） 机械行业职业教育产教融合匠师 5

（5） 国家技能人才培育突出贡献个人 6

（6）全国行业职业技能竞赛-第一届“航天科工杯”优秀技术专家 10

（7）国务院特殊津贴专家 10

（8）天津市技能大师工作室 11

（9）国务院特殊津贴专家 13

（10）天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“复杂部件数控多轴联动加工技术”比赛中获二等奖 14

（11）天津市职业院校教师技能竞赛数控多轴加工技术赛项三等奖 15

（13） “海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统操作员赛项第一名 17

（14）“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名 18

（15） “海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名 19

（16）第三届“海河工匠杯”技能大赛CAD机械设计项目（制造业根基项目）第二名 20

（18）2023年全国职业院校技能大赛高职组数字化设计与制造赛项（教师赛）个人二等奖.....22
（19）第三届全国仪器仪表行业职业技能竞赛全国总决赛智能硬件装调员(仪器仪表装调技术方向)赛项职工组一等奖.....23
（20）第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖.....24
（21）第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖.....25
（22）全国仪器仪表制造职业技能竞赛工业机器人系统操作员(仪器仪表装调)赛项职工组二等奖.....26
（23）第二届人工智能应用技术技能大赛-计算机及外部设备装配调试员中获得职工组三等奖.....27
（24） 2023年天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“数字化设计与制造”一等奖.....28
（25）第三届全国人工智能应用技术技能大赛二等奖.....28
（26）第四届全国仪器仪表行业职业技能竞赛仪器仪表制造工(远程测控技术)赛项职工组三等奖.....29
（27）“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津市选拔赛CAD机械设计赛项（制造业根基项目）第三名.....30
（28） “海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名.....31
（29） “海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名.....35

（30）天津市“海河工匠杯”技能大赛数字孪生技术应用根基赛项第五名39
（31）2024 年“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津选拔赛根基项目工业机器人系统操作与运维第七名 40
（32）北京市科学技术奖二等奖 41
2.宣传报道 42
（1）海豚工坊正式落地我院，共育智能机器人领域新力量 42
（2）天津职业大学机电工程与自动化学院与中海油能源发展装备技术有限公司加工制造中心油套管产品加工作业部举办党建共建暨校企合作系列活动 .43
（3）我校学子在智能制造大赛中斩获北部赛区金牌 44
（4）共同体发挥辐射作用，把多家500强、央企吸引到这场校招会来了！ .45
（5）机电学院师生在2022年“挑战杯”天津市大学生创业计划竞赛中喜获佳绩 46
（6）我院学生在2022年金砖国家职业技能大赛天津选拔赛中取得优异成绩47
（7）机电学院教师在2022年度全国工业机器人系统操作员赛项比赛中获得二等奖 48
（8）我校在第三届产教融合创新创业大赛荣获佳绩 49
（9）我院教师刘利博士获得全国服务型制造应用技术大赛二等奖 50
（10）中国制冷学会科普教育基地授牌仪式在我校机电学院隆重举行 51
（11）我院教师在全国职业院校技能大赛“工业网络智能控制与维护”赛项获奖 52
（12）我院教师获首届全国职业院校技能大赛教师赛三等奖 53
（13）我院师生在2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛获奖 54

（14）机电学院教师在全国行业职业技能竞赛中荣获一等奖 55
（15）绿色暖通数智化AI应用—我校举办“万场报告话前沿天津职业大学专场科普讲座” 56
（16）我校机电学院学生在世界职业院校技能大赛争夺赛中斩获佳绩 57
（17）我院师生在2024年全国行业职业技能竞赛——第三届全国人工智能应用技术技能大赛中取得优异成绩 58
（18）机电学院暑期培训 服务人才培养与安全生产 59
（19）我校学子斩获第十三届中国工业智能挑战赛总决赛金牌 60
（20）我校机械制造及自动化教师团队入围第四批“全国高校黄大年式教师团队” 61
（21）机电学院携手海油能源共建“师德加油站”双导师共育新师 62
（22）我校学子荣获国家级一类职业技能竞赛一等奖 63
3. 论文 64

1.教师获奖一览表和支撑材料

教师获得省部级以上奖励及荣誉一览表

序号	年份	荣誉或奖励名称	教师姓名/团队名称
1	2014	全国优秀教师	李建国
2	2016	国务院政府特殊津贴	李建国
3	2024	机械行业职业教育卓越贡献人物	李建国
4	2024	机械行业职业教育产教融合匠师	李建国
5	2021	国家技能人才培育突出贡献个人	刘洋
6	2023	全国行业职业技能竞赛-第一届“航天科工杯”优秀技术专家	刘洋
7	2024	国务院特殊津贴专家	刘洋
8	2021	天津市技能大师工作室	刘洋
9	2009	国务院特殊津贴专家（2023年引聘）	韩醒田
10	2022	天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“复杂部件数控多轴联动加工技术”比赛中获二等奖	谢学浩
11	2022	天津市职业院校教师技能竞赛数控多轴加工技术赛项三等奖	刘炜
12	2024	2024年全国行业职业技能竞赛——第二届全国装备制造行业新技术应用技能竞赛多工序数控机床操作调整工（智能装备数字技术应用）赛项决赛技术工作中表现突出，被评为优秀技术专家	刘炜
13	2020	“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统操作员赛项第一名	邓茜
14	2020	“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名	杨平
15	2020	“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名	邓茜
16	2022	第三届“海河工匠杯”技能大赛CAD机械设计项目（制造业根基项目）第二名	赵亚楠

17	2022	全国行业职业技能竞赛——全国服务型制造应用技术技能大赛计算机程序设计员(个性定制与设计服务) 赛项职工组二等奖	刘利
18	2023	2023年全国职业院校技能大赛高职组数字化设计与制造赛项（教师赛）个人二等奖	赵亚楠
19	2023	第三届全国仪器仪表行业职业技能竞赛全国总决赛智能硬件装调员(仪器仪表装调技术方向)赛项职工组一等奖	杨平
20	2023	第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖	杨平
21	2023	第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖	郭湘君
22	2023	全国仪器仪表制造职业技能竞赛工业机器人系统操作员(仪器仪表装调)赛项职工组二等奖	郑伟
23	2023	第二届人工智能应用技术技能大赛-计算机及外部设备装配调试员中获得职工组三等奖	杨平
24	2023	2023年天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“数字化设计与制造”一等奖	赵亚楠
25	2024	第三届全国人工智能应用技术技能大赛二等奖	郭湘君
26	2024	第四届全国仪器仪表行业职业技能竞赛仪器仪表制造工(远程测控技术)赛项职工组三等奖	邓茜
27	2024	“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津市选拔赛CAD机械设计赛项（制造业根基项目）第三名	赵亚楠
28	2024	“海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名	郭湘君

39	2024	“海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名	刘利
30	2024	天津市“海河工匠杯”技能大赛数字孪生技术应用根基赛项第五名	李卉
31	2024	2024年“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津选拔赛根基项目工业机器人系统操作与运维第七名	宋艳艳
32	2024	北京市科学技术奖二等奖	林丽

支撑材料

（1）全国优秀教师



荣誉证书

授予 李建国 同志全国优秀教师

荣誉称号。

中华人民共和国教育部

二〇一四年九月

（2） 国务院政府特殊津贴



证 书

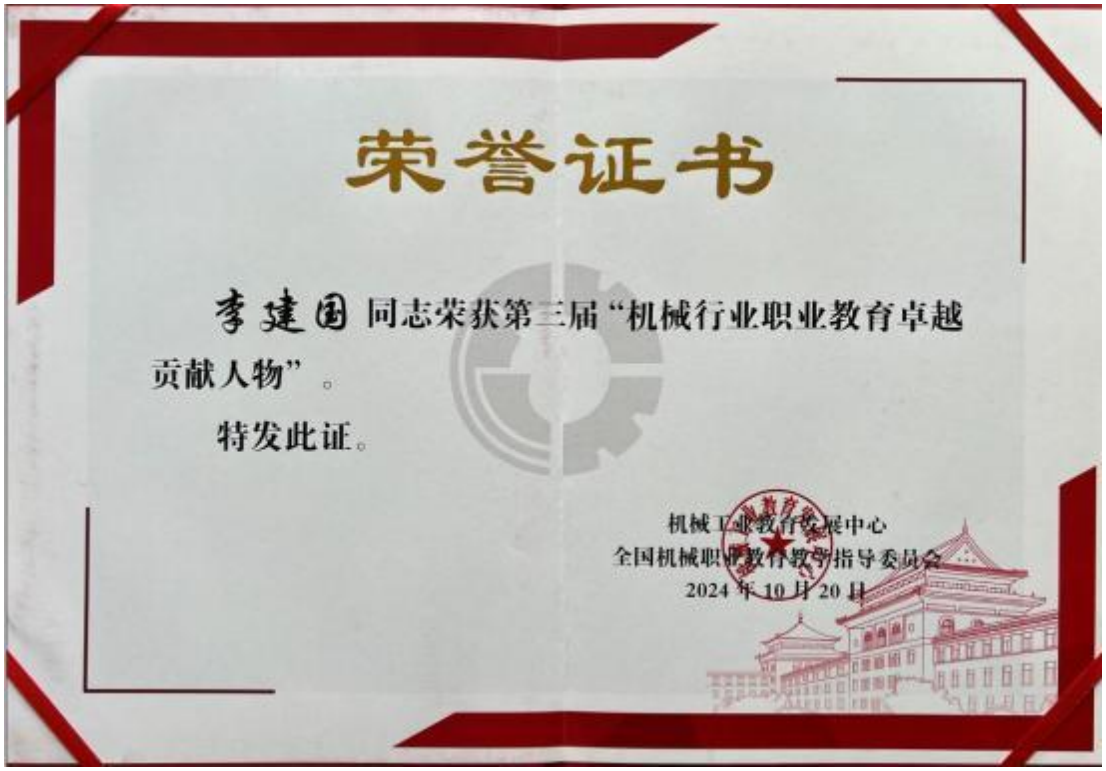
李建国同志：

为了表彰您为发展我国制造事业做出的突出贡献，特决定发给政府特殊津贴并颁发证书

政府特殊津贴字2016002081号

2016 年 12 月 30 日

（3）机械行业职业教育卓越贡献人物


荣誉证书

李建国同志荣获第三届“机械行业职业教育卓越贡献人物”。

特发此证。

机械工业教育发展中心
全国机械职业教育教学指导委员会
2024年10月20日

（4） 机械行业职业教育产教融合匠师


荣誉证书

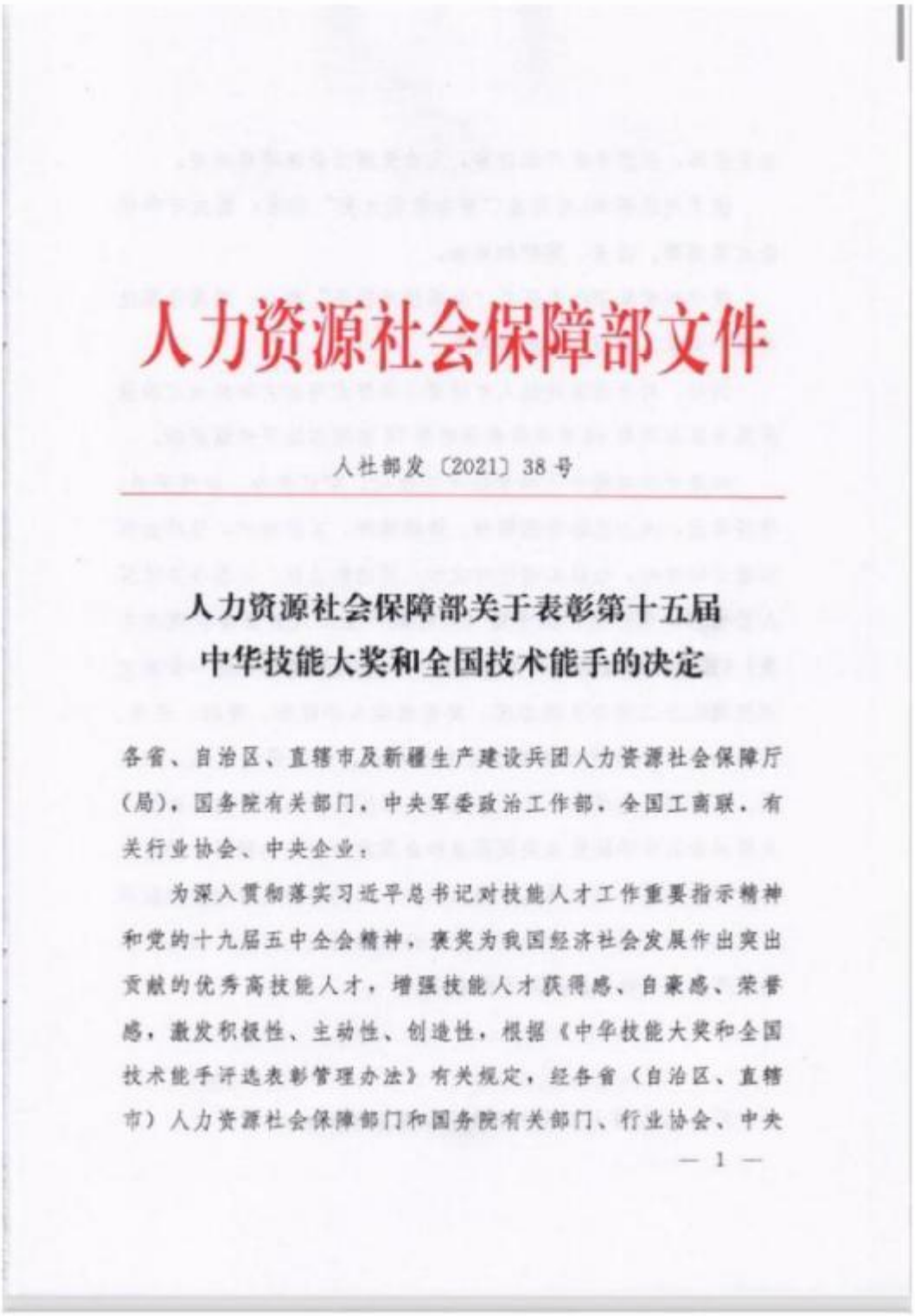
CERTIFICATE OF HONOR

编号：JXJS-010

兹授予 李建国 同志机械行业职业教育“产教融合匠师”荣誉称号，并聘请为“机械行业名师名匠教导团”专家，聘期三年。

机械工业教育发展中心
二〇二四年七月

（5） 国家技能人才培育突出贡献个人



人力资源社会保障部文件

人社部发〔2021〕38号

人力资源社会保障部关于表彰第十五届
中华技能大奖和全国技术能手的决定

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团人力资源社会保障厅（局），国务院有关部门，中央军委政治工作部，全国工商联，有关行业协会、中央企业：

为深入贯彻落实习近平总书记对技能人才工作重要指示精神和党的十九届五中全会精神，褒奖为我国经济社会发展作出突出贡献的优秀高技能人才，增强技能人才获得感、自豪感、荣誉感，激发积极性、主动性、创造性，根据《中华技能大奖和全国技术能手评选表彰管理办法》有关规定，经各省（自治区、直辖市）人力资源社会保障部门和国务院有关部门、行业协会、中央

— 1 —

企业推荐，并经专家严格评审，人力资源社会保障部决定：

授予刘丽等30名同志“中华技能大奖”称号，颁发中华技能大奖奖章、证书、奖杯和奖金。

授予赵斌等293名同志“全国技术能手”称号，颁发全国技术能手奖章、证书、奖牌和奖金。

同时，对为国家技能人才培育工作作出突出贡献的北京控股集团有限公司等64家单位和杨郁等78名同志给予通报表扬。

希望受表彰的个人和单位不忘初心、牢记使命，珍惜荣誉、再接再厉，大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神，继续发挥示范引领作用，创造无愧于时代和人民的新业绩。希望各单位深入贯彻落实党中央、国务院《新时期产业工人队伍建设改革方案》《关于提高技术工人待遇的意见》等文件精神，进一步加大对技能人才工作的支持力度，健全技能人才培养、使用、评价、激励制度，不断优化技能人才发展环境，为加强创新型、应用型、技能型人才培养，壮大高技能人才队伍作出新贡献。希望广大劳动者以中华技能大奖获得者和全国技术能手为榜样，爱岗敬业、刻苦钻研、追求卓越、建功立业，以优异的成绩迎接中国共产党成立一百周年，为全面建设社会主义现代化国家、实现中华民族伟大复兴的中国梦而不懈奋斗！

附件：1. 第十五届中华技能大奖获得者名单

2. 第十五届全国技术能手名单

3. 国家技能人才培育突出贡献单位名单

4. 国家技能人才培育突出贡献个人名单



2021年6月4日

（此件主动公开）

（联系单位：职业能力建设司）

附件 4

国家技能人才培育突出贡献个人名单

（共 78 名）

姓名	性别	工作单位
杨　郁	女	北京市工贸技师学院
刘　洋	男	天津市职业大学
陈　樱	女	唐山三友集团有限公司
张红兵	男	太原重工股份有限公司齿轮传动分公司
郑东果	男	赤峰工业职业技术学院
侯崇文	男	中国航空发动机集团有限公司
姚长明	男	吉林化纤集团有限责任公司
孙秀英	女	哈尔滨技师学院（哈尔滨劳动技师学院）
陈　刚	男	索迪斯（中国）企业管理服务有限公司
宋军民	男	江苏省常州技师学院
许红平	男	杭州萧山技师学院
靳柯娟	女	安徽阜阳技师学院
张榕宾	男	福州第一技师学院
缪国斌	男	江西铜业股份有限公司德兴铜矿
苏美亭	男	山东工业技师学院
涂　勇	男	河南职业技术学院

（6）全国行业职业技能竞赛-第一届“航天科工杯”优秀技术专家



获奖证书

刘洋同志：

在2023年全国行业职业技能竞赛——中国航天科工集团有限公司第一届“航天科工杯”职业技能竞赛决赛技术工作中表现突出，特发**优秀技术专家**证书，以资鼓励。

2023年全国行业职业技能竞赛
——中国航天科工集团有限公司
第一届“航天科工杯”职业技能竞赛组委会
二〇二三年十一月

（7）国务院特殊津贴专家



证　书

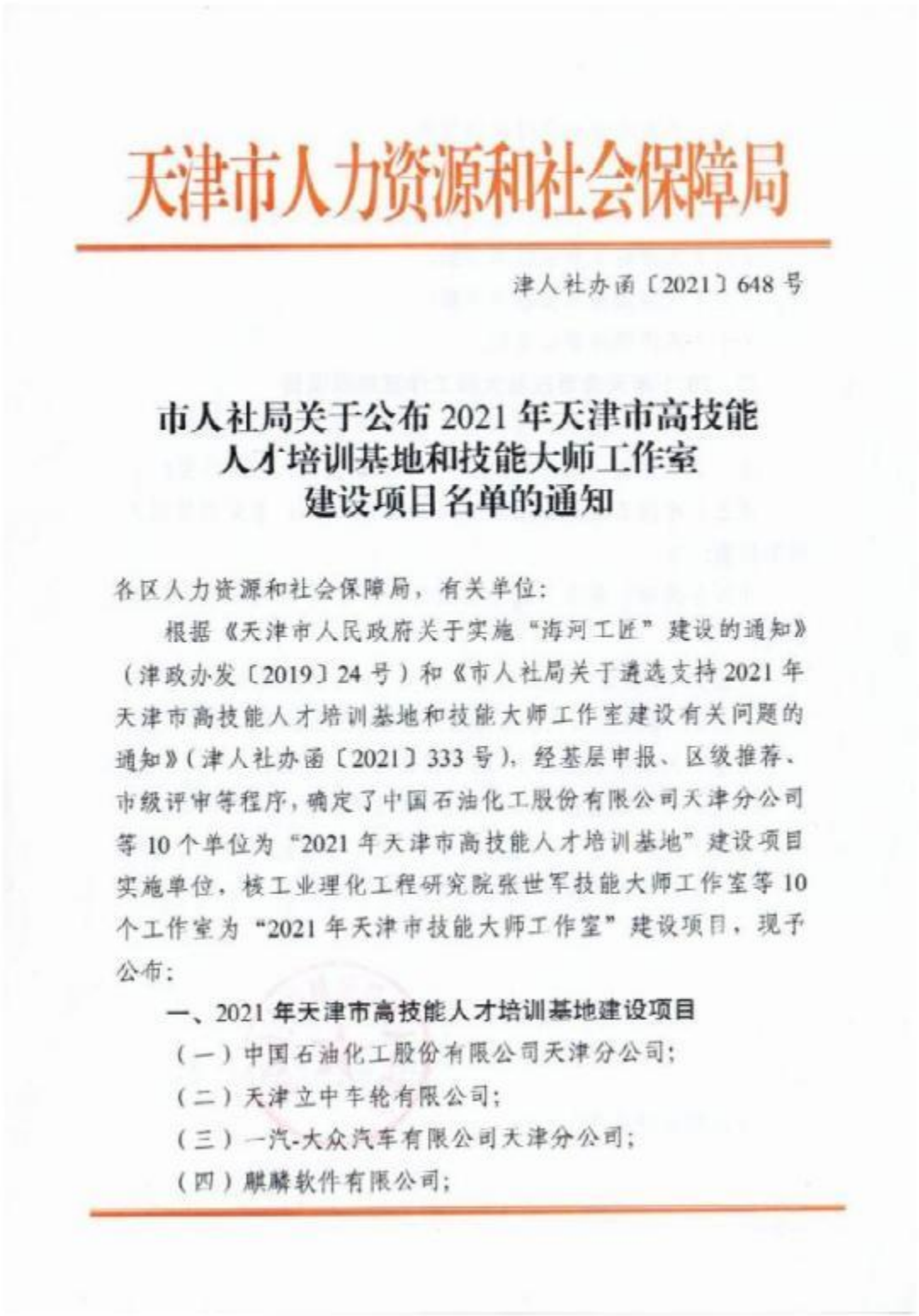
刘 洋 同志：

为了表彰您在 教育教学 领域作出的突出贡献，特决定发给政府特殊津贴并颁发证书。

政府特殊津贴（高技能人才）第20240020021号

二〇二四年十一月二十三日

（8）天津市技能大师工作室



天津市人力资源和社会保障局

津人社办函〔2021〕648号

市人社局关于公布2021年天津市高技能人才培训基地和技能大师工作室建设项目名单的通知

各区人力资源和社会保障局，有关单位：

根据《天津市人民政府关于实施“海河工匠”建设的通知》（津政办发〔2019〕24号）和《市人社局关于遴选支持2021年天津市高技能人才培训基地和技能大师工作室建设有关问题的通知》（津人社办函〔2021〕333号），经基层申报、区级推荐、市级评审等程序，确定了中国石油化工股份有限公司天津分公司等10个单位为“2021年天津市高技能人才培训基地”建设项目实施单位，核工业理化工程研究院张世军技能大师工作室等10个工作室为“2021年天津市技能大师工作室”建设项目，现予公布：

一、2021年天津市高技能人才培训基地建设项目

（一）中国石油化工股份有限公司天津分公司；

（二）天津立中车轮有限公司；

（三）一汽-大众汽车有限公司天津分公司；

（四）麒麟软件有限公司；

（五）天津市劳动保障技师学院；

（六）天津市机电工艺技师学院；

（七）天津职业技术师范大学附属高级技术学校；

（八）天津轻工职业技术学院；

（九）天津渤海职业技术学院；

（十）天津滨海职业学院。

二、2021年天津市技能大师工作室建设项目

（一）核工业理化工程研究院 张世军技能大师工作室；

（二）中建钢构天津有限公司 李朋朋技能大师工作室；

（三）中国石油集团渤海钻探工程有限公司 李爱忠技能大师工作室；

（四）天津市草木人文化交流有限公司 郝连奇技能大师工作室；

（五）天津赛象科技股份有限公司 才国伟技能大师工作室；

（六）天津市泥人张世家绘塑老作坊 张宇技能大师工作室；

（七）天津市职业大学 刘洋技能大师工作室；

（八）天津职业技术师范大学 谭积明技能大师工作室；

（九）天津市电子信息技师学院 张冬柏技能大师工作室；

（十）天津机电职业技术学院 刘勇技能大师工作室。

2021年12月13日

（此件主动公开）

（9）国务院特殊津贴专家



证　书

韩醒田 同志：

为了表彰您为发展我国制造业事业做出的突出贡献，特决定发给政府特殊津贴并颁发证书

中华人民共和国国务院

国务院

2009年2月2日

政府特殊津贴第 9130868 号

（10）天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“复杂部件数控多轴联动加工技术”比赛中获二等奖



获奖证书

天津市代表队

在2021年全国职业院校技能大赛高职组复杂部件数控多轴联动加工技术比赛中荣获团体二等奖。

学校名称：天津职业大学

选手姓名：张晗、杨玉柱

指导教师：谢学浩、黄连宝

全国职业院校技能大赛组织委员会

二〇二一年五月

编号：20213641

（11）天津市职业院校教师技能竞赛数控多轴加工技术赛项三等奖



荣誉证书

刘炜 同志：

在2022年度天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“复杂部件数控多轴联动加工技术”比赛中获三等奖。

天津市教育委员会

二〇二二年四月

（12）2024 年全国行业职业技能竞赛——第二届全国装备制造行业新技术应用技能竞赛多工序数控机床操作调整工（智能装备数字技术应用）赛项决赛技术工作中表现突出，被评为优秀技术专家


荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

刘炜 同志在2024年全国行业职业技能竞赛——第二届全国装备制造行业新技术应用技能竞赛多工序数控机床操作调整工(智能装备数字技术应用)赛项决赛技术工作中表现突出，被评为优秀技术专家。

（13） “海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统操作员赛项第一名



荣誉证书

邓茜同志：

荣获2020年“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统操作员赛项“职工组”一等奖（第一名）。

特发此证，以资鼓励。

天津市机器人学会　　天津市机器人产业协会

2020年10月25日

（14）“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名



荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

杨平、邓茜 同志：

荣获2020年“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项“教师组”二等奖（第六名）。

特发此证，以资鼓励。

天津市机器人学会　　天津市机器人产业协会

2020年11月15日

（15） “海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项第六名



荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

杨平、邓茜 同志：

荣获2020年“海河工匠杯”技能大赛天津市首届机器人行业职业技能大赛工业机器人系统运维员赛项“教师组”二等奖（第六名）。

特发此证，以资鼓励。

天津市机器人学会　　天津市机器人产业协会

2020年11月15日

（16）第三届“海河工匠杯”技能大赛CAD机械设计项目（制造业根基项目）第二名



（17）全国行业职业技能竞赛——全国服务型制造应用技术技能大赛计算机程序设计员(个性定制与设计服务) 赛项职工组二等奖


荣誉证书

2022 年全国行业职业技能竞赛 —全国服务型制造应用技术技能大赛计算机程序设计员（个性定制与设计服务）赛项职工组：

二等奖

参赛选手：刘利
教　　练：张永飞
参赛单位：天津市职业大学

2022 年全国行业职业技能竞赛
——全国服务型制造应用技术技能大赛组委会办公室
（人力资源和社会保障部职业能力建设司代章）
二〇二三年四月

（18）2023 年全国职业院校技能大赛高职组数字化设计与制造赛项（教师赛）个人二等奖



（19）第三届全国仪器仪表行业职业技能竞赛全国总决赛智能硬件装调员(仪器仪表装调技术方向)赛项职工组一等奖



荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

杨平：

在2023年全国行业职业技能竞赛——第三届全国仪器仪表行业职业技能竞赛全国总决赛智能硬件装调员(仪器仪表装调技术方向)赛项中荣获职工组一等奖。

竞赛批复单位：人力资源和社会保障部
竞赛主办单位：中国仪器仪表学会
中国就业培训技术指导中心

2023年全国行业职业技能竞赛——
第三届全国仪器仪表行业职业技能竞赛组委会
2023年12月26日

（20）第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖


获奖证书

在2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工（智能制造传感技术方向）赛项职工组决赛中荣获：

二等奖

参赛选手：杨　平　郭湘君
教　　练：霍淑珍
参赛单位：天津市职业大学

2023年全国行业职业技能竞赛
——第五届全国智能制造应用技术技能大赛组委会办公室
（人力资源和社会保障部职业能力建设司代章）
二〇二三年十二月

（21）第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工(智能制造传感技术方向)赛项职工组二等奖


获奖证书

在2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛仪器仪表制造工（智能制造传感技术方向）赛项职工组决赛中荣获：

二等奖

参赛选手：杨　平　郭湘君
教　　练：霍淑珍
参赛单位：天津市职业大学

2023年全国行业职业技能竞赛
——第五届全国智能制造应用技术技能大赛组委会办公室
（人力资源和社会保障部职业能力建设司代章）
二〇二三年十二月

（22）全国仪器仪表制造职业技能竞赛工业机器人系统操作员(仪器仪表装调)赛项职工组二等奖



（23）第二届人工智能应用技术技能大赛-计算机及外部设备装配调试员中获得职工组三等奖



（24） 2023年天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“数字化设计与制造”一等奖


荣誉证书

赵亚楠 同志：

在2023年度天津市职业院校技能大赛高职组教师赛“数字化设计与制造”比赛中获一等奖。

天津市教育委员会

二〇二四年一月

（25）第三届全国人工智能应用技术技能大赛二等奖


获奖证书

在2024年全国行业职业技能竞赛——第三届全国人工智能应用技术技能大赛智能硬件装调员（智能传感器与边缘计算方向）赛项职工组决赛中荣获：

二等奖

参赛选手：郭湘君 刘利

教　　练：何四平

参赛单位：天津市职业大学

（26）第四届全国仪器仪表行业职业技能竞赛仪器仪表制造工(远程测控技术)赛项职工组三等奖



荣誉证书

HONORARY CREDENTIAL

邓 蕾：

在2024年全国行业职业技能竞赛——第四届全国仪器仪表行业职业技能竞赛仪器仪表制造工（远程测控技术）赛项大赛中，荣获职工组三等奖。

竞赛批复单位：人力资源和社会保障部
竞赛主办单位：中国仪器仪表学会
中国就业培训技术指导中心

2024年全国行业职业技能竞赛——
第四届全国仪器仪表行业职业技能竞赛组委会
（中国仪器仪表学会代章）
二零二四年八月

（27）“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津市选拔赛CAD机械设计赛项（制造业根基项目）第三名



（28） “海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名

天津市人力资源和社会保障局

津人社办函〔2025〕10号

市人社局关于公布2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手名次的通知

各区人力资源和社会保障局，各职业院校（含技工院校），有关单位：

日前，2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛在天津市劳动经济学校（天津市人力资源和社会保障局第二高级技工学校）、天津职业技术师范大学、天津现代职业技术学院成功举办。现将2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手名次予以公布。

为鼓励先进，依据《天津市职业技能竞赛管理办法》（津人社发〔2024〕5号）相关规定，对参赛人数20组及以上赛项，为前10名的选手晋升相应职业技能等级，第一名的职工选手可按程序申报“天津市技术能手”。

希望各参赛单位和选手以本次大赛为契机，加强竞赛成果转

化，推动人工智能应用领域技术技能水平整体提升。希望各区、各单位认真贯彻落实习近平总书记关于技能人才工作的重要指示批示精神，广泛开展职业技能竞赛活动，积极促进竞赛成果转化，培养更多高技能人才和大国工匠，为深入实施高质量发展“十项行动”、全面建设社会主义现代化大都市提供更加有力的技能人才支撑。

附件：2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手竞赛名次

天津市人力资源和社会保障局

2025年1月3日

（此件主动公开）

16	贾明浩、肖奕丰	天津市机电工业学校
17	庄泓乐	天津滨海职业学院

五、智能硬件装调员（职工组）

名次	姓　名	选手所在单位
1	田海一、于海青	天津现代职业技术学院
2	焦　萌、李士琳	天津现代职业技术学院
3	郭湘君、刘　利	天津职业大学
4	李　彤、李　健	天津渤海职业技术学院
5	王　坤、王哲文	中核（天津）机械有限公司
6	常淑英、夏　天	天津电子信息职业技术学院
7	李是奇、王秋雨	一汽-大众汽车有限公司天津分公司
8	乔荣福、史甜姝	天津市劳动经济学校（天津市人力资源和社会保障局第二高级技工学校）
9	邱　昶、王建峰	天津市劳动经济学校（天津市人力资源和社会保障局第二高级技工学校）
10	牛静娟、刘世琪	天津交通职业学院
11	胡文婕、刘　莹	天津市劳动保障技师学院
12	郜　鑫、卢泽华	天津职业技术师范大学附属高级技术学校
13	刘咏涛、申　潇	天津交通职业学院
14	侯阔阳、尹巨森	天津市劳动保障技师学院
15	朱磊慈、谷　津	天津中泰天诚科技发展有限公司
16	杨雪蕊、宋耀阳	天津三疆智能科技有限公司
17	刘金泽、张　杨	会飞智能科技（天津）有限公司
18	石　硕、王亚杰	天津启迪智能科技有限公司
19	田利沙、胡继帅	中科云飞（天津）有限公司

20	李　萌、邹亚群	天津博诺智创机器人技术有限公司
21	贾树鹏、刘力华	天津博诺智创机器人技术有限公司
22	李　凤	天津电子信息职业技术学院
23	杜　兵	天津职业大学

六、智能硬件装调员（学生组）

名次	姓　名	选手所在单位
1	白雪萌、李金龙	天津电子信息职业技术学院
2	张　晨、冯煜鑫	天津职业大学
3	陈　宇、杨文鑫	天津职业大学
4	卜召旸、郝崧利	天津电子信息职业技术学院
5	郑　平、谭朝湛	天津职业技术师范大学附属高级技术学校
6	刘鹏远、罗尚志	天津现代职业技术学院
7	任世泽、何克飞	天津现代职业技术学院
8	秦晓辰、柳春同	天津市劳动保障技师学院
9	田志远、庄浩平	天津市劳动保护学校
10	崔增帅、李子祺	天津市劳动保护学校

（29） “海河工匠杯”技能大赛—第三届全国人工智能应用技术技能大赛天津选拔赛智能硬件装调员赛项第三名

天津市人力资源和社会保障局

津人社办函〔2025〕10号

市人社局关于公布2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手名次的通知

各区人力资源和社会保障局，各职业院校（含技工院校），有关单位：

日前，2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛在天津市劳动经济学校（天津市人力资源和社会保障局第二高级技工学校）、天津职业技术师范大学、天津现代职业技术学院成功举办。现将2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手名次予以公布。

为鼓励先进，依据《天津市职业技能竞赛管理办法》（津人社发〔2024〕5号）相关规定，对参赛人数20组及以上赛项，为前10名的选手晋升相应职业技能等级，第一名的职工选手可按程序申报“天津市技术能手”。

希望各参赛单位和选手以本次大赛为契机，加强竞赛成果转

化，推动人工智能应用领域技术技能水平整体提升。希望各区、各单位认真贯彻落实习近平总书记关于技能人才工作的重要指示批示精神，广泛开展职业技能竞赛活动，积极促进竞赛成果转化，培养更多高技能人才和大国工匠，为深入实施高质量发展“十项行动”、全面建设社会主义现代化大都市提供更加有力的技能人才支撑。

附件：2024年“海河工匠杯”技能大赛——第三届全国人工智能应用技术技能竞赛天津选拔赛参赛选手竞赛名次

天津市人力资源和社会保障局

2025年1月3日

（此件主动公开）

20	李　萌、邹亚群	天津博诺智创机器人技术有限公司
21	贾树鹏、刘力华	天津博诺智创机器人技术有限公司
22	李　凤	天津电子信息职业技术学院
23	杜　兵	天津职业大学

六、智能硬件装调员（学生组）

名次	姓　名	选手所在单位
1	白雪萌、李金龙	天津电子信息职业技术学院
2	张　晨、冯煜鑫	天津职业大学
3	陈　宇、杨文鑫	天津职业大学
4	卜召旸、郝崧利	天津电子信息职业技术学院
5	郑　平、谭朝湛	天津职业技术师范大学附属高级技术学校
6	刘鹏远、罗尚志	天津现代职业技术学院
7	任世泽、何克飞	天津现代职业技术学院
8	秦晓辰、柳春同	天津市劳动保障技师学院
9	田志远、庄浩平	天津市劳动保护学校
10	崔增帅、李子祺	天津市劳动保护学校

（30）天津市“海河工匠杯”技能大赛数字孪生技术应用根基赛项第五名



获奖证书

李冉 许衍泽 在2024年“海河工匠杯”技能大赛暨中华人民共和国第三届职业技能大赛天津选拔赛获得数字孪生技术应用赛项（制造业根基项目）优胜奖。

特发此证 以兹鼓励。

指导教师：

天津市人力资源和社会保障局

2024年6月

（31）2024 年“海河工匠杯”技能大赛—第三届职业技能大赛天津选拔赛根基项目工业机器人系统操作与运维第七名



（32）北京市科学技术奖二等奖



北京市科学技术奖

自然科学奖

证书

为表彰北京市科学技术奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：机械装备运动部件强化修复涂层设计、成形理论与长效安全服役

奖励等级：二等奖

获 奖 者：林 丽

北京市人民政府

2024年4月24日

No.2023-Z05-2-12-R06

2.宣传报道

（1）海豚工坊正式落地我院，共育智能机器人领域新力量

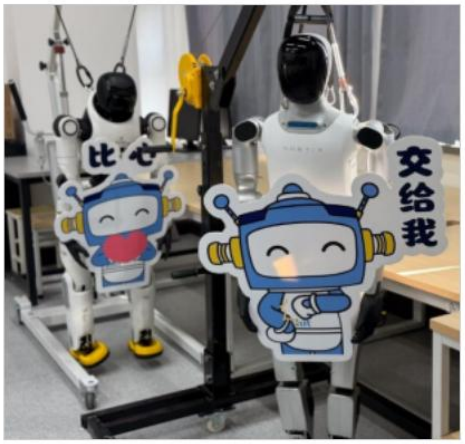
海豚工坊正式落地我院，共育智能机器人领域新力量

2025-12-26 10:33

12月24日，海豚工坊天津社团成立仪式在我校机电学院顺利举行，标志着这一全国性学生创新创业实践平台正式落户我院。



海豚工坊致力于培养智能机器人领域的实战型人才，我院首批11名同学经过校企联合选拔，正式加入工坊，将围绕项目实践、技能培训和产业服务展开系统化学习与锻炼。



学院始终将人才培养作为核心任务，高度重视学生实践能力与职业素养的协同发展。通过持续深化产教融合、校企合作，学院积极搭建真实项目实践平台，引导学生从课堂走向产业一线，实现知识与技能的双重提升。此次建立海豚工坊天津社团，正是学院推动教学模式创新、赋能学生成长的重要举措之一。



（2）天津职业大学机电工程与自动化学院与中海油能源发展装备技术有限公司加工制造中心油套管产品加工作业部举办党建共建暨校企合作系列活动

天津职业大学机电工程与自动化学院与中海油能源发展装备技术有限公司加工制造中心油套管产品加工作业部举办党建共建暨校企合作系列活动

2026-06-05 14:54



为深化产教融合，推动党建引领下的校企协同育人，6月4日，天津职业大学机电工程与自动化学院与中海油能源发展装备技术有限公司加工制造中心油套管产品加工作业部联合举办党建共建暨校企合作系列活动。双方相关领导、党员代表、骨干教师及学生代表共同参加。

活动伊始，油套管产品加工作业部党支部书记刘强与供热与模具专业联合党支部书记费晓瑜先后介绍了各自党支部的基本情况与党建工作特色，表达了对双方深化合作、共谋发展的良好祝愿与坚定信心。



（3）我校学子在智能制造大赛中斩获北部赛区金牌

喜报丨我校学子在智能制造大赛中斩获北部赛区金牌

2026-06-05 15:02



近日，第二届“信捷杯”全国大学生智能制造创新大赛暨第九届中国高校智能机器人创意大赛信捷电气“数智融合”创新赛北部赛区赛事圆满落幕。我校参赛代表队历经层层比拼，从181支参赛队伍中脱颖而出，斩获赛区金牌。

第二届"信捷杯"全国大学生智能制造创新大赛
暨第九届中国高校智能机器人创意大赛 信捷电气“数智融合”创新赛
北部赛区 获奖名单

序号	团队ID	学校名称	团队名称	赛项	奖项
1	mmjSm3JC	哈尔滨工业大学（威海）	穹疆智联	数智融合	金牌
2	dpNl3aKW	淄博职业技术大学	智控先锋队	数智融合	金牌
3	2o8FNVqu	山东交通学院	光尘	数智融合	金牌
4	Lvl0A708	菏泽学院	农智筛选	数智融合	金牌
5	RFIMgrYJ	天津现代职业技术学院	智能制造队	数智融合	金牌
6	GHXUCs6F	山东工业职业学院	疗美容针一瑕疵精检项	数智融合	金牌
7	5CICYnzh	天津大学	智创未来队	数智融合	金牌
8	agL2kqJ1	吉林交通职业技术学院	智检护航团队	数智融合	金牌
9	v6NpXvD9	哈尔滨华德学院	勇往直前	数智融合	金牌
10	AU1NoTGq	哈尔滨华德学院	北冥四杰	数智融合	金牌
11	VtpbsUoq	山西能源学院	采果队	数智融合	金牌
12	M1D3S7Ju	天津大学	海底纵队	数智融合	金牌
13	9vPcEEfY	大连海事大学	同舟悟道队	数智融合	金牌
14	TzsxVLWI	天津大学	自信捷队	数智融合	金牌
15	xQPpRgH3	山东石油化工学院	智行先锋队	数智融合	金牌
16	Stpbwe5s	哈尔滨华德学院	三个小孩	数智融合	金牌
17	UhkeV81E	长春电子科技学院	智控未来	数智融合	金牌
18	ZcSpYvVV	哈尔滨华德学院	江中鲤	数智融合	金牌
19	ZiklYxzy	黑龙江科技大学	信捷智巡队	数智融合	金牌
20	FcMOTPeY	哈尔滨华德学院	煤控智联队	数智融合	金牌
21	H2wEdiZz	哈尔滨工业大学	风浪越大鱼越贵	数智融合	金牌
22	ussUDMPc	山西能源学院	知行聚力	数智融合	金牌
23	CJAw0lff	山东管理学院	奇思妙械队	数智融合	金牌
24	IVEKJA1B	哈尔滨华德学院	数智先锋	数智融合	金牌
25	l0lrePSu	河北工业大学	智净队	数智融合	金牌
26	Tuka jHNT	山西能源学院	会成功的对不	数智融合	金牌
27	BzitBY5Z	天津职业大学	智控钻检	数智融合	金牌
28	AFOY8XQK	河北地质大学华信学院	天工芯锐	数智融合	金牌

本次北部赛区赛事竞争激烈，汇聚多所高校队伍同台交流竞技，其中包含天津大学、哈尔滨工业大学、河北工业大学等知名高校，整体参赛水平较高。面对高水平的参赛阵容，我校机电学院参赛学子马浩、王奕森、吴炜宸赛前潜心打磨作品，依托专业课程所学，精细调试PLC控制程序、优化触摸屏交互设计、迭代完善整体智能控制方案，攻克项目设计与调试中的各类技术难题。赛场之上队员分工协作、沉着应战，冷静回应评委提问，凭借扎实的实践能力、完整的作品设计与稳定的现场表现跻身金牌榜单。



（4）共同体发挥辐射作用，把多家500强、央企吸引到这场校招会来了！

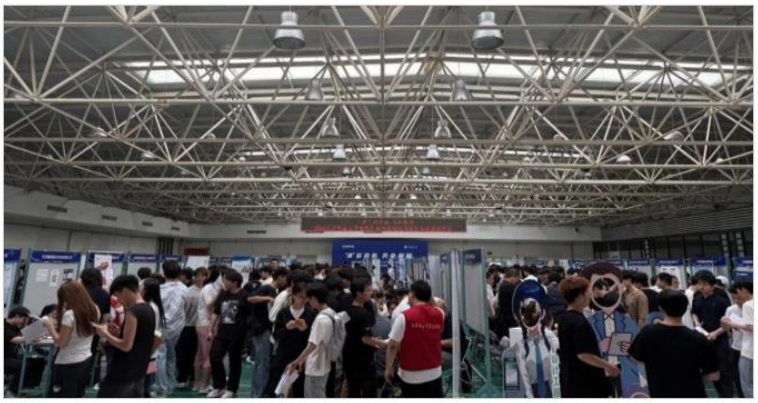
共同体发挥辐射作用，把多家500强、央企吸引到这场校招会来了！

2026-06-05 15:59

按照学校就业工作整体部署，近日，机电工程与自动化学院携手招生就业处，联合西门子（中国）有限公司，在北辰校区举办全国高端装备制造（工业控制技术）行业产教融合共同体2026年校园专场招聘会，近千名学生参加活动。



本次招聘会从严优选行业标杆优质用人单位，集结近80家优质企业，涵盖中核集团、中国航天、中国能建、中国电子科技集团、中化学、华润、中铁等大型国央企单位12家，联想、海尔、卡斯马等500强企业6家，长荣、越疆科技、山东豪迈等产教融合单位6家，佛瑞达、天龙等校友企业2家，以及老板电器、赛象科技等多家知名上市企业。各用人单位围绕高端装备制造、工业自动化等核心技术岗位，释放800余个优质就业岗位。



为全方位护航学生求职之路，招聘会特邀资深人力资源专家现场驻点，为学生提供简历精修、求职误区规避、个性化职业规划、面试技巧提升等一对一公益辅导，精准补齐学生求职短板，全方位增强学生职场竞争力。招聘会结束后，中核、长荣、卡斯马等多家重点合作企业代表专程参观学校智能制造产教融合实训中心，为后续深化校企协同育人、共建实训平台、定向培养专业人才做铺垫。

（5）机电学院师生在2022年“挑战杯”天津市大学生创业计划竞赛中喜获佳绩

机电学院师生在2022年“挑战杯”天津市大学生创业计划竞赛中喜获佳绩

2022-06-23 17:20

在2022年6月19日举办的“挑战杯”中国银行天津市大学生创业计划竞赛决赛中，机电学院师生凭借扎实的理论基础和娴熟的技术水平在激烈角逐中脱颖而出。最终“喵不可言，静默淘砂——智能猫砂盆”项目获得银奖，“‘党’‘芪’荣光——开拓中药材科技助力乡村振兴新模式”项目获得铜奖，取得了优异的成绩。

为保障疫情期间参赛选手的顺利备赛，学院领导高度重视此次比赛组织工作，与参赛师生进行充分沟通，科学制定疫情期间备赛方案，采取线上线下相结合的方式，克服种种困难，最大程度为项目的顺利开展提供保障。



【关闭窗口】

（6）我院学生在2022年金砖国家职业技能大赛天津选拔赛中取得优异成绩

我院学生在2022年金砖国家职业技能大赛天津选拔赛中取得优异成绩

2022-10-07 10:12

10月7日，由天津市教育委员会主办，天津职业大学承办的2022年金砖国家职业技能大赛天津选拔赛人工智能机器人系统集成及应用赛项成绩揭晓。我校机电学院4名学生参加了该赛项比赛，最终取得了第一名和第二名的优异成绩，为我校争得了荣誉。

本次大赛天津市共有10所学校、15支队伍、30名选手参赛，在强手云集的比赛中，我校4名选手奋力拼搏，体现了我校师生的较强动手能力，好成绩来之不易。

近几年来，在学校领导的高度重视和关心下，机电学院积极围绕学校的重点工作，加强创新，在培养高技能人才方面做了多方面的尝试。同时，专业团队师生在日常的工作和学习中，认真学习，刻苦训练，为大赛取得优异成绩奠定了坚实的基础。



【关闭窗口】

（7）机电学院教师在2022年度全国工业机器人系统操作员赛项比赛中获得二等奖

机电学院教师在2022年度全国工业机器人系统操作员赛项比赛中获得二等奖

2023-03-03 09:08

2023年2月16日至19日，由中国仪器仪表学会、中国就业培训技术指导中心主办的2022年全国行业职业技能竞赛—全国仪器仪表制造职业技能竞赛工业机器人系统操作员（仪器仪表装调）赛项决赛，在唐山工业职业技术学院举行。工业机器人系统操作员（仪器仪表装调）赛项面向具有测控技术高度集成的智能制造设备——工业机器人，突出仪器仪表在智能制造、新兴产业、智慧运维中的关键作用。

本次大赛分为理论竞赛和实操竞赛两部分，机电学院电气自动化专业郑伟副教授参加了职工组的比赛，经过长达3天的激烈角逐，郑伟老师荣获该项赛事职工组二等奖（第11名）的优秀成绩，为我校争得了荣誉，更为机电学院2023年参加各项比赛起到了示范作用。



【关闭窗口】

（8）我校在第三届产教融合创新创业大赛荣获佳绩

我校在第三届产教融合创新创业大赛荣获佳绩

2023-04-10 16:55

2023年4月9日，由天津市津南区委人才工作领导小组、天津海河教育园区管理委员会主办的“企业命题、院校揭榜、师生解题、融合创新”第三届产教融合创新创业大赛决赛在天津市海棠众创大街C区落下帷幕。全市共有9所院校39支创新团队激烈角逐，我校推荐的由机电学院杨平和宋艳艳老师领队，马斌和薛淏文等同学参加的《箱体铆接加强件自动化上料系统》项目以扎实的核心技术、精美的路演展示和完美的问题应答获得银奖，并达成“箱体铆接加强件自动化上料系统”纵向课题意向。我校在大赛进程中精心组织，表现突出，获得优秀组织奖。

本届大赛致力于发挥一流高等教育和职业教育优势，探索“五业联动”产教融合机制的新实践，以赛促创、以赛促融，解决企业生产实际问题，锻炼师生创新能力。通过推动知识成果转化、创新资源互融互通和引导人才培养模式创新，促进教育链人才链与产业链创新链有机衔接，加快推进创新发展要素聚集。

我校高度重视创新创业教育工作，大赛启动以来，学校积极组织、广泛动员，注重项目挖掘、培育和辅导，为项目优异成绩的取得打下坚实的基础。此次成绩的取得是对我校双创工作的又一肯定，接下来我校将继续搭建创新创业平台，提高创新人才培养质量，让创新创业工作面向产业走深走实，见行见效。



项目简介：

为解决天津海尔洗涤电器有限公司的箱体铆接自动化生产线目前存在工作强度大、劳动负荷大、自动化程度低、人工成本高等问题的产教融合比赛命题，机电学院成立精益自动化项目组。为有效解决上述问题，项目组成员从转盘弹夹料仓、依次落料、输送送料和90°升降吸盘抓取四个角度出发，设计一套箱体铆接加强筋自动化上料系统。



【关闭窗口】

（9）我院教师刘利博士获得全国服务型制造应用技术大赛二等奖

我院教师刘利博士获得全国服务型制造应用技术大赛二等奖

2023-04-17 15:23

2023年4月14日，由人力资源社会保障部、中国机械工业联合会共同主办，机械工业教育发展中心、安徽省人力资源和社会保障厅、阜阳市人民政府承办的2022 年全国行业职业技能竞赛——全国服务型制造应用技术技能大赛-计算机程序设计员赛项成绩揭晓。机电学院教师刘利博士通过天津选拔赛参加了此赛项，取得二等奖(第八名)的优异成绩。

本次大赛计算机程序设计员赛项为单人赛，职工组共有来自全国高校与企业的32名选手参赛，在强手云集的比赛中，机电学院教师刘利奋力拼搏，为学校赢得了荣誉，推动了我校教育教学事业高质量发展。

几年来，在学校领导高度重视和关心下，机电学院积极围绕学校的重点工作，加强创新，在培养高技能人才方面做了多方面的尝试。同时，专业团队师生在日常的工作和学习中，认真学习，刻苦训练，为大赛取得优异成绩奠定了坚实的基础。



【关闭窗口】

（10）中国制冷学会科普教育基地授牌仪式在我校机电学院隆重举行

中国制冷学会科普教育基地授牌仪式在我校机电学院隆重举行

2023-05-16 08:56

在我校正在开展学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育走深走实之际，2023年5月15日下午，“天津市职业大学中国制冷学会科普教育基地”挂牌仪式在我校机电学院二教会议室举行。中国制冷学会副理事长孟庆国教授、副秘书长常琳女士、科学普及部李晋灏主任、天津制冷学会副理事长兼秘书长杨永安教授、副秘书长孙志利教授，秘书处胡永飞、赵春晨老师，以及天津职业大学副校长杨荣敏、机电学院党委书记王铁军及专业教师等近20人参加了此次挂牌仪式。

授牌仪式开始，中国制冷学会副理事长孟庆国教授介绍了中国制冷学会的基本情况和服务功能，对天津职业大学制冷科普基地的建设提出了要求和指导意见；仪式上，天津职业大学杨荣敏副校长介绍了学校的基本情况、双高建设情况、实训中心建设情况以及我校教书育人等情况，对来校的各位嘉宾表示了欢迎和感谢，在我市职教科技周到来之际，两级领导给我校送来了大礼，杨校长表示未来我校在科普基地建设上一定会突出职业教育特色，不断完善基地设施建设，提升服务品质，立足扩大影响，广泛开展科普教育活动，积极服务社会，努力促进我校高质量发展。

中国制冷学会天津分会领导初步承诺，近期还会捐赠一部分制冷设备给我校，用来支持我校制冷专业发展，领导和专家们还饶有兴趣地参观了我校机电学院供热通风与空调工程实训室，并对我校制冷专业实训室的建设和开展给予了高度评价。



【关闭窗口】

（11）我院教师在全国职业院校技能大赛“工业网络智能控制与维护”赛项获奖

我院教师在全国职业院校技能大赛“工业网络智能控制与维护”赛项获奖

2023-08-25 15:59

8月14日——8月17日，2023年全国职业院校技能大赛（高职组）“工业网络智能控制与维护”赛项在包头职业技术学院举行。全国30个省、自治区、直辖市和新疆生产建设兵团共计131支参赛队参加该项比赛。我校机电学院电气自动化专业的黄鑫、安海霞两位老师经过前期市选拔赛，作为天津市教师组代表队之一参加此次国赛。两位老师在暑假期间克服酷暑以及没有设备的困难条件积极备赛，决赛现场上与来自30个省市的56支教师队同场竞技，最终获得国赛三等奖、本赛项天津市最好成绩。通过本次的比赛不仅锻炼了教师的教学实操技能，提高了教师对于“工业网络智能控制与维护”新领域的技术水平，在电气自动化专业在培养目标、课程体系、教学条件、师资队伍建设上都有所促进。





【关闭窗口】

（12）我院教师获首届全国职业院校技能大赛教师赛三等奖

我院教师获首届全国职业院校技能大赛教师赛三等奖

2023-08-29 10:25

我院电气自动化专业的黄鑫、安海霞两位老师在8月14日——8月17日，2023年全国职业院校技能大赛（高职组），首届教师赛“工业网络智能控制与维护”赛项中获得三等奖。来自全国30个省、自治区、直辖市和新疆生产建设兵团共计56支教师队伍参加该项比赛。我校教师在比赛中发挥出色，排在第21名，为天津市师生参赛队伍最好成绩。

该赛项由天津市选拔出学生队两组，教师对两组，我校两位教师经过激烈角逐，成功入围国赛。由于是首届新赛项，我校没有设备，而该赛项依赖设备程度很高，在此情况下，学院领导积极为老师创造条件，联系设备厂家，送两位老师赴山东济南厂家进行刻苦训练，假期期间，天气热、压力大，培训时间长，且两位老师年龄大，加起来到90岁，自嘲为“90后”。在此条件下，两位老师克服重重困难，通过不懈努力，最终获得国赛三等奖、本赛项天津市最好成绩。

本次赛项作为2023年全国职业院校技能大赛的新增赛项，是深入学习贯彻党的二十大精神，适应我国装备制造业快速发展和产业转型升级，提升装备制造数字化、网络化、智能化需要，推动智能制造系统技术升级和提高技术技能人才培养质量，开发以工业互联网智能控制与维护所需核心技能为基础的竞赛项目。

通过本次的比赛不仅锻炼了教师的教学实操技能，提高了教师对于“工业网络智能控制与维护”新领域的技术水平，在电气自动化专业培养目标、课程体系、教学条件、师资队伍建设上都将会有很大提高。机电学院将继续以大赛为引领，引领职业教育“三教”改革、提高技术技能人才培养质量、促进高质量就业、服务经济社会发展、助力中外职业教育交流合作等方面发挥了重要作用。







（13）我院师生在2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛获奖

我院师生在2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛获奖

2023-12-01 17:04

11月22-27日，由人力资源社会保障部、中华全国总工会、中国机械工业联合会共同举办的2023年全国行业职业技能竞赛——第五届全国智能制造应用技术技能大赛在安徽六安，浙江杭州和嘉兴圆满闭幕。机电学院师生参加仪器仪表制造工（智能制造传感技术方向）、数字孪生应用技术员（智能制造控制技术方向）、模具工（智能制造加工技术方向）三个赛项比赛，取得优异成绩。

本次比赛各赛项均为双人赛，有来自全国30个省市的900余名教师、企业员工、学生参赛，在高手云集的比赛中，机电学院教师郭湘君、杨平获得仪器仪表制造工（智能制造传感技术方向）赛项职工组二等奖，机电学院教师费晓瑜和科研产业处教师张杰合作获得模具工（智能制造加工技术方向）赛项的职工组三等奖，学生许杰、魏振迪获得学生组三等奖。学生艾子鹏、闫红龙、陈宇、张竣获得学生组优秀奖。

本次大赛以“匠心逐梦、智造未来”为主题，重点围绕智能制造关键技术应用场景设置赛项，是贯彻落实习近平总书记对技能人才工作的重要指示批示，大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神，激励广大劳动者特别是青年一代崇尚技能、学习技能、投身技能，走技能成才、技能报国之路，培养更多大国工匠、高技能人才的重要举措。通过本次比赛锻炼了师生的实操技能，提高了教师对于新技术、新工艺、新规范的认识和应用水平，提升了学生的学习能力、创新意识，以及分析问题、解决问题的能力，充分展示了我校双高建设教学改革的成果。





（14）机电学院教师在全国行业职业技能竞赛中荣获一等奖

机电学院教师在全国行业职业技能竞赛中荣获一等奖

2023-12-08 16:19

11月29日-12月5日，2023年全国行业职业技能竞赛—第二届全国工业经济应用创新职业技能竞赛—电气电子产品环保检测员（产品设计与验证方向）赛项全国总决赛在重庆举行。本竞赛由中国工业经济联合会、中国就业培训技术指导中心联合主办，重庆工程职业技术学院等承办，是人社部发布的2023年全国行业职业技能竞赛通知（人社部函【2023】80号）中的国家级二类职业技能竞赛。有来自国内多个省市的职业院校、企业，共计45支队伍参赛。

机电学院电气自动化专业黄鑫老师经过前期的预赛选拔参加了本次比赛的总决赛。在机电学院领导的大力支持下，黄鑫老师前往重庆学习和训练。备赛期间，黄鑫老师每天在设备上训练18个小时以上，反复多次做理论题库试题，力求将技术水平做到精益求精。比赛期间，机电学院领导亲自前往赛场督战，全方位指导和调整选手的参赛状况，大大提升了选手比赛士气。最后经过激烈的角逐，黄鑫老师在客场比赛获得了一等奖（第三名）的好成绩，后经人社部核准将被授予“全国技术能手”称号。

本次大赛所取得的成绩体现了机电学院领导对技能竞赛的高度重视，日常工作中认真规划竞赛团队和指导专项组，在各级各类大赛中屡获佳绩。黄鑫老师在不断培养过程中，先后取得国家级1类赛二等奖、全国职业院校技能大赛国赛三等奖，多年磨砺终获成功。在后期的教育教学活动中，机电学院将落实好技能大赛成果转换，“以赛促学、以赛促教、以赛促训、以赛促改”，技能竞赛与教学改革、人才培养相结合，推进人才培养模式创新，提高人才培养质量，为学校高质量发展持续添砖加瓦。




荣誉证书

黄鑫，

荣获2023年全国行业职业技能竞赛——第二届全国工业经济应用创新职业技能竞赛——电气电子产品环保检测员（产品设计与验证方向）赛项全国总决赛职工组

一等奖

中国工业经济联合会

2023年12月5日

（15）绿色暖通数智化AI应用-我校举办“万场报告话前沿天津职业大学专场科普讲座”

绿色暖通数智化AI应用–我校举办“万场报告话前沿天津职业大学专场科普讲座”

2024-10-14 16:09

2024年10月9日，正值全国科普日期间，机电工程与自动化学院供热通风与空调工程专业举办专题讲座。机电学院副院长郑士成、中国制冷学会科普部部长李晋灏、天津制冷学会副理事长兼秘书长杨永安、天津制冷学会办公室主任赵春晨、天津英泰华机电技术有限公司总经理张鑫、140余名专业师生出席讲座。讲座由暖通空调专业负责人李景丽主持。

张鑫总经理做为天津职业大学暖通空调专业优秀毕业生，在“绿色暖通数智化AI应用”讲座中分享个人成长经历，分析了暖通行业现状、暖通数智化转型、暖通关键技术及成功案例等内容，会后与学生进行了深入的交流互动。讲座得到了学生们的积极响应和好评，通过交流，学生更加明确了未来的学习方向和发展目标，也更加坚定了自己的职业信念。



会后，专家一行参观专业实训室并进行了交流。依托天津职业大学和中国制冷学会、天津制冷学会的资源优势，进一步加强人才培训、科普宣传等项目合作。同时，专业也将积极响应习近平总书记关于科学普及与科技创新“两翼齐飞”的号召，广泛开展科普教育活动，充分发挥中国制冷学会天津职业大学科普教育基地的积极作用。



【关闭窗口】

（16）我校机电学院学生在世界职业院校技能大赛争夺赛中斩获佳绩

我校机电学院学生在世界职业院校技能大赛争夺赛中斩获佳绩

2024-11-05 09:34

近日，世界职业院校技能大赛争夺赛圆满落幕，机电学院学生在此次大赛中表现出色。其中，数控多轴加工技术组荣获银奖，数字化设计与制造组荣获铜奖。





世界职业院校技能大赛作为国际上极具影响力的赛事，吸引了众多优秀职业院校参与角逐。本次大赛围绕“技能水平、职业素养、团队合作、应用价值、创新创意”五个方面对参赛队伍进行综合评价，旨在全面提升职业院校学生的综合素质和能力。机电学院学生能够在这样的高规格赛事中脱颖而出，充分展示了机电学院师生扎实的专业技能和卓越的创新能力。

在李文军、刘炜老师的指导下，数控多轴加工技术组的李凯源、查静茹、叶佳晨在比赛中凭借精湛的技艺和严谨的态度，克服重重困难，最终斩获银奖。该赛项要求选手具备高超的数控编程、多轴加工操作以及复杂零件的工艺设计能力。机电学院参赛团队在比赛中展现出了对先进制造技术的熟练掌握和灵活运用，得到了评委们的高度认

（17）我院师生在2024年全国行业职业技能竞赛——第三届全国人工智能应用技术技能大赛中取得优异成绩

机电工程与自动化学院师生在2024年全国行业职业技能竞赛——第三届全国人工智能应用技术技能大赛中取得优异成绩

2024-12-16 09:20

12月8日，由中国机械工业联合会、人力资源社会保障部及中华全国总工会联合主办的第三届全国人工智能应用技术技能大赛决赛在青岛圆满结束。本次大赛以“智领时代 能创未来”为主题，吸引了来自全国30个省（区、市）的900余名选手参赛，共同展示了人工智能应用技术的最新成果和竞技水平。

大赛共设置了5个赛项，其中智能硬件装调员（智能传感器与边缘计算方向）赛项备受瞩目。该赛项为双人赛，分为职工组和学生组，各有来自全国高校与企业的约50队选手参赛。在如此强手如云的比赛中，机电工程与自动化学院的教师团队郭湘君与刘利，以及学生组合冯煜鑫与张晨，经过天津选拔赛的激烈角逐，成功晋级并参加了决赛。



决赛中，机电工程与自动化学院的师生们充分展现了他们的专业技能和团队协作能力。他们凭借出色的表现，成功获得了智能硬件装调员（智能传感器与边缘计算方向）赛项的二等奖，这也是天津代表队的最好成绩。同时，他们也是天津唯一一个参赛并获奖的学生队伍，为学校赢得了荣誉。

机电工程与自动化学院高度重视师生实践能力的培养与提升，积极搭建多元化的实践平台。学院不仅在日常教学中注重理论与实践相结合，还大力鼓励师生参与各类专业技能大赛，以此作为检验教学成果、锻炼实战能力的重要途径。通过精心组织、悉心指导，学院为师生在大赛中脱颖而出奠定了坚实基础，旨在通过大赛的历练，进一步激发师生的创新思维，提升专业技能水平，为培养更多高素质的技术技能型人才贡献力量。

（18）机电学院暑期培训 服务人才培养与安全生产

机电学院暑期培训 服务人才培养与安全生产

2025-07-19 15:52

机电学院为深入贯彻落实国家职业技能提升行动方案、助力学校职教升本和双高建设，开展了系列化培训活动。同时，也为筑牢安全生产防线、服务区域经济社会发展注入新动能。

人工智能领域专项培训：培养高素质师资力量

6月29日，由机电学院主办的“2025年全国高职院校人工智能领域骨干教师专业能力提升专项培训班”正式开班，天津职业大学副校长冯艳文出席并致辞。培训以“政策解读+技术赋能+实践创新”为核心框架，设置职业素养提升、专业能力强化和实践观摩三大模块。培训期间，教师们围绕人工智能技术在职业教育中的创新应用展开深入研讨，推动“虚、实、网”一体化教学模式在院校的落地实践，为培养高素质智能制造技术技能人才奠定师资基础。



电工中级培训：助力学子高质量就业

6月18日至7月5日，机电学院开展电工中级培训，参培学生人数达310人。培训严格对标国家职业资格标准，采用“理论+实操+考证”一体化模式，涵盖电工安全规范、电路设计安装、设备维护检修等核心模块，帮助学生进一步掌握电工核心技能。

工伤预防能力提升培训：筑牢机械制造安全防线

6月30日至8月22日，由机电学院承办的机械制造重点行业工伤预防能力提升培训项目正式启动。该项目计划完成30期系统化培训，预计覆盖近2000人次。培训针对班组长、安全管理人员、安全生产分管负责人三大关键群体，量身定制差异化、阶梯式的培训课程，旨在提升企业关键岗位人员的工伤风险辨识、事故预防及应急处置能力，从源头上筑牢安全生产防线，促进天津市机械制造行业安全、健康、可持续发展。



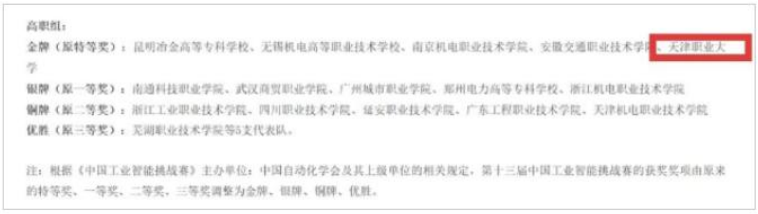
【关闭窗口】

（19）我校学子斩获第十三届中国工业智能挑战赛总决赛金牌

我校学子斩获第十三届中国工业智能挑战赛总决赛金牌

2025-08-16 16:56

近日，第十三届中国工业智能挑战赛全国总决赛在大连理工大学落下帷幕。我校机电工程与自动化学院电气自动化技术专业韩蕾、杨豪杰两位同学，在霍淑珍、张羽枭老师的悉心指导下，凭借扎实的专业功底与创新实践能力，从全国120 支晋级队伍中脱颖而出，勇夺高职组总决赛金牌（原特等奖），展现了我校学子在工业智能领域的过硬实力。



高职组：

金牌（原特等奖）：昆明冶金高等专科学校、无锡机电高等职业技术学校、南京机电职业技术学院、安徽交通职业技术学院、天津职业大学

银牌（原一等奖）：南通科技职业学院、武汉商贸职业学院、广州城市职业学院、郑州电力高等专科学校、浙江机电职业技术学院

铜牌（原二等奖）：浙江工业职业技术学院、四川职业技术学院、延安职业技术学院、广东工程职业技术学院、天津机电职业技术学院

优胜（原三等奖）：芜湖职业技术学院等5支代表队。

注：根据《中国工业智能挑战赛》主办单位：中国自动化学会及其上级单位的相关规定，第十三届中国工业智能挑战赛的获奖奖项由原来的特等奖、一等奖、二等奖、三等奖调整为金牌、银牌、铜牌、优胜。

中国工业智能挑战赛作为自动化应用领域的重要赛事，受教育部高教司委托，由高等学校自动化类专业教学指导委员会指导、中国自动化学会主办，大连锂工科技有限公司承办，赛事权威性与专业度备受业界认可。本届大赛吸引了全国338 支高校代表队参与初赛，经过层层筛选，最终 120 所高校的精英团队跻身全国总决赛。

决赛聚焦工业智能核心技术，重点考核选手在基于Ethernet 的工业 DCS 系统网络架构下的网络搭建、伺服运动控制、数据交互与监控、人机交互界面编程及调试能力，同时检验对物联网平台的理解与应用水平。两位选手通过此次大赛的磨练，不仅提高了分析问题与解决问题的能力，更是明确了今后的职业发展方向。

机电学院一直高度重视学生实践能力和创新精神的培养，此次获奖不仅是对我校学子专业能力的肯定，更体现了“以赛促学、以赛促练” 教学理念的显著成效。下一步，学院将总结成功经验继续加强实践教学环节，提升人才培养质量，为学校智能制造工程技术本科专业申报以及新一轮双高建设积极贡献力量。



【关闭窗口】

（20）我校机械制造及自动化教师团队入围第四批“全国高校黄大年式教师团队”

喜报：我校机械制造及自动化教师团队入围第四批“全国高校黄大年式教师团队”

2025-09-05 10:12

9月5日，教育部发布《第三批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动认定名单和第四批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动入围名单》，我校机械制造及自动化教师团队成功入围，这是天津市唯一入围的职业院校教师团队，也是学校第三次获批“全国高校黄大年式教师团队”。此次成功入围为学校职教升本、新“双高”建设，加快推动高素质专业化“双师型”教师队伍建设，新增的又一标志性成果。


中华人民共和国教育部
Ministry of Education of the People's Republic of China

第三批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动认定名单和第四批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动入围名单

为深入贯彻落实习近平总书记对黄大年同志先进事迹的重要指示和给全国高校黄大年式教师团队代表的重要回信精神，推进高校一流教师队伍建设，教育部2025年组织开展第三批“全国高校黄大年式教师团队”认定和第四批“全国高校黄大年式教师团队”创建工作。

按照工作程序，现将第三批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动认定名单和第四批“全国高校黄大年式教师团队”创建示范活动入围名单予以公布。

30	南开大学	新能源电池团队	陈军
31	天津大学	表层地球系统科学教师团队	刘丛强
32	天津科技大学	生物基纤维材料教师团队	程博闻
33	天津市职业大学	机械制造及自动化教师团队	李建国

机械制造及自动化教师团队以职教“三名”计划名匠培养对象、国家级技能大师李建国教授领衔建设，坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为行动指南，以教育家精神为引领，大力弘扬黄大年同志“心有大我、至诚报国”的崇高品格，以“师德”正“师道”，深耕职业教育一线，练就大技艺。该团队多人次先后获全国劳动模范、国务院政府特殊津贴、国家技能人才培育突出贡献个人、全国技术能手等，“双师型”教师占比100%。教师团队在师德师风、教育教学、科研创新、社会服务、团队建设等方面成绩斐然。

学校全体教师要学习弘扬黄大年同志等优秀教师的高尚精神，以“全国高校黄大年式教师团队”为榜样，立德修身，潜心治学，开拓创新，真正把为学、为事、为人统一起来，当好学生成长的引路人，争做言传身教、师生赞誉的“大先生”，大力培养大国工匠、能工巧匠、高技能人才，在加快建设教育强国的新征程中展现更大担当作为。

【关闭窗口】

（21）机电学院携手海油能源共建“师德加油站”双导师共育新师

机电学院携手海油能源共建“师德加油站”双导师共育新师

2025-11-18 16:00

为深化校企合作、助力青年教师成长，2025年11月18日，天津职业大学机电工程与自动化学院与海油能源发展装备技术有限公司携手共建“师德加油站”启动仪式顺利举行。



机电学院院长郑伟、机电专业教师与海油能源发展装备技术有限公司企业人员齐聚，开启校内师德标兵与企业导师结对共培青年教师的新模式。活动中，校企双方代表结对亮相，企业代表获颁荣誉证书，标志着“传师者之德，融企界之能”的双向赋能培养机制正式落地。





（22）我校学子荣获国家级一类职业技能竞赛一等奖

我校学子荣获国家级一类职业技能竞赛一等奖

2025-12-23 09:49

12月15日至12月18日，由人力资源社会保障部、中华全国总工会、中国机械工业联合会联合主办的2025年全国行业职业技能竞赛——第六届全国智能制造应用技术技能大赛总决赛在重庆盛大举行。该赛事系2025年举办的七大国家级一类职业技能竞赛之一。本次总决赛共设六个赛项，有来自全国27个省（区、市）的500多支队伍、1000多名选手参赛。我校机电学院电气自动化技术专业的马绍涵和张子豪两位同学，在黄鑫等老师的悉心指导下，杀出重围荣获仪器仪表维修工赛项学生组一等奖（第3名），创下历史最佳战绩。



备赛期间，面对时间紧迫以及比赛内容涵盖智能传感控制、工业互联网等多领域综合知识的重重挑战，团队制定了严苛的训练计划。指导老师与学生每周“5+2”、“白+黑”地奋战在实训室。而且，师生还前往培训基地进行了为期半个月的高强度集训，成功攻克所有技术难点。



竞赛成绩不仅彰显了学校学院在提升学生综合职业素养与专业技能水平上所倾注的不懈努力，也为学校进一步推动第二期“双高计划”建设，注入了持续动力。

【关闭窗口】

高职教育产学研实训教学模式创新研究
——以天津职业大学机械工程实训中心为例

李建国　张　敬　秦曼华
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：产学研实训教学模式是高职教育推进内涵式发展的重要内容。以天津职业大学机械工程实训中心为例，从产学研相结合的实训教学实践中，提出高职院校产学研实训教学模式的思路和管理体制，阐述产学研实训教学模式的形式和方法，总结产学研实训教学模式的成果与经验，力求对高职教育实训教学模式创新能有所启发和借鉴。

关键词：高职教育；机械实训；产学研结合；教学模式
中图分类号：712　文献标识码：A　文章编号：1008-8415[2014]-02-43-03

目前，培养高素质的技术技能人才是高职院校的基本定位和根本目标。在高职改革创新中，加强实践实训教学是培养技术技能人才的重要途径，而实施实践实训教学必须具备一定的环境条件和运行机制。因此，建立校内实践实训基地，以实际生产项目为主要实训教学内容，实施产学研相结合的实训教学模式，是培养高素质技术技能人才的有效途径。2004 年，天津职业大学根据发展实际，进行体制和机制创新，优化整合资源，将金工实习厂和校办工厂合并为学校直属的机械工程实训中心（以下简称“中心”，对外称“天津市汇通仪器设备公司”），探索出具有职教特色的产学研相结合的实训教学模式。

一、“中心”的运行模式

1.“中心”的组织结构

机械工程实训中心与天津市汇通仪器设备公司施行“两块牌子、一套人马”（如图 1 所示），中心主任兼任公司法人和总经理，机电专业专业带头人兼任中心教学副主任，这既保证了公司的独立运营，又保证了与机电专业专业建设的紧密联系。

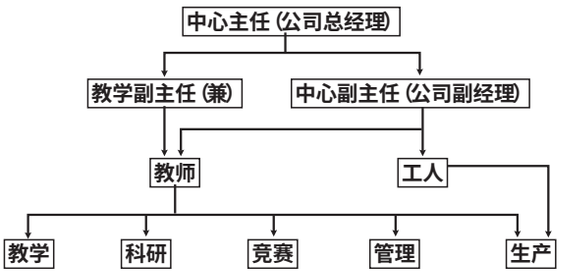


图 1　“中心”组织结构图

2.“中心”的运行机制

“中心”按企业化运营，施行自主经营、独立核算、自负盈亏，集产学研于一体，以产养学、以产促学。

“中心”消除课时和工时的概念，采用工作日制度，取消寒暑假，按国家法定节假日休息。施行各尽其能、考虑需要的按劳分配制度。

“中心”人员以根据需要从社会招聘为主。成立之初，“中心”12 名员工中只有两名学校在编人员，现在“中心”48 名员工中学校在编人员有 6 名。

“中心”除主任接受学校考核，从学校领取工资外，其余人员薪酬全部由“中心”自己担

收稿日期：2014-04-04
基金项目：该文为天津市“十二五”教改立项项目“高职‘校中厂’教学模式创新与实践”的研究成果。
作者简介：李建国（1973—），男，河北邢台人，天津职业大学机械工程实训中心主任，实验师。

中国知网　https://www.cnki.net

负。薪酬标准参照学校和社会工资水平综合制定，且有一定的吸引力，体现能力、岗位、薪酬的一致性。

“中心”按照教务处下达的教学任务实施全校机械实训教学。学生免费在“中心”实习实训，实训费用全部由“中心”承担。“中心”除缴纳水、电费用外，不向学校上交其它费用。

二、“中心”的主要功能

“中心”集产学研于一体，其主要功能是：承担全校各专业的金工实习教学、数控实训教学及全校相关课程的实验教学；培养高技能人才，提升教师和学生的专业技能，为师生参加国家职业技能鉴定考核提供服务；承担师生参加市级和全国技能大赛的培训，并为大赛提供服务；为学校教师的科研开发及科技产业化提供服务；为学校“双师”教师队伍建设提供服务；面向社会开展生产经营活动。

“中心”坚持以实践教学为主，科研生产为辅，积极开展社会服务，教学、科研与生产服务紧密融合，教学促进科研生产，科研生产为教学服务，努力培养高素质技术技能人才。

三、产学研相结合的教学模式

“中心”坚持产学研相结合，突出学生实践能力培养，以产养学，以产促学的发展模式。“中心”承担着全校金工实习、数控实训等教学任务，并根据学生实习的性质和内容，安排不同形式的产学研相结合的实训教学模式。

1．纯消耗为主的实训教学模式

金工实习是一门实践性技术基础课，是对大学生进行工程教育的第一门课，学校多个工科专业开设了此课。针对金工实习内容相对较多、时间相对较短及工程教育基础性特点，在该模式下，以基本基础技能训练为主，注重学生职业素养培养。

实习教学内容以车、铣、刨、磨、钳、焊等基本技能训练为主，并通过教师以身示范、严格要求、严格管理、严格考核等强化职业素养教育与培养。考核采用过程考核与结果考核相结合、以过程考核为主的考核方式。考核内容除技术考核外，注重对学生遵守实习时间和纪律、安全文明生产、规范化操作机床、工卡量具的正确使用、实习场地的卫生、设备的维护保养、细小错误的及时更正等诸方面的考核，使学生在实习教学中逐渐养成良好的职业素养。

2．纯消耗和生产相结合的实训教学模式

中级工数控实训课程是机电专业的骨干专业课，数控实训时间较长，在实训的不同阶段融入一些难度适当的生产件加工，让学生在学校里也真刀真枪地进行生产锻炼，这为学生在就业后能够快速上岗奠定基础。

数控实训教学分为四个阶段：第一阶段（2周），学生初步练习，以纯消耗实训为主进行，主要以熟悉环境、机床、工艺装备为主；第二阶段（3周），根据学生掌握技能情况，分批逐步融入实际工件的生产。这阶段是学生分批融入、生产过程分步融入、工件难度逐步提升；第三阶段（2周），以生产性实训为主，学生独立完成生产零件加工，干中学，干中不断深化理论，提高技能；第四阶段（1周），对照教学大纲和中级工国家职业标准的要求，有针对性地练习一些缺失的课题，深化应知、应会，以适应中级工国家职业资格鉴定考核。

在此阶段，学生不仅分析问题、解决问题的综合能力在生产实训中逐渐发展、延伸，职业技能和职业素养得到提升，而且在生产性实训教学中适时地融入企业现代管理意识教育：一是质量意识，做实习件，60分及格，90分优秀，而做产品只有获得100分才是合格品；二是责任意识，出现问题，教师问责，学生勇于承担责任，共同分析，积极解决，而不是逃避；三是团队意识，一人一机责任到人，班组合作，遇事共商，增强团队精神；四是安全生产意识，班前班后认真检查维护设备，严格执行操作规程，确保安全生产、文明生产。

3．产学结合为主的实训教学模式

高级工数控实训课程是机电专业骨干专业课之一，适应学生全面发展的需求和学习时空的实际，作为选修课开设（学生可在高级工数控实训和第二中级工数控实训两门课程中选一）。高级工数控实训教学主要以产学结合的模式进行。在此阶段，学生实训产品的复杂程度进一步增大，主

中国知网　https://www.cnki.net

要训练学生的工艺多样性、成本控制意识和工种间协作意识等，大大提升学生的实践能力与工程意识。同样实训的最后一周，对照教学大纲和高级工国家职业标准的要求，有针对性地练习一些缺失的课题，以适应高级工国家职业资格鉴定考核。

4．产学研相结合为主的实训教学模式

中心每年在学生毕业实践教学环节组织一个约 30 人的竞赛班，吸纳热爱数控技术的学生参加，该班以参加各级各类数控竞赛为目标，主要以产学研相结合的教学模式进行。在此阶段，学生除完成复杂工件的加工外，结合协作企业的需求，增加产品部件的设计与加工内容，注重学生创新能力培养。该教学模式实施时，首先学生与教师一起进行产品零部件的创新开发设计，完成图纸设计；然后进行工艺设计与加工编程设计；接着进行加工调试并完成加工；最后进行产品的装配与调试。这是一个产品（小型）生产的全过程，是师生共同开展产学研相结合的实训教学的全过程，是培养学生创新能力的过程，有力地培养和提升学生的创新能力。另外，在此阶段，还安排学生辅助教师指导中级工数控实训教学，以培养教学与组织管理能力。在此阶段，“中心”给学生一定劳酬。此间，若有数控技能大赛举行，鼓励学生积极参赛并予以推荐，让学生在大赛中进一步提升自己的专业实践能力与创新能力。

四、产学研相结合实训教学的保障

1．体制和机制保障

天津市汇通仪器设备公司是“中心”对外交往的平台，公司作为独立法人的经济主体，对社会开展生产经营活动，实行自主经营、独立核算、自负盈亏。学校对公司进行宏观指导和对产学研相结合的实施进行必要的监督，生产经营和内部管理不予干预，年终对完成实训教学和生产经营的情况进行考核。公司按现代企业运行，产权清晰、权责明确，适应社会行业需要不断创新经营，是“中心”发展重要物质保障。

2．师资队伍的建设

教师队伍是实训教学必备的、重要的基础条件之一。适应“中心”的需要，师资要求重在实际生产能力和教学能力，围绕这两个能力“中心”的师资队伍建设独有特色。因学校对引进师资的要求过高，“中心”带编引进有困难，为此采用以合同制形式从社会招聘具有职业教育背景的外校毕业生和我校优秀毕业生，走自己培养的道路。对新进教师前两年以从事生产为主，提升技能水平，同时参与一定的教学工作；两年以后，逐步参与到教学中来；最终形成生产和教学工作量对半的状态，这种做法可使教师的实际生产能力迅速提高，教学能力逐渐提高，达到“中心”对师资的要求。对“中心”做出突出贡献、个人综合能力较高的教师，向学校申报，经审核批准后纳入正式编制。

3．一定规模的机床设备

机床设备是实训教学的第一位基础条件。进行实训教学，必须有一定量的机床设备，机床要有类型之别，还要具备一定的先进性。为此，“中心”购置设备首先考虑教学需求，先后购置 24 台经济型数控车床、18 台立式加工中心和 12 台电加工机床，可满足学校机电、模具两专业的数控实训教学。同时，随着高端机床的不断出现和“中心”服务社会逐渐扩大的需要，先后购入车削中心、高速加工中心等机床，并及时投入生产和融入教学。实训时可做到数车 2～3 人/台、加工中心 3～4 人/台、电加工机床 3～4 人/台，使学生有充裕的动手练习时间。

4．适量的生产加工任务

稳定而适量的生产加工任务是“中心”正常运作发展的重要生存条件。基于质量、价格、效率和信誉优势，与“中心”建立起来的长年合作企事业单位有几十家，涉及外企、国企、科研院所和高校等，产品批量从单件、小批到大批大量都有，产品复杂程度从简单件到精密件、复杂件均有涉及，产品材料包含黑色金属、有色金属和非金属材料等。因此“中心”全年有充足的生产加工任务，与之相应的实训教学使学生在整个校内实训环节中得到多方面真刀真枪的锻炼，开拓了视野，锻炼了综合实践能力。

[责任编辑：杨理连]

（下转第 53 页）

中国知网　https://www.cnki.net

经麦可思数据有限公司调研，学院2012届毕业生毕业半年后月收入为2853元，与全国骨干校2012届毕业生毕业半年后月收入2811元基本持平；2012届毕业生的工作与专业相关度为69%，比本校2011届（64%）高5个百分点，比全国骨干校2012届（63%）高6个百分点；2012届毕业生工作与职业吻合度为43%，与本校2011届（43%）持平，比全国骨干校2012届（41%）高2个百分点；2012届毕业生自主创业率，比全国骨干校同届毕业生自主创业率高10%；2012届毕业生对母校的总体满意度为90%，比本校2011届（88%）高2个百分点，与全国骨干校2012届（90%）持平；2012届毕业生对母校的教学、学生工作和生活服务的满意度评价分别为87%、80%、85%。

[责任编辑 杨理连]

参考文献:

[1]湖北职业教育与成人教育网[EB/OL].http://hbzc.e21.cn/news_detail.php?id=3967.

[2]麦可思数据有限公司.黄冈职业技术学院社会需求与培养质量年度报告（2012）[M].2012.

Construction of Multiple Evaluations of the Quality of Professional Talents Training in Vocational Education — Taking Huanggang Polytechnic College as an Example

WAN De-nian HU Ya-xue SONG Wu

(Huanggang Polytechnic College, Huanggang 438000, China)

Abstract: Multiple evaluations are the guarantee for the quality of professional talents training in vocational education. Huanggang Polytechnic College has cooperated with the government, industry and enterprises to jointly establish professional colleges, jointly training talents, jointly construct specialty quality criteria, jointly supervise training process, and jointly evaluate the quality of training. Multiple evaluations promote the improvement of the quality of professional talents training.

Key words: vocational education; quality of talents training; multiple evaluations

（上接第45页）

参考文献：

[1]董 刚、杨理连.在“教学做”一体化中实现深层次工学结合[J].中国高等教育，2009(17).

[2]李 进.产学合作教育研究与探索[M].上海上海交通大学出版社，2004年.

[3]高教[2006]16号文件.关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见，2006年.

[4]唐永泽等.以工学结合为主线构建高职人才培养模式[J].中国高等教育，2009(1).

Innovative Study on the Teaching Mode of Practice Training of Production-study-research in Higher Vocational Education —Taking Practice Training Center of Mechanical Engineering in Tianjin Vocational Institute as an Example

LI Jian-guo ZHANG Jing QIN Man-hua

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The teaching mode of practice training of production-study-research is important content for higher vocational education promoting connotative development. Taking practice training center of mechanical engineering in Tianjin Vocational Institute as an example, and from the teaching practice of production-study-research combination, the paper puts forward train of thought and management system of the teaching mode, explains the form and method of the mode and summarize the achievement and experience of the mode in hope to provide inspiration and reference for the innovation of practice training teaching mode in higher vocational education.

Key words: higher vocational education; mechanical practice training; production-study-research combination; teaching mode

中国知网 https://www.cnki.net

“双高计划”背景下高职教育产教融合的实施策略

古光甫　邹吉权

摘　要　产教融合是“双高计划”的重点建设任务，是我国高职教育深化体制机制改革的重要抓手。在分析“双高计划”建设下高职教育产教深度融合内涵的基础上，梳理出职业教育产教融合存在相关可操作性法律及政策还不够完善、政府主导作用相对较弱、院校运行管理机制不完善、企业“产”与职业院校的“教”不相适应等问题。提出“双高计划”背景下高职教育产教深度融合，需要政府出台构建产教融合的相关政策，构建“政行企校”四方协同育人管理机制，构建校企“双主体”育人管理模式，构建专业链和产业链的协调发展需求，打造高职教育高水平产教融合发展平台。

关键词　双高计划；高职教育；产教融合；实施策略

中图分类号　G718.5　**文献标识码**　A　**文章编号**　1008-3219（2020）30-0026-05

2019年教育部、财政部印发《关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》，明确提出要建设“一批引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职学校和专业群，带动高职教育持续深化改革”[1]。尽管近年来我国高职教育办学质量有了显著提升，但在服务国家战略和区域社会经济发展的能力上，还与产业发展要求、人民群众期待以及国家对高职的战略定位存在一定程度的差距，需要通过建设高职教育的第一方阵，凸显职业教育类型化的特点，全面提升高职教育的现代化水平。产教融合是“双高计划”项目建设的重要任务之一，是高职教育培养新时代高素质技术技能人才的重要路径。“双高计划”强调，要深化职业教育产教融合原则，不断创新高职教育与区域产业协调发展，精准对接区域社会产业发展对人才需求规格，形成学校与企业之间可以实现充分的利益共享和价值融合，不断推动高职院校和区域社会产业形成命运共同体，提升高职学校服务区域社会产业发展能力，为增强区域社会产业发展核心竞争力提供强有力的人才支撑。随着职业教育产教融合一系列文件的出台和高职院校“双高计划”的实施，职业教育和区域产业的深层次融合必将进一步推动职业教育不断创新发展，职业教育产教融合的内涵实质也将不断深化。

一、职业教育产教深度融合的内涵

（一）定位：从“局部”到“全局”

产教融合定位的升格包含两个层级。一是从职业教育延伸至整个教育体系。产教融合政策与实践贯穿于我国职业教育发展的整个过程，在很

作者简介
古光甫（1977-　），男，天津职业大学职业技术教育研究所副研究员，研究方向：高等职业教育（天津，300410）；邹吉权（1965-　），男，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士，研究方向：职业教育

基金项目
2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”（DJA190347），主持人：邹吉权

长一段时期，特指职业教育的一项具体政策。2017年12月，国务院办公厅印发《关于深化产教融合的若干意见》（国办发[2017]95号）[2]，总结了我国职业教育产教融合发展实践的经验，首次将产教融合升格为适用于整个教育体系的全局性纲领，并指出不同类别教育的发展重点与路径。二是从教育制度上升为国家制度，成为全面深化改革总目标的内涵之一。2019年1月，国务院印发《国家职业教育改革实施方案》[3]，把职业教育摆在教育改革创新和经济社会发展中更加突出的位置，首次从国家层面提出职业教育是一种类型教育，与普通教育具有同等重要的地位，突破教育制度界限，融合国家教育改革和人才开发整体制度设计，推进产教融合内涵由浅层次的人才培养模式、合作关系向教育与产业融合制度演变，成为完善和发展中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化的一项重要举措。

（二）形态：从“管理”到“治理”

《国务院关于大力发展职业教育的决定》（国发[2005]35号）、《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010–2020年）》（中发[2010]12号）等系列文件均明确指出了政府在职业教育中的主导作用，这段时期政府是职业教育的管理者，职业教育活动开展的直接依据是政府出台的职业教育相关政策。2013年11月，党的十八届三中全会通过《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》，首次明确提出“治理现代化”，其表述为“全面深化改革的总目标是完善和发展中国特色社会主义制度，推进国家治理体系和治理能力现代化”。2014年6月，国务院印发《关于加快发展现代职业教育的决定》（国发[2014]19号），提出现代职业教育遵循“政府推动、市场引导”的基本原则。2019年1月，《国家职业教育改革实施方案》指出，职业教育将向政府统筹管理、社会多元办学的格局转变，由追求规模扩张向提高质量转变，向企业社会参与、专业特色鲜明的类型教育转变。至此，政府在职业教育中的角色由“主导者”变成“推动者”，完成了“管理”向“治理”的嬗变，职业教育获得更多自主权，为产教深度融合释放了发展空间。

（三）形式：从“初级”走向“高级”

传统产业背景下，劳动力素质要求普遍较低，行业缺乏参与职业教育的迫切感与动力源，此时，职业教育产教融合处于政府主导、院校推动、企业参与度较低的阶段，主要通过与企业共办订单班、互聘教师、在校内或企业共建实训基地等较为单一的形式实现，合作程度低。随着新经济时代的到来，以人工智能为代表的新技术发展、信息链与价值链的重新构建催生了传统产业向现代产业变革，产业新业态的呈现对产业从业者的素质提出了新要求，为保证人才供给符合需求端变化，保证劳动力在职业更迭过程中的从业能力，职业院校开始与行业企业合作探索“双主体”办学，通过联合、连锁、集团化等模式，实现教学标准、师资、资源、文化等的深度融合。产教融合将进入工程技术中心或技术中心共建共享的高级形态，逐渐成为引领行业和社会的技术源和创新源。

（四）实践探索：“共性”与“个性”的统一

产教融合的本质特征，即实现产业链与教育链的深度对接，为经济发展提供人才储备，是不同教育类型实践共同遵循的必要原则。在共性基础上，“产教融合”的内涵还包括更为丰富的个性特征：不同类型教育、不同区域、不同行业或不同经济体产教融合的实现可以存在不同模式，各有侧重与区分，呈现多样性特征。例如，普通高等教育与职业教育的产教融合，前者强调基于设备与技术的创新，即在学科建设和专业人才培养过程中以“技术”为基本，超越具体职业形态的产教融合；后者强调以“职业”为载体，即将技术应用于职业活动，将设备与技术运用到岗位中，依托具体职业形态的产教融合。不同行业也可以根据自身发展特点选择发展模式，对于集群发展、行业协会成熟度较高的行业，充分发挥行业协会在产教融合中的作用；对于中小企业密集的行业，充分发挥政府在产教融合中的引导作用；对于存在龙头企业的行业，充分发挥龙头企业在产教融合中的带动效应。

二、“双高计划”背景下高职教育产教融合存在的主要问题

（一）相关可操作性政策法规还不够完善

虽然我国职业教育对于产教融合制定的政策文件较多，但可操作性、针对性、实践性文件缺乏。从内容上看，大多数政策属于指导性和原则性的政策，相关配套性、落实性的政策很少[4]，导致企业在产教融合校企合作中不知该如何发挥其有效作用。职业教育产教融合合作形式更多还是停留在表面的签订合作协议、部分学生实习实训及订单就业等方面，没有真正开展深层次合作，使得职业教育产教融合实践流于形式。在体制机制上，由于产教融合涉及教育行政管理部门、人力资源管理部门、财政税收管理部门、行业企业主管部门等多职能部门，协调成本较高，使得职业教育产教融合程度不够深入。

（二）政府主导作用相对较弱

发挥政府主导作用是职业教育产教融合健康发展的关键。形成“政府主导、行业指导、企业参与、学校推进”的环环相扣的协同育人机制，是产教融合实现的重要保障，任何

一环的缺失都将导致产教融合政策流于形式。目前，尽管国家层面加大宏观政策制定力度，进行顶层设计，引导改革发展方向，不断推进产教深度融合，但各地政府针对区域经济与产业特点出台的实施细则还明显不足，缺少产教融合相关信息公开与合作平台，没有促进真正形成深层意义“我中有你，你中有我”的校企利益共同体关系，人才链、产业链与专业链相互脱节现象比较严重[5]。

（三）院校运行管理机制不完善

要深化职业教育产教融合，需进一步探索职业教育校企合作新模式、新发展、新方法。首先，企业市场化的运行体制与职业院校的行政管理机制难以在实践运行过程中形成有效衔接；其次，许多高职院校深度参与校企合作、产教融合的主动性不高，很少有院校负责人到企业主动寻求开展深度合作；再次，高职院校缺乏问责与监督机制，产教融合的管理机制不健全。职业院校要培养满足行业企业需求的高素质技术技能型人才，需要行业企业参与合作，但是在实际落实产教融合的过程中，高职院校方面仅想从校企合作中获取更多的外部资源，如学生顶岗实习、岗位实践、利用企业一线技术骨干给学生授课等，利用其企业外部资源提升学生的职业岗位综合素质，以实现院校培养优秀人才的目标，忽略了为企业提供技术和研发等反哺企业服务的运行管理机制。

（四）企业的“产”与职业院校的“教”不相适应

政府在制定产教融合办学的相关法律法规方面，对行业企业的激励政策不够。企业参与的积极性不高，责任意识不明确，职业院校和企业之间的产教融合缺乏深度合作管理平台，出现“企业冷、学校热”的现象。

由于目前校企合作和职业院校办学目标存在体制机制性障碍，使得职业院校在人才培养、课程设置、专业设置等方面不能与区域经济社会的支柱产业有效衔接，人才培养方式以及教学过程等方面都滞后于社会以及企业的人才发展需求，高职院校在人才培养规格方面没有契合区域经济社会发展的需求。

三、“双高计划”背景下高职教育深化产教融合的策略

深化产教融合是职业教育健康发展的重要举措，也是高职教育不断从供给导向逐渐向社会需要导向发生的重大转变[6]。为更好地适应新业态、新产业、新技术引发的快速职业催生，提升职业教育服务区域社会产业发展的能力，应在以下几个方面进行探索。

（一）政府出台构建产教融合的相关政策

尽快修订和完善《职业教育法》，进一步明确地方政府、职业院校、行业、企业等各相关部门在职业教育产教融合中的主体职责，加大对违规行为的可操作的惩戒力度，完善与之相配套的辅助法规体系。同时，国家应尽快出台《职业教育促进法》，规定产教融合经费投入比例不低于国家GDP总量的1%[7]；通过量化措施强调各类机构承担职业教育产教融合的具体职责和任务，如地方政府设立职业教育产教融合专项管理基金及成果转化担保管理机构；对行业企业参与职业教育合作办学的予以部分财政补贴、税收减免等优惠政策。

制定利益合理分配、知识产权共享、税收信贷方面优惠减免等方面的实施细则。以法律法规及相关制度手段来调节职业教育产教融合各方的相关利益，鼓励行业、企业尤其是国有大中型企业、上市企业、中外合资企业等率先参与到职业教育校企合作、产教融合办学中来，同时国家可探索建立由行业指导、企业参与、政府主导的职业教育办学管理机制，充分发挥各自在产业发展规划、经费投入、教学管理、实训基地等方面的优势，让行业企业在职业教育体系建设中发挥指引性作用[8]。

（二）构建“政行企校”四方协同育人管理机制

构建“政行企校”四方协同育人管理机制。一是成立学校“政行企校”协同管理理事会。搭建协同运行管理机制，构建校企合作命运共同体，保证四方彼此的义务和责任。在协同理事会指导下，四方共同参与学校的专业人才培养。二是搭建校企专业人才培养管理互补制度。校企共选共建专业的兼职教师人才库（含企业和社会人员）管理制度，学校牵头制定校企合作“专业双负责人”管理制度，真正实现校企双方人才培养的“角色互通、身份互认”。三是搭建校企教学互通动态管理机制。校企定期共商专业人才培养方案修订及课程体系调整，促进专业所学课程内容与企业工作岗位能力需求相协调。此外，校企双方共同组建专业课程开发教学团队，学校牵头制订专业知识体系构建、课程标准、课程整体设计、课程单元设计等内容；企业一线技术骨干深度参与专业实践课程项目开发、企业职场文化素养养成及产业经验型知识等内容的讲授，并指导学生生产实习（实践）课程教学环节指导。四是搭建协同育人管理平台，构建校企双方人才培养共育管理机制。如通过校企共建创新创业基地、学生岗位实习实训（实践）基地、产教园、科技研发与社会咨询服务等，将学校课堂教学、企业生产、学校技术研发和社会服务融为一体。通过校企协同育人管理机制，有效增强职业教育和社会产业发展融合度。

（三）构建校企“双主体”育人管理模式

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》（国发[2014]19号）提出实施校企育人“双重主体”，学生学徒“双重身份”[9]，进一步明晰学校、企业和学生三方各自权利义务关系，明确了产教协同育人与校企“双主体”之间的彼此关系，确立了产教协同育人是校企“双主体”发挥作用的主要表现，校企“双主体”地位是推进产教协同育人的重要前提。

强化校企合作“双主体”育人过程，要坚持学校课堂教学过程与企业真实生产过程紧密对接，使生产服务与课堂教学周期同步，同时校企双方在入学学生（学徒）选拔、师资配备、教学场所、教学计划、教学实施和教学评价等方面全面实施双元化模式。一是入学学生（学徒）选拔方式实施双元化。由学校招生管理部门与企业人力资源管理部门共同负责招生与招工事宜，学生（学徒）分别与学校和企业共同签订三方协议，明确学生（学徒）在学校和企业的“双重”身份。二是师资配备实施双元化。校企实行“双导师”育人管理制度。企业选聘岗位一线技术骨干担任学徒（学生）实践（实训）指导教师，实行跟岗实习（实训）、轮岗实习（实训），以师傅带徒弟形式对学徒（学生）专业技能进行指导和训练。学校遴选专业教师任校内学生指导教师，讲授专业知识、通识课程、基础理论并跟踪学生（学徒）学习情况。三是教学场所实施双元化。以企业为主负责学生专业实践教学的生产实训、项目服务、创新应用传授；以学校为主负责学生专业理实一体化及专业理论课程等教学。四是教学计划实施双元化。学校专业负责人与行业企业一线技术管理部门共同制订学生（学徒）专业教学计划及授课内容。五是教学实施双元化。企业生产一线技术骨干与学校专业教师依据企业岗位工作任务，为学生（学徒）共同设计企业实践教学环节中学习、实习实训、实践、创新创业等工作内容，进一步培养学生（学徒）专业实践操作技能[10]。六是教学评价主体实施双元化。由学校主体负责对学生理论学习、平时表现等进行过程监控与实施评价；由企业主体负责对学徒生产实训进行考核，对创新作品进行品鉴，对社会服务进行质量评价。

（四）促进专业链和产业链协调发展

职业教育和区域产业的创新协调发展，是职业教育与产业同步变革与升级的主动调节过程，离不开专业对区域产业发展的人才需求供给及技术研发的贡献，离不开区域产业对专业发展的有效引领和支撑。构建专业链和产业链的协调创新发展，促进相关产业与目标产业、新兴产业和支柱产业的协调发展，形成产教融合协调发展相关利益共同体，是职业教育专业紧跟产业，产业引领专业螺旋上升发展的必然途径。近年来，随着国内外经济形势不断发生变化，全面推进人工智能、“互联网+”、“中国制造2025”，新技术、新产业、新经济、新业态等不断涌现，由原来依靠劳动力、资本、资源等要素拉动经济发展转移到不断依靠创新技术来驱动经济快速发展。高职院校专业发展应紧跟区域社会产业（产业高端）发展要求，不断进行动态调整和改变。国务院办公厅印发《关于促进家政服务业提质扩容的意见》（国办发[2019]30号），要求每个省份至少有1所本科高校和若干职业院校开设家政服务相关专业，形成产业链对接的专业链。

（五）打造高职教育高水平产教融合发展平台

高水平产教融合发展平台是高职教育产教融合高度和深度的具体体现，其平台建设一般需要体现三个主要功能：第一，促进校企开展深度合作。这要求产教融合发展平台能为校企开展深度合作探索新的发展合作模式，提供新的合作范式的践行基地，也是高职教育产教融合平台持续发展的必由之路，比如混合所有制、现代学徒制、产业学院等合作模式的实践，课证融合式培养、1+X证书、订单式培养等育人模式的试点，工学云混合式顶岗实习管理、内部质量保证体系诊断与改进等治理模式的检验[11]。第二，为院校人才培养提供服务。这是高职院校实施产教融合的根本落脚点和出发点，要求产教融合发展平台不断促进学生职业精神培养、创新创业教育、技术技能积累等成才成长的内在需求。第三，为区域行业企业（产业）发展能力提供优质服务。在市场经济大背景下，企业大多是以经济利益为出发点，要求产教融合发展平台不断促进企业改进生产技术、推动社会进步，同时也为合作方提供对口的高素质人力资源，减少企业新进人员培训成本，也为企业生产经营和社会发展中遇到的困难和问题随时提供解决方案、技术支持和技术咨询，不断促进企业生产经营方式及时更新变革，提升企业经济效益和提高社会生产力。

参 考 文 献

[1]教育部，财政部.关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见[Z].教职成[2019]5号，2019-03-29.
[2]国务院办公厅.关于深化产教融合的若干意见[Z].国办发[2017]95号，2017-12-05.

[3]国务院.国家职业教育改革实施方案[Z].国发[2019]4号，2019-01-24.
[4]梁克东，成军.中国特色高水平高职院校建设的逻辑、特征与行动方略[J].教育与职业，2019(13)：9-16.
[5]张莉初.高职院校产教融合的问题与实现路径分析[J].新疆职业教育研究，2017(3)：65-68.
[6]娄梅.现代学徒制破解产教融合“两张皮”难题的制度创新[J].中国职业技术教育，2018(12)：56-60.
[7]翟志华.职业教育产教融合的路径优化[J].安徽商贸职业技术学院学报，2019(6)：52-55.
[8]崔岩.实践创新：铸就中国特色高等职业教育品牌[J].中国职业技术教育，2019(7)：110-112.
[9]国务院.关于加快发展现代职业教育的决定[Z].国发[2014]19号，2014-05-02.
[10][11]李玮炜，贺定修.“双高计划”背景下高职产教融合的基础、需求与路径[J].中国职业技术教育，2019(10)：5-9.

On Implementation Strategy of Integration of Industry and Education in High Vocational Education under Background of “Double-high Plan”

Gu Guangfu, Zou Jiquan

Abstract The integration of industry and education is the key construction task of the “Double-high Plan”, and it is an important grasp of deepening the reform of system and mechanism of higher vocational education in China. Based on the analysis of the connotation of the deep integration of production and education under the “Double-high Plan”, this paper unscrambles the exist problems, such as the related operational laws and policies is not enough perfect, the government dominant function is relatively weak, the colleges running management mechanism is imperfect, the producing within enterprises and the teaching in vocational colleges and universities does not adapt each other. Therefore, in order to improve the deep integration of industry and education in higher vocational colleges under “Double-high Plan”, it is necessary to issue relevant policies for the integration of industry and education, establish a four-party cooperative education and management mechanisms for government, enterprises and schools, build a school-enterprise “dual-body” education and management model, build the coordinated development demand of specialty chain and industrial chain, and build a high-level platform for the integration of industry and education in higher vocational education.

Key words Double-high Plan; higher vocational education; integration of industry and education; Implementation strategy

Author Gu Guangfu, research associate of Tianjin Vocational University (Tianjin 300410); Zou Jiquan, professor of Tianjin Vocational University

“双高计划”背景下高职院校教师队伍分类管理培育研究

古光甫　邹吉权

[摘要]高水平教师队伍既是“双高计划”建设十大改革发展任务之一,又是提升高职院校自身持续健康发展的需要。在《国家职业教育改革实施方案》的背景下,全面加强教师队伍建设已成为高职院校一项重大而紧迫的工作。文章从分析高职院校教师队伍分类管理培育的必要性入手,梳理了当前高职院校教师队伍存在的问题,提出了“双高计划”建设背景下高职院校加强师德师风建设、实施教师分类培育、明确人才分类遴选标准、打造人才分类发展平台及强化人才分类考核五项措施,为新时代高职院校打造高水平教师队伍建设提供了新思路。

[关键词]高职院校;“双高计划”;教师岗位;分类管理培育

[作者简介]古光甫(1977-),男,河南信阳人,天津职业大学职业技术教育研究所,副研究员,硕士;邹吉权(1965-),男,内蒙古赤峰人,天津职业大学职业技术教育研究所所长,教授,博士。(天津　300410)

[基金项目]本文系2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”的阶段性研究成果。(项目编号:DJA190347,项目主持人:邹吉权)

[中图分类号]G715　[文献标识码]A　[文章编号]1004-3985(2020)16-0062-08

DOI:10.13615/j.cnki.1004-3985.2020.16.009

为深入贯彻党的十九大和全国教育大会精神,落实《国家职业教育改革实施方案》《中国教育现代化2035》等文件要求,加快推进引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职院校建设,带动高职教育持续深化改革,教育部、财政部于2019年4月印发《关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》(简称“双高计划”),就建设实施目标和工作任务做出了全面系统的部署,促进了高职院校内涵建设提升和创新发展。尽管高职教育办学质量有了显著提升,但在服务国家战略以及经济社会发展的能力上同产业发展、人民群众的期待以及国家对高职的战略定位还存在一定的差距。打造高水平“双师型”队伍,既是“双高计划”十大改革建设任务之一,也是提升高职院校自身发展的需要。因此,高职院校如何以“四有”教师为标准,打造一支专兼结合、数量充足、师德高尚、技艺精湛、结构合理的高水平“双师型”教师队伍,培养行业企业有权威、社会有影响、同类院校都认可的专业领军人才和大师名师,整体提升院校师资队伍的人才培养、技术研发、社会服务等能力,成为新时代“双高计划”建设的一项重大课题。教师分类管理制度改革将是“双高计划”下高职院校培育高水平教师队伍的重要突破口。教师岗位分类管理制度以设置“教师岗位”为中心,且不同于传统的“以人为中心”

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的高校人事管理改革制度,而是围绕院校教师“所聘岗位”的“分类设置—个人发展—实施岗位聘任—岗位年度(聘期)考核—效果评价—政策激励”等一系列教师培育管理制度,即从粗放型管理向精细化管理发展。目前,我国高职院校对这方面的实践探索及应用研究还比较薄弱。围绕“双高计划”下高职院校高水平教师队伍改革任务的要求,构建新时代符合高职教育特色的教师分类管理和培育体制机制,是高职院校教师队伍建设的发展之策,也是长久之需。

一、高职院校教师队伍实施分类管理培育的必要性

1.落实国家高校教师改革政策发展的需要。师资队伍建设是高职院校可持续发展和高技能人才培养的关键要素和前提条件。为提高高校人才培养质量,办好人民满意的高等教育,加快推进现代化教育强国建设,国家先后出台了一系列推进高校教师队伍改革发展的措施。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》提出,根据不同类型教师的岗位特点和工作导向,建立适应学校教师岗位设置的分类管理、分类实施和分类评价管理办法。2015年9月,教育部印发《高等职业教育创新发展行动计划(2015—2018年)》明确提出,推动高职院校教师分类管理、分类实施和分类评价的人事管理制度改革。2018年1月,中共中央、国务院印发的《关于全面深化新时代教师队伍建设改革的意见》指出,兴国必先强师,促进教育事业高质量发展的第一资源是教师,教师队伍建设具有民族振兴、国家富强和人民幸福的重要战略意义。高校要通盘考虑教师岗位的类型差异,根据不同教师的岗位特点和发展实际,进行“分类施策”,采取有针对性的分类实施策略,定向发力,满足教师个体的职业发展。同年2月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于分类推进人才评价机制改革的指导意见》,指出以职业属性和岗位要求为基础,实行分类管理、分类实施、分类评价,完善团队评价与考核管理办法。2019年1月,国务院印发《国家职业教育改革实施方案》(国发〔2019〕4号),指出多措并举打造职业院校的“双师型”教师队伍,探索组建不同类型发展需求的多样化、结构化和差异化的高水平“双师型”教师队伍。总之,国家出台高校教师队伍建设改革发展系列实施策略,在许多普通高等院校已经开展了实践探索并形成一定的模式,为当前“双高计划”背景下高职院校教师分类管理培育指明了改革发展方向并提供了借鉴。

2.深化院校教师综合改革是“双高计划”建设的需要。职业性和技术性是职业教育的本质属性,同时职业教育还具有终身性和全民性的特性。高职教育兼具高等性和职业性,且具有区域性典型特征。当前,国家将职业教育作为类型教育且摆在前所未有的社会发展高度,因此,应基于高职院校的办学特色和师资队伍现状,探索相应的管理与建设机制,提高高职院校师资队伍育人水平。“双高计划”建设正是迎合新时代高职教育高质量发展的重大举措,承载着服务区域社会经济发展和国家重大战略发展需要,支撑区域经济支柱产业、战略性新兴产业、现代服务业等重点产业快速发展,形成一批有效支撑职业教育高质量发展的管理制度和教学标准。“双师型”教师队伍是“双高计划”建设的重要组成部分,也是增强高职院校内生动力和办学质量的关键所在。同时,“双高建设”指出,建设高水平“双师”队伍,需着力培育“能够改进企业产品工艺、解决生产技术难题的骨干教师”“具有绝技绝艺的技术技能大师”“聘请行业企业领军人才、大师名匠兼职任教”[①]等不同类别的高素质教师队伍,必须突出高职教育作为职业教育类型的教育管理特征,深化对高职院校教师队伍的分类管理培育和改革。

3.高职院校建设高水平“双师型”教师队伍

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

需要分类管理。目前,与普通本科院校相比,高职院校教师队伍的分类管理培育相对起步较晚,管理经验不足,投入的人力、物力、财力等也相对薄弱。教师队伍分类管理大多数参照普通本科高校的做法,简单地将学校教师队伍分为教学、科研、教学与科研和教辅(行政管理)等不同岗位类型,不能很好地体现高职教育办学的本质特征。职业教育与普通教育是两种不同类型的教育,这就决定了高职院校教师的分类管理应体现多元化师资队伍的分类管理体系和职业教育的办学特点,不能完全参照普通本科高校教师的分类管理模式。作为职业教育,其典型特征是校企合作、产教融合,这就要求高职院校师资队伍的来源渠道体现多元化特点,即师资队伍中不仅有从普通高校毕业的硕士或博士,还要有从行业选聘的技能大师,以及从企业引进的具有实践经验的技术专家、能工巧匠来担任兼职教师。《国家职业教育改革实施方案》提出,从2019年开始,职业院校新招聘专任教师原则上应具有3年以上行业企业从业工作经历,其目的是提高职业院校教师的实践教学能力。当前,高职院校教师的专业能力与综合素质难以适应新时代区域经济发展对培养高素质技能人才培养的需要,需要进一步提高教师的实践教学能力及专业化教学水平。统筹构建兼顾教师团队、专兼职教师结构及个体发展等不同类型的教师分类管理培育制度,不仅有利于打造高职院校高水平"双师型"教师队伍,而且有利于促进教师个体的专业化发展,培养出更多满足行业产业需求的高素质技术技能型人才。

二、高职院校教师队伍建设存在的主要问题

就高职院校师资队伍建设而言,不同特长教师的分类发展是高职院校教师改革建设的必然要求。就教师个人发展而言,个人专业特长与基本教学能力协调发展、教学能力与技术服务能力协调发展、理论素养与实践能力协调发展将是高职院校教师专业成长的必然趋势。目前高职院校教师队伍的分类管理制度、团队意识、思想政治教育等需要进一步加强。同时,要进一步提升教师个体的专业能力、科研能力、社会服务能力等,以适应"双高计划"下高职院校内涵建设的发展要求。

1.教师管理制度不适应高职院校建设发展要求。一是高职院校教师管理制度过于单一化,无法满足新时代高职教育教师来源渠道多样化的建设需求。在实际工作中,每位教师所从事的工作岗位类型、工作能力、个人兴趣爱好、专长优势等不同,存在某些方面突出、某些方面相对薄弱的现实情况。由于大多数高职院校还没有建立健全支撑和引导教师分类管理的制度体系,且考核多用一个指标体系(即"一把尺子量到底"的模式)来考核评价全体教师,因此无法满足教师个体差异化、多样化、结构化发展的需求。二是支撑和引导教师专业个体发展的制度未能将考核制度与促进教师健康成长发展有机衔接起来。大多数高职院校对教师专业发展基本还停留在传统的一般培训层面,在教师的教学、科研和服务能力等方面缺少针对性扶持和支撑管理制度,未能将促进教师个人成长发展与院校管理培育有机衔接起来,难以有效发挥教师成长激励机制的作用。三是高职院校缺少激励教师提升国际交流能力的机制。随着国家综合实力的不断增强和"一带一路"倡议的不断深入,国内企业"走出去"的数量不断增多,提升高职院校国际化办学是高职教育未来发展的必然趋势。要积极鼓励教师不断提升国际化教学能力和授课水平,但目前多数高职院校教师还缺少参加国际化相关项目、参与服务企业"走出去"的相应能力。

2.教师队伍建设与"双高计划"要求不相匹配。一是高职院校教师团队成员的来源比较单一,行业企业优秀的高技能人才参与团队建设较少,团队成员主要以高职院校教师为主,专业

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

团队的跨界属性不足,不符合团队结构化要求。随着区域经济产业转型升级、信息化程度加快和社会产业的交叉融合,跨界、跨专业合作成为专业化团队发展的必然趋势。职业院校内部不同院系、不同专业的教师团队彼此融合较少,尤其是跨界整合不足的问题更加突出,将区域行业企业高技能人才纳入院校教师团队日常建设的少之又少。二是目前大多数教师团队以教学型团队为主,技能大师、技术研发、创新型与社会服务型等团队较少。随着高职院校内涵式发展的不断深入,教学质量的不断提升,与区域社会行业产业的结合越来越紧密,亟须建设多类型教学团队,如技能大师团队、创新创业教学团队、应用研发和科技服务教师团队等。三是教师团队缺少系统的思想政治教育和师德师风教育,为此,需要进一步加强文化建设,强化专业教学团队成员的"命运共同体"建设。此外,教师团队成员间需要进一步加强学术发展专业能力互补、专业领域互补、兴趣爱好互补等,进一步凝练具有团队共同命运追求价值的团队文化、价值取向和发展愿景。

3.教师个体专业能力与"双高计划"建设要求还有较大差距。一是为适应区域社会产业转型升级和《教育现代化2035》等发展需求,亟待提升教师的信息技术能力、技术研发能力和社会服务能力。同时,随着现代工业4.0时代的到来以及新业态、新发展,生产技术日新月异,产业技术革新不断加快,信息化程度不断提高,高职院校教师只有不断提升自身的信息化技术能力、技术研发能力和社会服务能力,才能适应企业不断技术革新发展的需求。二是高职院校大多数教师的国际化应用能力不足。助力企业"走出去"、服务"一带一路"建设是高职教育特别是"双高计划"建设的十大任务之一。目前大多数高职院校具有"双能、双语教学"授课能力的教师不足,缺乏服务境外企业发展的教师。三是教师信息化技术应用能力不足。随着《教育现代化2035》实施的不断加快,"互联网+"教学逐渐成为院校教师授课的一种新常态,部分院校教师尤其是一些老教师仍喜欢采用传统方式授课,应用信息化的能力不能满足现代化课堂教学需求,专业教师信息资源开发能力、信息技术使用能力及教育教学信息资源筛选与应用能力需要进一步提升。

三、"双高计划"背景下高职院校教师队伍分类管理培育的实施策略

"双高计划"建设要遵循高职院校教师成长发展和高职教育教学发展规律,充分发挥院校教师"第一资源"核心作用,深入推进高职院校教师发展管理制度与绩效考核改革,从师德建设、分类培育、分类遴选、分类发展、分类考核等方面构建突出高职教育类型发展的教师分类管理培育体制机制,打造一支师德高尚、素质优良、结构合理、技艺精湛、业务能力强、拥有家国情怀、甘于敬业奉献、精于教育教学、长于技术技能的高水平"双师型"教师队伍,从而提高人才培养与产业发展的契合度,服务国家战略及区域经济社会发展,为国家提供坚强的发展后盾和坚实的人才需求支撑。

1.加强教师思想政治教育和师德师风建设。在高职院校党委领导下,坚持中国特色社会主义教育发展道路,充分发挥教师工作部(教师发展中心)的作用,统筹推进教师思想政治教育和师德师风建设。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,加强党对高校人才队伍领导,深入贯彻党的教育方针,以立德树人为根本,构建彰显职业教育类型特征的师德师风建设制度体系和长效机制,推行师德考核负面清单制度,始终把思想政治建设放在教师队伍建设的首要位置,完善师德评价指标体系,纳入教师年度、聘期考核和职称评审,加强教师法治和纪律教育,实行"师德一票否决制",推动师德建设长效化、制度化、常态化。引导院校全体教师以有理想信念、有道德情操、有仁爱之心和有扎

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实知识的“四有”好教师为标准,以“四爱”(爱国、爱校、爱生、爱己)为主线,规范教师职业行为,提升教师职业道德。通过师德师风建设,树立师德楷模、宣传师德典范、讲好师德故事、严格师德师风的考核与评价等活动,用典型的力量带动人、用榜样的力量鼓舞人、用高尚的情操感化人、用先进的思想引导人,通过现身说法诠释高尚师德,辐射带动人人争学争做,推动院校教师师德师风建设整体上水平。

2.实施各类教师培育制度。根据高职教育特点及教师职业分类发展需要,以教师分类管理与培育为着力点,以构建教师专业学习共同体为核心,设置不同发展系列和配套的管理保障体系,将具有共同的专业学习和应用、共同目标、共同价值观与共同教育理念的教师组成团队,将教师岗位职责、绩效考核、激励机制、薪酬分配等有机结合起来,建立科学精准、完善有效的教师团队考核评价管理机制,促进团队成员之间的共同协助、共同成长和共同发展,让每位教师都能够人尽其才、才尽其用,实现教师个人发展与团队发展的高度融合。一是以国家或省级教学名师为核心打造高水平专业教学团队(如黄大年式专业教学团队)。以专业建设为中心,充分发挥国家级、省级教学名师的在专业教学中的引领和带动作用,打造国家级、省级和校级“三级”高水平专业教学培养梯队,促进院校教学名师不断自我提升以及中青年骨干教师专业成长。二是以技能大师(以国家级、省级技能大赛获得者作为团队牵头人)为核心,建设各类技能大师工作室,大力培育和弘扬教师技术技能和工匠精神,打造高水平实践(实训)专业技能人才培养发展高地,充分发挥技能大师和技术能手在绝技绝艺和技能攻关等方面对团队其他教师不断领悟感知及“传帮带”的作用,打造实践技能突出、技艺高超、具有工匠精神的实践(实训)教学高技能人才团队。三是以专业学术技术带头人(以既有学术又有专业技术者作为牵头人)为核心,依托应用技术推广中心、产品工艺开发中心、技能传创中心、应用技术研究中心等协同创新发展中心,以技术研发、技术转让、技术服务、技术咨询等项目为纽带,充分发挥专业学术技术带头人的指导和引领作用,着力培养能够解决企业实际生产技术难题、改进企业产品工艺和流程、为企业提供技术研发和技术咨询的骨干教师,培育在专业领域和行业企业具有较高社会影响力和知名度的科技创新应用团队。四是以创新创业导师(主要由教授或博士人员牵头)为核心,充分发挥创新创业导师的带动和指导作用,培育具有丰富实践经验、深厚创业理论功底、精通专业知识的高水平创新创业专业优秀教学团队,促进广大教师积极开展创新创业实践活动。同时,不断优化创新创业运营环境,推进教学、科研、实践一体化教学,为创业者们(主要是学生)提供专业化、全程化、个性化等实用有效的帮助和指导,不断增强创业者的创新精神、创业意识、创业信心和创新创业能力,全面提升创业者的创业水平,为未来走上社会打下坚实的创业基础。五是以院校专家管理型辅导员(主要以院校二级院系分管学生的书记或副书记为牵头人)为核心,打造优秀学生干部管理团队。坚持立德树人为根本任务,充分发挥专家管理型辅导员的带动和引领作用,围绕学生班级和党团建设、心理健康教育与咨询、思想政治教育、学生日常事务管理、就业指导与职业生涯规划、网络思想政治教育等方面开展研究和实践创新,打造专家管理型辅导员队伍,提高辅导员队伍的管理水平,积极探索新时代大学生管理工作的新方法、新思路、新途径,不断提升青年骨干辅导员教师队伍,锻造优秀学生管理的教学团队。

3.明确各类人才分类遴选标准。由于高职教育既具有职业教育的本质属性又具有高等教育的教育特征,因此,高职院校人才分类遴选标准应体现高职教育作为类型教育的本质特征。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一是以专业教师教学综合能力为重点选拔教学名师。在遴选教学名师时,以优良师德师风为前提,注重教师专业能力的强度、专业知识的深度、专业教育理念的高度以及专业教学实践的广度和深度,通过“师德”“能力”“知识”“理念”“行为”五方面素质的有机结合,打造具备综合能力素养的教学名师。二是以技能攻关、绝技绝艺和技术能手为重点,选拔技能大师。以服务国家战略性及新兴产业、区域社会高端产业和产业高端为重点,选拔专业领域技能拔尖、技艺精湛、爱岗敬业、具有工匠精神且在专业、行业、企业(社会)具有较大影响力的高水平技术技能人才。三是以专业学术影响力为重点选拔学技大师。遴选具有丰富教学工作经验、深厚学术造诣、社会影响较大、科学研究能力较强的教师为学技大师,并重视应用技术的开发和研究,不断积极开展社会咨询和社会服务。四是重点选拔具有创新创业潜能的教师为创新创业导师。要选拔专业基础知识扎实、创新创业(即“双创”)实践能力突出、教学经验丰富、有较强的创业发展潜能和创业意识以及较强专业理论知识的优秀教师。五是以思想政治教育工作为重点选拔专家管理型辅导员。高职院校学生具有多样性,包括普通高中生、中职生、五年一贯制学生及现行社会入学人员(含下岗职工、退役人员、农民工等)。辅导员工作是一个集多种专业知识和能力的综合型岗位,承载着开展青年大学生思想政治教育、辅导学生成长成才等多项繁重工作任务。遴选的教师要具有坚定的政治信念和理想信念、高超的管理艺术、精深的学识造诣、高尚的思想品格,同时能够在日常学生管理中办事公道、作风正派、工作细心和踏实,在日常学生教育与管理中敢于大胆创新与探索,有独特的工作方式方法和先进的管理理念,在广大教师、辅导员队伍及学生中有较高的社会影响力和人格魅力。

4.打造分类人才管理培育发展平台。根据高职教育特点,高职院校应为专业教学名师团队、技能大师团队、创新创业导师团及专家管理型辅导员团队组建工作室,并出台系列配套支持政策,为学技带头人搭建科技创新发展平台,按照国家级、省级、校级“三级”团队建设标准,从场地规划、人员配备、经费、项目审批与管理及相关资源配置等方面大力给予政策支持,并加大扶持力度。通过搭建各人才分类管理培育工作室及发展平台,发挥院校各类人才带动和引领作用,促进院校教师教学、科研、服务等整体水平的提升。

一是不断深化专业教学名师的指导和带动作用。第一,打造高水平专业教学名师智库交流平台。以教学名师工作室为中心建造高水平专业教学团队,依托本专业领域重大研究课题和重大教学教研活动,联合瞄准攻关本专业社会发展前沿,着力解决影响专业发展的主要问题,不断提高教师专业教学能力和授课水平,形成专业教学成果并应用于实际课堂教学中,提高社会影响力。第二,构建专业教学团队中青年教师能力提升发展平台。加强团队教学名师对中青年骨干教师的指导和带动作用,每周进行1~2次研讨,形成长效运行培养管理机制,通过教学名师亲身示范、引导及“传帮带”,带领中青年教师积极参与教材建设、专业学术交流、专业建设、课程改革、教育教学改革研究、专业教学综合改革等,进一步推广教学名师工作室的教学改革成果和成果经验分享。第三,以“互联网+”为纽带,打造教学名师网络化教学发展平台。开发国家级、省级、校级“三级”教学名师精品在线课程,进一步扩大教学建设与教学改革发展成果,使教学名师的教学成果能够与外界实现分享和推广,从而把专业教学名师工作室打造成教师职业教学能力发展的加油站、课程改革的实验室、教学方法改革的操作间、专业建设与发展的智囊团、教学研究成果的推广站。

二是发挥技能大师和技术能手传帮带或

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“师带徒”的指导作用。第一,打造技术技能人才提升服务发展平台。以技能大师工作室组建实践(或实训)技能教学服务团队,主动承担地方政府相关部门、区域社会行业企业(或产业)及职业院校等在新技能革新、工艺优化、技术攻关、技术咨询、技能研修和技术服务等方面的工作,解决行业企业实际生产发展中的故障及技术难题,推动院校技术技能服务水平不断提升,提高社会影响力。第二,打造学生技术技能水平提升发展平台。以国家和行业举办各级技能大赛为抓手,建立人才培养常态化发展管理机制和科学的技能训练管理体系,制定实践教学技术标准、能力标准,加强技术技能系统性训练,强化理实一体化教学,不断提升人才培养质量和学生未来走上社会的竞争力。第三,打造团队中青年教师技术技能成长发展平台。以技能大师工作室为发展平台,引导中青年教师到企业参与实践锻炼,在高端技能竞赛、专业实训及技能实践(实训)中发挥带徒传技作用,带动中青年教师提升技术技能水平。

三是打造高水平科技创新研究团队。第一,以项目技术研发为纽带,整合院校自身的科技研发资源,以校企合作、产教融合一体化教学平台为载体,通过与区域行业企业合作开展产品研发、项目推广、技术咨询、技术服务等工作,进一步激发高职院校的办学实力和社会影响力。大力培育并组建产、学、研、用一体化科技创新研究团队,使高等学校、行业企业、科研院所等多方参与,并协同创新发展。第二,坚持以市场需求为导向,以服务社会为己任,凝聚创新资源,根据国家发展战略及区域经济转型升级与新兴战略产业发展需要,培育在区域行业企业和专业领域有较高社会影响力和知名度的科技创新研究团队。该团队负责前瞻性技术研发、技术咨询、技术服务等,促进产、学、研、用协同创新发展,为企业提供专业和全时服务,为区域经济社会行业企业技术创新能力提供科技发展支撑,并把科研项目成果转化为课堂教学资源,推动科研成果转化并反哺教学。

四是充分发挥创新创业导师的指导和带动作用。第一,组建多学科多领域交叉的创新创业导师实践教学团队。通过团队不断改进与创新教育内容,培养师德高尚、结构合理、技艺精湛、专兼结合、素质优良的“双师型”创新创业骨干教师人才培养梯队。同时,打造专业知识精通、政治思想过硬、理论功底深厚、实践经验丰富、作风踏实及具有工匠精神的高水平创新创业教学团队,为创业者们提供个性化、专业化、全程化、一体化的创新创业指导和帮助。第二,以创新创业团队为核心打造高水平创新创业孵化平台。通过多种渠道,拓宽在校学生的实践锻炼机会,激发更多学生参与创新创业设计和实践锻炼,增强学生的创业潜能、创新精神和创业意识,拓宽创新思维培养和创业能力锻炼,不断提升学生创新创业能力,提高院校实践教学的创新成果。

五是发挥专家管理型辅导员的“传帮带”作用。以专家管理型辅导员为核心,针对新时代大学生思想政治教育面临的难点和热点问题,以学生工作实际为基础及成员集体智慧为依托,深入进行专题调查研究,不断探索对当代大学生实施日常教育的新理念、新思想、新途径、新方法;针对学生工作的实际和思想意识的薄弱环节,推进实践创新;围绕立德树人根本任务,紧贴当代大学生日常工作、学习生活、思想心理等需求,积极开展富有学生管理发展性、时效性、创造性和具有推广价值的实践管理成果。

5.不断强化对各分类人才管理的综合评价与考核。根据高职院校不同类型教师的工作特点和岗位职责,实施教师分类实施、分类管理、分类考核评价,对于拓宽教师个人职业发展通道、发掘教师自身潜质、建立高效的教师协作团队精神、形成正向激励管理机制等具有十分重

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

要的作用。构建教师“家国情怀彰显度、学校发展贡献度、教育教学满意度、校企互动活跃度”四度评价体系。同时,充分发挥高职院校党委教师工作部(教师发展中心)的行政职能和领导作用,由教师工作部(教师发展中心)联合校人事处、教务处、科研处、学生处等部门统筹教师的分类考核和团队评价。完善教学名师及技能大师、学术技术带头人、创新创业带头人、辅导员名师的选拔办法,教学名师、技能大师、学术技术带头人、创新创业带头人、辅导员名师工作室建设管理办法,“双师型”教师认定和管理办法,教师企业实践锻炼管理办法等,并根据岗位职责和任务要求,建立健全基于多元化教师岗位分类管理和团队评价的考核评价管理机制。在各团队组建后,要以教师聘期所聘岗位及岗位目标、建设任务为依据,对各团队岗位目标、建设任务及其工作职责进行绩效考核,考核其为政府和社会提供的人才培训和政策咨询效果、为区域经济社会和院校发展所做出的贡献、成果转化后形成的经济效益等;完善对各类教师团队建设的绩效考核与过程管理,同时兼顾定性和定量、团队与个人的教师岗位考核,建立早期评估、中期考核、届满考核等重要节点考核制度,完善以业绩贡献和能力水平为导向的绩效工资动态调整机制,优劳优酬,形成激发教师队伍活力、促进教师正向发展的管理机制和激励评价机制。

四、结语

21世纪是科学技术大放异彩的时代,是知识经济引领人类社会经济发展的时代。21世纪的竞争是人才的竞争,而人才的竞争归根结底是教育的竞争。《国家职业教育改革实施方案》《中国教育现代化2035》等文件为我国下一阶段的教育发展指明了前进方向,明确了主要任务,是增强我国综合国力和国际竞争力的重大战略安排。广大职业教育工作者应当认真学习,深刻领会党的十九大报告和《国家职业教育改革实施方案》等文件精神,提高思想认识,清晰认识到我国高职院校“双师型”教师队伍的综合素质与“双高计划”提出的建设要求还存在一定差距,从而树立院校分类管理的科学观念,准确定位高职教师特点,在教师专业发展中建立行之有效的管理策略。加快推进高职院校教师队伍建设和培养工作,不仅是推动高职院校内涵式发展的重要基石,也是提高院校人才培养质量的重要保障,对推动我国教育现代化的顺利实现具有重要意义。

[注释]

①教育部、财政部.关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见(教职成〔2019〕5号)[Z].2019-03-29.

[参考文献]

[1]郭天平,陈友力.“双高计划”建设视域下高水平教师队伍分类管理培育机制研究[J].现代教育管理,2019(8):66-70.

[2]王金友,蒲诗璐.高校教师岗位分类管理探析——基于现代大学人事管理体制改革的视角[J].中国高校师资研究,2014(1):1-6.

[3]何静,代晓容.高职院校师资队伍分类分层管理与建设机制研究[J].职教论坛,2018(10):72-77.

[4]谢西金.高职教育教师岗位分类管理及其激励与约束机制研究[J].职教论坛,2017(22):49-52.

[5]杨俊杰.基于分类分层的高职教师有效激励研究[J].教育与职业,2013(3):70-71+72.

[6]代亚松,张家俊,肖淑倩.高职院校教师岗位分类管理的实施路径思考[J].潍坊工程职业学院学报,2018(7):43-47.

[7]曹晔.职业教育教师队伍建设的新思路、新机制、新举措[J].职业技术教育,2017(1):37-42.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16298/j.cnki.1004-3667.2021.04.16

“双高计划”绩效评价指标体系内涵分析与权重确定*

刘 斌 邹吉权

摘 要: 教育部 财政部印发了《中国特色高水平高职学校和专业建设计划绩效管理暂行办法》,对于提高“双高计划”建设项目资金配置效益和使用效率,确保“双高计划”建设目标如期实现具有十分重要的意义,体现了鲜明的绩效导向。在对《办法》进行解读的基础上,重点解决两个问题:一是在《办法》给出的三级绩效指标的基础上,对数量指标和质量指标的九大建设任务的指标进行细化,使指标体系更加系统完善;二是采用德尔菲法确定三级指标体系的权重,使评价结果可测量、可比较。

关键词: “双高计划”;绩效评价;指标体系;德尔菲法;权重

一、引言

2020年12月,教育部、财政部印发了《中国特色高水平高职学校和专业建设计划绩效管理暂行办法》(以下简称《办法》)[1],这是落实《教育部 财政部关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》的又一重要举措,对于提高“双高计划”建设项目资金配置效益和使用效率,确保“双高计划”建设目标如期实现具有重要意义。《办法》设计了三级绩效指标体系,一级指标包括产出指标、效益指标和满意度指标三项,二级指标包括数量指标、质量指标、时效指标、社会效益指标、可持续影响指标和服务对象满意度指标六项。三级指标中,数量指标和质量指标均为“双高计划”建设的“四打造”“五提升”九大任务,每项任务中还包括若干子指标,实际是四级指标体系。社会效益指标包括三个贡献度,即引领职业教育改革发展和人才培养的贡献度,支撑国家战略和区域经济社会发展的贡献度,推动形成一批国家层面有效支撑职业教育高质量发展的政策、制度、标准的贡献度。服务对象满意度指标包括在校生满意度、毕业生满意度、教职工满意度、用人单位满意度、家长满意度五项指标。

当前有两个问题亟待解决。其一是细化。《办法》的附件1《双高学校建设数据采集表》只细化至三级绩效指标,特别是产出指标中的数量指标和质量指标,其三级指标均为“双高计划”九大建设任务,对于每项任务到底填报哪些关键绩效指标,如何区分数量指标和质量指标,没有更细化的指标体系和指导性意见,因此,各“双高计划”建设院校绩效指标数据填报大相径庭,在中期和最终绩效评价时,很难在“双高计划”建设院校之间进行横向比较,难以实现“双高计划”绩效评价管理的初衷。其二是量化。若使评价指标可比较、可测量,不仅要有统一详尽的指标体系,还要为各项指标合理加权,只有科学、客观、精确地分配绩效评估指标权重,才能实现“双高计划”绩效评价的公平公正,才能使评价结果能够横向比较。本研究在对《办法》进行解读的基础上,重点解决上述两个问题。

二、“双高计划”绩效评价指标体系的特点

“双高计划”目标要建设一批引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职学校和专业群,因此《办法》提出,绩效目标着重对接国家战略,响应改革任务部署,紧盯“引领”、强化“支撑”、凸显“高”、彰显“强”、体现“特”,展示在国家形成“一批有效的职业教育高质量发展政策、制度、标准”方面的贡献度。该指标体系具有如下特点。

1. 紧盯“引领”。职业教育作为一种类型教育,

* 本文系2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”(DJA190347)的研究成果

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

现有人才培养模式已不能适应新时代发展要求，政策制度尚不健全，标准体系尚不完善，因此《办法》提出紧盯“引领”，即要形成一批有效的职业教育高质量发展政策、制度、标准，形成可复制、可推广、可借鉴的模式、经验，从而实现价值引领、模式引领、制度引领、标准引领。

“双高计划”要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，以习近平总书记关于教育特别是职业教育的重要论述为根本遵循，按照德智体美劳全面发展的教育思想，以立德树人为根本，构建德智体美劳全面发展的人才培养体系，以实现德智体美劳五育的内在统一和人的全面发展，大力提升人才培养质量，从而实现价值引领[2]。要牢牢把握职业教育的类型特点，不断适应新技术、新产业、新业态，以职业需求为导向，定准人才培养目标、创新人才培养模式和机制，深化产教融合，强化校企双主体育人，大力推进“三教”改革和1+X证书制度实施，推动人才培养的质量变革、效率变革、动力变革，形成可借鉴、可复制、可推广的模式，从而实现模式引领。

职业教育作为一种教育类型，必须在国家层面建立一套有别于普通教育的完善的法律、法规、制度，而这项工作尚处于起步阶段。从立法方面看，需要制定与新修订的《职业教育法》相配套的法律法规；从制度方面看，亟需制定和完善职教高考制度、国家资历框架制度、普职融通制度、产教融合（校企合作）制度、职教本科（学位）制度、混合所有制办学制度、公平的升学与就业制度等[3]。“双高计划”建设学校必须加强职业教育理论研究和实践探索，展示在国家“形成一批有效的职业教育高质量发展政策、制度”方面的贡献度，从而实现制度引领。《国家职业教育改革实施方案》提出，要开发国家职业技能等级标准，完善职业学校设置标准，实施教师和校长专业标准，持续更新并推进专业目录、专业教学标准、课程标准、顶岗实习标准、实训条件建设标准（仪器设备配备规范）建设，这就要求“双高计划”建设学校要为国家层面形成完善的职业教育标准体系提供理论依据和新鲜经验，从而实现标准引领。

2. 强化“支撑”。“双高计划”建设学校要通过人才培养、技术研发、社会培训等路径服务国家战略和区域经济社会发展。党的十九大报告提出了实施科教兴国、人才强国、创新驱动发展、乡村振兴、区域协调发展、可持续发展、军民融合发展等七大国家战略，其中区域协调发展又包括京津冀协同发展、雄安新区建设、长三角一体化发展、粤港澳大湾区建设、长江经济带发展、黄河流域生态保护和高质量发展、推进海南全面深化改革开放等重大国家战略；国家战略还包括“一带一路”国家级顶层合作倡议以及积极应对人口老龄化等。服务国家战略是“双高计划”建设学校必须履行的政治担当。在服务区域经济社会发展方面，“双高计划”建设学校应面向区域重点产业、支柱产业、战略新兴产业和现代服务业，大力提升技术技能人才供给水平、增强技术创新支撑能力，助力区域产业链转型升级和企业技术创新，助推传统产业高端化、智能化、绿色化，推动生产性服务业向专业化和价值链高端延伸。

3. 凸显“高”彰显“强”。凸显“高”、彰显“强”，是针对数量指标和质量指标的“双高计划”九大建设任务而言的。要坚持高标准定位、实施高水平建设、实现高质量发展，不断提升教育教学质量、技术研发水平、师资队伍水平、校企合作水平、服务发展水平、学校治理水平、信息化水平和国际化水平。“高”“强”的衡量尺度是什么？《职业教育提质培优行动计划（2020—2023年）》的出台，就是要系统解决职业教育吸引力不强、质量不高、服务能力不足的问题，行动计划实施期间，要遴选一大批“三全育人”典型学校、德育特色案例、思政课教师研修基地、思想政治课教学创新团队、思想政治课示范课堂、课程思政教育案例、省域高水平高职学校和专业群、示范性继续教育基地、优质继续教育网络课程、社区教育示范基地和老年大学示范校、国家“万人计划”教学名师、国家级教师教学创新团队、校企双元合作开发的职业教育规划教材、职业教育“课堂革命”典型案例、职业教育信息化标杆学校、虚拟仿真实训基地、职业教育在线精品课程。进入上述遴选名单必然是衡量产出的重要指标，也是衡量“高”“强”的重要标尺。

4. 体现“特色”。一所高职院校的办学特色是指其在长期办学实践中逐渐形成的适应经济社会发展需求、符合高等职业教育本质规律、比较持久和稳定的发展方式，以及被社会公认的独特、优质的办学特征[4]。人才培养要体现不可替代性，即教育类型的不可替代性——职业性，服务面向的不可替代性——区域性，人才培养规格的不可替代性——卓越性，彰显人才培养特色。坚持校企合作平台的实体化、合作机制的市场化、合作伙伴的高端化、合作模式的多元化，打造校企命运共同体，彰显产教融合特色[2]。健全多元共治的治理结构，深化以章程为核心的制度体系建设，凸显职业教育的类型特点，在“以群建院”二级学院治理、教师聘用管理评价等方面实现重

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

点突破，彰显学校治理特色。

5. 注重“满意”。办好新时代人民满意的高等职业教育是“双高计划”的落脚点和归宿，“双高计划”坚持以人民为中心的发展思想，发展为了人民，发展依靠人民，发展成果由人民共享。“双高计划”建设成效到底怎么样，有没有促进公平、提升质量，学生说了算、校友说了算、教师说了算、企业说了算、家长说了算，因此满意度指标被列入“双高计划”绩效评价指标体系三大一级指标之一。“双高计划”建设学校必须以学生的发展为中心，大力促进学生的全面发展、个性发展和可持续发展，不断改善教育教学设施、提高教育教学质量，提供高质量管理和服务，加强教师与学生的情感沟通，营造良好的校园文化，大力提升在校生满意度。必须坚持面向未来职场的专业教育理念，坚持职业性和专业性相统一，面向未来职场，培养满足职场能力需求、能融入职场文化、会整合利用职场资源并接受职场检验的毕业生[5]，不断提高毕业生的职场竞争力，大力提升毕业生满意度。创新教师聘用管理的体制机制，建立以业绩贡献和能力水平为导向的评价体系，营造公平竞争环境，为教师的职业发展提供广阔空间，同时不断提升教师待遇水平，注重缓解教师工作压力，建立和谐的人际关系，大力提升教职工满意度。创新产教融合、校企合作模式，大力提升毕业生的岗位适应能力、沟通协作能力、独立工作能力、组织管理能力和创新能力，强化敬业精神与职业道德培养，大力提升用人单位满意度。不断提升学校的知名度和社会影响力，强化教育的增值评价，让在校学生每个学期都有明显的变化，变得更加“阳光”“懂事”，大力提升家长满意度。

三、数量指标和质量指标的内涵分析

按照传统的统计学定义，数量指标是说明总体外延规模的指标，反映的是社会经济现象的广度，一般用总量指标表示；质量指标是说明总体内涵量的指标，表明总体之间的数量关系，它反映了社会经济现象的深度，一般用相对指标、平均指标和变异程度指标表示[6]。“双高计划”绩效产出的数量指标和质量指标显然不能套用这个概念，不管是数量指标，还是质量指标，都是围绕“引领”“支撑”“高”“强”“特”来设计的，很少有离开质量内涵的数量指标。在本指标体系构建时，笔者大体上将衡量“双高计划”建设任务自身的“高”“强”“特”指标划归数量指标，将得到国家认可或为经济社会作出直接贡献的“引领”“支撑”类指标划归到质量指标。

1. 打造技术技能人才培养高地。人才培养是高职院校最核心、最主要的职能。该项任务从生源质量、培养过程质量、在校生质量和毕业生质量四个维度构建指标体系，包括数量指标和质量指标。生源质量维度中，数量指标包括录取计划满足率、报到率、第一志愿报考率以及分数高低四项指标，质量指标主要衡量学校招生制度改革、相应国家百万扩招计划等指标，包括分类招生比例、百万扩招人数、招生评价方式改革、校企联合招生人数四项指标。

培养过程质量维度中，数量指标包括德智体美劳全面培养的通识教育课程体系、教育教学标准体系、取得职业技能等级证书的学生比例、模块化课程、活页式教材、专业课程项目化教学比例、专业课程情境化课堂比例、实施课程思政的比例、学生社团参与度等；质量指标主要归纳了国家级奖项、称号、标准等项目，包括入选“三全育人”典型学校、入选德育特色案例、思政课教师研修基地、思想政治课教学创新团队、思想政治课示范课堂、课程思政教育案例、职业教育国家规划教材、国家教学成果奖、国家精品在线开放课程、职业教育“课堂革命”典型案例、参与开发国家（行业）专业教学标准等指标。

在校生质量维度中，数量指标需列举5名优秀在校学生并简要介绍其在校学习期间取得的成果（如参加竞赛获奖、参加重要科研项目、取得重要科研成果、创新创业、获得科研奖励或其他荣誉称号等），由专家进行打分评价；质量指标包括学生在国家级各类大赛获奖、获国家级荣誉称号以及取得科研成果和专利等。毕业生质量维度中，数量指标包括就业人数、就业率、升本率、专业相关度、月收入、自主创业比例、雇主满意度、毕业3年职位晋升比例等指标，质量指标需要列举5名杰出校友典型案例，由专家进行评价。

2. 打造技术技能创新服务平台。技术创新能力是高职学校的核心竞争力，“双高计划”将技术技能创新服务平台列为“双高计划”建设的两大支点之一，引导高职学校以技术技能积累为纽带，促进高校三大职能的有机结合、协同促进。该项任务从科研平台、科研项目和科研成果三个维度构建指标体系，充分体现职业教育类型特色。

科研平台维度中，数量指标包括技术研发中心、品牌智库和创新创业学院3项指标；质量指标主要包括中国智库索引数（CTTI）、省级培育高校智库、省级人文社科重点研究基地、国家级众创空间、省部级及以上技术工程中心（技术研发中心、科技成果转化中

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

心）、省部级及以上重点实验室、省部级检验（检测、鉴定）中心。科研项目维度中，数量指标包括横向技术服务到款额、纵向科研经费到款额两项指标，质量指标包括国家级课题和省部级课题两项指标。

科研成果维度中，数量指标包括发明专利授权数、发明专利转让数、技术交易到款额、技术成果转化教学资源比例、关键技术攻关或解决技术难题数、中文核心期刊发表论文、出版学术专著等。质量指标包括国家级、省部级科学研究成果奖，省部级及以上专利奖、技术服务产生的经济效益，职业教育决策咨询建议入编国家级、省级内参，制定区域职业教育发展规划、相关制度，制定地方产业发展规划等。

3. 打造高水平专业群。“双高计划”要求“发挥专业群的集聚效应和服务功能，实现人才培养供给侧和产业需求侧结构要素全方位融合”，专业群建设是中国特色高水平高职学校建设的关键内容和核心要义。为避免与其他任务指标重复，这里只选取了与专业群直接相关的指标，数量指标包括支撑区域支柱产业专业群比例、专业群资源共享度、基于专业群的人才培养方案和课程体系、基于专业群的1+X证书制度实施机制、以群建院的治理机制、专业动态调整机制等；质量指标包含国家级高水平专业群数量、省域高水平专业群数量。

4. 打造高水平双师队伍。“双高计划”提出，打造数量充足、专兼结合、结构合理的高水平“双师型”队伍。该项任务从双师队伍、双师平台、双师制度三个维度构建指标体系。双师队伍维度中，数量指标包括生师比、“双师型”教师比例、特聘产业导师、高水平结构化教师教学创新团队、引育高水平专业群带头人、“双师型”教学名师、技能大师、专业教师X证书取证率、新进专业教师具有3年以上企业工作经历的比例等；质量指标包括国家级高水平结构化教师教学创新团队，国家“万人计划”教学名师、全国教书育人楷模、全国模范教师、全国师德标兵、全国黄炎培职业院校杰出校长（杰出教师）、国家级技能大师、全国技术能手等国家级荣誉称号，教师获世界技能大赛奖、中华技能大奖、全国职业院校技能大赛教学能力比赛奖、全国职业院校教师微课大赛奖等奖项。双师平台维度中，数量指标包括教师发展中心、技能大师工作室、名师工作室、校企共建“双师型”教师培养培训基地、教师企业实践基地等；质量指标包括国家级“双师型”教师培训基地、国家级“双师型”名师工作室、国家级“双师型”教师培养培训示范单位、国家级教师技艺技能传承创新平台、国家级示范性教师企业实践流动站、省部级及以上技能大师工作室（技能人才创新工作室）等。双师制度维度中，包括“双师型”教师认定标准、专业（群）师资队伍配备规范、创新教师评价机制、绩效工资动态调整机制、创新兼职教师管理模式、教师企业实践制度等指标。

5. 提升校企合作水平。校企合作是职业教育的重要特征，从两个维度考核校企合作绩效，一是校企合作平台，打造校企命运共同体；二是校企合作育人，主要考核企业参与教育教学的深度。校企合作平台维度中，数量指标包括深度合作企业数量、高水平产教融合实训基地、基于“1+X”制度建设（升级）职教集团、产业学院、混合所有制二级学院、校中厂、厂中校等指标；质量指标包括与世界500强及国内龙头企业合作企业数量、国家级现代产业学院、国家示范性职教集团、国家现代学徒制试点专业等。校企合作育人维度中，数量指标包括校企合作开发专业人才培养方案、校企合作制定专业教学标准、校企合作开发课程、校企合作编写教材、合作企业兼职教师专业课授课学时比例、合作企业接收学生实习实训学时、订单式人才培养人数、现代学徒制人才培养人数、学生在合作企业就业比例等；质量指标包括校企合作开设新专业、在行业组织中担任职务的教师、学校联合培训评价组织开发职业技能等级标准、校企联合技术攻关项目、合作企业对院校捐赠设备总值（含放置在学校无偿使用设备）、企业对学校投入资金等。

6. 提升服务发展水平。社会服务是职业院校的三大基本功能之一。从服务面向说，包括服务国家战略、服务区域经济社会发展、服务终身学习型社会，前两项在社会效益指标中已经体现，这里不再重复列入；从服务途径说，包括人才培养、技术研发和社会培训等，但人才培养和技术研发在相关项目中已体现，这里也不再重复列入。此处只选择了服务终身学习型社会维度，其数量指标包含非学历培训人数、非学历培训到款额、承担国培项目数、接待中小学职业认知和职业体验人数、开展1+X证书制度专业覆盖率、实施职业技能等级证书个数、职业技能等级证书考点数、继续教育网络课程、对外开放数字化资源等；质量指标包含全国职教师资培养培训基地、国家示范性职工培训基地、国家示范性继续教育基地、国家社区教育示范基地、国家老年大学示范校、国家优质继续教育网络课程、区域性职业教育联盟等。

7. 提升学校治理水平。该项建设任务的数量指

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标主要考核学校的治理机构是否健全，治理制度体系是否完善，包括学校章程、学校理事会、学术委员会、专业建设委员会、教材选用委员会、专门的教学诊断与改进部门以及以章程为核心的制度体系；质量指标紧紧围绕职业教育的类型特点、紧盯体制机制的难点痛点问题提供案例，包括多元共治、智慧化治理、以群建院、人事聘任管理评价、教学诊断与改进、学术委员会有效运行等方面的创新，由专家打分评价。

8. 提升信息化水平。提升信息化水平包括基础设施、信息化教学、智慧治理、智能服务四个维度，其中智慧治理和智能服务两个维度在“提升学校治理水平”中体现，通过案例加以说明，本项任务只包括基础设施与信息化教学两个维度。在基础设施维度中，数量指标包括校园总出口网络带宽、校园无线网络覆盖率两项。信息化教学数量指标包括线上开设课程数量、数字化图书及各类电子文献数据库资源量、以“信息技术+”升级传统专业、开展线上线下混合式教学课程、专业资源库数量、智慧教室、虚拟仿真实训资源等，质量指标包括国家职业教育信息化标杆学校、国家示范性虚拟仿真实训基地、国家职业教育在线精品课程三项。

9. 提升国际化水平。该项任务的数量指标包括全日制留学生人数、国（境）外人员培训量、承担“走出去”中资企业海外员工培训人数、教师参加国际培训人数、专任教师赴国（境）外指导和开展培训时间、开发并被国（境）外采用的专业教学标准数、开发并被国（境）外采用的课程标准数、开设国（境）外办学机构、引入国际资源开设国际化二级学院等，质量指标包括鲁班工坊个数、牵头成立国际化联盟（中心）、举办高水平职业教育国际论坛、师生在国际技能大赛获奖数量等。

四、绩效评价指标权重确定

本研究采用德尔菲法（Delphi）确定三级绩效评价指标体系权重。指标权重确定过程为：①第一轮专家调查。第一轮专家调查没有任何限制和说明，专家凭各自的经验和理解独立自主打分，直接给出三级指标权重。②对第一轮专家调查数据进行统计处理、分析，并将分析结果提供给调查专家，并就指标体系构建思路和内容，九大建设任务之间指标重叠的部分如何处理，向调查专家做出进一步解释和说明，由专家进行第二轮打分。③对第二轮专家打分结果进行统计分析，计算各级指标变异系数、肯德尔协调系数，依据专家打分的中位数和均值，最终确定绩效评价三级指标体系的权重。

调查对象为京津冀24所“双高计划”建设学校，每所学校两位专家，共发放问卷48份，回收20所“双高计划”建设院校36位专家调查问卷，有效问卷36份，专家的积极系数为75%，说明大部分专家非常关注此问题。36名专家中，从职称上看，正高职称23名，占63.9%；副高职称11名，占30.6%；其他2名，占5.5%；从职务上看，主管“双高计划”建设的校级领导16名，占比44.4%，其余专家为“双高”办主任、教务处长、职教所所长、质管办主任等职务，均非常熟悉“双高计划”，说明打分专家具有较高的权威性。调查方式由专家对“双高计划”绩效评价三级指标体系权重进行打分，采用百分制。

1. 第一轮专家调查数据分析。首先分析专家打分的集中程度。对专家调查数据进行统计分析，列出一级、二级、三级指标权重数据统计结果，包括每一项指标的中位数、均值、最大值、最小值、标准差和变异系数，其中变异系数为标准差与均值的比值，即$V_j=\sigma_j/M_j$。第一轮打分表结果表明，一级、二级、三级指标变异系数绝大部分在0.2~0.5之间，但时效指标与可持续影响指标的变异系数均大于0.6，此项指标专家打分的分散度较大。其次分析专家打分的协调程度。使用SPSS 23.0软件分别计算一级、二级、三级指标专家打分的肯德尔协调系数W，并对其进行卡方检验。结果表明，一级指标和二级指标专家打分的肯德尔协调系数分别为0.869和0.920，协调程度很好，三级指标的协调系数为0.309，协调程度偏低。经卡方检验，p值均小于0.01，具有统计学意义[7]。将上述统计分析结果反馈给专家，进行第二轮打分。

2. 第二轮专家调查数据分析。表1、表2、表3分别给出了一级、二级、三级指标权重第二轮专家打分统计结果，结果表明，3个一级指标变异系数分别为0.06、0.20、0.19，6个二级指标变异系数分别为0.08、0.11、0.28、0.21、0.35、0.19，29个三级指标变异系数绝大部分在0.3以下，只有1个指标变异系数达到0.4，比第一轮的集中程度有大幅提高，集中程度比较满意。使用SPSS 23.0统计软件分别计算一级、二级、三

表1 一级指标权重第二轮专家打分结果

一级指标	均值M_j	最大值M_{max}	最小值M_{min}	标准差σ_j	变异系数V_j	中位数
产出指标	72.29	84.00	65.00	4.21	0.06	70
效益指标	16.56	20.00	8.00	3.39	0.20	17
满意度指标	11.15	17.00	7.00	2.07	0.19	10

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2 二级指标权重第二轮专家打分结果

二级指标	均值 M_j	最大值 M_{max}	最小值 M_{min}	标准差 σ_j	变异系数 V_j	中位数
数量指标	29.11	38.00	25.00	2.27	0.08	30
质量指标	37.88	48.00	29.00	4.25	0.11	37.5
时效指标	5.31	10.00	4.00	1.49	0.28	5
社会效益指标	13.42	18.00	6.00	2.81	0.21	14
可持续影响指标	3.14	5.00	2.00	1.08	0.35	3
服务对象满意度指标	11.15	17.00	7.00	2.07	0.19	10

表3 三级指标权重第二轮专家打分结果

二级指标	三级指标	均值 M_j	最大值 M_{max}	最小值 M_{min}	标准差 σ_j	变异系数 V_j	中位数
数量指标	打造技术技能人才培养高地	5.24	8.00	4.00	0.73	0.14	5.00
	打造技术技能创新服务平台	4.49	7.00	3.00	0.68	0.15	4.00
	打造高水平专业群	3.19	5.00	2.00	0.88	0.27	3.00
	打造高水平双师队伍	3.57	5.00	3.00	0.59	0.17	3.75
	提升校企合作水平	3.43	5.00	3.00	0.54	0.16	3.00
	提升服务发展水平	2.81	5.00	1.00	0.74	0.26	3.00
	提升学校治理水平	2.19	3.00	2.00	0.40	0.18	2.00
	提升信息化水平	2.14	3.00	1.00	0.42	0.20	2.00
	提升国际化水平	2.06	3.00	1.00	0.33	0.16	2.00
质量指标	打造技术技能人才培养高地	6.87	10.00	4.00	1.66	0.24	6.00
	打造技术技能创新服务平台	5.91	9.00	4.00	1.12	0.19	6.00
	打造高水平专业群	4.13	6.00	2.00	0.99	0.24	4.00
	打造高水平双师队伍	4.47	6.00	3.00	0.77	0.17	4.50
	提升校企合作水平	4.39	6.00	3.00	0.64	0.15	4.35
	提升服务发展水平	3.48	5.00	2.00	0.81	0.23	3.00
	提升学校治理水平	3.01	4.00	2.00	0.51	0.17	3.00
	提升信息化水平	2.95	4.00	2.00	0.56	0.19	3.00
	提升国际化水平	2.67	4.00	2.00	0.58	0.22	3.00
时效指标	任务完成进度	2.82	6.00	2.00	0.83	0.30	3.00
	资金完成进度	2.49	5.00	1.00	0.76	0.31	2.00
社会效益指标	引领职业教育改革发展和人才培养的贡献度	4.75	7.00	2.00	1.06	0.22	5.00
	支撑国家战略和区域经济社会发展的贡献度	4.79	8.00	2.00	1.37	0.29	5.00
	推动形成一批国家层面有效支撑职业教育高质量发展的政策、制度、标准的贡献度	3.88	5.00	2.00	0.94	0.24	4.00
可持续影响指标	项目标志性成果可持续影响的时间（年/项）	3.14	5.00	2.00	1.08	0.35	3.00
服务对象满意度指标	在校生满意度	2.40	4.00	1.00	0.59	0.24	2.00
	毕业生满意度	2.58	4.00	2.00	0.60	0.23	3.00
	教职工满意度	2.11	3.00	1.00	0.52	0.24	2.00
	用人单位满意度	2.33	4.00	1.00	0.62	0.27	2.00
	家长满意度	1.72	4.00	1.00	0.69	0.40	2.00

级指标第二轮专家打分的肯德尔协调系数 W，并对其进行卡方检验。结果表明，一级、二级、三级指标专家打分的肯德尔协调系数分别为0.927、0.968、0.707，（见表4）最低的三级指标协调系数也超过70%，协调系数较高，协调程度很好。经卡方检验，p值均小于0.01，具有统计学意义。通过分析专家打分的集中程度和协调程度，笔者认为第二轮专家调查数据可用，不再进入下一轮调查。

参考各级指标权重专家第二轮打分的平均值和中位数，经数据圆整，最终得到“双高计划”绩效评价指标权重分配，见表5。

《办法》规定：“学校应当在次年初，依据《双高学校建设数据采集表》《高水平专业（群）建设数据采集

表4 肯德尔协调系数

	一级指标	二级指标	三级指标
肯德尔 W	0.927	0.968	0.707
卡方	66.743	174.329	712.461
渐近显著性	0.000	0.000	0.000

表5 “双高计划”绩效评价指标权重分配

一级指标	二级指标	三级指标	权重
产出指标72	数量指标29	打造技术技能人才培养高地	5
		打造技术技能创新服务平台	5
		打造高水平专业群	3
		打造高水平双师队伍	4
		提升校企合作水平	3
		提升服务发展水平	3
		提升学校治理水平	2
		提升信息化水平	2
		提升国际化水平	2
	质量指标38	打造技术技能人才培养高地	7
		打造技术技能创新服务平台	6
		打造高水平专业群	4
		打造高水平双师队伍	5
		提升校企合作水平	4
		提升服务发展水平	3
		提升学校治理水平	3
		提升信息化水平	3
		提升国际化水平	3
	时效指标5	任务完成进度	3
		资金完成进度	2
效益指标17	社会效益指标14	引领职业教育改革发展和人才培养的贡献度	5
		支撑国家战略和区域经济社会发展的贡献度	5
		推动形成一批国家层面有效支撑职业教育高质量发展的政策、制度、标准的贡献度	4
	可持续影响指标3	项目标志性成果可持续影响的时间（年/项）	3
满意度指标11	服务对象满意度指标11	在校生满意度	2
		毕业生满意度	3
		教职工满意度	2
		用人单位满意度	2
		家长满意度	2
合计			100

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表》的指标框架，结合学校‘双高计划’建设方案，进一步细化本校指标，通过系统如实填报当年度进展数据。”但在实际执行中，学校原来填报的绩效指标并不允许修改，而各校绩效指标填报又大相径庭。那么如何在“双高计划”建设院校之间进行横向比较？有学者建议，对“双高计划”绩效评价指标进行词频统计，将出现频次高或大部分院校关注的指标作为横向比较指标。绩效指标上报时间为2020年5月，之后中央及相关部委又相继出台了一系列重要文件，特别是九部委出台的《职业教育提质培优行动计划（2020—2023年）》，该文件将“职教20条”部署的改革任务转化为落地的举措和行动，将遴选一大批国家层面具有引领示范作用的学校、案例、团队、名师、课程、教材、基地等，是“双高计划”建设重要的标志性成果，应该纳入绩效评价指标。在中期绩效评价时，建议教育部门出台更细化的绩效指标填报指导性文件，并允许“双高计划”建设学校修改、规范原有的绩效指标。

绩效填报除了具体指标外，还要求学校和专业群提供案例。学校在“双高计划”建设过程中，应强化理论研究和实践探索，形成可复制的模式、可借鉴的机制、可推广的经验，彰显学校“引领职业教育改革发展和人才培养的贡献度”“支撑国家战略和区域经济社会发展的贡献度”“推动形成一批国家层面有效支撑职业教育高质量发展的政策、制度、标准的贡献度”。

（刘 斌，天津职业大学校长、教授，天津 300410；邹吉权，天津职业大学职业技术教育研究所所长、教授，天津 300410）

参考文献

[1]中国特色高水平高职学校和专业建设计划绩效管理暂行办法[EB/OL].(2020-12-23)[2021-01-03].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_737/s3876_qt/202012/t20201225_507515.html.

[2] 刘斌,邹吉权.双高建设:德能实新育工匠,兴职精进铸品牌[J].天津职业大学学报,2020(4).

[3] 陈子季.以大改革促进大发展推动职业教育全面振兴[J].中国职业技术教育,2020(1).

[4] 于雷,王娟.高等职业院校特色发展的路径与机制[J].高等工程教育研究,2010(6).

[5] 查建中.面向职场情境的工程教育改革研究——兼谈人力资源市场供给侧结构性改革[J].高等工程教育研究,2017(2).

[6] 马冀.数量指标和质量指标理论与应用评析[J].时代经贸,2007(8).

[7] 王春枝,斯琴.德尔菲法中的数据统计处理方法及其应用研究[J].内蒙古财经大学学报,2011(4).

The Analysis of Connotation and the Determination of Weights of the Index System of the Performance Evaluation of “Double High Plan”

LIU Bin ZOU Jiquan

(*Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410*)

Abstract: The Ministry of Education and the Ministry of Finance issued Interim Measures for Performance Management of Construction Plan of High-Level Higher Vocational Schools and Majors with Chinese Characteristics, it is of great significance to improve the benefit of capital allocation and the efficiency of capital use of the construction projects of “Double High Plan”, and to ensure that the construction target of “Double High Plan” can be achieved on time, which reflects a clear performance orientation. On the basis of the interpretation of the “Measures”, focusing on emphatically solving two problems: firstly, on the basis of the three-level indicators of the performance given in the “Measures”, refining the index of the nine tasks of construction of the quantity index and the quality index, to make the index system more systematic and perfect; Secondly, adopting the Delphi method (experts investigation method) to determine the weight of the three-level index system, to make the evaluation results measurable and comparable.

Key words: Double High Plan; performance evaluation; index system; Delphi; weight

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“双高计划”与“双主体”育人机制研究

古光甫，邹吉权

（天津职业大学，天津 300410）

[摘　要] “双高计划”建设是新时期推动我国高职教育迈向高水平和高质量发展的重要路径。构建高职教育校企“双主体”育人机制既是“双高计划”建设的内在要求，也是“双高计划”建设能否形成良好示范效应的关键。从高职教育校企“双主体”育人体系构建的必然性入手，系统阐述校企“双主体”育人的内涵，梳理当前高职教育“双主体”育人中存在的问题，提出面向“双高计划”建设背景下“双主体”育人机制构建需要完善评估管理机制、改进育人办学理念及健全职业教育的产学研合作机制三个方面的策略。

[关键词] “双高计划”；高职教育；校企“双主体”育人；机制构建

[中图分类号] G710　[文献标识码] A　[文章编号] 2095－2724（2020）03－0043－08

DOI:10.16417/j.cnki.cn35-1312/g4.2020.03.009

为深入贯彻党的十九大精神和全国教育大会精神，落实《中国教育现代化 2035》《国家职业教育改革实施方案》以及国务院办公厅《关于深化产教融合的若干意见》等文件精神，加快推进引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职院校建设，带动高职教育持续深化改革。2019 年 4 月，教育部、财政部正式印发《关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》（以下简称“双高计划”），就实施“双高计划”建设做出全面系统部署，成为高职院校内涵提升和创新发展的新启程。[1] 尽管高职教育办学质量得到显著提升，但在服务国家战略以及经济社会发展的能力上同产业发展、人民群众的期待以及国家对高职的战略定位还存在一定程度的差距。校企“双主体”育人是高职教育在深化产教融合、校企合作过程中探索出的育人新模式。在国家实施“双高计划”建设的背景下，如何进一步推动高职教育校企“双主体”育人机制构建，让广大高职学校更好地对标国家“双高计划”建设任务，在提高职业院校人才培养质量的同时，丰富高职教育的发展内涵，从而进一步推进职业教育与区域产业的深度融合，这将具有重要的现实意义。

一、校企“双主体”育人是“双高计划”建设的现实要义

（一）校企“双主体”育人是高职教育产教融合的理念升级

2014 年 5 月，国务院下发《关于加快发展现代职业教育的决定》，指出实施校企育人“双重主体”，学生学徒“双重身份”，进一步明晰学校、企业和学生三方各自权利义务关系。[2] 该文件明确了产教协同育人与校企“双主体”之间的彼此关系，确立了产教协同育人是校企“双主体”发挥作用的主要表现，校企“双主

[收稿日期] 2020－03－05

[作者简介] 古光甫（1977—），男，河南信阳人，教育学硕士，天津职业大学职业技术教育研究所副研究员。
邹吉权（1965—），男，内蒙古赤峰人，工学博士，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授。

[基金项目] 2019 年度全国教育科学规划教育部重点课题：基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究（DJA190347）。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体”地位是推进产教协同育人的重要前提。党的十九大报告提出，“完善职业教育和培训体系，深化产教融合、校企合作”[3]。为落实党的十九大报告及全国教育大会精神，国务院先后下发《关于深化产教融合的若干意见》《国家职业教育改革实施方案》等促进职业教育良好发展的系列文件，将深化职业教育产教融合、校企合作作为新时期构建现代职业教育体系的重要发展措施之一。“双高计划”建设更进一步明确提出，将强力推进校企合作、产教融合作为十大建设任务的重要组成部分。

高职教育产教融合具有双重意义[4]：一是对产业而言，有利于在产业的结构转型升级与新兴战略产业加速发展过程中更好地发挥技术引领和人才培养支撑作用，为区域经济社会发展提供推动力和人才红利；二是对教育而言，有利于高职教育人才培养供给满足区域社会产业（企业）职业岗位对人才的需求，提升服务产业的能力。虽然深化高职教育产教融合、校企合作在教育供给端与企业（行业产业）需求端二者所体现的价值取向各不相同，但是人才培育始终是高职教育产教融合的核心点。职业教育产教融合主体是产业（企业）和教育（学校），要体现育人为本，就需要建立健全校企“双主体”育人长效运行管理机制，由于企业是产业的外在表现形式，是产品生产和经营的主体，同时还是行业的基本构成单元，因此，在职业教育产教融合过程中，企业是重要的育人主体之一，也是高职教育校企能否深度融合的重要落脚点。

（二）校企“双主体”育人是高职教育发展的内在需求

国家“双高计划”建设指出坚持中国特色是实施高水平高职学校和专业建设的首要原则。德技并修、工学结合是高职教育办学的重要表现之一。德技并修就是要求高职学校培养高素质技术技能人才，坚持以道德为先，以技术为本，必须坚持以“德才兼备”为基本落脚点，把学生思想道德教育放在高职教育人才培养工作的首要位置，从而不断提高学生的技术技能水平。由于德育本身具有一定的社会实践属性，需要不断通过榜样力量在实际工作和社会生活中进行环境熏陶和实践锻炼，通过潜移默化的方式逐渐感化，才能让正确的思想品德和行为规则成为日常行动的指南，才能让思想道德情操逐渐内化于心、外化于行。因此，要建立健全德技并修的育人理念，高职教育就必须坚持走校企“双主体”育人模式，在实际工作情境中不断加强学生德育教育培养。

（三）校企“双主体”育人是高职教育高质量发展的必然趋势

从我国职业教育发展历程看，工学结合、校企合作是高职教育高质量发展的必然趋势。国外职业教育发达的国家中，如德国的双元制、美国的社区学院、新加坡教学工厂、瑞士的学徒制、英国的工学交替制、日本产学结合等，都是现代职业教育“校企合作”办学的成功典范，是我国高职教育高质量发展要学习和借鉴的主要“校企合作”育人模式。因此，为加快我国高职教育的又好又快发展，同样需要深化和构建具有中国特色的高职教育校企“双主体”育人模式。1991 年 10 月，国务院下发《关于大力发展职业技术教育的决定》中指出职业技术教育要坚持走校企合作、工学结合的办学模式，之后国家又不断出台促进职业教育校企合作、联合育人的各类政策及文件，但在实际校企合作办学中，产教融合不够深入、不够紧密的问题依然没有得到有效解决。高职院校作为新时代培养高素质技术技能人才的摇篮，必须牢牢把握校企“双主体”育人的办学前进方向，不断创新校企合作机制、切实提升校企合作育人质量和水平。

二、高职教育实施校企“双主体”育人的本质内涵

目前，高职教育实施的校企“双主体”是在借鉴和吸收德国“双元制”教育模式基础上发展起来的育人模式，但同时又具有中国特色高职教育自身的特点。深刻理解和把握高职教育校企“双主体”育人本质内涵，须将其放在我国高职教育发展进程中来考验。进入新时代，受供给侧改革和产业转型升级等外部环境的影响，原有的校企“双主体”育人模式已无法适应社会发展需求[4]，新时代我国“双高计划”建设背

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

景下的高职教育校企“双主体”育人模式新内涵主要体现在 3 个方面:

（一）企业全过程且深度参与高职院校育人

企业全过程且深度参与高职院校育人既是高职院校提高人才培养质量的必然要求，也是企业自身获得高素质技术技能人才的内在需求。长期以来，我国高职教育的校企合作中，大多数合作企业很少深度且全程参与职业院校培养，基本上是停留在缺少相互约束机制的合作层面。“双高计划”建设背景下的高职教育校企“双主体”育人长效运行管理机制，就是无论在高职院校专业人才培养方案制订、人才培养目标、专业建设、课程设计、人才培养计划等顶层设计层面，还在是师资队伍建设、教材编写、教学实施、实训基地建设、教学场所等教学操作层面，企业都要以“主人翁”的身份全程深入参与高职院校人才培养，乃至在院校中的学生成绩考核和评定、日常管理、教学质量评价、实习实训、创新创业、顶岗实习、就业指导、实践教学环节等管理层面，都要全程且深度参与高职院校育人，充分发挥企业对院校人才培养的作用。

（二）企业与高职院校对培养人才具有同等重要的地位

20 世纪 90 年代，我国职业教育开始实行工学结合、校企合作联合育人人才培养模式的探索，但受种种因素影响，在实施职业教育校企合作人才培养过程中，职业院校长期居于主导地位，企业长期处于从属地位。“双高计划”建设中强调高职教育“强力推进产教融合、校企合作”，就是要打破我国传统的高职教育人才培养模式一方（即校方）为主的办学格局，把企业和高职院校放在对人才培养同等重要的地位；通过校企深度合作，让高职院校教师与企业员工、技术骨干进行相互交流、相互分享理论知识与实践经验等，实现双方互利共赢，真正构建起“我中有你，你中有我”的校企一体化育人命运共同体。

（三）行业企业与高职院校形成相关彼此利益共同体

行业企业与高职院校中彼此价值取向不同，在传统的校企合作中，院校作为公益性事业单位，以人才培养为主体，倾向于将学生学术成果、知识创新、专业技能等的服务社会效能发挥最大化；而作为市场经济发展主体的企业，更注重通过参与合作育人获得社会经济利益最大化。但在实际操作中，企业不但没有获得相应利益，反而增加了企业的人才培养运营成本。“双高计划”建设背景下的高职教育校企“双主体”育人长效运行管理机制，就是在校企双方共同育人实施过程中，不断提高思想认识和政治站位，彼此寻求利益共同点和平衡点，更好地把握双方的彼此利益关系，承担起相应的社会责任，而不能一味“向钱看”，构建起校企“双主体”育人运行管理机制。

三、校企“双主体”育人存在的主要问题

（一）校企“双主体”育人缺少管理平台的构建

2014 年，国务院颁发《关于加快发展现代职业教育的决定》，在国家和各地方政府的高度重视和大力推动下，各高职院校积极探索产教融合、校企合作等多种形式的育人模式，如订单式培养、现代学徒制、职教集团、混合所有制，并逐渐形成了一批具有地方特点、行业特性、院校特色的高职教育校企育人模式，为区域社会发展产生了较好的经济效益和社会影响力。同时通过认真梳理我国现阶段高职教育实施校企“双主体”育人培养模式发现，虽然高职教育校企“双主体”育人取得一系列可喜可贺的成绩，但其背后也隐藏着校企合作育人一些比较突出的社会问题，其中最为显著的是许多高职院校一味追求校企合作新模式（即所谓“亮点”），没有达到深层次的效果且忽略合作育人平台的搭建，缺乏双方合作整体性和系统性及育人平台教育发展理念和操作方法，具体问题主要包括: 一是校企“双主体”育人模式没有建立起双方长期合作完整的育人机制，基本还是停留在短期的合作项目。如多数高职院校还是采用顶岗实习、现代学徒制、订单式培养等校企合作培养模式。虽然在合作过程中取得了一定的育人成绩，但是并没有

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

作为合作育人的新起点，朝着校企“双主体”育人的深度发展方向推进。在应用范围上，一般也局限于几个企业甚至几个专业合作，缺乏建立校企“双主体”育人的完整、系统构建机制。二是校企合作缺乏思维方法和平台支撑，缺乏建立整体性、全程性和综合性的育人平台长效运行管理机制。要保证校企“双主体”育人平台长效管理机制的系统性、信息化、整体性和综合性，就必须建立校企双方育人培养的交流互动机制。例如企业生产一线技术骨干与学校专业教师依据企业岗位工作任务，为学生共同设计在企业真实实践教学环节中的学习、实习实训、实践、创新创业等，培养学生（学徒）专业实践操作技能，以提高校企“双主体”育人在资源互通、任务分担、优势互补、人才培养利益共享等方面的高效性、及时性、针对性。然而一些高职院校在实施校企“双主体”育人中缺乏科学平台思维和操作方法，满足于与企业的“一对一”合作办学，既没有投入足够的财力、物力、人力与企业共同搭建合作育人平台，也没有跨专业、跨行业整合校企双方合作资源，导致面向区域社会行业的合作育人成效不足。

（二）专业建设脱离区域社会产业发展需求且缺乏系统性

改革开放 40 余年来，随着产业转型升级和经济结构不断调整，我国经济发展进入新的发展阶段。传统的社会生产方式、职业岗位受到产业转型升级引起的冲击，导致一大批落后产能、传统岗位遭到淘汰，新产业、新业态对高技术技能人才的需求越来越紧迫。新的职业岗位层出不穷，如“互联网 +”、物联网、共享经济、新能源、绿色环保等，客观上要求高职院校随着区域经济产业结构调整不断动态调整专业结构，不断优化专业结构布局，培养适销对路的现代企业（产业或高端产业）发展所需的高素质技术技能人才，不断丰富专业服务社会发展内涵，以满足区域社会对高素质技能人才发展的需求，使企业对其入职无须进行“二次培训”。然而，在当前实施校企“双主体”育人发展过程中，高职院校普遍没有很好应对产业转型升级及社会经济结构调整及时调整专业结构布局（即“产业领跑专业”），使得院校人才培养无法很好地满足（即“专业并跑或领跑产业”）区域社会产业对岗位的用人需求，导致校企双方联合育人出现合而不“作”或融而不“合”的尴尬局面，同时使校企“双主体”育人管理机制难以向纵深发展。

此外，高职院校专业建设缺乏系统性。专业建设系统性是指专业建设要体现专业基本知识结构和企业职业岗位能力体系特征。随着国家信息化程度不断加快，许多专业之间的联系更加紧密、专业边界日益模糊化和边缘化，所学专业跨界运行和经营管理日渐成为当今社会发展的一种常态。无论是专业发展还是国家大数据时代背景，都要求高职院校不断拓宽专业发展视野，提升专业建设的系统性，推动跨专业（或学科）教育，促进高职院校相近专业或专业群实施校企“双主体”一体化育人教学。然而许多高职院校在实施校企“双主体”育人发展过程中，习惯沿用院校传统的专业教育及教育方法，常常忽视专业结构调整的重要性，对学生专业教育知识能力的供给不能满足区域社会企业（行业产业）实际生产职业岗位的发展需求。企业对新入职人员还需进行“二次培训”，增加企业培训成本，从而导致区域社会行业产业中生产企业对高职院校人才培养的教育供给不认可，企业容易消极对待合作，也就无法与高职院校开展“双主体”育人。

（三）课程体系中实践教学不足

2015 年 7 月，教育部印发的《关于深化职业教育教学改革全面提高人才培养质量的若干意见》明确提出，‘职业学校实践性教学课时原则上要占总课时数的一半以上”[5]。近年来，各高职院校不断加强产教融合、校企合作，教学内容的针对性明显改进，同时专业课程体系也较往常有了很大的提高。但从一些专家学者研究结果来看，目前大多数高职院校实施情况总体效果并不理想，专业课程体系还是轻实践教学、重知识理论课程，专业课程中教学内容不贴近产业生产实际等问题仍然突出。

一方面，实践课程在专业课程中的比重相对

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

较低。许多高职院校“双师型”教师比例相对较低，在专业教学中实践课程教学学时量偏少；许多高职院校在实践教学组织与实施过程中还存在走过场、“放羊式”的现象。因此，2019 年 2 月，国务院印发《国家职业教育改革实施方案》进一步明确提出，到 2022 年，职业院校实践性教学课时原则上占专业总课时的一半以上，这充分表明了当前各高职院校实践课程教学学时不足的问题仍没有得到根本性解决。

另一方面，专业课程教学内容结构设计不大合理。高职教育是培养实践和动手能力较强的一种类型教育，教授的专业知识和实践技能都具有鲜明的实践特点。但在许多高职院校的专业课程体系中，教学内容安排不合理，许多实践教学内容中需要通过实践训练不断领悟感知获得的专业技能，有时只能在一般普通课堂教学当中进行；有些需要通过企业真实岗位实践训练来掌握的专业技能，有时只能由一线企业师傅或技术人员动手操作和示范教学，学生只能围在实训设备一旁作为观摩者，不能得到真正实际操作和锻炼，无法达到知行合一的“教学做”效果。

（四）院校实训基地功能不完善且实训设备滞后

实践性是高职教育的典型特征，实训基地是高职院校实践课程教学的重要场所，建设现代化功能齐全、贴近企业（产业）真实职业岗位训练高水平的实训基地是高职院校培养高素质技术技能人才的重要保障之一。从数量上看，目前高职院校实训设备基本满足校内学生专业性实践训练的教学要求，但从实际教学情况来看，大多数高职院校实训设备仍然存在功能不完善、实训设施滞后、与企业岗位能力需求不一致等诸多问题。加大高职院校实训基地基础设施改造和提升，主要问题有两点：一是部分高职院校对实训基地重视程度不够，经费投入不足。一些高职院校的经费投入倾向于校园内基础设施建设，对实训基地软硬件建设的重视程度不够。一些高职院校校园环境优美、一座座高楼林立，但其实训基地许多专业实训设备陈旧，无法满足企业工作岗位真实的实训要求。另外，目前大多数高职院校实训基地的建设经费主要依靠院校自筹和国家财政拨款，难以满足高水平实训基地的资金需求。二是实训基地结构设计不合理，缺乏统筹科学规划和专家论证设计。许多高职院校实训基地实训设备建设不均衡，有的专业实训设备配置数量不足、有的专业实训设备配置相对过剩且设备利用率低，相近或相同专业实训设备的技能训练不能很好地共享，且实训设备有效利用率较低，不能很好地发挥实训设备价值。在企业实训平台搭建一端，许多高职院校的设计无法满足企业的岗位实际生产需求和院校的实践教学需求，未能建立校内实训设备与企业（产业）真实职业岗位生产实践平台功能的有效衔接，导致校企无法共用实训平台，不能充分发挥校企协同育人的优势。

四、“双高计划”背景下校企“双主体”育人机制构建

（一）完善国家法律法规及监督评估管理机制

制定合理的运行管理机制是推动校企“双主体”育人长期稳定运行的重要保障。现有的校企合作大多是自发性的，缺少国家的宏观调控。政府应在宏观层面调控校企“双主体”育人，为校企“双主体”创造更好的育人环境，引导校企双方更好地发挥各自优势。政府部门应当制定出台详细的法律法规及相关制度，以此为手段调控校企“双主体”各方的相关利益，充分发挥政府管理部门的统筹主导作用，强化校企“双主体”育人管理机制，使校企“双主体”育人真正有法律法规可依，并定期对校企合作育人情况进行跟踪调查和评价，促使高职院校与企业进行深度合作。

1. 建立健全校企“双主体”育人法律法规制度

现行法律法规缺少鼓励企业行业参与职业教育办学的优惠政策作为指导，更没有明确规定企业参与职业教育承担的具体责任、义务及给予激励的措施，从而造成企业参与职业教育的热情总体不高。因此，首先，应尽快修订和完善《职业教育法》，使校企“双主体”育人在推进合作办学过程中能够获得可操作性强的法律法规保

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

障，并通过量化措施对其承担的责任和义务进行明确规定；对未能履行法律规定职责和义务而需承担的责任，实施可操作的惩戒，完善与之相配套的辅助法规体系，以促进各方更好地履行法律规定的职责和义务。其次，《职业教育法》应突出企业参与校企“双主体”育人能够获得一定优惠政策，如对参与职业教育产教融合办学的企业予以部分财政补贴、税收减免及学生实习成本分担和补偿等，从而激发企业参与职业教育“双主体”育人办学的积极性，将企业参与职业院校合作办学从过去的“外部参与”转变为“主体参加”，提升校企合作办学紧密度。再次，《职业教育法》框架下，应体现政府在校企合作中的核心作用。最后，在《职业教育法》框架下，地方政府应结合区域经济社会的发展实际，制定符合区域社会的由行业指导、企业参与、政府主导的校企合作办学的管理机制，为校企合作办学提供最大可能的便利条件，促使双方效益发挥最大化。

2. 构建校企“双主体”育人组织管理体系

为促进校企“双主体”育人机制的持久推进，应搭建由政府主导牵头、企业深度且全程参与的高职院校教学管理机制。首先，以各省（自治区、直辖市）政府为架构基础，邀请省级教育行政管理部门参与，构建高职教育“双主体”教育联席会议制度。[6] 同时各地市也相应建立校企“双主体”育人工作组，确保任务到岗、责任到人，不断推动校企“双主体”育人工作。其次，政府主管部门应强化信息公开的力度，及时将校企合作开展“双主体”育人的成果向社会公布，可吸引社会企业参与院校“双主体”育人的热情，借助信息公开接受社会监督，不断完善绩效考评制度，促进更多的企业和高职院校加入到校企“双主体”育人办学队伍当中。最后，将校企“双主体”育人工作组纳入地方政府行政部门的年度绩效考核体系中，可将区域社会促进校企“双主体”育人合作的数量、育人质量、培养学生就业质量、顶岗实习、社会服务质量及造成的社会影响力等作为考核评价标准，从而促进校企“双主体”育人工作组的能力提升。

3. 建立健全校企“双主体”育人监督管理评估机制

校企“双主体”育人工作组应依据国家及地方出台的相关法律法规，对校企各自应当承担的责任和义务进行定期追踪、监督和评估，同时也对双方各自应当享受的权利进行维护。具体为：第一，进行资料审核。由政府主导牵头达成的校企“双主体”合作项目以及校企双方自行达成的校企“双主体”合作项目，政府部门应当对合作协议进行整理汇编入档，简化审批流程，将其作为合作审核和检查评估的主要内容。第二，加强跟踪校企合作办学教学质量。地方政府应当定期选派相关教育机构、人大代表或政协委员进入高职院校，对院校日常教学质量进行跟踪检查和评估，从而促进校企“双主体”育人教学质量不断提升。第三，建议与反馈。在地方主流媒体开通校企合作办学信息模块，不断加大校企“双主体”育人宣传力度，同时对校企“双主体”合作育人相关成果进行公示；并设立建议与意见窗口，让高职院校教师、社会企业、家长、学生提出合理意见和建议，从而增强各方参与合作办学的影响力，提高合作办学质量及提升服务社会能力。

4. 政府建立健全校企“双主体”育人激励机制

高职院校和企业是“双主体”育人的实施主体，政府部门应当建立长效的激励机制，从政策上做好引导和支持工作，调动企业参与高职院校合作办学的热情，增强高职院校教学改革的动力。首先，政府部门应设置校企“双主体”合作办学专项管理基金，为人才培养提供可靠的经费保障。对开展“双主体”合作办学效果好的的高职院校给予一定资金奖励和政策扶持。对合作的优秀企业，可允许企业将合作办学开支进行税前扣除或加大财政补贴，同时给予一定资金奖励。其次，在教师职称评定方面，对参与校企“双主体”育人且业绩突出的高职院校教师在同等条件下可优先推荐评定职称或晋升职务，同时对在合作办学领域取得的突出专业教学和研发成果可以与学校相应同级别教学和科研成果同等对

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

待。最后，将高职院校专业教师下企业实践作为教师职称评聘或职务晋升的必要条件之一。同时行业企业员工在职称评定时也可对参与校企“双主体”育人的职工给予优先评定，促使校企人员积极投入“双主体”育人当中。

（二）改进校企“双主体”育人办学理念与课程设置

高职院校和企业应该共同构建具有区域特色的“双主体”育人发展管理模式。

1. 高职院校构建校企“双主体”育人发展的新理念

高职院校和企业实施“双主体”合作办学，不仅要体现在形式上，更要体现在合作理念上。高职院校要不断结合当前国家事业发展规划，对未来职业教育改革发展趋势进行科学分析和预判，充分认识实施校企“双主体”育人对院校自身发展的作用及其目前存在的问题，不断促进院校专业教师改进教学方法及教学管理人员水平提升。

2. 高职院校与企业编写校本教材，不断优化专业课程设置

高职院校应积极组织专业资深教师与合作企业技术人员合作编写贴近产业需求的高水平校本教材，且教材内容应包含企业生产案例、先进管理理念、职业素养、职业道德、工匠精神等内容，提高专业教材与实际岗位适用性。此外，高职院校应鼓励专业教师尝试调整课程教学理念，在专业基础方面不断注重理论创新，专业课程设置应不断贴近企业实际生产需求；积极鼓励专业教师定期（即专业教师每三年或五年一次）下企业实践锻炼，在企业实践锻炼过程中提升解决实际问题的能力，不断了解企业对专业技术人才的最新需求，不断收集企业最新的信息资料，广泛倾听企业管理部门及一线技术人员给予的专业课程改革意见及建议，为高职修订专业人才培养目标、培养满足区域社会产业需求的优秀人员提供理论支持。

3. 高职院校要不断提高“双师型”教师队伍素质

专业建设的基础是师资队伍建设，职业院校应着力建设一支与办学目标发展相适应的师德高尚、结构合理、业务精湛、专兼结合的高素质专业化师资队伍，这是推进职业教育产教融合效果的重要抓手。长期以来，我国职业院校师资队伍存在专任教师实践教学水平较低的窘境，尤其是既具有教授专业技能，又具有教授专业理论课程的“双师型”教师队伍严重匮乏，严重制约了职业院校人才培养质量。因此，职业院校必须大力推进校企“双主体”办学模式，以职业院校专业骨干教师对接行业企业骨干人员、专家技术能手等模式拓宽职业院校师资队伍的引进渠道。同时，职业院校应加强自身培养，提高院校师资队伍的授课能力，提高职业院校师资队伍教学水平。第一，职业院校要改变新教师招聘方式，改革教师人事管理制度，不断引进区域社会行业企业专家、技术能手、骨干人员等，充实到职业院校专业教师队伍当中。对行业企业中有意从事职业院校教学工作的骨干人员、技术能手、高级技术人员等，可以采用高薪聘任或兼职聘任的方式来引进。第二，职业院校要通过培养、培训、进修等方法，积极鼓励职业院校一线专业教师深入企业挂职锻炼或脱产进修、顶岗实习，到企业实地了解现代企业的经营理念、生产管理、技术开发等，不断学习企业新工艺、新技术、新方法，不断提升自身院校教师队伍的教学及管理水平。同时职业院校专业教师可利用自身的专业理论知识为企业的技术研发和生产经营提供咨询服务，实现提高自我与创造社会价值的“双丰收”。第三，职业院校要严格落实教育部关于专任教师“五年一轮回”下企业实践锻炼制度，并纳入教师聘期考核或职称晋升考核条件，提高院校专任教师实践锻炼能力。[7] 通过企业的专家技术能手对接院校师资队伍建设，不仅能让学校人才和企业人才相互融合、互为补充、形成合力，还能改善职业院校师资队伍的结构和素质，从而构建起职业院校更加强劲的“双师型”师资队伍，同时提高其教学水平。

（三）建立和健全职业教育的产学研合作机制

为顺应区域经济社会高质量发展和建立创新

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

型国家的要求，建议加快建立和健全我国职业教育产学研合作机制。首先，在职业教育领域牢固树立产学研合作的教育理念，政府通过市场调节，积极引导和鼓励职业院校、行业企业和科研院所广泛开展产学研合作创新联动机制。其次，政府立法机构加快建立健全我国职业教育产、学、研、用合作的相关法律法规，对职业教育产、学、研合作过程中政府、行业企业、学校等各方的权利和义务、责任，制定切实可操作化的管理办法。最后，建立和健全职业院校与区域社会行业企业联合制定院校专业人才培养方案、联合开设专业、联合开发校本课程的合作管理机制，使职业院校的教学内容与区域社会行业企业需求紧密结合。

五、结语

“双高计划”建设是新时代实施国家职业教育改革发展的一项伟大而艰巨的任务，是提升国家职业教育内涵发展的重要机遇[8]。随着建设项目的逐渐推进和实施，高职教育校企“双主体”育人更加受到业内的广泛重视和关注，企业认识到自身人力资源培养的重要性，合作程度也不断深入；同时不断赋予高职教育新的发展任务和要求，如院校内部治理体系构建、高职百万扩招带来学生生源多元化培养、1 + X 证书的实施等；实施校企“双主体”育人也是推动职业院校走内涵发展道路的有力举措，为高职院校走特色发展之路提供了无限可能。从我国推进普通高校“双一流”学科建设，到高职院校“双高计划”建设，产教融合始终贯穿教育发展当中，表明深化校企“双主体”育人已经成为高等教育特别是提升高职教育内涵发展的重要举措。只有大力提升职业教育校企“双主体”育人合作深度，才能为社会经济结构调整和产业转型升级提供人才红利，真正培养出“当地离不开、业内都认同、国际可交流”的新时代高素质技术技能人才，促进我国现代职业教育的大发展。

[参考文献]

[1] 教育部，财政部. 关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见(教职成〔2019〕5号) [EB/OL]. (2019 - 03 - 29) [2020 - 02 - 23]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_737/s3876_qt/201904/t20190402_376471.html.

[2] 国务院. 关于加快发展现代职业教育的决定(国发〔2014〕19 号) [EB/OL]. (2014 - 06 - 22) [2020 - 02 - 23]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014 - 06/22/content_8901.htm.

[3] 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利: 在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报，2017 - 10 - 28(001).

[4] 谢琪，丁金昌. 基于“双高”建设的高职教育校企“双元”育人体系构建[J]. 教育与职业，2019(24): 12 - 18.

[5] 教育部. 关于深化职业教育教学改革全面提高人才培养质量的若干意见(教职成〔2015〕6 号) [EB/OL]. (2015 - 07 - 27) [2020 - 02 - 23]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_953/201508/t20150817_200583.html.

[6] 孙干. 应用型院校校企“双主体”育人机制的构建[J]. 教育与职业，2017(11): 43 - 46.

[7] 谢俐. 中国特色高职教育发展的方位、方向与方略[J]. 现代教育管理，2019(4): 1 - 5.

[8] 蔡德仿. 校企“双主体”育人模式在高职院校中的探索[J]. 教育与职业，2017(17): 45 - 48.

[责任编辑: 郭常斐]

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“双融合”模式下高职院校课程改革的困境与对策

曹雪姣[1],杨　平[2]
（1.天津工业职业学院,天津　300400;2.天津职业大学,天津　300410）

摘　要:在 1+X 证书制度和学分积累政策的背景之下,高等职业院校原有的专业课程设置难以匹配企业高速发展,难以满足职业能力考核的标准,也难以满足学分积累转化,通过对工业机器人专业研究,建设分层递进式专业课程体系,融入职业能力考核标准,创新课程评价体系,为学生和企业的双向选择储存职业能力学分,优化师资团队,建设书证融通的课程资源,为社会培养复合型高素质人才。

关键词:1+X 证书;学分积累;工业机器人技术;课程改革

中图分类号:G712　　**文献标识码:**B　　**文章编号:**1672-545X(2021)07-0195-04

《国家职业教育改革实施方案》中提出开展 1+X 证书制度和学分的积累、转换工作,用以拓宽职业院校专业技能人才的成长通道[1]。高等职业院校学生需要通过人才培养方案中所有课程内容的考核，修满学分才能顺利毕业,走入就业岗位。在整个学业生涯中，学生可以根据个人兴趣和专业需求来考取相应的职业能力证书,这些证书包括钳工、车工、铣工和电工等,而这些工种的考核内容有些已经陈旧,不能适应当前智能制造背景下高速发展的企业需求。天津工业职业学院作为“1+X 证书”制度的试点院校,是天津市唯一一所具有工业机器人应用编程管理中心身份的高职院校,为适应职业教育的发展,工业机器人技术专业改革实训课程体系,新增大量的“1+X 证书”考核内容,通过课程的重组和增删,优化课程评价体系,打造育训结合的师资队伍,利用大数据云平台实现互联互通,推广学分互认制度。

1　双融合模式下原有课程体系存在的问题

1.1　实训课程不能满足专业技能更新

工业机器人技术专业实训课程包括钳工实训、电工实训、机电设备装调实训和工业机器人工作站安装与调试实训。实训课程内容没能有效的针对工业机器人方向的职业技能等级证书考核要求。钳工实训与专业无关，电工实训和机电设备装调实训与专业相关性也不是很高，工业机器人工作站安装与调试实训则是针对不同品牌的机器人工作站进行编程教学和安装调试实训任务,主要通过对适用于不同工作场景的工业机器人进行学习实训,以工业机器人操作与编程为主,虽然符合专业需求,但是知识体系广而不精也导致了学生们学习的效果不好,不能满足符合复合型人才的培养。四门实训课程构成的实训体系不能满足现今技术技能快速更新的需求。

1.2　课程体系不能适应 1+X 证书考核要求

专业的课程体系包括基础素养课程、专业核心课程和专业拓展课程。其中核心课程包括工业机器人基础、三维建模、离线编程、操作与维护、工作站的安装与调试，电气控制与 PLC 应用和组态软件技术等,课程的讲解均采用项目化教学的形式,通过对实际生产加工项目的了解,引导学生进行知识的学习。在课程讲解过程中多以知识传授为主，势必会弱化技能的培训。1+X 证书是职业技能等级证书,更加注重学生的技术技能的考核，对于这样以知识传授为主的教学模式，已经不能满足于培养高技能型人才的需求。其中电气控制与 PLC 应用课程主要讲电气线路接线和西门子 200PLC 编程,而对于 1+X 证书来讲，需要的是西门子博途软件的操作和西门子 1200PLC 的编程和调试;工业机器人操作与维护课程虽然大部分以实际操作练习为主，但是知识体系过于基础，不能满足 1+X 考证中工业机器人复杂程序的编写和理解；组态软件技术课程以 MCGS 软件的

收稿日期:2021-04-28
作者简介:曹雪姣(1988-),女,硕士,天津人,讲师,研究方向:工业机器人技术。

讲解为主，没有涉及到 1+X 考证中 WICC 软件的编程知识。在整个课程体系中,没有视觉编程与调试的相关课程,1+X 考证视觉的相关知识点无从学习。这样陈旧的课程体系根本不能保证学生们能顺利通过 1+X 证书考核。

1.3 师资队伍单一化,缺乏证书监督评价团队和制度

专业师资队伍由专任教师和外聘校企工程师组成,大部分出身机械和机电领域。由于国家工业机器人的发展较为缓慢，师资队伍中真正工业机器人领域出身,专门有机器人研究背景的教师很少,老师们缺乏在相关企业工作经历。近几年学校也抽取经费组织青年教师去知名的工业机器人企业参加培训，提升师资队伍的技术技能水平，但是学习面较为单一,多为品牌机器人操作编程。工业机器人主要应用于高端装备制造业,不是单一的产品,需要配合其他设备共同完成自动化的生产加工过程，需要复合型技术技能人才，同样 1+X 证书考核设备是企业根据生产加工实际研发的设备，这些都需要复合型师资队伍和优质的校企合作育人团队。

1+X 证书考核是由试点院校组织实施，原有的师资队伍建设中没有具体的监督评价考核制度和人员的配备。无论是承接在校师生的证书考核还是承接社会人员的证书考核,都没有可寻的章法和制度。因此，组建一支监督评价队伍和健全管理制度势在必行。

1.4 欠缺学分认定制度,难以推动学分银行的建设

随着 1+X 证书制度的推进，职业等级证书的种类越来越多,相同专业呈现出不同方向的考核内容,同时根据职业标准等级证书又分为初、中、高三个级别。工业机器人专业根据未来工业机器人发展方向和现有的人才培养方案、实训设备、课程体系、师资队伍等选择了工业机器人应用编程中级证书，对应证书的知识技能考核涉及到 PLC 控制技术，工业机器人离线编程、操作与维护,组态软件技术,机器人视觉以及机电设备装调等,学科涉及过多。如何确定核心课程，推动学分银行的建设，健全学分认定制度,需要“政、企、行、校”多方通力合作。制定学分认定标准，推动适用于学分银行储存的职业教育网络平台的使用,建立学分互换“立交桥”,是学分银行建设的有效途径。

2 双融合模式下课程改革应对策略

2.1 “育训结合”的实训课程,融入职业能力考核标准

加大实训课时量,整合课程资源,编写实训培训方案,将原有钳工和电工实训取消,保留机电设备装调和工业机器人工作站安装与调试实训，增加 X 职业证书考核实训，先以工业机器人应用编程中级考证为准,待制度和考评等工作运行稳定之后,增加智能制造系统集成应用考证实训。工业机器人应用编程中级实训周数为期四周，是原钳工和电工总学时的两倍，将实训教学的标准与职业证书考核标准融合，保证了职业能力的全方位培养和职业素养的融入。在实训操作和技能学习的过程中,将实训教学环节课业内容和课程过程以及证书的考核环节进行数据积存。用以实现大数据云端备份,保证了学习过程全程可查。

将实训与培训有机地结合起来,在教学过程中,以项目的形式传授知识,习得技能,将整个考核内容割分成 20 个任务,从安全准备、零件取料、到成品入库、职业素养考核细分到每一个知识点。课前通过视频观看提前预习即将要学习的知识,激发兴趣;课中发布实训工单,模拟企业实际生产场景布置工作,给学生观看项目实施结果的效果视频；通过学生分钟讨论,自主探索等形式,以组别优势确定实施方案和实施路径，发现自身知识体系的短板，进行知识补救;老师全程解疑答惑,监督实施;最后由老师进行点评,总结核心知识技能;经过这样的一轮实训课程后,学生能够发现自身问题及时解决个人问题,完善个人知识体系,并加深了核心知识。在实训课堂结尾加入拔高技能拓展，不断强化技能同时培养职业素养,如图 1 所示。在实操中锤炼人品,在学习中提升技能,为社会培育技能过硬,人品过硬的人才。

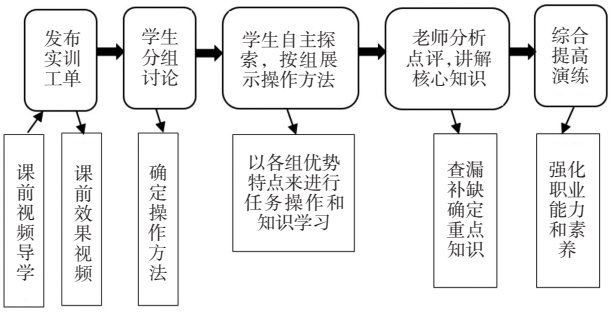


图 1 实训课堂流程

2.2 创新多层递进式课程体系，校企共建云端资源

将工业机器人专业课程体系划分为公共素养平台课、专业技能基础课、职业技能模块课和平台技能拓展课。公共素养平台课是树根不作改动，专业技能基础课是是树干不作改动，职业技能模块课是枝叶需要修剪，平台技能拓展课是衍生树需要取舍。职业技能模块包括：工业机器人模块、PLC 控制技术模块、传感器与视觉系统模块、电气设备维护与保养模块。通过四个模块来学习十门课程，深挖技能要点，以生产实例项目引入课程讲解，将技能的培训与培养贯穿于课程的始终。在关键模块邀请企业工程师授课，将课堂搬到云端，将课程搬到厂房，以真实体验来激发学生学习动力和潜力，让课堂既能活跃起来，又能沉淀下来。平台技能拓展课会根据时代潮流，企业发展方向做出改变，添加 MES 系统、智能制造系统集成应用、柔性化生产线、并联机器人技术应用、移动机器人应用、无人机技术、工业机器人工作站优化等课程，既丰富了专业知识，又拓宽了现代化视野。

校企合作开发活页式应用型教材，并配套 PPT、视频、题库等课程资源、建立云平台课程。云平台给教师、工程师、学生开放不同的权限，校企共同管理和运用平台资源，通过电脑或者手机 APP 随时随地都能登录、可浏览、可下载、可分享、能互动。双导师同上一门课程，在校教师课堂讲解核心知识，在企工程师实地生产操作网络直播，学生自主学习，双导师共同答疑解惑，学生完成课程任务。通过云平台建立共享知识体系，学习留痕迹可追溯可查询。

借鉴工业机器人应用编程中级考核标准完善课程技能考评体系，将每门课程知识点分成若干个任务，由任课老师和工程师共同担任课程任务讲师，指导学生完成任务工单，习得知识技能，再由双导师转换裁判角色，分别评判任务点完成情况，同时学生们完成自评和互评过程，将评分高者放到云平台共享学习。

2.3 打造“2+2+1”的教师团队模式，健全师资管理规章制度

师资队伍由双师型教师组成校内导师队伍，由企业工程师和培训师构成校外导师队伍，打造成“双导师双向互动”的教学模式，组建考评中心一体化“育训”结合的考评团队。

（1）学校制定教师入企轮训制度和培训考核标准。与国培计划同步，每年由专业教师提出入企申请，学校综合考虑专业技能和培养任务等审批通过符合条件的教师入企锻炼，为期半年到一年不安排教学任务，在入企期间给教师安排企业考核任务，要求做出科研或教学成果。每学年提供技能拔高培训，利用寒暑假无课时间，到知名大企或高新中小企业参加技能培训，拓宽专业视野，提升技术技能。

（2）邀请企业工程师和培训师到学校或者入住云平台，进行线下学校课堂和线上企业现场等多种形式参与到教学过程中，跟企业导师签署协议，约定好教学日历，严格把控企业导师的教学进程和效果，根据实际情况实时进行调整，建立起给企业导师配伙伴的制度，让企业导师和学校导师强强联手，时时沟通，总结提升，调整教学策略。

（3）健全考评中心制度，由专业带头人任考评中心主任带队完成各项考评工作。校级考核师四名，考务工作人员两名，巡考监考人员四名，企业考评师两名。制度规定可和考务等工作的具体内容和相应的报酬。考评中心既可以承接校内师生的考核工作任务，也有能力承担社会职业等级证书的考核，并做好后续学分银行的对接工作。

2.4 建设多功能实训基地，打造校级学分认定系统

1+X 实训基地拥有工业机器人应用编程 1+X 证书中级考核设备十套，考核系统齐全，监控设备齐全，可承接实践课程讲解、实训任务、培训项目和考核工作等。通过校企合作，多方协力将实训基地打造成为教育、培训、考核评价于一体化，同步融合网络云平台，实现线上线下虚实结合的教学基地。网络云平台实现“一线”管理监控平台，“双线”沟通连报渠道，“全线”资源课程平台。“一线”管理监控平台是针对学校 1+X 考核管理的综合运行平台，可以发布通知公告，公布学生成绩，日常安排和管理考核团队。“双线”沟通连报渠道是建立开放平台连接对应的省级考评机构网站，沟通上报传达相关考核事宜，以及学分银行建设网站的预留通道，为学分转换做好准备。“全线”资源课程平台包含了工业机器人技术专业所有的核心课程，与 1+X 证书中级考核的技术技能需求相匹配。通过对平台课程的建设和优化，打造校级全链锁式的课程体系，考核管理系统和学分认定系统。将工业机器人操作与维护和离线编程课程设为工业机器人应用编程职业证书可兑换课程，转换学分不超过 6 学分[2]。学生的学习过程不仅能实现适时实训基地监控，而且网络云平台课程学习全程留痕迹，让学习过程可追查。

3 结语

1+X 证书和学分积累制度具有对职业教育改良道路的引领作用。本文将两种新政策融合到工业机器人技术专业进行改革探索,通过改造“育训结合”实训课程,多层递进式树形专业课程体系,完善职业技能考评体系,打造“2+2+1”的教师团队模式,健全师资管理规章制度,建设多功能实训基地,打造校级学分认定系统,为社会输送高素质高技能人才。

参考文献:

[1] 国务院.关于印发国家职业教育改革实施方案的通知:国发[2019]4 号[EB/OL].http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-02/13/content_5365341.htm,2019-02-13.

[2] 茅徐斌.1+X 证书制度理念下职业教育学分银行建设的价值、困境与策略[J].职业技术教育,2020,41(36):27-31.

The Predicament and Countermeasures of Curriculum Reform in Higher Vocational Colleges Under the Mode of “Double Integration”

CAO Xue-jiao,YANG Ping

(1.Tianjin Polytechnic College, Tianjin 300400, China; 2.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: Under the 1 + X certificate system and Credit accumulation policy background, the original professional curriculum of higher vocational colleges is difficult to match the rapid development of enterprises, it is difficult to meet the standards of vocational ability examination, also hard to satisfy credits accumulation. Through the study of industry robot technology, the professional curriculum system is built in a hierarchical progression, integrated into the assessment standards of vocational competence. The curriculum evaluation system should be innovated. Through the above measures, professional ability credits are stored for the two-way choice between students and enterprises. The teaching team should be optimized. The curriculum resources should incorporate vocational skills, so as to cultivate compound and high-quality talents for the society.

Key words: 1 + X certificate; credit accumulation; industry robot technology; course reform.

(上接第 178 页)

Research and Practice of On-line and Off-line Integrated Teaching in Colleges and Universities During Epidemic Prevention and Control

LI Fei[1],LU Da-tong[2]

(1.Liuzhou Institute of Vocational Technology, Liuzhou Guangxi 545006, China;
2.Baise Vocational College, Baise Guangxi 533000, China)

Abstract: At present, novel coronavirus pneumonia is in a tight and difficult world. China's novel coronavirus pneumonia control has achieved some results, but still needs the whole society and the whole industry to work together to build a good atmosphere for joint prevention and control. In the context of current epidemic prevention and control, the education industry should strive to change the traditional teaching mode and explore and improve online and offline integrated teaching. This paper will introduce a new SPOC model based on the current popular course worship model in Colleges and universities, implement online and offline integrated teaching in classroom teaching, amplify advantages, complement each other, and promote each other, so as to ensure that colleges and universities can improve teaching quality while ensuring the requirements of epidemic prevention and control.

Keywords: COVID-19 outbreak; online; the fusion of teaching; mixed teaching effectiveness

“新维度”高质量实施“新双高”建设

刘　斌　邹吉权　刘晓梅
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：教育部、财政部系统设计规划布局“双高计划”建设项目，拟通过多轮项目建设，提升高职教育发展质量，打造中国职业教育的国际品牌。经过首轮双高建设，双高建设院校大幅提升自身办学水平，实现了职业教育自身强。以“办学能力高水平、产教融合高质量”为导向的“新双高”建设即将拉开帷幕，基于“新双高”建设的新理念与新变化，提出校准与地方经济的“契度”、增进与行业企业的“融度”、加强双师培养的“力度”、增强办学能力的“丰度”、提高数智赋能的“速度”、拓宽成长成才的“宽度”、加大办学机制的“开度”、提升国际影响的“誉度”八个方面实施“新双高”建设的新维度，提升职业教育的服务力与贡献力，使职业教育成为支撑国家战略和地方经济社会发展的重要力量。

关键词：高职教育；“新双高”建设；八维度
中图分类号：G719　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-8415[2024]-06-0003-05

引言

立足高质量发展的时代背景，基于职业教育类型教育特点，以立德树人为根本、以提升质量为核心、以内涵式发展为主线，以世界水平的高水平高职学校和高水平专业群建设为抓手，教育部、财政部系统设计规划布局“双高计划”建设项目，拟通过多轮项目建设，提升高职教育发展质量，提升职业教育服务社会、服务行业企业的贡献力和支撑力，打造中国职业教育的国际品牌，为教育强国建设贡献力量。经过首轮“双高计划”建设，建设的高职院校大幅提升了自身办学水平，实现了职业教育自身强。以“办学能力高水平、产教融合高质量”为导向的第二轮“双高计划”项目——“新双高”即将拉开帷幕。

党的二十届三中全会提出，必须深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，“加快构建职普融通、产教融合的职业教育体系”。2024年9月，全国教育大会强调了教育强国的战略意义，明确了立德树人的根本任务，提出了服务国家战略与民生需求的双重使命。职业教育作为教育体系的重要组成部分，被赋予了新的历史使命与时代重任。《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》明确了推动新阶段职业教育改革的一系列重大举措，以及“一体、两翼、五重点”的现代职业教育体系建设的具体任务。这些都为“新双高”建设做了准确的定位，明确了建设的重点和任务。基于新阶段职业教育发展的新要求和新理念，在首轮“双高计划”建设的八维度基础上[1]，提出实施“新双高”建设的八个“新维度”。

一、校准与地方经济的“契度”

“新双高”建设要求，职业教育要从自我循环发展的小逻辑，转向服务区域发展的大逻辑，要想提升职业教育的服务力与贡献力，使职业教育成为支撑地方经济社会发展的重要力量，职业教育就必须融入区域经济和社会发展，与区域推动发展方式转变、产业结构调整、技术优化升级等整体部署、统筹实施。

一是在专业设置方面。要运用好行业产教融合共同体行业发展分析报告、行业人才需求预测报告“两报告”，以及行业人才供需清单、技术供

收稿日期：2024-11-15
基金项目：本文为2021年度天津市教育科学规划重点课题“‘双高计划’院校试点职业教育本科专业培养研究”（编号：BJE210032；主持人：刘斌）的阶段性研究成果。
作者简介：刘　斌（1961—　），男，天津人，天津职业大学原校长，教授，博士。

中国知网　https://www.cnki.net

需清单“两清单”，深入了解区域产业发展趋势和区域经济高质量发展的专业人才需求。瞄定行业发展趋势，系统规划、认真制定专业设置的“三张清单”。做精做强符合区域现代化产业体系建设的已有的优势、特色专业，为产业储备新质生产力和提供智力支持；适时调整设置专业与区域重点产业规划的偏差，削减与产业发展契合不紧密、核查供给过剩的专业；根据战略性新兴产业需求，提前规划、大力发展紧缺、新质专业，提升专业设置的全面性和引领性。

二是根据人工智能等新技术下，行业迭代升级发展和岗位任务的数智化变革，面向专业服务的产业链，梳理区域行业企业的高技能岗位需求，重新定位人才培养目标，重构课程体系，突出人才培养服务区域产业的针对性和有效性，保证毕业生就业面向符合培养要求，知识能力满足岗位需求，职业素质符合企业期待。依托专业面向区域，开展产业升级急需紧缺领域的技术技能培训，提升专业服务功能。

三是完善专业动态调整和可持续发展机制。定期开展服务产业发展办学定位评估，厘清现有专业与区域经济社会发展需求的匹配度，找准优势特色、发现问题短板、明确调整方向、建立调整台账。利用大数据、人工智能等数字化手段，建设产教人才供需信息平台，及时搜集数据，监测、评估、预测未来产业人才需求趋势，根据数据分析动态调整专业设置，建立完善调控式、激励式、引导式、监管式专业建设保障机制。

二、增进与行业企业的“融度”

一是充分发挥区域产教联合体、行业产教融合共同体的作用。学校主动与行业企业进行沟通交流合作，争取行业内龙头企业与学校共同开展专业与产业契合度评估，完善专业动态调整机制，深化课程改革和教学改革。积极与业内高端企业开展合作，接收学生开展实习实训和教师实践，促进行业企业深度参与学校专业规划、人才培养标准制定、课程开发、教材编制、师资队伍建设等人才培养的各个环节。全面推进职业院校专业、课程、教材、师资、实习实训五大模块改革，加强协同机制建设，探索校企合作路径。

二是探索校企共建混合所有制产业学院、企业学院、工程师学院等实体化合作办学模式，成立专职理事会负责学院重大事项决策和多元主体沟通协作。在专业建设、基地建设、课程建设、教学运行、人才互通、技术共研等方面促进企业发挥主体作用，使其积极融入技能人才培养各环节，推动建设兼具人才培养、社会服务、技术研发、工艺改进、创新创业等功能的产教融合平台。

三是深度服务产业发展。依托市域产教联合体、行业产教融合共同体建设共性技术服务平台，为企业在技术创新、工艺改进、产品升级方面提供服务，切实解决企业生产问题。校企共建教研室，协同开展教研活动。聘请生产一线具有丰富实践经验的企业专家、能工巧匠真正参与人才培养全过程，提升学校教师实践教学能力。学校根据企业实际需求，制定培训规划，利用学校继续教育中心等培训资源，承接联合体、共同体企业员工的岗前培训、专项培训等。

三、加强双师培养的“力度”

一是以教育家精神为主线，以“四有”好老师为标准，提升教师教书育人能力，开展师德师风建设，形成师德师风建设长效机制。坚持师德师风第一标准，将思想政治素质和师德要求作为教师招聘引进、职称评聘、评优奖励、项目申报等的首要要求。加强师德师风培养，把学习贯彻习近平总书记关于教育的重要论述作为教师培养的必修课、作为教师教育和培训的重要任务，引导教师在理论与实践中涵养高尚师德和教育家精神，增强教师为党育人、为国育才的责任感、使命感和紧迫感。

二是以提升教师实操和服务能力为抓手，优化调整师资队伍结构。打造与专业发展相匹配、师德师风好、教学水平高、实践能力强、专兼结合的“双师型”教师队伍。加强专兼职教师队伍建设，畅通行业企业高层次高技能人才引进通道和从教渠道，支持具有创新实践经验的企业家、技术权威、能工巧匠兼职任教。完善“双师型”教师培养制度，推进教师企业实践标准化建设，加强“双师型”教师建设与认定，大力提升“双师型”教师比例。基于核心专业，整合校内外优质人才资源，打造专业教师创新团队，动态选聘企业高级技术人员担任产业导师，持续优化团队

中国知网 https://www.cnki.net

结构。

三是提升教师数字素养。结合教育部发布的《教师数字素养》教育行业标准，明确职业院校教师在数字化意识、数字技术知识与技能、数字化应用、专业发展等方面的要求，以此为方向和标准，一方面，有针对性开展教师数字化、智能化等新技术应用能力培训，提升教师教育数字素养；另一方面，积极借助联合体、共同体、产业学院等校企合作平台，在真实生产情境中强化教师的行业数字素养[2]。开设包含数字化专业课程和数字化通用课程在内的数字化模块课程，与企业及其他兄弟院校根据行业数字化需求及自身发展优势联合开发数字化教材，建设与教育数字化发展适应的职业教育课程和教学资源。

四、增强办学能力的“丰度”

首先，课程是增强办学能力的核心要素。建设高水平高质量职业教育专业课程，深化产教融合、校企协同，课程内容与职业标准对接、学习任务与企业典型工作任务对接，按工作程序进行课程设计，对接岗位升级课程内容，校企共建课程开发中心，升级改造传统课程。深入了解和挖掘区域重点产业的高端领域与前沿技术，将行业新技术、新工艺、新规范、新标准、新方法作为专业课程体系重构的基本依据。依据企业生产技术要求、工序流程、典型职业能力等技术架构与技能需求，绘制知识图谱和技能图谱，传授给学生知识和技能的同时，培养学生的迁移能力和解决复杂问题的技术能力。完善课程开发和动态更新机制，保证课程内容与职业岗位需求的一致性或超前引领性[3]。

其次，教材是增强办学能力的重要载体。以思想性、科学性、职业性、实用性为原则，对接行业标准、企业标准，融入新方法、新技术、新工艺、新标准，利用数字技术，校企共同开发使用便捷、互动良好的数字教材。优质教材以真实生产项目、典型工作任务、工程实践案例等为载体，紧贴产业数字化升级改造与技术变革需求，遵循高技能人才成长规律、教材建设规划和教育教学规律，内容科学合理、资源配套丰富、形式灵活多样、内容权威前沿，包含工作手册式教材、活页式教材、数字教材等形式，适用于项目化、任务式、模块化教学需要。

最后，实训基地是增强办学能力的实践基础。虚实结合，对接企业生产过程和岗位职责，以校内实训基地职场化，校外实训基地教学化为目标建设实训基地，基于企业生产的真任务、真场景、真过程、真产品、真要求，转化企业真实生产场景，开发基于真实生产环境的生产性实践项目。建设数字远程实训中心和虚拟仿真实训基地，借助人工智能、大数据、数字孪生、虚拟仿真等数字技术与信息化教学技术，将教学过程与生产过程有机融合，将岗位场景转化为教学场景，解决实验教学存在的高消耗、高成本、高危险、高污染和综合性强、无法实现等难题。推进实训基地及实践教学管理数字化，建设集实践教学管理、过程控制、质量评价反馈于一体的实践教学管理信息化平台，通过精细化、开放式的信息化技术，实现实践教学过程的可见、可控、可评[4]。

五、提高数智赋能的“速度”

《加快数字人才培育支撑数字经济发展行动方案（2024—2026年）》提出，“充分发挥职业院校作用，推进职业教育专业升级和数字化改造，新增一批数字领域新专业。”新版《职业教育专业目录》以专业升级和数字化改造为关键，加强人工智能、大数据等相关专业设置，推进高职专业数字化升级改造。

一是专业数字化升级。在人工智能等新技术驱动下，行业迭代升级，岗位任务发生变革，职业教育人才培养需要适应产业数字化转型趋势，及时迭代升级改造传统专业，根据行业发展趋势，设置新专业；同时，要根据岗位数字化需求重新定位人才培养目标，推动传统专业在专业名称和专业内涵等方面的全面升级，改造旧专业。重构课程体系，一方面，开展人工智能的通识教育，通过开设现代信息技术相关课程，培养学生的通用数字能力；另一方面，将数字化、智能化等概念融入专业课程，在课程目标制定、课程内容选择等专业课程建设过程中融入数字化核心技术，提升学生的专业数字能力。

二是教学空间重塑。数字化孕育教育新形态，以数字化、信息化、智能化为驱动，采用新型数字化手段和教学方法，形成数字化育人新生态，

中国知网　https://www.cnki.net

打造全新的人才培养体系。运用信息技术建设教育网站、网络课程、学习论坛等虚拟课堂，通过创设仿真工作场景等方式建设基于工作过程开展实践教学的企业课堂，利用数字技术重塑教学空间，实现传统课程、虚拟课堂和企业课堂的跨界融合。通过人工智能技术深度融入课堂教学全过程，实现个性化培养和互动式教学模式，建立基于数字技术的教学评价体系，在教学现场也可以即时开展教学评价。

三是数字化管理模式创新。通过数字化管理模式和大数据分析，提升学校治理决策绩效和科学性。首先，推进校园管理、科研管理、教学管理等场景建设的数字化同步；其次，强化综合校情数据的可视化分析；再次，基于制度规则、阈值分析等手段提升预测预警、科学研判等综合治理能力，做到管理目标精准化、管理措施及时化、管理过程可视化、管理决策科学化、管理服务个性化，提高管理效能和水平[5]；最后，构建基于数字技术的专业群内部质量保证体系，运用大数据分析技术采集教育全过程信息，构建模型并进行智能化分析。

六、拓宽成长成才的“宽度”

一是落实立德树人根本任务。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的教育方针，加强理想信念教育，始终坚持为党育人、为国育才。建立体现职业教育特色的思政育人体系，深入推进思政课程与课程思政同向同行，把立德树人融入日常教学、技能培养、实习实训等各环节，实现课程思政全覆盖。把握德智体美劳五育内在的整体性和统一性，围绕“德智体美劳全面发展”教育目标，健全德技并修、工学结合的育人机制，让每一门课程实现价值引领、知识传授和审美立美的统一，促进学生的全面发展。挖掘劳模榜样、工匠故事、企业文化等具有职业教育特色的思政要素，将工匠精神、劳模精神、劳动精神融入教育教学。举办劳模工匠大讲堂，引导学生正确认识和领悟工匠精神，学做匠人、守持匠心、铸就匠魂。

二是加强学生职业技能培养。运用大数据技术分类精准育人，对学生进行个性化分类培养，鼓励学生考取相关职业资格证书、参加各级各类技能比赛、社会实践活动、公益类活动、实习实训等，拓宽视野。学校要对学生开展全过程职业指导，指导学生制定科学有效适用的职业生涯规划，学生可选择“专业+深造”“专业+创新”“专业+创业”“专业+管理”等人才培养路径，通过差异化的教、个性化的学、科学化的评，营造人人皆可成才、人人尽展其才的良好环境，让每个学生都有成长、成才机会，创造出彩人生。

三是培养学生的综合素养。加强艺术体育类课程、社会实践类课程、传统文化类课程、创新创意类课程等模块化课程建设，组织学生参加各种学校社团活动、大学生志愿者服务、校外社会实践活动等，将学生综合素质培养融入校内课程、课外素质拓展和社会实践环节，锻炼学生沟通能力、团队协作能力、解决问题能力等综合能力，培养学生的综合素养和社会责任感[6]。

七、加大办学机制的“开度”

一是从首轮“双高计划”以完善学校内部治理结构和水平为重点的“提升学校治理水平”建设，到提升地方产业支撑力、服务新质生产力发展贡献度的转变，提高职业教育的开放度。用新质生产力理念引领人才培养理念更新，以新质生产力需求引领职业教育人才培养目标的革新，以新质生产力内容引领职业教育课程内容更新。锚定新质生产力发展对于高技能人才的需求，多主体协同、资源贡献，建立开放的人才培养、认证与实践体系[7]。

二是立足混合所有制改革，推动高职院校与企业深度融合，健全德技并修、产教融合的育人机制。在“一体两翼”背景下，完善与企业以产业学院等多种形式实体化合作办学的体制机制，制定和完善产业学院等实体化合作办学形式的管理办法，成立理事会、管委会等决策机构，形成政校行企多元主体共建共管的组织架构，实施理事会领导下的院长负责制，赋予产业学院充分的人权、事权和财权。理事会对产业学院办学中有关专业设置、人才培养、产学互动、办学经费等重大问题进行审议、决策、检查、指导、咨询、监督和协调，产权明晰、组织完备、机制健全、运行高效[8]。大力推进中国特色学徒制培养，完善企业招工招生一体化制度，企业深度参与人才培养的全过程，促进学生的全面发展和高质量就业。

中国知网　https://www.cnki.net

三是充分发挥行业企业在高职师资队伍建设中的作用，制定鼓励和吸引企业专家、技能大师、技术骨干等能工巧匠参与专业建设、团队建设、课程建设、课程教学、教材编写、技能训练的制度体系。依托产业学院，探索校企人才双向流动机制，通过更加灵活的人事制度和更富吸引力的激励制度，建立双向选聘的有效路径，实现校企师资在知识与实践的互补与融合，形成产教融合的新生态。搭建校企合作平台，建立校企共研项目、共同技术攻关等合作机制，提升学校教师实践经验。建立完善的校企实体性合作项目质量监督机制，强化监督主体力量，发挥第三方评价机构作用，保证校企协同育人成效。

八、提升国际影响的“誉度”

一是平台建设。服务“一带一路”和国际产能合作，教随产出，促进中国产能“走出去”。通过建设“鲁班工坊”“中文工坊”“丝路学院”等特色鲜明的职业教育国（境）外办学机构，开设国（境）外“中文+职业教育”等特色项目，在培养国际化人才、提升当地技术技能、促进国内外文化交流、助力国际产能合作等方面发挥作用。面向区域支柱产业，对接国际技术标准、设备标准、管理标准，开发核心课程，与国外知名应用技术大学及“走出去”企业合作共建工程师学院。通过建设国际交流合作平台，打造中国职业教育的国际品牌，提升职业教育的国际“美誉度”。

二是资源开发。学校联合“走出去”的企业共同研制与合作国行业发展相匹配的专业、课程、实习实训、教学条件、师资、培养培训、校企合作等职业教育标准，开发双语或外文教材等教学资源和在线课程、数字化平台等数字化教学资源，要求基础良好、业内领先、紧贴相关行业产业需求、具有国际影响力，在国（境）外被采纳和应用，能够引领职业教育国际交流与合作高质量、规范化、可持续发展，提升中国职业教育的国际话语权。

三是品牌打造。依托优势专业，助力行业龙头企业在“一带一路”沿线国家开展技能培训，培养国际化人才和中资企业急需的当地技能人才。构建以中文语言课程、传统文化体验课程为基础，专业技能课程为主体的留学生课程体系，打造留学品牌。引进国际职业教育理念，将国际化作为学校总体事业发展规划的基本理念之一，把国际先进工艺流程、产品标准、技术标准、服务标准、管理方法等融入专业人才培养全过程，推动教育教学改革[9]。学校积极参加并承办世界职业院校技能大赛相关赛项，通过国际交流与国际技能竞赛，提高学生的国际视野和跨文化交际能力，提升国际竞争力和影响力。

九、结语

总之，通过“新双高”项目，项目建设院校要以对地方经济和行业产业发展的贡献度和支撑力，彰显高等职业教育的教育强国建设之为；以培养符合行业发展需求高素质技能人才的高水平办学能力，彰显高等职业教育服务经济社会发展之责；以利用现代技术对社会需求相匹配的优势专业进行数智化升级，彰显高等职业教育赋能新质生产力发展之力；以融入行业新技术、新工艺、新规范、新标准，适应岗位职责变化的“五金”新基建，彰显高等职业教育的适应性之适；以教随产出、产教同行，促进国际产能合作、中国产能“走出去”的职教出海，彰显高等职业教育助力构建人类命运共同体之实；以培养具有崇高道德修养和精湛技艺、健全人格和健康心理、较高综合素养和社会责任感的德智体美劳全面发展毕业生，彰显职教的教育之本。

（**责任编辑**：古光甫）

参考文献：

[1]刘　斌.“双高计划”多维度提升高职教育发展质量[J].现代教育管理,2019,(06):96-100.

[2]方绪军,王　屹.职业院校教师数字素养的合理辩护、现实挑战与培养路径[J].教育与职业,2024,(08):53-60.

[3]申保忠,王晨倩.如何持续深入推进职业教育课程改革[N].中国教育报,2024-09-10(6).

[4] 郭福春.瞄准新质生产力推动“五金”建设提质升级[N].中国教育报,2024-09-10(5).

[5]王　军.职业教育数字化转型的目标、动力与实践路径[J].成人教育,2024,44(01):61-68.

（下转第 13 页）

中国知网　https://www.cnki.net

[5]郭福春.瞄准新质生产力推动“五金”建设提质升级[N].中国教育报,2024-09-10(5).

[6]宋亚峰,潘海生.教育数字化背景下职业教育专业建设与产业发展谱系图构建研究[J].高等工程教育研究,2023(5):137-143.

[7]张晓湘,周劲松.省域职业教育专业集群发展的逻辑起点、布局规划与路径选择[J].职业技术教育,2022,43(20):17-21.

Analysis of the Construction of Professional Groups in Higher Vocational Colleges under the Background of “New Double-high” —Taking Tianjin Vocational Institute as an Example

Feng Yanwen　Guo Xiangli　Li Haibin

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The “new double-high” goal, which aims to achieve “high levels of school-running capacity and high-quality integration of industry and education”, is a deepening and expansion of the original ´double-high plan´. The core lies in the key to comprehensively deepening the integration of industry and education and school-enterprise cooperation, and the goals of improving the quality of talents cultivation and social service capabilities, promoting the high-quality development of vocational education and better serving the needs of the economy and society. In the context of the “new double-high”, Chinese path to modernization puts forward new requirements for the development of higher vocational colleges, economic and social development puts forward new challenges for the connotation construction of higher vocational colleges, and digital technology development brings new opportunities for the development of higher vocational colleges. Facing the restart of the journey of building the “new double-high” and taking the layout of professional groups in Tianjin Vocational Institute as an example, this article elaborates on the layout logic of professional group under the background of the “new double-high” construction, aiming to enhance the matching degree and support of majors (groups) with regional economic and social development and industrial transformation and upgrading.

Key words: integration of industry and education; school-enterprise cooperation; construction of professional group

（上接第7页）

[6]张　伟,熊　坚,岳　洪.优秀传统文化融入高等职业教育的路径探索 [J].职教论坛,2021,37(12):149-154.

[7]赵　勇,潘建林.职业教育赋能新质生产力培育的核心价值、现实问题与突破路径 [J].教育与职业,2024(20):39-46.

[8]郑　琦.产业学院:面向产业集群的高职教育模式——基于中山职业技术学院产业学院的分析[J].职业技术教育,2013,34(35):55-58.

[9]周　旺,方绪军,杨　清.共建“一带一路”背景下职业教育国际化的现实挑战与推进路径[J].教育与职业,2024(19):37-42.

The “New Dimensions” and High-quality Implementation of “New Double-high” Construction

Liu Bin　Zou Jiquan　Liu Xiaomei

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The Ministry of Education and the Ministry of Finance have systematically designed and planned the "Double-high Plan" construction project, which intends to improve the development quality of higher vocational education and build an international brand of China´s vocational education through multiple rounds of project construction. After the first round of the construction of double-high, the colleges have greatly improved their own school-running level and realize vocational education self-strong. The upcoming construction of the “new double-high” is guided by the requirements of "high level of school-running ability and high-quality integration of industry and education". Based on the new concept and new changes in the construction of “new double-high”, it is proposed the new dimensions to carry out the “new double-high” from eight aspects of calibrating the "fit" with the local economy, improving the "integration" with industry and enterprises, strengthening the "intensity" of dual-quality teacher training, enhancing the "abundance" of school-running ability, improving the "speed" of digital intelligence empowerment, broadening the "width" of talents growth and success, increasing the "openness" of the school-running mechanism, and enhancing the "reputation" of international influence, in order to enhance the service and contribution of vocational education and make it become an important force to support the national strategy and local economic and social development.

Key words: higher vocational education; construction of the “new double-high”; eight dimensions

中国知网　https://www.cnki.net

“智能制造”背景下MES系统应用开发的研究
——以锂电制造业为例

黄 鑫 李 茹
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：制造执行系统（MES系统）是实现制造企业智能化、生产过程的透明化、制造装备的数控化和生产信息的集成化的核心，对于数字化车间、智能工厂的整体搭建起到关键作用，已经成为当前智能制造建设的重要一环。在分析目前国内制造业中MES系统应用现状和存在问题的基础上，以新能源动力电池生产企业为实例，结合锂电池生产线自动化和信息化的特征，研究设计了锂电池制造企业新一代MES系统的解决方案和功能实现。

关键词：制造执行系统；智能制造；锂电池
中图分类号：TP391 **文献标识码**：A **文章编号**：1008-8415[2019]-06-0073-05

近年来，智能制造已经成为全球新一轮工业革命的核心驱动力，也是《中国制造2025》的制高点、突破口和主攻方向。数字化车间、智能工厂作为智能制造重要的实践领域，已经成为现代先进制造企业转型建设的趋势。MES系统即制造执行系统（Manufacturing Execution System），是一套面向制造企业车间执行层的生产信息化管理系统。它通过数字化生产过程控制，借助自动化和智能化技术手段，以最终实现车间制造的智能化、生产过程的透明化、制造装备的数控化和生产信息的集成化。由于MES系统与制造企业的业务联系紧密，处于智能制造建设的底层，所以可谓是智能制造建设的“最后一公里”工程。

一、国内制造业MES系统的现状

目前中国大部分制造企业还过度依赖人力进行生产，生产现场的信息化、自动化条件还很薄弱，面对以人工作业为主要生产手段的企业，MES系统很难发挥效力。系统如果不能直接实现对生产设备、生产调度系统的直接自动控制，那MES系统的核心价值将不能体现，并与其他的追溯系统、资源计划系统将无异。

另一方面，我国目前具备一定自动化基础的制造企业，现普遍的信息化建设层次还在车间层控制系统（Shop Floor Control System，SFC）和ERP管理系统两个方面。且SFC的建设主要是基于装备制造生产厂家生产的机床等设备所需具备的网络化、数字化，甚至智能化功能，而不是主要基于企业自身的生产和管理需要开发的订制化系统。这些基于生产作业处理的子系统和基于实时操作的工厂子系统，集成度较差、相容性较低。

在汽车零件、制药行业及电子零组件等高科技产业中，由于制造现场流程复杂，分批、并批、跳批、外包、插单、抽单等异常生产状况极为频繁，使得传统上以财务、会计为出发点的ERP系统中制造相关模块难以胜任，于是从工厂营运层考量的专用型制造执行系统在这些领域首先应用而生。

随着我国制造企业高度集成化、自动化、柔

收稿日期：2019-09-09
项目来源：该文为2019年河北省自然科学基金面上项目“面向人机交互的外骨骼机器人有限时间协调控制”(F201920236；主持人：王婕)的研究成果。
作者简介：黄 鑫(1983-)，女，辽宁海城人，天津职业大学机电工程与自动化学院，硕士，讲师。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

性化、智能化的发展需求，促使对应的软件系统亟需以新一代MES系统为核心，建立企业过程化、敏捷化、级别化的制造协同管理平台，使企业的生产经营和管理实现同步化和最优化。

二、锂电制造业MES系统的方案设计

由于锂电动力电池作为新能源汽车上的核心部件，产品的品质和可靠性十分重要。近些年锂电制造的工艺技术不断提高，对生产的自动化和信息化管理水平要求越来越高。不少锂电制造企业已经具备或正在实施一些独立的管理信息系统：OA，HR，MRP，PDM，CRM和DSS等，但这些业务模块间处于孤岛状态，甚至不是同一厂商提供的。锂电制造企业的MES系统开发需要采用信息化技术和集成理念，将生产现场原有各个环节使用的孤立软件系统有机融合。实现从生产计划的执行、生产过程的追溯、设备的正常高效使用、产品质量数据采集及分析等多个方面，对生产现场进行集成管理。

1.整体架构设计

从MES系统所处的层次来说，它应处于企业计划层与控制层之间的执行层，上连ERP系统、CRM系统，下连DCS、FCS、PLC等系统，是企业资源计划系统和设备控制系统之间的桥梁和纽带。MES系统应成为制造管理核心，灵活接驳各种软硬件设备和平台，形成企业的制造控制和数据交互中心，使制造企业实现大规模自动化、智能化、无人化生产并获得最优的成本、品质和交期成果。

从MES系统的功能定义来说，由于锂电池的制造工艺主要包括电芯的生产、电池装配、化成生产、OCV检测、过程仓储物流等一系列复杂流程。对应的MES系统的构建必须基于锂离子动力电池整个生产流程，并要作为中间件将各种业务相关的异构系统，如企业资源管理（SAP）、物流管理系统(LMS)、仓储管理系统（WMS）、产品生命周期管理（PLM）、能源环境管理系统等连接起来，从而实现锂电制造整个流程的可视化、数字化和可控化。所设计的锂电制造业MES系统的总体架构如下图1所示：

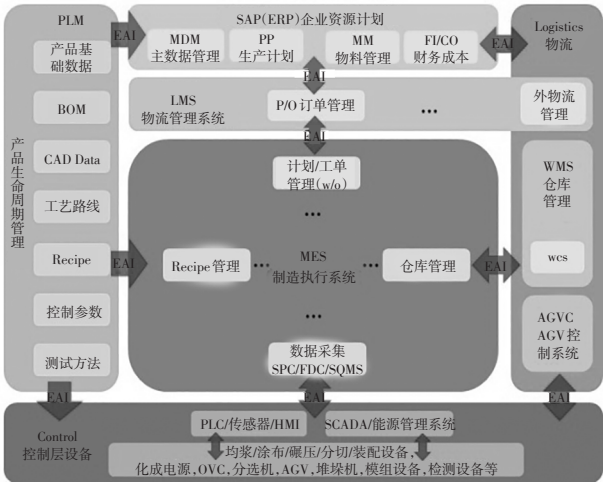


图1　锂电制造业MES系统设计的总体架构

2.开发技术设计

本文设计开发的MES系统采用企业应用集成技术（EAI），通过数据可视化（BI）、关连式数据库（RDBMS）、轻量目录访问协议（Lightweight Directory Access Protocol，LDAP）、开放式架构（Open Platform）、Web服务等相关技术，将各类进程、软件、标准和硬件联合起来。实现界面集成、业务过程集成、数据集成、平台集成四个方面的集成系统。

(1)应用数据可视化BI和门户技术，把用户界面作为公共的集成点，把原有零散的系统界面（PP生产计划、MRP物料计划、MDM主数据管理等）集中在一个新的保留浏览器的界面之中，实现应用用户界面统一的接入与安全机制。

(2)应用关连式数据库RDBMS对相关数据进行标识并编成目录，确定元数据模型，实现所有数据在数据库系统中的分布与共享，以及异构的数据源之间数据层的直接整合。

(3)应用LDAP技术定义、授权和管理各种业务系统的信息，实现包括业务管理、进程模拟以及综合任务、流程、组织和进出信息工作流等业务过程的全集成。

(4)采用开放式架构设计整个系统，构建与现有应用（包括化成管理系统FMS、仓储物流系统WMS、生产制造业系统SPC）相兼容的系统，另一方面对现有资源进行重构以满足新的信息系统需求，从而实现系统从底层结构、软件、硬件和异构网络的整体平台集成。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

三、锂电制造业MES系统的功能实现

本文以国内多家锂离子动力电池企业开发的制造执行系统（MES）为例，来阐述锂电制造业MES系统的主要通用功能的实现。

1.计划/工单管理(APS)

计划/工单管理(APS)模块通过EAI接口，接收物流管理系统LMS传递过来的由上层企业资源计划SAP(ERP)下达的订单信息(P/O)，根据用户给定的规则进行计划排产，自动生成计划工单W/O；订单生产期间，MES通过对生产线上的设备状态和任务的执行情况等进行监控和调度，实现“生产实绩反馈”，将各层次管理操作人员关心的报表数据以图形化的界面展示出来。其功能原理如下图2所示：

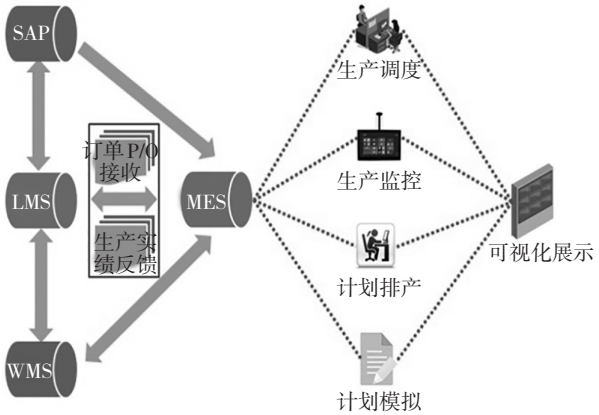


图2　计划/工单管理模块功能原理图

2.产线及批次管理

以某能源工厂的典型动力电池生产线为例，可将生产线分成四大工程：电极、装配、化成、模组，其Line信息化运营需具备生产管理、批次管理、包装实绩、入库实绩、异常保留品管理功能。

(1)生产管理：管理指定工序和当前产线所有设备的启停、生产、原材料投入、关键参数，实现生产状态、设备状态、环境监控、原材料消耗、实时产量、直通率、能源消耗等生产信息的监控统计，便于生产管理人员及时了解生产现场的情况。

(2)批次管理：批次的生成、shift、关闭及合并，支持手动操作，实现柔性生产。

(3)包装实绩：提供标准的包装功能，支持成品的装包与拆包功能，支持多层包装。

(4)入库实绩：提供仓储管理功能，实现成品入库管理。

(5)异常保留品管理：记录异常产品编号，包括种类、异常原因、时间等信息，禁止异常保留品继续上线生产，作相应的权限管理。

3.追溯管理

模块监视产品在任意时刻的位置和状态，收集和记录产品或物料加工工序、加工结果的数据，形成每个物料或产品可追溯性记录，以便在必要时，企业向客户证实产品的质量、追溯问题的根源或评估问题的严重程度等。系统的追溯管理模块主要包括：产品追溯查询、物料追溯查询、批次追溯查询、计量装置不合格追溯查询、生产计划追溯查询、在制品追溯查询、设备使用追溯查询、生产实时产能追溯查询。具体该模块的内容如下图3所示：

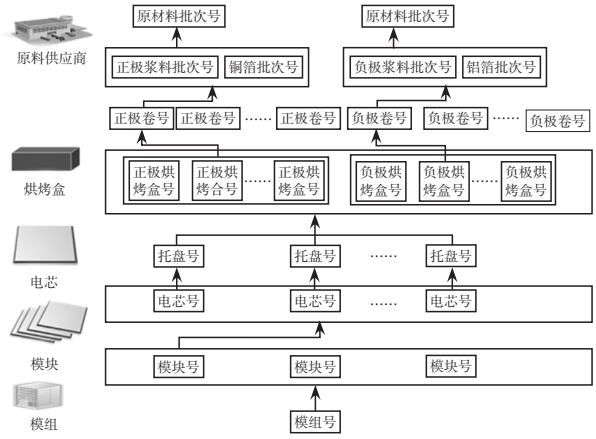


图3　产品追溯查询模块示意图

4.品质管理

基于TQM全面质量管理的思想，该模块实现对从供应商、原料到售后服务的整个产品的生产和生命周期进行质量记录和分析，并在生产过程控制的基础上对生产过程中的质量问题进行严格控制，能有效地防止不良品外流，降低不良品率。主要包括如下几个子项：

（1）基础数据维护（质量建模过程）：质量标准维护、品质数据维护、检验项目维护、抽样水准、抽样计划、抽样方案。

（2）质量检验：IQC、PQC、OQC、质量异常处理等汇总看板。

（3）质检过程：主要由系统设备完成，如需人工则由系统SOP引导，用电子检测设备完成，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

实时记录。

（4）质量分析看板：可视化分析、追溯、查询功能看板。

（5）质量改进：对质量改进工作进行记录、跟踪、监控、反馈等。

5.Recipe管理

由于锂离子动力电池制造工艺中存在产品种类繁多、材料性态不一、生产工程的复杂、性能要求较高、技术和产品更新较快的特点，制程整合工程师就需要频繁通过MES系统改动制程信息。这就需要一个Recipe管理模块，实现动态生成和更新制程信息，具有Recipe生成报表功能和签核功能，便于管控产线各工段制程的变更情况，从而满足多元化产品需求、降低人为失误造成的报废率。针对上述需求，Recipe管理模块开发的主要功能如下：

（1）发布与签核：登录新的Recipe或变更原有Recipe，自动按照客户配置好的组织结构和审批流程推送给相关人员进行审批，完成后自动变更版本并发布。

（2）查询与删除：按照文件名称、文件编号、编辑者、创建日期等进行查询与删除操作，Recipe删除时系统记录操作人员ID、操作时间、文件名称等信息。

（3）下载、上传、对比：现场设备开机时首先对当前设备的Recipe版本进行检查，自动比对并从MES下载最新版本Recipe，同时系统准许现场人员录入并上传相关标准区间参数，并作相关履历记录。

（4）权限和设备管理：对不同用户和权限创建对应的用户和管理组并赋予相应的权限，登记并维护全部设备清单并和相应的Recipe建立关联配置。

（5）信息记录和历史管理：当授权人员修改设备工艺参数时，设备自动向MES系统传送相关变更履历，包含设备编号、操作者、操作时间、操作项目变更前后值等信息并作相应记录。

6.化成管理（FMS）

锂电池化成管理系统（Formation Management System）从锂电池特性和生产工作一致性出发，通过对各化成设备和过程进行实时状态监控、数据管理和预警保护等，智能化管控整个产线电池化成过程。提高系统可靠性、稳定性和更精确的控制检测，满足高性能电池大规模生产的需求。化成管理（FMS）模块的主要功能如下，功能示意图如图4所示：

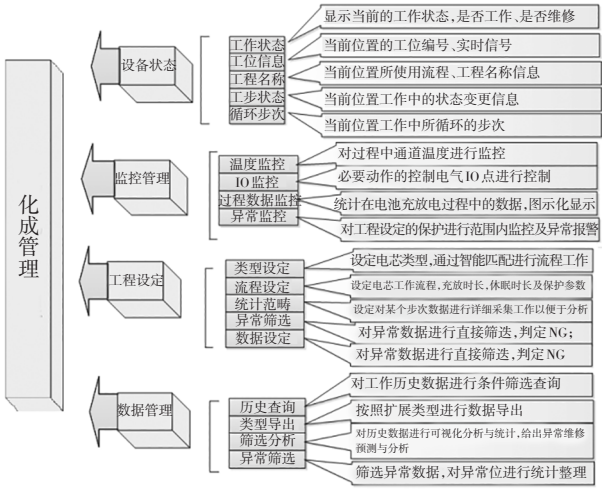


图4　化成管理模块功能示意图

（1）设备状态：对实时采集的化成设备状态信息进行数据分析后，实时显示当前时刻所进行的工作状态以及工作内容，如：化成工作到某个步次，正在进行第几个循环工作等。

（2）生产监控：主要收集过程数据，并图示化展示化成充放电过程中的实时数据；其他机械动作的实时信号反馈，以及异常的及时报警工作。

（3）工程设定：对不同型号电芯的化成具体内容的设计与建模，对化成过程中的不同级别保护工作参数的设定，以保证安全化成工作；对异常工作的直接筛选，及对异常点位的统计，为设备维保提供方向。

（4）数据管理：对化成历史数据的历史查询，保证追溯的完整性，异常信息的汇总对生产改进进行指导工作。

7.设备管理

在整个MES系统中设备管理是非常重要的一个功能模块，对产线设备从采购、档案、运行、点检、故障报警、维修等整个生命周期进行无缝管理，完整追溯和该设备相关的事件，实现对整个电池生产线设备的运转状况，设备综合效能OEE和设备稼动率，设备可靠性等进行全面分析和管理。MES系统中设备管理的核心功能如下：

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（1）设备台账管理：建立设备型号、制造商、购置和启用日期、部件参数、库存、总帐等基本档案，并可查询包括设备原值变动、部门转移、安装位置调整等变动业务。

（2）设备状态监控管理：通过各类现场总线服务接口，对作业层设备进行运行状态采集、数据处理，将采集到的信息生成电子报表进行实时展现。

（3）设备点检管理：建立设备点检卡、点检计划，按照计划执行点检作业，点检数据实时回传、存储、分析、报警，生成点检记录和报表。

（4）设备维修管理：提供完整的设备维修业务流，从维修开始建立维修工单并完成工单审核，使用终端设备对维修工时、维修点、工作量等记录并回传至服务端，生成设备维修报表。

（5）设备备件管理：备件基本信息记录、信息管理、出入库管理、库存管理等功能，对备件进行计划、生产、订货、供应、储备的组织及管理。

（6）设备KPI统计分析：设计设备关键业绩指标KPI（如OEE、MTBF、MTTR、设备故障TOP等），根据设备运行数据进行科学的数据分析，输出多维度的分析报表/图表，用于上层ERP进行决策分析。

四、结语

MES系统已成为我国智能制造行业中不可缺少的核心技术，实践证明，企业使用MES后可以缩短生产周期、减少在制品（WIP）、增强准时交货能力、改善产品质量，进而降低生产成本、增加总生产盈余，帮助制造企业生产车间提高工厂操作的一致性、敏捷性与正确性，对于企业精益化生产的实现有重大的意义。

（责任编辑：邹吉权**）**

参考文献：

[1]柴天佑, 郑秉霖, 胡毅等. 制造执行系统的研究现状和发展趋势[J]. 控制工程,2005(6):505-510.

[2]张庆大. MES系统在制造企业的应用与研究[J]. 数码设计, 2017(7)：158-159.

[3]陈　勇, 兰卫华. 基于MES的生产管理研究与应用[J]. 计算机产品与流通, 2019(1):164，245.

[4]苗润泽, 杨国太. 离散制造车间MES系统的架构研究[J]. 铜仁学院学报, 2018(3)：76-80.

[5]王连骁, 张兆明, 邢正双. 制造执行系统在发动机试制中的应用及发展趋势[J]. 柴油机设计与制造, 2018(4):48-52.

[6]梁晓纯, 吕增勇, 张晓峰. 面向电子装配的制造执行系统设计[J]. 计算机与网络, 2018(1)：61-63.

Research on Application and Development of MES System under the Background of "Intelligent Manufacturing" —Taking Lithium Manufacturing as an Example

HUANG Xin　LI Ru

(Tianjin vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract：Manufacturing execution system (MES) is the core of the intellectualization of manufacturing enterprises, the transparency of production process, the numerical control of manufacturing equipment and the integration of production information. It plays a key role in the construction of digital workshop and intelligent factory, and has become an important part of intelligent manufacturing construction. Based on the analysis of the current application status and problems of MES system in domestic manufacturing industry, the solution and function realization of new generation MES system for lithium battery manufacturing enterprises are studied and designed, taking the new energy power battery manufacturing enterprises as an example, combining with the characteristics of automation and informatization of lithium battery production line.

Key words：manufacturing execution system; intelligent manufacturing; lithium battery

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

《机械制造工艺学》课程在职业教育中的改革及应用

刘晓敏

(天津职业大学,天津 300410)

[摘 要] 《机械制造工艺学》是机械制造及自动化专业的核心课程,职业教育不同于本科教育,工艺分析有其特色。职业教育的目的是为生产建设服务,改变"满堂灌"的模式,真正让学生成为学习的主导者,这是其发展的趋势。

[关 键 词] 教学创新;机械工艺学;改革;应用

[中图分类号] G712 [文献标志码] A [文章编号] 2096-0603(2016)33-0096-01

一、教师教学能力提高

"君子有三乐,而王天下不与存焉。父母俱存,兄弟无故,一乐也;仰不愧于天,俯不怍于人,二乐也;得天下英才而教育之,三乐也。"为人师者,乃君子之乐,而大学的功能,在于人才培养,在于科学研究,在于服务社会,也承担着文化传承与创新和政治维稳的功能。而我国高等教育存在的问题是高校过于庞大的规模以及国内较低的毛入学率,且不能培养出杰出人才,还产生毕业后就业困难的问题。

高等职业教育作为高等教育的一个类型,肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命,在我国加快推进社会主义现代化建设进程中具有不可替代的作用。而高职教育的问题也有如下几点:(1)人才培养的目标定位模糊;(2)社会认可度不高;(3)财政投入不足;(4)生源质量逐年下降;5.教学改革步子太慢。所以迫切要求提高人才培养质量。而影响人才培养质量的因素有很多:(1)教育体制的改革。(2)政府层面:真正重视职业教育,层次到类型的转变,财政投入增加;真正有效的校企合作,产教融合。(3)学校层面:树立以生为本的理念;真正重视教学和教师;增加教师的数量,降低生师比;提高教师的幸福指数。(4)专业层面:准确定位,人才培养模式的探索;合理制订人才培养方案,完善人才培养质量评价体系。(5)教师层面:开展有效课堂;关爱学生。

那么作为教师,我们如何做才能解决这些问题呢?首先,转变教学观念。许慎在《说文解字》中解释:"教,上所施,下所效也。""育,养子使作善也。"新形势下,高职教师必须转变教育教学理念,改变"教师讲,学生听"的"满堂灌"传统教学模式,把教改、课改的成果在课堂中实施。其次,积极开展课堂教学创新,采用多种多样的教学方法和教学手段,充分调动学生的学习积极性和主动性。通过精心的教学活动设计,让学生动起来,让课堂活起来。最后,让学生成为课堂的主体,教师起引导作用。把以教师为中心的授课模式转变为学生自我负责的合作学习模式,强调少教多学。注重对学生自主学习能力的培养,强调对学生跨专业能力(非专业能力)的培养。能力是训练出来的,而不是教出来的。通过选取教学内容,设计教学活动,把控教学现场,进行教学评价,开展赏识教育,提高教师的教学能力。所谓成也教师,败也教师,教师任重而道远。

二、小班改革培养模式

在新生中通过面试录取学生组成实验班,形成教师是学生学习的陪伴者的教学与管理方式,创建"教、学、做"一体化大课堂,形成具有中国特色的可供推广的批量学徒制教育模式。采用任务制教学、陪伴制教学,陪伴学生完成任务,以学生训练为主,小组式训练,学生讨论,主要的中心思想就是不讲课。比如在钳工台录像,等学生自己把手磨破,再让大家分析动作要领。不严格遵循模式,在教中学,在学中教,让学生自己去体会学习的乐趣。

三、增加实训学时

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。一个国家的制造业水平决定了这个国家在世界经济中的地位。我国作为制造业大国,工艺水平相对低下,制约了装备制造业的快速发展,工艺人才的缺乏,制约了制造业的快速发展,以工艺实施为主线的专业建设是区域经济发展的迫切需要。

机械制造工艺学及夹具设计教学资源有:图纸、教材、电子书、实物、照片、视频、仿真模具、精品课程网站、实训室等,课程考核有大作业自评、互评与专评,对个人的五个必须:1.至少画过一张零件图;2.至少画过一张毛坯图;3.完成完整的工艺工序过程及书面材料,至少画过部分夹具装配图;4.至少以教师角色上过一次讲台;5.完成设计报告。

通过分析零件,找主要加工部分,分析工艺过程,进行材料的选择和加工余量的选择,计算工序尺寸,选择机床和工艺设备,确定切削用量和时间定额,编写工艺文件,进行夹具设计。在讲解的过程中包括了定位的概念以及定位基准的选择,涵盖了尺寸链的计算方法,在不同形式的重复中让学生熟练应用,逐步提高工艺水平。

四、几点感想

通过一轮改革实验,感触颇多。

(一)投入大

先进的教学理念应用到教学中,对学时的投入大,陪伴制教学,教师付出的时间非常多。对设备的投入大,实训中心很难做到每个学生一台机器要做到,要做到各种设备齐全,经济压力就会很大。

(二)思维发散

教学不拘泥于形式,无教学设计,完全以学生为本,以课堂为导向,甚至教师不以讲完内容为主,认为可以少讲,让学生学会即可,有些内容讲不完就不讲了。

(三)形式灵活

在我们的课堂中,或组成小组互相打分,或举手讲解,或做课件交流,或以竞赛制竞分,或玩积木,或玩纸片,在玩中学,充分发挥了学生的竞争力和团队精神。

(四)内容丰富

学生角色多,他们时而是学徒,时而是学子,时而是教师,时而是辩论家,发散思维用到极致,学习了大量的知识,投入了无限的精力,收获了很大的进步。

中国知网 https://www.cnki.net

1+X 背景下高职院校教材征订工作的策略探究

马金婷
（天津职业大学，天津 300402）

摘　要：随着 1+X 教学改革要求逐渐在高职教育体系中得到落实，教材征订工作应当结合实际情况条件，探索有效的改革策略，确保征订流程能够正常进行，为迎接未来工作挑战提供重要支持。文章首先分析 1+X 背景下的高职教材征订活动，随后探究其工作特征，最后深入研究执行策略，以供参考。

关键词：1+X 背景；高职院校；教材征订
中图分类号：G642　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1673-7164（2020）23-0064-02

一、1+X 背景下高职教材征订简析

1+X 背景主要与多种教学需求有关，如证书制度等，其能够有效深化三教改革，即教师、教材、教法。通过积极落实 1+X 政策要求，能够使高职院校的教育体系得到有效改进，有利于校企合作或实训基地等活动展开，具有重要的发展性指导意义。高职院校可以将证书培训相关内容整合至专业教学框架内，根据等级与授课标准，对课程内容进行深入优化，使其能够在理想前提下开展教学工作，有效增强高职院校人才培养灵活性与针对性 [1]。在 1+X 政策背景下，高职教材征订需要结合教学需求条件，对使用数量与类型进行合理调整，使其能够符合高职教育需求，确保 1+X 需求能够得到妥善落实。这对教材征订工作提出了较为严峻的挑战，执行团队需要结合实际活动特征，采取有效的应用策略，确保教材征订能够与 1+X 背景实现紧密结合目标，为高职教育体系革新打下坚实基础。

二、高职院校教材征订在 1+X 背景下的工作特征分析

（一）先行性特征

1+X 政策提出了证书制度试点要求，同时对产教融合与招生需求进行了改进。在此背景条件下，高职院校人才培养工作已经出现了较为显著的变化，导致教材征订活动面临调整需求。其调整需要紧密结合学生群体状态与社会人才标准进行，以确保高职教学工作能够顺利展开。这些规范使教材征订在 1+X 背景下获得了先行性特征，工作团队需要确保相关活动能够充分结合实际情况条件，进行及时、有效地调整优化，确保征订标准与教学需求相符。

（二）不确定性特征

在 1+X 政策背景下，高职院校教材征订存在不确定性特征。相关政策对高职教育规模产生了深远影响，自主招生权的确立使院校处于不断扩招的发展状态。在这种情况下，各专业招生与实际报到规模存在一定程度的差异，导致教材征订不确定性随之增强，可能会出现数量过多或数量过少的情况，需要根据实际条件进行灵活调整 [2]。除此之外，一部分教材的征订类型与规模经常变化，征订团队需要时刻关注院校培养需求，确保在条件变化的第一时间调整方案，避免征订超出标准引发积压现象，或征订少于需求导致学生课本无法补足。可以认为，高职院校征订目前在 1+X 背景下存在不确定性特征。

（三）队伍决定性特征

目前，教材征订工作受到 1+X 政策影响，其实际执行效果与人员队伍综合能力存在密切联系。可以认为，教材征订活动具有队伍决定性特征。在高职院校各学期教材征订流程内，教师与教研室人员需要针对相关活动进行规划，同时完成支持性责任，使征订工作能够顺利推进。同时，高职院校各院系教学主任、教务处也需要参与到征订活动中，提供必要的参考信息，使教材征订顺利完成。在这种特性影响下，教学管理团队的专业素养与业务能力会影响到征订处理可靠性与科学性。因此，需要重视团队建设工作，确保其能够符合高职院校 1+X 政策规划需求，为应对未来办学挑战打下坚实基础。

（四）程序性特征

相对于高职院校其他工作而言，教材征订具有较强的程序性特征，其需要按照固定的程序流程进行操作，以确保征订成果能够符合教学要求，降低出现问题的概率。在院校开始进行教材征订后，相关团队需要对教材类型进行把关，分析其是否符合 1+X 政策需求，并将不符合标准的教材排除在征订范围外，如自编教材等 [3]。同时，教师还需要按照征订程序，对目标教材的内容与教学思路进行深入研究，确保后续能够顺利应用教材开展教学工作。通过积极遵循执行程序完成教材征订，可以显著提高院校办学水平，对于 1+X 政策的妥善落实具有重要意义。

作者简介：马金婷（1990—），女，硕士，天津职业大学研究实习员，研究方向为职业教育课程开发与教材建设。

中国知网　https://www.cnki.net

三、高职院校在 1+X 背景下完善教材征订工作的策略研究

（一）注重需求统计与核查

在 1+X 政策背景下，高职院校应当从教材需求检查入手，完善相关规划方案，确保征订流程能够在科学指引下顺利进行。受到不确定性特征影响，教材征订可能会面临多次变动。为确保教材征订能够及时开展，相关团队应当积极与招生团队进行沟通，加强数据共享频率并建立实时沟通渠道。通过这种方式，及时获得本次招生规模变动信息，并根据数据变化调整征订方案。同时，还应当与高职院校各个教学系部进行深度合作，通过结合专业特征，定制符合教学需求的应用教材。在规划征订方案时，相关团队需要检查教材与专业特性是否相符，同时深入分析 1+X 证书制度带来的改变，如产教融合、招收人群类型等，确保教材内容能够与学生学习层次、企业需求相贴合，降低授课质量受到负面影响的可能性。

为确保征订计划能够顺利执行，团队还需要检查教材作者、出版社、名称与数量等关键信息，通过二次比对等核查方式，避免征订出错引发麻烦。除此之外，团队应当与教材委员会进行对接，通过这种方式落实审定工作，包括教材质量、内容科学性等，避免征订成果与高职院校实际要求不符。在不确定特征影响下，一部分征订需求可能会突然发生改变。为避免此类问题影响征订工作正常进行，相关团队需要对市场进行深入调研，筛选三家或以上的教材供应商，为后续改动计划做好应对预案。通过积极完成事先准备流程，能够有效强化教材征订与 1+X 政策的贴合程度，有利于高职院校进一步展开教学工作，实现理想人才培育目标，为提高办学水平打下坚实基础。

（二）落实规范审批方案并加强准备力度

为积极落实 1+X 政策要求，高职院校应当针对教材选定工作进行全面革新。通常情况下，高职院校教材主要在 5 月与 11 月开展。在接到教材征订要求后，相关单位需要及时根据授课情况与任务标准，以高质量、高效率开展教材征订活动。为确保 1+X 政策要求能够妥善落实，高职院校应当要求教师填写审批表，并在收集后交至教研室进行汇总处理，分析教材征订要求是否合理。教研室完成分析后，还需要进一步上交至管理层进行审批，最后再将征订细节传递至教务处，执行相关工作。在征订过程中，高职院校应当加强对错漏问题的管控力度，从根源层面降低相关情况出现概率，避免后续教学应用受到负面影响。同时，还需要检查征订教材的基础质量，分析是否存在缺陷问题。该环节可以使用教材选定管理方案，并要求教师自审自查，分析是否存在违反标准需求的问题。

在理想情况下，教材征订类型应当符合国家与教育行业规范，避免出现违规教学内容。若在审查过程中发现征订教材存在类似问题，则应当及时上报教务处并由管理层决定后续处理办法。在征订工作开始前，高职院校招生办应当将预期录取人数上交至管理层，通过信息共享渠道发送给教材征订团队。通过这种方式，确保征订活动能够顺利进行，避免与实际情况出现偏差。在教材招投标过程中，高职院校应当提前完成标书编制工作，同时将关键信息纳入考量范围，如教材送货时限、教材基本质量要求、教材数量等。通过这种方式，为教材征订工作提供稳定开展基础，确保 1+X 政策能够得到妥善落实。

（三）妥善完成教材发放后续工作

1+X 政策背景对高职教材征订提出了较为严格的要求，在这种情况下，教材征订后的发放与补退环节便显得至关重要。在完成招投标征订清单与供应商筛选后，高职院校需要根据招生报到人数与实际统计情况，提前编制教材征订清单细节，包括专业课用教材、思政课用教材等。在学生入学后尚未开展教学的时间内，高职院校应当妥善完成记录工作，并与教材供应商进行深入沟通，确保征订数量能够及时到位，并快速发放至学生手中，为后续展开教学工作打下坚实基础。在教材数量与需求存在差异，如过少的情况下，征订团队需要及时进行记录并通知供应商补发。在教材数量过多的情况下，也需要与供应商进行沟通，为后续进一步处理做好准备。征订团队应当做好每年征订数量与实际情况的差异记录，为来年继续开展相关工作提供重要参考，尽可能缩小征订差距，确保 1+X 政策能够得到妥善落实。

（四）注重人员队伍专业性建设

为增强高职院校教材征订水平，积极整合 1+X 政策要求，管理层需要加强对教职工团队的培训，使他们能够建立科学征订工作意识，并强化自身专业素养，从根源层面提高征订工作可靠性。在实践流程中，院校可以建立征订信息库，并对各团队参与教材征订工作的情况进行统计，落实评比考核体系。通过这种方式，促使教职工积极参与相关活动，并提高关注程度并强化规范意识，实现高质量教材征订目标。除此之外，还需要加强教职工现代信息技术素养培育，通过定向教学与培训方式，使团队能够合理运用信息化解决方案，提高教材征订工作效率与质量，为应对未来 1+X 政策变化打下坚实基础。

四、结语

综上所述，在 1+X 政策背景下，高职院校需要积极结合教材征订活动特征，采取有效的应对措施，确保征订成果能够满足 1+X 政策需求，为教育工作正常展开提供重要助力，实现提高办学水平的目标。

参考文献：

[1] 吴蔚 . 当前高职院校教材管理典型问题与对策分析 [J]. 南方农机 ,2019,50(23):199.

[2] 李志伟 . 数字出版背景下高职教材的策划与出版 [J]. 传媒论坛 ,2019,2(17):135+137.

[3] 吴海容 . 高职院校教材信息化管理探讨 [J]. 武汉冶金管理干部学院学报 ,2019,29(03):80-81.

（荐稿人：罗亚，天津职业大学副教授）

（责任编辑：莫唯然）

中国知网 https://www.cnki.net

316L 不锈钢选区激光熔化成形冶金缺陷控制的研究进展

赵亚楠[1,2]，卜恒勇[1]，李萌蘗[1]

(1. 昆明理工大学 材料科学与工程学院，云南 昆明 650093；2. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘　要：选区激光熔化(SLM)技术是增材制造金属件的成形方法之一，其成形参数多，工艺尚不成熟。316L 不锈钢 SLM 成形件存在冶金缺陷如孔隙、裂纹、残余应力、应变等。本文从 316L 不锈钢 SLM 打印过程出发，分析归纳了 SLM 打印准备阶段、打印阶段、后处理阶段的各可控参数，重点介绍了这些参数对冶金缺陷和力学性能的影响规律，同时对后续的研究方向进行了展望。

关键词：选区激光熔化成形；316L 不锈钢；冶金缺陷；力学性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 20220371

中图分类号：TG456.7　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-3814(2022)19-0013-07

Research Progress of Metallurgical Defect Control in Selective Laser Melting of 316L Stainless Steel

ZHAO Ya'nan[1,2], BU Hengyong[1], LI Mengnie[1]

(1. Faculty of Materials Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. School of Mechatronic Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: Selective laser melting (SLM) is one of the additive manufacturing processes for metal part, and it has many parameters and the forming process is immature. There are metallurgical defects such as pores, cracks, residual stress and strain in 316L SLM formed parts. From the aspect of SLM process of 316L stainless steel, the controllable parameters in the printing preparation stage, printing stage and post-processing stage were analyzed and summarized, and the effect laws of the above controllable parameters on the metallurgical defects and mechanical properties were emphatically introduced. The research direction in future was prospected.

Key words: selective laser melting(SLM); 316L stainless steel; metallurgical defects; mechanical property

不锈钢是 20 世纪初发展起来的一种合金材料，它能够在表面形成一层几纳米或几十纳米厚的钝化膜[1]，因而具有优良的耐腐蚀、耐热性能。316L 不锈钢是一种典型的奥氏体不锈钢，是选区激光熔化(selective laser melting, SLM)中研究较为广泛的一种材料。SLM 技术无需模具，不受零件几何形状的影响，生产周期短，在复杂结构零件生产中展现出巨大优势。SLM 技术是一个复杂的冶金过程，包括激光能量的吸收与传递、固化成形金属材料和金属粉末材料、与外界环境之间的热传递、金属熔池内的冶金反应等[2]。由于 SLM 加热和冷却速度均较快，成形件易产生较多的冶金缺陷，主要包括球化、孔隙、裂纹、残余应力及应变等[3-4]，这些都会直接影响 SLM 成形件的表面质量、尺寸精度、力学性能和耐腐蚀性能。因此，SLM 成形过程的冶金缺陷控制十分重要。SLM 成形过程的冶金缺陷取决于 SLM 打印过程。本文针对 316L 不锈钢材料，分析打印过程中的可控参数对 316L 不锈钢成形件冶金缺陷的影响规律。为方便讨论，将 SLM 打印过程划分为三个阶段：打印准备阶段、打印阶段和后处理阶段。

图 1 列出了 SLM 打印过程中三个阶段的主要可控参数。打印准备阶段，金属粉末特性和模型空间放置方式是控制 SLM 成形过程冶金缺陷的关键参数；打印阶段的工艺参数众多，通过优化打印工艺参数，可以有效降低冶金缺陷，提升性能；打印完成后，冶金缺陷已形成，可以通过后处理进一步减少 SLM

收稿日期：2022-02-19

基金项目：昆明理工大学集成计算材料工程省创新团队项目(KKP6202051001)；天津职业大学科学研究基金项目(20191102)

作者简介：赵亚楠(1986–)，女，河北宁晋人，讲师，博士生，主要研究方向：材料成型 CAE 及先进制造技术；E-mail:skyzyn@126.com

通讯作者：李萌蘗(1964–)，男，四川眉山人，教授，研究方向：材料加工和装备制造集成计算材料工程；E-mail:limengnie@163.com

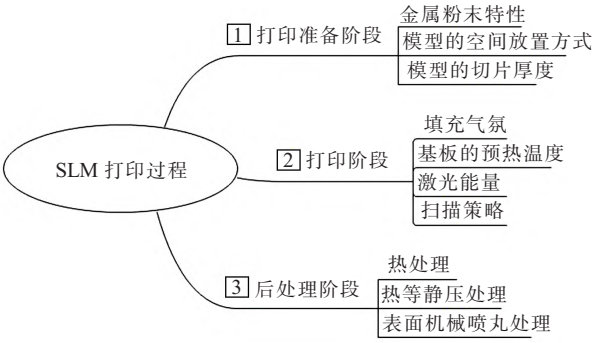


图 1 影响 SLM 成形件质量的因素

Fig.1 Factors affecting the quality of SLM samples

成形件的冶金缺陷,改善性能[2]。

1 选区激光熔化成形

SLM 技术是在高能量密度的激光束作用下,选择性地将金属粉末完全熔化,经冷却凝固实现与固体金属的冶金焊合成形,层层累积成形出三维实体的快速成形技术[5]。SLM 技术原理如图 2 所示。将分层后的模型传输至选区激光熔化打印机,在成形室内注入惰性气体,确保较低的氧含量;铺粉刮刀运动,将原料区的金属粉末铺至打印区域,激光光束根据二维薄层的形状选择性扫描加热金属粉末,完成一层后,工作台下移,原料区供粉,铺粉刮刀运动,重复上述步骤,逐层积累形成三维实体模型。

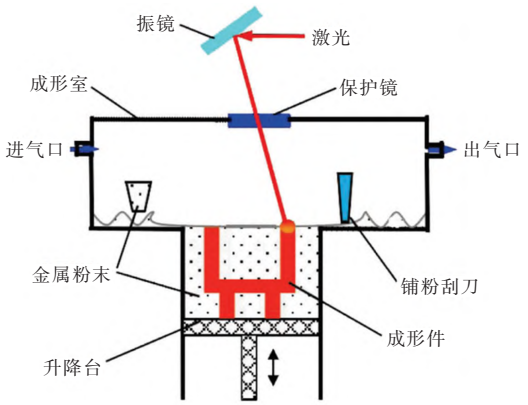


图 2 SLM 技术原理图[6]

Fig.2 Schematic diagram of SLM[6]

2 打印准备阶段的参数分析

2.1 316L 粉末特性

不锈钢金属粉末的特性主要包含金属粉末化学成分、颗粒形状、粒度及粒度分布、松装密度、氧含量等。

常用的金属粉末制备方法是气雾化法和水雾化法,其中,气雾化法制备的颗粒粉末球形度好[7],粉体的流动性好,松装密度高,氧含量低,形成的熔池润湿性好,获得的 SLM 成形件致密度高[5,8-9],因此,推荐采用气雾化法制备的金属粉末。在一定范围内,粉末粒度越小,松装密度越大,SLM 成形件的致密度越高,表面质量越好,这是因为小粒度的粉末颗粒比表面积较大,更易于熔化;但当粉末粒度小于 10 μm 时,粉末的流动性变差,不利于铺粉,使 SLM 成形件的质量下降。

目前对 SLM 打印用 316L 不锈钢金属粉末的要求基本达成一致,即金属粉末粒度一般在 10～60 μm,粒径分布范围适中、球形度好、纯净度高、氧含量低(<500×10^{-6})。

2.2 模型的空间放置方式

在 SLM 成形过程中,激光束热量的纵向传递促进熔池与前一固化层的结合,横向传递促进扫描平面内受激光束影响的粉末相邻区域之间的结合,因此,SLM 成形件在晶粒形貌、力学性能上均表现出各向异性[10]。

为方便讨论,将 SLM 成形件的空间放置方式简化分为 A、B、C 三大类,如图 3 所示,打印堆叠方向沿 z 轴。A、B、C 三大类中,又可以通过旋转一定角度改变放置方式,如图 3 中 D、E 也归于 C 大类中。不同放置方式 SLM 成形件的力学性能见图 4[11-12],A、C 成形件的抗拉强度比 B 成形件的高 15%左右,A 与 C 成形件之间的抗拉强度相差在 2%范围内;而 B 成形件的塑性最好,通过调整 C 成形件的放置方式,能够在保证高强度的同时,获得与 A 成形件相近的良好塑性,这在 Röttger[13]、Zhang[14]的研究中得到了证实。这是因为预热热源在基板下方,且 A、B 成形件有一定高度,上层金属粉末的预热温度不够,导致 A、B 成形件出现较多的缺陷使强度降低。对比 A 和 B 成形件强度、硬度、密度的差异说明,A 成形件性能对打印参数(激光功率、扫描速度、扫描间距)的敏感度不高,B 成形件则与打印参数的关系很大[15]。

C、D(与 C 成形件呈 45°)、E 成形件(与 C 成形

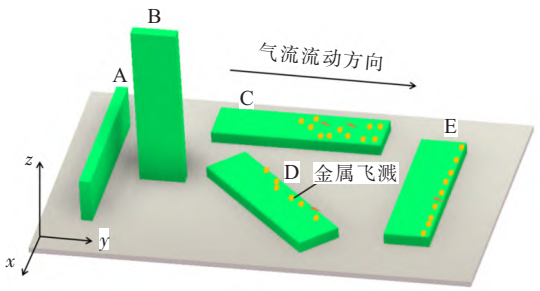


图 3 SLM 成形件的放置方式示意图

Fig.3 Schematic of layout of SLM forming samples

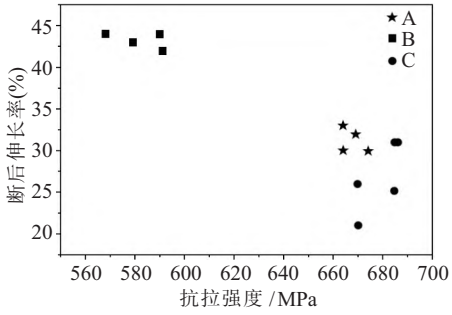


图 4 不同放置方式获得 SLM 成形件的拉伸性能[11-12]

Fig.4 Tensile properties of SLM samples with different layouts[11-12]

件呈 90°)的力学性能见图 5。尽管模型放置方式相同,采用不同打印机、不同打印参数获得的 SLM 成形件的力学性能并不相同。D 成形件的最大抗拉强度比 E 成形件的高 25%,最大屈服强度比 C、E 成形件高 13%,断后伸长率比 C 成形件的高 20%,可见,D 成形件具有最优的强度和塑性。这可能与打印过程中惰性气体的流动方向和熔池的飞溅有关,当模型 45°放置时,惰性气体的流动减少了 SLM 成形件上的金属飞溅,减轻了球化和孔隙问题,提升了力学性能。

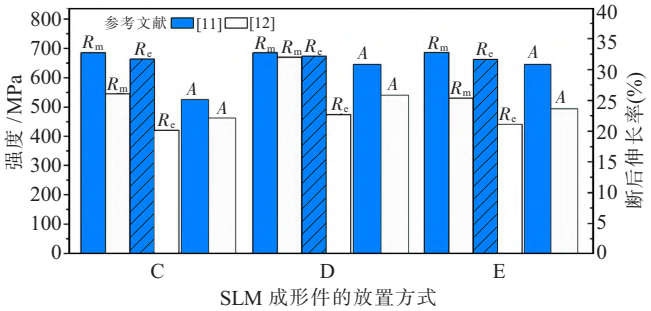


图 5 不同放置方式 SLM 成形件的力学性能

Fig.5 Tensile properties of SLM samples with different layouts

模型的放置方式对 SLM 成形件的性能有一定影响,为复杂结构件的打印提供了思路,但如何调控参数实现复杂结构件性能的均匀性仍是待解决的问题。

2.3 模型的切片厚度

SLM 成形准备阶段的切片厚度决定打印过程中的铺粉厚度。SLM 技术是基于粉床的熔融成型技术,具有高封装密度、均匀分布、合理铺粉厚度的粉床能有效改善打印过程,显著减少球化、孔隙、表面粗糙度等缺陷。在满足质量要求的前提下,铺粉厚度增大,能有效提高生产效率。

铺粉厚度可以通过刮刀上升高度来控制,Yao 等[16]采用离散元法(DEM),指出刮刀上升高度 H 与粉末粒径 D 有关。在研究范围内,刮刀上升高度增加,粉床的封装密度提高,当刮刀上升高度达到 3 倍粉末粒径时,封装密度最高,金属粉末分布较为均匀,在打印过程中可以避免球化、孔隙缺陷,但需要指出的是,粉床的铺粉厚度并不完全等于刮刀上升高度。这不仅为避免冶金缺陷提供依据,也为优化打印机设备提供了思路。

不同铺粉厚度下 SLM 成形件的力学性能见表 1。随着铺粉厚度的增加,SLM 成形件的致密度增加至 97%,随后趋于平稳[17]。这是因为,随着铺粉厚度的增大,在保持激光能量输入不变的前提下打印过程中过热、蒸发、飞溅等问题会得到抑制导致的。目前制备的 SLM 成形件的致密度最高可达 99.99%[18]。当继续增大铺粉厚度,一方面成型过程中形成的局部金属液滴润湿性降低,另一方面激光能量输入不足以熔化金属粉末以及基底,SLM 成形件会出现分层现象,降低致密度,SLM 成形件力学性能下降[14,18]。目前通过 SLM 打印水平布置的成形件的抗拉强度最高可达 1016MPa,同时保持了良好的塑性。

表 1 不同铺粉厚度下 SLM 成形件的力学性能

Tab.1 Mechanical properties of SLM samples with different layer thickness

铺粉厚度 /μm	杨氏模量 /GPa	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率(%)	参考文献
20	193	690	603	32	[19]
30	196	668	536	24.7	[20]
50	180	685	554	36.3	[21]
60	169	695	-	41	[18]
150	-	625	525	39.9	[22]
250	-	606	420	24	[12]

3 打印阶段的参数分析

3.1 填充气氛

金属在高温作用下极易发生氧化,在 SLM 打印过程中更是如此。为了防止打印过程中的氧化,需要在成形室内填充惰性气体或者抽真空。

Zhang 等[14]在氩气、氮气及其与氢气的混合气氛中制备 SLM 成形件,其致密度均超过 99%。填充氦气和氮气更易使金属熔池发生电离,保护气与金属之间发生电离,使激光能量无法传递给金属熔池,从而形成孔洞。另外,填充气氛的流动方向对于 SLM 成形件的质量也有一定影响[23],流动方向不同,飞溅形成位置不同。

3.2 基板的预热温度

SLM技术是利用高能量密度激光束逐层熔化金属粉末并成形为金属零件。在高能量激光束的作用下,金属粉末瞬间升温至熔点以上,在高能量激光束离开后,又急剧降温,在这一过程中,金属SLM成形件易发生球化、孔洞、应力变形等问题。因此,考虑提高粉床的预热温度,以期减少缺陷和应力,避免变形。

不同预热条件(室温～200℃)下,A、E放置SLM成形件的致密度均在98.6%以上[14],随着预热温度的提高,SLM成形件的条状孔洞逐渐减少甚至消失,致密度达99.8%,抗拉强度提高,杨氏模量提升,变形减小,尺寸精度提高。另外,预热温度(80～900℃)对熔融液滴的润湿角和熔化深度有较大影响[24],当预热温度高于熔化温度的一半时,单道熔融轨迹球化现象较为严重。

基板的预热温度对于打印高度较小的SLM成形件有一定作用,但是对于打印高度较大的SLM成形件,影响效果尚未见报道。

3.3 激光能量

从激光能量输入角度来看,工艺参数主要包括激光功率、激光斑点直径、斑点间距、曝光时间、扫描间距、扫描速度和铺粉厚度。SLM工艺参数呈现出多参数交互的非线性性质[25-29],且不同打印设备的最优工艺参数有很大差异[18]。

尽管不同打印设备之间的各项工艺参数有差异,但作用在金属粉末上的激光能量可以作为通用性参数,具有较高的科学价值,通常采用激光能量密度E_d来表示激光能量大小,如式(1)、(2)所示。

$$E_d=\frac{P_{laser}}{V_{scan}\cdot S_{hatch}\cdot T_{layer}} \tag{1}$$

$$E_d=\frac{P_{laser}\cdot t_{exposure}}{S_{hatch}\cdot D_{point}\cdot T_{layer}} \tag{2}$$

式中:P_{laser}表示激光功率;V_{scan}表示扫描速度;S_{hatch}表示扫描间距;T_{layer}表示铺粉厚度;$t_{exposure}$表示曝光时间;D_{point}是斑点间距。

在所研究的工艺参数范围内,即激光功率50～400 W,斑点间距30～100 μm,曝光时间75～250 μs,扫描间距30～240 μm,扫描速度300～1400 mm/s,激光能量密度增大,SLM成形件的冶金缺陷由孔隙转变为裂纹、变形,甚至球化[13]。

随激光能量密度增大,致密度、强度、硬度均呈现出先升高后下降的趋势[28,30]。因为激光能量密度增大,SLM成形件的熔池增大,层与层之间的结合力更强,力学性能提高;继续增大激光能量密度,SLM成形件致密度下降,力学性能降低。在统计范围内,在优化的工艺参数下,SLM成形件的强度、硬度均等于甚至高于铸件的,但塑性尚未达到铸件断后伸长率60%的水平[13]。

当激光能量密度相同时,较高的扫描速度,较低的扫描间距,小的激光曝光时间有利于得到致密度高、组织细小、力学性能优异的SLM成形件[13,31],且激光功率[32]、扫描速度[15]对SLM成形件的影响程度大于扫描间距。

相较于传统方法制备的不锈钢成形件,SLM成形件的晶粒更为细小[33],屈服强度大幅度提高,抗拉强度持平,但塑性降低。且由于SLM成形件的晶粒细小而不能有效阻止裂纹扩展,因此,SLM成形件的疲劳强度较低。

3.4 扫描策略

目前研究的316L不锈钢SLM成形件的扫描策略如图6所示。扫描过程中扫描方向的旋转打破了相邻层晶粒的柱状生长连续性[34-37],有助于晶粒的细化。因此,扫描策略对SLM成形件的致密度、硬度、杨氏模量、强度、断裂韧性、残余应力都有较大的影响,通过合理的扫描策略能有效减轻残余应力问题[38-39]。

除此之外,不同扫描策略打印的SLM成形件的耐腐蚀性也有明显差异[34]。点蚀是316L不锈钢SLM成形件腐蚀的主要形式,优先发生在熔池边界,*xy*面(垂直于打印方向的平面)的耐腐蚀性能优于*xz*面(平行于打印方向的平面)的,其中,扫描策略采用旋转67.5°的方式获得的SLM成形件的耐腐蚀性能最优[34]。

4 打印后处理阶段的参数分析

4.1 热处理

热处理是材料改性的重要工艺。SLM成形件具有独特的胞内位错结构[31,40-41],晶粒细小且有一定的孔隙率,使其强度高、塑性差。为了改善SLM成形件的综合力学性能,分析了热处理对于SLM成形件的影响规律,如表2所示。热处理温度升高,晶粒尺寸增大,强度降低,特别是屈服强度。

热处理没有使SLM成形件发生相变,仍然是奥氏体[40,42]。SLM成形件经过650℃以下的去应力退

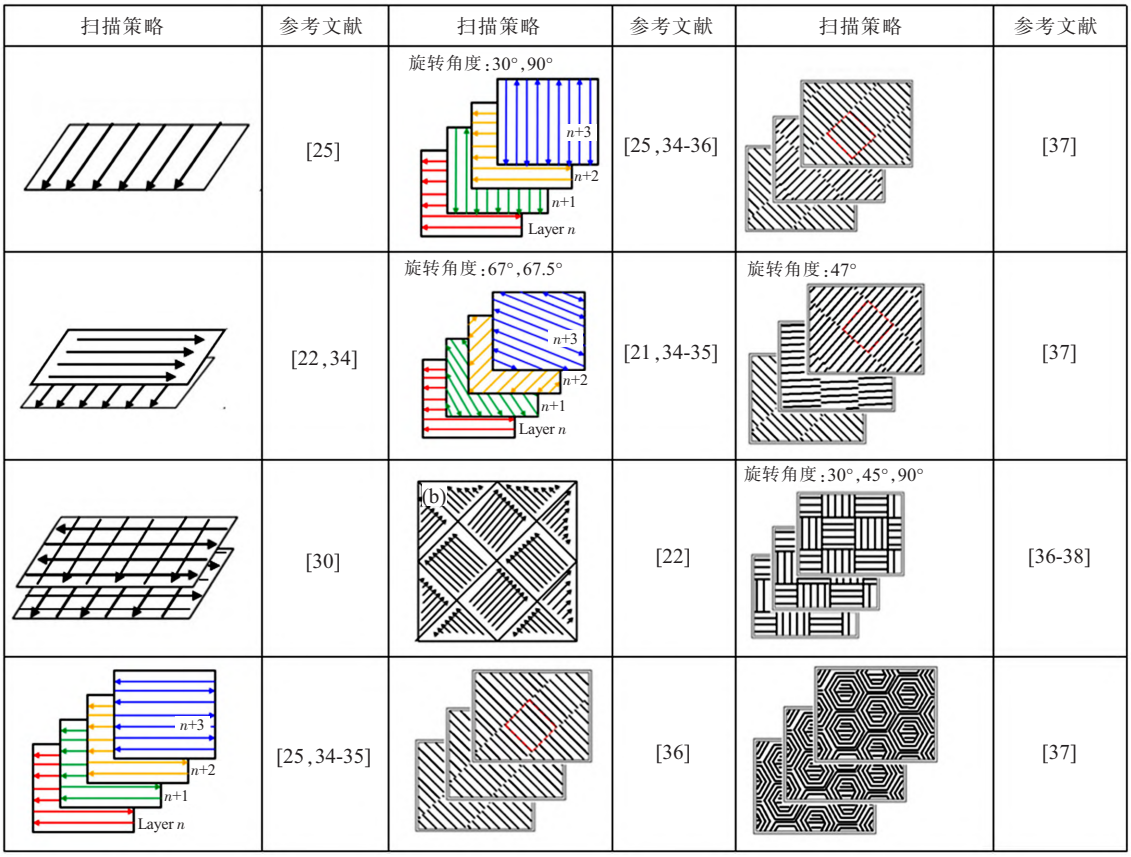


图 6 SLM 打印扫描策略示意图

Fig.6 Scanning strategies of SLM printing

表 2 不同热处理后 SLM 成形件的性能

Tab.2 Properties of SLM samples after different heat treatment process

热处理温度 /℃	保温时间 /h	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率(%)	硬度 /HV	晶粒尺寸 /μm	参考文献
SLM 成形件	-	550±10	1016±8	-	-	45±1	[43]
300	6	459±3	969±5	-	-	50±3	
600	6	440±3	941±4	-	-	55±3	
1000	6	347±8	836±7	-	-	65±8	
1100	6	243±5	814±7	-	-	88±5	
1400	6	174±7	712±4	-	-	102±3	
SLM 成形件	-	464.8±5	593.0±9	35.0+9.6	196.0±4.5	17.6	[31]
1100	0.5	321.7±3	570.2±5	51.2±5	176.0±2.1	21.4	

火后,晶粒没有明显增大。但是在 1000℃及以上温度时,晶粒的胞状微结构消失[31,42],晶粒随着热处理温度的升高而长大,使其强度和表面硬度下降,耐磨性下降,而塑性提高,耐腐蚀性提高。

4.2 热等静压处理

提高 SLM 成形件的致密度是研究中需要解决的重要问题之一。经过热等静压处理后,SLM 成形件的致密度略有提升,但并未提升至 100%。这是由于 SLM 成形件的封闭孔隙中存在氩气,无法完全压合[13,32]。

热等静压处理后,SLM 成形件的微观结构更为均匀,具有较大的晶粒,且晶界清晰,还可以清楚地观察到退火孪晶,说明已经发生了再结晶[32]。热等静压处理能够提升 SLM 成形件的弹塑性,降低抗拉强度和屈服强度,其中,屈服强度下降较多,甚至降至原强度的 50%[13,31-32],低于传统 316L 加工件的强度,削弱了 SLM 成形件的强度优势。

4.3 表面机械喷丸处理

SLM 成形件的表面质量较差,可以采用表面机械喷丸处理的方法提升表面质量。研究发现[42,44],表面机械喷丸处理能够有效降低 SLM 成形件的表面

粗糙度,提高显微硬度,进而提高表面耐磨性,此外,还能将 SLM 成形件的近表面残余拉应力转变为压应力,提高 SLM 成形件的屈服强度,并保持良好的塑性。但是机械喷丸处理不能保证 SLM 成形件的形状和尺寸精度,且无法对内表面进行处理,因此,对于复杂结构 SLM 成形件的作用有限。

5 总结与展望

本文综述了 316L 不锈钢选区激光熔化成形冶金缺陷控制的研究进展,探讨了打印准备阶段、打印阶段、后处理阶段各参数对 SLM 成形件致密度、微观结构、力学性能、残余应力的影响规律,在冶金缺陷控制方面仍然存在一些待解决的问题。

(1) SLM 成形 316L 不锈钢的强度已经超过传统方法制备的强度标准,但是塑性较差的问题依然存在,这与 SLM 成形件中的孔隙、裂纹等缺陷有关。从打印阶段的工艺参数入手,结合数值模拟技术,进一步研究缺陷控制方法,可以提高 SLM 成形件的综合性能和质量稳定性。

(2) 采用热等静压处理不能完全消除 SLM 成形件中的孔隙、残余应力等缺陷,机械喷丸处理虽然能提升 SLM 成形件的表面质量,减轻残余应力,但并不能解决复杂结构的问题。

(3) 目前的研究内容基本集中在简单试验件的研究阶段,对于结构复杂的产品件涉及很少。综合调控各项参数,获得微观组织、性能较为均匀的 SLM 复杂结构成形件,进一步解决产品件的致密度、残余应力、尺寸精度问题,仍是未来研究的重要方向。

(4) SLM 成形过程的复杂性、不同打印设备的差异性,限制了 SLM 成形工艺参数的借鉴和推广,亟需探索通用性的工艺指标,在不同打印设备上打印出质量稳定的 SLM 成形件,减少产品开发时间,降低成本。

参考文献:

[1] 徐海嵩. 316L 不锈钢再钝化行为规律及其钝化膜稳定性研究[D]. 北京:北京科技大学,2016.

[2] 田杰,黄正华,戚文军,等. 金属选区激光熔化的研究现状[J]. 材料导报,2017,31(S1):90-94.

[3] Gu Dongdong, Shen Yifu . Balling phenomena in direct laser sintering of stainless steel powder: Metallurgical mechanisms and control methods [J]. Materials & Design, 2009,30(8): 2903-2910.

[4] Yadroitsev I, Smurov I. Selective laser melting technology: from the single laser melted track stability to 3D parts of complex shape[J]. Physics Procedia,2010,5 : 551-560.

[5] 章文献. 选择性激光熔化快速成形关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.

[6] 李萌蘖,李闯,李绍宏. TC4 合金增材制造的研究现状[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版),2018,43(6):20-27.

[7] Li Ruidi, Shi Yusheng,Wang Zhigang, et al. Densification behavior of gas and water atomized 316L stainless steel powder during selective laser melting [J]. Applied Surface Science, 2010,256(13):4350-4356.

[8] Standard guide for characterizing properties of metal powders used for additive manufacturing processes:ASTM F3049-14 [S]. West Conshohocken: ASTM, 2014.

[9] 魏青松,王黎,张升,等. 粉末特性对选择性激光熔化成形不锈钢零件性能的影响研究 [J]. 电加工与模具,2011(4): 52-56.

[10] Cacace S, Furlan V, Sorci R, et al. Using recycled material to produce gas-atomized metal powders for additive manufacturing processes [J]. Journal of Cleaner Production, 2020,268:122218.

[11] Tolosa I, Garciandía F, Zubiri F, et al. Study of mechanical properties of AISI 316 stainless steel processed by "selective laser melting", following diffffferent manufacturing strategies [J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2010,51: 639-647.

[12] Shi Wentian, Wang Peng, Liu Yude, et al. Properties of 316L formed by a 400W power laser Selective Laser Melting with 250 μm layer thickness [J]. Powder Technology,2020, 360: 151-164.

[13] Röttger Arne, Geenen Karina, Windmann Matthias, et al. Comparison of microstructure and mechanical properties of 316L austenitic steel processed by selective laser melting with hot-isostatic pressed and cast material[J]. Materials Science & Engineering A,2016,678:365-376.

[14] Zhang Baicheng, Dembinski Lucas, Coddet Christian. The study of the laser parameters and environment variables effect on mechanical properties of high compact parts elaborated by selective laser melting 316L powder [J]. Materials Science & Engineering A,2013,584:21-31.

[15] Miranda G, Faria S, Bartolomeu F, et al. Predictive models for physical and mechanical properties of 316L stainless steel produced by selective laser melting [J]. Materials Science & Engineering A,2016,657:43-56.

[16] Yao Dengzhi, Liu Xiaohan, Wang Ju, et al. Numerical insights on the spreading of practical 316 L stainless steel powder in SLM additive manufacturing [J]. Powder Technology, 2021, 390 : 197-208.

[17] Schleifenbaum H, Diatlov A, Hinke C, et al. Direct photonic production: towards high speed additive manufacturing of individualized goods [J]. Production Engineering,2011,5: 359-371.

[18] Muhannad Ahmed Obeidi, Sinéad M. Uí Mhurchadha, Ramesh Raghavendra, et al. Comparison of the porosity and mechanical performance of 316L stainless steel manufactured on different laser powder bed fusion metal additive manufacturing

machines[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2021,13:2361-2374.

[19] Marattukalam Jithin James, Karlsson Dennis, Pacheco Victor, et al. The effect of laser scanning strategies on texture, mechanical properties, and site-specific grain orientation in selective laser melted 316L SS [J]. Materials & Design, 2020,193:108852.

[20] Suryawanshi J, Prashanth K G, Ramamurty U. Mechanical behavior of selective laser melted 316L stainless steel [J]. Mater. Sci. Eng. A, 2017,696: 113-121.

[21] Casati R, Lemke J, Vedani M. Microstructure and fracture behavior of 316L austenitic stainless steel produced by selective laser melting [J]. J. Mater. Sci. Technol.,2016, 32, 738-744.

[22] Wang S, Liu Y, Shi W, et al. Research on high layer thickness fabricated of 316L by selective laser melting [J]. Materials,2017,10 :1055-1069.

[23] Dadbakhsh S,Hao L, Sewell N. Effect of selective laser melting layout on the quality of stainless steel parts [J]. Rapid Prototyping Journal, 2012, 18(3):241-249.

[24] Yadroitsev I, Krakhmalev P, Yadroitsava I, et al. Energy input effect on morphology and microstructure of selective laser melting single track from metallic powder [J]. Journal of Materials Processing Tech. ,2013,213(4):606-613.

[25] Ahmadi A, Mirzaeifar R, Moghaddam N S, et al. Effect of manufacturing parameters on mechanical properties of 316L stainless steel parts fabricated by selective laser melting: A computational framework[J]. Materials & Design, 2016, 112: 328-338.

[26] Olivier A, Imade K, Patrice P, et al. Texture control of 316L parts by modulation of the melt pool morphology in selective laser melting [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2019,264:21-31.

[27] Larimian T, Kannan M, Gr Zesiak D, et al. Effect of energy density and scanning strategy on densification, microstructure and mechanical properties of 316L stainless steel processed via selective laser melting[J]. Materials Science and Engineering, 2020, 770:138455. 1-138455. 13.

[28] Cherry J A, Davies H M, Mehmood S, et al. Investigation into the effect of process parameters on microstructural and physical properties of 316L stainless steel parts by selective laser melting [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 76(5-8):869-879.

[29] Tolosa I, Garciandía F, Zubiri F, et al. Study of mechanical properties of AISI 316 stainless steel processed by "selective laser melting", following different manufacturing strategies[J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol. , 2010,51:639-647.

[30] Wss A, Bsb C, Ws D, et al. Heat treatment effect on the microstructure, mechanical properties, and wear behaviors of stainless steel 316L prepared via selective laser melting - ScienceDirect[J]. Materials Science and Engineering A, 2021 (806): 140805.

[31] Lavery N P, Cherry J, Mehmood S, et al. Effects of hot isostatic pressing on the elastic modulus and tensile properties of 316L parts made by powder bed laser fusion [J]. Materials Science and Engineering: A, 2017,693:186-213.

[32] Larimian T, Kannan M, Gr Zesiak D, et al. Effect of energy density and scanning strategy on densification, microstructure and mechanical properties of 316L stainless steel processed via selective laser melting[J]. Materials Science and Engineering A, 2020, 770:138455. 1-138455. 13.

[33] Kumar Punit, Jayaraj R, Suryawanshi J, et al. Fatigue strength of additively manufactured 316L austenitic stainless steel[J]. Acta Materialia, 2020,199:225-239.

[34] Zhao Cuiling, Bai Yuchao, Zhang Yu, et al. Influence of scanning strategy and building direction on microstructure and corrosion behaviour of selective laser melted 316L stainless steel[J]. Materials & Design, 2021,209:109999.

[35] Jithin James Marattukalam, Dennis Karlsson, Victor Pacheco, et al. The effect of laser scanning strategies on texture, mechanical properties, and site-specific grain orientation in selective laser melted 316L SS [J]. Materials & Design, 2020,193: 108852.

[36] Bian P, Shi J, Liu Y, et al. Influence of laser power and scanning strategy on residual stress distribution in additively manufactured 316L steel [J]. Opt Laser Technol,2020,132: 106477.

[37] Song Ya'nan, Sun Qidong, Guo Kai, et al. Effect of scanning strategies on the microstructure and mechanical behavior of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting [J]. Materials Science and Engineering A,2020,793:139879.

[38] Wang D, Wu S, Yang Y, et al. The effect of a scanning strategy on the residual stress of 316L steel parts fabricated by selective laser melting (SLM) [J]. Materials,2018,11 (10): 1821.

[39] Hajnys J, Petru J. Influence of scanning strategy parameters on residual stress in the SLM process according to the bridge curvature method for AISI 316L stainless steel [J]. Materials, 2020, 13(7):1659.

[40] Kong Decheng, Ni X, Dong C, et al. Heat treatment effect on the microstructure and corrosion behavior of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting for proton exchange membrane fuel cells [J]. Electrochimica Acta, 2018,276: 293-303.

[41] Li S, Hu J, Chen W Y, et al. Evolution of cellular dislocation structures and defects in additively manufactured austenitic stainless steel under ion irradiation [J]. Scripta Materialia, 2020, 178:245-250.

[42] Portella Q, Chemkhi M, Retraint D. Influence of Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT) post-treatment on microstructural, mechanical and tensile behaviour of additive manufactured AISI 316L [J]. Materials Characterization, 2020, 167:110463.

[43] Salman O O, Gammer C, Chaubey A K, et al. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of 316L steel synthesized by selective laser melting[J]. Materials Science & Engineering, 2019, 748:205-212.

[44] Sun Y, Bailey R, Moroz A. Surface finish and properties enhancement of selective laser melted 316L stainless steel by surface mechanical attrition treatment[J]. Surface and Coatings Technology, 2019, 378:124993.

文章编号:1002-025X(2015)07-0029-03

A304 不锈钢与 45 钢的焊条电弧焊工艺

闫 红

(天津职业大学,天津 300402)

摘要:研究采用焊条电弧焊进行异种钢焊接的工艺。针对 A304 不锈钢和 45 钢焊接性问题,制订了焊接工艺。根据制订的焊接工艺对复合板施焊,并对焊接接头的拉伸性能、显微硬度及显微组织进行分析。试验结果表明,采用该工艺可以较好地进行 A304 不锈钢和 45 钢的异种钢焊接。

关键词:异种钢;A304 不锈钢;45 钢;焊条电弧焊;工艺

中图分类号:TG457.1;TG444.1 文献标志码:B

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2015.07.010

0 引言

不锈钢复合板具有良好的成形加工性能、力学性能和耐腐蚀性能,而且不锈钢/碳钢复合板可以大大减少不锈钢的使用量,从而降低设备成本,因此,复合板被广泛的应用到实际生产中[1-2]。

由于异种钢焊接接头两侧母材成分和性能均存在差异,导致焊缝金属组织成分不均匀,并且接头的物理性能和各项力学性能往往也存在较大差异[3-4]。因此合理选择焊接工艺是保证异种钢焊接质量的关键。

针对 A304 不锈钢及 45 钢的组织及焊接性能特点,采用焊条电弧焊的方法,提出了合理的焊接工艺,并对 A304 不锈钢和 45 钢进行焊接试验。对焊接接头金相组织及力学性能进行分析,研究其工艺过程的规律及特点。

1 不锈钢/碳钢复合板焊接工艺试验

1.1 试验材料

试验选用 A304 不锈钢钢板和 45 钢钢板,板厚均为 21 mm,并机械加工成 300 mm×150 mm 的试板,其化学成分见表 1,力学性能和物理性能见表2。

表 1 母材的化学成分(质量分数)(%)

母材	C	Cr	Mn	P	S	Si	Ni	Fe
A304	0.07	18.62	0.12	0.026	0.009	0.52	8.76	余量
45 钢	0.46	0.23	0.63	0.030	0.012	0.22	0.19	余量

收稿日期:2015-02-04

表 2 母材的力学及物理性能

母材	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	线膨胀系数 /℃$^{-1}$(20℃)	热导率 /(W·m^{-1}·℃$^{-1}$)
304 不锈钢	≥520	≥210	≥40	1.66×10^{-5}	16.3
45 钢	≥600	≥355	≥16	11.55×10^{-6}	52.34

1.2 焊接方法的选择

不锈钢/碳钢复合板焊接需要在母材表面堆焊过渡层,过渡层金属与母材金属相近,所以对焊接方法无特殊要求,各种常见的焊接方法均可选用。而接头过渡层属于奥氏体不锈钢,与具有铁素体+珠光体组织的碳钢进行焊接,需要尽可能降低稀释率,避免焊接裂纹的产生,应采用较小的熔合比。以保证焊接质量为前提,综合考虑生产成本及生产效率,拟采用焊条电弧焊对不锈钢/碳钢复合板进行焊接。

1.3 焊接材料的选择及处理

在焊接不锈钢时,焊条性能应与不锈钢的用途相符,一般来说,焊条的选用可参照母材的材质,选用与母材成分相同或相近的焊条。接头中的 C 含量过高会严重影响不锈钢的抗腐蚀性能,因此选用的焊条熔敷金属 C 含量不能高于母材的不锈钢[5-6]。

本试验选择 A102 焊条进行对 304 不锈钢和 45 钢的焊接,其化学成分见表 3。

表 3 A102 焊条化学成分(质量分数)(%)

C	Mn	Si	P	S	Cu
Ni	Mo	Cr	≤0.07	0.25~0.5	≤0.90

为减少气孔的产生,需对 A102 焊条进行脱水和去氢处理。焊前将 A102 焊条置于电阻炉内预热,

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温度 300 ℃，保温 1 h。

1.4 焊接坡口与焊前准备

304 不锈钢和 45 钢对接，开 60° V 形坡口，如图 1 所示。坡口采用机械加工，保证坡口面光洁平整。焊前对坡口表面及其两侧进行清理，使其露出金属光泽，并用丙酮或酒精去除表面杂质及油污。

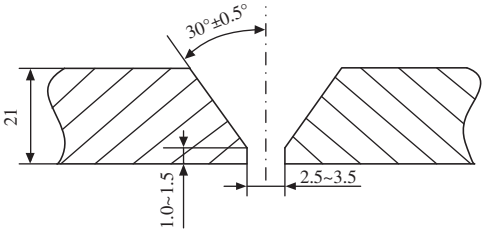


图 1 焊接坡口形式及尺寸

为防止碳迁移，在 45 钢上堆焊过渡层，必须保证过渡层金属完全覆盖基层金属，过渡层厚度应控制在 2~3 mm，为减少基层对过渡层的稀释，尽量采用较小的焊接电流、较大的焊接速度。通过试验，确定堆焊电流为 100 A，堆焊速度为 10~15 cm/min。

1.5 焊接工艺参数

采用多层多道焊，进行水冷，使道间温度控制在 150 ℃。尽可能采用小热输入，使焊缝金属具有合理的铁素体–奥氏体双相比例。焊接顺序如图 2 所示。施焊中焊条不允许横向摆动，每层焊后进行彻底清理，更换焊条继续施焊前，需彻底打磨掉焊缝弧坑。

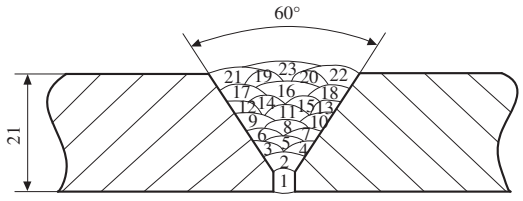


图 2 焊接顺序示意图

按照上述工艺要求，采用不同的焊接电流进行焊接试验，焊接工艺参数及焊缝宏观检查结果见表 3。

表 3 焊接工艺参数及焊缝状态

试验编号	焊接电流/A	焊接速度/(cm·min^{-1})	焊缝状态
1	100	10~15	未焊透
2	110	10~15	未焊透
3	120	10~15	焊透
4	130	10~15	焊透

试验结果表明，当焊接电流不超过 110 A 时，熔深较小，背面未焊透；当焊接电流增大到 120 A 时，飞溅较小，且有较大熔深，试板焊透；当焊接电流增大到130 A 时，虽然能够获得较大熔深，但是焊接过程中产生较大的飞溅。

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头宏观形貌

采用上述焊接工艺及参数对不锈钢/碳钢进行焊接。焊缝形貌如图 3 所示，焊缝成形良好，未见有咬边、夹杂、未焊透、裂纹等焊接缺陷。

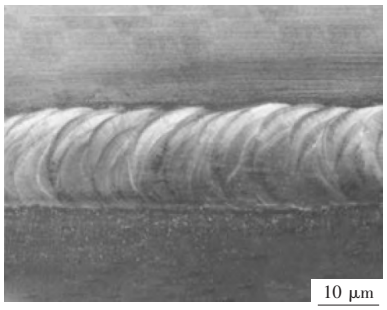


图 3 焊缝宏观形貌

2.2 接头拉伸性能测试

根据 GB/T 2651—2008 《焊接接头拉伸试验方法》加工拉伸试样，试样尺寸如图 4 所示。在 CSS 电子万能试验机上进行单向拉伸试验，拉伸速度为2 mm/min，取 3 组试样进行试验，结果见表4。

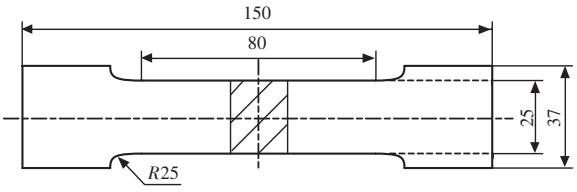


图 4 拉伸试样尺寸

表 4 焊接接头单向拉伸试验结果

试样编号	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	断裂位置
1	576.9	17.3	A304 母材
2	568.6	17.6	A304 母材
3	572.3	17.2	A304 母材

从拉伸试验结果看出，试样全部断裂在A304 不锈钢一侧母材上，且测得的抗拉强度均高于 A304 不锈钢母材的最小抗拉强度。拉伸试验结果表明焊接接头强度良好，可用于实际工程。

2.3 接头显微硬度测试

由于 A304 不锈钢和 45 钢母材存在组织性能的差异，所以焊缝两侧性能也存较大差别。为了研究焊

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

缝两侧性能的变化，对接头试样进行洛氏硬度测试。测试沿垂直于焊缝方向进行，图 5 为焊接接头硬度分布情况。由图 5 可见，焊接接头硬度存在明显的变化。焊缝中心硬度高于 A304 母材且低于 45 钢母材的，靠近 A304 钢一侧的热影响区硬度高于母材且低于焊缝中心的，靠近 45 钢一侧的热影响区硬度低于母材而高于焊缝中心的。整个接头硬度随着靠近 45 钢母材方向逐渐升异高，这是由于一种钢材含碳量存在较大差异，焊接过程中发生了碳迁移，由 C 含量较高的 45 钢一侧向 C 含量较低的 A304 钢一侧迁移，使得 A304 钢一侧形成增碳层，而 45 钢一侧形成脱碳层，但随着远离焊缝中心，迁移量逐渐减少，所以远离焊缝中心的热影响区硬度与母材的接近。

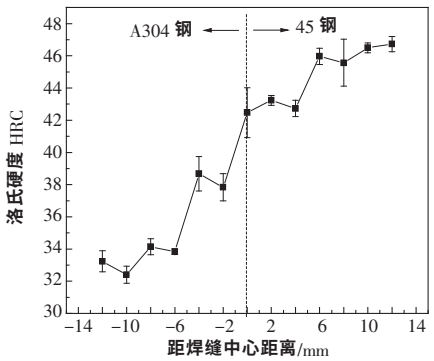


图 5 焊缝洛氏硬度曲线

2.4 接头微观组织分析

图 6 为焊缝金相组织，熔合线左侧为 45 钢，右侧为 A304 不锈钢。从图中可看出，由于焊缝两侧材料不同，熔合线明显。以熔合线为界，左侧以黑色的珠光体和白色的铁素体为主，并呈带状分布；熔合线右侧以粗大的奥氏体柱状晶为主，熔合线附近发生了一定程度的碳迁移，碳由 C 含量较高的 45 钢一侧迁移到了焊缝另一侧，并在奥氏体柱状晶间隙形成了黑色的珠光体组织。

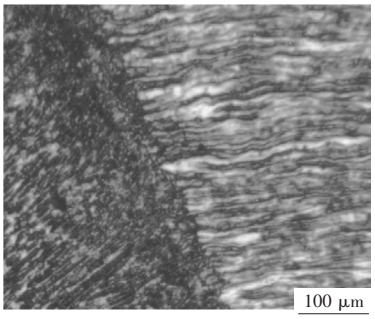


图 6 焊缝金相组织

3 结论

（1）通过对 A304 不锈钢和 45 钢异种钢焊接性的具体分析，制订了异种钢焊接工艺。采用焊条电弧焊的方法，以 A102 焊条作为填充材料，并且焊前对焊条进行 300 ℃保温 1 h 预热处理，然后进行多层多道焊，焊接电流 120 A，焊接速度 10~15 cm/min，并严格控制道间温度在 150 ℃，可以得到较好的 A304 不锈钢和 45 钢焊接接头。获得的焊缝成形良好，无裂纹、气孔、夹渣、咬边等焊接缺陷。

（2）试验结果证明焊接接头力学性能良好。拉伸试验试样均断裂在 A304 钢母材一侧，且抗拉强度均高于 A304 不锈钢在使用条件下的最小抗拉强度，说明在该工艺参数下获得的焊接接头质量良好。

（3）焊接接头组织及性能与母材的组织及性能相比均发生明显变化，304 不锈钢一侧以粗大的奥氏体柱状晶为主，C 含量略增加，硬度提高，45 钢一侧以黑色的珠光体和白色的铁素体为主，C 含量减少，硬度降低。

参考文献：

[1] 刘东宇，李 东，李凯斌，等. E36 与 304 电子束焊接接头的组织及性能[J]. 航天制造技术，2014，12(6)：29–33.

[2] 杨忠敏. 不锈钢零部件的焊修技术[J]. 安装，2010，30(2)：29–32.

[3] Celik A，Alsaran A. Mechanical and structural properties of similar and dissimilar steel joints[J]. Materials Characterization，1999，43(5)：311–318.

[4] Samal M K，Seidenfuss M，Roos E，et al. Investigation of failure behavior of ferritic-austenitic type of dissimilar steel welded joints [J]. Engineering Failure Analysis，2011，18(3)：999–1 008.

[5] 付洪亮，毛雅丽. 奥氏体不锈钢的焊接特点及焊条选用[J]. 石油和化工设备，2009，12(6)：56–57.

[6] 廖立乾，文花明. 焊条的设计制造与使用[M]. 北京：机械工业出版社，1988.

作者简介：闫 红（1966—），女，天津市人，硕士，教授，现在主要从事药芯焊丝方面的开发与研究，已发表论文 20 余篇，主持及参与了省部级课题三项，获天津市科技进步三等奖一项.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.19708/j.ckjs.2015.01.027

ACE在跨平台网络通信C/S架构中的设计与应用

张永飞，郑 伟
（天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410）

摘要：现实工业通信系统中，应用程序级的跨平台网络通信一直是个棘手的问题，针对这一现实问题需设计开发一套高效稳定应用于实际的网络通信程序。由于ACE在跨平台网络通信开发中的优势，于是运用ACE Reactor框架设计实现了Linux环境下服务器与Windows环境下客户端网络通信的过程，并且自定义了网络通信协议及其数据帧在整个程序中的流程，圆满完成了安装在服务器端的历史数据库与安装在客户端工控软件实时数据库的联系交互任务。实验结果以及长期的工业现场实际运行结果证明，使用ACE设计开发的跨平台网络通信程序，运行稳定、安全、高效，完全达到了预计的目标。

关键词：ACE；跨平台；网络通信；通信协议；实时数据库
中图分类号：TP311 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8829(2015)01－0095－04

Design and Application of ACE in Cross-Platform Network Communication With C/S Structure

ZHANG Yong-fei, ZHENG Wei
(School of Electric-Mechanical Engineering & Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: It' s a tough problem for application programs to communicate through the network with different platforms in industrial communication system. According to this actual problem, the program that can be applied steadily and efficiently is necessary to design and develop. Because of the advantage of ACE on the cross-platform network communication, one communication between a server with Linux environment and several clients with Windows environment is designed and implemented by ACE Reactor frame, moreover the network communication program defines its own communication protocol and the program process of its data frames. The task about connecting history database in server with real-time databases in clients is successfully completed. The experiment and industrial actual operation result show that the cross-platform network communication program developed by ACE has been running safely, stably and efficiently for a long time. Therefore, intended target is achieved.

Key words: ACE; cross-platform; network communication; communication protocol; real-time database

在生产过程管理系统的开发过程中，由于现场控制计算机和服务器往往采用不同的操作系统，因此数据采集模块的开发过程中要涉及到跨平台进程间通信的问题[1]。现今，大多数工控软件都是基于Windows环境下安装和运行的，在其他操作系统下不能使用，但是在某些行业领域中的服务器安装的并非Windows操作系统（如Linux操作系统），而且工控软件的历史数据库又安装在服务器中，从而就需要设计建立一个跨平台的服务器－客户端的网络通信渠道。但是，不同操作系统通信机制的不同会影响通信软件的开发和效率，网络编程人员通常从底层进行开发，这大大增加了软件开发的难度和周期[2]。现重庆某项目就需在解决此问题的基础上开发一套网络通信程序，使得实时数据库[3]对历史数据库[4]的启动、查询、写入等操作命令由一台网络计算机（客户端）转发给另外一台网络计算机（服务器），并将对服务器中历史数据库操作得到的结果返回给客户端。并且，承载了历史数据库的服务器安装的是Linux操作系统，而承载工控软件实时数据库的各个客户端安装的是Windows操作系统。面对此现实项目，本次通过使用ACE（adaptive communication environment，自适配通信环境）[5-7]，很

收稿日期：2014－01－17
作者简介：张永飞（1974—），男，内蒙古宁城人，工学学士，副教授，主要研究方向为自动化控制、机器人；郑伟（1983—），男，天津人，硕士，工程师，主要研究方向为自动化控制、计算机网络。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

好地解决了此次跨平台网络通信的问题。另外，为了避免传统 Socket 的缺点，并且兼顾开发效率和维护成本，本次开发利用 ACE 反应器（Reactor）框架，客户端与服务器采用同步通信方式。

1　程序设计总体思路

1.1　网络通信的总体结构

此次网络通信结构是传统的 C/S 结构，客户端中的实时数据库和服务器中的历史数据库互相隐藏，所有操作均面向用 ACE 设计的接口部分，因此，对于实时数据库来讲，操作 ACE 客户端接口与直接操作历史数据库的效果是相同的。另外，服务器与客户端是 1:n（一对多）的关系，网络通信的总体结构如图 1 所示。

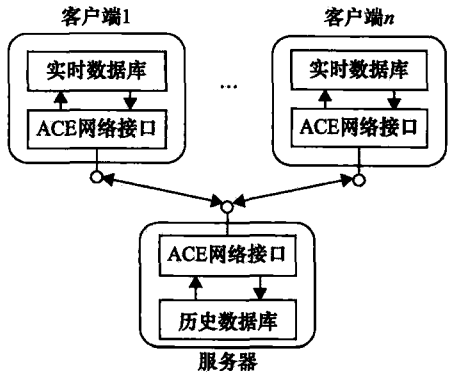


图 1　网络通信的总体结构

1.2　服务器与客户端网络程序完成的功能

服务器端程序主要完成的功能有：① 接收消息，解析消息，接收数据；② 服务器端各接口和历史数据库的交互；③ 返回数据。

客户端程序主要完成的功能有：① 接受其中实时数据库的函数调用，构造消息，发送消息，若为写消息，同时发送数据到服务器端；② 接收服务器端的返回数据，若为读消息的返回数据，则负责返回给其中的实时数据库。

1.3　ACE Reactor 框架的应用

ACE Reactor 框架是“事件多路分离和分发”框架的一种，它自动处理“和应用相关”程序的多路分离和分发，以响应各种基于计时器、信号和同步的事件，并且不会带来多线程的开销[7-9]。它的机制和模式非常利于此次网络通信程序的开发和实现，其中，用到的 ACE Reactor 框架类及其描述如表 1 所示。

2　服务器端的设计与实现

2.1　服务器端 ACE 接口结构设计

本次设计的服务器端 ACE 接口结构如图 2 所示。其中，服务器端接口程序对外提供的接口不直接暴露，而是再被“数据收发接口封装层”包装，这样有利于功能扩展。“数据收发接口封装层”（接口 5）主要用于解释消息，收发数据；ACE 网络接口 1、2、3、4、6 用于和位于服务器中的历史数据库进行联系交互；服务器端提供参数设置程序，方便对数据库路径、超时时间、IP 地址、端口号的设定（图中虚线框部分）。

表 1　所用到的 ACE Reactor 框架类及其描述

ACE 类	描述
ACE_Time_Value	提供时间和持续时间的可移植、规范化的表示，使用 C ++ 运算符重载来简化与时间有关的算术和关系运算。
ACE_Event_Handler	抽象类，其接口定义的挂钩方法是 ACE_Reactor 回调的目标，大多数通过 ACE 开发的应用事件处理器都是该类后代。
ACE_Reactor	提供一个接口，用来在 Reactor 框架中管理事件处理器登记，并执行事件循环来驱动事件检测、多路分离和分派。

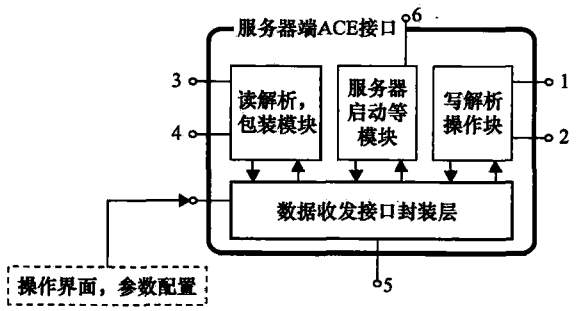


图 2　服务器端 ACE 接口结构

2.2　服务器端网络通信程序实现流程

为了保证效率和程序的健壮性及重用性，采用 ACE Reactor 框架结构。服务器网络通信程序内部时序图如图 3 所示。

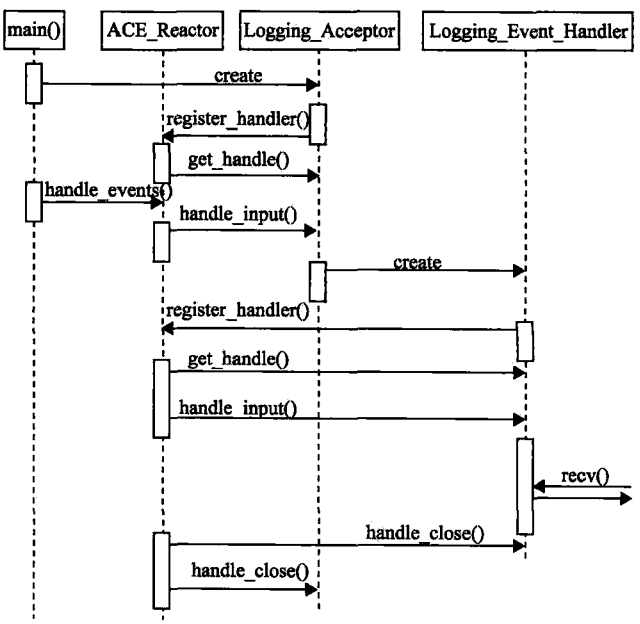


图 3　服务器网络通信程序内部时序图

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ACE_Reactor 框架机制决定了图 3 的程序流程过程。

首先构建全局指针:ACE_Reactor * p_reactor;然后在服务器主程序的循环体 for(;;)中使用 p_reator -> handle_events(),等待事件发生,当服务器接到触发事件时,随即分派与之相关联的事件处理器。通过超时时间参数限制花费在等待事件上的时间。

当前台有多个客户同时登录并进行操作时,通过应用反应器的事件多路分离,分派事件的处理。Logging_Acceptor 类可以说是对 ACE_SOCK_Acceptor 类的封装,它用来接受客户端的连接请求并生成消息传输通道。Logging_Acceptor 在向 ACE_Reactor 登记注册时,它所要标明的事件类型应该是 ACCEPT_MASK(即连接事件类型),当发生连接事件时,p_reactor -> handle_events()就会分派连接事件类型的 handle_input()挂钩方法来处理连接事件,从而使服务器程序自动转入 Logging_Acceptor 类的 handle_input()函数中。

当服务器和客户端建立连接后,在 Logging_Acceptor 类的 handle_input()函数中就会构建一个 Logging_Event_Handler 类对象,Logging_Event_Handler 类其实是对 ACE_SOCK_Stream 的封装,所以用它来收发消息和数据。Logging_Event_Handler 同样也要向 ACE_Reactor 登记注册,它所要标明的事件类型应该是 READ_MASK(即输入事件类型)。当发生输入事件时,p_reactor -> handle_events()就会分派输入事件类型的 handle_input()挂钩方法来处理输入事件,从而使服务器程序自动转入 Logging_Event_Handler 类的 handle_input()函数中执行相应操作。

当事件处理器(Logging_Acceptor 和 Logging_Event_Handler)的 handle_input 方法返回小于 0 的值时,即通知 ACE_Reactor,事件处理器想要被关闭并从 ACE_Reactor 的内部表中移除。为完成此工作,ACE_Reactor 会隐示调用事件处理器的 handle_close()清扫方法。该方法可以执行用户定义的终止活动,比如删除对象分配的动态内存或关闭日志文件。handle_close()方法返回后,ACE_Reactor 将相关联的具体事件处理器从它的内部表中移除。如果服务器等待超时,则显示地删除 Logging_Acceptor,并把它从 ACE_Reactor 内部表中移除。

2.3 服务器端网络通信程序实现代码

由于篇幅有限,以下只给出服务器端程序主函数的部分代码。

首先定义:ACE_Reactor * g_reactor;

主函数:

```
int main (int argc,char * argv[])
{
  .....
  while (1)
  {
  // 设置超时时间
  t. set(60 * 10);
  ACE_Time_Value * max_wait_time = &t;
  ACE_NEW_RETURN (g_reactor,ACE_Reactor,1);
  //设置服务器监听的端口号,
  //IP 地址可随意,
  //即可以接收不同客户机的消息
  ACE_INET_Addr addr (PORT);
  // 设置接收器
  Logging_Acceptor * peer_acceptor;
  ACE_NEW_RETURN(peer_acceptor,Logging_Acceptor, -1);
  // 初始化接收器
  if (peer_acceptor -> open (addr,g_reactor) == -1)
    ACE_ERROR_RETURN((LM_ERROR," Opening Acceptor\
n"), -1);
  .....
  for (;;)
  {
    // 等待事件消息,
    // 对接收到的消息进行分发处理
    result = g_reactor -> handle_events( max_wait_time );
    if ( result == 0 || result == -1)
    {
    printf(".....% d\n",result);
    (peer_acceptor -> returnOpen()). close();
    g_reactor -> remove_handler( peer_acceptor, ACE_Event_
Handler::DONT_CALL);
    break;
    }
  }
 }
 return 0;
}
```

3 客户端的设计与实现

3.1 客户端 ACE 接口结构设计

客户端的 ACE 接口结构采用和服务器端类似设计,在读、写等接口之上再封装一个“数据收发接口封装层”,用于数据收发、消息构造等。客户端 ACE 接口结构如图 4 所示。

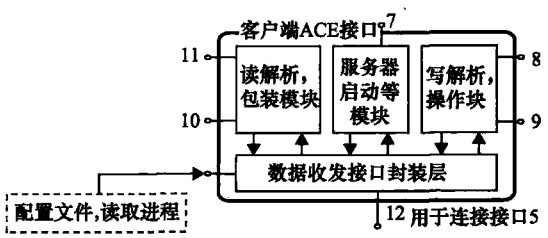


图 4 客户端 ACE 接口结构

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

其中，接口 12 用于连接服务器端的接口 5；ACE 网络接口 7～接口 11 用于和客户端的实时数据库进行联系交互；“配置文件读取进程”用于系统初始化时，在配置文件中提取：IP 地址、端口号，超时时间，数据库路径。

3.2　客户端对服务器的调用方法

客户端对服务器的调用方法主要包括以下函数：

```
// 启动服务功能，实时数据库程序启动时调用一次
int32_t DB_StartServer(void);
// 初始化服务，启动服务后调用一次
int32_t DB_InitServer( u_int32_t nCount,
        u_int32_t * pTagID,
        double * pCompressInfo);
// 得到历史数据
int32_t DB_GetHisData(u_int32_t nTagID,
        MyTimeDef startTim,
        int32_t qTim,
        int32_t * nRetCount,
        InsDatStru * pHisData);
// 插入历史数据
int32_t DB_WriteHisData(u_int32_t nTagID,
        int32_t nCount,
        InsDatStru * pHisData);
.....
.....
// 读配置文件
void readIni();
```

3.3　客户端缓冲机制

在数据写入量非常大，网络处理不及时的时候，触发相关变量，客户端程序会将一定量的数据以文件的形式保存下来，待网络正常或者下次发送时重发。处理流程如下：① 实时数据库调用写操作时，将数据发送到缓冲区；② 对缓冲区内数据进行计数，当数量超过 40000 点，后续数据写文件；③ 缓冲区数据继续发送，当缓冲区内数据少于 10000 点时，读文件，再将数据加入缓冲区；④ 为避免文件长期占用磁盘空间，当读文件完毕后删除相关文件。

4　网络通信协议的设计与实现

4.1　网络通信协议设计

与 TCP 的字节流协议不同，此次的网络通信需要一种应用程序级的协议，因此，设计出的协议数据帧定义如图 5 所示。

图 5 中，开始标志位：标志一个数据帧的开始；数据体条数：显示一个数据帧中有几条数据体；数据体总长度：一个数据帧中所有数据体包含的字节总数；校验位：数据体条数与数据体总长度的数值和；数据体：数据载体，数据的数据类型与消息类型有关；结束标志位：标志一个数据帧的结束。

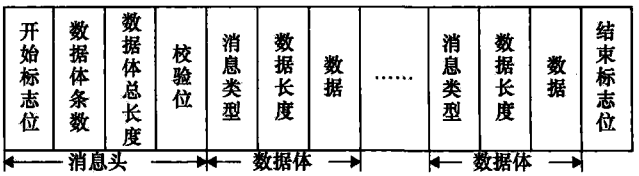


图 5　网络通信协议数据帧定义

4.2　相关结构体定义

```
/* 标志位信息 */
//起始标志位
static char * flag = "RTD";
//结束标志位
static char * end_flag = "END";
/* 消息类型，出错信息码 */
static int32_t Msg_Type;
static int32_t errNo;
//消息头
typedef struct MessageHead
{
    char Flag[4];  //开始标志位
    int32_t Msg_Count;  //数据体条数
    size_t Msg_long;  //数据体总长度
    size_t Msg_Check;  //校验位
}Msg_Head;
```

客户端调用实时数据库某一接口函数后，接口函数首先按照协议完成对自己数据帧的定义和序列化，然后按照 ACE 的机制发送到服务器，服务器再按照协议对数据帧进行解析，最后根据解析结果执行相应操作。

5　程序实验及结果分析

实验中，在客户端安装实时数据库软件和客户机端网络通信程序，在服务器中安装历史数据库软件和服务器端网络通信程序，客户端数量与服务器数量比为 10∶1，网络传输介质采用 100 MB/s 的光纤，客户端对服务器历史数据库操作的部分性能测试结果如表 2 所示。

表 2　网络通信性能测试结果（单台客户端操作）

用例号	用例说明	总执行次数	总执行时间/s	每秒执行次数	读写速率 MB/s
1	单个测点 1000 点批次写入测试	2×10^8	504.08	396762	2.27
2	单个测点 1000 点批次读取测试	2×10^8	14.71	13596193	77.76
3	4 万个测点 1000 点批次写入测试	2×10^8	5419.62	36902	0.21
4	4 万个测点 1000 点批次读取测试	2×10^8	3387.12	59047	0.34

（下转第 102 页）

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

脉冲,被测脉冲之间双沿间隔是对应时间间隔等级的脉冲周期的两倍。应用程序通过判断两次中断触发时间间隔,如果大于第 24 级时间间隔等级的脉冲周期的两倍或者大于当前计算得到的脉冲周期的两倍,就可以判断脉冲结束,从而结束数据处理线程,然后转入故障判断并显示检测结果。

4　检测结果及分析

某型电动投弹控制器分别设置为第 1 和第 5 两个时间间隔等级,分弹舱门打开和关闭两种状态,运用检测仪对其进行检测,检测结果如表 2 所示。

表 2　检测结果

序号	项目	第 1 级	第 1 级	第 5 级	第 5 级
1	弹舱门	打开	关闭	打开	关闭
2	脉冲幅值	19.613 √	0 √	19.677 √	0 √
3	脉冲持续时间	0.021 √	0 √	0.046 √	0 √
4	脉冲休止时间	0.021 √	0 √	0.048 √	0 √
5	脉冲周期	0.042 √	0 √	0.094 √	0 √
6	脉冲数量	80 √	0 √	80 √	0 √
7	脉冲总时间	3.295 √	0 √	7.503 √	0 √

在表 2 中,在第 1 级和第 5 级时间间隔等级下,当弹舱门打开,所测得的数据误差均在允许范围内,在表 1 所示范围内;当弹舱门关闭,均测不到投弹脉冲,符合正常情况。因此,在第 1 级和第 5 级时间间隔等级下,电动投弹控制器各项参数符合要求,工作正常。

5　结束语

基于 ARM-WinCE 设计的电动投弹控制器检测仪采用锂电池独立供电,作为内场检测设备,已通过部队实际应用,具有便携轻巧、精度高、检测时间短等优点,有效地保障了航空兵部队的作战和训练任务。该检测仪的设计思想和工程实现方法对低频脉冲信号的参数实时测量具有很好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 李建宏,李秀芝,何玉珠,等. 航空设备端口信号测试技术研究[J]. 测控技术,2006,25(9):16 - 18.

[2] Boling D. Programming Windows Embedded CE 6.0 Developer Reference[M]. Washington:Microsoft Press,2007.

[3] 何宗键. Windows CE 嵌入式系统[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.

[4] 张爱民,梁书剑,付健. Windows CE 下 GPIO 流接口的驱动程序开发原理[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2011,11(9):79 - 81.

[5] 王大鹏,范惠林,陈丹强,等. 基于 ARM-WinCE 的某型航空发动机温控盒检测仪设计[J]. 电子技术应用,2013,39(5):8 - 11.

□

(上接第 98 页)

从单台客户端对服务器操作的测试结果中可以看出,单个测点的读写速率实时性很高,与文献[8]中实时通信网络测试出的读写速率相近;大批次测点性能测试(即压力实验)的读写速率同样令人满意。另外,多台客户端同时对服务器操作的实验结果也完全满足实际要求。因此,此次应用 ACE 开发的网络通信程序很好地完成了实时数据库和历史数据库的通信任务,并且保证了数据传输的安全和高效。

6　结束语

介绍了一种基于 ACE 的网络通信 C/S 架构的设计与实现。采用 ACE 开发,既保证了对不同操作系统的兼容,又保证了对网络传输机制的兼容。使得位于客户端的实时数据库和位于服务器的历史数据库能顺利高效地通信。其中,服务器 - 客户端设计实现的“数据收发接口封装层”,还可方便地对接口进行扩充和重新封装。此次设计开发网络通信应用程序在工业现场运行的也非常稳定,完全达到了预期目标。

参考文献:

[1] 左叶锋. 基于 ACE 框架的跨平台进程间通信的原理与实现[C]//自动化技术与冶金流程节能减排——全国冶金自动化信息网 2008 年会论文集. 2008:274 - 275.

[2] 陶道,万旺根. ACE 框架在网络游戏服务器中的设计与应用[J]. 现代电子技术,2008(8):153 - 156.

[3] 周多多. 基于实时数据库的生产过程监控系统[D]. 上海:上海交通大学,2012.

[4] 王章. 海量历史数据库系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.

[5] Schimidt D C,Huston S D. C++Network Programming,Volume 1:Mastering Complexity with ACE and Patterns[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2003.

[6] Schimidt D C,Huston S D. C++Network Programming,Volume 2:Systematic Reuse with ACE and Frameworks[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2004.

[7] Huston S D,Johnson J CE,Syyid U. ACE 程序员指南:网络与系统编程的实用设计模式[M]. 马维达,译. 北京:中国电力出版社,2004.

[8] 王仕成,曲剑,刘志国,等. 实时通讯网络的实时性能测试与分析[J]. 系统仿真技术,2011,7(1):16 - 19.

□

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2013.07.014

文章编号：1002-025X(2013)07-0025-05

EQ6380 贮液干燥器抱箍组件电阻点焊工艺参数设计

闫 红

（天津职业大学，天津 300402）

摘要：分析了电阻点焊各工艺参数对点焊质量的影响，尤其是电极形状及几何尺寸、电极压力和焊接时间，设计了 EQ6380 贮液干燥器抱箍组件电阻点焊的合理工艺参数，在实际生产中应用，达到了保证点焊质量的效果。

关键词：电阻点焊；点焊工艺参数；电极压力；焊接时间

中图分类号：TG453.9 **文献标志码**：B

0 引言

汽车空调贮液干燥器是汽车空调系统中的重要组成部分，贮液干燥器安装于冷凝器与膨胀阀之间，具有贮液、干燥、过滤、系统压力保护等功能，产品在安装时借助抱箍进行固定。干燥器抱箍组件失效会导致汽车空调系统失效，所以抱箍的稳定性直接影响汽车空调的运行平稳性。鉴于汽车空调运行环境恶劣，在生产中通常采用焊接这种永久性、高稳定性的方法来固定抱箍。

笔者主要分析研究 EQ6380 贮液干燥器抱箍组件电阻点焊的焊接工艺参数：电极形状及几何尺寸、电极压力、焊接时间、焊接电流等对焊点质量的影响，确定出合理的点焊工艺参数，进而制订合理的点焊工艺，以满足汽车空调可靠性和耐腐蚀性，提高汽车空调运行稳定性。EQ6380 贮液干燥器抱箍组件三维模拟图如图 1 所示。

收稿日期：2013-03-29

入铜管中。一面继续加热，保持钎料处于熔融状态；一面用木棒轻敲铜管，促使熔融钎料渗入到细铜包铝线的每个缝隙中，并使残渣浮起。

待钎料全部熔化后，用夹钳将铜端子的铜管部分沉入冷却水池中，使钎料迅速冷却凝固，以缩短接头在钎浴中的停留时间。

3 结语

铜包铝线的铜层较薄，特别是细铜包铝漆包线或镀锡铜包铝线，其铜层厚度仅几微米至几十微米。如此薄的铜层在钎焊过程中一方面逐渐向液态钎料中溶解，甚至完全消失，而难以钎焊；另一方面，钎料中组分还会向铜层中扩散，增大铜层的脆性。因此，铜包铝线钎焊时，必须选择合适的钎料，并控制好钎焊温度和钎焊时间。

本文介绍了钎焊铜包铝线所用的钎料和钎剂，以及常用的钎焊方法，并以铜包铝电焊机电缆与铜端子钎接的实例，叙述了降低钎焊温度和缩短钎焊时间的工艺方法。生产实践表明，采用文中所述的钎焊工艺，可以使电焊机上的铜包铝线缆牢固地连接到电焊机上的接线端子上。

参考文献：

[1] GB/T 29197—2012 铜包铝线[S].

[2] 张启运，韩万书，刘军钪. Cu 与液态 Sn 的相互作用[J]. 金属学报，1989(6)：369-374.

[3] 方洪渊，冯吉才. 材料连接过程中的界面行为[M]. 黑龙江 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2005.

[4] ［日］星井 清，伊藤吉左右，山口哲夫，等. 銅クラッドアルミ線の開発 —第 2 報 電気機器用導体[J]. 藤倉電線技報，昭和 46 年(48 号)：51-60.

中国知网 https://www.cnki.net

1　电阻点焊工艺方法

1.1　电阻点焊工艺理论分析

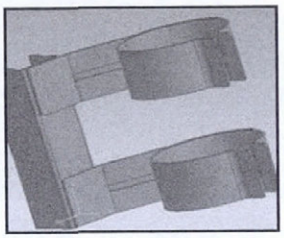


图 1　EQ6380 贮液干燥器抱箍组件三维模拟图

电阻点焊是在焊接电极对工件施加机械压力的情况下，电能输入时产生的电阻热将工件加热到熔融或者塑性状态，使被焊工件之间形成原子间结合的方法。其理论符合焦耳定律。设 I 为通过电阻的电流，r 为电阻，t 为通电时间，电阻点焊的工作原理如图 2 所示。

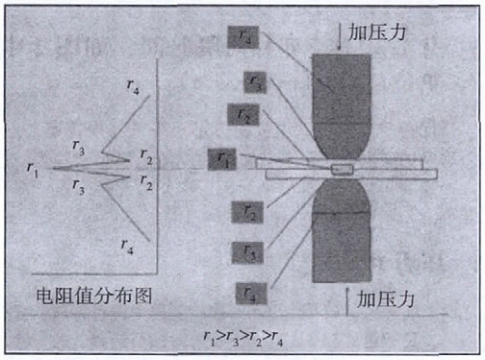


图 2　电阻点焊工作示意图

电阻值最大出现在两板材间接触面 r_1，其次是电极头与板材间接触面电阻 r_3，然后是板材电阻 r_2，最小电阻为电极电阻 r_4。发热量最大的地方为两板材间的接触面，逐渐形成熔核，电阻值 r_1 不断降低，直到完成焊接。

电阻点焊循环一般包括预压时间、通电时间、维持时间以及休止 4 个阶段，如图 3 所示，最主要的点焊工艺参数有电极压力、通电时间、焊接电流以及电极工作端面直径。

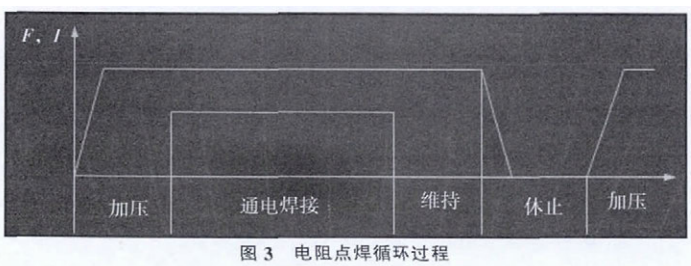


图 3　电阻点焊循环过程

1.2　电阻点焊在焊接 EQ6380 贮液抱箍组件中的应用

（1）贮液干燥器抱箍组件由槽形板、连接板和抱箍组成，连接板板厚为 2 mm，槽形板和抱箍板厚均为 1 mm，EQ6380 贮液干燥器抱箍组件有 16 个焊点，如图 4 所示。

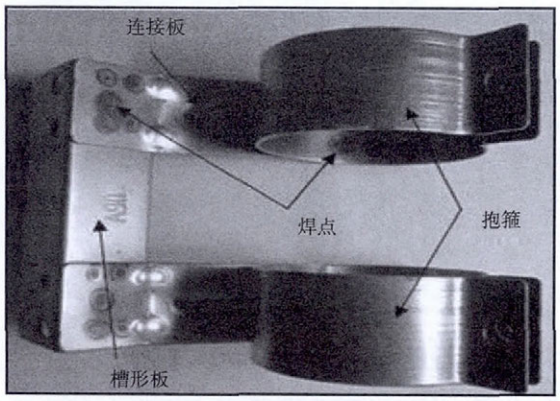


图 4　Q6380 贮液干燥器抱箍组件上的焊点

（2）抱箍的材质为 Q235A 钢，抱箍组件在汽车空调中起固定干燥器的作用。Q235A 钢的电阻率适中、高温强度低、热膨胀系数小，塑性温度区宽，具有良好的焊接性，所需输入功率不大、电极电压不高，可获得良好的点焊质量。

（3）生产条件

EQ6380 贮液干燥器抱箍的生产厂商——重庆威通机电设备有限公司，应用焊王公司生产的 D(T)N–100 交流点（凸）焊机进行点焊工艺参数研究试验。该点焊机主要技术参数见表 1。

表 1　焊王 D(T)N–100 交流点（凸）焊机主要技术参数

电源参数	50 Hz，380 V	标准功率/(kV·A)	100
最大功率/(kV·A)	190	二次侧短路电流/kA	27
电臂间距/mm	295	电极伸出长度/mm	500
气压/MPa	0.5	电极工作行程/mm	60
压力/N	6 100	冷却水流量/(L·min^{-1})	1.2

2　点焊工艺参数

电阻点焊的基本工艺参数有焊接电流、焊接时间、电极压力和电极工作端面尺寸。根据工件钢板厚度和材料，首先选定电极端面形状和尺寸，其次选择初始的电极压力和焊接时间，用不同电流焊接试样，经过一系列的试验，分析点焊接头和熔核直径是否符合要求。通过调节电极压力、焊接电流和

中国知网　https://www.cnki.net

焊接时间，进行试样的焊接和检验，直到焊接产品的质量符合产品设计要求。对于汽车空调的组件，主要应满足抗震性和耐腐蚀性，所以应进行相应的振动试验和盐雾试验。同时兼顾工件装配间隙和电流分流的影响，进行适当调整。美国焊接学会 RWMA 推荐的低碳钢点焊的焊接条件见表 2。

表 2 美国焊接学会 RWMA 推荐的低碳钢点焊的焊接条件

板厚/mm	电极尺寸		最小点距/mm	最小搭接距/mm	最佳条件（A 类）					中等条件（B 类）					SiMoNiCr				
	d/mm	D/mm			电极压力/kN	焊接时间/周	焊接电流/mm	熔核直径/mm	拉剪强度/kN（±14%）	电极压力/kN	焊接时间/周	焊接电流/kA	熔核直径/mm	拉剪强度/kN（±17%）	电极压力/kN	焊接时间/周	焊接电流/kA	熔核直径/mm	拉剪强度/kN（±20%）
0.4	3.2	10	8	10	1.15	4	5.2	4.0	1.8	0.75	8	4.5	3.6	1.6	0.40	17	3.5	3.3	1.25
0.5	4.8	10	9	11	1.35	5	6.0	4.3	2.4	0.90	9	5.0	4.0	2.1	0.45	20	4.0	3.6	1.75
0.6	1.8	10	10	11	1.50	6	6.6	4.7	3.0	1.00	11	5.5	4.3	2.8	0.50	22	4.3	4.0	2.25
0.8	4.8	10	12	11	1.90	7	7.8	5.3	4.4	1.25	13	6.5	4.8	4.0	0.60	25	5.0	4.6	3.35
1.0	6.4	13	18	12	2.25	8	8.8	5.8	6.1	1.50	17	7.2	5.4	5.4	0.75	30	5.6	5.3	5.3
1.2	6.4	13	20	14	2.70	10	9.8	6.2	7.8	1.75	19	7.7	5.8	6.8	0.85	33	6.1	5.5	6.5
1.6	6.4	13	27	16	3.60	13	11.5	6.9	10.6	2.40	25	9.1	6.7	10.0	1.15	43	7.0	6.3	9.25
1.8	8.0	16	31	17	4.10	15	12.5	7.4	13.0	2.75	28	9.7	7.1	11.8	1.30	48	7.5	6.7	11.00
2.0	8.0	16	35	18	4.70	17	13.3	7.9	14.5	3.00	30	10.3	7.6	13.7	1.50	53	8.0	7.1	13.05
2.3	8.0	16	40	20	5.80	20	15.0	8.6	18.5	3.70	37	11.3	8.4	17.7	1.80	64	8.6	7.9	16.85
3.2	9.5	16	50	22	8.20	27	17.4	10.3	31.0	5.00	50	12.9	9.9	28.5	2.60	88	10.0	9.4	26.80

2.1 电极形状和尺寸

电极工作面形状有圆锥形和球面形 2 种。电极端面和电极本体结构、电极尺寸和冷却条件影响熔核尺寸、焊点强度、电流密度、接触面积、散热效果和焊后工件表面质量。其中随着电极直径的增大，接触面积增加，从而焊接电流密度减小、散热效果较好、熔核直径和熔透率减小。而对于电极头为圆锥形的电极，其电极体和圆锥角越大，散热效果越好，因此可减小点焊过程中电极直径的变化，获得更稳定的点焊质量。

电极直径过大，会造成电极材料消耗多，工人劳动强度大，修磨电极头的辅助时间加长，并使焊接电流密度减小，单位体积中焊接热量减少，致使焊点熔透性差，熔核尺寸减小，甚至无熔核形成，产生开焊和焊不透现象，焊点强度显著降低。对电极损耗的影响主要是水冷循环系统、电极形态、电极材料、点焊工艺参数以及工件表面质量等。经长期实践证明工厂现有条件、电极形状和材料已经达到要求，所以应考虑其他点焊工艺参数的优化来提高点焊质量。此次电极笔者选用了工厂最常用的圆锥状，电极锥角在 90°~140°，端部直径在 8~16 mm 范围内。

2.2 电极压力

电极压力对电极间总电阻值 R 影响显著，随着电极压力的增大，R 减小，此时焊接电流虽略有增大，但不影响因 R 显著减小而引起的产热减少。因此，焊点强度随着电极压力的增大而降低，在增大电极压力的同时，适当增大焊接电流或者延长焊接时间，以弥补电阻减小的影响，可以保持焊点强度不变。电极压力过小，将引起飞溅，也会使焊点强度降低。

通常采用较大的电极压力，提高点焊质量及其稳定性，但是增大电极压力可能会导致工件表面压痕过深，电极寿命缩短，为此，一般采用适当增加电极工作端面的尺寸，以减小压痕深度，故点焊低碳钢时的电极压力为 30~120 MPa。当点焊工艺参数较大时，选用较大的电极压力，当板厚增大时，电极压力应相应加大，但由于机械参数的限制，通常点焊大厚板时，电极压力较小。为了避免产生焊前飞溅和熔核内部收缩性缺陷，也可考虑采用阶梯形电极压力或马鞍形电极压力。熔核直径与电极压力的关系如图 5 所示。

中国知网 https://www.cnki.net

综上分析，结合工厂焊机容量，笔者将电极压力设定为 1.8~2.0 kN，其可根据工件的厚度进行适当地调整。

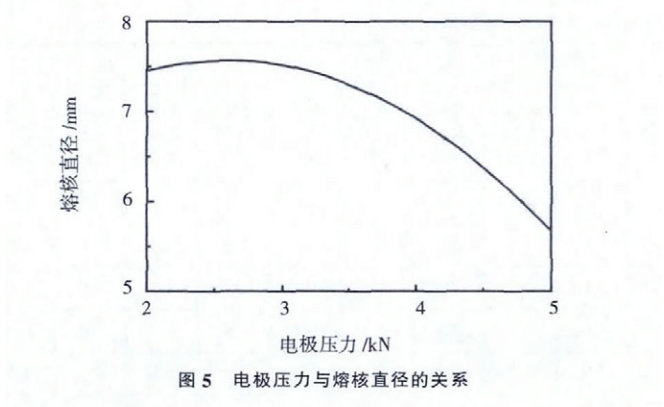


图 5　电极压力与熔核直径的关系

2.3　焊接电流

焊接电流对熔核直径的影响至关重要。由电阻点焊原理可知，在焊接时应保持适宜的焊接电流。焊接电流对点焊质量的影响如图 6 所示。

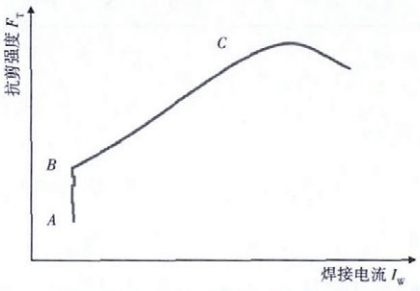


图 6　焊接电流对点焊质量的影响

通过图 6 焊接电流对点焊质量的影响进行以下分析：

AB 段：焊接电流很小时，输入热量不足，不能形成熔核或熔核尺寸很小，焊点抗剪载荷较低，且很不稳定。

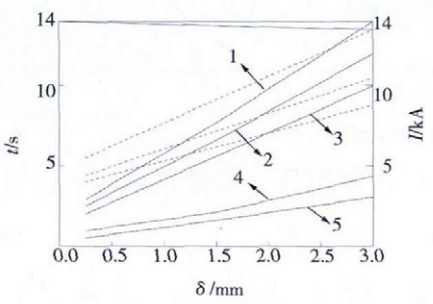
BC 段：曲线平稳上升。随着焊接电流的增大，内部热源产热量急剧增大，熔核尺寸稳定增大，抗剪载荷不断提高；临近 *C* 点，由于板间翘离限制了熔核尺寸的扩大和温度场进入准稳态，抗剪载荷变化不大。

点焊时，电流选用应接近 *C* 点处，抗剪强度提高缓慢，越过 *C* 后，由于飞溅或工件表面压痕过深，熔核抗剪强度会明显降低。

综上分析，结合工厂实际，焊接电流初步设定为 6.5 kA。

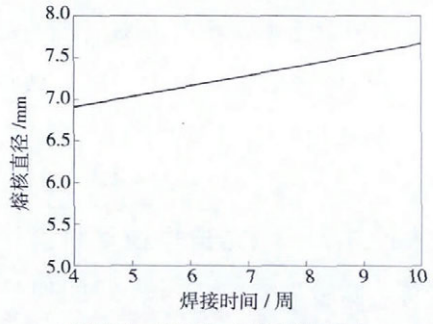
2.4　焊接时间

焊接时间影响析热与散热，在一定焊接时间内，点焊区的热量除部分散失外，会逐渐积累起来加热被焊区，当熔核直径逐渐扩大到一定尺寸后，由于电极–工件和工件–工件间接触面积增大，被焊区的电流密度减小，散热增强，导致被焊区加热缓慢、熔核直径和熔透率的增加率减小。焊接时间过长时，会造成熔核直径与熔透率过大，在电极压力作用下液态金属易被挤出焊接区，形成飞溅，焊点强度降低。点焊时，根据材料物理性能、焊机容量、工件厚度与装配精度、工件表面状态及对工件表面质量的要求等来确定通电时间。图 7 所示为几种典型材料点焊时，工件厚度与焊接电流、焊接时间的关系，图 8 所示为某合金焊接时间与熔核直径的关系。



1.低、中合金钢　2.特殊高温合金　3.高温合金 4.不锈钢、钛合金　5.铜合金

图 7　焊件厚度与焊接电流、焊接时间的关系



电极压力：3.5 kN，焊接电流 24 kA

图 8　某合金焊接时间与熔核直径的关系

综上分析，初步设定焊接时间在 3~5 s 较适合 EQ6380 贮液干燥器抱箍组件的焊接。

2.5　点焊工艺参数间的关系

通过上述分析可知，各个点焊工艺参数都不是独立存在而是有相互关联的。小工艺参数具有以下特点：

（1）温度场塑性区宽、分布平缓，在压力作用

中国知网　https://www.cnki.net

下易变形，可减小熔核内缩孔和裂纹倾向、喷溅；

（2）加热过程平稳，点焊质量对工艺参数波动的敏感性低，焊点强度稳定；

（3）小参数点焊时易造成焊点接头变形大、焊点压痕深、表面质量差，生产效率低、电极磨损快、能量损耗较大；

（4）对有淬硬倾向的材料，小参数点焊可减小接头冷裂纹倾向，所用设备装机容量小、控制精度不高，成本较低。

3 试验验证

初步确定的EQ6380贮液干燥器组件点焊工艺参数，需要进一步确定，特别是由电阻点焊工艺参数之间的关系可知，焊接时间和电极压力对点焊电流的确定有着重要作用。本文重点研究焊接时间和电极压力对焊件质量的影响，通过与工厂相关人员进行讨论，在确定电极锥角110°，端部直径8 mm，点焊电流设定为6.5 kA时，电极压力和焊接时间的设置见表3中的4组方案。

表3 对比试验点焊工艺参数设置

方案序号	电极压力/kN	焊接时间/s
1	1.8	3
2	1.8	4
3	2.0	4
4	2.0	5

注：方案中的焊接时间为整个循环4个阶段的时间

试验验证是工艺设计中必不可少的部分，笔者提出盐雾试验和振动试验，以达到检验抱箍的耐腐蚀性和抗震性，确保汽车可安全行驶，司乘人员舒适乘坐。

通过工艺设计分析，用设定的点焊工艺参数生产的EQ6380贮液抱箍产品，发现方案1，2，3的3组产品在外观上未出现压痕过深、烧穿等常见缺陷。打开焊点观察熔核的直径差异并不大，但方案4却出现了一些焊点烧穿、焊点压痕过深等现象，并且无需大力即可将焊点撕开。为此，放弃方案4。

3.1 盐雾试验

盐雾试验据GB/T 10125—1997《人造气氛腐蚀试验—盐雾试验》标准进行规定试验时间的NSS盐雾腐蚀试验，每100 h开箱检查试件表面腐蚀状况。

试验结果：方案1，2下生产的产品在试验后没有出现腐蚀，符合工厂的设计要求，而方案3的产品出现了腐蚀现象。

3.2 振动试验

按照GB/T 2423.10—1995《电工电子产品环境试验，第2部分，试验方法，试验F_c和导则：振动（正弦）》进行扫频振动试验。试验结果：方案2，3下生产的产品在试验后没有出现破坏，符合工厂的设计要求，而方案1的产品出现了裂纹。

4 结论

通过中性盐雾试验和扫频振动试验对几种点焊工艺参数下的EQ6380贮液干燥器抱箍组件进行了试验分析，得出如下结论：

在电极压力为1.8 kN、焊接时间为4 s的焊接工艺参数下生产的产品，在进行盐雾试验和振动试验后没有出现腐蚀和破坏，符合工厂的质量要求，而其余方案的产品不同程度地出现了破坏和腐蚀现象。因此，方案2为EQ6380贮液干燥器抱箍组件的合理点焊工艺参数。

另外，点焊电极会产生压力，相应采取了定位措施，使连接板固定于槽形板，槽形板定位于型腔，抱箍和连接板则用型面定位。因其使用方便、定位准确，降低了劳动强度。

本次设计的点焊工艺参数应用于实际生产，解决了工厂原有的质量问题，同时也提高了生产效率。

参考文献：

[1] 蔡洪能，王雅生，张占伟，等. 汽车用钢板电阻点焊工艺参数优化选择方法[J]. 材料工程，2006（S1）：304-306，309.

[2] 温家伶，黄志军，黄小军，等. 薄板点焊工艺及性能研究[J]. 武汉造船，2000（1）：15-17.

[3] 张忠典. 点焊工艺及原理[EB/OL]. 百度文库，2010.

[4] 覃耀春，崔忠圻. 金属学与热处理 [M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[5] 朱正行. 电阻焊技术[M]. 北京：机械工业出版社，2001.

中国知网 https://www.cnki.net

Ni 基 WC 合金的激光熔敷工艺

天津职业大学(300402)　闫　红　石梅香

摘要　采用激光熔敷的方法对 45 钢进行激光熔敷，研究激光扫描速度、熔敷粉末成分等对熔敷层成形质量的影响。结果表明，镍基 WC 合金涂层质量受激光扫描速度的影响较大，当激光扫描速度增大时，熔敷层稀释率降低且硬度增大，同时裂纹倾向性增大。此外在熔敷粉末中加入适量的稀土元素可以有效降低裂纹敏感性。

关键词:　激光熔敷　镍基 WC 合金　稀土元素
中图分类号:　TG442

0　前　　言

激光熔敷技术可以利用高能激光束将硬质颗粒如 SiC，TiC，WC 等熔化并与铁基合金、镍基合金、钴基合金等金属基体结合，形成陶瓷 - 金属复合涂层，大大提高了金属基体的表面硬度、耐磨性、耐腐蚀性等[1]。激光熔敷以其熔敷层与基体结合强度高、熔敷层硬度大、性能优良等特点，引起了国内外学者的广泛关注。

李晓惠等人[2]讨论了纳米 WC 含量对熔敷层金相组织和表面硬度的影响，发现含纳米 WC 的合金粉末熔敷层硬度高于纯 Ni60 粉末熔敷硬度，且随着纳米 WC 含量的增加，熔敷层表面硬度也增加。于承雪等人[3]指出材料间热膨胀系数、弹性模量的明显差别及激光熔池区域的温度梯度所决定的热应力是熔敷层裂纹形成的根源。赵静娟等人[4]系统地描述了激光熔敷裂纹的应力分布状态。徐国建等人[5]采用激光熔敷方法在 45#钢基体上制备了 Ni 基合金与 WC 混合粉末的复合涂层，获得的激光熔敷层硬度是 45#钢基体的 5 倍以上。W. M. Yip 等人[6]研究了 SiC 对铁基粉末激光熔敷性能的影响，指出 SiC 铁基粉末激光熔敷可以大大提高熔敷层的硬度和耐磨性，但熔敷层易产生气孔。F. K. Mirzade等人[7]建立了激光熔敷熔化和结晶动力学三维模型，计算表面影响熔池动力学的主要因素是粉末供给速率、激光功率和激光扫描速度。

文中利用自制的镍基 WC 合金粉末，进行激光熔敷试验，研究了激光扫描速度对熔敷层成形的影响。在对熔敷层的性能造成不明显影响的前提下，通过添加适量稀土元素，有效地降低了熔敷层裂纹敏感性。

收稿日期: 2015 - 07 - 21

1　试验条件及方法

激光熔敷试验基体材料选用调质态 45 钢，试样尺寸为 50 mm × 20 mm × 10 mm。熔敷材料选用自制镍基粉末，并加入 20% WC 合金粉末，镍基合金粉末元素组成见表 1。

表 1　镍基合金粉末元素组成(质量分数，%)

C	Si	B	Al	Fe	Cr	Ni
0.8	3.2	2.72	0.008	2.4	12.8	余量

试验采用 DL - HL - 5000 型横流二氧化碳激光器，其最大输出功率为 5 kW，激光波长为 10.6 μm，激光发散角小于 15 毫弧度，功率稳定度为 ±2%。

激光熔敷试验之前，首先对粉末进行球磨、烘干，用氧乙炔火焰喷枪将粉末喷涂到基体材料表面，涂层厚度约为 1 mm。熔敷试验激光功率为 3.6 kW，光斑尺寸 10 mm × 10 mm，激光扫描速度为 100 ~ 300 mm/min，搭接率为 30%。

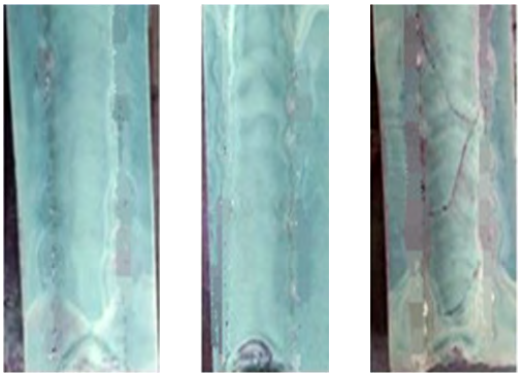
2　试验结果及分析

2.1　激光扫描速度对熔敷层质量的影响

图 1 为激光扫描速度 150 mm/min，200 mm/min 和 250 mm/min 时试样的宏观形貌。由图 1 可知，当激光扫描速度为 150 mm/min 时，试块熔敷层未出现裂纹，当激光扫描速度达到 200 mm/min 时，裂纹敏感性增大会出现少量裂纹，但当激光扫描速度增大为 250 mm/min 时，熔敷层出现明显的宏观裂纹。

图 2 为激光扫描速度不同的熔敷层表面到基体的显微硬度分布曲线。由于熔敷层中存在大量的强化相，使得其平均显微硬度明显高于基体，且随着激光扫描速度增加，熔敷层组织晶粒变细，强化相烧损程度

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 150　(b) 200　(c) 250

图 1　不同激光扫描速度下熔敷层宏观形貌

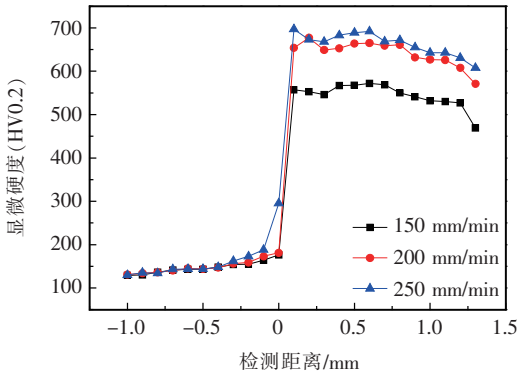


图 2　不同激光扫描速度下熔敷层硬度

减弱，固溶强化和细晶强化作用增强，熔敷层显微硬度增加。激光扫描速度为 200 mm/min 和 250 mm/min 时的熔敷层显微硬度已相差不大，明显大于 150 mm/min 时熔敷层的显微硬度。当激光扫描速度为 250 mm/min 时，熔敷层显微硬度出现最大值，达到 740 HV0.2。

对不同激光扫描速度下熔敷层稀释率进行测试，结果如图 3 所示。由图 3 可知，熔敷层稀释率随激光扫描速度增加呈现下降趋势。当激光功率一定时，激光扫描速度增加，光斑与熔敷层作用时间减少，熔敷层和基体得到的能量减少，所以熔敷层稀释率较低。当激光扫描速度为 100 mm/min 时，基体与熔敷层虽然形成了良好的冶金结合，但基体对熔敷层污染严重，影响熔敷层性能。随着激光扫描速度增大，热输入不断减少，稀释率降低。当激光扫描速度达到 300 mm/min 时，稀释率很小，但过高的激光扫描速度会导致熔敷层裂纹倾向增大。

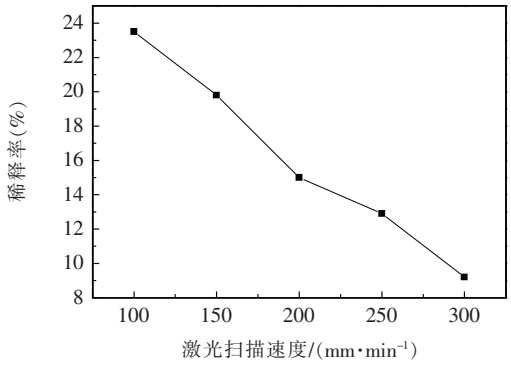


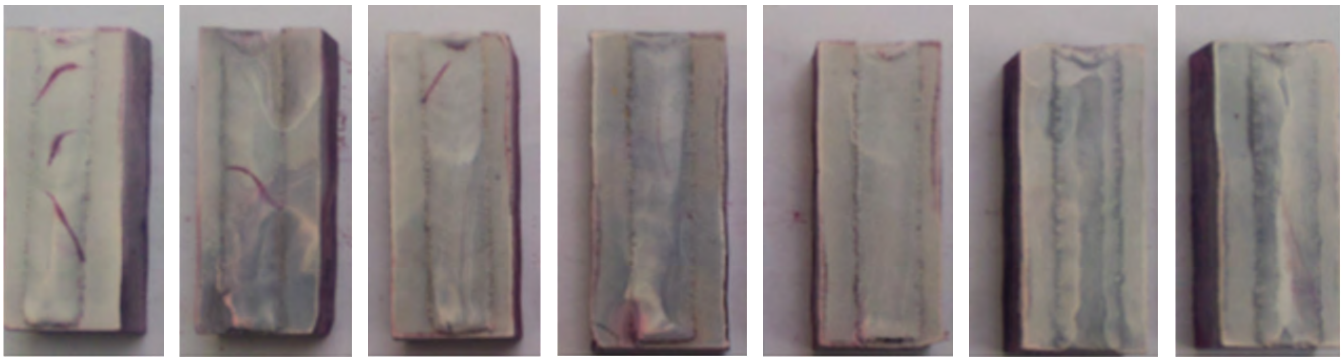
图 3　激光扫描速度对熔敷层稀释率的影响

2.2　稀土元素对熔敷层表面质量的影响

选择激光扫描速度为 250 mm/min，并在粉末中加入少量稀土元素(La_2O_3)进行试验，加入的稀土元素质量分数分别为 0，0.1%，0.2%，0.4%，0.6%，0.8%，1.0%，试验结果如图 4 所示。由图 4 可知，在该激光扫描速度下，不含稀土元素的熔敷层有明显裂纹，随着稀土元素的加入，熔敷层的裂纹敏感性先减小后增大。在稀土元素含量为 0.6%，0.8% 时，熔敷层没有出现裂纹，且熔敷层边沿出现的热瘤较少。

2.3　金相分析

为进一步分析稀土元素对于熔敷层的影响，文中采用金相显微镜(500×)对熔敷层稀土元素含量为



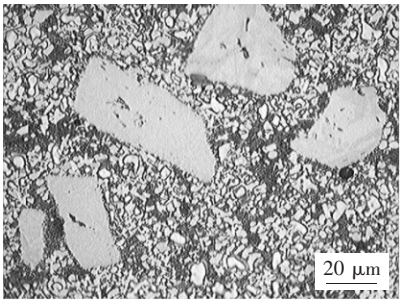
(a) 0　(b) 0.1%　(c) 0.2%　(d) 0.4%　(e) 0.6%　(f) 0.8%　(g) 1.0%

图 4　含稀土元素粉末熔敷层探伤图

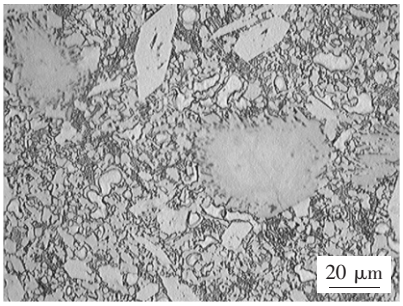
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0.6%,0.8%,1.0%的焊件进行了金相分析。金相照片中的碳化钨形貌较明显且易辨别,其中图5a中围绕碳化钨周围出现细小的碳化物层,说明稀土元素具有与碳化钨材料反应生成细小共晶体的倾向,此种倾向在碳化钨颗粒的尖角处边缘处比较明显,随着稀土元素含量的增加(0.8%),图5b中出现部分碳化钨在稀土元素作用下发生整体反应,先前的尖角被球化,减小了应力集中,随着稀土含量的继续增加(1.0%),大量碳化钨参与反应,碳化钨尖角全部消失,但是由于所形成的共晶合金脆性大,熔敷层同样出现了微裂纹(图5c)。

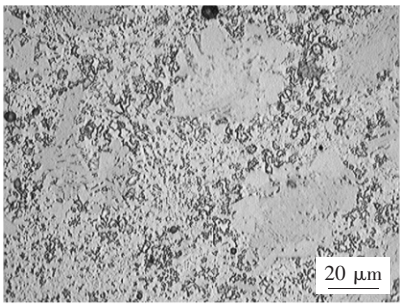
综合宏观照片与金相分析,稀土元素含量为0.8%的镍基碳化钨粉末材料为最佳的熔敷材料。



(a) 0.6%



(b) 0.8%



(c) 1.0%

图5 不同稀土元素含量的熔敷层金相

3 结 论

(1) 以Ni混合20%WC合金粉末作为熔敷材料,对45钢进行激光熔敷可以得到较好的熔敷层。熔敷层质量受激光扫描速度的影响,随着激光扫描速度增大,熔敷层稀释率降低且硬度增加但裂纹敏感性上升,当激光扫描速度达到250 mm/min时,熔敷层出现明显的裂纹。

(2) 在熔敷材料中加入适量稀土元素可以有效改善熔敷层裂纹敏感性。在激光扫描速度达到250 mm/min时,随着稀土元素质量分数的增加,熔敷层裂纹敏感性先减小后增加,稀土元素会导致基体碳化钨颗粒分解生成其他共晶体,此种行为有利于缓解碳化钨颗粒的尖角部分的应力集中缓解焊缝的开裂倾向,但是当大量共晶体存在时由于共晶体本身脆性较大,所以当稀土元素质量分数增加到1.0%时熔敷层同样出现开裂。

(3) 综合分析宏观形貌与微观组织,加入0.8%的La_2O_3稀土可以在250 mm/min的高激光扫描速度的前提下,缓解熔敷层应力集中,避免熔敷层开裂,得到较好的熔敷结果。

参 考 文 献

[1] Zhou S, Dai X. Laser induction hybrid rapid cladding of WC particles reinforced NiCrBSi composite coatings [J]. Applied Surface Science, 2010, 256(14): 4708-4714.

[2] 李小惠,付宇明,李 伟,等. 激光熔敷纳米WC颗粒增强型合金粉末的研究 [J]. 热加工工艺,2011,40(24):171-173.

[3] 于承雪,景财年,李怀学. 激光熔敷裂纹的形成机理及控制方法 [J]. 航空制造技术,2012(4): 75-79.

[4] 赵静娟,何占启. 激光熔敷裂纹问题的研究 [J]. 新技术新工艺,2011(10): 58-60.

[5] 徐国建,钟立明,王 虹,等. 激光冲击强化铝合金焊接接头的性能 [J]. 中国激光,2014(6): 91-95.

[6] Yip M W, Barnes S, Sarhan A. Effects of laser cladding of silicon carbides particles and iron based powder [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014,548: 289-293.

[7] Mirzade F, Khomenko M, Niziev V, et al. Three dimensional model of melting and crystallization kinetics during laser cladding process [C]. XIX International Symposium on High-Power Laser Systems and Applications. International Society for Optics and Photonics, Istanbul, Turkey, 2013.

作者简介: 闫 红,1966年出生,硕士,教授。主持及参与科研项目10多项,公开发表核心期刊论文30余篇,主编教材5部。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Laser cladding process of Ni-based WC alloy

Yan Hong, Shi Meixiang

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300402, China) . p32 - 34

Abstract Ni-based WC alloy coatings on 45 steel was prepared by laser cladding. The effect of laser scanning speed and the composition of deposited powder on the quality of cladding formability were studied. The results showed that the coating quality is affected by the deposition rate. With the increase of the deposition rate, the dilution rate decreases, the hardness of the cladding coating increases, and the cracking tendency of coating increase. Rare earth elements can effectively reduce the cracking sensitivity.

Key words: laser cladding, Ni-base WC alloy, rare earth element

Properties analysis of friction stir welded joints repaired by friction plug welding of 2219 aluminium alloy

Sun Zhuanping, Song Jianling, Li Chao, Zhao Yingjie

(Tianjin Long March Vehicle Manufacturing Co., Ltd., Tianjin 300462, China) . p35 - 40

Abstract Friction stir welded joints of 2219 aluminum alloy of 10 mm in thickness were repaired by friction plug welding, and it is found that the mode of plug angle bigger than taphole can effectively avoid welding defect. Microstructures, mechanical property at room and low temperature, hardness and fractographs of friction plug welded joints were analyzed. The result shows that friction plug welded joints can be divided into plug metal, weld nugget zone, thermo-mechanical affected zone, heat affected zone and base metal. Weld nugget zone in friction plug welded joints has a very fine recrystallized equal-axial grain, grains in thermo-mechanically affected zone grow up and deform, and the grain structure in heat affected zone is similar with that in base metal. Tensile strength at low temperature and elongation of friction plug welded joints are the same as friction stir welded joints. Hardness of friction plug welded joints shows that the maximum hardness appears in weld nugget zone while the minimum hardness appears in thermo-mechanically affected zone.

Key words: 2219 aluminum alloy, friction plug welding, microstructure, mechanical property, hardness

Microstructure and properties of spot welded joint of high strength $Mg_{96}Zn_2Y_2$ magnesium alloy

Hou Wenhui[1], Zhang Ran[2]

(1. Department of Mechanical Engineering, Tangshan Polytechnic College, Tangshan 063020, Hebei, China; 2. Automotive Engineering Department, Tangshan Polytechnic College, Tangshan 063020, Hebei, China) . p40 - 43

Abstract High strength Magnesium alloy sheets were welded by using resistance spot welding. The microstructure of joint was observed by scanning electron microscope, and the effects of welding current on the nugget diameter and tensile shear load of joint were analyzed. On the basis of investigations, the influence of microstructure on the property of joint was discussed. The nugget diameter and tensile shear load increase with the increase of welding current. The maximum shear strength of joint can reach up to 142 MPa. In the nugget zone, the second phase presents fine mesh-like, α-Mg grains are approximately 30 μm in diameter. The results reveal that the microstructure characteristics are the main reason to lower the joint strength.

Key words: magnesium alloy, spot welding, property

Analysis of microstructure and properties for S30408 PAW joint

Qin Jian[1], Xiao Changhui[1], Hei Penghui[1], Lü Xiaochun[2], Du Bing[2], Wang Qingjiang[2]

(1. Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471000, Henan, China; 2. Harbin Welding Institute, Mechanical Institute of Science

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

PLC 控制系统中模拟量采样的数字滤波算法研究

闫虎民[1]，张永飞[2]
（1.天津工程师范学院，天津 300222；2.天津职业大学，天津 300402）

摘 要：PLC 控制系统中对模拟量的采集和处理得到了广泛的应用，如果能够采用合理的数字滤波算法，就可以将信号采集过程中的干扰因素降到最低，从而保证系统的安全可靠运行。

关键词：PLC；模拟量/数字量转换；数字滤波；算法
中图分类号：TP21 **文献标识码**：A **文章编号**：1002-6673（2007）04-136-02

0 引言

可编程序控制器（Programmable Logic Controller，简称 PLC）是近年来常用的工业控制设备，因为它具有结构灵活，配置简便，可靠性高等特点，所以在各行各业中都得到了广泛的应用。

PLC 除了可以对开关量控制外，还可以进行模拟量的处理。典型的 PLC 模拟量处理是将工业现场的各种被控对象（如温度、压力、流量、液位等）通过对应的传感器将其变换为一标准的模拟电量（常见的是电压、电流），然后经过模拟量/数字量转换器（A/D Converter）转换成数字量。为了消除工业现场瞬时干扰对模拟量信号的影响，提高模/数转换的准确度，就必须在硬件和软件上采取相应的抗干扰措施。在硬件上，抗干扰的措施一般是在布线时将信号传输线和动力线分开布线，信号传输线采取屏蔽处理。而在软件中采取的抗干扰措施一般是数字滤波算法[1]，即将模拟量/数字量转换结果进行过滤处理，力争将干扰信号产生的影像降到最低。

PLC 常用的数字滤波算法是平均值计算法[2]，即对采样和模拟量/数字量转换得到的个数据求平均值，以此平均值作为模拟量/数字量转换的最终结果进行处理。基本的求平均值算法分三种，分别为：算术平均值法，滑动平均值法，防脉冲干扰平均值法[3,4]。

1 算术平均值法

算术平均值法的算法公式为：

$$\bar{X}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}X_i$$

其中：N—采样次数；X_i—第 i 次采样值；$\bar{X}$—平均值。算术平均值算法可以通过图 1 所示的程序流程图来实现。

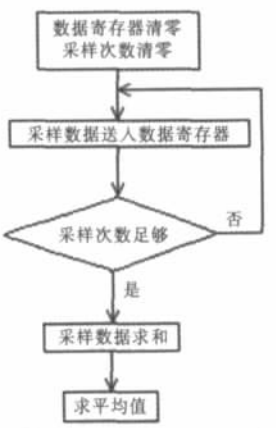


图 1 算术平均值法进行数值滤波

Fig.1 Digital filter based on arithmetic average method

算术平均值法适用于对一般的具有随机干扰信号的滤波，特别适用于信号本身在某一数字范围附近作上下波动的情况，如流量、液位等信号的测量。算术平均值法对信号的平滑滤波程度完全取决于。当较大时，平滑度高，但灵敏度低，即模拟量信号的变化对计算结果的影响小。当较小时，平滑度较低，但灵敏度高。的选择应该根据具体情况而定，一般情况下，流量检测取值范围可以为 10~20，液位检测取值范围可以为 8~15，压力检测取值范围可以为 4~8[5]。

2 滑动平均值法

对算术平均值法，每计算一次平均值，需要等到采样 N 次结束，才能进行计算处理。这种算法对于测量速度较慢或要求实时性较强的控制系统是不能使用的。

滑动平均值法能够克服算术平均值法的低速度，它采用数据队列作为数据计算平均值的原始数据。数据队列的长度固定为 N，每进行一次新的采样，就把最新采样结果放在队列的尾部，将原来队列首位的采样结果扔掉，这样在数据队列中始终保留着个最新的采样结果。

收稿日期：2007-06-11
作者简介：闫虎民（1974-），男，实验师，陕西韩城人，工学学士。主要研究方向：自动控制、PLC 控制、微机控制。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

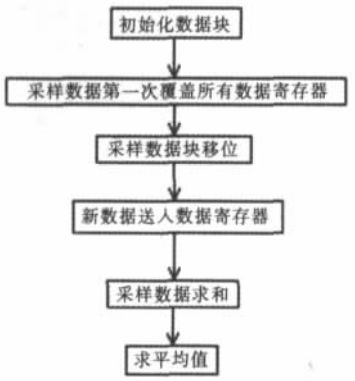


图 2 滑动平均值法进行数值滤波

Fig.2 Digital filter based on sliding average method

计算平均值时，只要将队列中的 N 个数据进行算术平均计算，就可得到最新的算术平均值。这样每进行一次采样，就可以经过计算得到一个新的算术平均值[6]。滑动平均值算法可以通过图 2 所示的程序流程图来实现。

需要注意的是，在初始化数据块时一定要将第一次的采样数据填充进所有的采样数据寄存器中，然后进行数据块移位，将最早的采样数据移除，将最近的采样数据补充进来，然后进行求平均值。

3 强抗干扰平均值法

在工业现场工作的控制设备时常会产生电磁脉冲，这种电磁脉冲的宽度极窄，幅值极大，因此，这种干扰只影响个别采样数据，并且受干扰的采样数据与相邻的采样数据相差极大。如果采用算术平均值法或滑动平均值法，受干扰的采样数据将会对计算结果产生较大的影响，并不能起到很好的抗干扰效果。强抗干扰平均值法的基本思想是：先对欲进行平均值算法的个数据进行比较，去掉其中的最大值和最小值，然后将剩余的 N-2 个数据进行平均计算[7]。

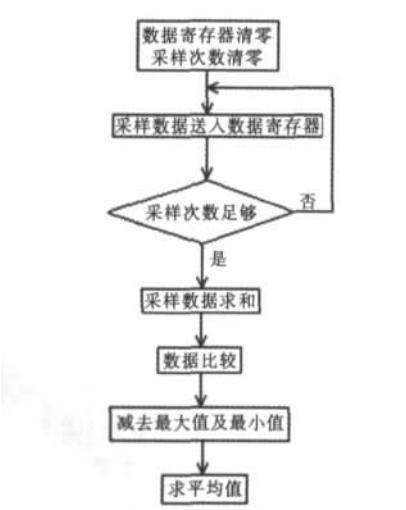


图 3 强抗干扰平均值法进行数值滤波

Fig.3 Digital filter based on stronger interference average method

在实际应用中，为了加快计算速度，取值不宜太大[8]。强抗干扰平均值算法可以通过图 3 所示的程序流程图来实现。

4 结束语

数字滤波算法是数字控制系统中处理模拟量信号常用的抗干扰措施。抗干扰措施不仅是硬件系统应进行的工作，也是软件设计的一项重要内容。在实际的 PLC 应用系统中，有些公司生产的 PLC 智能化 A/D 转换模块（如 A68AD 模块）内部已经集成了数字滤波算法，用户只要选择合适的算法参数，就可以直接读取经过数字滤波算法处理的数据，不用编写专门的数字滤波程序。

数字滤波算法有多种实现方式，除了以上常见的平均值滤波算法外，还有加权平均值法等，并且在实际应用中，可以将几种算法组合起来使用，可以得到更好的效果。数字滤波算法不仅仅局限在 PLC 控制系统中应用，在其它数字控制系统，如单片机控制系统，DSP 控制系统等也可以应用，使系统的抗干扰能力得到极大的加强。

参考文献：

[1] 贺洪江，王柏盛. 关于数据采集和数字滤波的研究 [J]. 工矿自动化，2004,3.

[2] 任克强,刘晖.微机控制系统的数字滤波算法[J]. 现代电子技术，2003,3.

[3] 郑涛,石秀华,许晖.数字滤波新方法尝试与验证[J].测控技术，2004,4.

[4] 杨明,狄卫国,牛江川.智能微机系统中的数字滤波算法研究[J]. 仪表技术,2003,1.

[5] 郑东耀,杨雷,丁天怀. 数字滤波抗干扰技术在 A/D 转换中的应用[J]. 半导体技术,2003,8.

[6] 杨克远,周丽佩,赵越,刘书国.一种改进的数字滤波方法[J].大庆石油学院学报,2003,2.

[7] 向红军,雷彬.基于单片机系统的数字滤波方法的研究[J].电测与仪表,2005,9.

[8] 周英武,王苏岩,李宏男.结构试验中一种高保真的数字滤波算法[J].重庆建筑大学学报,2006,6.

Research on Digital Filter Algorithms of Analog Sampling in PLC Control System

YAN Hu-Min[1], ZHANG Yong-Fei[2]

(1.Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China;

2.Tianjin Professional College, Tianjin 300402, China)

Abstract: Collection and processing of analog in PLC control system are widely used. Interfering factors of signal collecting process are reduced to the minimum can ensure the system security and reliability, if rational digital filter algorithms is adopted.

Key words: PLC; A/D converter; digital filter; algorithms

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13436/j.mkjx.2013.03.053

PTB 内燃机曲轴的有限元分析*

张海伟
(天津职业大学 机电工程与自动化学院, 天津 300410)

摘 要: 对 PTB 三缸内燃机曲轴的单个轴段作了受力分析,对多个轴段受力的综合效果进行了研究;采用 Pro/E 软件对曲轴作了三维实体建模,并利用 ANSYS12.0 对曲轴进行了有限元分析,分析了曲轴的应力、应变及疲劳强度。分析结果表明,曲轴具有足够的强度储备。

关键词: 内燃机; 曲轴; 有限元分析; 疲劳强度
中图分类号: TK422 **文献标志码**: A **文章编号**: 1003 - 0794(2013)03 - 0112- 03

Finite Element Analysis of PTB Crankshaft

ZHANG Hai-wei
(Electromechanical and Automation School, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China)

Abstract: A stress analysis for a single-shaft section was made, effect of multiple shaft segments force was combined based on PTB three-cylinder internal combustion engine crankshaft. A three-dimensional solid modeling was made using Pro/E software, and crankshaft was analysed using ANSYS12.0, the stress, strain and fatigue strength was analysed, the results showed that the crankshaft had enough reserves of strength.

Key words: diesel engine; crankshaft; finite element analysis; fatigue strength

1 PTB 内燃机曲轴受力分析

1.1 曲轴单个轴段受力分析

单段曲轴的受力随着转动位置的变化而变化,在工作过程的推程阶段压力是主要的,而回程阶段的压力很小。压力作用的中心点在曲轴段圆柱面上的分布,在一个工作循环中,不是各个方位都会受到压力的作用。通过分析,压力几乎只分布在半个圆柱面上(0~180°),如图 1 所示。

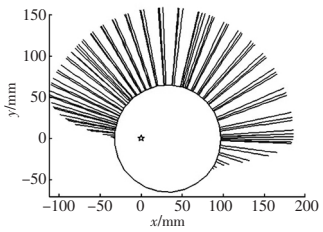


图 1 曲轴所受压力分布

1.2 力的综合效果研究

曲轴每个轴段的受力状况相似,只是在相位上相差 120°。曲轴的综合受力状况并不是所有轴段的简单叠加。将单轴压力分解到坐标轴方向上,再考察它们的叠加情况。分析中发现 2 个值得注意的特点:

(1)与 x 方向的压力分量峰值相比,y 方向的压力分量总的来说比较小,因此它在合作用中的影响因子比较小;

(2)y 方向的压力分量随输入转角变化的波动比较小,波动值低于 x 方向压力分量峰值的 4%。

基于以上两点, 将 x 方向的压力分量作为考察的主要对象,来确定曲轴受力的特殊点。

在一个转动周期中, 受力的特殊点有 3 个:分别位于曲轴输入转角的约 90°、210°、330°。转矩的循环在每一个转动周期同样有 3 个峰值,比压力特殊点滞后约 10°。扭矩极大值出现在曲轴上的位置是同一点,不过扭矩沿轴向的分布会有所不同,如图 2

* 天津职业大学培育备案项目(20101201)

具有固有频率很高, 刹车过程中不会发生共振现象。从模态振型变化可以看到,静壳沿轴线方向的摆动变形对刹车过程有较大影响,需要在结构设计时进一步完善。该静壳刹车过程中的质心轨迹的分析,说明其具有良好的刹车稳定性能。

参考文献:
[1]杨韬仁,王晋凤,宋恩泽,等. 矿用防爆胶轮车的制动形式[J]. 机械管理开发,2002(3):31-33.
[2]王晶,姚志芳. 车用多盘湿式多盘制动器[J]. 建筑机械,2000(2):36-37.
[3]王晶,冯茂林. 车用多功能湿式多盘制动器[J]. 矿山机械,1999,27(1):53-54.
[4]蔡中青,黄宗益. 湿式全盘式制动器设计计算[J]. 工程机械,1999,30(10):22-25.
[5]魏占红,林都. 某矿用防爆胶轮车轻量化设计研究[J]. 矿山机械,2011(3):21-25.

作者简介: 李旭贞(1986-),女,山西平陆人,硕士研究生,研究方向:机械设计与理论,电子信箱:504963147@qq.com;通讯作者:刘英林,教授,硕士研究生导师,电子信箱:tyutlyl@163.com.

责任编辑:于秀文 收稿日期:2012-10-15

中国知网 https://www.cnki.net

所示。任何一个特殊点的受力情况是由 2 个连杆传过来的压(拉)力的大小和方向恰好相同,这就为后续有限元分析时危险点的选择提供了依据。

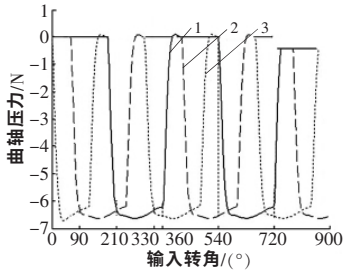


图 2　曲轴 3 个轴段所受压力图

1. 轴 1　2. 轴 2　3. 轴 3

2　有限元模型的建立

2.1　几何模型的建立

曲轴是内燃机的关键零件,本文采用三维参数化设计,利用 Pro/E4.0 软件进行三维实体建模,Pro/E 软件强大的建模功能, 可实现机械性能分析的参数化,提高分析过程的灵活性和可用性,并且可以与有限元分析软件 ANSYS 无缝结合。曲轴主要尺寸参数如下

曲轴总长/mm	1 680
曲拐直径/mm	668
曲拐偏心距/mm	156
飞轮直径/mm	1 130
曲拐长/mm	160
轴径/mm	350

2.2　有限元模型的建立和分析

(1)材料和单元

将实体模型导入 ANSYS12.0 后,首先需要设置分析对象的材料参数,不同的分析类型需要的参数各不相同。本文是对内燃机曲轴进行静力学分析,因此只需要将表 1 中的参数输入软件即可。

表 1　曲轴材料参数

材料名称	切变模量 G/Pa	弹性模量 E/Pa	泊松比 μ
42CrMoA	8.1×10^{10}	2.06×10^{11}	0.3

曲轴网格单元采用 SOLID95,该单元由 20 个节点定义,每个节点有 3 个自由度:在节点 X、Y、Z 方向的平移。单元可能有任何的 3-D 方位,它能够吸收不规则形状的单元而精度没有损失。此单元有可并立的位移形状,对于曲线边界的模型能很好地适应并且有塑性、蠕变、大变形以及大应变能力。因此应用此单元计算会得出高精度的结果。曲轴以一个圆柱滚子轴承和一个调心轴承支撑于箱体中,其跨径比相对不大,加之其几何形状及受力状态的特殊性,不宜按照通常的约束方式来简化处理。ANSYS 提供 COMBIN14 单元可模拟轴承约束。当其作为纵向线单元时,可承受轴向拉压力,每个节点有 3 个平移自由度,不考虑弯曲和扭转。它不具有质量,不会影响与它联接实体的性能参数,仅仅只是模拟实体被联接时获得的弹性阻尼作用,最后得到的曲轴网格模型包含 684 832 单元,189 584 节点。

(2)添加边界条件

添加边界条件包括力的边界条件和位移约束。在几何模型中已经创建了受力位置的关键点,根据上面分析得到的载荷大小和方位就可以添加外力。3 组外力分别在不同的载荷步中施加。约束状态是不变的,都是轴承外圈的全部自由度固定和齿轮端转角约束。定义转角约束时应该将节点坐标系转换到对应的柱坐标下(用户建立的局部坐标系),最终得到的完全定义的曲轴有限元模型(图略)。

3　静力学分析

(1)外载荷作用下的应力

根据前述曲轴受力的综合效果研究可知,曲轴存在3个危险点,坐标分别为(-30,20,70°),(61 440,8 350,156°),(61 440,8 350,36°)。第 1 个位置的等效应力最大,约为 227 MPa,其他 2 个位置分别约为 207 MPa、178 MPa(图略)。曲轴应力集中的位置与曲轴的外力分布状态的关系不明显,3 个特殊受力位置下的应力最大值都出现在齿轮端约束的轴肩处, 这说明,导致这一应力最大值的主要因素是当前曲轴上扭矩的大小及其分布状态。正如直观判断所预期,在曲轴各个轴段的受力表面和轴承支撑表面也有相对比较大的应力值出现,但这些应力状态与最大应力值相比就不那么重要, 而且也不构成危险点。从分析结果来看,曲轴的静力学强度是足够的。

(2)外载荷作用下的变形

曲轴的变形可以衡量其刚度性能。由于两端支撑轴承的刚度不同,以及外力分步的差异,曲轴的变形状态随之变化。曲轴由于其轴向受力不大,所以轴向变形量很小。所以主要应当考虑其径向刚度和扭转刚度。径向变形最大值同样出现在第 1 个受力特殊点,与应力对应,应变极值主要集中在齿轮端轴肩附近。其最大值在 0.001 1~0.001 4 个应变单位,如图 3 所示。

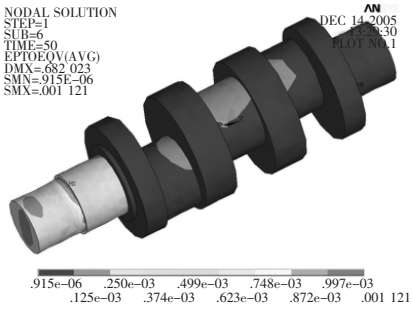


图 3　第 1 位置应变图

4　疲劳分析

进行疲劳分析需要知道可能的疲劳破坏“危险点”,即用来存储疲劳应力的“Location”。这些位置的在多个事件的多个载荷的交变循环作用下可能造成疲劳破坏。ANSYS 疲劳分析以 ASME 锅炉和压力

中国知网　https://www.cnki.net

矿用泵送式湿喷机混凝土喷射的力学分析

冯开林[1]，李 强[1]，王华超[1]，李小明[2]
（1. 山东科技大学，山东 青岛 266590；2. 徐州徐工液压件有限公司，江苏 徐州 221004）

摘 要：对矿用泵送式湿喷机混凝土泵送和喷射进行力学分析，可以计算出喷射混凝土所需要的压力的最优值，以此作为确定矿用泵送式湿喷机主要参数的依据，同时能够得出混凝土料的最佳配比，使喷射更加合理。

关键词：矿用泵送式湿喷机；混凝土喷射；力学分析
中图分类号：TD41/45 **文献标志码**：A **文章编号**：1003－0794(2013)03－0114－03

Mechanical Properties on Concrete Shooting of Mine Pumping Wet Spraying Machine

FENG Kai-lin[1], LI Qiang[1], WANG Hua-chao[1], LI Xiao-ming[2]
(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2. Xuzhou, XCMG Hydraulic Co., Ltd., Xuzhou 221004, China)

Abstract: The force of the concrete shooting of mine pumping wet spraying machine is analyzed in this paper, the optimal values of the force of spraying concrete can be got, as the basis to determine the main parameters of the mine pumping wet spraying machine. Meanwhile, it's able to draw the best ratio of the concrete material to make the spray more reasonable.

Key words: mine pumping wet spraying machine; shotcrete; mechanical analysis

1 矿用泵送式湿喷机的泵送机理

图 1 为矿用泵送式湿喷机的结构简图，本湿喷机采用泵送原理将搅拌好的混凝土料泵送至喷嘴处，再由喷嘴处的压缩空气吹动喷出，从而完成湿喷作业。

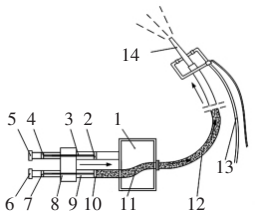


图 1 矿用泵送式湿喷机结构示意图

1. 料斗 2. 混凝土缸活塞 3. 混凝土缸 1 4. 主油缸 1 活塞 5. 主油缸 1 6. 主油缸 2 7. 主油缸 2 活塞 8. 水箱 9. 混凝土缸 2 10. 混凝土缸 2 活塞 11. S 阀 12. 输送管道 13. 压缩空气输送管道 14. 喷嘴

2 力学分析

2.1 混凝土缸中的受力分析

油缸活塞在主油缸和混凝土缸中的受力状态如图 2 所示，建立力平衡方程

$$p_1A_1-p_2A_2-F_m-F_n=ma$$

式中 F_m、F_n——主油缸和混凝土缸活塞运动的摩擦阻尼力；

m——活塞和活塞杆的质量；

a——混凝土料运动的加速度。

混凝土缸出口压力由负载决定，所以管道中的混凝土料决定混凝土缸的出口压力。

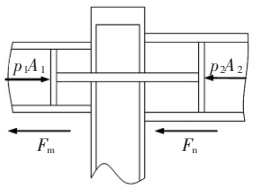


图 2 混凝土缸中压力示意图

容器规范作为计算依据，采用简化了的弹塑性假设和 Mimer 累积疲劳准则。根据对危险点的疲劳分析，其使用率均不超过 1，满足疲劳强度要求。

5 结语

分析和探讨了有限元理论在曲轴设计与改进中的应用，并利用 ANSYS12.0 对曲轴进行了静强度、刚度和疲劳强度分析，其分析结果对于优化曲轴结构，提高曲轴设计水平，提高内燃机的可靠性具有重要参考价值。此外本文中的方法对提高曲轴及其他动力机械的设计水平具有实用价值。

参考文献：

[1]徐兆华，崔志琴，张腾. 基于 ANSYS 的 6300 柴油机曲轴的模态分析[J]. 煤矿机械，2012，33(2)：102-103.
[2]秦为前，王栓虎，李太福，等. 基于 ANSYS 的压力机曲轴的有限元分析[J]. 煤矿机械，2011，32(9)：98-100.
[3]孙军. 内燃机曲轴-轴承系统摩擦学、刚度和强度的耦合分析[M]. 合肥：合肥工业大学出版社，2008.
[4]刘荣昌，马淑英，马国清. 曲轴滚压关键参数设计理论与数值模拟[M]. 北京：国防工业出版社，2010.
[5]汪中厚，谢云波，赵东升，等. 大型船用曲轴磨床整机的动静态性能仿真分析及优化[J]. 船舶工程，2009，31(6)：65-68.
[6]王永胜，胡青春. 某空气压缩机曲轴的静力优化及模态分析[J]. 机械制造，2011，49(1)：37-39.

作者简介：张海伟(1980－)，天津蓟县人，讲师，硕士，主要研究方向为机械优化设计及运动仿真，电子信箱：zhw199937@126.com.

责任编辑：于秀文 收稿日期：2012-10-17

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16660/j.cnki.1674-098x.2015.18.029

UG三维数控加工仿真分析①

陈振国
（天津职业大学 天津 300410）

摘 要：五轴联动数控机床是专门用于加工复杂曲面的机床，科技含量高、精密度高，但现阶段，使用的五轴数控仿真系统通常只有二维动画仿真，且整个仿真系统的几何功能有所限制，加工零件和机床模型必须借助其他CAD软件才能建模，整个模型的仿真精度不高。基于UG软件创建五轴数控机床仿真模型，能够准确读出数控代码，并未机床的各个部件实施三维仿真，同时对零件加工环节机床各部件之间的干涉进行检查，为合理修改刀具轨迹提供可靠依据，避免因文件格式转化导致仿真精度降低的情况。

关键词：UG软件 数控加工 仿真分析 三维数控
中图分类号：TP391.9 文献标识码：A 文章编号：1674-098X(2015)06(c)-0072-02

数控技术是一种基于电脑程序控制机器对机械零件进行加工的过程，与传统机床相比，数控加工具有加工精度高、可加工复杂、不规则零件、效率高、可实现多轴同时加工等多个优点，经过多年发展，目前在零件加工领域中已经得到广泛的应用。五轴联动数控机床有高效率、高精度的特点，其出现适应了现代加工的要求。但加工过程中可出现碰撞、过切等，影响到零件加工质量。UG是综合CAD/CAE/CAM为一体的参数化软件，运用UG对五轴联动数控机床加工过程进行模拟仿真分析，能够更好地检验数控机床操作的正确性，保证数控程序的可行性，满足零件加工的要求。

1 虚拟数控机床仿真

数控机床加工过程中，为保证数控编程的正确性，需对程序进行检验。传统的零件程序检验主要是采用“空运行”或“试切”的方法，但前者只能粗略地估计机床运动的正确性，后者虽较为精确，但需要耗费材料和时间，成本较高，效率低，还存在一定的安全隐患。

虚拟数控机床是以仿真技术为基础随着虚拟制造业的发展而发展起来，利用虚拟数控机床可实现数控机床生产全过程的模拟仿真分析，通过虚拟环境下的数控机床加工全过程仿真分析，能够较为精确地对零件程序进行检验，发现其中的错误，有效地避免现实生产中存在的刀具干涉、碰撞及过切、欠切等问题，提高数控加工的质量，且仿真分析过程中不需要使用真实的材料，速度更快、效率更高、成本更低，有利于实现制造系统的集成[1]。UG是当前较为流行的三维模具设计软件，在虚拟数控仿真分析中，CAD/CAM软件只能对道具路径进行仿真，而运用UG，可将三维设计与数控仿真加工结合在一起，弥补CAD/CAM的不足，更好地对零件程度进行检验。

2 UG在数控仿真中的应用

利用UG进行数控仿真分析的过程主要包括基于UG的数控编程和基于UG的数控加工过程。在UG系统中，CAM BASE是所有加工制造模块的基本框架，其有着强大的刀具轨迹生成方法，基于UG的数控编程过程主要包括设置CAM环境、选择道具、建立父节点、创建操作、生成和检验刀轨等过程。

设置加工环境是UG数控仿真中创建操作的基础，启动UG/CAM模块后，在“Machining Enviroment”对话框中制定加工环境，通过选择相应的配置（cam general）确定设置的类型和操作的类型，

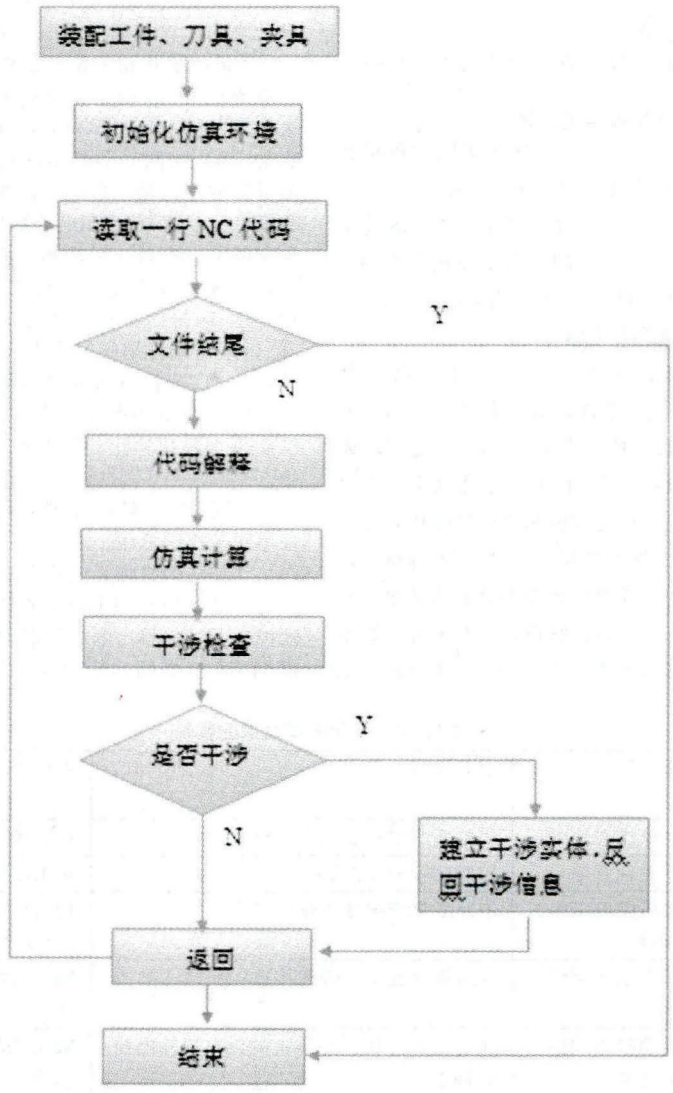


图1 仿真系统程序具体流程图

①作者简介：陈振国（1982，4—），男，汉，天津人，本科，助理工程师，研究方向：产学结合数控技能实训教学。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

再选择相应的设置(mill multi-axis),完成CAM环境的设置。

在设置好的CAM环境中,选择"operation Navigator",切换到Machine Tool视图,根据数控加工工艺的实际需求,从UG刀库中调出相应的刀具;

父节点组的创建包括创建几何体、设置加工坐标体系和安全平面、选择加工及参数配置等,数控加工中几何模型一般包括零件、毛坯、夹具,构成两个包含了引用零件信息的装配主模型。主模型只可读,不能进行修改,其作用主要是对零件设计标准进行保护,编程人员可通过对装配文件的修改对几何模型进行装配;完成几何体的建立后,进入Geometry视图,选择"MCS"打开"MILLORIENT",对加工坐标系原点和安全平面的位置进行设置;在切换到Method视图,选择数控加工的所需的加工方法,如精加工、粗加工等,在激活的设置窗口中,对加工余量、内外公差等参数进行设置。

操作的创建主要包括设置操作类型和设置切削参数两个内容,主要是根据实际需求,设置父几何体、刀具及加工过程中的相关参数。根据创建的操作,UG可生成刀轨,并采用图形化的方式显示刀轨。数控编程人员可采用静态材料去除、动态材料去除或高级重放等方法对刀轨进行检查;通过调用UG/Post模块,可生产相应的NC代码,完成机床系统的后处理。

由于数控机床中加工的零件结构较为复杂,生产过程中影响因素多,编程所设计的程序与实际加工情况可能存在一定的偏差,为保证的编程的正确性,还需进行加工过程仿真。首先根据机床的机构尺寸,建立机床几何模型;再利用Machine Tool Builder,通过设置机床零点、运动轴位置、范围、方向等,建立机床运动模型。利用后处理模块生成机床驱动文件后,启动UG集成仿真功能,对程序进行仿真分析,根据仿真分析结果修改NC代码中的错误之处,经过反复仿真分析和修正,最终生成正确的NC代码。

3 基于UG的三维数控仿真系统

3.1 创建三维仿真系统的步骤

3.1.1 仿真系统工作流程

三维仿真环境是基于计算机虚拟系统中,以不消耗能源和资源真实加工系统的映射,虚拟环境的操作应于实际加工系统所具备的功能相互一致。五坐标数控机床建立的仿真系统具体流程如图1。五坐标联动机床进行加工的零件极为广泛,可以综合考虑工件、道具等物品的外形、参数的变化,通过装配的形式把制作的CAD模型加入仿真系统内,从而提升仿真系统的灵活性。用户依照实际加工操作基于UG环境下创建刀具、工件等模型,进一步方便对这些模型的尺寸进行修改,在仿真系统的操作直视下,用户只要挑选最佳的部件和位置,就能把工件、夹具等模型装配至仿真系统的模板文件内。

3.1.2 初始化仿真环境

建立合理的仿真模型之后,应对UG环境展开初始化操作,随之进入运动分析模块。为了方便在仿真系统内合理控制机床的各个运动部件,在开展仿真操作前要对机床模型中的几何体实施遍历,随后获得相关几何体的指针。

3.1.3 解释NC代码语义

基于NC代码对整个机床加工环节进行仿真操作,必须准确解释机床NC代表代表的抑郁,把代码指令进行转化,从而得到机场不同轴的运动。机床NC代码是由大量繁乱的机床运动指令组成,每次读取的代码都必须进行语义解释,从而把NC代码内有用的控制命令和数据转换为机床各个轴的位移。

3.1.4 基于三维造型仿真加工过程

使用三维实体造型的办法,能在仿真环境内更改不同的视角并无需重新进行计算,准确表示刀具与工件之间的几何关系和位置。把NC代码予以转化成各个轴的位移,并对其运动情况实施仿真操作。在三维造型中把动画一帧帧的展示出来,并保存到UG后台数据库内。经过存储的仿真动画能够反复回放,可以根据各行的NC代码依次显示,实际显示时可以进行放大、缩小及变换视角等操作。基于三维造型对整个加工环节进行仿真操作,能够准确展现出空间内实体之间的位置关系,三维效果非常好。

3.1.5 干涉检查仿真过程

对仿真过程进行干涉和检查操作,主要是对加工操作中刀具、夹具、刀柄与工件之间进行干涉。因整个仿真过程采用三维实体造型的模式,因此干涉检查就是对机床模型运动时是否相交进行判断。采用模型的几何体指针,对加工环节内可能出现的干涉部件其位置关系展开检查计算。如果运动部件遭到干涉,创建干涉产生的实体,并通过UG系统获取干涉部位的深度、体积等相关信息,并输出形成干涉效果的NC代码,为合理修改刀具轨迹提供可靠依据。

3.2 五坐标机床仿真系统实现

文中以五坐标联动机床为研究对象,为该机床建立仿真模型,同时为三元叶轮的铣削加工环节实施仿真操作。整体式三元叶轮形状非常复杂,具有大量的约束条件,因此加工难度较大,这是五轴数控加工操作中独具代表性的零件。根据数控机床具体的传动尺寸,基于UG环境创建仿真模型,对机床各个轴的运动方向及副作性质进行设定,同时把建立的模型存储为模板文件。五坐标联动机床的运动轴是由2个转动轴,和三个移动轴组合而成。根据实际机床部件的具体尺寸,使用UG/Modeling模块为机床部件创建各自的实体模型,随后使用UG/Assemblies模块把不同部件进行装配操作,从而形成完整的实体模型。在UG/Motion运动分析模块挑选工作台等机床部件定义成连杆,移动副由机床的X、Y、Z轴定义,B、C轴表示转动副,根据设定的机床传动轴运动方向进行操作,同时设定运动副其驱动方式是Articulation。

对仿真完成的机床模型进行保存,就能加载各类工件、刀具及夹具,如此采用同个机床对各类工件进行加工时,不需要反复创建仿真模型。通过UF_UI_FILENAME函数弹出的对话框,挑选应该装配的部件,同时输入待装部件的位置,采用UF_ASSEM_assembly函数对部件进行装配,并把部件实体指针设置为运动副。若装配部件有必须隐藏的地方,可通过UG中Blank命令对其进行隐藏操作。

4 结语

随着现代工业的快速发展,零件的结构越来越复杂,对加工精度的要求也更高。基于计算机控制技术的数控加工机床较好地满足了现代加工业的需求。但由于零件结构复杂多变,且实际加工环境较为复杂,为保证零件程序的正确性,需对零件程序进行检验。基于UG建立的数控加工仿真模型,可以对整个加工过程机床干涉、碰撞等情况进行检查,为合理修改刀位提供有效依据,提升整个数据加工的工作效率,具有优良的实用性。

参考文献

[1] 陈常标,王保民,孙柯,等.基于UG和VERICUT数控加工与仿真研究[J].机械工程师,2014(11):174-176.
[2] 马真宇,康文利.基于UG的五轴数控机床加工仿真探讨[J].科技风,2013(13):5.
[3] 王春晓,张长.基于UG/ISV的数控铣床数字化加工仿真设计[J].现代电子技术,2015(3):125-127.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号: 2096 - 272X(2019)06 - 0015 - 06

本科层次职业教育的本质属性、发展需求与推进策略*

古光甫，邹吉权

(天津职业大学，天津 300410)

摘 要: 随着社会经济转型升级、高新技术的应用与发展，开展高职专科学历教育向本科层次职业教育甚至更高职业教育层次延伸是当今我国高等职业教育发展的一个重要趋势，也是构建现代职业教育体系的亮点所在。本科层次职业教育具有高等性、技术性、区域性的基本属性。我国开展推进本科层次职业教育改革，需要立足国内外高职院校试办本科层次高职教育的已有实践，通过择优遴选升格部分高职本科院校，明确高职本科专业招生生源对象，科学制定高职本科业招生考试方式，落实高职本科专业学位授予等方式推进改革。

关键词: 高职院校; 本科职业教育; 本质属性
中图分类号: G719.2 文献标识码: A

一、引言

改革开放四十余年，职业教育作为与国民经济发展紧密相连的一种教育类型，在服务国家区域经济社会发展、保障和改善民生、对提升社会竞争力等方面发挥重要支撑作用。

随着社会经济转型升级、高新技术的应用与发展，对产业从业人员的综合素养、技术技能提出了更高水平的要求，迫切需要职业教育人才培养层次进一步提升，因此，发展高职本科成为教育界一个重要战略课题。2010 年国务院印发《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》指出“到 2020 年，满足经济社会对高素质劳动者和技能型人才发展的需要”的职业教育发展目标。2014 年 2 月，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，研究部署加快发展现代职业教育体系工作中提出，“打通中职、专科、本科到研究生的上升通道”。由此可见，深入推进高职本科教育改革，构建现代职业教育体系，是新时代高职教育内涵发展的战略选择。2019 年 1 月，国务院印发《国家职业教育改革实施方案》，明确提出“开展本科层次职业教育试点”。为职业教育改革与发展提供新思路新方法新途径。国家这一系列政策文件的提出，为我国本科层次职业教育的发展提供了前所未有的发展机遇。

二、本科层次职业教育的基本属性

《国家职业教育改革实施方案》中首句话就指出，“职业教育与普通教育是两种不同教育类型，具有同等重要地位”的战略地位，这就指出了高职本科具有二重属性身份。这是高职本科层次教育的本质所在、特色所系、规律所然。一方面是高等教育一种类型的院校教育，其专业人才培养功能是我国普通高等院校所无法取代的; 另一方面是职业教育体系中的一种本科层次的高等院校类型。即它既具有高等教育的基本属性，又具有职业教育的鲜明特色。它既姓“高”又姓“职”，且具有区域性典型特征。因此，应从我国区域经济社会发展的实际需求出发，根植地方经济发展，立足地方行业支撑产业转型升级发展需求，服务区域社会经济发展，为区域经济社会提供人才发展红利，建设具有中国特色、区域特点的高职本科院校。

收稿日期: 2019 - 04 - 18
* 基金项目: 2017 年度全国教育科学规划教育部重点课题“京津冀高职教育与产业结构协调性研究”(DJA170314)。
作者简介: 古光甫，硕士，副研究员，研究方向: 高等职业教育; 邹吉权，博士，教授，研究方向: 职业教育。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(一) 高等性

高职本科既然姓“高”，理所当然具有高等教育的本质属性。因为它与普通本科院校相比，属同一个层次不同类型高等教育。高职本科除了培养一些学生共性学习能力外，主要是培养学生强调技术性，更加重视培养学生的技能素质提升，使学生在岗位上具有更加扎实的专业技能基础，掌握行业企业难度更高、更先进及更系统的技术水平，能承担技术含量更高的岗位(或岗位群)工作能力，并在行业企业技术研发领域有更好的发展前景。而普通本科院校培养学生一般强调学科性，其主要注重学生专业领域内的学科体系建设、基础理论知识学习，强调知识水平的完整性和系统性、学术水平的高深性特点。尽管高职本科与普通本科人才培养有本质上的区别，但高等性是永远一致的根本属性。这是高职本科发展的根本价值所在。

(二) 技术性

技术性是高职本科的最固有本质属性，所以它必须体现姓“职”特点。高职本科教育本身就是一种工具性很强的教育，它直接指向岗位(岗位群)职业技术，培养人的高端技术能力，提高人的技术本领，进而实现了学生就业质量的提升，也体现学生“好就业、就好业”社会现象。[2] 从职业发展领域上讲，“技术性”应是高职本科的最核心要素，主要包括岗位(岗位群)职业领域内的关键技术、核心技术、前沿技术、基本技术等，其应用范围远比岗位技术要宽得多。因此，高职本科在专业人才培养过程中，必须确立以“职业技术”为出发点的人的全面发展观，不断融入技术原理、技术知识、技术实践于一体的综合素质能力。

(三) 区域性

区域性是高职本科生存与发展的“实践逻辑”。所谓“实践逻辑”，是指要扎根地方经济，立足地方行业产业，服务区域经济发展，引领地方百姓脱贫致富。因此，高职本科要主动承担服务区域经济社会发展的历史使命和责任担当，有效融入区域经济产业资源、文化元素，实现专业设置和区域经济社会产业协调发展，教学过程和企业生产过程衔接、课程内容与职业标准对接，不断拓展院校自身的发展空间，在服务区域经济上做强院校的发展特色，在文化内涵上做精院校的文化育人品牌，在办学特色上做大院校的办学优势，使高职本科教育真正成为推动区域经济发展的“助推器”和“动力源”。

三、举办本科层次职业教育的必要性

目前，社会上很多人存在疑问，由高职院校来举办高职本科教育，是否会造成本科院校的教学资源浪费？以下将从教育需求五个方面对这个疑问进行回答。

(一) 产业结构调整对更多高技能人才的需求

改革开放四十余年来，我国经济社会取得了巨大的发展，原有传统的社会生产方式、社会运行规则受到产业转型升级巨大的冲击，社会经济增长方式由粗放型发展向集约型发展方式转变。因此，我国经济社会急需一大批顶端创新人才、数以万计的专门人才及数以千万计的高素质技能人才。目前，从市场供求情况看，技能人才特别是高端技能人才供需矛盾十分突出，我国技能劳动者总量虽超过 1.65 亿人，但仅占就业人员总量的 21.3%，其中高技能人才 4791 万人，仅占就业人员总数的 6.2%。从现在到 2020 年是全面建成小康社会决胜期，预计在此期间，全国企业高技能人才缺口将达 2200 万。[3] 然而与规模型的社会经济增长相比，我国高等职业教育的办学水平长期处于一个比较低的社会发展水平上，且高职院校培养专业人才大多是三年制专科层次学历教育，其培养的专科层次学历教育尚无法满足社会产业转型升级对高素质技能人才的旺盛需求。因此，发展高职本科层次教育是高等职业教育大势所趋、人心所向。

(二) 构建现代职业教育体系的要求

《国家职业教育改革实施方案》明确提出，职业教育作为我国教育的一种类型教育，高职教育应该包括高职专科、高职本科、甚至高职研究生学历三级学历教育。只有三个层次职业教育形成有机整体的统一，才有学术界提出的关于构建现代职业教育体系。然而我国高等职业教育从一开始发展到至今，一直停留在专科层次，一个主要的原因是高等职业教育目前还没有构建现代教育体系，只是把它看作是普通本科教育的一种有益补充。[4]《国际教育标准分类》指出了高职教育的发展定位，其教学内容是与区域经济社会发展最紧密的高等教育，职业

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

教育应该具备完整的层次体系和教育结构，这是职业教育发展的内在规律。因此，我国高等职业教育发展不能拘泥于三年制专科层次教育，应主动对接区域经济发展需求，适度发展本科层次的高等职业教育，提高高职学生社会就业竞争力，进一步推进高职教育发展的进程。

（三）高职学生渴望更高层次同类院校教育的需求

随着我国高等教育大众化发展加快的需要，高职院校学生及学生家长强烈渴望有更高层次职业教育。一方面，随着产业转型升级，社会经济对高职人才培养的需求逐渐转变为对岗位群发展结构，人才需求层次、质量上的要求；另一方面，随着我国高等教育大众化步伐的加快，高校毕业生数量逐年增加，相对较低层次的高职专科毕业生就业质量总体不是太好，薪水也不高，职场上升发展的空间也很有限。因此，高职学生为了能在人才市场上有较高就业竞争力，寻找较为理想的工作，强烈要求接受更高层次的高等职业教育。

根据教育部 2019 年 2 月发布最新数据显示，全国普通普通高校共有 2663 所，其中高职院校 1418 所，占全国高校总数的 53.25%；全国普通高校在校生人数 2831.03 万人，其中普通专科在校生人数 1133.70 万人，占普通高校在校生总人数的 40.05%。[4] 2019 年 3 月，国务院总理李克强在全国两会政府工作报告指出，2019 年高职院校再扩招 100 万人，未来高职专科学生就业压力更加困难。

因此，为了满足高职院校学生渴望接受更高层次同类院校受教育需要，只有发展本科层次高职教育，高职院校学生才有向上发展的空间。如在国外一些发达国家，高等职业教育不仅仅拘泥于专科层次，且高职本科教育以高职专科层次教育为对口生源，高职研究生学历教育以高职本科层次教育为对口生源。高职院校专科毕业学生可以在原就读的院校或在同类院校中进行上一层次高职本科或高职研究生学历教育，保持高职三年制学生接受高等教育的连贯性，满足高职专科学生接受更高学历教育的愿望，实现向上层社会流动的美好梦想。

（四）办好人民满意的高职教育的要求

教育是国家民族振兴和社会进步的坚强基石。党的十九大报告提出“办好人民满意的教育”，这是党中央在新形势新任务下做出的重大战略部署，为加快我国高等职业教育的发展指明了发展方向。由于长期受“劳心者治人，劳力者治于人”等传统观念影响，社会普遍存在着重普通教育、轻职业教育；重学术教育、轻应用型教育；重学历教学、轻技能教育的社会现象，导致职业教育长期处于社会认可度低现象。职业教育也被社会普遍看成是“二等教育”“次等教育”“差生教育”。但是我们不能将高职教育的一切问题归结于这些传统思想。真正降低职业教育社会认可度的是其专科层次的“终结性”问题[5]。因此，开展高职本科层次学历教育，是完善现代职业教育体系，着力提升高素质技术技能人才培养质量，增强人民对职业教育的满意度和社会认可度需要。

（五）实现“中国梦”的必然要求

国运兴衰，系于国家教育质量的高低。教育是知识传播、实践应用和创新发展的重要源泉，在我国社会主义现代化建设中发挥着不可替代的作用。职业教育作为我国教育的重要组成部分，在实现“中国梦”的进程中发挥着重要的作用。在 2014 年教育部召开的职业教育系统“中国梦”主题教育活动座谈会上，教育部原副部长鲁昕指出：“中国职业教育梦是‘中国梦’的重要组成部分，是全面发展的梦，是技能强国的梦，是人人成才的梦，是尽展其才的梦”。因此，开展本科层次高职教育，是遵循职业教育发展规律的客观要求。而通过职业教育的高素质技能人才培养，能推动“中国梦”的实现。

四、开展本科层次职业教育具备成功的办学经验和坚实基础

（一）国际上开展高职本科层次教育的成功经验

从国际上看，德国的工程师学院、美国的社区学院、日本的高等专门学校和短期大学等，都是本科层次高等职业教育。德国是目前世界上职业教育体系构建得最为完善的国家。早在 20 世纪 70 年代，德意志联邦就将工程师学院等三年制高等专科学校改为四年制的应用型科技大学，以满足行业企业对应用型人才和高级管理人才的需求。早在 1965 年，美国教育专家 H A Foechek 就曾预言：“在将来某一时候，大

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学本科水平上可能有工程科学类、工程技术类、科学类和工程类四种类型的学士学位。”[6] 其中，工程技术类就属于现在本科层次的高职教育。20 世纪 70 年代初，美国政府开始积极推行“生计教育运动”，促进了普通教育和职业教育的相互融合。到了 20 世纪 90 年代，美国的社区学院开始创办本科高职层次教育，但是它们绝大多数是同四年制大学合作完成本科层次教育，且也有一部分社区学院开始单独授予学士学位。日本也早在 1976 年就新建了长冈技术科学大学、丰桥技术科学大学 2 所国立本科高职大学，且学制都是四年制，采取本硕相贯通的专业人才培养模式。上述部分发达国家举办高职本科层次的成功经验和模式，为我国高职院校举办本科层次职业教育提供宝贵的借鉴意义。

（二）国内部分高职院校试办本科层次高职教育专业的探索

自 2010 年《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》颁布以来，各地方政府为探索现代职业教育体系陆续出台了一系列政策文件。一些省市在探索构建现代职业教育体系的过程中，对如何构建高职本科层次教育的办学模式进行了各种层次、各种类型的试点，目前主要有以下几种模式：

1. “5 +2”学历教育模式

此模式由 5 年制高职院校与普通本科院校开展分段联合培养，即学生在高职院校学习 5 年，经考试合格后升入对口普通本科院校再学习 2 年。其人才培养方式是遵循双方试点院校根据区域经济社会人才需求的岗位（群）能力共同制定的专业人才培养方案，以此培养社会亟需的高端技能型人才。如江苏省的无锡旅游商贸高等职业技术学校和江苏技术师范学院采用此联合培养模式。

2. “3 +2”学历教育模式

此模式是在高职院校学习 3 年，经考试合格，按照双方院校预先共同制定联合培养方案的要求，进入对口合作普通本科院校再学习 2 年，符合规定毕业（学位）条件的颁发普通本科院校的毕业证书（相应学士学位证书）。招生计划在高职专科批次单列。如山东省 2013 年启动 11 所高职院校和对口 12 所省属普通本科院校开展 12 个专业分段培养高职本科人才培养模式的试点。江苏省 2012 年启动开展 11 所高职院校和对口省属普通本科院校进行分段培养模式。2014 年海南等省份也开始进行这一分段培养模式试点的探索。

3. 四年制高职本科层次教育模式[7]

四年制模式是我国目前常规本科层次教育学制的主要模式。这一模式主要有两种方式：第一种模式是在国家示范性（骨干）高职院校中举办四年制高职本科层次教育，以国家示范建设专业为申报建设专业，招生计划纳入普通本科批次招生计划当中。由国家示范性（骨干）高职院校、行业企业和对口公办普通本科院校三方共同合作，按照区域经济社会培养高端技术技能人才要求，三方共同制定专业人才培养模式。学生在高职院校学习 4 年，完成本科层次教育计划及相关教学内容要求，将获取对口合作普通本科院校颁发的本科学历证书（注：含符合条件学位证书、符合条件相关职业资格证书。如，2013 年四川省启动开展国家示范（骨干）高职院校、行业企业及部分省属本科高等院校三方联合开展培养高职本科层次专业试点工作；第二种模式是国家示范（骨干）高职院校与普通本科院校开展联合培养。以普通本科院校招生计划第二批次形式联合招生，以培养四年制本科层次高端技术技能人才。由对口本科院校负责招生与学籍管理，合作高职院校负责日常教学及学生管理，联合制定专业人才培养体系，学生学习及生活全部时间均在高职院校就读，培养具有高端技能的本科层次应用性人才。如天津市 2012 年确定 6 所国家示范性（骨干）高职院校分别与 6 所对口天津市市属普通本科院校联合培养 4 年制本科层次专业人才。达到本科毕业条件者，本科毕业证书、学位证书及相关职业资格证书（注：指符合条件要求的），符合条件的学生还可获得与所学专业相应的国家职业资格证书。

（三）国家示范性（骨干）院校建设取得明显成效

2006 年开始，教育部、财政部先后进行 100 所国家示范性高等职业院校建设。2010 年，教育部财政部又新增 100 所左右国家骨干高职院校。这些院校经过严格按照国家示范性（骨干）高职教育建设要求，其职业教育的办学理

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

念、专业人才培养目标与教学模式、课程开发与教学实施、实训基地建设、师资队伍建设等方面办学经验丰富，在实训基地建设、“双师型”教师培养、专业建设等方面都保持了自己的优势与特色，在某些特色或强势专业上已经具备高职本科层次的能力和条件，且部分示范性高职院校的办学条件已具备了培养高职本科学生的良好办学基础。

五、开展本科层次职业教育的实施路径

(一) 择优遴选升格部分高职本科院校

通过上述分析，建议从国家示范校(或骨干校)遴选20%～30%高等职业院校(或从国家“双高计划”院校直接进行高职本科专业设置)作为高职(本科)院校专业试点单位。这些高职院校经过国家示范(骨干)校建设，其职业教育的办学理念、专业人才养培目标和教学模式、课程开发和教学实施等方面办学经验丰富，在双师型教师培养、实训基地建设、专业建设等方面都保持了自己的优势与特色，在某些特色或强势专业上已经具备高职本科层次的能力和条件，且部分示范性高职院校的办学条件已具备了培养高职本科学生的良好办学基础。

(二) 明确高职本科专业招生生源对象

高职本科生源应该有高中应届毕业生、高职生、中职生三类，具体比例如表1所示。招收部分中职、高职毕业生，可进一步打通职业教育“立交桥”，结束职业教育是“二流教育”、“断头教育”和“终结教育”的社会局面，体现职业教育内在发展的规律性。招收普通高中应届毕业生可以进一步提高高职院校社会影响力，与应用型本科高校形成竞争，实现良性互动发展。

表1　高职本科专业招生生源比例学制

序号	高职本科专业招生生源	生源比例	学制
1	普通高中毕业生	40%	4年
2	高职毕业生	50%	2年
3	中职毕业生	10%	4年

(三) 科学制定高职本科业招生考试方式

建议对报考高职(本科)专业的应届高中学生，在秋季高考二批次录取。对中职、高职专科毕业生采取“文化课+专业技能考试”录取形式。此种招生入学方式符合职业教育发展的规律。考试时间可以安排每年春季(约4～5月份)向中职、高职院校统一招生一次考试。既可使原有的中职、高职院校优秀人才进入高一级职业院校学习深造，又可体现职业教育是一种类型教育，逐步构建现代职业教育体系。通过这种对接考试，能进一步提高职业教育的吸引力，体现构建现代职业教育体系教育特点。

(四) 落实高职本科专业学位授予

目前国家学位由专业学位和学术学位是两种类型组成。专业学位，是以某种特定职业为背景的学位，重在专业实践，突出特点是学术性与职业性的紧密结合。其目标是培养具有扎实专业理论基础，并适应特定行业(或职业)实际工作需要的应用型高层次专门技术人才。[8] 专业学位教育主要是培养从事具有明显职业岗位(群)背景的人员，如律师、会计师、教师、医师、工程师等职业。学术型学位按学科设立，重在学术理论研究，研究其专业领域内的各类问题，致力于解决学科领域内的缺陷，对知识做出创造性贡献，培养的是建立在知识的传承和创新基础上从事学术科研的理论工作者。可见专业学位与学术型学位是两种不同类型的教育，专业学位更接近职业教育，建议高职本科学位(或硕士学位)应沿用专业学位，即专业学士(或专业硕士)。

根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》，目前我国学位实行的是学士、硕士和博士三级学位。从学位类型看，学术学位在学士、硕士、博士三级学位的各个层级之间是贯通的。[9] 但是现在专业学位教育却出现断层现象，现行的专业学位类型及层次中，学士层级的专业学位基本空白(只有建筑学学士)，而高层次的硕士专业学位种类相对较多，此种设置不仅标志着我国专业学位在实际教学与应用中的存在性，而且为我国专业学士学位的发展提供了重要的例证和参考。专业学士学位种类匮乏，一方面使高职教育层次上移困难，成为“断头教育”；另一方面，硕博层次专业学位的学生大都缺乏应用性的技能基础。因此，专业学位的设置，建议统筹考虑《高职高专专业目录》、产业链和岗位群(职业分类)及专业硕士学位目前的实际情况，并参照国际上的通行做法来设置专业学士学位，特别要考虑本科层次专业群与产

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

业链的紧密衔接。这样既可填补我国专业学士的空白，又能简化专业学士学位授予路径，还能方便学位授予的操作。

参考文献

[1] 张健. 高职本科应用型人才规格定位初探[J]. 职教论坛,2018(4):33-37.

[2] 潘晨光. 中国人才发展报告(2017)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2018:10.

[3] 朱淑珍. 国际教育标准分类与我国高等职业教育发展探索[J]. 中国高教研究,2014(10):1-5.

[4] 教育部. 2018年全国各类高等教育在学总规模达3833万人[EB/OL][2019-02-27]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2019/50340/mtbd/201902/t20190227_371430.html.

[5] 李华荣. 发展本科层次职业教育是现代职业教育体系的亮点[N]. 中国教育报,2013-05-21(6).

[6] 联合国教科文组织. 关于高等教育的变革与发展的政策性文件[EB/OL][2016-02-23]. http://162.105.138.200/uhtbin/cgisirsi/x/0/0/5? searchdata1=^C1622585.

[7] 汪亚明,王珏. 我国高职本科教育的现状、困境和对策研究[J]. 中国高教研究. 2014(4):91-94.

[8] 马燕. 我国本科层次职业教育发展研究[D]. 天津:天津大学,2015.

[9] 张宁东,蓝洁. 高等职业教育层次上移:现实与前瞻[J]. 教育与职业,2012(6):13-15.

Essential Attributes, Development Needs and Improvement Strategies of Undergraduate Course Level Vocational Education

GU Guang-fu, ZOU Ji-quan

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: With the transformation and upgrading of society and economy, and with the application and development of high and innovative technology, extending the formal higher vocational diploma education to an undergraduate course level or even to a more intensive vocational education course level is an important development trend of the field in China, which is also the highlight of modern vocational education system construction. The current study suggested that the essential attributes of undergraduate course level vocational education include the higher education character, the technical character and the regional character. In conclusion, to further develop the reform of undergraduate course level vocational education, the stakeholders should refer to both domestic and international experience of existing practice, select and upgrade qualified vocational colleges, determine the sources of school enrollment, customize scientific admission exam schemes and ensure the conferment of undergraduate course level vocational education degree.

Key words: higher vocational college; undergraduate course level vocational education; essential attributes

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本科层次职业教育现场工程师的基本内涵、类型定位及培养路径

包丽丽　邹吉权

摘　要　当前，面向数字化智能化职业场景，加快培养高素质现场工程师，是促进产业发展的需要、推动工程教育改革的需要以及提升职业教育吸引力的需要。在剖析本科层次职业教育现场工程师基本内涵和类型定位的基础上，以产教融合为主线，以工程环境和工程师资为支撑，遵循“学生中心、成果导向、持续改进”的理念，聚焦目标体系、标准体系、课程体系、教学体系、评价体系和保障体系建设，系统构建了“一主线、两支撑、三导向、六关键”本科层次职业教育现场工程师培养路径。

关键词　本科层次；职业教育；现场工程师；类型定位；人才培养

中图分类号　G712　**文献标识码**　A　**文章编号**　1008-3219（2023）026-0012-05

当前，新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展，随着技术技能对复杂工作、对创新的支撑作用越来越明显，经济社会发展对高层次技术技能人才的需求越来越迫切，需要职业教育加快培养更多适应新技术、新业态、新模式的高素质技术技能人才、能工巧匠、大国工匠。基于此，2022年9月，教育部办公厅等五部门印发《关于实施职业教育现场工程师专项培养计划的通知》，提出推进职普融通、产教融合、科教融汇，进一步增强职业教育服务国家战略能力，面向数字化智能化职业场景，加快培养大批高素质现场工程师。政策的出台为职业教育现场工程师高质量培养提供了重要行动指引[1]。本文以职业本科建设中的现场工程师人才培养问题为立足点，通过对培育本科层次现场工程师的时代意蕴、基本内涵、类型定位、培养路径等方面的研究，试图解决职业本科教育“由谁培养，培养什么人，怎样培养”的基本问题。

一、本科层次职业教育现场工程师培养的时代意蕴

（一）促进产业发展的需要

党的二十大报告提出，建设现代化产业体系，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国，推动战略性新兴产业融合集群发展，构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎。现代化产业体系建设必须要有一大批高层次技术技能人才和卓越现场工程师为支撑。全国人力资源信息监测中心调查数据表明：我国人力资源市场对高级技术职称的求人倍率接近1.9，其中技术工程师、高级技师等岗位需求与求职人数之比分别为2.01和2.39。目

作者简介
包丽丽（1986-　），女，天津职业大学职业技术教育研究所讲师（天津，300410）；邹吉权（1965-　），男，天津职业大学职业技术教育研究所所长，教授，工学博士

基金项目
2021年度天津市教育科学规划重点课题“‘双高计划’院校试点职业教育本科专业培养研究”（BJE210032），主持人：刘斌

前，我国高技能人才总量有5000多万人，仅占技能人才总量的28%，与德国、日本等制造业强国相比差距较大。据测算，到2025年，我国制造业十大重点领域人才需求缺口近3000万人，其中不仅包括研发人才，也包括技术应用型人才。因此，为加快推动制造强国建设，迫切需要优化教育供给结构，推进职业教育体系的层次升级，面向高端产业和产业高端，优化人才培养的规模结构、层次结构和专业结构，大力培养面向生产服务一线的现场工程师，提升人才培养与产业发展的契合度。

（二）推动工程教育改革的需要

目前，尽管我国工程师数量规模庞大，已占世界工程师总量的四分之一，但工程师的培养质量不容乐观，结构性矛盾突出，适应全球化的工程师比例不足10%，工程师的产值不足发达国家的10%[2]，尚不能支撑我国制造强国战略目标的实现。究其原因，一方面是开展工程教育的各类高校定位不清，学术本科、应用本科、职业本科人才培养同质化现象严重，办学特色及优势不突出，相互之间还缺少衔接与协作；另一方面是工程教育理念、模式、内容、方法落后，不适应当今工业革命和科技发展的要求，工程人才培养与产业实际需求不匹配。由于我国是一个经济和产业发展大国，需要各类工程人才，工程教育也应当是多样化和多层次的，既需要精于实操的工程技术人才，也需要具备良好科学素养、能够解决复杂问题的工程科学人才，还需要能够引领产业变革的工程创新人才。因此，要以现场工程师培养为契机，推动工程教育的改革与创新，建设具有中国特色、世界水平的工程师培养体系。

（三）提升职业教育吸引力的需要

党的二十大报告提出，办好人民满意的教育，坚持以人民为中心发展教育，加快建设高质量教育体系。举办高质量、高层次职业教育是改善民生的重要之举，是提升职业教育适应性和吸引力的重要举措。当前，我国就业总量压力依然很大，就业的结构性矛盾仍然比较突出，高职专科层次毕业生就业质量相对不高。一方面，随着新技术、新产业、新业态、新模式的不断涌现，高职专科层次毕业生不能适应高端产业和产业高端的需求；另一方面，随着高等教育的大众化和普及化，企事业单位招聘人才对学历门槛的设置越来越高。上述两方面因素叠加，造成专科层次高职毕业生“就业难”和企事业单位招聘“技工荒”并存的局面。依托本科教育开展现场工程师培育，正是面向高端产业和产业高端，推进产教融合、校企合作，促进教育链、人才链与产业链、创新链有效衔接，培养大批高层次、具备综合职业能力、能够解决复杂问题的复合型、创新型技术应用人才，提高人才培养与产业发展需求契合度，满足企业多样化用工需求，有效解决结构性就业矛盾，切实增强职业教育适应性。

二、本科层次职业教育现场工程师的基本内涵和类型定位

本科层次职业教育的培养目标是为区域产业和经济发展培养高素质技术技能型人才，着重培养学生“将理论转化为技术、将技术转化为生产力和产品”的能力。现场工程师，是指工作在生产、建设、管理、服务一线岗位，具备较强工程技术理论知识和工匠精神，精操作、懂工艺、会管理、善协作、能创新的高素质技术技能人才。这类人才主要从事生产制造过程中的技术支持与服务，能够第一时间对改进产品设计、优化生产工艺、提升设备效率、规范操作流程提出解决办法。与传统技能人才相比，现场工程师需要“常在现场”，体验真场景、接触真任务、解决真问题。本科层次职业教育现场工程师的培养，要与学术研究型大学和应用研究型大学有效协同，与技术原理创新的研发工程师、技术集成及产品创意的设计工程师有效衔接，聚焦试验发展和工艺创新，有效解决生产制造过程中产品设计改进、生产工艺优化、设备效率提升等现场问题。

在培养高水平工程师队伍背景下，明确不同类型工程教育高校的定位对于探索形成中国特色、世界水平的工程师培养体系至关重要。本文从高校具有的人才培养和科技研发等功能出发，将本科高校分为学术研究型本科、应用研究型本科和职业本科三种类型。同时结合工程教育的特点以及工程活动全周期对各类工程师的需求，提出学术本科、应用本科和职业本科三类学校的工程教育类型定位，如图1所示。

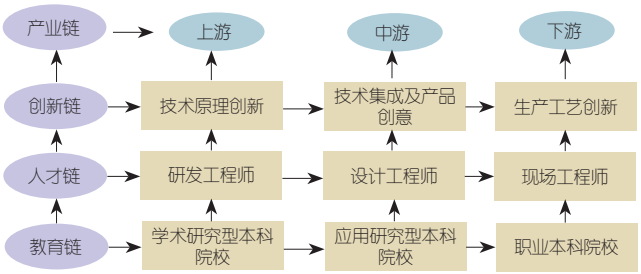


图 1　本科层次职业教育现场工程师培养的类型定位

学术研究型本科院校重点培养研发工程师。他们着眼于产业链上游，聚焦技术原理创新，主要从事复杂产品或大型工程项目的研究、构思、开发和咨询以及工程科学的研

究。他们具有宽广的知识面，能够系统掌握工程原理、工程技术、工程科学等理论知识，具有较强的社会责任感和极高的综合素养。

应用研究型本科院校重点培养设计工程师。他们着眼于产业链中游，聚焦技术集成及产品创意，主要从事产品、工程项目或生产过程的设计与开发，具有较为宽广的知识面、扎实的理论基础、良好的技术创新能力、较强的工程实践能力和较高的综合素质。

职业本科院校重点培养现场工程师。他们着眼于产业链下游，聚焦生产工艺创新，主要是在工程技术生产、营销、管理和服务一线解决工程实际问题。他们具有较强的工程技术理论知识和工程实践能力，具备良好的人文素养和现代工程意识，尤其是具有创新能力、分析解决问题能力和沟通协作能力。现场工程师与研发工程师和设计工程师相比，更重视技术应用能力和解决实际问题的能力，特别是实践创新能力和解决现场问题的应变能力。

三、本科层次职业教育现场工程师的培养路径

基于对现场工程师内涵、定位和岗位面向的认识，以产教融合为主线，以工程环境和工程师资为支撑，遵循“学生中心、成果导向、持续改进”的理念，结合本科层次职业教育的定位、理念和特色，聚焦目标体系、标准体系、课程体系、教学体系、评价体系和保障体系建设，系统构建“一主线、两支撑、三导向、六关键”现场工程师培养路径，如图2所示。

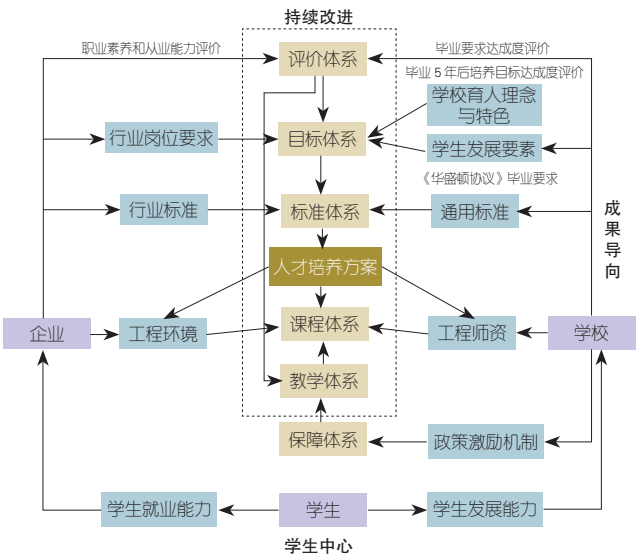


图 2　本科层次职业教育现场工程师的培养路径

（一）坚持产教融合一条主线

以产教融合为主线，面向新一轮科技革命和产业变革带来的学科交叉、知识融合、技术集成等岗位特征，以本科层次职业教育建设为契机，对接技术含量高、创新性强、任务复杂、环境多变、操作技能综合的高端职业和高端岗位，强化校企双主体育人，创新产业学院、混合所有制二级学院、校内企业培训中心、产教联盟等校企合作模式，吸纳行业企业深度参与标准和培养方案制定、教学实施等，建立“面向工程实际、强化理论基础、注重工程能力、突出实践创新、具备国际视野”的产教融合特色课程体系。借鉴英国学位学徒制经验，创新具有中国特色的职业本科学位学徒制，基于企业需求、学生发展以及未来职场的需要，开发职业本科学位学徒制标准，构建学位学徒制质量保证体系。在合作培养模式上，职业本科学生实施“3+1”（3年高等工程教育，1年学徒制）或“2.5+1.5”（2.5年高等工程教育，1.5年学徒制）模式，高职学生实施“2+M+2”（M为累计不少于1年学徒制，可在高职阶段和本科阶段叠加实施）高本接续式模式，大力培养适应和引领新一轮科技革命和产业变革的卓越工程技术人才。

（二）强化校企“双主体”两项支撑

发挥校企“双主体”作用，企业提供真实的工程环境，使学生熟悉先进的制造设备和生产环境，感知设计制造理念和符合工业标准的生产过程，通过参与真实的工作团队和项目，在生产中学习先进企业文化、项目过程管理、质量管理、工艺优化、市场运作等，塑造职业精神和职业道德。注重导师的选拔和培养，建设具有国际背景的高水平专兼结合的工程教师队伍，实施“双导师”制，选聘和引进具有工程实践经历的教师担任学业导师，有计划地选送专职教师到企业工程岗位工作1~2年，注重教师梯队建设，鼓励教师承担和参与企业的科技开发和技术改造，提高教师发现和解决工程实际问题的能力。聘任企业高管和高级工程技术人员担任产业导师，承担专业课程教学、毕业设计指导等任务，探索实行高校和企业联合培养的有效机制。

（三）遵循“学生中心、成果导向、持续改进”三大导向

遵循“学生中心、成果导向、持续改进”的理念，以学生发展和就业需求为中心，瞄准学生知识、能力和素质的培养标准，涵盖《华盛顿协议》（工程教育本科专业学位互认协议）的毕业要求以及培养工程创新人才的需求，结合学校定位、理念和特色，制订现场工程师培养目标，培养德智体美劳全面发展，理论基础和专业知识扎实，创新意识和创新思维强，能够解决复杂工程问题，具有系统思维、职业精

神、国际视野的工程技术人才；坚持成果导向，将学校培养标准分解到每门课程和各项教学环节中，评价毕业生毕业要求达成度以及毕业5年左右的毕业生培养目标达成度，周期性采集反馈信息，持续不断地改进提高教育质量，保障教育目标的实现。

（四）聚焦六个关键，构建现场工程师人才培养体系

1.目标体系

人才培养目标事关“培养什么人”的问题，是人才培养体系的顶层要素和根本动力，它决定培养模式的选择、课程体系的搭建、教学体系的实施[3]。为了使课程体系能够与人才培养目标衔接，需要对人才培养目标进行细化。现场工程师核心能力培养主要包括知识、能力、素养三个方面。

第一，知识培养。现场工程师的工作内容涉及生产情境的诸多方面，一名卓越的现场工程师要掌握丰富的知识，包括专业知识、学科知识和通识知识。职业本科院校要注重培养学生将理论知识转化为应用技术的能力，不仅要能够及时处理在生产过程中遇到的各种问题，而且要能够面对生产产品对象的变化、工艺指标的改变、生产加工材料的提高创新改进生产加工工艺。

第二，能力培养。除了具备扎实的专业基础、过硬的理论知识外，现场工程师要精于操作工程设施设备，精于管理和维修工程设施设备，同时要具备管理能力，能做好计划、组织、实施、总结等环节的工作。此外，现场工程师是研发工程师和普通技术操作人员之间的沟通桥梁，既能够领会、理解、落实研发工程师的设计和意图，又能够有效管理、协调生产人员，保障生产的有序、高效。

第三，素养培养。现场工程师的职业特点决定了他们应具备较高的职业素养和创新素养。工匠精神是现场工程师职业素养的综合体现，现场工程师要能够秉持一丝不苟、精益求精、严谨认真的敬业精神[4]。创新素养即为创造新知识、新技术、新方法、新思想或新的解决方案所应具备的能力，现场工程师需要具有创新精神和创新意识，能创造性地开展工程技术应用与管理工作。

2.标准体系

以通用标准为基础，结合行业标准，充分体现学校的服务面向、办学优势和特色，围绕培养目标，邀请行业企业专家共同制订学校培养标准，依据该标准制订各专业人才培养方案。知识方面要求涵盖数学、自然科学、经济管理、人文社会科学知识等基础知识和工程基础知识，以及专业领域技术标准和相关行业政策法规等。能力方面要求强调学习能力、分析解决问题能力、管理能力、创新能力、沟通协作能力、危机处理能力和国际交流合作能力。素养方面要求重点培养学生的基本素质和现代工程意识，基本素质包括良好的工程职业道德、爱党报国、敬业奉献、较强的社会责任感和较好的人文素养，现代工程意识包括质量意识、安全意识、效益意识、环保意识和服务意识等。

3.课程体系

课程体系是一组相互关联的课程所组成的整体，是人才培养体系的关键子系统。课程体系的功能是支撑毕业要求的达成，最终指向人才培养目标的实现。课程体系结构是指各种课程类型及具体科目的组织、搭配所形成的合理关系与恰当比例[5]。以职业本科建设为契机，对接技术含量高、创新性强、任务复杂、环境多变、操作技能综合性强的高端职业和高端岗位，基于成果导向构建与国际接轨的、充分支撑标准体系的通识课程、平台课程、专业课程、工程训练课程“四阶递进”课程体系。根据学生全面发展和可持续发展需要，建设通识课；根据专业群组群逻辑和共同的工程基础，建设平台课；根据岗位技能需求和学校标准，建设专业课；根据现场工程师的岗位内容需求，借鉴美国Capstone课程建设经验，建设工程训练课程。细化标准要求，将标准分解到课程和教学内容，绘制课程矩阵，使每条标准必须有3门以上课程支撑。以学生为中心，绘制以岗位发展为逻辑线的课程“地图”。探索跨学科、跨专业整合基础知识和工程知识，以校企共建的实践平台为支撑，重构课程模块，开发模块化课程。

4.教学体系

教学体系是由组成教学活动的各个要素通过相互制约、相互影响构成的一个整体，是人才培养体系的核心。要充分体现以学生为中心的教学理念，教学内容紧密联系生产实际和社会实践，将新技术、新工艺、新规范等产业先进元素纳入教学内容，普及推广项目教学、案例教学、情境教学等参与式、探究式、启发式教学模式，实施翻转课堂、混合式教学等教学形式，提高学生知识获取、应用和创新能力，促进综合素质的养成和提升。教学形式坚持校企双元育人，坚持理论与实践高度融合，基于课程设计和教学组织需求，升级原有教材形式和内容，基于职业能力清单开发活页式、工作手册式、融媒体等新型教材，并配备开发信息化资源。教学标准规范完备，开展技术应用场景在线远程教育，实现校企之间的实践资源共享。运用信息化手段改革教学方式方法，开展混合式教学，重构教学流程，促进自主、泛在、个性化、开放式学习。探索基于增强现实和虚拟现实等技术的沉浸式、体验式教学，开发基于职业环境与工作过程

的虚拟仿真实训资源，开展数字化环境下的实训教学创新研究与实践，解决工程教育过程中高投入、高损耗、高风险及难实施、难观摩、难再现的“三高三难”问题。

5.评价体系

评价体系是人才培养体系的反馈子系统，它对整个教育实践活动有着引导、激励和调控的重要职能[6]，事关教育发展方向。充分发挥政府、第三方评价机构、行业企业、校友等多元主体评价的作用，构建“培养目标、培养标准、课程目标、课堂教学”四层级人才培养评价体系，建设“毕业要求达成度、毕业生中期成长度、教师育人贡献度、用人单位满意度”等“四度”评价指标。毕业要求达成度以在校生和应届毕业生为调查对象，重点评价学生课程目标和毕业生核心能力的达成；毕业生中期成长度以毕业后5年左右的毕业生为调查对象，评价学生培养目标的达成度；教师育人贡献度重点考察教师对学习情境的创设和对学生的指导作用，促进教师对自身工程水平与能力的反思、建构与提升；用人单位强调对毕业生从业能力、职业素养和工程能力、学校人才培养质量等方面评价，判断培养目标、培养标准、课程目标、课堂教学各层级目标的符合度和达成度，根据需求变化不断调整人才培养目标，根据培养目标的达成度不断调整优化课程目标，根据课程目标的达成度不断改进课堂教学。

6.保障体系

建立科学完善的组织管理机制，由学校的教学管理负责人、学校专家组成员和企业高管、高级工程技术人员共同组成“现场工程师教育指导委员会”，负责培养目标制定、培养标准制订、组织模式和运行机制改革等。成立专题小组，以专业群或产业学院的教学负责人和学业导师为成员，负责研制和组织实施各个专业的具体方案。建立校企联合培养机制，与企业共同制订具体的、可操作的企业培养方案，使学生所学知识和技能与行业要求紧密结合。建立教师考核和激励机制，实施能上能下的“双导师”负责制，在年终考核、评奖评优、出国进修、企业锻炼、科技项目申报等方面向学业导师倾斜。建立具备全过程监控和持续改进性质的校企合作教育质量保障体系，依托评价体系开展质量监控和考核评价改革，建立教学过程质量跟踪反馈体系和毕业生培养目标达成的跟踪反馈体系，并坚持持续改进。

参考文献

[1]曹留成.职业教育现场工程师高质量培养价值、问题与改革策略研究[J].教育与职业，2023(3)：52-58.
[2]黄梅.我国工程师制度改革中工程教育的创新发展：经验借鉴与制度因应[J].国家教育行政学院学报，2017(8)：70-76.
[3][5]邹吉权，刘晓梅.基于系统科学的高水平高职人才培养体系构建[J].职业技术教育，2022(22)：23-28.
[4]郝士艳，纪长伟.基于传统“工匠精神”的高校卓越工程师计划培养对策研究[J].黑龙江高教研究，2017(9)：156-158.
[6]丁念金.论教育评价的根本伦理准则[J].湖南师范大学教育科学学报，2016(6)：38-43.

Basic Connotation, Type Positioning and Cultivation Paths of Field Engineer Training in Undergraduate-level Vocational Education

Bao Lili, Zou Jiquan

Abstract At present, it is the need to accelerate the cultivation of high-quality field engineers for the digitized and intelligent vocational scenario, the need to promote industrial development, the need to promote the reform of engineering education, and the need to enhance the attractiveness of vocational education. On the basis of analyzing the basic connotation and type orientation of field engineers in vocational education at the undergraduate level, taking the industry-education integration as the main line and the engineering environment and engineering teachers as the support, following the concept of “student-centered, result-oriented and continuous improvement”, focusing on the construction of the target system, the standard system, the curriculum system, the teaching system, the evaluation system and the guarantee system and systematically building the paths of cultivating field engineers in undergraduate vocational education with the concepts of “one main line, two supports, three orientations and six keys”.

Key words undergraduate-level; vocational education; field engineer; type positioning; talents cultivation

Author Bao Lili, lecturer of Tianjin Vocational Institute (Tianjin 300410); Zou Jiquan, professor of Tianjin Vocational Institute

采用双曲柄调距机构的垂直轴风力发电机机理研究与样机设计 *

廉正光
（天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410）

摘要：针对传统垂直轴风力发电机存在的低速启动力矩小和风能利用效率低的问题，提出了一种新型可变桨距的垂直轴风力发电机机理。该风力发电机采用双曲柄调距机构及双偏心轴牵引机构实现桨叶桨距角的周期性变化和牵引点位置的调整。首先对该机构进行运动学分析，证明其调距功能满足正弦规律，然后对机构进行了详细设计并完成了原理样机的制造和测试，证明文中所提出的风力发电机机理正确可行。该文的研究和设计工作为今后新型垂直轴风力发电机的探索和研制提供了有益参考。

关键词：变桨距；调距机构；垂直轴风力发电机；风电效率

中图分类号：TH122 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-2354(2016)08-0100-05
DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2016.08.019

Principle research and prototype design of a vertical axis wind turbine with double crank adjustment mechanism

LIAN Zheng-guang
(School of Electrical Automation Technology, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410)

Abstract: Aiming at the problem of small starting torque at low speed and low wind power utilization rate of the traditional vertical axis wind turbine, a new kind of vertical axis wind turbine with variable pitch was presented. The cyclical variation and towing point position adjustment of paddle pitch angle were realized using double-eccentric-axle drawing mechanism and eccentric shaft adjusting mechanism of wind turbine. The kinematics analysis of this mechanism was performed and its blade adjusting function meet the sine law. Then, the mechanism was designed in detail and the manufacture and test of the principle prototype were performed, which proved the correctness and feasibility of this wind turbine presented in this paper. The study and design in this paper provided references for the exploration and development of new vertical axis wind turbine.

Key words: variable blade pitch; adjusting mechanism; vertical axis wind turbine; wind generation efficiency

风力发电作为清洁的可再生能源，目前已在我国得到了较大范围的商业化推广和应用，并得到了全社会的广泛认识，具有广泛的发展前景。风力发电机按风轮主轴朝向可分为水平轴风力发电机(HAWT，Horizontal Axis Wind Turbine)及垂直轴风力发电机(VAWT，Vertical Axis Wind Turbine)两类。由于水平轴风力发电机技术成熟度高，风能利用率高，目前得到普遍推广。水平轴风力发电机的应用可以追溯到公元前，千百年来不断得到改进和完善，而垂直轴风力发电机的研究起步则晚得多。直到 1931 年，达里厄风力发电机被授予美国国家专利[1]，垂直轴风力发电机的研究才逐渐开展起来。之后，很多人进行了垂直轴风力发电机的设计研究[2-4]，当前大型垂直轴风力发电机的研发相对滞后。垂直轴风力发电机具有诸多优点：可全方向受风而不需对风装置；发电设备置于地面，运行成本低而维护性好；载荷恒定，工作寿命长；结构简单，安装方便[5]。基于垂直轴风力发电机的以上优点，垂直轴风力发电机获得了一定的市场份额[6]。但是当前还存在一些缺点，主要是风能利用系数相对较低、自启动性能差，这些缺点阻碍了垂直轴风力发电机的推广使用。

* 收稿日期：2015-07-03 修订日期：2016-02-13

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

众多研究表明[7-10]，周期性改变垂直轴风力发电机的桨距角是提高风能利用系数、降低启动风速的好办法。韩国学者 Hwang I S 等[11]在这方面做了一定的工作，他们利用计算流体力学(CFD)方法，对 VAWT 进行了气动性能分析，并与传统定桨距风力发电机做了对比。研究结果表明：在一个回转周期内，变桨距垂直轴风力发电机在大部分位置都能获得较大的切向力，从而产生更大的启动力矩；在相同风速下，变桨距垂直轴风力发电机的输出功率要大于定桨距风力发电机。此外，他们还提出了一种变桨距机构。哈尔滨工业大学郑树育[12]通过对桨距角进行优化选择，研究提高垂直轴风力发电机风能利用率的有效途径。研究表明：变桨距垂直轴风力发电机的最大风能利用系数为 0.495，同定桨距垂直轴风力发电机相比，提升率达 32.4%，提升效果十分显著。可见，变桨距风力发电机在气动性能和效率方面较传统定桨距风力发电机确实有提高，这为文中的变桨距机构的设计提供了理论依据。

在众多关于变桨距风力发电机的研究中，对于变桨距垂直轴风力发电机的理论研究很少，对其整体结构、调距机构的设计方案更少。传统的调整垂直轴风力发电机整体螺距的调整方案主要是通过配重离心力带动连杆机构调整桨叶角度，这样只能同时调整所有桨叶总体螺距，而不能调整桨叶的周期螺距。一般来说，解决变桨距问题，比较直接的做法是与各桨叶同轴布置一个伺服电机，通过编程来控制桨叶的角度周期改变，这样做必然显著增加系统惯性，自启动性能更差，也不利于小型化。Hwang I S 等[11]提出的变桨距方案将二维平面机电传动装置和发电系统置于风力发电机顶部，实现了调距功能，但发电机置于风力发电机顶部不利于实现大型化，增加了系统惯性，也失去了垂直轴风力发电机维护性能好和抗风能力强的优势。

文中利用双曲柄调距机构及双偏心轴机构，设计了一种新型调距机构，并且制造出采用该机构的风力发电机样机。样机测试结果表明，该机构可有效实现调距功能，同时也体现了机械调距机构结构紧凑、质量轻、传动可靠的优点。

1　机构运动特性分析

1.1　双曲柄六杆机构运动特性分析

实现桨叶的周期调距，本质上是使桨叶方位角度按照正弦规律周期性发生变化。对于风力发电机来说，还必须满足成本、可靠性和工艺性能的要求。从机构学角度考虑，采用连杆机构更加符合该应用场合。此外，连杆机构与齿轮等高副传动机构相比，还具有传动回差间隙小、结构紧凑和装配与维护需求低的优点。

文中采用如图 1 所示的双曲柄六杆机构。O 点为整个机构的回转中心，N 点为可动牵引点。机构工作时，N 点与 O 点拉开一定距离，并作为机构中的固定支座，杆 NO 充当机架。此时，$NOBA$ 形成一四杆机构。根据双曲柄机构原理，采用合适的杆长，可使杆 OA、杆 NB 绕其中心 O，N 整周回转，使 $NOBA$ 成为一双曲柄机构。在此机构上接上一个二级杆组 DEC，使杆 DE 与桨叶固连，便形成了调距机构。为方便起见，假设桨叶弦线与 DE 杆重合，故在一个运动周期内，DE 杆相对 OD 杆的角度变化规律也就是桨叶桨距角的变化规律。此时，调整 ON 距离和 N 点位置，即可实现周期桨距角度变化幅值和周期变化朝向的调整，称 N 点为牵引点。

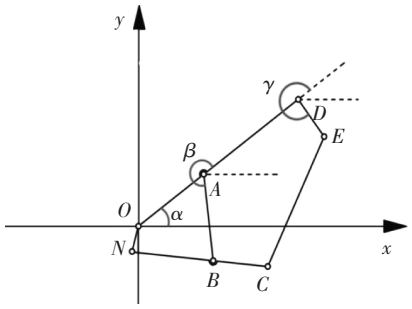


图 1　VSP 双曲柄六杆机构

在图 1 坐标系中，设牵引点 N 坐标为 (N_x,N_y)，OD 杆与 X 轴夹角(桨叶方位角)为 α，OD 杆与 AB 杆所夹钝角为 β，OD 杆与 DE 杆所夹钝角为 γ。为保证实现双曲柄运动规律，且使机架 ON 有最大的调节量，总取 $\overline{OA}=\overline{AB}=\overline{NB}=L$，且偏心距 $\overline{NO}$ 的最大值小于 $\overline{OA}$。

设 B 点坐标为 (B_x,B_y)，则：

$$B_x=L\cos\alpha+L\cos(\alpha+\beta) \tag{1}$$

$$B_y=L\sin\alpha+L\sin(\alpha+\beta) \tag{2}$$

由 $|AB|=|NB|=L$，得：

$$\beta=2\arctan\left(\frac{B-\sqrt{A^2+B^2-C^2}}{C+A}\right)-\alpha \tag{3}$$

式中：$A=2L(L\cos\alpha-N_x)$；

$B=2L(L\sin\alpha-N_y)$；

$C=-(L\cos\alpha-N_x)^2-(L\sin\alpha-N_y)^2$。

设 C 点坐标为 (C_x,C_y)，$|NC|=r$，则：

$$C_x=N_x+\frac{r}{L}(B_x-N_x) \tag{4}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$C_y=N_y+\frac{r}{L}(B_y-N_y) \tag{5}$$

设 $\overline{CE}=L_1$，$\overline{DE}=L_2$，$\overline{OD}=R$，则：

$$\gamma=2\arctan\left(\frac{B'-\sqrt{A'^2+B'^2-C'^2}}{C'+A'}\right)-\alpha \tag{6}$$

式中：$A'=2L_2(L\cos\alpha-C_x)$；

$B'=2L_2(L\sin\alpha-C_y)$；

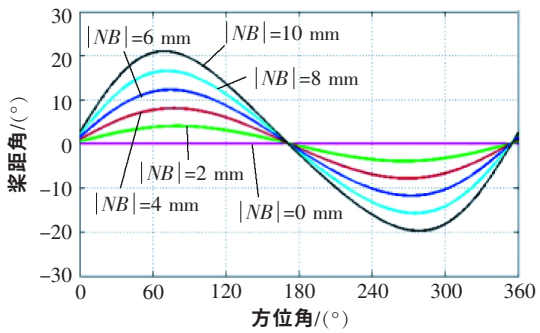
$C'=L_1^2-L_2^2-(R\cos\alpha-C_x)^2-(R\sin\alpha-C_y)^2$。

当 N 点与 O 点重合，即偏心距为 0 时，所有桨叶桨距角回零，此时为固定螺距运行状态。此时须使桨叶与 OD 杆垂直，即 $DE\perp OD$，CE 杆长需满足如下关系：

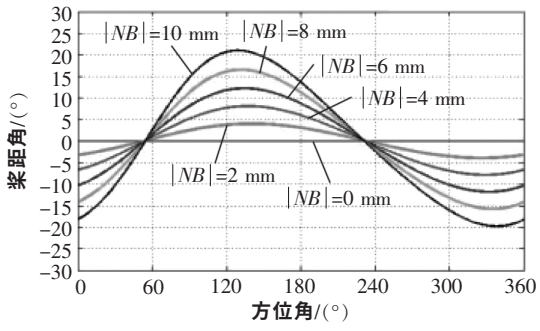
$$L_1=\sqrt{\left(R-\frac{r}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}r-L_2\right)^2} \tag{7}$$

取 $\overline{OD}$=500 mm，$\overline{NC}$=80 mm，$\overline{OA}=\overline{AB}=\overline{NB}$=50 mm，$\overline{DE}$=40 mm，由式(7)得 $\overline{CE}$=460.93 mm。由式(6)绘制桨叶桨距角 γ 一周期内的变化曲线。

图 2 为牵引点 N 方位角不变时，不同偏心距下的桨距角变化规律。图 3 为偏心距不变时，不同方位角的牵引点对应的桨距角变化曲线。对比 3 个图可知，牵引点 N 方位角不变时，桨距角变化幅值随偏心距增大而增大；偏心距值不变时，桨距角曲线相位随牵引点方位改变而改变。从两组桨距角变化曲线可以看出，桨距角变化过程符合正弦曲线规律，由文献[4]的研究成果可知，该机构满足设计预期的调距要求，可实现周期变桨距功能。



(a)N 点方位角为 0°



(b)N 点方位角为 60°

图 2 桨距角与叶片方位角曲线

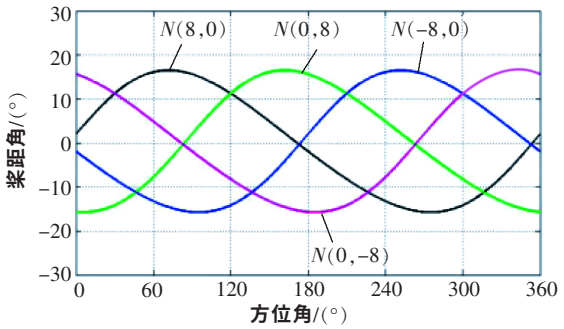


图 3 牵引点位于不同方位时的桨距角曲线

以上是对某一桨叶摆角运动规律的分析。当采用多套相同的双曲柄连杆机构同时围绕同一牵引点转动时，由于偏心距离的存在，每个桨叶方位角相差一固定值。多个均布桨叶同时转动时，桨距角曲线也相差一固定相位。4 枚桨叶桨距角分布规律可用图 3 所示 4 条曲线表示。

1.2 牵引点控制机构

为使调距机构中的牵引点能在坐标平面内任意移动，需要一机构控制牵引点位置。文中采用竖直轴双偏心机构控制牵引点位置。

如图 4 所示，双偏心机构由长度分别为 e_1，e_2 的连杆 MO，MN 组成，自由度为 2。改变两连杆的角度，可使 N 点在其可达区域内任意移动。为使 N 点能与 O 点重合，取 $e_1=e_2$。实际应用中，连杆 MO，MN 分别由一个偏心轴和一个带偏心孔的圆筒构成，二者偏心距相等。采用两台伺服电机分别控制偏心轴和圆筒的方位角度，即可实现牵引点 N 的二维平面移动。

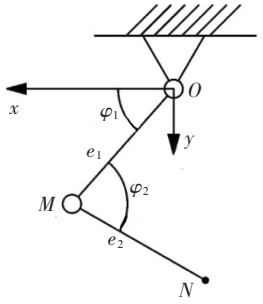


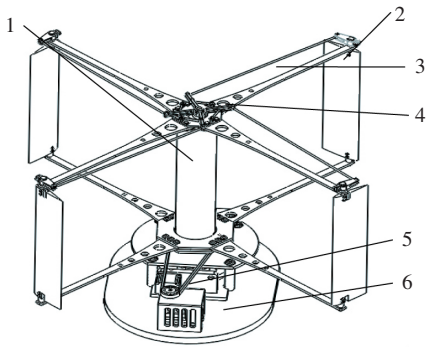
图 4 双偏心机构运动简图

2 风力发电机设计

2.1 总体结构设计

根据上节描述的机构原理，文中提出立轴风力发电机主体结构如图 5 所示。桨叶共 4 个，均匀排列。其中，桨叶采用 NACA0012 标准翼型。质量较轻的调距机构位于风车顶部，而较重的发电装置位于底部。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

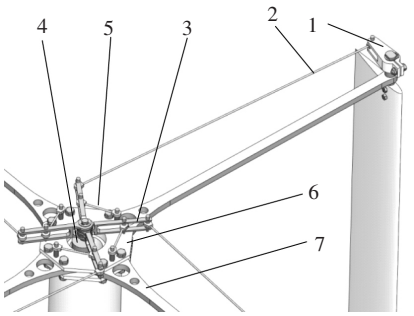


1 立柱;2 桨叶;3 支撑横梁;4 调距机构;5 发电机;6 底座

图 5　风力发电机主体结构

2.2　调距机构设计

风力发电机调距机构如图 6 所示，由 4 组独立六杆机构组成,分别对应 4 组桨叶。其中,桨叶支撑梁同八角盘刚性连接,桨叶摆杆下端与桨叶铰接,八角盘与中央立柱同轴,叉状连杆末端与偏心牵引轴头铰接,偏心轴的偏置轴线为调距机构牵引点。通过牵引点位置调整带动整个连杆机构运动,实现桨叶摆杆周期摆动,实现桨叶角度周期变化。



1 摆杆;2 长拉杆;3 叉状连杆;4 偏口牵引轴;5 短牵引杆;
6 八角盘;7 桨叶支撑横梁

图 6　调距机构整体结构

与图 1 中机构简图对照,牵引轴即为点 N,叉状连杆即为曲柄 NB,短牵引杆即为连杆 AB,短牵引杆与八角盘铰接点为 A 点,立柱轴心为 O 点。

当牵引点 N 与中心点 O 重合时,桨叶只有整体螺距,各叶片桨距角相同,而且在圆周运动过程中桨距角无变化,此状态与普通的定桨距立轴风车相同。当牵引点 N 偏离 O 点时,4 组六杆机构同时动作，使各叶片桨距角产生周期性改变,即产生周期桨距角。当周期螺距与来流风向匹配时，叶片与来风之间形成较大的攻角,能够产生较大的启动力矩,驱使风力发电机旋转。

2.3　牵引点位置调整机构

图 7 为牵引机构三维设计图。牵引机构的核心部件为偏心轴和偏心套筒。2 个步进电机分别驱动与偏心轴和偏心套筒连接的锥形齿轮，使牵引点移动到目标位置和目标方位角,即可实现 1.2 节所提出的双偏心结构。至此,该风力发电机具体设计参数如表 1 所示。

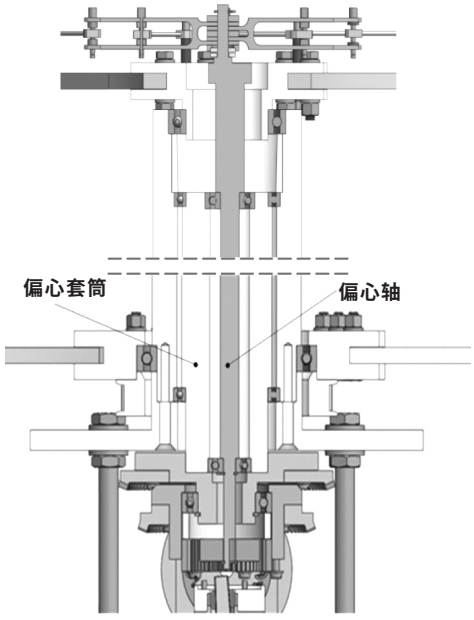


图 7　调距机构牵引点部分

表 1　变桨距垂直轴风力发电机设计参数

参数	数值
桨叶数	4
翼型	NACA0012
桨叶分布半径/m	0.5
桨叶展长/m	0.46
桨叶弦长/m	0.1

2.4　采用双曲柄调距机构的立轴风力发电机

依照前文所述双曲柄调距机构原理与设计方案,该课题组制造了立轴风力发电机原理样机(图 8)。风力发电机工作时,风向与风速传感器将测量到的风向、风速信号经模数转换模块输入单片机，单片机根据程序控制两步进电机转动，经由牵引点位置调整机构调整牵引点位置,以使周期桨距与风向相匹配,形成周期性的大迎风攻角区间,提高风能利用效率。当风向与风速恒定时,风力发电机保持稳定工作,牵引点位置固定不动。



图 8　测试中的风力发电机

在测试中,采用了大功率风扇作为定向风源。经过

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

全面测试，在两个步进电机驱动下，可实现牵引点径向位置和方位角的调整，同时实现周期桨距的调整；在自然风力驱动下，风力发电机可顺利平稳启动，并进入定常旋转运动，发电机输出稳定的电流。在测试中，通过调整牵引点的位置以对比定桨距和变桨距两种风电模式的发电效率。测试结果表明，采用变桨距方式的发电量较定桨距方式高 12%左右。

这个测试结果低于理论预期的主要原因是该风力发电机原理样机自身结构强度和材料刚度不足，以致无法在高风速下稳定工作，只好采用低风速开展测试。此种情况下桨叶工作雷诺数较低，不能真正发挥 NACA0012 翼型应有的空气动力效率，变桨距模式的优势自然也就难以完全体现出来。此外，风力发电机样机在低转速下机构变形和摩擦阻力效应相对显著，也会降低总体发电效率。

3 结论

文中提出的基于双曲柄调距机构的变桨距垂直轴风力发电机原理可有效实现周期桨距的调整，具有启动力矩小、风能利用效率高的优点。此外，由于全部采用机械传动，还具有结构紧凑、质量轻、传动平稳、可靠性高、维护性能好的优点，为相关研究和立轴风机研制和设计提供了有益参考。在已有工作基础上，顺应我国绿色能源发展战略需求，继续开展变桨距垂直轴风力发电机工程样机的开发，开展应用示范是今后要进行的工作。

参考文献

[1] Ion Paraschivoiu. 垂直轴风力机原理与设计[M]. 上海：上海科学技术出版社，2013.

[2] Hasan Shahariar G M，Mohammad Rashedul Hasan. Design & construction of a vertical axis wind turbine[C]//The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Cox's Bazar：Strategic Technology (IFOST)，2014 9th International Forum，2014.

[3] Chaitanya Sai P，Richa S Yadav，R Nihar Raj，et al. Design and simulation of high efficiency counter-rotating vertical axis wind turbine arrays[C]//International Conference and Utility Exhibition 2014 on Green Energy for Sustainable Development. Pattaya City：Green Energy for Sustainable Development (ICUE)，2014 International Conference and Utility Exhibition，2014.

[4] Safe A A，Saad Kashem，Moniruzzaman M，et al. Design，fabrication & analysis of twisted blade vertical axis wind turbine (VAWT) and a simple alternator for VAWT[C]//The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Cox's Bazar：Strategic Technology (IFOST)，2014 9th International Forum，2014.

[5] 梁小燕，刘海涛，芮晓明. 变桨距垂直轴风力机的研究与展望[J]. 中国电力教育，2007，13(3)：338-340.

[6] 李岩. 升力型垂直轴风力机[J]. 可再生能源，2009，27(3)：120-123.

[7] 周海波. 变速变桨距风力发电机气动特性和运行特性的研究[D]. 重庆：重庆大学，2012(5)：46-48.

[8] 郑旭阳，孙志毅，杨国韬. 垂直轴风力发电机的建模与变桨距研究[J]. 自动化仪表，2013，34(9)：52-57.

[9] 郑旭阳，孙志毅，杨国韬. H 型垂直轴风力发电机的变桨距控制研究[J]. 工业控制计算机，2013，26(1)：53-56.

[10] 郭建伟. 变桨距垂直轴风力机初步开发与性能评价[D]. 保定：华北电力大学，2008.

[11] Hwang I S，Hwang C S，Min S Y，et al. Efficiency improvement of cycloidal wind turbine by active control of blade motion[C]//Paris：16th International Conference on Adaptive Structures and Technologies，2005.

[12] 郑树育. 垂直轴风力机变桨距控制参数优化选择的研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2010.

作者简介：廉正光(1978—)，女，讲师，硕士，主要研究方向：机电一体化。E-mail：lianzhengguang@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

试验研究

超音速等离子喷涂 Al_2O_3 涂层的绝缘性能

张 斌[1]，张向军[2]，林 丽[3]，马庆超[1]，高建华[1]
(1. 清华大学天津高端装备研究院，天津 300300；2. 清华大学摩擦学国家重点实验室，北京 100084；
3. 天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410)

[摘 要] 绝缘轴承可靠性主要依赖于其表面涂层的绝缘性能，但克服绝缘涂层寿命短、耐候性差等问题一直是我国研究的前沿、热点和难点，至今尚未得到有效解决。采用超音速等离子喷涂技术在 GCr15 基体上制备氧化铝绝缘涂层，以 Ni/Al 作为粘结层，并考察了绝缘涂层的形貌、相结构、力学性能及绝缘性能。结果表明：所制备的涂层表面致密，孔隙率为 3.90%；涂层相组成为 γ-Al_2O_3 和 α-Al_2O_3；涂层的平均硬度 972 $HV_{9.8\,N}$，抗拉强度为 36 MPa，抗热震试验后涂层无明显变化，抗热震性能较好；介电常数和介电损耗随着温度的升高而升高，同时绝缘电阻值降低；随着湿度的增加，击穿电压值减小，在相对湿度达到 90%时，击穿电压仍能保持在 2.52 kV，绝缘性能良好。

[关键词] Al_2O_3 涂层；力学性能；绝缘性能；超音速等离子喷涂；孔隙率；抗拉强度；绝缘电阻；击穿电压
[中图分类号] TG174.442$^+$.1 [文献标识码] A [文章编号] 1001-1560(2019)09-0083-05
DOI:10.16577/j.cnki.42-1215/tb.2019.09.014

Insulation Performance of Al_2O_3 Coating Deposited by Supersonic Plasma Spraying

ZHANG Bin[1], ZHANG Xiang-jun[2], LIN Li[3], MA Qing-chao[1], GAO Jian-hua[1]
(1. Tianjin Research Institute for Advanced Equipment, Tsinghua University, Tianjin 300300, China;
2. State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
3. School of Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China)

Abstract: The reliability of insulation bearings is mainly dependent on the insulation performance of the surface coating. However, the problems like short life and poor weather ability of insulating coating have not been effectively solved, which have always been the leading edge, hotspot and difficulty of scientific research in China. In this paper, Al_2O_3 insulating coatings were prepared on GCr15 steel using supersonic plasma spraying method with Ni/Al as bonding layer, and the morphology, phase structure, mechanical properties and insulation performance of the prepared coating were analyzed. Results showed that the obtained coating possessed a dense surface with porosity of 3.90%, and the phase compositions were γ-Al_2O_3 and α-Al_2O_3. The average hardness was 972 $HV_{9.8\,N}$ and the tensile strength was 36 MPa. Moreover, the coating had no obvious change after the thermal shock test, presenting good thermal shock resistance. With the increase of temperature, the dielectric constant and dielectric loss were improved, and meanwhile the insulation resistance value decreased. With the increase of humidity, the breakdown voltage was reduced. When the relative humidity reached 90%, the breakdown voltage could still be maintained at 2.52 kV, which indicated the coating possessed excellent insulation performance.

Key words: Al_2O_3 coating; mechanical properties; insulation performance; supersonic plasma spraying; porosity; tensile strength; insulation resistance; breakdown voltage

0 前 言

交流变频调速控制技术因其独有优势被广泛应用于中高压、大功率电动机中。然而现阶段，我国的交流变频电机技术发展还不成熟，其内部的电机轴承的“电蚀”失效是制约其可靠性的主要问题[1]。国外学者通常利用电机的绝缘测试来预计电机的可靠性，研究表明，由于电机轴承的损坏而导致的电机故障占电机故障总数的 40%，而有 25%的电机轴承损坏是由于变频器的轴承电流引起的。Thomas 等[2]发现，当轴承中的电流密度大于 0.1 A/mm^2，在涂层内会引起电蚀，破坏

[收稿日期] 2019-03-28
[通信作者] 张向军(1968-)，博士，副研究员，主要从事微纳米摩擦学与界面流变学、机械系统的润滑与检测的研究工作，电话：022-84819325，E-mail：zhangxj@tsinghua-tj.org

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

涂层结构，造成轴承失效。

目前，氧化铝涂层采用大气等离子[3,4]或低压等离子喷涂技术制备，前者制备的涂层孔隙率高[5]，影响涂层耐磨、耐腐蚀、电绝缘等多项性能；后者制备成本高，生产效率较低[6]。因此人们提出了采用超音速等离子喷涂制备高致密氧化铝涂层，以适应恶劣工况环境下对高质量耐磨耐蚀涂层的需求。超音速等离子喷涂技术是在普通等离子喷涂技术基础上，通过特殊的喷枪结构设计，使得喷涂粒子在等离子射流中的飞行速度可达 400~800 m/s[7]。同时等离子射流提供足够的热焓，可实现高熔点材料的熔化，且射流中心和边缘的喷涂粒子速度及温度差别小。因此，超音速等离子喷涂制备的氧化铝涂层具有高致密性、高硬度、高结合强度以及高耐磨性等特点，综合性能优异[8]。

1 试 验

1.1 基体材料

基体材料为 GCr15 钢，加工成 50 mm×50 mm×3 mm 的方形试样，喷涂前进行超声波清洗以及喷砂预处理，以便获得清洁、活性高的表面。在喷涂过程中，采用冷却压缩气体对基体进行降温处理，以保证基体温度不超过 160 ℃，降低涂层过烧与严重氧化的风险。

1.2 打底层及喷涂粉末

试验打底层材料为 Ni/Al 复合粉末，Ni 和 Al 元素之间会发生剧烈的化学反应，释放大量的热量，能够实现涂层与基材之间发生冶金结合，增强两者的结合强度。采用 Al_2O_3 喷涂粉末，如图 1 所示，粉末粒度范围 25~45 μm，Al_2O_3 粉末具有较高的绝缘电阻率和热稳定性，是制备绝缘涂层的绝佳选择。

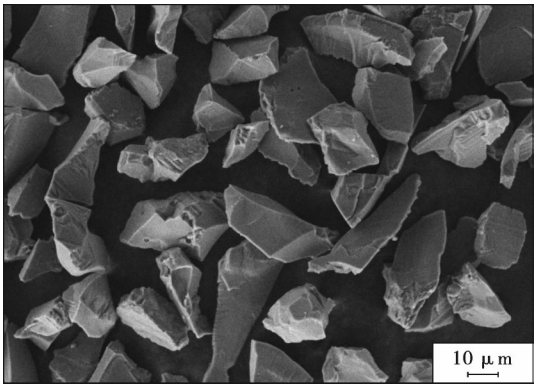


图 1 Al_2O_3 粉末 SEM 形貌

1.3 涂层制备

采用 HEPJet 高效能超音速等离子喷涂系统制备 Al_2O_3 涂层，本系统可在低功率、小气流量下获得超音速射流，这有利于提高 Al_2O_3 涂层的致密性和结合强度。超音速等离子喷涂工艺参数如表 1。

表 1 超音速等离子喷涂工艺参数

涂层	电压/V	电流/A	q_v(Ar)/(L·min^{-1})	q_v(H_2)/(L·min^{-1})
Ni/Al	140	400	160	9
Al_2O_3	160	400	100	25

涂层	L(喷涂)/mm	v(送粉)/(g·min^{-1})	p(送粉气)/MPa	q_v(送粉气)/(L·min^{-1})
Ni/Al	100	23	0.45	8
Al_2O_3	100	30	0.50	9

1.4 性能测试

利用 ZEISS Sigma 300 场发射环境扫描电镜(SEM)及配套的能谱仪(EDS)观察和分析涂层表面及截面的微观形貌与化学成分。采用直接观测法来测量涂层的孔隙率，取涂层截面试样经镶样、研磨和抛光后制成标准金相试样，在陶瓷层任意不同位置扫描 5 张 500×放大倍数的扫描电镜图像，然后用 Image-Pro Plus(IPP)图像分析软件计算这些图像中涂层的孔隙率，5 次测量的平均值即为涂层孔隙率。采用 PHILIPS X-Pert MPD 型 X 射线衍射仪(XRD)对涂层物相进行分析(CuKα)。采用 Tukon 2500 全自动显微硬度计测定涂层的硬度分布，加载载荷为 9.8 N，加载时间为 15 s，且保证相邻的压痕间距大于等于压痕对角线的 3 倍，避免涂层出现形变硬化效应。采用 MTS 万能拉伸试验机进行拉伸试验，以测定涂层与基材的结合强度，试验中将涂层面与对接面用粘结剂粘牢，保证 2 个面的轴心重合，拉伸过程中采取拉力逐渐增加的方法进行测试，直至测试件被拉断为止。采用数字多用表和安规测定仪测定涂层在 25~150 ℃温度范围内(25，40，100，150 ℃)、加 1 000 V 直流电压时的绝缘电阻、相对介电常数和介电损耗。采用安规测定仪和大功率微波检测仪测定涂层在常温(25 ℃)、不同湿度环境(30%、60%、90%)下的击穿电压，升压速率为 2 kV/min。采用SRJX-8-13箱式试验电阻炉，参照 JB/T 7703-1995 进行涂层热震寿命试验，即将试样在 800，900 ℃下保温 10 min 后取出迅速浸入温水中，待水面平静且无异响发出后，取出试样并观察涂层表面是否出现裂纹或剥落，循环上述操作。

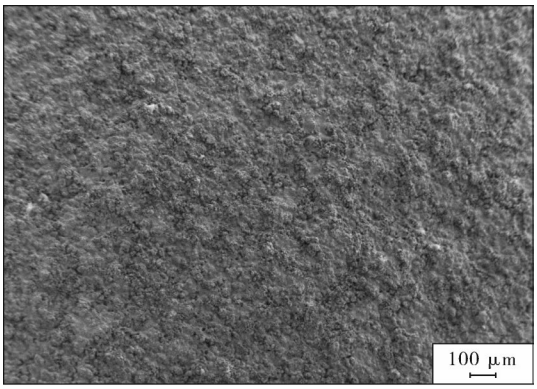
2 结果与讨论

2.1 涂层形貌

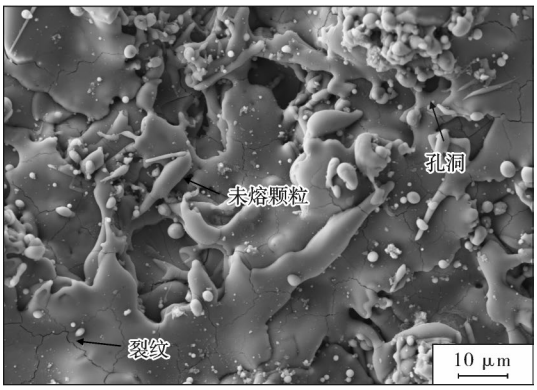
图 2 为涂层的表面 SEM 微观形貌。从图 2 可以看出，涂层表面形貌由熔融区和半熔融区组成。超音速

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等离子喷涂火焰温度很高，Al_2O_3粉末熔化比较完全，因而形成的组织也比较致密，孔隙很少。但是，因为粉末颗粒的粒径稍有差异，直径在15~45 μm之间，同时这些粉末颗粒在等离子焰流中的位置不同而导致的受热不均匀等因素，可能导致一些颗粒熔化不完全。这些熔化不完全的颗粒在喷涂时直接沉积在涂层上，而且冷却时间极短，容易以原状态保持在涂层中。这些熔融或半熔融态粉末颗粒堆积在涂层中造成表面粗糙或局部区域的疏松，如图2b所示。将局部区域放大可以观察到涂层表面存在着一些微小的裂纹及孔洞。超音速等离子喷涂层是逐层叠加的，在快速冷却过程中体积会变小而产生收缩，最表层的冷速大于次表层，因此在涂层的表面会产生径向的拉应力，当应力超过材料强度极限时产生裂纹。由于喷涂颗粒的堆积不完全重合、喷涂颗粒撞击而产生溅射、涂层的体积收缩、未熔颗粒等原因在涂层中会形成微孔。绝缘涂层内的缺陷会影响而降低涂层的各种性能，尤其是裂纹与孔洞对绝缘性能影响最大。



（a）低倍



（b）高倍

图2 涂层表面SEM形貌

2.2 涂层相结构

图3为涂层的XRD谱。可以看到涂层相组成为γ-Al_2O_3和α-Al_2O_3，均为晶体。因粉末主要成分为α-Al_2O_3，熔化之后变为液态，之后的冷却是一个急冷过程，冷却速度甚至可以达到106~108 ℃/s，过冷度很大，满足形核条件，γ-Al_2O_3形核自由能较低，易于形核，而α-Al_2O_3的形核自由能较高，因此颗粒熔融急冷后主要形成γ-Al_2O_3亚稳相。但通过XRD谱也可以看出生成了一定量的稳定相α-Al_2O_3[9]。α-Al_2O_3的形成原因主要有：冷却速度较快，达到α-Al_2O_3生成相区；未熔颗粒作为晶核直接长大形成；不同喷涂时间导致已生成的γ-Al_2O_3发生相变，生成α-Al_2O_3。

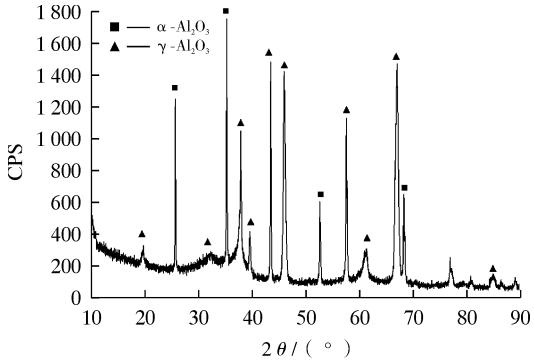
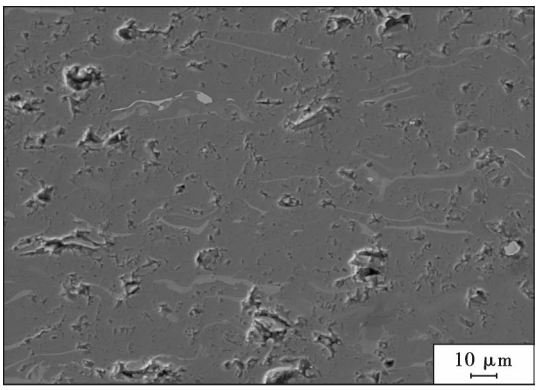


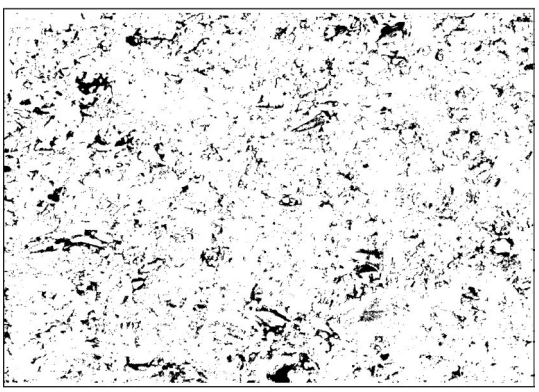
图3 涂层XRD谱

2.3 涂层孔隙率

涂层的孔隙率SEM图像及其IPP软件选区结果如图4所示。



（a）SEM原始图像



（b）IPP软件选区图像

图4 涂层SEM原始图像及IPP软件选区图像

陶瓷涂层的孔隙率一般都较大[10]，所制得的喷涂

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

陶瓷层的孔隙率结果仅为3.90%,说明组织十分致密。分析其原因在于所使用工艺参数合适,且所使用喷涂粉末形态均匀,颗粒细小,仅为25~45 μm,在等离子火焰中熔融良好,未熔颗粒少;而且超音速喷涂时,飞行状态好,粒子在基材表面变形充分,所以形成的涂层致密度高,孔隙率低。

2.4 涂层硬度

所制备涂层5次测量的硬度分别为960,965,1 012,992,930 $HV_{9.8\,N}$,分布在930~1 012 $HV_{9.8\,N}$之间,平均硬度972 $HV_{9.8\,N}$。硬度值较高且较为均匀,较高的硬度说明材料具有较高的耐磨性。但是硬度分布有一定的离散性,靠近基材部分硬度更高。具体原因为:(1)冷却速度不同 由于喷涂是层状堆叠的,后道工艺会对前道工艺有再加热的影响,同时靠近基材部分由于导热率不同,冷却速度更大,造成组织更为致密,硬度更高;(2)成分差别 靠近基材部分由于材质不同,基材成分会向涂层扩散,影响硬度分布。

2.5 涂层抗拉强度

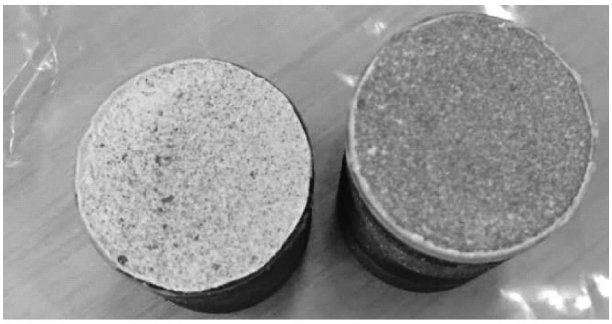
涂层与基材的结合强度见表2,拉伸试样断口形貌见图5。

表2 超音速等离子喷涂工艺涂层结合性能

次数	1	2	3	4	5	6	平均值
最大力/kN	13.15	17.49	21.77	21.62	15.55	20.34	18.32
抗拉强度/MPa	26	35	43	43	31	40	36



(a)2号试样



(b)5号试样

图5 超音速等离子喷涂工艺涂层拉伸试样断裂形貌

从图5可以看出,断裂主要发生在陶瓷层与结合层的结合区域,其中图5a有少部分发生在粘结剂与对接件的连接处。断裂发生在整个样品最薄弱的地方,因为结合层与陶瓷层材质不同,一个为金属、一个为陶瓷材料,热膨胀系数相差极大,因而会形成层间应力,这可能是导致断裂的主要原因。

2.6 涂层抗热震性

因涂层抗热震性能较好,故在800 ℃热循环4次后将试验温度增加到900 ℃,继续试验。涂层在经历4次800 ℃热震试验+10次900 ℃热震试验后未发生明显裂纹或剥落等变化,说明涂层的抗热震性较好。涂层的热震失效主要受涂层与基体之间的热膨胀系数等热物理性能差异影响。本涂层性能较好的原因可能为:结合层的存在使整体的成分差异呈梯度变化,减小了热膨胀系数的变化,在涂层与基体之间起到缓冲的作用;优良的喷涂工艺参数使涂层的孔隙率低,在尽量不影响涂层强度的同时降低弹性模量,在温度变化时释放内应力,增强了抗热震性。

2.7 涂层介电常数和介电损耗

采用数字多用表和安规测定仪测定涂层在25~150 ℃温度范围内(25,40,100,150 ℃),加1 000 V直流电压时的绝缘电阻、相对介电常数和介电损耗,检测结果见表3。从表3可以看出,介电常数和介电损耗随着温度的升高而升高,同时绝缘电阻值降低。原因是随着温度上升,涂层中的分子运动加剧,自由电子数增加,因而导电能力增加,电阻下降,导致绝缘材料的绝缘能力下降[11]。但是从检测结果来看所制备的涂层在150 ℃下仍能保持良好的绝缘性能。

表3 不同温度下的介电性能

温度/℃	25	40	100	150
绝缘电阻/MΩ	1.7×10^5	8.2×10^4	4.2×10^4	1.2×10^4
介电常数	2.76	2.92	3.88	4.01
介电损耗	0.006 1	0.007 2	0.008 8	0.009 3

2.8 涂层击穿电压

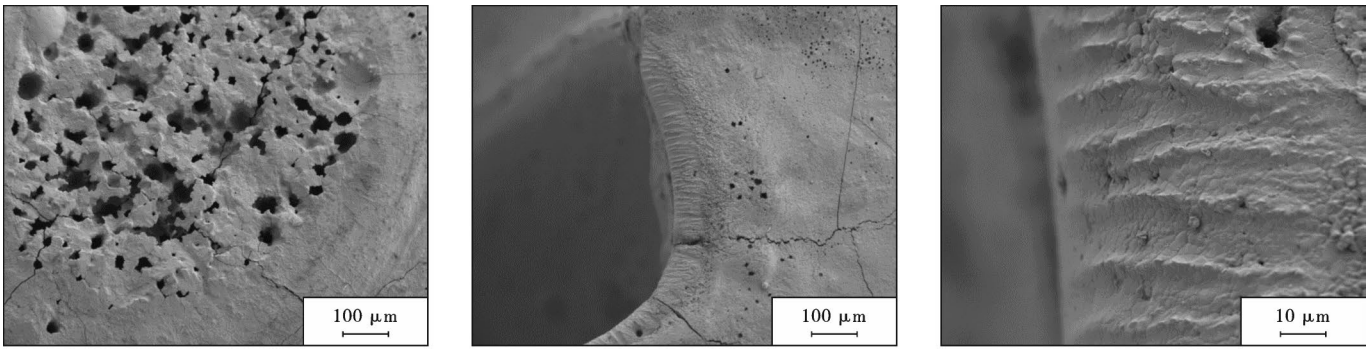
采用安规测定仪和大功率微波检测仪测定涂层在常温(25 ℃)、不同湿度环境(30%、60%、90%)下的击穿电压,升压速率为2 kV/min,检测结果见表4。从表4可以看出,随着湿度的增加,击穿电压值减小。其原因为涂层内存在着孔隙、裂纹、夹杂物等微观缺陷,环境中的水分子会进入到涂层内部[12],而水的介电常数远高于涂层,在外加电场作用下,容易形成导电通路,使涂层的击穿电压大大减小。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4 不同湿度条件下击穿电压值

相对湿度/%	30	60	90
E(击穿)/kV	3.65	3.22	2.52

将击穿后的试样进行扫描电子显微镜检测，击穿部位形貌如图6。击穿隧道均为圆形通孔，内壁有波纹形态，为液体凝固时所致。在通孔附近还有许多未完全融化的小孔，见图6a，这是因为在涂层内部孔隙、裂纹等缺陷是均匀分布，外加电场会使电荷向所有缺陷处会聚，使局部电压升高形成局部击穿，击穿过程电能转换为热能，使涂层融化。在最薄弱的地方形成击穿，而其他位置也保留了击穿过程的形态。



(a) 击穿孔周围小孔 (b) 击穿孔洞 (c) 击穿孔壁波纹形态

图6 涂层击穿后不同位置SEM形貌

3 结 论

(1) 采用超音速等离子喷涂技术制备 Al_2O_3 涂层，表面致密，孔隙率为3.90%，涂层相组成为 γ-Al_2O_3 和 α-Al_2O_3。

(2) 涂层平均硬度972 $HV_{9.8\,N}$；抗拉强度为36 MPa，断裂主要发生在陶瓷层与结合层的结合区域；抗热震试验后涂层无明显变化，抗热震性较好。

(3) 介电常数和介电损耗随着温度的升高而升高，同时绝缘电阻值降低，在温度升高到150 ℃时，涂层仍能保证良好的绝缘性能；随着湿度的增加，由于水分子进入到涂层的孔隙及裂纹等缺陷中，增加了涂层的介电常数，击穿电压值减小，在相对湿度达到90%时，击穿电压仍能保持在2.52 kV，绝缘性能良好。

[参 考 文 献]

[1] 朱显辉，武俊峰，师 楠，等.EDM电流对电动汽车电机轴承寿命的影响[J].电机与控制学报，2016，20(10)：9-14.

[2] THOMAS Z，FRANK B，GERWIN P，等.风力发电机中轴承的过电流问题[J].电机与控制应用，2008，35(9)：15-19.

[3] SURE J，SHANKAR A R，UPADHYAYB N，et al. Microstructural Characterization of Plasma Sprayed Al_2O_3-40% TiO_2 Coatings on High Density Graphite with Different Post-treatments[J]. Surface and Coatings Technology，2012，206(23)：4 741-4 749.

[4] THIRUMALAIKUMARASAMY D，KAMALMOORTHY K S，VISVALINGAM V B. Effect of Experimental Parameters on the Micro Hardness of Plasma Sprayed Alumina Coatings on AZ31B Magnesium Alloy[J]. Journal of Magnesium & Alloys，2015，3(3)：237-246.

[5] VENKATARAMAN R，DAS G，SINGH S R，et al.Study on influence of porosity，pore size，spatial and topological distribution of pores on microhardness of as plasma sprayed ceramic coatings[J]. Materials Science and Engineering，2007，445：269-274.

[6] ANTLEON K，KESSLER O，HOFFANN F，et al.Induction surface hardening of hard coated steels[J]. Surface and Coatings Technology，2004，120/121：495-501.

[7] 叶雄林，马世宁，李长青，等.超音速等离子喷涂WC/Co纳米结构涂层性能研究[J].中国表面工程，2004，17(1)：31-38.

[8] 王海军，朱 胜，郭永明，等.高效能超音速等离子喷涂系统及其应用[J].金属加工：热加工，2008，18：38-42.

[9] HAO S，LI C J，YANG G J. Influence of Deposition Temperature on the Microstructures and Properties of Plasma-Sprayed Al_2O_3 Coatings[J]. Journal of Thermal Spray Technology，2011，20(1/2)：160-169.

[10] YIN Z J，TAO S Y，ZHOU X M. Effect of the Thickness on Properties of Al_2O_3 Coatings Deposited by Plasma Spraying[J]. Materials Characterization，2011，62(1)：90-93.

[11] 曾 威，邓春明，刘 敏. 等离子喷涂 Al_2O_3 涂层的介电性能[J]. 材料研究与应用，2011，5(4)：275-278.

[12] PAWLOWSKI L. The relationship between structure and dielectric properties in plasma-sprayed alumina coatings[J]. Surface and Coatings Technology，1988，35：285-298.

编校：郑 霞

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

车用锂电池散热方法研究

逯彦红[1,2]， 段国林[1]
(1. 河北工业大学 机械工程学院，天津 300130；2. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘要：综述了锂离子电池冷却方式的最新研究进展，包括风冷、液冷、相变冷却和热管冷却，并分别对每种冷却方式进行了归纳与分析。指出了目前研究的不足之处，多从冷却效果出发，较少考虑系统的质量、能效，及是否有利于电池箱体在整车内的布置等。提出了未来锂离子动力电池热管理系统的研究方向，为后续研究提供参考。

关键词：锂电池；热管理；风冷；液冷；相变；热管；金属泡沫
中图分类号：TM912 文献标识码：A 文章编号：1002-087X(2016)12-2476-03

Review on cooling method for EV lithium-ion power battery

LU Yan-hong[1,2], DUAN Guo-lin[1]
(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;
2. School of Electric-mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The latest progress of the cooling way for the Li-ion batteries was reviewed, including the air cooling, liquid cooling, phase change cooling and heat pipe cooling. Each cooling way was concluded and analyzed. At present, the goals of many researches were the cooling effect, less considering weight of the system, energy efficiency and whether it was easy to arrangement within the vehicle. The future research direction of thermal management system about the Li-ion power battery was put forward, and a reference for further research was provided.

Key words: Li-ion power battery; thermal management; air cooling; liquid cooling; phase change; heat pipe; metal foam

截止 2014 年底，世界汽车保有量达 12 亿辆，我国达到 1.5 亿辆，交通对能源危机和环境污染带来双重压力，迫切需要大力开发和研究高效、清洁、安全的新能源汽车来实现节能减排。锂离子电池由于具有比能量高、无污染、无记忆效应等优点成为新能源汽车动力系统的最佳候选。但锂离子电池对温度非常敏感，在合适的温度范围内电池组才能高效率放电并保持良好的性能。高温时易出现老化速度快、热阻增加快、循环次数少、使用寿命短等问题。要将电池组工作温度控制在理想的范围内，必须采用一定的散热措施。锂电池散热系统设计强调 2 个目标参数，一个是电池组的最高温度要低于 50 ℃，另一个是电池组的温度均方差(SDT)最小，即单体电池间的温度均匀性最好[1]。

目前锂电池热管理的研究方法主要包括空冷、液冷、相变冷却和热管冷却。

1 空冷

空冷是目前国产和日产电动汽车普遍采用的冷却方式。当环境温度较高、电池长时间高倍率持续放电时，通过风扇冷却的方式就不能很好地满足散热需求。要提高空冷的散热效率，最直接的方式是提高空气流动速度和增大散热面积。彭影[2]把进风速度从 1 m/s 提高到 10 m/s，最高温度仍超过了 40 ℃，最大温差达到 8 ℃。Fan 等[3]研究对象是由 8 个矩形锂电池(单体容量 15 Ah)顺序排列的电池组，当环境温度 27 ℃时，空气流量达到 40.8 m^3/h 时才得到较好的散热效果。可见，风速越高，冷却效果越好，但仅靠提高风速来达到散热目的并不理想，而且风扇的功耗也会增大。另外，增大电池组的包装面积、增大电池间距或电池与箱体之间的距离，可以增强散热，但这样会增大整个电池箱体的体积，不便于安装。故需要在有限的空间内，风扇功耗尽量低的前提下合理地设计空气流场。

风冷系统中进出风口的位置、数量和进风角度均会影响电池包中的气体流场的均匀性。由于热气流的浮升作用及场协同原理，应将进风口设置在出风口的上面并适当增加出风口数量。入口角度设计为渐缩形，进风口角度为 3°～4° 可以改善散热效果，但并不能从根本上满足电池组散热的需求。

空气进入电池箱体对电池进行冷却，位于前面的电池冷却快，位于后面的电池由于散热空气与前面的电池进行热交换后温度逐渐升高，散热效果下降，使得电池冷却不均匀，严重影响到电池的性能与安全。设计合理的风道和流场，能缓解上述问题。Kuahai Yu 等[4]设计两个分别具有独立的进风通道和风扇的风道，与原来的方式相比可以提升位于后面电池的冷却效果。另外，为了使流场设计流速更快，流场更均匀，研究者们[5－6]从电池的排列方式和放置方向等方面做了大量研究，研究发现圆柱形电池排列方式叉排优于顺排，方形电池横向放置优于纵向放置，梯形排列优于矩形排列，即沿气流方向收

收稿日期：2016-05-16
作者简介：逯彦红(1980—)，女，河北省人，博士生，主要研究方向为新能源汽车热管理技术。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

缩气道，可以提高下游气流的散热能力，提高电池组的温度均匀性。

2 液冷

目前，欧美系列如法国标致雪铁龙的 Berlingo、德国大众的 GLOF 等纯电动车采用液冷方式。此方式需要设计复杂的系统以满足流体的循环和对漏液的防护。目前液冷的研究大多是冷却剂通道和流量等因素对散热效果影响。

Huo[7]研究通道数由 3 个增多到 6 个，最高温度可从 62.55 ℃降低到 58.4 ℃，但 630 s 后最大温差快速变大。邓元望[8]在冷板中间设计了对称通道。Jiateng Zhao[9]使用微通道液冷技术，当微通道数量为 8 个时，研究了 9 种不同的质量流量的影响，发现当质量流量增大时，最高温度有小幅下降，但最大温差很难控制在 5 ℃以下。从目前研究情况来看，液冷方式通过增多冷却剂通道数量或加大质量流量的方式来增强电池组的散热，对于大功率锂电池组，冷却效果并不理想，且会增大泵的功耗。这也是目前液体冷却较少应用于电池热管理系统中的重要原因。

3 相变冷却

利用 PCM(PCM)进行电池冷却的原理是当电池进行大电流放电时，PCM 吸收电池放出的热量发生相变，使电池温度迅速降低，且不增加耗能元件[10－12]。目前还没有电动汽车采用该冷却方式，仍处于实验研究阶段。X. Duan[13]N. Javani 等[14]对比研究发现相变材料冷却比强制对流空冷能维持更低的最高温度并延长温升的过渡时间。石蜡相变潜热高、熔化时蒸汽压力低、几乎没有过冷现象、稳定性较好、没有相分离和腐蚀性，价格较低，是良好的相变材料，但石蜡导热率低，容易导致热积累。

3.1 在相变材料中加入高导热率物质提高导热率

由于铜的导热率很高，在石蜡中加入铜粉末可以提高相变材料的导热率。W.Q. Li 等[15]分别在石蜡中加入五种类型铜粉末形成五种混合物。实验发现泡沫复合相变材料比纯相变材料更能保持低表面温度和温差的均匀性。A.Babapoor[16]实验研究发现在石蜡中添加 2 mm 长的质量百分数为 0.46%的碳纤维来提高导热率，能将电池的最高温度下降 45%。另外，纯相变材料与石墨组合也可以提高相变材料的导热系数。Lin 等[17]选用石蜡和石墨的组合作为相变材料，复合材料导热率是石蜡的 24 倍。可见，在相变材料石蜡中添加金属粉末或碳纤维、石墨等高导热率的材料组成相变复合材料，可以提高相变材料的导热率，增强电池组的散热效果。

3.2 将相变材料填充于多孔介质中提高导热率

为了克服石蜡的低导热率，可以将石蜡填充于金属泡沫等多孔介质中，制备成高导热率的复合相变材料以增强传热[18]。饶中浩[19]用石蜡做基材，泡沫铜为骨架材料，形成 CF/PCM 复合相变材料填充在电池空隙内。分别研究了不同环境温度、不同放电倍率、不同导热系数等情况下的散热特性，研究证实了相变材料的导热系数增大，有助于降低电池的最高温度和最大温差。张国庆[20]将泡沫铜作为强化传热骨架，石蜡压入泡沫铜的空隙中。研究发现电池组即使在 6 *C* 放电时，最高温度也在 50 ℃以下，温差不超过 10 ℃。Wang[21]选择泡沫铝代替泡沫铜，实验研究发现添加泡沫铝后也能使电池组温度分布更均匀，最高温度更低。Riza Kizilel 等[22]将固体石蜡封装于石墨矩阵中，由于导热率提高，使得电池最高温度和最大温差得到有效控制。这是因为多孔介质具有比表面积大，韧带导热强等特性，不仅起到相变材料的储存和支撑作用，而且是有利的强化传热的载体。当电池的温度达到石蜡熔点时，石蜡开始吸收潜热量熔解，泡沫金属等多孔介质能将石蜡吸收的热量迅速传递到外界，从而使电池温度降低并保证电池表面温度均匀。

相变散热具有结构紧凑，不增加耗能原件的优势，但是最大的缺陷是电池组必须携带足够量的相变材料用于吸收热量，一旦相变材料全部由固态变为液态，不能很快地重新变回固态再吸收热量，即只能单次循环。

4 热管冷却

目前在对电动汽车动力电池的热管理中，应用热管作为散热手段的研究还不多。

Rao[23]研究对象选用铝加热器代替矩形磷酸铁锂电池(118 mm× 63 mm× 13 mm、电容量为 8 Ah)，将铜制扁平型热管(外径 5 mm，内径 4 mm，总长 18 mm，工作液为水)均匀分布并与电池表面紧密接触。实验表明，电池功率不得超过 50 W，否则最高温度会超过 50 ℃，电池内部温差也会超过 5 ℃。Zhao[24]等许多研究者采用热管和其他方式的组合来改善散热效果。Thanh-Ha Tran[25]在散热器表面用热油脂粘贴扁平型热管后，冷却系统的热阻只有原来的 30%。

但由于热管与电池接触方式为线接触而非面接触，所以单独使用热管冷却效果并不理想。利用热管与相变结合散热，仍然存在相变材料单次循环的约束。热管与散热器结合来提高热管的冷却能力，可以改善电池组的散热效果，但组合的散热系统过于复杂。

5 总结

目前对于车用锂电池的散热研究，主要从散热能力出发，较少考虑热管理系统的结构是否复杂、质量和体积是否过大等缺陷，较少地考虑系统增加的额外功耗。

液冷方式系统复杂，对于大功率锂电池，通过加大质量流量或增多通道数量，最高温度和最大温差下降不明显，且会增大泵的功耗 ;相变冷却虽然没有功耗设备，但只能单次循环，且现在的研究主要以散热能力为目标，没有考虑电池散热所需要的相变材料的质量和体积。质量和体积太大会影响到整车的质量，进而影响到电池的续航里程和性能以及整个电池箱体在车体的布置。热管冷却散热能力小，且目前热管类产品使用寿命短。

空冷系统简单，可靠性高，但散热能力差。在不增加电池箱体的体积、风机的功耗尽量低的前提下，设计新的空气流场来提升空冷的散热效果，将是近期可实现能实际应用的车用锂电池散热方式。

针翅散热器和泡沫金属体积小，质量轻，散热面积大[26－28]，

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

可应用于高强度电子设备和电子芯片散热。泡沫金属(开口)是一种低密度的多孔介质，质量轻，比表面积大，流体流过时可得到很大的接触面积，而且与流动方向相垂直的孔棱可将边界层隔断强化流体湍动。研究者[26—30]发现泡沫金属和针翅散热器，结构更紧凑、热阻更小、传热系数更大，且能很好地解决温度分布不均匀的问题，但压降较大。好的散热方式必须考虑强散热效果和压降即功耗之间的冲突。文献[30]研究证实将不同孔密度的金属泡沫排列于风道可以减少压降。

在空冷系统的风道中安装针翅散热器和泡沫金属，几乎不增大电池仓的体积和质量。而针翅散热器和泡沫金属又具有能减小热阻，加强散热的特性，所以可以通过研究孔隙率、孔密度、渗透率、针翅的排列方式和外形尺寸等参数对电池组努赛尔数 Nu、雷诺数 Re、压降 $\triangle P$ 的影响，进而设计出体积小、质量轻、散热能力强的散热器。而且可以通过温控器等元件来调整风机的功率和流量，来减小系统功耗。可见，在锂电池的空冷风道中合理布置针翅散热器、泡沫金属或二者的组合，将成为车用锂电池理想的散热方式。

参考文献：

[1] HE F，LI X S，MA L. Combine experimental and numerical study of thermal management of battery module consisting of multiple Li-ion cells[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2014(72)：622-629.

[2] 彭影，黄瑞，俞小莉，等.电动汽车锂离子动力电池冷却方案的对比研究[J].机电工程，2015，32(4)：537-543.

[3] FAN L W，KHODADADI J M，PESARAN A A. A parametric study on thermal management of an air-cooled lithium-ion battery module for plug-in hybrid electric vehicles [J].Journal of Power Sources，2013(238)：1-312.

[4] YU K H，YANG X，CHENG Y Z，et al. Thermal analysis and two-directional air flow thermal management for lithium-ion battery pack[J]. Journal of Power Sources，2014(270)：193-200.

[5] TONG W，SOMASUNDARAM K，BIRGERSSON E. Numerical investigation of water cooling for a lithium-ion bipolar battery pack [J]. International Journal of Thermal Sciences，2015(94)：259-269.

[6] YANG N X，ZHANG X W，LI G J. Assessment of the forced air-cooling performance for cylindrical lithium-ion battery packs：a comparative analysis between aligned and staggered cell arrangements[J].Applied Thermal Engineering，2015(80)：55-65.

[7] HUO Y T，RAO Z H，LIU X J. Investigation of power battery thermal management by using mini-channel cold plate[J]. Energy Conversion and Management，2015(89)：387-395.

[8] 邓元望，张上安，钟俊夫.混合动力车用锂电池液体冷却散热器结构设计[J].电源技术，2015，39(3)：454-457.

[9] ZHAO J T，RAO Z H，LI Y M. Thermal performance of mini-channel liquid cooled cylinder based battery thermal management for cylindrical lithium-ion power battery [J]. Energy Conversion and Management，2015(103)：157-165.

[10] GRECO A，JIANG X，CAO D P. An investigation of lithium-ion battery thermal management using paraffin/porous-graphite-matrix composite[J]. Journal of Power Sources，2015(278)：50-68.

[11] HEMERY C V，PRA F，ROBIN J F，et al. Experimental performances of a battery thermal management system using a phase change material [J].Journal of Power Sources，2014 (2709)：349-358.

[12] LING Z Y，WANG F X，FANG X M，et al. A hybrid thermal management system for lithium ion batteries combining phase change materials with forced-air cooling[J]. Applied Energy，2015(148)：403-409.

[13] DUAN X，NATERER G F. Heat transfer in phase change materials for thermal management of electric vehicle battery modules[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2010(53)：5176-5182.

[14] JAVANI N，DINCER I，NATERER G F，et al. Heat transfer and thermal management with PCMs in a Li-ion battery cell for electric vehicles[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2014 (72)：690-703.

[15] LI W.Q，QU Z G，HE Y L，et al. Experimental study of a passive thermal management system for high-powered lithium ion batteries using porous metal foam saturated with phase change materials[J]. Journal of Power Sources，2014(255)：9-15.

[16] BABAPOOR A，AZIZI M，KARIMI G. Thermal management of a Li-ion battery using carbon fiber-PCM composites [J]. Applied Thermal Engineering，2015(82)：281-290.

[17] LIN C J，XU S C，CHANG G F，et al. Experiment and simulation of a $LiFePO_4$ battery pack with a passive thermal management system using composite phase change material and graphite sheets[J]. Journal of Power Sources，2015(275)：742-749.

[18] QU Z G，LI W Q，TAO W Q. Numerical model of the passive thermal management system for high-power lithium ion battery by using porous metal foam saturated with phase change material[J]. International Journal of Hydrogen Energy，2014(39)：3904-3913.

[19] 饶中浩.基于固液相变传热介质的动力电池热管理系统[D].杭州 华南理工大学，2013.

[20] 张国庆，张文静，张云云.基于泡沫铜 / 石蜡的动力电池散热性能研究[J].热科学与技术，2013，12(1)：42-46.

[21] WANG Z C，ZHANG Z Q，JIA L，et al. Paraffin and paraffin/aluminum foam composite phase change material heat storage experimental study based on thermal management of Li-ion battery [J]. Applied Thermal Engineering，2015(78)：428-436.

[22] KIZILELA R，SABBAHA R，SELMANA J. R，et al. An alternative cooling system to enhance the safety of Li-ion battery packs [J]. Journal of Power Sources，2009(194)：1105-1112.

[23] RAO Z H，WANG S F，WUA M C. Experimental investigation on thermal management of electric vehicle battery with heat pipe [J]. Energy Conversion and Management，2013(65)：92-97.

[24] ZHAO R，GU J J，LIU J. An experimental study of heat pipe thermal management system with wet cooling method for lithium ion batteries[J]. Journal of Power Sources，2015(273)：1089-1097.

[25] TRAN T H，HARMAND S，DESMET B. Experimental investigation on the feasibility of heat pipe cooling for HEV/EV lithium-ion battery[J]. Applied Thermal Engineering，2014(63)：551-558.

[26] GONG L，ZHAO J，HUANG S B.Numerical study on layout of micro-channel heat sink for thermal management of electronic devices[J].Applied Thermal Engineering，2015(88)：480-490.

[27] MOHAMMADIAN S K，MOUSAVI S M R，ZHANG Y W. Thermal management improvement of an air-cooled high-power lithium-ion battery by embedding metal foam [J].Journal of Power Sources，2015(296)：305-313.

[28] FENG S S，KUANG J J，WENA T. An experimental and numerical study of finned metal foam heat sinks under impinging air jet cooling[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2014(77)：1063-1074.

[29] HUISSEUNE H，SCHAMPHELEIRE S D，AMEEL B. Comparison of metal foam heat exchangers to a finned heat exchanger for low Reynolds number applications[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer，2015(89)：1-9.

[30] CHEN K C，WANG C C. Performance improvement of high power liquid-cooled heat sink via non-uniform metal foam arrangement [J].Applied Thermal Engineering，2015(87)：41-46.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2018.11.040

成分设计与热处理对轴承钢组织与性能的影响

李建国
(天津职业大学 机械工程实训中心,天津 300410)

摘　要:采用成分设计与热处理相结合的方法,对 G20Cr2Ni4 轴承钢的组织与性能进行了研究。结果表明,距表面越远,3 种轴承钢的碳含量均呈逐渐降低的趋势,渗碳层深度约为 1.5 mm,表层区域的碳含量约为 0.85~0.90%。以 HV 550 所在位置作为有效硬化层深度评判依据,G20Cr2Ni4SiMo 钢的有效硬化层深度高于 G20Cr2Ni2SiMoAl 钢,两种轴承钢盐浴等温淬火后表层组织均为针状贝氏体 + 少量残余奥氏体,而 G20Cr2Ni4 轴承钢的组织为马氏体。盐浴等温淬火热处理后 G20Cr2Ni4SiMo 轴承钢综合力学性能最佳。

关键词:成分设计;热处理;轴承钢;微观组织;性能

中图分类号:TG156; TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2018)11-2594-04

Effect of Composition Design and Heat Treatment on Microstructure & Mechanical Properties of Bearing Steel

LI Jianguo
(Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The microstructure and mechanical properties of G20Cr2Ni4 bearing steel were studied by combining component design and heat treatment. The results show that with the increase of the distance from the surface, the carbon content of the three kinds of bearing steels is gradually decreasing, the depth of the carburizing layer is about 1.5 mm, and the carbon content in the surface area is about 0.85~0.90%. The effective hardening layer depth of the G20Cr2Ni4SiMo bearing steel is higher than the G20Cr2Ni2SiMoAl bearing steel based on the position of HV 550 as the depth of the effective hardening layer, the surface microstructures of G20Cr2Ni4SiMo and G20Cr2Ni2SiMoAl bearing steel after isothermal quenching of salt bath are acicular bainite and a small amount of retained austenite, and the microstructure of G20Cr2Ni4 bearing steel is martensite. After isothermal quenching of salt bath, G20Cr2Ni4SiMo bearing steel has the best comprehensive mechanical properties.

Key words: composition design; heat treatment; bearing steel; microstructure; mechanical properties

传统渗碳轴承钢 G20Cr2Ni4 虽然具有较高的硬度、强度和耐磨性能等,但是其淬透性以及韧性差等问题在很大程度上限制了应用[1]。现阶段的研究重点已经从传统马氏体轴承钢向贝氏体轴承钢转变,然而,国内在贝氏体轴承钢的开发与应用上仍处于起步阶段,轴承钢的成分以及热处理工艺对轴承钢微观组织演变和对力学性能的影响仍然不太清楚[2,3]。本文选取传统渗碳轴承钢 G20Cr2Ni4 为设计原型,通过成分设计与热处理相结合的方法开发出了新型贝氏体轴承钢,以期为获得更广泛应用的轴承钢的开发与应用提供参考。

1　试验材料与方法

在常用 G20Cr2Ni4(记为 1#)轴承钢的基础上设计了 G20Cr2Ni4SiMo(记为 2#)和G20Cr2Ni2SiMoAl(记为 3#)轴承钢,具体化学成分列于表 1。其中,2# 轴承钢在 1# 轴承钢基础上添加了 Si 和 Mo 元素,3# 轴承钢在 2# 轴承钢基础上减少了 Ni 含量,并增加了少量 Al 元素。

表1 试验用轴承钢的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of bearing steels

试样编号	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Fe
1#	0.21	0.18	0.43	1.60	-	3.72	-	余量
2#	0.20	0.82	0.41	1.58	0.35	3.76	0.06	余量
3#	0.20	0.84	0.42	1.62	0.36	1.85	0.80	余量

将 3 种轴承钢试样(外径 170 mm、内径 95 mm、厚度 32 mm)在可控气氛全自动渗碳炉中进行温度 880 ℃、持续时间 8 h(前 6 h 碳势 1.0%,后 2 h 碳势

收稿日期:2018-06-28
基金项目:天津市自然科学基金一般项目(13JCYBJC18100)
作者简介:李建国(1973-),河北邢台人,本科,高级实验师.研究方向:机械材料等.电话:13821853826,
E-mail:13821853826@sina.cn

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0.8%）的渗碳处理，油冷至室温，然后分别在对轴承钢进行调质球化处理+盐浴等温淬火热处理，盐浴介质为 50%硝酸钾+50%亚硝酸钠的混合溶液，具体热处理工艺列于表 2。

表2 调质球化处理+盐浴淬火热处理工艺
Tab.2 Quenching & tempering spheroidization and salt bath quenching heat treatment process

试样	调质球化	盐浴等温淬火
1#	900 ℃/0.75 h 油淬+ 620 ℃/4 h 空冷至室温	810 ℃/0.5 h+200 ℃盐浴 8 h，油冷至室温
2#	900 ℃/0.75 h 油淬+620 ℃/1、2、4 h 空冷至室温（以下未特殊说明为 4 h）	810 ℃/0.5 h+180 ℃盐浴 8 h+200 ℃盐浴 8 h，油冷至室温
3#	900 ℃/0.75 h 油淬+ 620 ℃/4 h 空冷至室温	840 ℃/0.5 h+200 ℃盐浴 4、8 和 12 h（以下未特殊说明为 8 h），油冷至室温

轴承钢渗碳层碳含量测定采用剥层法，在光谱仪上进行；显微硬度测试采用全自动维氏硬度计进行，加载载荷为 100 g，保持载荷时间为 10 s；金相试样经过研磨、抛光和腐蚀后，轴承钢显微形貌在光学显微镜和扫描电子显微镜上观察；透射电镜试样线切割成 800 μm 薄片后使用砂纸研磨至 60 μm，在双喷电解减薄仪上双喷离子减薄直至穿孔，电解液为 85%冰乙酸 +15%高氯酸，温度为 -45 ℃，在透射电子显微镜上观察显微组织；拉伸试样加工成直径 5 mm、标距 25 mm 棒状，在万能拉伸试验机上进行，拉伸速率为 3 mm/min；冲击试样加工成 10 mm×10 mm×55 mm、V 型缺口（深度 2 mm），在摆锤式冲击试验机上进行室温冲击功测试。

2　试验结果及讨论

图 1 为 3 种轴承钢渗碳处理后表层至心部的碳含量分布曲线。可以看出，随着离表面距离的增加，3 种轴承钢的碳含量都呈现为逐渐降低的趋势，变化趋势基本一致，渗碳层深度都约为 1.5 mm，表层区域的碳含量约为 0.85%~0.90%。

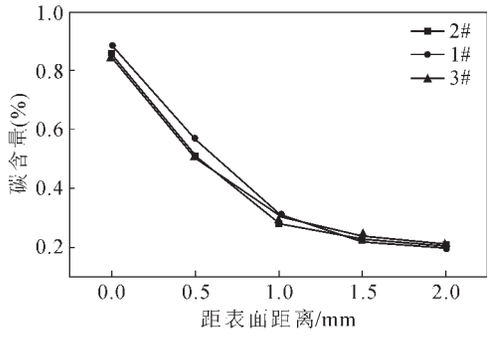


图 1 轴承钢渗碳处理后表层至心部的碳含量分布
Fig.1 Distribution of carbon content in surface to core of bearing steel after carburizing treatment

图 2 为 3 种轴承钢经过 200 ℃/8 h 盐浴热处理后的硬度分布曲线。随着离表面距离的增加，轴承钢的硬度整体呈现逐渐降低的趋势，这主要与渗碳层碳含量随着深度增加而降低有关[4]；但是相对而言，1# 轴承钢在相同深度位置的硬度要高于 2# 和 3# 轴承钢，且 2# 和 3# 轴承钢硬度较为接近。以 HV 550 所在位置作为有效硬化层深度评判依据[5]，1#、2# 和 3# 轴承钢的有效硬化层深度分别为 1.56、1.30 和 0.98 mm，由此可见，2# 轴承钢的有效硬化层深度要高于 3#。

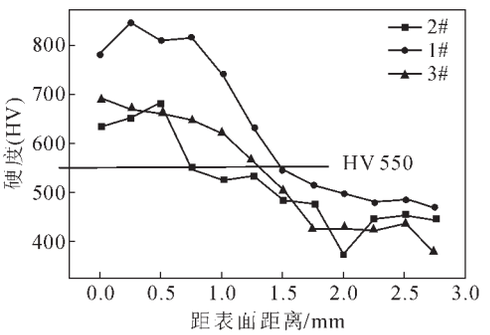


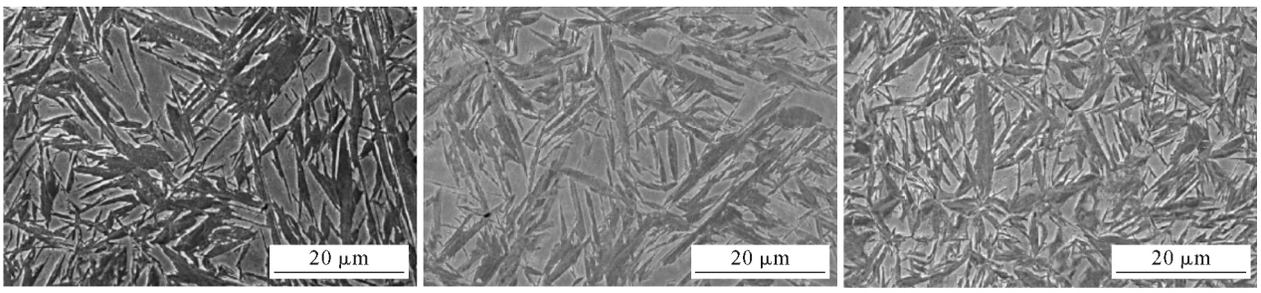
图 2 轴承钢盐浴等温淬火热处理后的硬度分布
Fig.2 Hardness distribution of bearing steel after isothermal quenching treatment in salt bath

图 3 为 3 种轴承钢渗碳处理后表层组织的扫描电镜显微形貌观察结果。对比分析可见，3 种不同成分的轴承钢在渗碳后油淬，表面组织都为针状或竹叶状马氏体，只是马氏体的尺寸存在一定差异；此外，在 3 种轴承钢表层组织中未见明显碳化物出现。为了在表层区域形成直径 1 微米以下的碳化物，需要进一步对轴承钢进行球化退火处理以获得一定数量的未熔碳化物。

图 4 为 2# 轴承钢球化退火不同时间后表层组织的扫描电镜显微形貌观察结果。对比分析可见，620 ℃保温不同时间下 2# 轴承钢表层组织中都出现了弥散分布的类球形碳化物颗粒，且随着保温时间从 1 h 延长至 4 h，类球形碳化物数量逐渐增多、尺寸不断增大。通过 IPP 软件对 620 ℃/1 h、620 ℃/2 h 和 620 ℃/4 h 试样的表层碳化物的体积分数进行统计，分别为 2.2%、4.0%和 6.9%，根据耐磨轴承钢表层未熔碳化物含量在 5%~8%的要求 [6]，620 ℃保温 4 h 的调质球化工艺较为理想，可以满足耐磨轴承钢的使用要求，因此，1# 和 3# 轴承钢的球化退火保温时间也设定为 4 h。

对 1# 和 2# 轴承钢盐浴等温淬火热处理后的表层组织进行观察，结果如图 5。2# 轴承钢表层组织为针状贝氏体+少量残余奥氏体，1# 轴承钢的组织为马氏体。

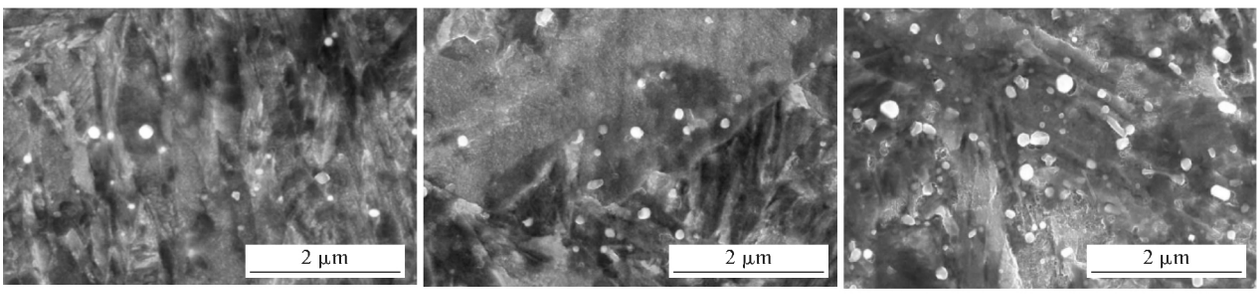
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)1# (b)2# (c)3#

图 3 轴承钢渗碳处理后表层组织的 SEM 形貌

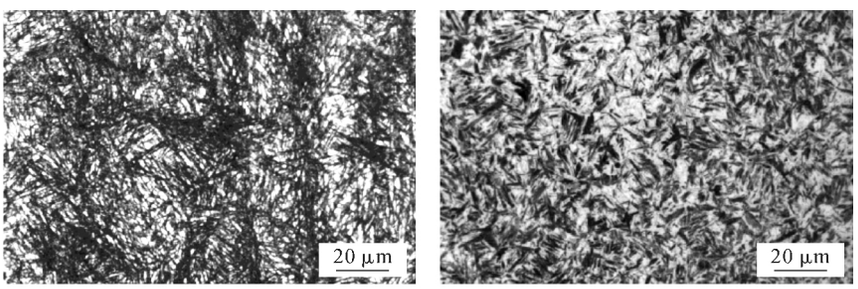
Fig.3 SEM images of the surface layer of bearing steel after carburizing treatment



(a)620 ℃/1 h (b)620 ℃/2 h (c)620 ℃4 h

图 4 2# 轴承钢球化退火后表层组织的 SEM 形貌

Fig.4 SEM images of surface structure after spheroidizing annealing of 2# bearing steel



(a)2# (b)1#

图 5 轴承钢盐浴等温淬火后的表层组织

Fig.5 Surface structure of bearing steel after isothermal quenching in salt bath

对 3# 轴承钢盐浴等温淬火不同时间后的表层组织进行观察，结果如图 6。从光学显微组织来看，盐浴等温淬火 4、8 和 12 h 的 3# 轴承钢中都可见黑色针状贝氏体组织，且随着保温时间的延长，针状贝氏体数量逐渐增多，相应地贝氏体体积分数分别为 26.2%、51.5%和 56.8%。从透射电镜显微形貌来看，盐浴等温淬火 4、8 和 12 h 的 3# 轴承钢组织都为贝氏体+残余奥氏体+未熔碳化物，其中贝氏体为亮色条状、厚度约为 90 nm，残余奥氏体呈薄膜状。在盐浴等温淬火 12 h 的轴承钢中可以清晰发现较多的碳化物在贝氏体铁素体中呈条状析出。

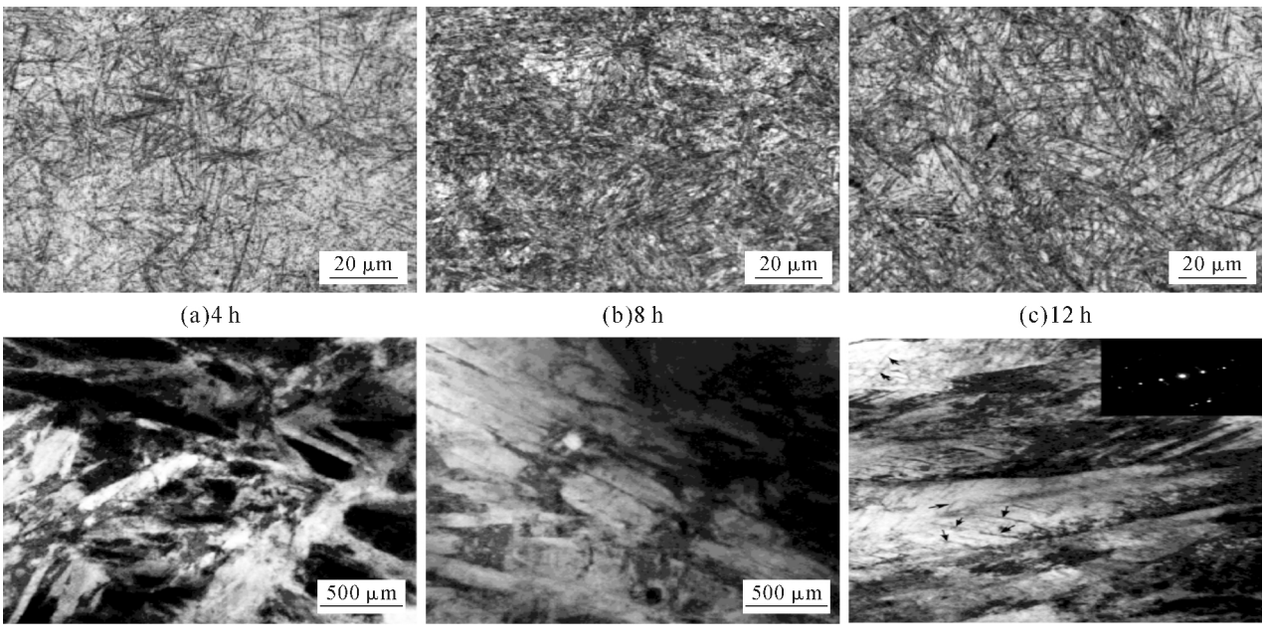
表 3 为 3 种轴承钢在盐浴等温淬火后 1/2 壁厚和 1/4 壁厚处的力学性能测试结果。对比分析可见，3 种轴承钢 1/2 壁厚处的抗拉强度、屈服强度和洛氏硬度都要小于 1/4 壁厚处，而断后伸长率、断面收缩率和室温冲击功要大于 1/4 壁厚处。在相同壁厚处，

表 3 轴承钢盐浴等温淬火后的力学性能

Tab.3 Mechanical properties of bearing steel after isothermal quenching in salt bath

试样	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率(%)	断面收缩率(%)	室温冲击功 /J	洛氏硬度(HRC)
1#-1/2 壁厚	1 210	766	11.4	33.2	167	35.1
1#-1/4 壁厚	1 252	797	10.7	34.3	158	37.3
2#-1/2 壁厚	1 327	967	17.4	47.0	267	38.9
2#-1/4 壁厚	1 335	999	15.6	38.0	258	40.6
3#-1/2 壁厚	1 081	684	21.0	40.8	171	30.0
3#-1/4 壁厚	1 200	774	16.3	38.5	165	34.6

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)4 h　(b)8 h　(c)12 h

(d)4 h　(e)8 h　(f)12 h

图 6　3# 轴承钢盐浴等温淬火不同时间后表层组织的光学显微形貌和投射电镜显微形貌

Fig.6　Microstructure of the surface layer of 3# bearing steel after isothermal quenching with different time

2# 轴承钢的抗拉强度、屈服强度、洛氏硬度、室温冲击功、断后伸长率和断面收缩率都为最大，而 3# 轴承钢的抗拉强度、屈服强度和洛氏硬度最小。由此可见，2# 轴承钢具有最佳的综合力学性能，这主要与轴承钢的成分与热处理工艺有关[7,8]。与 2# 轴承钢相比，3# 轴承钢中选择了以少量 Al 替代 Ni 的方法没有对轴承钢的力学性能起到很好的补充作用；与 1# 轴承钢相比，在相同热处理工艺下，虽然 3# 轴承钢的断后伸长率、断面收缩率和室温冲击功要高于 1#，但是抗拉强度、屈服强度和洛氏硬度要低于 1#，这也就说明，少量 Si、Mo 和 Al 元素的复合添加不能替代轴承钢中 Ni 元素的作用。虽然 Al 元素的添加可以起到固溶强化作用，且能够一定程度上提高回火稳定性和高温硬度等 [9]，但是并不能提高轴承钢的室温拉伸和室温冲击性能，相反由于降低了轴承钢中 Ni 元素含量，强度和硬度有所减小。

3　结论

（1）随着离表面距离的增加，3 种轴承钢的碳含量都呈现为逐渐降低的趋势，渗碳层深度都约为 1.5 mm，表层区域的碳含量约在 0.85%~0.90% 之间。

（2）以 HV550 所在位置作为有效硬化层深度评判依据，1#、2# 和 3# 轴承钢的有效硬化层深度分别为 1.56、1.30 和 0.98 mm，2# 轴承钢的有效硬化层深度要高于 3#。

（3）3 种轴承钢 1/2 壁厚处的抗拉强度、屈服强度和洛氏硬度都要小于 1/4 壁厚处，而断后伸长率、断面收缩率和室温冲击功要大于 1/4 壁厚处；在相同壁厚处，2# 轴承钢具有最佳的综合力学性能。

参考文献：

[1] 李昭昆，雷建中，徐海峰，等. 国内外轴承钢的现状与发展趋势[J]. 钢铁研究学报，2016，28(3):1-12.

[2] 刘耀中，范崇惠. 高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术发展与展望[J]. 金属热处理，2014，39(1):53-57.

[3] 尤绍军.我国轴承钢及热加工技术的现状和研究方向[J]. 金属热处理，2012，37(1):119-125.

[4] Hauserova D, Dlouhy J, Novy Z. Effect of Heating Rate on Accelerated Carbide Spheroidisation (ASR) in 100CrMnSi6-4 Bearing Steel [J]. Archives of Metallurgy & Materials, 2014, 59 (3): 1199-1203.

[5] Hauserova D, Dlouhý J, Novy Z. Microstructure Development of Bearing Steel during Accelerated Carbide Spheroidisation [J]. Materials Science Forum, 2014, 782(782):123-128.

[6] 米振莉，张小垒，李志超，等. 热处理工艺对高碳铬轴承钢组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报，2015，36(7):119-124.

[7] 张国宏，张志成，吴开明. 高碳铬轴承钢的成分设计和热处理工艺的研究进展[J]. 特殊钢，2015，36(3):9-13.

[8] 赵国防，杨卯生，刘东雨，等. 高性能渗碳轴承钢的组织与性能[J]. 钢铁研究学报，2011，23(11):34-40.

[9] 马超，罗海文. GCr15 轴承钢热处理过程中碳化物的析出与演变行为[J].材料工程，2017，45(6):97-103.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

创新创业背景下高职院校实训室开放机制研究

赵海豹[1,2],邹吉权[2]

(1.天津财经大学,天津 300222;2.天津职业大学,天津 300410)

[摘 要]文章主要论述创新创业背景下高职院校实训室开放的必要性和特点,从设计管理制度、构建机制、利用信息化手段、安全管理、专项基金、评价等方面提出实训室开放的具体路径。

[关键词]创新创业;高职院校;实训室;开放机制
doi:10.3969/j.issn.1673-0194.2020.07.094
[中图分类号]G647 [文献标识码]A [文章编号]1673-0194(2020)07-0230-02

0 前 言

创新是一个民族进步的灵魂,是一个国家兴旺发达的不竭动力。习近平总书记在十九大报告中,有59次提到创新。《国务院关于印发国家教育事业发展"十三五"规划的通知》中113次提到创新。李克强总理曾在夏季达沃斯论坛上提出,要在960万平方公里土地上掀起"大众创业"、"草根创业"的新浪潮,形成"万众创新"、"人人创新"的新势态。国务院颁布的《关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见》,将高校创新创业教育改革工作上升到国家战略层面。可见,创新创业的重要性。

然而创新创业离不开人才,人才的培养源于教育。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)》明确指出,"职业教育要面向人人、面向社会,着力培养学生的职业道德、职业技能和就业创业的能力"。高等职业教育的目标是培养应用型、技术型、创新型人才,而实训室是培养应用型、技术型、创新型人才的重要场所。充分利用实训室资源,是培养创新创业人才的必然选择。当前,"1+*X*证书制度""全国职业院校技能大赛""社团创新创业活动"等迫切要求共享实训室资源。为此,高职院校必须及时开放实训室,建立机制以适应创新创业人才培养。

1 高职院校实训室开放必要性

1.1 是落实国家战略理念的着力点

国务院《关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见》指出,强化创新创业实践,促进实验教学平台共享。实验教学平台共享主要指实验实训室软硬件资源共享。高职院校在不影响正常教学的前提下,充分利用周末和假期,全方位开放各类实训室,是加强创新创业实践能力培养的主要路径。中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议强调,要牢固树立并切实贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念。新发展理念就是指挥棒、交通灯。新理念对高职院校创新创业人才培养的重要启示之一就是:开放实训室,共享软硬件资源,构建开放机制,调整管理模式,全力服务创新创业人才培养。由此,开放实训室是高职院校落实国家战略理念的着力点。

1.2 是推进实施"1+*X*证书制度"的重要举措

《国家职业教育改革实施方案》提出,从2019年开始,在职业院校、应用型本科高校启动"学历证书+若干职业技能等级证书"制度试点工作。鼓励职业院校学生在获得学历证书的同时,积极取得多类职业技能等级证书,深化复合型技术技能人才培养,拓展就业创业本领,缓解结构性就业矛盾。1+*X*证书制度,对于高职院校来说,将意味着变革。学生不仅要取得所学专业范围内的职业技能等级证书,而且可选择其他专业的职业技能等级证书,从而打破专业限制,成为"一专多能"的复合型技术技能人才。然而,获得若干职业技能等级证书,提高动手实践能力,必须参加职业技能培训。实训室是职业技能培训的关键场所。从现有实训室管理机制看,仅能满足当前基本的人才培养方案的需要,不能充分利用课余时间和各类实训室资源。因此,为适应培养拥有多证书的复合型人才需求,迫切要求构建实训室开放机构,调整管理模式。

1.3 是备战"全国职业院校技能大赛"和学生创新创业的重要抓手

全国职业院校技能大赛是教育部发起,联合国务院有关部门、行业和地方共同举办的一项年度全国性职业教育学生竞赛活动。大赛对于增强学生学习能力、动手能力、创新能力、竞争能力和创业能力意义重大。实训室为大赛提供软硬件支持,塑造实践实战环境,是备战大赛的"主阵地",是培养竞争意识和激发学习动机的重要载体。同样,急需建立实训室开放机制,适应备战大赛的需求。同时,开放实训室可以更好地服务于学生社团创新创业等活动。

2 高职院校实训室开放的特点

2.1 课余时间面向学生开放,充分提高实训室资源利用率

在完成基本教学任务的前提下,面向学生开放实训室,充分利用第二课堂育人。周末、晚自习和假期及其他课余时间,开放实训室,并安排专人值班。学生可自己预约,自主选择时间段进入实训室主动学习或研究。高职院校可根据学生开展学习、研究情况及学生提出的申请情况,决定是否安排指导教师。这样,充

[收稿日期]2019-05-02

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分利用课余时间,一方面满足学生课余学习和研究的需求,另一方面提高资源利用率。

2.2 各类实训室全面开放,满足创新创业人才培养需求

在采取一定安全措施的前提下,全面开放化学实训室、物理实训室、生物实训室等各专业实训室,学生可自主选择,申请使用实训室。这样打破学院、专业的限制,充分实现学科、专业交叉,有利于科研成果的形成,从而有力促进创新创业。各类实训室全面开放,促进学生多种技能的培养,满足复合型人才培养需求。

2.3 实现预约审核管理信息化,提高开放实训室管理效率

利用实训室开放信息化管理平台,学生可以在线自主选择实训室及时段,从已有的备选实训项目中选择,按照规定的操作规程开展实训,或者自行设计实训项目。经后台安全评估、审核,并确定是否安排指导教师等,学生就可刷卡进入实训室开展学习和研究。实现预约、审核管理信息化,一方面,节省人力物力,提高了实训室开放管理的效率;另一方面,教学管理人员,可以利用学生利用课余开展实训学习和研究记录情况,研究学生学习动机和实训课堂教学效果。同时,实训室管理人员可以在信息化管理平台后端收集学生做的次数、时间、内容等信息,分析学生使用实训室对创新创业能力的培养的贡献度即成效情况。

3 高职院校实训室开放的路径

3.1 设计管理制度,引入激励机制

制度建设就是立"规矩",是做好一切管理工作的基础。实训室开放,针对使用实训室前的申请预约、使用过程中的管理维护、使用后的归整和注销,设计相应的管理制度,使实训室开放的整个过程有章可循。构建机制就是管"运行",明确开放时间、方式以及开放的对象,特别是建立激励机制,使开放过程运行流畅。有调查显示,在实训室开放过程中,实训室管理人员积极性不高,因此针对实训室管理人员引入绩效考核激励机制,在工资待遇等方面给予倾斜。同时,利用学分制等方法有效引导学生进入实训室开展研究创新,提高实操技能水平。

3.2 利用信息化手段,搭建软硬件平台

信息化建设是提高管理效率和能力的有力手段,尤其数据分析和智能工具对管理者决策起到极其重要的作用。信息化建设具体措施之一是指建设智能信息系统。智能信息系统是一套具有数据挖掘、自动分析呈现、可视化等功能的软硬件管理平台。目前企业、医疗、教育等各行各业都在部署智能管理信息系统,特别是在企业,通过充分信息系统的优势,每年都在为其节省成本,创造可观的价值。如美国快递公司 UPS、京东等,已将智能管理系统作为自身核心竞争力之一。针对高职院校建设开放实训室信息化管理平台,第一,学生可以在平台上检索空闲可用的实训室并进行预约、使用中出现的问题可以记录和报告、使用后注销,还可以通过平台总结统计使用实训室的情况。第二,管理者可以通过该平台统计实训室使用情况以计算国有资产利用率等,从而为管理者提供决策。

3.3 加强安全管理,提高安全素养

进入实训室前,管理者一方面加强安全教育、开展安全演练、组织实训室安全准入考试等。另一方面,对于申请进入实训室的学生,要求其提交实训内容,经过严格的审核论证并注明其风险点,且进行指导教育后,方允许进入实训室开展实训。特殊情况下,按照风险大小等实际,要求指导教师在实训现场指导。在实训过程中,一是确保实训室管理人员在岗值班,二是在实训室安装摄像头,监控记录整个实训过程。通过充分利用课上+业余时间,采取安全教育+学生自习实训(或安全教育+教师指导学生实训)的方式,加快培养学生的安全素养,使其形成应对安全问题的内在品质,如安全意识、安全知识和安全能力。

3.4 设立专项基金,助力实训室开放共享

经费是开展一切活动的物质基础。在实训室开放过程中,包括软硬件平台的搭建、实训耗材、实训室管理人员和指导教师的劳务费用都需要有经费支撑,因此,设立专项基金是有效开展实训室开放共享的基础。此外,除了面向在校学生开放实训室,还可面向有科研、技能提升需求的教师开放。如果,在实训室仍有空闲的情况下,高职院校可将实训室资源向社会开放,服务于社会,体现共享理念。同时,可适当收取资源损耗等费用,一是实现国有资产保值增值。二是在专项基金不充裕的情况下,用于维持实训室的开放共享。

3.5 制定评价指标体系,跟踪分析实训室开放效果

评价是关系实训室开放成败的关键环节。评价指标的制定是做好评价的第一步,针对高职院校的实际情况,可以从技能证书、大赛获奖、创新创业、工作就业、升本考试等方面提取评价指标。从学生利用业余时间进入实训室学习开始进行跟踪并记录,记录内容包括实训内容、实训目的、实训时长、实训时间段等,可将此几个数据项加入实训室管理信息平台。通过定量、定性分析,找到"利用业余时间开展实训活动"与技能证书获得、大赛获奖等的关联关系,从而分析评价实训室开放的效果,并以此为基础,为实训室管理措施的调整、人才培养方案的制订提供参考。

主要参考文献

[1]吴文群.高职院校机电类实验实训室的精细化管理探析[J].实验室科学,2018,21(2):174-175,179.

[2]肖建英.高职校内实训基地"开放式"学生自主管理与学习模式探析[J].教育与职业,2017(20):109-112.

[3]何荣荣,何苗,吴芹.建立焙烤开放实训室培养学生创新创业能力[J].教育教学论坛,2017(37):128-129.

[4]胡宗政,刘国军.工学结合模式下校内实训室的功能规划与建设思路[J].成人教育,2015,35(9):47-49.

[5]袁宁,李岩,张栋华.重点实验室开放课题的运行管理策略——以中国海洋大学为例[J].中国高校科技,2018(8):12-13.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

纯电动汽车坡道起步防溜系统及控制策略的研究

Research on the Anti-Slip System and Anti-Slip Control Strategy of Pure Electric Vehicles

李磊[①②] LI Lei；黄鑫[③] HUANG Xin；翟世欢[①] ZHAI Shi-huan；杜森[①] DU Sen

（①天津易鼎丰动力科技有限公司，天津 300380；②天津大学机械工程学院，天津 300072；
③天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410）

（①Tianjin EVPT Co.，Ltd.，Tianjin 300380，China；②School of Mechanical Engineering，Tianjin University，Tianjin 300072，China；
③Electric-mechanical Engineering and Automation School，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China）

摘要：本文提出一种由加速踏板、制动踏板、档位、整车控制器、电机控制器及电机、陀螺仪组成的防溜系统。整车控制器通过踏板、挡位状态、陀螺仪等外设判断车辆是否需要进入防溜工作模式，车辆的防溜工作模式和正常驱动模式的切换需要经过预防溜模式，初始防溜扭矩依据陀螺仪检测到的坡度值给出，以使系统的响应速度提高，降低车辆后溜距离。如果整车处于防溜坡状态，VCU根据车辆倾角及当前电机转速和电机执行扭矩情况实时调整防溜坡的扭矩值，并持续判断车辆状态是否可以退出防溜坡模式。

Abstract: The anti-slip system described in this article consists of an accelerator pedal, a brake pedal, gears, a vehicle control unit, a motor controller, a motor, and a gyroscope. The vehicle control unit judges whether the vehicle needs to enter the anti-slip working mode through the pedal, gear status, gyroscope and other peripherals. The switch between the anti-slip working mode and the normal driving mode of the vehicle needs to go through the previous anti-slip mode. The slope value detected by the instrument is given to improve the response speed of the system and reduce the slip distance of the vehicle. If the vehicle is in the anti-slip state, the VCU will adjust the anti-slip torque value in real time according to the vehicle inclination, the current motor speed and the motor torque, and continuously judge whether the vehicle state can exit the anti-sliding mode.

关键词：纯电动汽车；坡道起步；防溜系统；防溜策略

Key words: pure electric vehicle; anti-slip start; anti-slip system; anti-slip strategy

中图分类号：U463.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-957X(2021)22-0001-03

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2021.22.001

0 引言

近年来，世界主要汽车大国纷纷加强战略谋划、强化政策支持，新能源汽车已成为全球汽车产业转型发展的主要方向和促进世界经济持续增长的重要引擎。另一方面，在全球能源紧缺、环境污染日渐恶化的背景下，我国政府提出了“3060 碳峰值碳中和”的目标愿景，从国情出发促使我们要加大对电动汽车的研发力度[1]。随着电动汽车日益普及，人们对其安全技术问题和驾驶舒适度的要求越来越高，其中防溜坡功能是一个重点关注项目。但目前对电动汽车防溜坡功能的研究还比较滞后，大多停留在传统车辆的已有技术上，功能不完善的车辆严重影响了驾驶员的驾驶体验，也加大了电动汽车坡道起步的难度，增加了车辆起步的事故率[2]。鉴于上述问题，本文提供一种电动汽车防溜系统并在此系统上实现防溜控制策略。该防溜坡系统不会大量增加电动汽车的成本，其能够防止电动汽车在一定坡道上向后溜坡，提升电动汽车驾驶舒适性和易操作性。

1 车辆防溜技术方案分析

车辆防溜坡功能最早是应用在传统燃油车系统中的一项辅助驾驶功能。当驾驶员驾驶车辆在坡道上起步时，脚从刹车踏板移动至油门踏板的时间内，因为制动力中断车辆会出现后溜[3]。如图 1 所示车辆溜坡示意图。为了防止驾驶员从踩制动踏板切换到踩加速踏板的过程中车辆后溜，汽车设计师们设计防车辆后溜的系统，在驾驶员松掉刹车踏板后还能提供一定的制动力，保证车辆在坡道上保持一定的时间而不溜坡[4]。

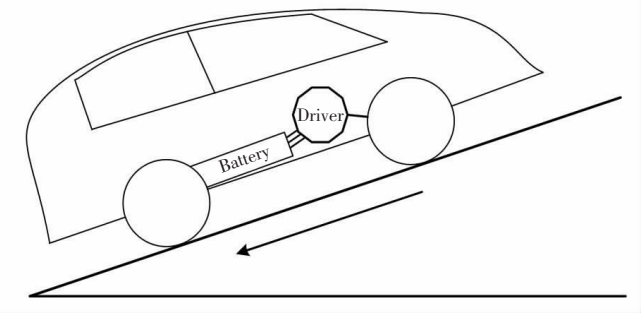


图 1 车辆溜坡示意图

目前中、高档汽车上通常配备的是基于 HHC、AVH、ARB 三种防溜坡功能的坡道辅助系统[5]。三种技术方案的特征如下：

①HHC(Hill-start Assist Control，Hac)，一种最早出现的坡道辅助系统，基于 ESP 系统的坡道起步辅助系统。HHC 技术利用 ESP 系统的建压保压能力，在驾驶员上坡起步过程中，松掉刹车踏板后提供一定的制动力，促使车辆能够在坡道上稳定一段时间[6]。但由于 ESP 内部线圈的承受能力有限，HHC 能保压的时间很短，故该功能无法保持在不踩踏板的作用下长时间保持车辆稳定。

②AVH(Auto Vehicle Hold)，是一种加强版的 HHC，基于 EPB 和 ESP 两套系统设计的自动驻车系统[7]。当驻车时间较短时，原理和 HHC 相似靠 ESP 保压；当驻车时间较长时，系统会请求 EPB 锁住轮缸压力。由于 EPB 通过电

基金项目：天津市科技计划项目——企业科技特派员项目(20YDTPJC00430)。

作者简介：李磊(1984-)，男，天津人，工程师，天津大学机械工程学院在职硕士生，从事电动汽车系统研究开发和设计工作；黄鑫(通讯作者)(1983-)，女，辽宁海城人，硕士，副教授，本科和硕士均毕业于天津大学电气与自动化工程学院，研究方向为非线性控制理论、新能源动力系统研究等。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

机及减速机构控制夹紧力，可以根据坡度灵活控制制动力大小，EPB 电机的耐受能力也更强，所以 AVH 功能可保持车辆在坡道较长的时间。

③ARB（Anti-Roll Back），是一种适用于新能源车辆的新型防溜坡系统。其原理是：当车速较小时，如果处于驱动档位，整车将激活防溜坡功能，控制电机进入零转速控制，将车稳定在路面[8]。当驾驶员踩下油门踏板后，驱动扭矩足以克服坡道阻力时，ARB 功能将退出车辆进入驱动模式。

通过上述技术方案分析可知，传统燃油车的防溜坡功能通常需要使用机械制动系统参与实现，但对于电动汽车来说，可以一定程度上不需要机械制动系统，也无须增加太多零部件，仅靠电机本身就能实现防溜坡功能。因为，电动汽车的驱动执行器为电动机，电动机可以承受一定的堵转运行，因此在电动汽车在坡道起步阶段，只需要使用电动机持续输出抵消扭矩就可实现防止车辆后溜的目的。

2 电动汽车防溜系统设计

由于电动汽车的动力输出机理和传统燃油汽车完全不同。内燃机在停机时没有转矩输出，而电机可以在转子静止的状态下输出全额扭矩[9]。因此，只需控制动力传动系统的输出转矩与负载转矩相平衡，即可实现电动汽车在坡道上静止。

本文设计的电动汽车防溜功能通过一套车辆控制系统联合动作而实现，该防溜控制系统由加速踏板、制动踏板、挡位、整车控制器（VCU，Vehicle Control Unit）、电机控制器（MCU，Motor Control Unit）及电机、动力电池包、陀螺仪组成，系统结构如图 2 所示。

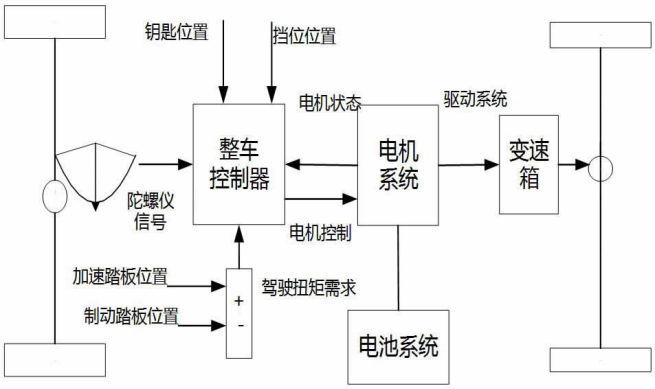


图 2 电动汽车防溜系统架构图

在防溜控制系统中，整车控制器 VCU 监测钥匙信号、挡位信号、踏板状态信号，按照约定好的通信协议（如 CAN 总线协议）将防溜控制命令发送给电机控制器 MCU。本电动汽车防溜控制系统各组成部分的功能和工作原理如下所述：

①整车控制器 VCU 检测钥匙信号，用于判断车辆是否处于可启动状态。②整车控制器 VCU 检测挡位信号，用于发送车辆的驱动命令是前进或者后退模式，判断车辆是否处于前进挡状态，以便防溜坡策略判断车辆是否允许进入防溜坡工作模式。③整车控制器 VCU 检测加速踏板开度信号和制动踏板开度信号，用于判断驾驶员是否有加速或者制动请求，以及计算请求百分比，以便防溜坡策略判断车辆是否允许进入防溜坡工作模式[10]。④整车控制器 VCU 在车辆行驶过程中需要检测车辆的倾角状态。如果整车处于预防溜坡状态时，整车防溜控制系统中的陀螺仪用来完成车辆倾角检测功能，并将倾角值发送给 VCU。VCU 实时接收陀螺仪的倾角值，计算出当前需要的转矩，并把该初始防溜扭矩信号发给电机控制器 MCU。如果整车处于防溜坡状态时，VCU 接收倾角值，利用制定好的驱动电机扭矩控制算法，用于防溜扭矩值的实时微调。⑤在防溜系统中，电池系统为电动汽车的动力源，用于车辆行驶和车辆防溜坡时为电机控制器和驱动电机供电。⑥在防溜系统中，电机控制器 MCU 根据 VCU 发送的方向命令和扭矩命令驱动电机运行。⑦在防溜系统中，电机轴与车辆变速箱相连，为车辆提供动力，驱动车轮转动。

3 电动汽车防溜策略实现

根据防溜坡策略的需求，将整车防溜坡工作模式分为预防溜坡模式、防溜坡模式和防溜坡退出模式。图 3 为预防溜坡模式、防溜坡模式控制策略的流程图，图 4 为防溜坡退出模式流程图。

①在整车防溜坡系统中，VCU 与 MCU 共同协作完成车辆防溜坡功能，VCU 进行模式切换的判断和防溜扭矩给定，MCU 进行电机运行状态检测和扭矩命令执行。VCU 采集车辆的档位状态和踏板状态，MCU 检测电机旋转方向、电机转速以及当前电机执行扭矩大小并反馈给 VCU，VCU 根据当前电机转速、电机执行扭矩值、电机转速变化率及整车倾角值判断是否进入防溜工作模式。②当车辆处于前进挡时，并且加速踏板和制动踏板都没有被踩下时，或者 VCU 检测到加速踏板踩下深度较浅时，VCU 被触发执行防溜判断。当电机转速低于预防溜最小转速值，且 MCU 执行扭矩较小时，VCU 将会判定整车进入预防溜坡状态。并且此时，VCU 根据当前电机转速和整车倾角值等信息开始计算整车需求的防溜扭矩，电机控制器第一时间响应该参考初始防溜扭矩。当后续电机转速小于最小触发极限转速时刻，VCU 判定进入防溜工作状态。③这里可以制定 PI 控制算法，根据转速变化和实时倾斜角对防溜扭矩进行调节。将实时转速与防溜最小转速的差值作为防溜坡控制的输入量，基于陀螺仪实时采集到的车辆倾角值，计算出溜坡控制参数 Kp、Ki，实现平稳调节输出防溜坡扭矩值。驱动电机系统在响应 VCU 发送的目标扭矩时实现了线性控制，从而避免了长时间大电流而损坏电机系统，以及车辆驻坡时的抖动。④当驾驶员踩下加速踏板后，VCU 将会根据加速踏板踩下开度以及当前车辆的整车状况计算驱动扭矩值，并判断驱动扭矩值是否大于当前防溜坡的输出扭矩时，若大于则整车将再次进入预防溜坡模式，VCU 发送驱动扭矩命令，（当电机转速提高到足够转速以上时，VCU 才会真正停止防溜坡运算工作，退出预防溜模式）否则 VCU 一直处于防溜工作状态，VCU 计算防溜扭矩。当驾驶员踩下制动踏板时，VCU 首先进入预退出防溜坡状态，并在一个较短的时间内退出预防溜坡模式，进入制动模式，响应制动踏板的指令。⑤该种控制方法只能防住一定角度的坡道，如果坡道过大，车辆将出现后溜现象，建议坡度过大时通过手刹辅助驻车。处于防溜坡状态的电机控制器并不能持续进行防溜坡运行，需要隔一段时间退出一次防溜坡，以防止电机及电机控制器出现堵转而过热。

4 结束语

本文在研究了现有电动汽车的电机转速扭矩控制和整车控制器的基本原理基础上，在不过多增加车辆硬件设备的前提下设计了一套电动汽车防溜坡控制系统，该系统中的整车控制器为防溜坡控制的核心，完成防溜坡进入和

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

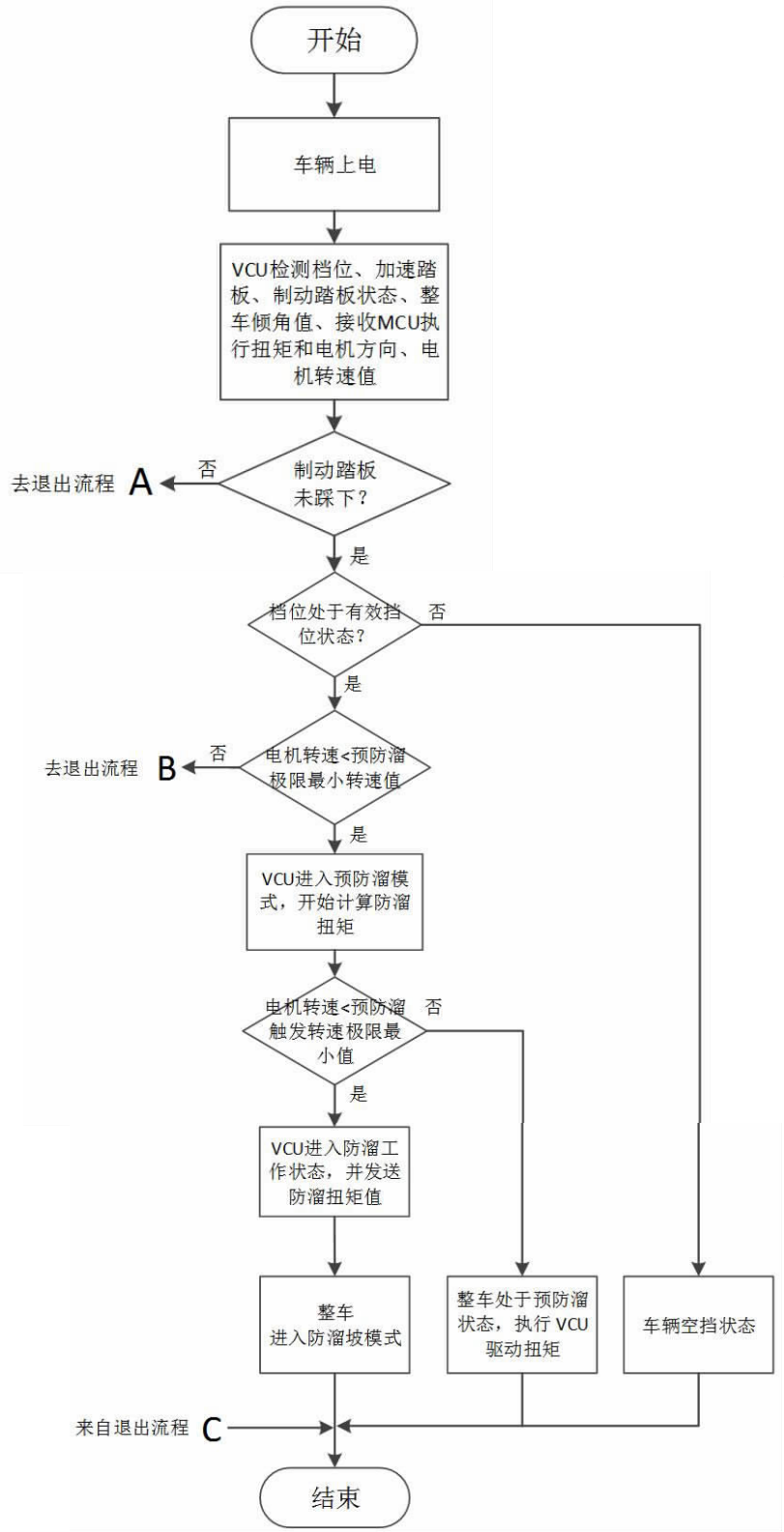


图 3 防溜坡模式识别流程图

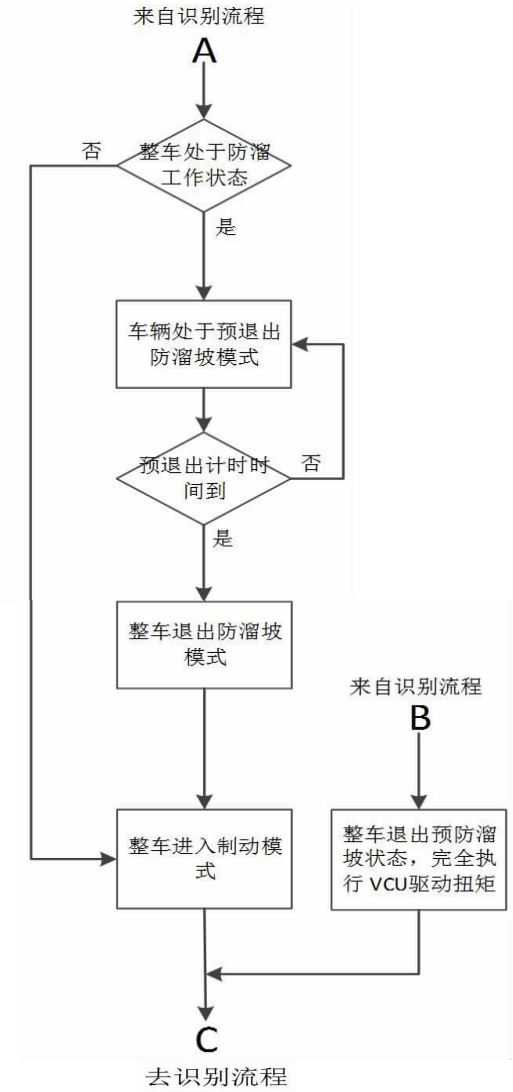


图 4 防溜坡模式退出流程图

退出的判断，整车控制器与电机控制器配合完成车辆扭矩的输出，达到车辆防溜坡的效果。本文设计的防溜坡系统不仅可以用于前向防溜坡，也可以用于后向防溜坡，实现策略相同，只是防溜进入条件有所不同。本文提出该防溜坡系统及控制策略主要意在，为广大电动汽车开发者提供一些电动汽车防溜坡功能设计的思路。

参考文献：

[1]万晓峰.我国新能源汽车的现状和发展前景探析[C]//2020年第四届国际科技创新与教育发展学术会议，2020.

[2]莫旭辉，朱园园，杨辉.电动汽车坡道起步电机转速控制研究[J].计算机仿真，2018，35(4)：107-111，324.

[3]王洪亮，苑庆泽，钟焕祥，等.基于 EPB 的汽车坡道起步自动控制技术 [J]. 北京理工大学学报，2014，34(4)：334-348.

[4]张庆，熊会元.单速比电动汽车坡道起步控制研究[J].机械传动，2016，040(009)：132-136.

[5]檀旋，黄波，于洋，等.基于 EHB 的坡道起步辅助策略开发 [J]. 计算机与数字工程，2021，49(002)：290-294.

[6]徐小兵，鲁振辉，窦本岗，等.纯电动客车坡道起步辅助电机扭矩控制算法研究[J].客车技术与研究，2020，42(6)：3-7.

[7]王超，罗文华.汽车坡道起步防溜系统设计[J].大众科技，2011(011)：140.

[8]王金龙.新能源纯电动汽车高压系统的组成和设计[C].四川省第十四届汽车学术年会论文集，2020-01-14.

[9]许同盟.纯电动汽车整车控制器设计与控制策略研究[D].山东大学，2015.

[10]汪斌，刘天虎，晏萌，等.纯电动汽车电机辅助驻坡及坡道起步控制系统及方法，CN106515507A[P].2017.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从“新双高”的导向变化看职业教育发展的新趋势

刘 斌 邹吉权 周晶晶
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：“新双高”以“办学能力高水平、产教融合高质量”为导向，高度凝练了职业教育改革发展战略任务和重点工作，深刻揭示了职业教育未来的发展趋势。新发展阶段，职业教育面临六大新任务：深入践行立德树人根本任务，致力于塑造核心价值；积极投身于教育强国建设，助力教育、科技、人才一体化发展；大力推进现代职业教育体系建设，持续深化产教融合；系统探索职业教育数字化，赋能新型生产力发展；加强职业教育“五金”新基建，提高职业教育的适应性；全面落实职业教育“五个面向”，着力提升国际竞争力。鉴于此，提出职业教育以“贡献度”“支撑力”彰显职教教育强国之为、以高水平办学能力彰显服务经济社会发展之责、以专业升级彰显赋能新质生产力发展之力、以学生全面发展彰显职教的教育之本、以职教新基建彰显职业教育的适应性之适、以职教出海彰显助力构建人类命运共同体之实的发展新趋势。

关键词：“新双高”；“双高计划”；高职教育；产教融合；办学能力
中图分类号：G719 **文献标识码**：A **文章编号**：1008-8415[2025]-01-0012-08

引言

2019年，教育部、财政部联合启动了“双高计划”建设，旨在破解高职教育发展中的瓶颈问题，形成类型教育创新发展的中国模式，打造中国职业教育的国际品牌。“双高计划”作为中国高等职业教育改革与发展的战略导向，引领改革，支撑发展，不断提升高职教育发展质量、推动高职学校与其他要素部门之间更高质量的协同发展。经过首轮建设，各建设院校在内涵建设方面实现了质量上的飞跃；在产教融合路径探索上取得了突破性进展，形成了教育与产业深度融合的新模式；在国际交流合作领域也取得了实质性的成效，拓宽了国际合作与交流的新渠道。随着首轮“双高计划”的完成与验收，各高职院校正热切期盼第二轮“双高计划”的启动，并广泛关注其建设路径与策略。

在此背景下，2024年5月，教育部部长怀进鹏在部区会商会议上首次提出了以“办学能力高水平、产教融合高质量”为导向的“新双高”理念，这一重要论述不仅为即将开展的第一轮“双高计划”建设明确了发展方向，同时也深刻揭示了职业教育未来的发展趋势与导向。2024年7月，教育部副部长吴岩在深化现代职业教育体系建设改革现场推进会上，对“新双高”建设提出了新要求，强调要引导职业院校由原来的“基础好、条件好”转向“服务好、支撑好”，重点做好服务地方产业、区域战略、一体两翼、高品质民生、边境职业教育、职教出海等方面的工作。与首轮“双高计划”项目相比，“新双高”在首轮建设基础上进行了拓展和深化，强调遴选新一轮“双高计划”院校需要更加注重思政工作的引力度、社会需求的匹配度、条件基础的支撑度、建设措施目标的可达成度、政策机制的保障度以及成果成效的贡献度，引导职业院校坚定服务导向的办学理念，从主动服务中提升学校关键办学能力。因此，深入科学地认识“新双高”理念的深刻内涵，准确

收稿日期：2025-01-08
基金项目：本文为2021年度天津市教育科学规划重点课题“‘双高计划’院校试点职业教育本科专业培养研究”（编号：BJE210032；主持人：刘斌）的阶段性研究成果。
作者简介：刘 斌（1961— ），男，天津人，天津职业大学原校长，教授，博士。

中国知网 https://www.cnki.net

把握职业教育的发展趋势，对于现代职业教育体系建设改革以及高职院校的高质量内涵式发展具有至关重要的意义。

一、“新双高”导向的深刻内涵

（一）“新双高”是教育强国建设赋予高等职业教育的新使命

职业教育是国民教育体系和人力资源开发的重要组成部分，是培养能工巧匠、大国工匠、高技能人才的主要途径，是技术创新和工艺创新的重要推动力，在加快建设教育强国，实现以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业进程中具有重要作用。习近平总书记在全国教育大会上强调，职业教育要“构建职普融通、产教融合的职业教育体系，大力培养大国工匠、能工巧匠、高技能人才”，这为职业教育在推进教育强国建设的新征程中履行使命、发挥作用提供了根本遵循。

办学能力高水平是高等职业教育回应时代需求的首要体现，它直接关系到培养“大国工匠、能工巧匠、高技能人才”的规模与质量。办学能力高水平的标志性特征主要体现在具有先进的教育教学理念，强调基于行动导向的职业教育教学[1]，注重实践教学与理论学习有机结合，重视学生创新思维和问题解决能力的培养；具有完备的教育教学设施和现代化的教学场所、实验实训基地等，增强学生适应未来职业岗位的实践能力；具有“德技并修”的核心素养、“市场导向”的育人观念、“终身学习”的发展认知的现代化“双师型”教师队伍[2]；建有优质的数字教学资源、科学高效的内部治理体系以及高度开放的国际化办学体系。产教融合高质量是高等职业教育对经济社会发展贡献力和支撑力强的关键标志，它深刻影响着培养“大国工匠、能工巧匠、高技能人才”的效果与效率。产教融合高质量的标志性特征主要体现在具有先进的产教融合理念，强调教育与产业对接，在专业设置上与经济社会发展需求对接，教学过程要深度融入生产实践；具有坚实的校企合作基础，通过资源共享、优势互补，合作办学、合作育人、合作就业、合作发展；积极探索多元合作模式，满足不同行业、不同企业对人才的个性化需求。

（二）“新双高”是办学能力高水平与产教融合高质量共生共进、协同发展的理论阐释

办学能力高水平为产教融合高质量提供了坚实的基础和支撑，而产教融合高质量则是办学能力高水平的重要路径和关键抓手。两者共同作用于人才培养的全过程，构成了相互依托、相互支撑、相互助力、相互促进的紧密关系。

一方面，高水平的办学能力在教育资源的高效整合、教学模式的创新实践、师资队伍的专业精进以及校企合作机制的深度构建等多个维度，为产教融合的高质量发展提供了基础支撑。高职院校通过与企业、行业等产业界的深度合作，不断优化专业设置，更新教学内容，强化实践教学，从而培养出更多符合市场需求的高技能人才。这种以市场需求为导向的人才培养模式，不仅提升了学生的就业竞争力，也增强了职业院校的社会服务能力，进而体现了办学能力的高水平。

另一方面，高质量的产教融合又进一步推动了办学能力的提升，形成了良性循环。2024 年 11 月，教育部副部长吴岩在 2024 世界职业技术教育发展大会“产教融合推动职业教育高质量发展”平行会议中指出，“产教融合是职业教育的必由之路，职业教育的发展需要职业院校和企业双向发力”。高质量的产教融合要求职业院校与行业企业之间建立深度、稳定、可持续的合作关系，共同推进人才培养、技术创新、社会服务等协同发展，有效促进教育链、人才链与产业链、创新链的有效衔接，为职业院校提供更为广阔的发展空间和资源支持。

（三）“新双高”是对职业教育改革发展战略任务和重点工作的高度凝练

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央站在党和国家发展全局的高度，把职业教育摆在了前所未有的突出位置，指明了“加快构建现代职业教育体系”的发展方向，明确了“培养更多高素质技术技能人才、能工巧匠、大国工匠”的目标任务。“双高计划”的实施，标志着我国职业教育进入了一个新的发展阶段。国家相继出台一系列政策文件，这对新时期职业教育的改革与发展提出了新要求。

2022 年 12 月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》（以下简称《意见》），提出了“一体两翼五重点”的职业教育改革重大举措，为新时期职业教育的改革与发展提供了清晰的框架。以探

中国知网　https://www.cnki.net

索省域现代职业教育体系建设新模式为“一体”，以市域产教联合体和行业产教融合共同体为“两翼”，以五项重点工作为支撑，形成了一个完整、系统的职业教育改革与发展体系。2023年7月，为贯彻落实《意见》，进一步细化现代职业教育体系改革的具体实施路径，教育部印发了《关于加快推进现代职业教育体系建设改革重点任务的通知》，从打造市域产教联合体、行业产教融合共同体，到建设开放型区域产教融合实践中心、职业教育专业教学资源库、职业教育信息化标杆学校、职业教育示范性虚拟仿真实训基地，开展职业教育一流核心课程建设、职业教育优质教材建设、职业教育校企合作典型生产实践项目建设以及具有国际影响的职业教育标准、资源和装备建设，建设具有较高国际化水平的职业学校等，详细部署了十一项重点任务。此后，教育部副部长吴岩在国家轨道交通装备行业产教融合共同体成立大会上，提出了现代职业教育体系建设的“金专业”“金课程”“金教师”“金基地”“金教材”，即“五金”职教新基建。

综合来看，新时期现代职业教育体系建设的重点任务可以分为两类：一类是围绕办学能力高水平而设计的职业教育自立自强建设项目，如提升职业学校关键办学能力、“五金”建设等；另一类是围绕产教融合高质量而设计的改革载体，如市域产教联合体、行业产教融合共同体等。因此，“新双高”不仅是对职业教育改革发展的高度概括，也是对其未来发展方向的明确指引，要求高等职业院校既要注重提升职业教育的办学能力和水平，又要注重深化产教融合，推动职业教育与经济社会的深度融合。

二、新发展阶段职业教育面临的新任务

（一）深入践行立德树人根本任务与塑造核心价值

教育大计，立德为先。习近平总书记在全国教育大会上强调，“建设教育强国是一项复杂的系统工程，需要我们紧紧围绕立德树人这个根本任务，着眼于培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人”。因此，职业教育要聚焦“为党育人、为国育才”的初心使命，构建德智体美劳全面培养的职业教育体系，统筹推进立德树人理念、方式、制度和机制的改革创新。落实立德树人的根本任务，就要把立德树人融入思想道德教育、文化知识教育、社会实践教育各环节，育时代“匠人”、铸时代“匠心”[3]。在坚定理想信念上，要着力构建大思政工作体系，以思政课程和课程思政建设为抓手，不断改进和加强思想政治教育，引导学生坚定中国特色社会主义信念，培养“信得过”的时代匠才；在厚植爱国主义情怀上，要教育引导学生热爱和拥护中国共产党，立报国强国大志向、做挺膺担当奋斗者，培养“留得住”的时代匠才；在品德修养上，坚持教育引导学生培育和践行社会主义核心价值观，树立正确的世界观、人生观、价值观、道德观、法治观[4]，培养“行得正”的时代匠才；在增长知识见识上，完善“德技兼修”的职业教育人才培养体系，构建职普融通、产教融合的现代职业教育体系，促进学生提高文化素质、创新品格和思维能力，培养“走得远”的时代匠才；在培养奋斗精神上，将劳模精神、劳动精神、工匠精神全过程、全领域、全方面融入人才培养计划中，引导学生爱岗敬业、艰苦奋斗、崇尚劳动、精益求精，培养“下得去”的时代匠才；在增强综合素质上，加强素质教育、校企合作教育与专业教育的协同合作，根据不同学生的不同问题、不同需求，有的放矢地开展因需育人、精准育人，促进学生全面发展、个性发展，培养“用得上”的时代匠人。

（二）积极投入教育强国建设与教育科技人才协同发展

党的二十届三中全会强调，教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑。建设教育强国，是全面建成社会主义现代化强国的战略先导，是以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的基础工程[5]。习近平总书记指出，“中国式现代化关键在科技现代化”。科技现代化不仅需要战略科学家、一流科技领军人才，还需大批高素质技术技能人才、能工巧匠、大国工匠。技能人才是联接技术创新与生产实践最核心、最基础的劳动要素。职业教育作为技能人才培养的主渠道，建设职业教育强国是实现教育强国、科技强国和人才强国的题中之义。在服务教育强国建设中，职业教育不再仅仅满足于引领职业教育的改革方向或是对经济社会发展的简单支撑，要立足服务中国式现代化核心任务，发挥职业教育的支

中国知网　https://www.cnki.net

撑和服务作用。党中央对教育强国、科技强国、人才强国的战略部署，为新时代职业教育明确了使命与职责，为其发展路径指明了清晰的方向，彰显了国家对职业教育的重要定位与期望，即要围绕支撑引领中国式现代化核心功能，服务现代化产业体系建设、助力科技自立自强、推动实现共同富裕、办好人民满意的教育、促进人口高质量发展等[6]。因此，职业教育要深化职普融通、产教融合，提高职业教育体系与现代化产业体系的匹配度，增强职业教育服务科技攻关和科技成果转化的能力，优化高层次技术技能人才供给，助力实现高质量充分就业。

（三）大力推进现代职业教育体系建设与深化产教融合

改革开放40多年来，我国政府统筹社会各界力量，职普融通、训育并举，逐步建立起适应经济社会发展、服务全民终身学习的职业教育体系，目前已建成世界上规模最大的职业教育体系[7]。加快建设现代职业教育体系是在中国式现代化建设新征程中，由习近平总书记亲自擘画的职业教育发展蓝图。2024年9月，习近平总书记在全国教育大会上指出，要“构建职普融通、产教融合的职业教育体系”，进一步明确了现代职业教育体系建设的方向和目标。现代职业教育体系是一个高度适应现代经济发展方式、现代产业体系建设和人的全面发展要求的教育体系，实现各级各类职业教育的科学合理定位与布局；是一个职业教育中等、高等教育有机衔接人才培养体系，实现人才培养的针对性、系统性和多样性；是一个职业教育、高等教育、继续教育协同创新的教育体系，实现职业教育体系内部与外部的衔接与融通[8]。《意见》提出“一体、两翼、五重点”改革新举措，以建立部省协同推进机制为切入点，以深化产教融合为重点，以推动职普融通为关键，央地互动、区域联动、政行企校协同推进职业教育改革，改革重心由“教育”转向“产教”，将职业教育与行业进步、产业转型、区域发展捆绑在一起，充分发挥各自优势，创新良性互动机制。产教融合是职业教育类型属性中跨界性的核心体现[9]，是职业教育的本质特征，也是职业教育的必由之路。2024年11月，吴岩副部长在2024世界职业技术教育发展大会“产教融合推动职业教育高质量发展”平行会议上指出，“合作办学、合作育人、合作就业、合作发展等四个合作是产教融合的必由之路”。因此，职业教育要以“四个合作”为基本方式，深化产教融合、校企合作，以“一体两翼”为载体，大力推进现代职业教育体系建设。

（四）系统探索职业教育数字化与赋能新质生产力

当前，数字技术正以新理念、新业态、新模式全面融入政治、经济、文化和教育等领域。党中央高度重视数字化发展，加快建设数字中国。2022年1月，全国教育工作会议首次提出“实施国家教育数字化战略行动，推动实现教育数字化转型”。职业教育数字化是适应数字化时代需求的必然选择，是深刻影响乃至重塑职业教育高质量发展轨迹的核心议题，是推动职业教育模式创新和质量飞跃的必由之路。职业教育数字化通过革新育人模式，培养新型劳动者；挖掘数据资源，孕育新型劳动对象；搭建数字生态，催生新型劳动资料[10]，是赋能新质生产力、推动经济社会高质量发展的重要途径。吴岩副部长指出，教育数字化可分为“转化、转型、智慧”三个阶段，转化阶段主要强调数字化基础设施的技术生态搭建；转型阶段主要强调通过数字技术实现教育治理现代化、教学过程的智能化和服务的个性化；智慧阶段则实现教育理念、教学模式、教育治理的整体性变革，形成全新的智慧教育生态，赋能学生全面发展。伴随人工智能快速兴起，职业教育的“智慧教育元年”已经到来，职业教育数字化作为赋能新质生产力的关键路径，正以前所未有的速度和广度推动着职业教育的变革与发展。职业教育需要把握和适应数字变革时代新要求，夯实智慧教育根基，更高质量开发汇聚资源、更大规模开展应用示范；创新智慧教育模式，不断丰富应用场景；构建智慧教育生态，推动职业教育从传统管理模式向数字化管理模式转变，个性化服务学生学、教师教、教学管。

（五）加强职业教育“五金”新基建与提高职业教育适应性

2021年4月，习近平总书记在全国职业教育大会上强调，要“增强职业教育适应性，加快构建现代职业教育体系，培养更多高素质技术技能人才、能工巧匠、大国工匠”。2024年1月，全国教

中国知网　https://www.cnki.net

育工作会议把“增强职业教育适应性和吸引力”作为重点工作之一进行部署。技能人才供给作为支撑经济社会高质量发展的基石，凸显出职业教育在新时代背景下的重要性。“增强职业教育的适应性”虽非新议题，但其频繁提及与强调，既体现了这是推进中国式现代化的必然需求，也反映了当前职业教育人才培养质量尚不能完全契合现代化建设需求的现状。专业、教材、课程、师资、实践是直接关系人才培养质量的关键要素，把这五大关键要素打造成为“金专、金课、金师、金教材、金地”是职业教育加强内涵建设必须要练好的“内功”，也是落实推进职业教育深化改革、实现高质量发展的核心抓手。打造“五金”的核心宗旨在于全面提升职业学校关键办学能力，培养德技并修的高素质技能型人才[11]。教育部职业教育与成人教育司司长彭斌柏在《中国教育报》的撰文《学习贯彻党的二十届三中全会精神推动现代职业教育体系建设开新局》中指出，深化重点领域职业教育专业课程改革（职业教育“101”计划），系统进行专业、课程、教材、教师、实习实训关键要素改革，着力培养在生产、建设、管理、服务等方面解决实际问题的技能人才，推动职业教育人才培养从知识传授向综合技能提升转变。因此，职业教育“五金”新基建必须要以产业发展需求为导向，紧密对接产业需求开展职业教育专业结构、教学内容和教学方式改革，从而切实增强职业教育的适应性，以满足新时代对高素质技能人才的需求。

（六）全面落实职业教育“五个面向”与提升国际竞争力

2024年11月，怀进鹏部长在世界职业教育发展大会上指出，职业教育应成为面向人人、面向产业、面向创新、面向智能、面向国际的“5I”教育。面向人人，即职业教育要学历教育与职业培训并举，加强职业技能培训，建设技能型社会，也是落实职业教育的法定职责。面向产业，即职业教育应紧密贴合产业发展趋势与社会实际需求，灵活调整专业设置，一方面，积极设置与新兴产业相匹配的新专业；另一方面，对传统专业进行升级改造，调整其专业定位，确保教育内容与产业实践的同步更新。面向创新，即推进教育链、产业链、人才链、创新链四链融通，加强创新能力的培养与提升，通过促进教育与产业的深度融合，加速技术创新向产业创新的转化进程，为社会经济的持续健康发展提供源源不断的创新动力。面向智能，一方面，职业教育需面向产业数字化升级，对传统专业进行智能化升级；另一方面，职业教育需充分利用数智技术，重塑教育教学生态和管理体系，提升教育的智能化水平。面向国际，即职业教育需积极服务国家大国外交战略，教随产出、产教同行，服务国际产能合作及中国企业的海外拓展，对国际合作项目进行升级与优化，提升职业教育的国际影响力与竞争力。因此，职业教育在国内场域应全面落实职业教育的“五个面向”，以教促产、以产助教、产教融合、产学合作，推动形成同市场需求相适应、同产业结构相匹配的现代职业教育结构和区域布局，在服务国家战略、服务区域经济社会发展和服务人的全面发展中找准定位和赛道。在国际场域应着力服务国家外交大局和促进国际产能合作，强化国际化合作和办学，培养更多具有国际视野和创新能力的高素质技能人才；积极参与国际规则制定与标准建设，提升我国在国际职业教育领域的话语权与影响力。

三、职业教育发展的新趋势[12]

（一）以“贡献度”“支撑力”彰显职教教育强国之为

职业教育作为教育强国的重要组成部分，“贡献度”与“支撑力”是衡量其思政引领力、人才竞争力、科技支撑力、民生保障力、社会协同力、国际影响力的关键指标。职业教育需紧密围绕国家重大战略需求，不断提升服务经济社会发展的能力，以显著的贡献度和强大的支撑力彰显职业教育在强国建设中的作为。职业教育应以培养大国工匠、能工巧匠、高技能人才为首要任务，通过优化职业教育布局体系，提升人才培养的针对性和适应性，为区域发展、产业升级以及服务中国企业“走出去”等提供有力的人才支撑。同时，职业教育还应注重与产业界的合作，以合作办学、合作育人、合作就业、合作发展为基本方式，促进人才培养与地方经济紧密结合、与行业企业发展需求高度适配，共同推进科技成果转化、技术攻关，为企业发展解决技术难题。服务学习型社会建设，面向紧缺专业技术人才，开展各层次技术技能培训与学历提升；面向下岗再就业人员、

中国知网　https://www.cnki.net

社区工作人员等，开展职业培训和学习服务，面向新型城镇化建设、乡村振兴等，开展职业技能培训。此外，职业教育还应积极推动“职教出海”，加强与国际职业教育机构的合作，开发具有国际影响力的专业标准、课程标准、教学资源、教学装备等，提升中国职业教育的国际影响力。

（二）以高水平办学能力彰显服务经济社会发展之责

当前，我国正处于产业转型升级、经济高质量发展的关键时期，职业教育必须以高水平办学能力，为经济社会发展培养更多大国工匠、能工巧匠、高技能人才。《意见》针对人才培养供给侧与产业需求侧匹配度不高等问题，提出打造市域产教联合体和行业产教融合共同体的制度设计，并将“提升职业院校关键办学能力”作为新阶段职业教育改革的一项重点工作。因此，职业教育要紧密围绕国家重大战略、重点产业、强国建设、高品质民生等领域需求，以“新双高”为引领，坚持以教促产、以产助教、产教融合、产学合作，推动形成同市场需求相适应、同产业结构相匹配的现代职业教育结构和区域布局。一是要深化职业教育供给侧结构性改革，围绕现代制造业、现代服务业、现代农业的亟需专业领域，建设一批高水平高职院校和专业群，优化人才培养体系，找准人才培养定位，确保人才培养与经济社会发展需求的高度匹配。二是要大力实施数字化转型，利用数智技术重塑教学生态和管理体系，开展专业数字化改造，整合专业教学资源库、精品在线课程、企业培训资源、新型活页式和工作手册式教材的数字化资源，建设优质教育资源平台，助力建设终身学习平台与技能培训体系。三是要深化市域产教联合体、行业产教融合共同体建设，绘制产教对接图谱，引导产教资源紧密对接，为区域优势产业集群壮大提供支持。创新运行管理机制，推动地方政府、产业园区、行业企业等深度参与专业群建设改革，通过共建产业学院、企业学院、现场工程师学院、产教融合平台等，大力开展人才培养培训、技术创新、科技研发、成果转移、社会服务等，服务区域经济社会发展。

（三）以专业升级彰显赋能新质生产力发展之力

新质生产力以科技创新为基本特征，培养适应新质生产力发展的高素质技能人才，要求职业教育在专业建设上必须紧跟时代步伐，实现提质升级。一是精准对接产业需求，优化专业布局与结构调整。职业教育应根据新质生产力发展趋势和产业发展需要，参照行业产教融合共同体发布的行业发展分析报告、行业人才需求预测报告“两报告”，以及行业人才供需清单、技术供需清单“两清单”，建立职业人才供需监测预警机制，动态调整专业设置和人才供给结构，及时淘汰或转型升级与产业发展不相适应的专业，前瞻性地布局新兴专业领域，精准匹配新质生产力对高技能人才的需求。二是深化产教融合，优化人才培养模式。职业教育应坚持产教协同，积极参与市域产教联合体、行业产教融合共同体建设，建立健全产学研训一体化协同机制，推动产业、教育、科研等领域的深度融合，创新中国特色学徒制等人才培养模式，建设兼具产品研发与制造、工艺改进、技术升级的行业应用技术协同创新中心，实现产业链、价值链、创新链的有机衔接。以新质生产力促进教育变革，不断更新教学方法和技术手段，强化数字场景在教学中的应用，拓宽教学资源渠道，优化教学评价体系，全面提升人才培养的适应性与质量。三是聚焦核心能力培育，培养新型大国工匠。在内容设计上，强调学生创新能力、数智技能与绿色技能的培养，课程和教材内容要充分吸收产业企业技术创新成果，将企业实际问题转化为教学案例。紧跟新质生产力驱动下的数智经济、数智技术与数智职业发展新趋势，重构课程体系与教学资源，以适应数智化职业岗位的新要求[13]。同时，要加强生态文明教育，提升学生的环保意识与绿色技能水平，并将绿色技能教育融入人才培养方案，优化课程体系与标准，培育兼具专业性与通用性绿色技能的高技能人才。

（四）以学生全面发展彰显职教的教育之本

人民属性是职业教育的基本立场和价值追求，它要求职业教育必须面向人人，致力于满足人民群众对高质量教育的需求，促进学生全面发展，办人民满意的职业教育。因此，职业教育必须加快建立健全多形式衔接、多通道成长、可持续发展的梯度职业教育和培训体系，推动职普协调发展、相互融通，让不同禀赋和需要的学生能够多

中国知网 https://www.cnki.net

次选择、多样化成才。一是深化现代职业教育体系建设，稳步发展本科层次职业教育，健全职教高考制度，畅通职业院校学生升学通道，系统搭建中等职业教育、专科职业教育、本科职业教育、专业学位研究生教育相衔接的职业教育学制框架体系。二是探索职业教育与普通教育融合发展新模式。通过发展综合高中、“职普融通实验班”等，实现联合授课、资源共享，为学生提供多样化的学习体验与成长机会；推动中职学校与普通高中课程互选、学分互认，鼓励学生根据个人兴趣与职业规划，灵活选择学习路径。三是创新拔尖技能人才选拔和培养机制。面向区域优势产业集群需求的拔尖人才紧缺技术岗位，招收优秀高职毕业生和生产一线优秀员工，探索“双高”院校、科研机构与本科院校联合试办创新型拔尖技术人才实验班，按照“产业导师+学校导师”双导师模式培养具有创新精神与实践能力的拔尖创新人才。四是改革创新长学制人才培养模式。优化中高职一体化五年制、中职本科“3+4”、高职本科“3+2”等贯通人才培养模式，开展“4+1”职教本科人才培养试点。优化分类培养模式，系统设计、合理规划人才培养的成长通道，精细化、定制化、个性化制定人才培养方案，为学生提供“菜单式”课程服务。

（五）以职教新基建彰显职业教育的适应性之适

一是打造高水平专业群，紧密对接区域产业，遵循专业群组建的产业逻辑、技术逻辑、岗位逻辑和层次逻辑，构建中、高、本一体化有机衔接的专业群，健全群内专业动态调整机制，科学确定专业群人才培养目标规格，实现各层次之间人才定位有机衔接、培养目标和规格逐级递进；校企共同制订人才培养方案，优化专业群课程体系、实践教学体系；创新专业群人才培养模式，创新中国特色学徒制，适应产业发展对不同层次技能人才的需求，服务学生多样化选择和全面发展。二是建设一流核心课程，建立课程产教联合开发机制，校企共建课程开发中心，组建由企业工程师、技能大师、学校名师等组成的课程研发团队，对接产业新技术、新工艺、新规范、新标准，跟岗挖掘绘制能力图谱，研制核心课程标准更新课程内容，开发数字化资源，适应技术的进步带来的岗位职责的变化，以及岗位技能要求的提升。三是建设高水平双师队伍，传承发扬教育家精神，引导职业院校建设师德师风制度体系和长效机制；加大教师培训力度，完善教师企业实践制度，通过定期组织教师培训、开展教学研讨等方式，帮助教师更新教育理念、掌握先进的教学方法和技术手段，大力提高教师教育教学能力、专业实践能力；创新企业人员聘用机制，推动企业工程技术人员、高技能人才和职业学校教师双向流动，打造高水平结构化教师教学创新团队。四是开发优质新形态教材，将真实生产项目、典型工作任务、工程实践案例作为独立的模块。开发活页式教材，及时纳入行业的新知识和技术标准，保持教材的时效性和先进性；基于专业数字资源，开发数字教材，利用动画、视频、3D模型等多媒体资源，直观展示生产流程、设备操作等复杂内容，提高学生的学习兴趣和理解能力。以职业岗位上的典型工作任务为核心，对工作任务进行细化分解，引入企业操作手册、培训手册等，开发工作手册式教材。五是建设产教融合实训基地，围绕本区域优势产业和特色产业领域，构建“三类”产教融合实践平台体系。整合园区、企业、学校资源，建设一批集实践教学、社会培训、技能大赛集训、真实生产和技术服务功能为一体的公共实践中心。校企合作打造服务学生实习实训、企业员工培训、产品中试、工艺改进、技术研发的高水平专业化产教融合实训基地。利用5G+、人工智能、大数据等技术，建设数字远程实训平台、虚拟仿真实训基地等，将岗位场景转化为教学场景，解决实验教学存在的高消耗、高成本、高危险、高污染和综合性强、无法实现等难题。

（六）以职教出海彰显助力构建人类命运共同体之实

在构建人类命运共同体的伟大征程中，职教出海发挥着不可替代的作用。一方面，职业教育应聚焦服务国家外交大局和促进国际产能合作，满足海外中资企业的人力资源需求，与“走出去”中国企业开展紧密合作，依托培训中心、鲁班工坊等海外职业教育培训平台和办学点建设，共同建设国际化专业、开展师资培训，培养“走出去”中资企业急需的本土技术技能人才；探索“中文+

中国知网　https://www.cnki.net

职业教育”项目，建设纳入“一带一路”沿线国家国民教育体系或国家职业资格框架体系的专业标准、课程标准，研制“中文+职业技能”模块化课程体系，构建国际化人才培养质量认证体系，探索国际化人才培养模式，培养大批高素质技术技能人才。另一方面，职业教育应加强与国际职业教育机构、企业和组织建立紧密的合作关系，积极引入境外优质职业教育资源，开展国际学术交流，联合建设高水平国际化实验室、国际学术交流中心等，不断提升自身的教育质量和国际竞争力。

（责任编辑：古光甫）

参考文献：

[1]和　震,王羽菲.职业教育教学行动论：基本意涵与实践指向[J].清华大学教育研究,2024,45(04):82-91.

[2]董照星,罗生全.“双师型”教师的现代化理念及发展路径[J].中国教育学刊,2024,(10):73-78.

[3]祁占勇,吴仕韬.职业教育强国建设：内涵要义、多重逻辑与推进路径[J].西南大学学报(社会科学版),2024,50(01):165-176.

[4]周建松.系统构建立德树人德技并修人才培养体系[N].中国教育报,2021-11-16(5).

[5]苏刚刚,冯用军.深入推进“三融”战略加快建设教育强国——“‘三融’战略与教育强国建设国际学术研讨会”综述[J].职业技术教育,2024,45(33):56-61.

[6]史少杰,郭　静.教育、科技、人才一体化发展视角下职业教育高质量发展的战略任务与基本路径[J].现代教育管理,2024,(03):118-128.

[7]教育部职业教育发展中心.中国职业教育发展报告[R].2024年世界职业技术教育发展大会,天津:2024.11.

[8]南　海.现阶段我国现代职业教育体系建设的行动指南——《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》内容解读[J].江苏高职教育,2023,23(03):34-41.

[9]匡　瑛.走出误区：深化我国现代职业教育体系建设改革的认识与行动[J].南京师大学报(社会科学版),2023,(03):28-40.

[10]陆小兵,陈妍霏,钱小龙.高等教育数字化转型赋能新质生产力：关键要素、理论逻辑与实践路径[J].高校教育管理,2024,18(06):14-21+42.

[11]高　鸿.抓好“五金”新基建，以“小切口”推动大改革[J].职业技术教育,2024,45(33):15-16.

[12]刘　斌,邹吉权,刘晓梅.“新维度”高质量实施“新双高”建设[J].天津职业大学学报,2024,33(06):3-7+13.

[13]胡　澎,雷宏振,许世杰.职业教育赋能新质生产力：价值旨归与困阻纾解[J].中国职业技术教育,2024,(21):39-50.

The New Trends in Vocational Education Development from the Perspective of Changes in the Orientation of the "New Double-high"

Liu Bin　Zou Jiquan　Zhou Jingjing

（Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China）

Abstract: Guided by "high level of educational capacity and high quality of industry-education integration", the "New Double-high" has highly condensed the strategic tasks and key work of vocational education reform and development, and profoundly revealed the future trends of vocational education. In the new stage of development, vocational education faces six major new tasks: First, deeply implementing the fundamental task of building moral and cultivating people to shape core values; Second, actively participating in the construction of education power to contribute to integrated development of education, science and technology and talents; Third, vigorously constructing the modern vocational education system and continuously deepening industry-education integration; Fourth, exploring the digital education systematically to empower the development of new quality productivity; Fifth, strengthening the "five golds" new infrastructure for vocational education to improve its adaptability; Finally, implementing the "five orientations" of vocational education to focus on enhancing international competitiveness. As a result, it is proposed that vocational education should demonstrate its role in building an educationally strong nation through its "contribution degree" and "supporting force," showcase its responsibility to serve economic and social development through high-level educational capacity, exhibit its ability to empower the development of new quality productivity through professional upgrading, emphasize the educational essence of vocational education through comprehensive development of students, demonstrate the adaptability of vocational education through new infrastructure, and highlight its practical contributions to helping build a community with a shared future for mankind through vocational education going global. These represent the new trends in the development of vocational education.

Key words: "New Double-high"; "Double-high Plan"; higher vocational education; industry-education integration; educational capacity

中国知网　https://www.cnki.net

从十九大报告看我国职业教育发展的方向和重点

刘　斌　邹吉权
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：十九大报告提出中国特色社会主义进入新时代，我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾；提出要优先发展教育事业，加快推进教育现代化，完善职业教育和培训体系，深化产教融合、校企合作。自1996年《中华人民共和国职业教育法》颁布实施以来，我国职业教育经过20年快速发展，取得了辉煌成就，但职业教育仍然是教育中的短板，不平衡、不充分的矛盾仍然存在。如何以十九大精神为指引，加快推进职业教育现代化，全面完成新时代职业教育的新任务，是职业教育战线当前和今后一个时期的重大课题。

关键词：十九大；职业教育；新时代；新任务
中图分类号：G710　　文献标识码：A　　文章编号：1008-8415[2017]-05-0003-08

十九大报告指出中国特色社会主义进入新时代，我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。提出要优先发展教育事业，加快推进教育现代化，完善职业教育和培训体系，深化产教融合、校企合作。相比十七大“大力发展职业教育”和十八大“加快发展现代职业教育”，十九大对职业教育的提法有了重大改变，这一提法与新时代中国特色社会主义的主要矛盾高度契合。

一、我国职业教育已经进入新时代

自1996年《中华人民共和国职业教育法》颁布实施以来，经过20年的努力，我国职业教育改革发展在抢抓机遇和应对挑战的改革实践中不断创新，取得了令人瞩目的重大成就，实现了从规模发展向内涵发展的重大转变，标志着我国职业教育进入中国特色社会主义新时代，主要体现在以下几个方面。

一是关于职业教育的法律法规更加完善。1996年出台《职业教育法》，2002年国务院出台《关于大力推进职业教育改革和发展的决定》，2005年国务院出台《关于大力发展职业教育的决定》，2010年中共中央、国务院颁布《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010~2020年）》，2014年国务院出台《关于加快发展现代职业教育的决定》。一系列重大政策的出台，把职业教育摆在前所未有的高度，加快了职业教育现代化进程，职业教育进入黄金发展期。

二是我国建成了世界上规模最大的职业教育体系。2016年，全国共有1.09万所中等职业学校，中等职业教育招生593.34万人，在校生达1599.01万人，共开设近千个专业、近10万个专业点，基本覆盖国民经济各领域。2016年，高职高专院校共有1359所，招生343.2万人，在校生1082.9万人。中职、高职已分别占我国高中阶段教育和普通高等教育的“半壁江山”，建成了世界上规模最大的职业教育体系。

三是走出了一条中国特色职业教育发展道路。经过20年的发展，职业教育不断深化改革，以立德树人为根本，以服务为宗旨，以就业为导向，坚持产教融合、校企合作，坚持工学结合、德技并修，走出了中国特色社会主义职业教育发展道路。见表1。

收稿日期：2017-10-22
项目来源：该文为天津市教育科学“十三五”规划重点课题“天津高职院校产教融合育人机制研究”（VE1046，主持人：刘斌）；天津市教育科学“十三五”规划课题“职业教育产教融合的国际比较研究”（VE3135，主持人：邹吉权）的研究成果。
作者简介：刘　斌（1961-），男，天津市人，天津职业大学校长，教授，博士。

中国知网　https://www.cnki.net

表1　我国职业教育改革发展脉络

序号	内容	发展脉络
1	国家政策变化	大力发展→加快推进→体系完善
2	层次结构变化	中职重点→中高职并重
3	办学定位变化	促进经济社会发展→为经济结构调整和技术进步服务,促进就业→以服务为宗旨,以就业为导向→以立德树人为根本,以服务发展为宗旨,以促进就业为导向
4	培养目标变化	实用人才→技能型人才→技术技能人才
5	培养模式变化	加强实践教学→订单式培养→校企一体化育人
6	职教体系变化	参照高中、本科→中、高、本、硕衔接的现代职教体系
7	行企角色变化	产教结合→产学研结合→校企合作、工学结合→产教融合、校企合作、工学结合、德技并修
8	校企合作方式变化	松散校企合作→职教集团→行业指导制度化
9	办学要求变化	规模扩张→内涵建设→中国特色世界水平院校建设 办学条件建设→示范校建设→优质校建设 粗放管理→精细管理→院校治理
10	服务对象变化	学历教育→学历教育与职业培训并重

二、新时代下我国职业教育存在的主要矛盾

然而，我国职业教育仍然是教育中的短板，发展不平衡不充分问题依然存在，矛盾突出表现在以下几个方面。

一是职业教育区域发展不平衡。主要表现在欠发达地区职业教育资源不足；中西部人均占有职业教育资源的规模远低于东部地区，中西部地区职业教育资源与社会发展实际需求不相符；欠发达地区职业院校主要集中在省会城市，个别地市级城市甚至没有职业院校；中西部地区职业院校的办学条件、师资水平和生源素质等方面更是不可与东部地区同日而语。

二是职业教育与产业结构不协调。经济转型期产业结构升级要求职业教育大规模高质量发展、调整职业教育层次与专业设置，以职业性、技术性为导向强化学生的知识、技能和态度的培养。近年来，虽然产业结构升级对人才的需求已经通过市场传导机制促进了职业教育的专业设置以及人才培养模式改革，但职业教育和实体经济脱节现象普遍存在，职业院校尚未真正成为面向市场办学的主体单位，职业教育与产业结构间的协调度还有待提升。

三是职业教育的层次不系统。从2013年开始，国家通过引导部分地方普通本科高校向应用型转变，使之成为职业教育的本科层次，系统构建从中职、专科、本科到专业学位研究生的人才培养体系，以此来提高职业教育的吸引力，构建职业教育与普通教育之间横向沟通、纵向衔接的“立交桥”，打通职业教育缺少高层次学历教育的断头路。职业教育应紧跟产业发展而全面升级并逐步系统化，使学生能够根据自身意愿灵活地在职业教育与其他类型教育之间、大专层次高等职业教育与本科层次高等教育之间实现升学和转学。此举，不仅是实现从制造大国向制造强国转变的需要、职业教育发展内在规律性需要，更是满足个体发展的需要，是解决就业结构性矛盾的重要途径，是构建现代职业教育体系的必由之路。

四是职业教育质量有待提高。职业教育的质量直接影响劳动者的素质，影响职业教育的声誉和吸引力，提高人才培养质量是职业教育的核心任务。目前，部分职业院校在教育质量提升中还存在着诸如培养目标出现偏差，培养方向偏离市场化，全面深化职业教育供给侧改革不彻底，落实“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念的办法不多，现代职业学校制度建设还有待完善等瓶颈问题亟需解决。随着经济社会逐步过渡到“提优增质”的发展新阶段，与经济社会发展联系最为密切的职业教育为顺应这一发展变化，也应当调整姿态，通过增幅换挡、结构优化、动力转换，从而实现自身质量的提高。

五是社会认同度偏低、保障水平偏低、管理体制不顺畅。全社会对职业教育的重视程度逐步提高，但大力发展职业教育的步伐还需更快、落实职业教育发展的政策文件的途径还应更广、力度还应更强。比如，对高职生生均拨款仍低于本科生生均拨款，高职院校在资源的获取、项目指标的分配等方面，与普通高校相比，还处于弱势地位。在管理体制方面，教育主管部门比较偏重职业教育的学历教育，而劳动主管部门比较偏重职业培训。实际上，职业教育既包含学历教育也包含职业培训，这需要在国家层面进行协调。同

中国知网　https://www.cnki.net

时还存在着现代职业教育体系建设“偏国民学校教育体系建设，忽视终身教育体系建设”的现象。

三、完善职业教育和培训体系，加快推进职业教育现代化

根据我国职业教育新时代特点和主要矛盾，职业院校必须要通过深化改革，明确办学定位，构建起符合时代发展的现代学校治理体系，使高职院校内外利益相关者在平等和相对自主的基础上共同参与办学，形成与区域经济社会发展良性互动的高职院校办学新模式、新机制。

到2020年建成现代职教体系，是2010年教育规划纲要中提出的战略目标。7年来，围绕这一战略目标而进行的系统培养人才的改革探索，取得了阶段性的成果。教育部等六部门制定了《现代职业教育体系建设规划》，在这份顶层设计中，系统构建了从中职到研究生的培养体系，打破技术技能人才成长“天花板”。按照这一设计思路，各地纷纷进行试点探索，江苏、湖北、广西、甘肃等省完善 5 年贯通培养的高等职业教育制度，推进中职、高职、应用技术型本科教育分级培养或联合培养。

同时，面对国家终身教育体系构建的新要求，职业院校要积极应对、主动作为，成为国家终身教育体系和学习型社会建设的一支重要力量。以行业、企业对技术技能人才需求为导向，开发职业技术类培训课程资源库，推进优质培训资源跨区域、跨行业共建共享，为行业企业提供多层次、多类型、立足岗位需求的技术技能教育培训服务和学历继续教育。开辟多种入学渠道，推进职业资格证书教育和企业职工教育、岗位培训并举，建立合理的衔接机制。将职业教育体系与终身教育体系有机融合、协同发展、同步构建，中高职相结合、职业教育与普通教育相衔接、职业教育与行业企业的技术应用和创新相衔接、职业教育和终身教育相结合，通过制度创新、政策配套和体制、机制改革，建立完备的政策法规和社会保障体系，形成技术技能人才教育培养、岗位成才的系统工程，逐步形成与经济社会总体发展相适应的格局，促进经济社会的可持续发展。

四、新时代我国职业教育的新任务

1. 深化产教融合、校企合作，坚持工学结合、德技并修

产教融合是职业教育的本质要求，是现代职业教育发展的重要方向，是构建现代职业教育体系的关键，是建设中国特色、世界水平职业教育的核心。职业教育是与产业发展关联度最高的一种教育类型，产业与教育的关系源自职业教育的属性。从国外职业教育发达国家的先进经验来看，成功的职业教育模式通常基于产业与教育的良好合作关系。然而，良好产教关系的模式并非固化的，也会随着社会变革、经济发展、产业转型等因素的变化而不断做出调整。产教融合的内涵和形式在此过程中不断地调整、丰富与创新。必须以职业教育的本质属性，即职业性、技术性和终身性为逻辑起点，深入研究产教融合的内涵，从专业结构与产业结构精准对接，教学过程与生产过程深度融合，学历教育与在职培训并重，为行业企业提供技术服务和技术开发等多方面，探索深化产教融合的模式和实现路径。

（1）履行政府宏观指导职能。社会主义市场经济的发展和国家治理体系的建设是一个长期的过程。宏观社会背景决定了职业教育的公益属性，运用“外力”推动产教融合的深化与发展。首先，通过立法的方式明确产教融合主体责任，构建教育、产业、财政多层面的国家法律政策框架，为职业教育产教融合制度的实施提供法律保障。其次，做好统筹规划、合理部署、服务、管理监督、经费保障等系列工作。逐步引导产教融合走向“内部驱动”，随之减少政府的直接参与，实现职业教育的现代化治理。

（2）发挥职业院校创新能力。职业院校在职业教育中的主体地位是毋庸置疑的，产教融合的意愿也更为迫切，在产教融合、校企合作过程中能够积极承担、主动推进。然而，要想深化产教融合，职业院校应拓宽思路，提高自主创新能力。首先，深化体制改革，主动接洽社会力量以资本、知识、技术、管理等要素参与职业教育人才培养，探索混合所有制、股份制办学。其次，在专业设置、人才培养方案制定、课程设置等方

中国知网　https://www.cnki.net

面积极与行业企业沟通合作，实现职业教育的“精准供给”，培养真正适应区域产业发展的人才。再者，职业院校要充分发挥科研服务职能，瞄准区域行业企业，特别是中小微企业，面向企业实际、整合科研资源，在技术研发、技术创新、人才培训、共建共享实训基地等方面实现与产业的深度合作。

（3）确立产业在职业教育的主体地位。行业企业在职业教育中的非公益性行为常常使人淡化其在职业教育中的主体地位。首先，通过产教融合国家法律政策框架的构建，确立产业在职业教育中的主体地位，允许企业在产教融合中的非公益性行为，只要其结果符合职业教育发展规律，即应受到保护与支持。其次，发挥行业协会在产教融合中的重要作用，简单的线性校企合作关系无法走向真正的产教融合。通过行业协会提供平台，能够保证产教双方的充分沟通，降低企业参与教育公益行为的风险并约束企业行为，通过行业协会对产教融合的作用，实现政府职能转变，提高社会治理社会化、专业化水平。再者，行业协会承担行业标准制定、发布产业信息、开展职业资格考核与科技成果鉴定、与职业院校协作开展相关培训，完善职业培训体系。

2．面向产业转型升级，培养大批知识型、技能型、创新型人才

职业教育的使命是面向产业培养技术技能人才。高职教育人才培养目标定位是培养产业转型升级和企业技术创新所需要的发展型、复合型、创新型技术技能人才，而中等职业教育主要是培养面向生产、管理、建设、服务一线的高素质劳动者和技能型人才。高职教育更强调技术和智力技能，强调技术应用和创新，而中职教育更强调按标准、规范操作的熟练程度，强调技能实践。

党的十九大报告提出建设现代化经济体系，加快建设制造强国，加快发展现代制造业和现代服务业，促进我国产业迈向全球价值链中高端，培育若干世界级先进制造业集群，这就需要建设一支知识型、技能型、创新型劳动者大军，而职业教育正是培养这支产业大军的主体。

按照十九大报告描绘的蓝图，互联网、大数据、人工智能将与实体经济深度融合，智能信息技术将得到快速发展，这种产业转型升级和技术进步，将会深刻改变岗位需求和职业结构。据预测，未来 30 年，能源技术、生命科学、健康服务、教育服务、移动技术、网络零售及社交媒体、高端机械及零部件、现代物流、航空服务等九大行业将会成为中国经济增长的支柱产业。随着产业的转型升级和技术进步，许多常规性工作将被机器人取代，常规性体力劳动者（如金属制造）和常规性脑力劳动者（如银行职员）的需求将会显著下降，而非常规工作劳动者的需求将会显著增加（如管理咨询师、商业分析师）。

职业教育必须主动适应新时代经济现代化的需要，面向现代化，面向世界，面向 2035 和 2050，深化供给侧改革，为新时代中国特色社会主义现代化建设培养知识型、技能型、创新型劳动者大军。

3. 为国家乡村振兴战略提供强大的人才保障

党的十九大报告指出：“实施乡村振兴战略”，“培养造就一支懂农业、爱农村、爱农民的‘三农’工作队伍”。要实施乡村振兴战略，需要通过职业教育大力培养新型职业农民，全面提升农村人力资本，推进农业农村实现现代化。

（1）加大政策支持力度，创造良好发展环境。要确保政府在新型职业农民培养中的主体地位、主体责任、主导作用，进一步加大政策支持力度，制定科学的惠农政策，为农村职业教育快速发展奠定坚实的基础。一是要完善农村职业教育法律保障制度和配套扶植机制，增强对农村职业教育的管理力度和法律保障，积极推进相关法律法规的颁布、执行、落实；要因地制宜地制定创业资助、投资补贴等方面的政策，尤其是要健全涉农专业学生到农村从业以及回乡创业的新型职业农民的扶持政策。二是增加农业职业教育和培训经费投入。要明确各级政府及其职能部门在农民职业教育和培训中的职责和财政投入比例，同时坚持多形式、多渠道的方针，充分发挥企业、行业、社会力量举办农民职业教育的积极性，逐步形成以政府投资办学为主体、各种办学形式共同发展的良好格局。

中国知网 https://www.cnki.net

（2）完善职业教育体系，努力培养新型职业农民。新型职业农民是指以农业为职业、具有一定的专业技能、收入主要来自农业的现代农业从业者，主要包括生产经营型、专业技能型和社会服务型职业农民。要实施国家乡村振兴战略，关键就是要培养适应我国现代农业发展的新型职业农民。要以我国多元化的农业现代化模式为依据，进一步完善职业教育体系，努力培养满足不同发展需求的农业从业人员。

一是要树立大职业教育观，实现终身教育。要将在职培训、继续教育等都纳入职业教育的范畴，使得城市职业教育与农村职业教育有机融通、中等职业教育与高等职业教育科学衔接、职业培训与学历教育互相补充的完善的现代职业教育体系，为农民更好地接受职业教育提供渠道，为农民成长成才搭建立交桥，以满足现代农业的不断发展对于农民知识和技能提出的新要求。二是要提高农村职业教育办学质量。农村职业教育要进一步明确学校办学定位，构建与现代农业发展相适应的课程体系，紧紧围绕农村劳动力的就业需求和当地农业发展特色调整专业设置，在教学中强化对学生现代农业技术的训练，加强对学生现代农业经营能力的培养，注重对学生现代农业意识的养成，真正提高农业职业院校自主发展能力和办学质量，从而提升农业从业人员的综合素质。三是增强城市职业教育服务“三农”意识。仅仅依靠农业职业教育不能完全满足现代农业发展的现实需要，需要城市职业教育增强服务“三农”的意识，按照“工业反哺农业、城市支持农村”的要求，坚持“以工促农、以城带乡、工农互惠”的原则，加强与农村各级政府、职能部门及企业的合作，积极建立职教城乡互动平台，有效发挥城市职业教育产教融合的优势，通过集团化办学、建立分校等形式带动农业职业教育的发展。

（3）加强职业教育培训，加快推进农业农村现代化。当前，在现代农业高科技化、产业化发展的背景下，进一步加强职业教育培训，培养大量技术技能人才作为推进农业农村现代化的智力支撑，是职业教育的重要任务。一是要结合区域发展和产业类型，选取适合的培训模式。如对于重要粮食生产区的中部地区，应以政府引导为主，加大在农业新方法、新技术等方面的培训投入，同时加大力度与农业龙头企业和农业科研院进行合作，制定出政府与企业合作的农民培训模式；对于畜牧业和农产品加工主要基地的东北地区，要紧紧围绕农业机械技术来开展培训，加强培训内容的实用性，扩大机械化服务的范围，推进农业生产经营的规模化发展。二是要根据培训对象实际需求，选择相应的培训模式。如对于进入城市务工的初、高中毕业生，不仅要对其进行技术技能培训，还应该给予其就业或者继续升学的自主选择；对于非农就业者，主要对其进行初级技能、专项技术等方面的就业培训。

4. 面向“一带一路”国家战略，推进职业教育国际化

党的十九大报告提出：“要积极促进‘一带一路’国际合作，努力实现政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通、民心相通，打造国际合作新平台，增添共同发展新动力。”职业教育如何更好服务“一带一路”国家战略，坚持请进来和走出去相结合，最终实现人才输出、技术输出、文化输出、教育理念输出，将是我国职业教育提升国际化水平的重大机遇。

职业教育更好服务“一带一路”国家战略，必须紧跟产业走出去的步伐，要与国家经济利益海外存在相伴随。随着中国高铁、电信、有色金属、石油化工以及基础设施装备走出去的步伐不断加快，国际产能合作日益深化，将需要大批具有国际视野的技术技能人才，为职业院校扩展国际空间、提升国际化水平提供难得机遇。正如前文所述，我国职业教育经过20多年快速发展，积累了丰富的办学经验，走出了具有中国特色社会主义职业教育发展之路，在职业教育的国际舞台上已经占有一席之地，职业院校要以“一带一路”重大项目和重点工程为依托，通过鲁班工坊等多形式、多渠道在“一带一路”沿线国家设立分校和培训机构，以满足项目工程建设和后期运行对技术技能人才的持续需求。

当然，职业教育服务“一带一路”国家战略是一项全新的任务，既充满机遇，也面临挑战，如职业教育社会认可度不高，质量有待提升，互联互通

中国知网 https://www.cnki.net

合作的学历互认，招收留学生的国家资助名额短缺，境外办学审批和资金投入程序复杂等诸多困难。职业院校要想在服务“一带一路”国家战略重有大作为，必须做好顶层设计，将自己放到更开放的市场中谋划长远发展，创新与沿线国家共鸣的商业模式，开展沿线国家产教协同规划对接、技术技能标准、专业建设标准等对接研究等。

5. 大力弘扬企业家精神、劳模精神和工匠精神

党的十九大报告指出：“激发和保护企业家精神”，“弘扬劳模精神和工匠精神，营造劳动光荣的社会风尚和精益求精的敬业风气。”企业家精神、劳模精神、工匠精神这三种精神彰显了社会主义核心价值观的深刻内涵，更为培养知识型、技能型、创新型劳动者大军的职业教育进一步确立了人才培养目标，指明了前进方向。

（1）保护企业家精神，激发企业深度参与校企合作。《中共中央国务院关于营造企业家健康成长环境　弘扬优秀企业家精神　更好发挥企业家作用的意见》（中发〔2017〕25 号）用三个“弘扬”诠释了经济新常态下企业家精神的重要内涵：爱国敬业、遵纪守法、艰苦奋斗、创新发展、专注品质、追求卓越、履行责任、敢于担当、服务社会。正是这种优秀企业家精神造就了具有核心竞争力的知名企业，创造了各行各业的工作岗位，促进了经济社会发展。在尊重和激励企业家干事创业的社会氛围下，职业院校可以通过定期邀请合作密切的知名企业家进校园做讲座和培训等途径，积极建设弘扬和学习企业家精神的校园文化，激发和保护企业家精神，增强企业服务社会的责任感与使命感，使得企业积极参与职业教育校企合作，深度参与学校育人全过程，才能更好地发挥企业家示范带动作用，有利于劳模精神的发扬，有利于工匠精神的传承，有效推动建设知识型、技能型、创新型劳动者大军，加快深化供给侧结构性改革。

（2）弘扬劳模精神，引领职业教育立德树人。劳模精神是劳动模范在各自的职业岗位中、在点滴的日常工作中、在每天的辛勤劳动中所表现出的脚踏实地、爱岗敬业、不怕困难、任劳任怨、奋发向上、乐于奉献等传统美德，升华了劳动者热爱劳动的朴素情感，为社会各界广大劳动者树立了学习的榜样，引领广大人民群众积极投身于新时代中国特色社会主义伟大事业的建设。作为培养生产、建设、管理、服务一线劳动者的职业院校要大力弘扬劳模精神，在校园中营造劳动光荣的风尚，形成向劳模学习的氛围，崇尚争当劳模的风气，一方面，要加强德育工作，注重发挥“两课”即马克思主义理论课和思想政治教育课的主渠道作用，增强对学生的思想品德教育，以新时代的劳模精神引领学生树立正确的劳动观念，强化学生热爱劳动的思想情感，坚定学生劳动奉献的理想信念；另一方面，要鼓励学生积极参与生产劳动实践活动，让学生在实践中确立正确的劳动观、世界观、人生观、价值观，将个人的价值追求融入到推动国家社会发展的事业中，融入到努力实现中国梦的奋斗中，在今后的平凡的工作岗位中创造出不平凡的业绩。

（3）传承工匠精神，增强职业院校职业素质教育。2016-2017 年，工匠精神已经连续两年被写入《政府工作报告》中，这次又写进了十九大报告，这体现了党和国家对工匠精神培养的高度关注，反映了《中国制造 2025》战略对于具有工匠精神的技术技能型人才的迫切需求。职业院校要进一步增强职业素质教育，将工匠精神作为学生职业素质训练和职业能力培养的核心文化，将培养工匠精神和提高职业技能有机融合，构建科学、完善、有效的工匠精神培养机制，在人才培养方案中融入工匠精神要素，在日常课堂教学中融入工匠精神内涵，邀请行业企业的能工巧匠到学校进行技能展示和讲座，营造精益求精的校园职业文化，积极参与现代学徒制试点工作，深化校企合作使学生在实训中将工匠精神内化于心，外化于行。大力传承工匠精神，就是要培养学生尊师重教的学习精神、精益求精的职业作风、爱岗敬业的职业态度、积极创新的职业理想、知行合一的实践精神，从而有效提高职业教育人才培养质量，真正提升劳动者整体职业素质，大力推进民族精神的发扬与传承，努力践行社会主义核心价值观，使“中国制造”更多走向“优质制造”“精品制造”，全力促进新时代经济社会发展。

中国知网　https://www.cnki.net

6. 以就业为导向，学历教育和职业培训并重，大力倡导终身教育和终身学习

科学技术的迅猛发展使其成为决定生产力的核心要素。在强国战略目标引导下，我国的产业结构不断调整，科学技术广泛运用，新技术、新工艺、新方法、新设备、新材料、新产品、新服务不断涌现，这些新科技的应用对企业员工的理论和技能都提出新的要求，倒逼着企业员工进行终身学习和参加技能培训。同时，企业员工为了自身职业的更好发展，转岗、晋升成为常态，也需要终身学习不断更新知识和提升技能。在社会需求和自身发展双重因素作用下，大量企业员工需要进行职业培训、终身学习，以适应科技发展和产业升级需求。作为职业院校必须密切关注产业转型升级和技术创新的动态，积极深入到行业、产业进行调研，开展各种技能培训和技能提升，对接企业员工终身学习和技能提升需求，不仅为企业在职员工提供及时、优质培训，也为终身学习者提供各种岗前培训、转岗培训、就业培训、创业培训以及农村剩余劳动力转移培训。从产业结构的供给侧解决劳动者就业的各种社会问题，解决产业企业高素质技能技术人才的需求，可以说职业培训可实现劳动者终身学习和企业高技能人才需求的双赢。

据人民日报消息，“2012-2016 五年间城镇新增就业人数年均超过 1300 万人”“2017 年 1 ~ 9 月城镇新增就业累计 1097 万人”，近几年我国每年大中专毕业生就业人数就接近 1000 万，这部分人员的就业问题关乎着千家万户的生计，关乎国家的长治久安，更关乎我党的执政能力。因此，十九大报告提出：“就业是最大的民生。要坚持就业优先战略和积极就业政策，实现更高质量和更充分就业。大规模开展职业技能培训，注重解决结构性就业矛盾，鼓励创业带动就业。”报告不仅将就业工作提升到民生高度，而且给就业工作提供了一剂良方——“大规模开展职业技能培训”。这既是提高就业人员技能的举措，另一个角度看也是解决就业结构性矛盾、提高国民素质的举措。那么如何更高质量和更充分就业呢？职业教育者和职业院校确确实实需要认真思考：国家就业工作的结构性矛盾是什么？企业需要的教育和培训是什么？员工需要的技能技术是什么？只有从民生的高度、从就业的结构考虑才能找到答案。在我国，职业教育是国民教育的重要组成部分，职业院校是开展职业培训的重要单位。因此，从职业教育角度讲，就是要加快与产业融合，让职业教育适合产业发展和产业结构调整的需要，培养出与产业结构需求相一致的人才；从职业院校角度讲，就是要开展多种形式的职业培训，培养更高水平的技能技术人才，让其适应创新型社会需求。只有教育与产业融合、人才与技能匹配，就业与需求符合，劳动者才能就业稳定、收入稳定，民生问题才能得到较好解决。

7. 加强思想政治教育，践行社会主义核心价值观，促进青年健康成长

习近平同志在党的十九大上的报告，作出了“中国特色社会主义进入新时代”的重大战略判断，提出了“培养担当民族复兴大任的时代新人”的重大战略命题，还十分突出地对青年接力奋斗实现中国梦提出重大战略要求。这些重要论述，昭示着一个承载历史、贯穿当下、引领未来的深刻论断——伟大的新时代，召唤堪当大任的新青年！

现在高校学生大多是“95 后”，高职院校的学生作为高校群体的重要组成部分，同样属于时代新人，国家的未来属于他们。新时代是成就青年梦想的时代，高职学生需要从思想上坚定理想信念，从行动上践行社会主义核心价值观，努力学习专业知识，掌握实践本领，争取早日成为报效祖国的建设者。因此，高职院校要以更高的标准、更严的要求做好各项工作，而当前首要的工作就是进一步加强和改进学校政治思想工作。

将社会主义核心价值观教育融入高职教育全过程。高职院校学生思想政治教育工作是高职教育教学工作的重要组成部分。以学生为中心、时时刻刻关心学生、全身心服务学生，努力提升学生思想政治觉悟、道德和文化的品质与素养，把学生培养成为新时代的建设者和生力军是高职院校思想政治教育工作的根本宗旨和立足点。

将社会主义核心价值观融入职业教育，贯穿于教育教学过程的各个环节中，能够潜移默化地

中国知网 https://www.cnki.net

对学生的思想和行为起到规范引导作用，树立正确的理想信念，从本质上领悟社会主义核心价值观的真正内涵，自发、主动地去践行社会主义核心价值观。

将新时代中国特色社会主义思想作为职业院校学生思想政治教育的重要内容。当前做好学生思想政治教育工作，就是要引导广大学生理解、领会、掌握新时代中国特色社会主义思想的理论精髓，在广大学生当中深入开展中国梦教育实践活动，激活学生的理想追求，让每个学生在逐梦旅程当中经磨练、受教育、长才干、作贡献。培养学生努力练就更敏锐的眼光思维、更宽广的格局视野、更高强的能力素质、更自信的胸怀气度、更坚毅的意志品格，主动适应创新、协调、绿色、开放、共享发展的新需要，主动适应新时代中国特色社会主义发展大势。

[责任编辑：张强]

参考文献：

[1]刘延东.加快推进职业教育现代化开创我国现代职业教育新局面[N],中国教育报,2017-1 -24(1).

[2]葛道凯.中国职业教育二十年政策走向[J].课程·教材·教法,2015(12):3-13,81.

[3]欧阳河.展望2030:全面实现职业教育现代化[J].教育与职业,2017(15):8-14.

[4]教育部.2016年教育统计数据[EB/OL].http://www.moe.gov.cn/s78/A03/moe_560/jytjsj_2016/,2017 .

[5]覃　川.破解“不平衡不充分”,高职院校怎么做[N].光明日报,2017-11-02(14).

[6]董仁忠.高等职业教育发展中的五个不公平问题[J].职业技术教育,2012(24).

[7]苏丽锋.职业教育发展对产业结构升级的支撑作用分析[J].高等工程教育研究,2017(3).

[8]黄达人,王旭初.关于现代职业教育体系的一些思考[J].中国职业技术教育,2016(10).

[9]朱德全,徐小容.协同共治与携手共赢:职业教育质量治理的生成逻辑与推进机制[J].西南大学学报,2016(4).

[10]喻　涛.现代化视野下的农村职业教育可持续发展[J].继续教育研究,2017(5):41-43.

[11]韩宏莉,刘文焕.现代农业视角下农民职业教育的困境与出路[J].职业技术教育,2011(10):53-56.

[12]唐智彬.论农业现代化、新型职业农民培养与农村职业教育改革创新[J].职教通讯,2015(13):30-35.

[13]盛子强.中国特色新型农业现代化与农村职业教育发展策略[J].中国职业技术教育,2015(24):40-46.

[14]乔平平.基于新型职业农民培育的农村职业教育行动策略[J].教育理论与实践,2016(33):23-25.

[15]陈　衍,徐梦佳,郭　珊,柳玖玲.面向2030年我国农村人口发展与职业教育现代化刍议[J].河北师范大学学报,2017(5):20-25.

[16]刘　红.“一带一路”战略背景下我国职业教育发展机遇、挑战与路径[J].中国职业技术教育,2017(4):20-23.

The Orientation and Emphasis of Vocational Education Development in China in the Report of the 19th National Congress of CPC

LIU Bin, ZOU Ji-quan

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The report of the 19th National Congress of the Communist Party of China put forward that as socialism with Chinese characteristics has entered a new era, the principal contradiction facing Chinese society has evolved , what we now face is the contradiction between unbalanced and inadequate development and the people´s ever-growing needs for a better life. We must give priority to education, speed up its modernization, improve the system of vocational education and training system, and promote integration between industry and education and cooperation between enterprises and colleges. Since the promulgation and implementation of the "Law of the People´s Republic of China on Vocational Education" in 1996, vocational education has achieved brilliant achievements after 20 years of rapid development. However, with unbalanced and inadequate contradictions, it is still a short slab in education. How to speed up the modernization of vocational education and accomplish the new task in the new era of vocational education in an all-round way under the guidance of the 19th National Congress of the CPC is a major issue for vocational education current and future.

Key words: the 19th National Congress of the CPC; vocational education; new era; new missions

中国知网　https://www.cnki.net

DOI:10.14147/j.cnki.51-1396/tg.2019.06.001

冶炼与铸锭

大型钢锭凝固模拟计算中发热剂的优化处理

赵亚楠[1]　郭建政[2,3]

(1. 天津职业大学机电工程与自动化学院,天津 300410;
2. 深圳万泽中南研究院,深圳 518045; 3. 中南大学,湖南 410083)

摘要: 在大型钢锭的数值模拟计算过程中,发热剂模型不随钢锭收缩而变化,使数值模拟的温度场、缩孔缩松预测产生偏差。针对这一问题,以 ProCAST 为计算软件,建立可替代发热剂模型的数学模型,即钢锭的体积表面热,并以 96 t 金属模钢锭的传热凝固过程为研究对象,设置体积表面热参数与发热剂模型进行对比,得到完全凝固时间与实际情况相符的参数数据。

关键词: 发热剂; 钢锭; 冒口; 数值模拟; ProCAST
中图分类号: O242　　**文献标志码:** B

The Treatment of Exothermic Compound in Solidification Simulation of a Large Ingot Casting

Zhao Yanan, Guo Jianzheng

Abstract: In the process of numerical simulation of large ingots, the exothermic compound model does not change with the shrinkage of ingots, which makes the prediction of temperature field and shrinkage porosity deviate. In order to solve this problem, a mathematical model, that is, the volume surface heat of the ingot, which can replace the exothermic compound model has been established by using ProCAST as the calculation software, and the heat transfer and solidification process of the 96 t metal mold steel ingot has been taken as the research object. The volume surface thermal parameters have been compared with the exothermic compound model, and the parameter data which make the complete solidification time consistent with that in the actual situation have been obtained.

Key words: exothermic compound; steel ingot; riser; numerical simulation; ProCAST

钢锭在凝固过程中,会因体积收缩而产生缩孔缩松。为了提高钢锭的质量,保证钢锭锭身重量,冒口处钢液的凝固时间必需比锭身处的钢液凝固时间长,这样,才能在钢锭凝固收缩时及时得到冒口处钢液的补充,将缩孔转移到冒口中[1]。

要保证冒口处的钢液最后凝固,需要对冒口部位进行特殊保温处理,一是在冒口部位使用保温砖; 二是在冒口上方添加发热剂和覆盖剂。近年来,许多科研工作者[1-15]采用数值模拟方法研究钢锭的凝固过程,其中,针对不同的钢锭,解决了冒口的最佳高度、保温砖的合理厚度、发热剂的适宜添加量等科研问题。但在建立模型时,均忽略了一个基本问题: 在冒口上方添加发热剂进行模拟计算时,钢锭凝固过程中会发生收缩,而作为发热剂的模型材料无法随钢锭的收缩而发生相应的变形,见图 1,即发热剂无法与钢锭保持接触状态,燃烧后的发热剂所产生的保温作用也会发生变化,使计算结果与实际情况产生差异,进而影响对实际生产指导的合理性。

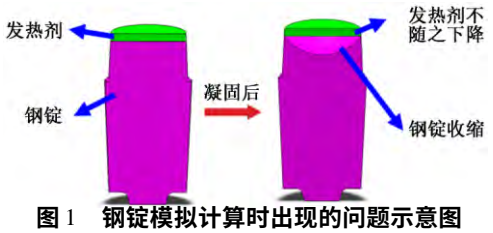


图 1　钢锭模拟计算时出现的问题示意图

Figure 1　Schematic diagram of problems occurred in the simulation calculation of steel ingot

本文基于铸造模拟软件 ProCAST,从三个方面开展研究: (1) 从热力学的角度分析发热剂模型与体积表面热之间的关系,探讨采用表面热代替发热剂模型的可行性。(2) 体积表面热参数包括界面换热系数和热流密度两部分,其具体数值需要进行模拟计算后确定,本文以 96 t 钢锭为研究对象,将 POROS 设置为 0,分别确定界面换热系数和热流密度两个参数的具体值。(3) 以此参数为基础,对 96 t 钢锭进行缩孔计算(即POROS =1),验证替代方案的准确性,为钢锭模拟计算时发热剂的处理提供具体可操作的方法,为进一步优化冒口发热工艺提供可靠的科学依据。

1　发热剂的数值模拟优化

ProCAST软件中设有独立的发热剂模型,输

收稿日期: 2019-05-31

作者简介: 赵亚楠(1986-),女,讲师,硕士,主要研究方向: 材料成型 CAE 及先进制造技术。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

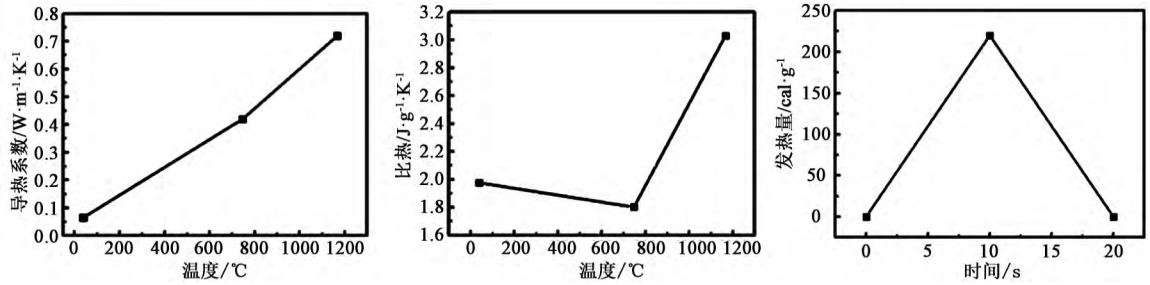


图 2　发热剂导热系数、比热和发热量随温度的变化图

Figure 2　Diagram of conductivity, specific heat, heat value of exothermic compound with temperature

入发热剂的热导率、密度、比热、引火温度、释放热量等相关参数，即可进行计算。发热剂模型对钢锭的主要作用有二：一是产生热量；二是进行保温。基于这两个主要作用，可以在软件中设置体积表面热来代替发热剂模型，计算公式为：

$$Q = flux + h(T - T_a)$$ [16]

式中，Q 是对钢锭表面产生的热量；$flux$ 代表钢锭实际吸收的发热剂热量；h 是钢锭上表面与环境的界面换热系数；T 是钢锭的温度；T_a 是环境温度。当采用体积表面热来代替发热剂模型时，需确认 $flux$ 和 h 两个参数的具体数值，以下的数值模拟工作就是确认这两个重要参数。

1.1　界面换热系数 h 的确定

(1) 在钢锭上方添加发热剂，燃烧后对钢锭产生保温作用，钢锭散失的热量为：

$$Q_1 = h_1(T_1 - T_2)$$

式中，h_1 是钢锭与发热剂的界面换热系数，T_1 为界面处的钢锭表面温度，T_2 为界面处的发热剂表面温度。加入发热剂后，发热剂温度急剧上升，即 T_2 逐渐接近于 T_1。

(2) 直接在钢锭上方设置换热系数，钢锭散失的热量为：

$$Q_2 = h(T_1 - T_a)$$

式中，h 是钢锭与环境的界面换热系数，T_1 为界面处的钢锭表面温度，T_a 为环境温度。环境温度一般设置为常温，即 $T_1 - T_a > T_1 - T_2 \approx 0$，为了保证 $Q_1 = Q_2$，应使 $h \approx 0 < h_1$。

基于此，设计四个计算模型(见表 1)，分别设置不同的界面换热系数，与添加发热剂(不设置发热量)的模型温度场进行对比，确定冒口上方的界面换热系数。

1.2　热流密度 $flux$ 的确定

发热剂是外购材料，测试获得的热物性参数见图 2。在钢锭生产过程中，发热剂的加入量为 1.4 kg/t ~ 2 kg/t，取中间值 1.7 kg/t。本文将发热剂释放的热量与时间的关系简化为三角形，即在燃烧的 20 s 内，发热剂散发的总热量为 2200 cal/g (发热量取中间值)。

表 1　模拟计算模型

Table 1　Models of simulation

模型	钢锭/环境换热系数 $W/m^2 \cdot K$
Case 1	添加发热剂，不添加发热量
Case 2	1，不添加发热量
Case 3	3，不添加发热量
Case 4	2.4，不添加发热量

当采用体积表面热代替发热剂的计算时，钢锭上方的热流密度计算如下：

$$heat\ flux = \frac{Q}{St} = \frac{2200 \times 96 \times 1.7 \times 1000}{3.14 \times 98.7^2 \times 20}$$
$$= 586.88\ cal/cm^2 \cdot s$$

式中，Q 是发热剂放出的热量；S 是 96 t 钢锭上方的表面积；t 是发热剂的燃烧时间。

发热剂燃烧后放出的总热量中，一部分使钢液升温，一部分使周围的保温砖升温，其余部分散失在空气中。而在使用热流密度时，是将热量完全添加在钢锭上表面，所以，在使用替代模型时，发热量不能以发热剂发热量的 100% 进行计算。目前，尚未见发热剂的发热量利用率的相关报道，参照燃烧的能量利用率[17]，分别以发热量的 10%、30% 来进行模拟计算。

基于此，在冒口上方使用第一步确定的界面换热系数，并添加热流密度，模拟设计三个计算模型(见表 2)，与添加发热剂(设置发热量)的模型温度场进行对比，确定冒口上方的热流密度。

2　钢锭数值模拟的前处理设置

2.1　有限元模型

以某公司所使用的 96 t 钢锭及其附具为研究对象，建立两个几何模型：添加发热剂和不添加发热剂(见图 3)，并划分网格。需要注意的是，模拟计算过程中应将 POROS 设置为 0，保证钢液不发生收缩，这样才能完成对比计算。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　模拟计算模型

Table 2　Models of simulation

模型	钢锭/环境换热系数 $W/m^2 \cdot K$	冒口上方的热量 W/m^2
Case5	钢锭/发热剂	添加发热剂,添加发热量
Case6	2.4	发热剂发热量的 30%
Case7	2.4	发热剂发热量的 10%

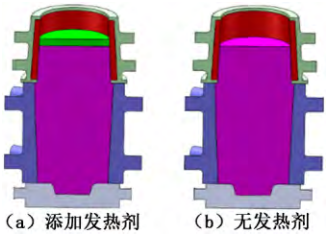


图 3　96 t 钢锭模型

Figure 3　96 t ingot model

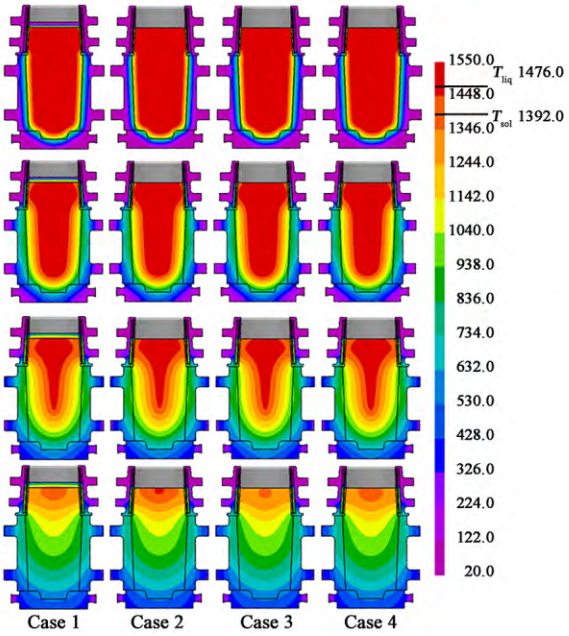


图 4　钢锭在同一时刻的温度分布云图

Figure 4　Temperature distribution nephogram of ingot at the same time

2.2　初始条件及边界条件

由于钢锭体积大,计算周期长,为了节省计算时间,科研人员在计算过程中或者忽略钢锭内部的流动[10],或者直接计算流动[11]。经研究分析,增大钢液在特定温度区间内的导热系数可以近似钢液内部流动对传热的影响,大大提高计算效率。

对于大型钢锭来说,钢锭的充型时间和完全凝固时间相比要小得多,因此,钢液的初始温度可简化为钢液的浇注温度,发热剂的初始温度为 25℃,其余模型的初始温度均为 20℃。

钢锭与金属钢锭模之间的界面换热系数随温度变化,钢锭模外侧使用空冷(10 $W/m^2 \cdot K$),其它界面换热系数均设为 500 $W/m^2 \cdot K$。

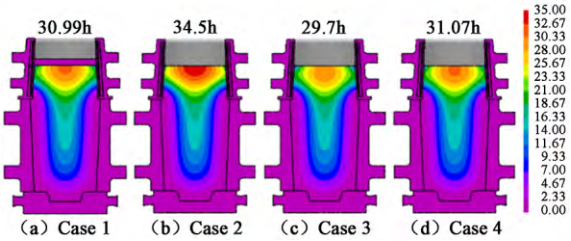


图 5　钢锭的完全凝固时间云图

Figure 5　Nephogram of the complete solidification time of ingot



图 6　钢锭模型温度点选取位置

Figure 6　Temperature point selection position of ingot model

2.3　材料物性参数

材料物性参数主要包括钢锭、钢锭模、保温砖、发热剂的密度、热导率、焓、液相线温度和固相线温度。其中,钢锭的物性参数是根据钢液的合金成分计算得出的;保温砖的物性参数是通过实验测量得出的;钢锭模的热物性参数选用 ProCAST 数据库中的 iron mold。所有物性参数均为随温度变化的曲线,提高了计算的可信度。

3　结果与讨论

3.1　钢锭/空气换热系数的确定

从钢锭的温度分布云图(见图 4)可以看出,在凝固前期,四个模型的温度分布差异较小,凝固中后期,温度分布的区别逐渐显现,可以明显的看出,Case 1 与 Case 4 的凝固顺序几乎相同。

从钢锭的完全凝固时间对比图(见图 5)可以进一步明确,Case 1 与 Case 4 的完全凝固时间均为 31 h,为进一步确认冒口上方的界面换热系数是否准确,在钢锭上选取六点(见图 6),绘制温度随时间的变化曲线,进行分析对比(见图 7),节点 1 的温度曲线中,有发热剂的 Case 1 在凝固开始时,温度由 1550℃急剧下降至 1455℃,随后温度逐渐回升至 1520℃,原因是发热剂的初始温度(25℃)与钢锭初始温度(1550℃)相差较大,导致与发热剂接触部位的钢液温度下降,之后的温度

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

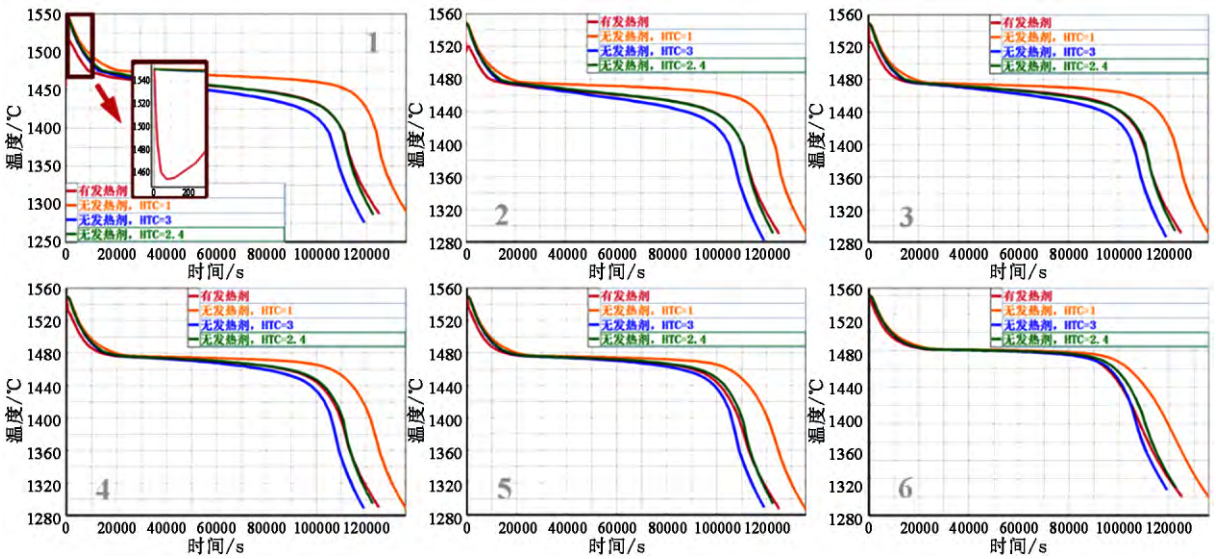


图 7　不同模型的温度分布图

Figure 7　Temperature distribution diagrams of different models

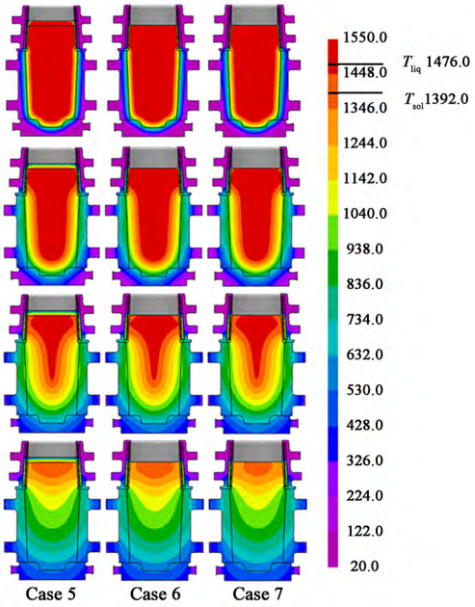


图 8　钢锭在同一时刻的温度分布云图

Figure 8　Temperature distribution nephogram of ingot at the same time

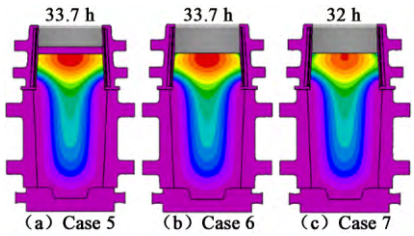


图 9　钢锭的完全凝固时间云图

Figure 9　Nephogram of the complete solidification time of ingot

回升是由于周围钢液温度较高，致使钢液温度出现回升。从六个节点的温度曲线可以进一步确认，将钢锭上方的界面换热系数设置为 2.4 W/m^2·K，其计算结果与添加发热剂的计算结果近似，可以用该换热系数进行替代。



图 10　钢锭模型温度点选取位置

Figure 10　Temperature point selection position of ingot model

3.2　冒口上方热流密度的确定

从钢锭的同一时刻的温度分布云图(见图 8)可以看出，Case 5 与 Case 6 的凝固顺序几乎相同。从钢锭的完全凝固时间对比图(见图 9)可以进一步明确，Case 5 与 Case 6 的完全凝固时间均为 33.7 h，为进一步确认冒口上方的热流密度，在钢锭上选取三点(见图 10)，绘制温度随时间的变化曲线，进行分析对比(见图 11)。当有发热剂时，温度平稳地保持较长时间；而添加表面热流密度后，会使钢锭表面的温度出现大幅上升。当表面热量设为理论热量的 30% 时，在 10 s ~ 20 s 时间内，表层温度升至 2800℃，该温度的真实性还有待进一步的研究。而表面热量设为理论热量的 10% 时，在 10 s ~ 20 s 时间内，表层温度升至 1950℃。但随着时间的延长，表面热量设为理论热量的 30% 时，计算的温度场结果与添加发热剂的温度场结果相近。

3.3　验证计算

为了验证发热剂替代模型的准确性，以96t

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

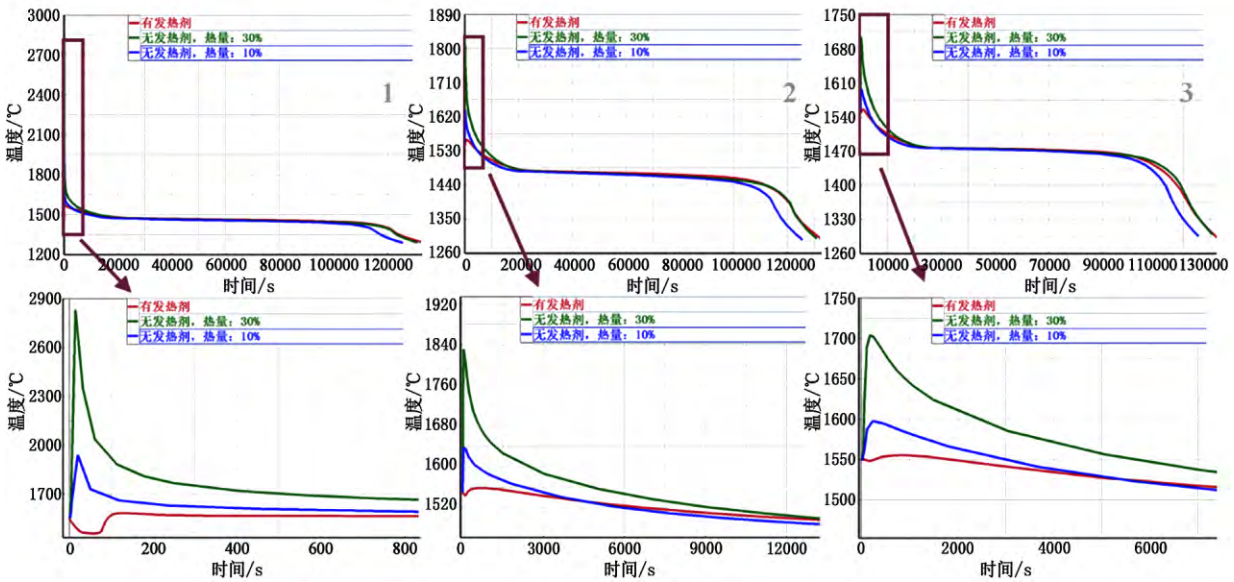


图 11　不同模型的温度分布图

Figure 11　Temperature distribution diagrams of different models

钢锭为例，将 POROS 设置为 1，使用上述的体积表面热代替发热剂进行常规模拟计算，计算结果显示，96 t 钢锭的完全凝固时间约为 23 h，而现场对于 96 t 钢锭的脱模时间为浇注后 23 h～24 h，可见，模拟计算结果与生产实际基本一致。

4　结论

为有效解决发热剂不能随钢锭的收缩而变形的模拟计算问题，探索研究了发热剂的替代模型：钢锭的体积表面热模型。经过实际验证，当钢锭/空气界面换热系数设为 2.4 $W/m^2 \cdot K$，冒口上方的发热量为发热剂总发热量的 30% 时，替代模型完全可以达到发热剂的发热效果，为钢锭的精准模拟计算提供了科学方法。

致谢

感谢中国一重集团有限公司提供的宝贵模型及生产数据支持。

参考文献

[1] Kermanpur A，Eskandari M，Purmohamad H，et al. Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation [J]. Materials & Design，2010，31 (3)：1096－1104.

[2] 徐亚东，沈厚发，雷丙旺，等. 模拟软件在钢锭模设计中的应用 [J]. 铸造技术，2014，35 (9)：2056－2058.

[3] 赵艳红，高建军，王欢. 数值模拟在大钢锭制造中的应用 [J]. 大型铸锻件，2012 (2)：12－16.

[4] 张颖娟，寇宏超，李鹏飞，等. 真空自耗电弧熔炼 TC4 铸锭的凝固组织和疏松缩孔的模拟 [J]. 特种铸造及有色合金，2012，32 (5)：418－421.

[5] 党卫东，吴晓春，闵永安，等. 冒口高度对大型锻造钢锭内部质量影响的数值模拟研究 [J]. 铸造技术，2010，31 (6)：753－758.

[6] 董洁，袁守谦，邓林涛，等. 锻造用钢锭凝固过程温度场数值模拟 [J]. 铸造技术，2007，28 (2)：268－270.

[7] Jiaqi Wang，Paixian Fu，Hongwei，et al. Shrinkage porosity criteria and optimized design of a 100-ton 30Cr2Ni4MoV forging ingot [J]. Materials and Design，2012，35：446－456.

[8] 徐亚东，沈厚发，雷丙旺，等. 帽口高度对钢锭内部品质影响的模拟分析 [J]. 特种铸造及有色合金，2014，34 (5)：483－485.

[9] 徐亚东，沈厚发，韩非. 基于凝固模拟的冒口高度设计及验证 [J]. 热加工工艺，2015，44 (9)：165－172.

[10] 艾新港，张书豪，曹震，等. 帽部传热条件对钢锭缩松影响的数值模拟 [J]. 特种铸造及有色合金，2015，35 (11)：1158－1162.

[11] 段建平，张永亮，傅排先. 8.4 t 钢锭冒口保温效果优化与改进 [J]. 炼钢，2016，32 (5)：67－71.

[12] 马薇，赵建华，宋刚. 冒口保温条件对大型钢锭凝固过程影响的数值模拟 [J]. 热加工工艺，2011，40 (21)：41－43.

[13] 王晓花，厉英. 钢锭凝固过程温度场数值模拟 [J]. 铸造，2013，62 (5)：410－419.

[14] 徐亚东，沈厚发，胡永平，等. 冒口发热效果对钢锭内部质量的影响 [J]. 热加工工艺，2015，44 (1)：84－87.

[15] 崔雅茹，马占彪，赵俊学，等. 冒口参数对 17CrNiMo6 钢锭质量及利用率的影响 [J]. 铸造，2017，66 (7)：719－722.

[16] ESI 集团. ProCAST 用户手册 [M]. 法国.

[17] 王皆腾，陈由旺，陈军. 高温空气燃烧系统的能量利用率分析 [J]. 承德石油高等专科学校学报，2004，6 (1)：12－15.

欢迎投稿！欢迎订阅！欢迎刊登广告！

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI:10.14147/j.cnki.51-1396/tg.2020.06.002

大型空心钢锭的凝固模拟分析

赵亚楠
(天津职业大学机电工程与自动化学院,天津 300410)

摘要: 采用数值模拟方法对大型空心钢锭的凝固过程进行了研究分析,以钢珠作为套筒与芯子之间的填充物,分析套筒厚度对钢锭凝固过程的影响。结果表明,套筒厚度增大,钢锭的完全凝固时间增加,而夹杂可上浮时间减小,缩孔缩松分布影响不大,但可以有效延长钢珠侧套筒达到熔化温度的时间,而且增大钢锭内壁的坯壳厚度,可保证安全生产。

关键词: 空心钢锭; 套筒; 钢珠; 数值模拟
中图分类号: O242 **文献标志码:** B

Solidification Simulation Analysis of Large Hollow Steel Ingot

Zhao Yanan

Abstract: The solidification process of large hollow ingot has been studied and analyzed by numerical simulation method. The influence of sleeve thickness on solidification process of ingot has been analyzed with steel ball as filler between sleeve and core. The results show that with the increase of sleeve thickness, the complete solidification time of ingot increases, while the floating time of inclusions decreases, and the influence on shrinkage cavity and porosity distribution is not significant, but the time for the sleeve at the side of steel ball to reach the melting temperature can be effectively extended, and the safety production can be guaranteed by increasing the thickness of billet shell inside the ingot.

Key words: hollow ingot; sleeve; steel ball; numerical simulation

和传统的实心钢锭相比,空心钢锭生产大型锻件有诸多优点。首先,省去了墩粗和冲孔两道工序,减少了火次,提高了钢锭的整体利用效率,缩短了工艺流程; 其次,空心钢锭是内外同时冷却,提高了冷却速度,使最后凝固的区域偏析减轻,钢锭成分整体上更加均匀; 最后,由于空心钢锭提高了钢锭的利用率,在生产相同产品的情况下,采用空心钢锭吨位更小,从而变相提高了设备的最大负载能力。

要实现对大型空心钢锭质量的控制,涉及多种复杂因素,若均采用传统实验方法进行研究,工作繁重,且成本高昂。而计算机技术和计算材料科学的快速发展,使得对于大型钢锭凝固过程的研究成本大大降低,加速新产品的研发[1-2]。

空心钢锭的生产关键技术是钢锭内壁冷却芯子的设计,生产中常用的有双套筒和单套筒两种,在套筒与芯子之间,填充铬铁矿树脂砂或不填充耐火材料,采用压缩空气、液氮等冷却方式完成空心钢锭的浇铸[3-4]。而采用钢珠和压缩空气作为空心钢锭内壁冷却介质的研究还尚未见报道,利用金属材料导热快、钢珠溃散性好的优点,既能保证空心钢锭内侧冷速,又利于拔出套筒。对此,空心钢锭的浇铸成功与否,一定程度上取决于套筒,套筒直接与空心钢锭的内壁接触,套筒的厚度不够,容易烧穿,造成浇铸失败; 厚度过大,刚性变大,可能会引发空心钢锭内壁的热裂问题,可见,套筒的厚度是保证空心钢锭浇铸成功的关键因素之一。

本文采用数值模拟方法,研究套筒厚度对空心钢锭凝固过程的影响规律,从而优化套筒厚度,保证钢锭质量的同时,确保生产安全。

1 钢珠模型的建立

钢珠作为多孔介质,确定其热物性参数是开展模拟工作的前提。多孔介质的导热系数用有效导热系数来表示,通常有两种确定方法: (1) 基于分形理论的计算方法[5]。适用于多孔介质中空隙为复杂不规则的对象,使用数值模拟方法得出多孔介质的有效导热系数; (2) 传统复合传热方法。适用于多孔介质中空隙简化为较规则形状,结合空隙中固体和流体所占比例,综合考虑多孔介质内部传热机理的方法。生产中使用的钢珠是直径约 1 cm 的球形,形状均匀单一,形成的空隙可看做较规则的形状,因此采用传统复合传热方法来确定钢珠的有效导热系数(见图 1)。

2 前处理设置

2.1 三维模型

收稿日期: 2020 - 05 - 08
基金项目: 天津职业大学科学研究基金项目(20191102) 资助。
作者简介: 赵亚楠(1986—),女,讲师,硕士,主要从事材料成型 CAE 及先进制造技术研究。

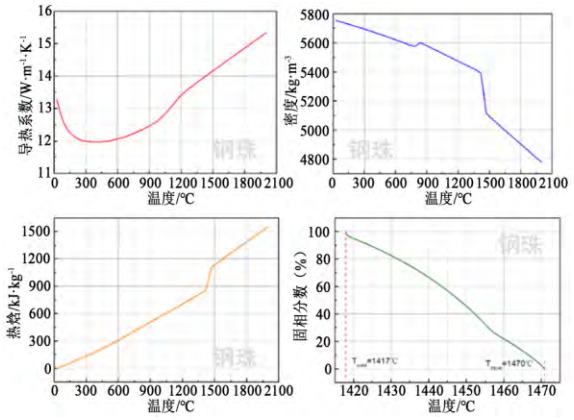


图 1　钢珠导热系数、密度、热焓和固相分数随温度的变化

Figure 1　Change of thermal conductivity, density, enthalpy and solid fraction of steel ball with temperature

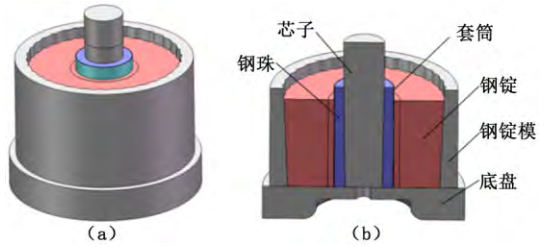


图 2　100 t 空心钢锭模型

Figure 2　100 t hollow ingot mold

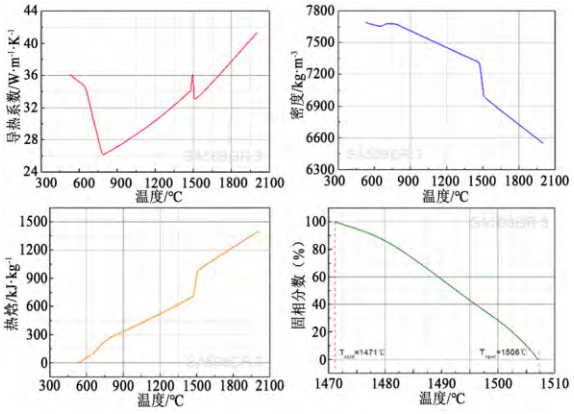


图 3　钢锭(SA508GR.3)导热系数、密度、热焓和固相分数随温度的变化

Figure 3　Change of thermal conductivity, density, enthalpy and solid fraction of steel ingot (SA508GR.3) with temperature

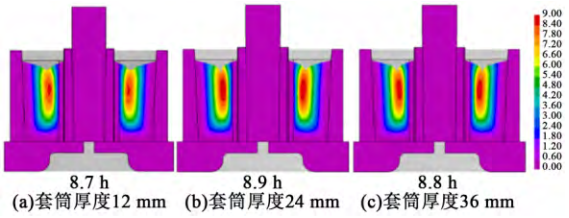


图 4　空心钢锭的完全凝固时间云图

Figure 4　Nephogram of complete solidification time of hollow ingot

由于主要研究钢珠与套筒的工艺可行性，因此将空心钢锭的保温砖进行了简化处理。基于此，建立 100 t 空心钢锭的三维模型(见图 2)，并划分网格。空心钢锭采用上注工艺，套筒厚度分别设置为 12 mm、24 mm、36 mm，研究分析空心钢锭的凝固过程。

2.2　材料热物性参数

材料物性参数主要包括钢锭、钢锭模、套筒、芯子的密度、热导率、热焓、液相线温度和固相线温度。其中，钢锭的物性参数(见图 3)是根据钢液的合金成分计算得出的。所有物性参数均为随温度变化的曲线，提高计算的可信度。

2.3　初始条件及边界条件

对于大型钢锭来说，钢锭的充型时间和完全凝固时间相比要小得多，因此，钢液的初始温度可简化为钢液的浇注温度，SA508GR.3 的浇注温度设为 1570℃，其余模型的初始温度均为 25℃。界面换热系数设置为随温度变化的函数。

在大型空心钢锭的模拟计算中，本计算并未直接在钢锭顶部添加发热剂，而是设置合理的热流密度和换热系数来取代发热剂的作用[7]。钢锭与金属钢锭模之间的界面换热系数随温度变化，其它界面换热系数均设为 500 $W/m^2 \cdot K$。

3　对比与讨论

3.1　温度场分布

空心钢锭是由内外壁同时向中心凝固，外壁的冷却速度高于内壁，空心钢锭的最后凝固部位更靠近钢锭内壁，钢锭内壁套筒的厚度对钢锭的温度场分布有一定的影响。当套筒厚度从 12 mm 增大至 24 mm 时，空心钢锭的完全凝固时间延长约 12 min，继续增大套筒厚度，完全凝固时间变化缩小(见图 4)。整体来看，在研究范围内，套筒的厚度对完全凝固时间的影响不大。

在空心钢锭的凝固过程中，套筒厚度不同，套筒及钢珠接触部位的温度有较大差异(见图 5)，套筒的最高温度区域位于套筒的中上部；增大套筒厚度，套筒的内外壁表面温度均有所下降，其中，靠近钢珠侧的套筒温度降低较为明显，最大约 100℃。套筒厚度增加，一方面远离了钢锭内壁，另一方面，套筒的导热系数要高于钢珠的多孔介质，以上均造成钢珠侧套筒温度的下降。

套筒厚度在 12 ~ 36 mm 范围内，靠近钢锭的套筒表面温度(中部以上)均达到了套筒的熔化温度；中下部的最高温度也已超过其固相线温度；

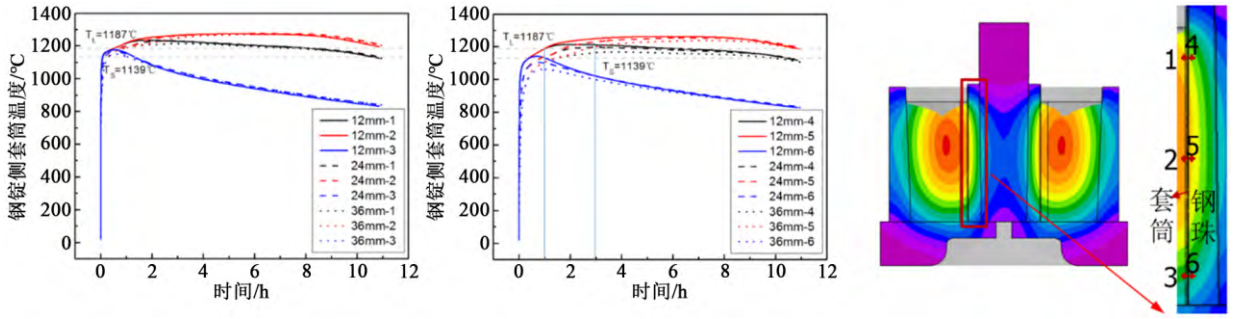


图5　套筒厚度对套筒、钢珠温度的影响曲线

Figure 5　Influence curve of sleeve thickness on sleeve and steel ball temperature

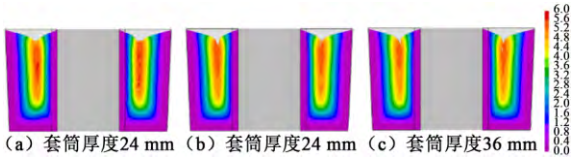


图6　套筒厚度对夹杂可上浮时间的影响

Figure 6　The influence of sleeve thickness on the floating time of inclusions

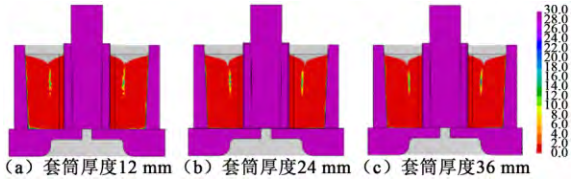


图7　套筒厚度对缩孔缩松的影响

Figure 7　Influence of sleeve thickness on shrinkage cavity and porosity

增大套筒厚度，钢珠侧套筒达到其熔化温度的时间从 1 h 延长至 3 h，在 2 h 内，钢锭坯壳厚度从 10 mm 增加至 35 mm，增加了钢锭内壁的强度，能够预防漏液的发生，为浇铸后的脱芯打好基础。

3.2　夹杂上浮时间分布

夹杂物上浮时间定义为浇铸开始到凝固开始之间的时间，假设夹杂物在此时间段内能够自由上浮。从空心钢锭的夹杂可上浮时间的分布来看（见图 6），套筒厚度增加，钢锭中下部的夹杂可上浮区域减小，对夹杂上浮不利，进而影响空心钢锭的质量。这是因为在凝固初期，套筒厚度小，而钢珠的有效导热系数低于套筒，具有更好的保温作用。从夹杂上浮的角度来看，套筒并不是越厚越好。

3.3　缩孔缩松分布

采用 NIYAMA 判据查看空心钢锭的缩孔缩松分布（见图 7），由于空心钢锭的内壁冷却速度相对较小，使最后凝固部位靠近钢锭内壁，导致缩松位于靠近钢锭内壁的一侧，呈长条状分布。套筒厚度增大，一次缩孔的深度增大，钢锭内部的缩松区域变短，宽度略有增加。缩松宽度增加，将不利于后期的锻合，需要相应的锻造工艺来保证钢锭质量。

4　结论

（1）增大套筒厚度，钢锭的完全凝固时间略有增加，最大约 12 min；而夹杂可上浮时间略有下降，不利于夹杂物的上浮。

（2）增大套筒厚度，钢锭的缩孔缩松分布变化不大，缩松均分布在靠近钢锭内壁的一侧。

（3）增大套筒厚度，可以延长钢珠侧套筒达到熔化温度的时间。钢锭内壁的坯壳厚度增加，防止套筒烧穿漏液，不利于后期的脱芯。

参考文献

[1] 张博，朱花，赵晓东，等. 空心钢锭凝固过程缺陷的模拟研究 [J]. 太原科技大学学报，2018，39（1）：35－41.

[2] 田继红，万志远，郭丰伟，等. 基于空心钢锭大型筒体锻件开坯锻造研究 [J]. 锻压技术，2015，40（2）：15－21.

[3] 来庆红，田丰，谢全胜，等. 大型空心钢锭的生产实践 [J]. 热加工工艺，2016，45（13）：169－171.

[4] 郭显胜，田丰，杜旋，等. 空心钢锭制造技术发展现状 [J]. 大型铸锻件，2015（2）：12－16.

[5] 李红发，王荣鹏，赵志广，等. 多孔材料中孔与导热性能的数值模拟 [J]. 广东建材，2018，34（12）：6－9.

[6] 赵晓琳. 多孔介质有效导热系数的算法研究 [D]. 大连理工大学，2009.

[7] 赵亚楠，郭建政. 大型钢锭凝固模拟计算中发热剂的优化处理 [J]. 大型铸锻件，2019（6）：1－5.

单元发电机组热网负荷逻辑研究与优化

郑伟[1],赵猛[2]
(1. 天津职业大学,天津 300410;2. 天津华能杨柳青热电有限责任公司,天津 300380)

摘 要:以某热电厂300 MW燃煤供热发电单元机组为例,首先介绍了单元机组的组成及热网系统的工作流程和主要监控参数。通过分析热网负荷逻辑中存在的测量供热蒸汽流量不准确的问题以及对单元机组协调控制系统的影响,给出了更改计算热网负荷逻辑的方案,并在新的计算逻辑中增加热负荷的变化率和大小值限制。修改完善后的热网负荷逻辑在实际运行当中效果良好,单元机组在热网系统投入运行后的整体性能同样稳定,达到了提高机组安全性和经济性的目的。

关键词:热网;热负荷;单元发电机组;自动发电控制(AGC);协调控制;分散控制系统(DCS)
中图分类号:TM611 文献标志码:A 文章编号:1004-9649(2013)08-0105-03

0 引言

随着城市发展和人民居住条件的改善,热负荷需求不断增加,要求热电厂供热发电机组热网系统的运行更加安全、稳定、经济[1];同时,电网也进一步要求电厂机组控制参数在尽可能小的范围内波动[2]。所以热负荷整理、分析和汇总的计算方法的准确性,直接影响集中供热、热电联产等各项技术经济指标[3]。某热电厂300 MW燃煤供热发电单元机组在冬季热网系统投入运行后,热负荷成为机组的一个主要外扰动变量并随天气温度的变化而波动;此外,随着供热面积的增大,热负荷的扰动随之增加,热、电负荷的匹配也很难达到最佳[4]。热网系统运行的不稳定,不仅无法很好满足外界对热负荷的需求,也严重影响了单元机组的安全稳定运行。因此,对热网负荷逻辑的研究与改进优化,已成为供热发电企业的首要任务之一[5]。

1 供热单元机组介绍

1.1 供热单元机组简介

该电厂锅炉为BLK-1025亚临界直流液态排渣炉,双炉膛、直吹式制粉系统、100%飞灰复燃,配有4台MPS-225型中速磨煤机;汽轮机为抽汽凝汽式汽轮机。供热蒸汽由汽轮机第5段抽汽提供(见图1)。锅炉分散控制系统(DCS)采用德国西门子公司TELEPERM XP/ME技术;汽轮机控制采用美国西屋公司的OVATION数字电液调节系统(DEH)。为利于机组负荷的快速调节,单元机组协调控制(UCC)为锅炉跟随为主的协调控制方式。单元机组分为自然滑压运行和修正滑压运行2种方式。目前,机组一般运行于修正滑压方式。

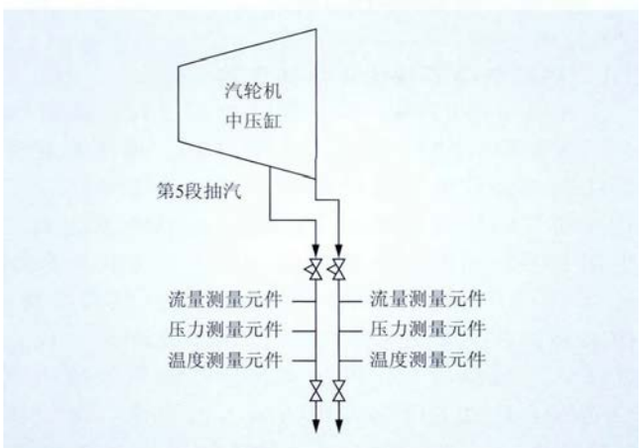


图1 汽轮机供热抽汽系统
Fig.1 The heating extraction system of turbine

1.2 机组热网系统简介

供热蒸汽由热网管路进入热网系统对外供热。热网系统的数据采集和控制采用IFIX系统,DCS通过与IFIX系统进行数据交互完成对热网系统重要参数的监视和调控。供热蒸汽的主要参数包括蒸汽的温度,压力和流量。

收稿日期:2013-04-08
作者简介:郑伟(1983—),男,天津人,工程师,从事自动化控制,智能系统和计算机网络研究。
E-mail: da_zhengwei@126.com

中国知网 https://www.cnki.net

2　热网负荷逻辑现存问题

2.1　热网负荷计算逻辑存在的问题

热网负荷即热负荷，在计算逻辑中采用汽轮机的抽汽流量来计算，但由于抽汽流量测量元件安装位置的前后直管道均过短，不满足测量元件前直管道长度为管道公称直径的 10 倍、测量元件后直管道长度为管道公称直径的 5 倍，无法准确测量；特别是低负荷时，抽汽调节门的开度较低，抽汽流量较小、波动大，更无法准确测量。另外，由于机组滑压运行，随着机组电负荷的不同，抽取的供热蒸汽压力也会发生变化，使流量的测量更难于准确，热负荷的准确计算也更无从谈起。

2.2　热网负荷控制逻辑对协调控制系统的影响

由于热负荷无法准确计算，导致热网负荷的自动控制无法投入，机组在升/降负荷过程中，锅炉主控制器的输出会在大范围内变化，机组的动态特性变差；另外，由于热负荷未计算在总负荷内，机组滑压段主蒸汽压力的设定点偏低，影响了机组运行的稳定性和经济性，同时对锅炉侧的送风、给水和燃煤的闭环控制也会产生不良影响。因此，对热网负荷的相关逻辑优化势在必行。

3　热网负荷逻辑的优化

3.1　热网负荷逻辑优化总体思路

针对上述问题，结合热网投运过程的实际情况，重新设计热网负荷的计算逻辑，避开原逻辑中在测量信号低负荷时的不准确以及变动负荷下的波动，同时对新逻辑中的热负荷值给予适当的变化率限制和大、小值限制。其中，变化率限制采用 TELEPERM 自身提供的 SWF 功能块来实现。SWF 功能块为限速功能模块，用于控制某一设定值或某一模拟量变化的速度，使功能块的输出以一定的上升或下降斜率跟随输入的变化，最终输出值等于输入值。SWF 功能块中用到的参数 $K+$为输入信号上升时的速度限制值；$K-$为输入信号下降时的速度限制值。大、小值限制即规定热负荷的上限为 25 MW，下限为 2 MW。计算出的热负荷通过逻辑中加装的投/切接口，由热控人员在负荷稳定时以信号强制的方法来进行无扰动的投/切。

3.2　热网负荷计算逻辑的修改

依据汽轮机的进汽流量–功率曲线（见图 2），利用进入汽轮机的主蒸汽流量信号，经换算后产生不同主蒸汽流量下的汽轮机功率，乘以系数（汽轮机功率转化为发电机功率，约等于“1”）转化为发电机功率。这样，热网投运后，计算的发电机功率与机组的实际输出功率存在一定的偏差，即为近似的热网负荷。

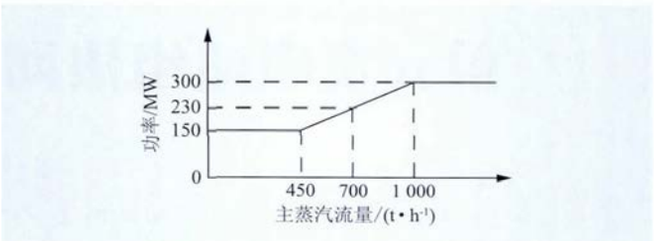


图 2　汽轮机进汽流量与功率的关系

Fig.2　The relationship between steam flow and power

3.3　修正锅炉的主蒸汽流量信号

由于修改后热网负荷的计算来源于机组的主蒸汽流量信号，对主蒸汽流量信号的计算必须更加精确。原锅炉的主蒸汽流量信号是由给水流量与过热面各级喷水流量的和减去再循环流量得出。但机组高压旁路的暖管手动门在机组启动时打开，存在一定流量的喷水用于高压旁路的暖管，这一部分水排入省煤器最终进入主蒸汽流量，也应计算进主蒸汽流量内，而且，这一部分的流量会随主蒸汽压力的升高而增加，通常范围为 0~10 kg/s。修正后的主蒸汽流量信号由给水流量、过热喷水量、高压旁路喷水量和再循环流量综合计算得出，具体如图 3 所示。

3.4　对热网负荷信号的处理

由于主蒸汽流量采用给水、过热喷水、高压旁路暖管喷水几个量相加，其中一个信号的扰动将导致计算的发电机功率的波动，影响热网负荷计算值的稳定，因此，对计算的热网负荷信号增加 SWF 功能块，即限速功能块，对瞬间的信号扰动进行屏蔽，同时对正常的热负荷增/减给予一个合理的惯性变化。在此基础上限定热网负荷在 2~25 MW 之间，以防止采样信号的突变对协调控制产生严重的影响。最后在控制逻辑上加装投/切接口，在热网不投运时，将热负荷切换为“0”，即单元机组协调控制存在热网投/切 2 种运行状态，具体热网负荷计算逻辑如图 3 所示。

4　热网负荷逻辑优化后运行效果

4.1　优化逻辑投入过程

热网负荷计算逻辑在机组检修过程中进行了修改，投入使用时，先由热控人员在在线逻辑编程器上修改计算逻辑投/切接口，即把投切信号由“0”改为“1”，热网负荷计算逻辑随即投入使用。同时观察 SWF 功能块输入信号的变化速度，选择合适的升/降速率和变化过程时间，从而既能屏蔽测量信号瞬间波动造成的剧烈扰动，又能适应热网负荷正常的变化波动。

中国知网　https://www.cnki.net

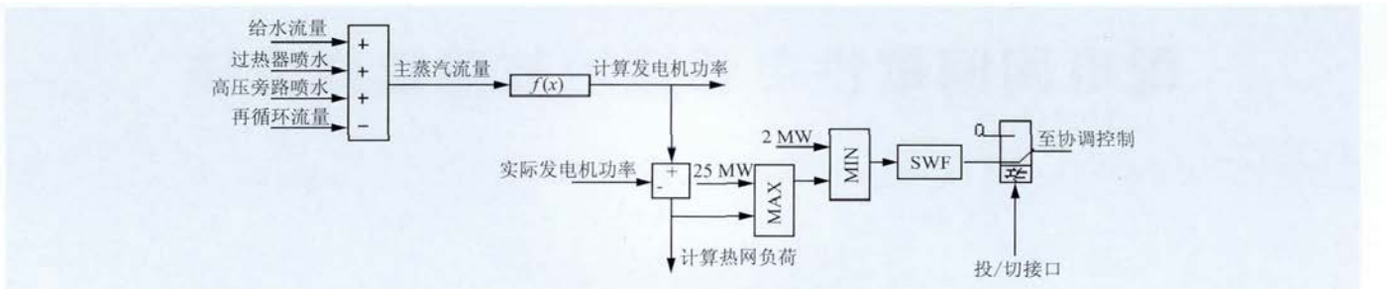


图 3　热网负荷计算逻辑

Fig.3　The computational logic for heating load

4.2　优化逻辑投入后的效果

在优化逻辑投入后，随着热网负荷的不同，机组滑压段的设定主蒸汽压力大约上升 0.2 MPa，使机组的效率有所增加；进入协调的负荷变化范围为10~20 MW，锅炉主控制器的输出稳定在 5%~7%，负荷升/降过程的动态前馈信号与投入煤质状况相吻合，机组的整个动态调节过程缩短，相应的锅炉侧各分系统的调节状况得到提高，确保了燃水比、风煤比的正常，满足了电网综合自动化对单元机组协调控制系统控制品质的要求[6]。

5　结语

经过对该热电厂 300 MW 燃煤供热发电单元机组热网负荷逻辑的研究与优化改进，使热网负荷计算逻辑得以正确投入运行，取得了很好的实际运行效果，单元机组协调控制的调节性能也在冬季供暖期得到了显著的提高，进一步改善了机组的安全性、稳定性和经济性。

参考文献：

[1] 王学栋，魏东，孙书耀，等. 不同类型供热机组的电热负荷优化分配和调峰性能[J]. 汽轮机技术，2010，52(5)：387-390.
WANG Xue-dong, WEI Dong, SUN Shu-yao, *et al*. Optimizing distribution of heat-power load and peak regulation ability of heat supply units with different types [J]. Turbine Technology, 2010, 52(5): 387-390.

[2] 施海平，金建新. 提高协调控制系统调节品质的研究[J]. 中国电力，1998，31(11)：58-61.
SHI Hai-ping, JIN Jian-xin. Study on improvement of regulation quality of coordinated control system [J]. Electric Power, 1998, 31 (11): 58-61.

[3] 王勇. 集中供热、热电联产中热负荷计算方法的探讨[J]. 山东冶金，2002(5)：51-53.
WANG Yong. Discussing on the way of calculating thermal load in the system of centralized supplying heat and thermoelectric unit producing [J]. Shandong Metallurgy, 2002(5): 51-53.

[4] 李勤道，严俊杰，刘继平，等. 热电厂热电负荷分配方法的研究[J]. 动力工程，2001(1)：1078-1081.
LI Qin-dao, YAN Jun-jie, LIU Ji-ping, *et al*. Research on load distribution of cogeneration power plant [J]. Power Engineering, 2001(1): 1078-1081.

[5] 王培红，李琳，董益华，等. 供热机组热电负荷优化算法研究[J]. 汽轮机技术，2004(1)：37-39.
WANG Pei-hong, LI Lin, DONG Yi-hua, *et al*. Arithmetic research of load optimizing dispatching for extraction turbine [J]. Turbine Technology, 2004(1): 37-39.

[6] 王东风，韩璞，曾德良. 单元机组协调控制系统发展和现状[J]. 中国电力，2002，35(11)：69-73.
WANG Dong-feng, HAN Pu, ZENG De-liang. Development and present status of unit coordinated control system [J]. Electric Power, 2002, 35(11): 69-73.

（责任编辑　张燕）

Study and Optimization on Thermal Load Logic of Unit Plants

ZHENG Wei[1], ZHAO Meng[2]

(1. Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300140, China; 2. Tianjin Huaneng Yangliuqing Thermo Power Co., Ltd., Tianjin 300380, China)

Abstract: The 300-MW coal-fired unit plant in a cogeneration power plant is taken as an example to show the components of a unit plant. The workflow and main monitoring/control parameters of heat supply networks are also introduced. By analyzing the inaccuracy in heating steam flow measuring in heat load logic and its impact on the coordinated control system, an updated scheme on heat load logic calculation is proposed, including the heat load changing rate and its upper and lower limits. The new logic works well and the overall performance of the unit plant keeps stable after the heat supply network being put into operation. The security and economics of the unit plant get improved.

Key words: heat supply network; heat load; power unit plant; AGC; coordinated control; DCS

中国知网　https://www.cnki.net

电动汽车电池模块结构优化设计*

逯彦红[1,2],段国林[1]
(1.河北工业大学 机械工程学院,天津 300130;
2.天津职业大学 机电工程与自动化学院,天津 300410)

摘要:在电池单体间及电池与电池仓体间填充泡沫铝,建立电动汽车锂离子电池模块散热的多孔介质三维模型,并对其温度场和多孔介质处的速度场分别进行了仿真,在此基础上提出了锂离子电池模块的结构优化方案,优化后锂离子电池模块的最高温度下降4.4 ℃、温差下降3.2 ℃的同时,电池模块的体积减小了12.95%。

关键词:锂离子电池;热管理;金属泡沫;结构优化
中图分类号:TM912 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-2354(2016)11-0030-04
DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2016.11.007

Structure optimal design of battery pack in EV

LU Yan-hong[1,2], DUAN Guo-lin[1]
(1.School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130;
2.School of Electric-Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410)

Abstract: Foam aluminum was filled between the battery cell and the battery and the battery compartment. A three-dimensional thermal porous medium model of Li-ion battery module in EV was established. The temperature field and velocity field of porous medium were simulated respectively. On this basis, an optimization scheme of Li-ion battery module was proposed. The highest temperature reduced 4.4 ℃ and the maximum temperature difference reduced 3.2 ℃. Meanwhile, the battery module volume reduced 12.95%.

Key words: Li-ion power battery; thermal management; metal foam; structure optimization

目前,新能源汽车已受到各国政府和汽车企业的高度关注,电动汽车是目前新能源汽车的主要发展方向之一。电池是电动汽车的核心部件,如何让电动汽车的电池模块变得性能更强、稳定性更高、体积更小、更便于安装等是电动汽车电池模块研究的重点。

锂离子电池比能量高、比功率大,但其在充放电过程中产生的大量热量会导致电池内部温度升高和单体电池之间温度不均匀,使电池性能下降,循环次数减少,寿命缩短。目前,锂离子电池的研究将主要目标集中在电池的续航里程、充放电性能及电池模块的散热效果上,较少考虑电池组的体积和质量,体积过大不便于在车体的安装,质量过大会加大整车的质量,相当于加大了电池的功耗,减少了续航里程[1]。

以锂离子电池为研究对象,在电池仓内创新性地使用了泡沫金属,设计出了体积更小、散热效果更好的电池模块。

1 锂电池的几何模型与生热机理

1.1 几何模型

文中采用的研究对象是某公司生产的磷酸铁锂动力电池模块,单体电池尺寸(长×宽×高)为203 mm×112 mm×58 mm,标称容量为70 Ah,电池模块的仓体选用3 mm厚的不锈钢,电池模块由8个单体电池以间距4 mm单层排列,电池单体与仓体之间的距离为10 mm,入风口与出风口尺寸均为4 mm×80 mm。忽略接线和支架等附件,剖面图如图1所示。

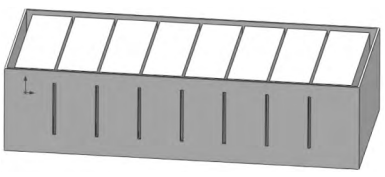


图1 锂离子电池模块三维剖面图

* 收稿日期:2016-05-04 修订日期:2016-09-12

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

泡沫金属（开口）质量轻，比表面积大，流体流过时与流动方向相垂直的孔棱可将边界层隔断强化流体湍动[2-3]，层流边界层厚度减小[4]。文中利用了泡沫金属的上述特点，在电池单体与单体间的缝隙内及电池与仓体间的上下左右区域内均填充泡沫金属来增强电池模块的散热效果。

1.2　生热机理

锂离子电池的生热量主要由反应热、极化热、副反应热和焦耳热 4 部分组成[5]，但工程应用中常用 Bernardi 生热速率模型估算电池单位体积生热速率，其估算公式为：

$$q_{gen}=I_L(E_O-U_L)-I_L T_{bat}\frac{dE_O}{dT_{bat}} \tag{1}$$

式中：q_{gen}——电池的产热量；

I_L——负载电流；

E_O——开路电压；

U_L——负载电压；

T_{bat}——电池温度。

可见电池产热由两项组成，左边项是不可逆产热，可表示为 I^2R，右边项是可逆产热，一般可逆产热小于不可逆产热的 2%，因此可逆产热项可忽略不计，故电池产热速率估算公式为：

$$q_{gen}=I^2R \tag{2}$$

式中：R——电池总电阻[6]。

2　电池模块的有限元仿真分析

2.1　控制方程

冷空气经入风口进入电池仓体，在压力作用下，进入多孔介质即泡沫金属区域，与泡沫金属进行对流换热，进而达到对电池散热的目的。泡沫金属内流体的流动与传热分析包括局部热平衡和非局部热平衡两种，前者认为流体相和固体的温度相等，而这样的假设当固体相的热导率较大时，会产生较大误差。文中采用 Brinkman-Forchherier-extend Darcy 模型和多孔介质局部非热平衡模型，忽略自然对流和辐射，多孔介质各项同性，忽略热物性随温度的变化。

动量方程：

$$\mu_{eff}\frac{d^2u}{dy^2}-\frac{\mu_f}{K}u-\frac{dp}{dx}=0 \tag{3}$$

式中：μ_{eff}——流体的有效黏性系数，Pa·s；

μ_f——流体的黏性系数，Pa·s；

p——压强，Pa。

能量方程：

固体：

$$0=k_{se}\frac{d^2T_s}{dy^2}-h_{sf}a_{sf}(T_s-T_f) \tag{4}$$

流体：

$$\rho_f C_f u\frac{dT_f}{dx}=k_{fe}\frac{d^2T_f}{dy^2}+h_{sf}a_{sf}(T_s-T_f) \tag{5}$$

式中：k_{se}，k_{fe}——固体和流体的有效导热系数，W/(m·K)；

T_s，T_f——固体和流体的温度，K；

h_{sf}——多孔介质内流体与固体骨架间的表面对流换热系数，W/(m²·K)；

a_{sf}——多孔介质的比表面积，m^{-1}；

ρ_f——流体的密度，kg/m³；

C_f——流体的比热容，J/(kg·K)；

u——流体的流速，m/s。

2.2　初始条件

采用 SolidWorks 建立三维几何模型，用ICEM 划分结构化网格，最后利用 fluent 求解。速度入口，压力出口，空气为不可压缩理想气体，无相变，边界无滑移。忽略自然对流和辐射，忽略热弥散。泡沫金属为均质材料。

泡沫金属的流体动力学分析属于多孔介质模型，其粘性阻力系数 D 和惯性阻力系数（或称内部阻力系数）C 的计算公式定义为：

$$D=\frac{\varepsilon^2}{K} \tag{6}$$

$$C=\frac{2C_F\varepsilon^2}{\sqrt{K}} \tag{7}$$

式中：K，ε——多孔介质的渗透率和孔隙率；

C_F——惯性系数，取 0.1[3]。

电池组均以 70 A 放电作为参考工况，即以 1 C 放电来衡量散热效果，这是该电动汽车所允许的最大放电电流。电池组仓体为不锈钢，泡沫金属骨架材质为铝，孔隙率为 0.95。在电池间对流换热的工质为空气，入口风速为 3 m/s。各介质的物性参数如表 1 所示。

表 1　介质物性参数表

名称	密度/(kg/m³)	比热容/(J/(kg·K))	热导率/(W/(m·K))
空气	1.165	1 005	0.026 7
铝	2 700	880	236
不锈钢	7 850	434	58

2.3　温度场仿真分析

共分 5 种情况进行对比分析，分别是不放置泡沫铝、靠近电池尾部放置占电池长度的 1/4，2/4，3/4，4/4 的泡沫铝。分别在不同环境温度下模拟电池最高温度和最大温差。模拟发现，填充泡沫铝后，对电池的最高温度和最大温差都有不同程度的下降。对于最高温度，放置泡沫金属长度与电池长度一样时（即电池四周被泡沫金属完全包裹），电池最高温度最低，电池组的最

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高温度最大可下降 4.3 ℃，如图 2 所示，对于最大温差，随着填充长度的增加，先减小后增大，填充泡沫铝后，最大温差可减小 3.2 ℃，如图 3 所示。此研究结果与 Shahabeddin K 等[3]的研究结论相吻合。

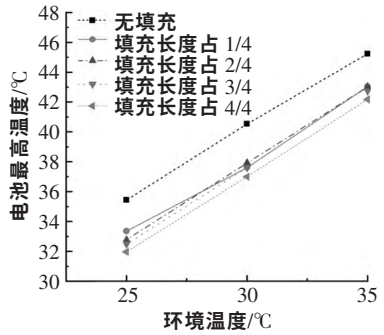


图 2 泡沫铝填充长度对电池最高温度的影响

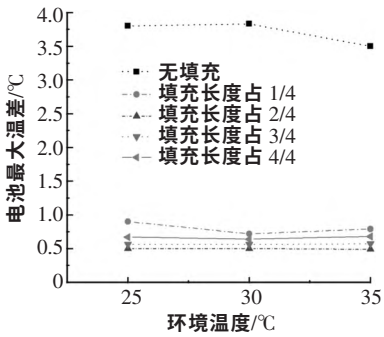


图 3 泡沫铝填充长度对电池最大温差的影响

2.4 速度场仿真分析

由温度场分析可知，填充泡沫金属的长度与电池长度一样时，电池最高温度下降最多，所以速度场的分析只研究泡沫金属放置占电池长度的 4/4 情况。图 4 是电池仓内填充泡沫金属后的速度分布云图。从云图看，空气基本集中在电池与仓体之间的空隙处，电池与电池之间的缝隙处基本没有空气流过。这是因为电池与电池间的距离为 4 mm，而电池与电池仓体之间的距离为 10 mm，所以空气几乎全部由电池和电池仓体间的四周通过。这样的结构使得空气流量在各流道的分配是不均匀的，散热效果也将受到影响。

3 电池模块结构改进设计

3.1 结构改进方案

通过对原始模型的研究和分析可知，电池组内部空气流动并不均匀。改进方案为：将电池四周与电池仓体之间的距离由原来的 10 mm 分别修改为 6 mm，4 mm 和 3 mm，以找到最佳距离值，进而达到空气在各流道流量分配均匀、强化散热效果的目的。

3.2 仿真分析

分别对电池与电池仓体距离为 10 mm，6 mm，4 mm，3 mm 这 4 种情况进行温度场分析，如图 5 和图 6 所示。可以看出，当电池与电池仓之间的距离与电池单体与单体间的距离相等时，电池最高温度和最大温差均最小，原因是这种情况下，空气在仓内的流通最均匀。

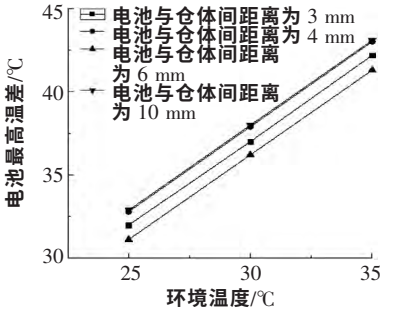


图 5 电池与仓体的距离对电池最高温度的影响

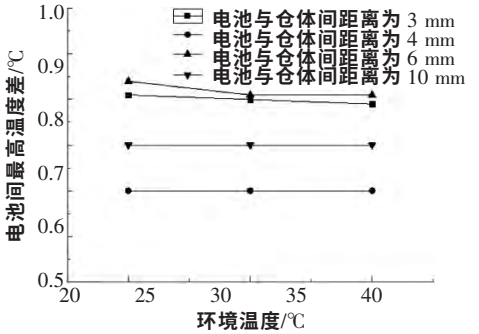


图 6 电池与仓体的距离对电池最大温差的影响

通过电池与电池仓体间的距离为 6 mm 和 4 mm 的空气气流速度分布云图进一步证明了距离为 4 mm 的情况下空气气流速度分布最均匀，如图 7 和图 8 所示。

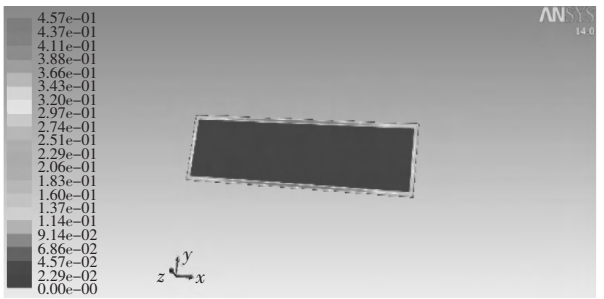


图 4 电池模块某一截面速度分布云图

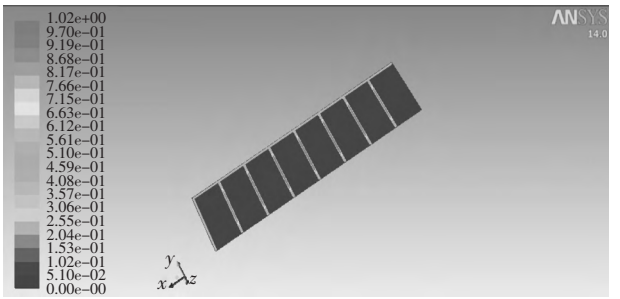


图 7 电池与电池仓四周距离为 6 mm 时空气气流速度分布

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

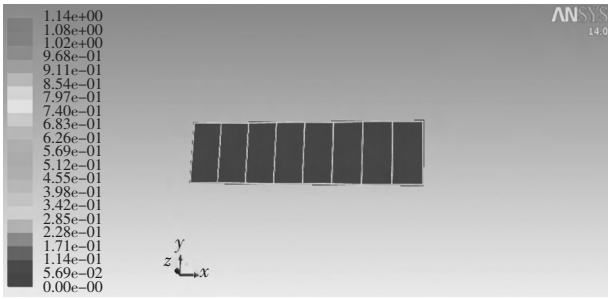


图 8　电池与电池仓四周距离为 4 mm 时空气气流速度分布

可见，在仓体内添加泡沫金属后，并不像单纯的强迫空冷，电池仓体的体积越大、电池单体的间距越大，散热越好，而是空气流量分配越均匀，散热越好。电池模块结构改进前后比较如表 2 所示。

表 2　电池模块结构改进前后比较

项目	改进前	改进后	改进效果
电池模块最高温度/℃	35.45	31.1	−4.35
电池模块最大温差/℃	3.83	0.6	−3.23
电池模块体积/cm^3	16 370	14 600	−1 770

从表 2 可以看出，经过对电池模块的结构优化，在相同的初始条件和边界条件下，当环境温度为 25 ℃时，电池的最高温度由原来不添加泡沫金属时的35.45 ℃下降到 31.1 ℃，下降了 4.35 ℃，最大温差由原来的 3.83 ℃下降到 0.6 ℃。电池仓体的体积由原来的518 mm×229 mm×138 mm 减小到 506 mm×229 mm×126 mm，体积减小了 12.95%。

4　结论

(1)当电动汽车动力系统为锂离子电池时，在电池仓内添加泡沫铝后，电池最高温度降低，在电池仓内添加的泡沫金属占电池长度的比例越大，电池模块最高温度下降越明显。

(2)原始电池模块的温度均匀性较差，影响电池组的使用性能和循环寿命。主要是因为电池组内部空间空气流动不均匀，导致换热系数低。

(3)提出了结构改进方案，通过修改电池与电池仓体间的距离，使得气流进入电池组内部各流道的空气流量均匀，提高了换热系数，改善了电池组内部的温度场，最高温度下降 4.35 ℃，最大温差下降 3.2 ℃，流速分布更均匀。

(4)通过对电池模块结构的优化，散热效果加强的同时，电池模块的体积减小 12.95%，更便于车体的安装。

参考文献

[1] 刘振军，林国发，秦大同. 电动汽车锂电池组温度场研究及其结构优化[J]. 汽车工程，2012，34(1)：80–84.

[2] Liang Gong，Zhao Jin，Huang Shanbo. Numerical study on layout of micro-channel heat sink for thermal management of electronic devices[J]. Applied Thermal Engineering，2015，(88)：480–490.

[3] Shahabeddin K Mohammadian，Seyed Moein Rassoulinejad-Mousavi，Zhang Yuwen. Thermal management improvement of an air-cooled high-power lithium-ion battery by embedding metal foam[J]. Journal of Power Sources，2015(296)：305–313.

[4] 李勇铜，徐会金，巩亮. 金属泡沫微流道热沉内流体流动与传热特性的数值研究[J]. 应用数学和力学，2014，35(3)：287–294.

[5] Stato N. Thermal behavior analysis of lithium-ion batteries for electric and hydrid vehicles[J]. Journal of Power Sources，2001，99(1/2)：70–77.

[6] 梁金华，李建秋，卢兰光. 纯电动车电池组散热必要性的初步分析[J]. 汽车工程，2012，34(7)：589–591，621.

作者简介 逯彦红(1980—)，女，副教授，博士，主要研究方向 新能源汽车热管理。E-mail：luyanhong80@126.com
段国林(通信作者)(1963—)，男，教授，博士生导师，博士，研究方向 数字化设计。E-mail：glduan@hedut.edu.cn

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

doi:10.13301/j.cnki.ct.2015.08.104

动调陀螺组合体温度场的有限元分析*

张海伟
(天津职业大学 机电工程与自动化学院, 天津 300410)

摘 要: 对动调陀螺组合体进行了功能分析与结构描述,完成了三维实体的建模和二维装配图的绘制。运用有限元软件 PATRAN/NASTRAN 镜像方法建立了陀螺对称台体的有限元模型,进而利用装配关系建立了整个组合体的有限元模型。划分了网格,选定了模型材料参数,运用传热学相关理论确定了载荷和热源,计算了对流系数,确定了热辐射边界条件。对整个组合体的温度场进行了有限元分析,分析结果为动调陀螺的结构设计和运行维护提供了理论依据和实践指导。

关键词: 动调陀螺; 温度场; 有限元; 分析
中图分类号: V444; TH123 **文献标志码**: A **文章编号**: 1008 - 8725(2015)08 - 0267 - 03

Finite Element Analysis on Temperature Field to Dynamic Gyroscope Combination

ZHANG Hai-wei
(School of Electromechanical and Automation, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China)

Abstract: The function analysis and structure of Dynamic Gyroscope Combination are described, 3D entity modeling and 2D assembly drawing are completed. The finite element model of gyro symmetrical body is established using mirror method of finite element software PATRAN/NASTRAN, and then finite element model of the whole assembly is established using assembly relationship. The grid is divided, the parameters of model materials are selected, the load and heat source are determined using the heat theory, convection coefficients are calculated, the thermal boundary conditions are determined. The temperature field of the whole combination is finite element analysed, the results of the analysis provide theoretical basis and practical guidance to the structure design and operation of dynamic gyroscope.

Key words: dynamic gyroscope combination; temperature field; finite element; analysis

0 引言

动调陀螺是空间卫星上重要的定位与定向装置,需要时刻与卫星保持连接状态。在运载火箭的发射和与之分离的过程中, 动调陀螺不可避免地承受巨大的加速度和温度巨变, 加上工作条件苛刻和环境的不稳定,必然存在温度应力问题。温度应力在动调陀螺的众多受力占有相当大的比重, 是其设计和运行中必须要考虑和控制的应力。要计算温度应力首先要确定的温度场, 所以很有必要进行温度场的有关分析和研究。在当前的工程技术领域中,有越来越多的复杂结构,包括其复杂的几何形状、复杂的载荷作用、复杂的边界条件、复杂的温度分布等,已经不能用简单的数学式表达出来,更谈不上求解析解,于是引进了近似的数值解。在众多的近似分析方法中, 有限元法是目前应用最为成功、最为广泛的方法。动调陀螺组合体结构复杂,适用于有限元法求解其温度场分布。本文运用有限元分析理论和相关软件 PATRAN/NASTRAN 对陀螺仪组合体的温度场进行分析,得出温度场在整个组合体中的分布情况。

1 有限元模型的建立

1.1 陀螺组合体的组成

动调陀螺组合体主要由用来固定陀螺的陀螺台体、底座及硅橡胶减震器构成。硅橡胶减震器是一种支架结构,支架结构在航天结构中是一种很常用的支撑结构,许多重要的部件都通过它来与母体结构相连接,其作用是使动调陀螺免受在运载火箭发射与分离的时候所产生的剧烈的机械振动而给其带来的对正常工作的影响,保证了陀螺工作的实时性和有效性。硅橡胶减震器通过 4 根刚性支柱实现与陀螺台体和底座的连接和定位,减震器本身又由减震套圈和连接套筒构成。

动调陀螺组合体的二维 CAD 装配图如图 1 所示。

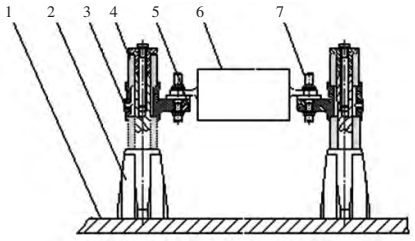


图 1 动调陀螺组合体 CAD 装配图

1. 转接底板 2. 刚性支柱 3. 连接套筒 4. 减震套圈 5. 垫块 6. 陀螺台体 7. 双头螺柱

1.2 陀螺组合体有限元模型建立

在动调陀螺组合体的各个组成部分中,陀螺台体的结构最为复杂, 并且很多零件和它有配合关系,首先要对其进行几何建模。考虑到陀螺台体的

* 天津市自然科学基金项目(12JC2CJD27200)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

内部结构较复杂，后续的划分单元有一定的难度，并且陀螺台体为一轴对称体，几何建模时先建其一半，以对称轴为中心线剖开。

对陀螺台体模型的一半完成单元划分后，运用 mirror 镜像生成另一半，最后得到整个台体的有限元模型，如图 2 所示。

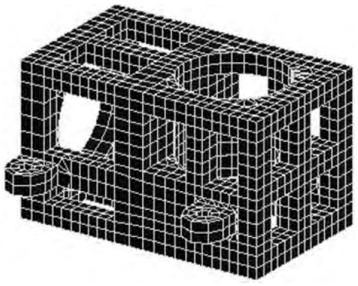


图 2　陀螺台体有限元模型

根据装配关系，再依次建立底板、连接套筒、双头螺柱、减震套圈和支柱的有限元模型，通过建立局部坐标，实现与陀螺台体的准确定位与装配，最终完成的整个组合体有限元模型。

1.3　有限元模型材料参数的确定

温度场的分析需要对研究对象材料的热力学属性进行设置，动调陀螺组合体减震套圈的材料为硅橡胶，双头螺柱的材料为不锈钢，陀螺台体、垫块、连接套筒、支柱和底板材料均为硬铝。在工况为空气、空气常温为 20 ℃下，各材料热力学参数如表 1 所示。

表 1　材料热力学参数

名称	密度 ρ/kg·m^{-3}	比热容 C/J·(kg·℃)$^{-1}$	导热系数 λ/W·(m·℃)$^{-1}$
硅橡胶	1 000	50	0.25
不锈钢	7 930	502	16.3
硬铝	2 780	875	190

2　载荷和边界条件的确定

2.1　确定热源

带动陀螺转动的电动机功率 5 W，共有 2 个，这是整个陀螺组合体的热源，2 个电动机分别随着 2 个陀螺安装在陀螺台体上水平和竖直 2 个圆孔内。电动机运转发热作为模型的热源，热流均匀地传向圆孔内壁，孔内壁得到的热流密度

$$q=\frac{\Phi}{A} \tag{1}$$

式中　A——圆孔内壁表面积，m^2；

水平圆孔内壁面积

$$A_s=2\pi\times0.025\times0.01=1.6\times10^{-3}\ \text{m}^2 \tag{2}$$

竖直圆孔内壁面积

$$A_z=2\pi\times0.025\times0.008=1.3\times10^{-3}\ \text{m}^2 \tag{3}$$

分别代入式(1)，求得水平圆孔内壁热流密度

$$q=3\ 125.2\ \text{W/m}^2 \tag{4}$$

竖直圆孔内壁热流密度

$$q=3\ 846.1\ \text{W/m}^2 \tag{5}$$

将热源加载在 2 个圆孔的内壁，选择法向热流，加在内壁单元的外表面上。

2.2　确定对流系数

动调陀螺的工作环境属于自然对流，对流换热系数(Heat convection coefficient)h 可通过努谢尔特(Nusselt)准则关系式推导。

努谢尔特准则数

$$N_u=\frac{hL}{\lambda} \tag{6}$$

式中　h——对流换热系数，W/(m^2·℃)；

λ——流体的导热系数，W/(m·℃)；

L——换热面的特性尺寸，m。

通过变换式(6)，得到对流换热系数

$$h=\frac{\lambda}{L}N_u \tag{7}$$

利用式(7)计算陀螺组合体各零件壁面的对流换热系数。首先计算陀螺台体各壁面的对流换热系数；上下 2 个减震套圈、连接套筒和支柱都为竖圆柱，特征尺寸为各自的高；支柱与空气接触的剩下底座部分，同样作为竖圆柱处理；底板分为上下 2 表面，分别为热面朝上和热面朝下的水平壁；同样，由于连接上下表面的四周壁面积较小，换热能力有限，对整体影响不大，为了方便计算，周壁上下 2 单元体外表面各自取就近表面的对流换热系数。

2.3　热辐射边界条件

陀螺台体水平和竖直 2 个圆孔，只有孔口边缘加了热源，其余内表面未给定对流边界条件。2 孔放置陀螺装置以后基本处于封闭状态，使得内表面将不能与空气充分接触而达到对流换热的效果，将内表面考虑为辐射换热。

3　空气中稳态温度场分布

选择 MSC.Patran 中的 Analysis 分析，针对已建好的模型，运用已设置好的控制信息，设置初始温度为空气温度 20 ℃，生成解算器输入文件，提交解算器运算分析，通过 Results 输出计算的结果，所得动调陀螺组合体的温度场分布如图 3 所示。

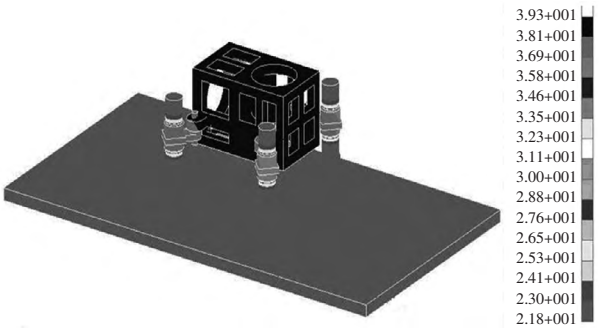


图 3　陀螺组合体温度场分布

由图 3 可知，陀螺组合体达到稳态后最高温度和最低温度分别为 39.2 ℃和 21.9 ℃，最高温度出现在陀螺台体上，而最低温度出现在底板上。由于热

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

源的直接作用，陀螺台体温度分布基本均匀，大约保持在 38~39 ℃，由于温度范围很小，在图3 中不能精确显示台体温度的真正分布，陀螺台体的温度场分布如图 4 所示。

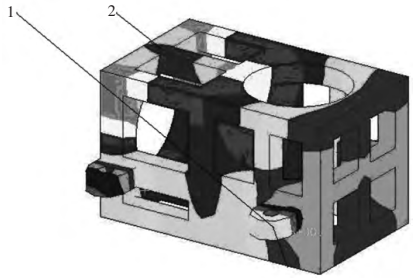


图 4　陀螺台体温度场分布

由图 4 可知，陀螺台体的最低温度 37.7 ℃，如图 4 中 1 处所指，这与它相对热源的位置以及这部分与硅橡胶减震器相连接有关，相对传热少而散热快使得其温度较低。温度最高的 39.3 ℃发生在 2 处所指的横杠的内侧，这里热源集中加上散热不及时使得其温度相对较高。就陀螺台体总体而言，温度分布较均匀。与陀螺台体一样，底板由于温度范围很小，在图 3 中也不能得到充分反映，精确的温度场分布如图 5 所示。

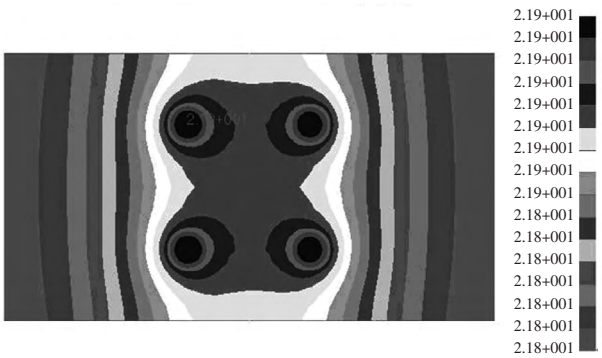


图 5　底板温度场分布

由图 5 可以看到，底板温度最高和最低之间只相差 0.1 ℃，最高温度为 21.8 ℃，发生在底板与支柱连接处。总体温度接近周围空气温度，这是由于减震套圈的材料为热传导系数很小的橡胶，说明减震套圈在传热过程中起到了隔热的作用。减震套圈的温度场分布如图 6 所示。

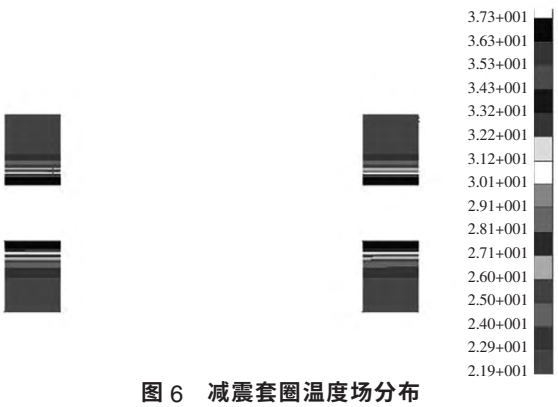


图 6　减震套圈温度场分布

由图 6 可知，其中最高温度为 37.2 ℃，分布在减震套圈与连接套筒接触的边缘，然而由于其热传导系数低，即导热能力差，并且通过和周围空气对流换热，在减震套圈的上边缘出现了它的最低温度 21.8 ℃，并且温度沿减震套圈轴向变化，从与连接套筒接触的边缘向两端递减，并且减幅较大，说明减震套圈在隔热过程中起到了关键的作用。连接套筒由于结构比较复杂，并且与较多的零件有接触，其温度场分布也较为复杂，并且温度范围相对较大，连接套筒的温度场分布如图 7 所示。

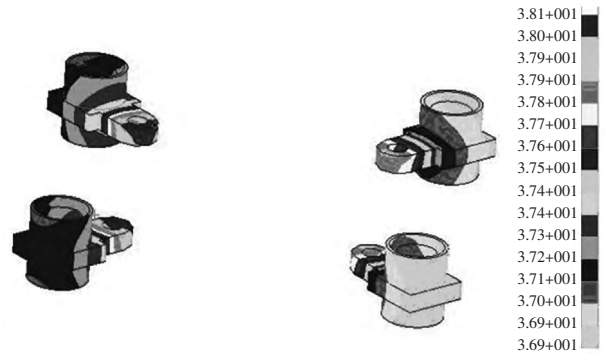


图 7　连接套筒温度场分布

由图 7 可知，左右套筒温度场分布有差异，这与热源加载在陀螺台体的位置有直接关系。单个连接套筒而言，其温度场的分布也很复杂，温度梯度较大，加上其形状复杂，且存在台阶和薄壁结构，这就需要设计时充分考虑其可能存在的温度应力。4 个连接套筒中，最低温度为 36.8 ℃，出现在与减震套圈相连接的边缘，最高温度为 38.2 ℃。

4　结语

运用传热学相关理论和有限元分析方法对航天动调陀螺组合体的温度场进行了分析，分析结果证明此方法是可行与有效的。掌握温度应力在组合体中各部件间的分布情况，为这些零部件的设计与改进提供了指导；整个温度场的有限元分析方法具有借鉴和推广价值。

参考文献：

[1]李宁. 核桃峪副井冻结温度场数值计算分析[J]. 煤炭技术，2014，33(8)：93-95.

[2]袁梅，何明华，王珍，等. 含坚固性系数的应力-温度场中瓦斯渗流耦合模型初探[J]. 煤炭技术，2012，31(7)：214-216.

[3]孙东霞，武胜男，沈科伟. 查干淖尔矿风井冻结温度场分析[J]. 煤炭技术，2012，31(3)：142-144.

[4]王喜. 基于 ANSYS 的提升机盘式制动器温度场仿真研究[J]. 煤矿机械，2012，33(12)：39-41.

[5]苏青，张彩英. 基于 ANSYS 的重载齿轮温度场分析[J]. 煤矿机械，2011，32(8)：94-96.

作者简介：张海伟(1980-)，天津蓟县人，副教授，硕士，主要从事有限元分析与机械设计等方面的研究工作，电子信箱：zhw199937@126.com.

责任编辑：郑万才　收稿日期：2014-12-04

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

装备与成套技术

锻造机双缸液压同步控制系统建模及仿真

吴 娜[1]，袁名伟[2]

（1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；
2. 天津职业技术师范大学 机械工程学院，天津 300222）

摘要： 为了提高锻造机双缸液压同步控制的精度，以便保证锻造成形的质量，简化锻造机双缸液压同步电液伺服控制系统模型，推导同步控制系统模型，得到控制目标方程。使用单神经元 PID 控制算法和交叉耦合算法作为锻造机双缸液压同步控制算法，通过仿真，分别得到并对比了使用常规模糊 PID 控制算法与模糊－单神经元 PID 控制算法作用下的锻造机左右液压缸的位置跟踪误差、相对同步控制误差以及液压缸的速度和压力跟踪误差。结果表明，相比于常规模糊 PID 控制算法，模糊－单神经元 PID 控制算法下的系统能够更快速地收敛，说明模糊－单神经元 PID 控制算法使得锻造机双缸液压同步电液伺服控制系统具有更强的鲁棒性。实验结果与仿真结果的变化规律一致，两者之间的误差小于 10%，验证了提出的锻造机双缸液压同步控制方法的可行性。

关键词： 锻造机；双缸同步控制；电液伺服；神经元控制；PID 控制算法

DOI： 10.13330/j.issn.1000-3940.2020.01.022

中图分类号： TP271 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000-3940（2020）01-0144-07

Modeling and simulation of double cylinder hydraulic synchronous control system for forging press

Wu Na[1], Yuan Mingwei[2]

(1. College of Electrical and Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China;
2. Collage of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: In order to improve the precision of double cylinder hydraulic synchronization control for forging press and ensure the quality of forging parts, the model of double cylinder hydraulic synchronization electro-hydraulic servo control system for forging press was simplified, the model of synchronization control system was deduced, and the control objective equation was obtained. Then, the single neuron PID control algorithm and the cross-coupling algorithm were used as the synchronous control algorithms of double-cylinder hydraulic system for forging press, and the position tracking error of left and right hydraulic cylinders for forging press, relative synchronous control error and tracking error of speed and pressure for hydraulic cylinders under the action of conventional fuzzy PID control algorithm and fuzzy-single neuron PID control algorithm were get and compared by simulation. The results show that the system of fuzzy-single neuron PID control algorithm converges faster than that of the conventional fuzzy PID control algorithm, and the fuzzy-single neuron PID control algorithm makes the double cylinder hydraulic synchronous electro-hydraulic servo control system of forging press more robust. Furthermore, the experimental results are consistent with the simulation results, and the error between them is less than 10% to verify the feasibility of the proposed double cylinder hydraulic synchronization control method for forging press.

Key words: forging press; double cylinder synchronization control; electro-hydraulic servo; neuron control; PID control algorithm

在工业发展速度日益加快的今天，同步驱动技术在冶金机械、金属加工领域，以及在航空航天驱动装置等等方面取得了非常广泛的应用。同时，这也使得对其精度也提出了更高的要求[1-2]。由于大型锻造机的锻造载荷大，其下压活动横梁往往使用双液压缸同步驱动进给，故在工程应用中，为了提高机械设备工作时的稳定性及锻造质量，通常使用液压系统双缸同步控制技术[3-4]。

目前，针对液压系统油缸同步控制技术，国内

收稿日期：2019－06－17；修订日期：2019－09－05
基金项目：全国教育科学“十五”规划教育部重点项目（DJB030362）
作者简介：吴 娜（1982－），女，硕士，实验师
E-mail：laoli_ global@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

外专家学者进行了大量的研究。文献[5]基于PLC控制器以及PID控制伺服特性，研制出工程应用多缸电液伺服同步系统；文献[6]在研究农业喷药车时，考虑到多缸电液伺服同步技术与四连杆机构特性，研制出了多缸调平系统；文献[7]中甚于电液多缸同步控制技术，研究并分析了火箭发射车液压调平系统，使其调平精度得到最大优化，其调平精度不大于0.2%；文献[8]中进行了大量的实践研究，研制出一种不同于常规自动调平系统的调平电液控制系统，适用于多点支撑式导弹发射台。

本文着重研究锻造机的双缸液压同步控制系统的数学模型建立及液压同步控制技术。为锻造机智能控制系统和电液伺服控制系统的设计提供参考。

1　锻造机双缸液压同步控制系统建模

本文研究的锻造机原理如图1所示。锻造机主要由锻造机底板、机架、活动横梁、液压缸、导向立柱、工件以及电液伺服系统等组成。

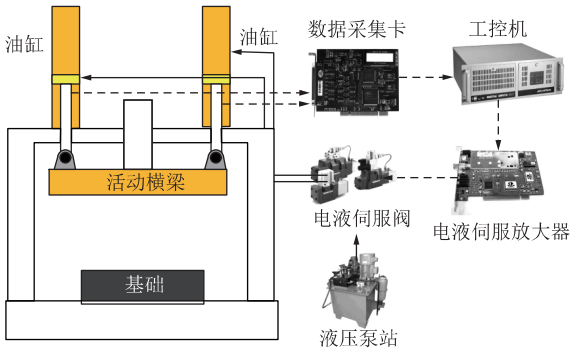


图1　锻造机工作原理简图

Fig. 1　Working principle sketch of forging press

双缸液压控制系统主要由泵站组、电液伺服阀组、液压缸位置高精度监测装置、数据采集模块、驱动模块以及上位机等组成[9]。

根据锻造机原理进行锻造机双缸电液伺服系统建模，如图2所示。

图2中，x_1为液压缸1活塞的位置；x_2为液压缸2活塞的位置；x_c为活动横梁中心的位置；θ为活动横梁的转角；L为液压缸1和液压缸2的中心距；L_1为活动横梁中心与导向立柱之间的间距；L_2为液压缸活塞到活动横梁之间的间距；p_{11}为液压缸1的无杆腔压力；p_{12}为液压缸1的有杆腔压力；p_{21}为液压缸2的无杆腔压力；p_{22}为液压缸2的有杆腔

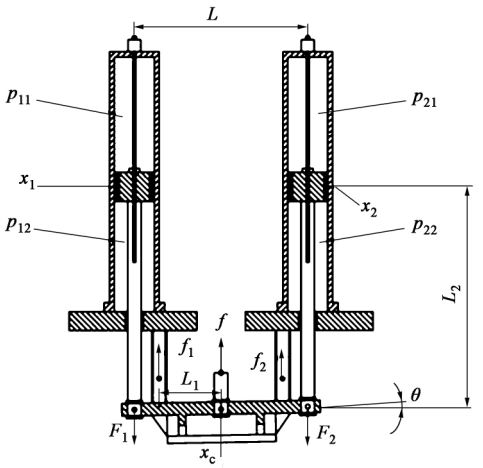


图2　锻造机双缸电液伺服系统建模

Fig. 2　Modeling of double cylinder electro-hydraulic servo system for forging press

压力；F_1为液压缸1的输出载荷；F_2为液压缸2的输出载荷；f_1为液压缸1的导向立柱的摩擦载荷；f_2为液压缸2的导向立柱的摩擦载荷；f为锻造机锻造载荷。

根据图1可知，当液压缸1和液压缸2的位置x_1和x_2不同步时，系统运动方程为：

$$\begin{cases} F_1\cos\theta + F_2\cos\theta + mg - f - f_1 - f_2 = mx''_c \\ -F_1\dfrac{L}{2} - f_2L_1 + F_2\dfrac{L}{2} + f_1L_1 = J\ddot{\theta} \end{cases} \tag{1}$$

式中：m为活动横梁的等效质量；J为活动横梁的转动惯量[10]。

液压缸1导向立柱的摩擦载荷f_1和液压缸2的导向立柱的摩擦载荷f_2分别表示为：

$$\begin{cases} f_1 = \mu F_1\sin\theta \\ f_2 = \mu F_2\sin\theta \end{cases} \tag{2}$$

式中：μ为弹簧系数。

联立公式（1）和公式（2）可得：

$$\begin{cases} F_1 + F_2 + mg - f = mx''_c \\ \dfrac{F_2 - F_1}{2}L = J\ddot{\theta} \end{cases} \tag{3}$$

活动横梁的位置x_c和转角θ可表示为：

$$\begin{cases} x_c = \dfrac{x_1 + x_2}{2} \\ \theta = \dfrac{x_2 - x_1}{L} \end{cases} \tag{4}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以液压缸 1 和液压缸 2 的活塞运动为研究对象，可得运动方程为:

$$p_{i1}A_{i1} - p_{i2}A_{i2} + m_i g - F_i - b_i \dot{x}_i = m_i x''_i \quad (5)$$

式中: A_{i1}为液压缸 i 的无杆腔面积; A_{i2}为液压缸 i 的有杆腔面积; p_{i2}为液压缸 i 的有杆腔压力; p_{i1}为液压缸 i 的无杆腔压力; m_i 为液压缸 i 的活塞等效质量; F_i 为液压缸 i 的输出载荷; b_i为液压缸 i 的等效阻尼系数; x_i 为液压缸 i 活塞的位置; $i=1$，2。

锻造机双缸电液伺服系统使用的是非对称电液伺服阀控制非对称液压缸，该系统液压缸负载压力特性方程为:

$$p_{iL} = \frac{\beta_e}{V_{ie}(x_i)}\left[C_d\omega_1 x_{iv}\varphi_i(x_{iv}, p_{iL}) - C_{it}p_{iL} - A_{i1}x'_i\right] \quad (6)$$

式中: p_{iL}为液压缸 i 的负载压力; β_e 为液体有效体积弹性模数; V_{ie}为承载流量; $V_{ie}(x_i)$ 为液压缸 i 的承载流量; C_d 为流量系数; ω_1 为液压缸阀口面积; x_{iv}为液压缸 i 的阀门位移; φ_i 为油液密度; $\varphi_i(x_{iv}, p_{iL})$ 为固定油液密度下系统液压缸的承载量; C_{it}为液压缸内泄露系数。

选取状态空间为:

$$\boldsymbol{x} = [x_1 \quad x_2 \quad p_{1L} \quad p_{2L}]^T = [x_i]^T \quad (7)$$

式中: $\boldsymbol{x}$ 为液压缸负载压力空间状态向量。

由上述方程可得，锻造机双缸液压同步控制系统的状态控制数学模型为[11]:

$$\boldsymbol{M}\boldsymbol{x}'' + \boldsymbol{B}_1\boldsymbol{x}' + \boldsymbol{B}_2\boldsymbol{x} = \boldsymbol{C}_1 u + \boldsymbol{C}_2 d \quad (8)$$

其中:

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} m_1 + \frac{m}{2} & m_2 + \frac{m}{2} & \boldsymbol{0}_{2\times2} \\ 2J - m_1 & 2J + m_1 & \\ \boldsymbol{0}_{2\times2} & & \boldsymbol{0}_{2\times2} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{B}_1 = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & \boldsymbol{0}_{2\times2} \\ -b_1 & b_2 & \\ \beta_e A_{11} & 0 & V_{1e} \quad 0 \\ 0 & \beta_e A_{21} & 0 \quad V_{2e} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{B}_2 = \begin{bmatrix} \boldsymbol{0}_{2\times2} & -A_{11} & -A_{21} \\ & A_{11} & A_{21} \\ \boldsymbol{0}_{2\times2} & \beta_e C_{1t} & 0 \\ & 0 & \beta_e C_{2t} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\boldsymbol{C}_1 = \begin{bmatrix} \boldsymbol{0}_{2\times2} & \boldsymbol{0}_{2\times2} \\ \boldsymbol{0}_{2\times2} & \beta_e C_d\omega_1\varphi_1 \quad 0 \\ & 0 \quad \beta_e C_d\omega_1\varphi_1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{C}_2 = \boldsymbol{I}_{4\times4} \quad (10)$$

式中: $\boldsymbol{M}$、$\boldsymbol{B}_1$、$\boldsymbol{B}_2$、$\boldsymbol{C}_1$、$\boldsymbol{C}_2$ 以及 $\boldsymbol{I}_{4\times4}$均为各自状态控制矩阵; u 为锻造机双缸液压同步控制系统的控制率; d 为输入干扰量。

根据锻造机双缸液压同步控制系统数学模型建立如图 3 所示的模型示意图。其中，K_1 为控制器 1; K_2 为控制器 2; u_1 为输入信号 1; u_2 为输入信号 2; ω_2 为液压缸转动角速度; s 为传递函数; d_1 为外负载力; $\tilde{m}_1$、$\tilde{m}_2$ 为液压缸 1、2 负载的等效质量。

2 双缸同步控制算法

2.1 PID 控制算法

PID 控制是比例、积分与微分控制的简称，其按照一定的比例使用 3 种控制量的线性组合得到最终控制参数，实现对被控对象的精确控制。PID 控制应用广泛，经过多年来的发展和应用，其技术成熟度和应用广泛性得到了普遍认可。PID 控制原理可表示为:

$$u(t) = K_p\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)\,\mathrm{d}t + T_d\frac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t}\right] \quad (11)$$

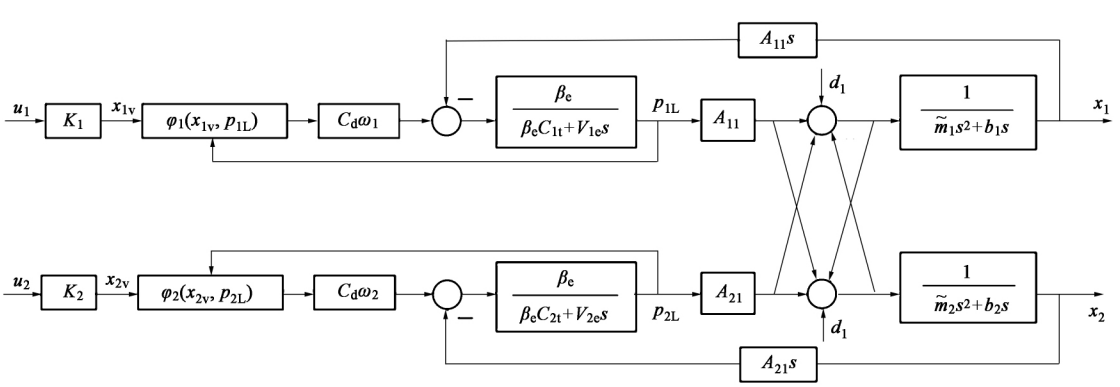


图 3 锻造机双缸液压同步控制系统模型

Fig. 3 Model of double cylinder hydraulic synchronous control system for forging press

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中: $u(t)$ 为控制量输出信号; K_p 为比例系数; $e(t)$ 为控制偏差; T_i 为积分常数; T_d 为微分常数; t 为积分系数。

2.2　模糊 – 单神经元 PID 控制算法

人工神经网络可以对非线性系统以及不确定性系统施行有效的控制，同时，无限接近线性系统与非线性系统; 神经网络中存在神经元，其具有鲁棒性和容错性，用于储存定量、定性的信息; 神经网络中的神经元还具有自适应和自学习的能力，对于任意函数都可以逼近。另外，其具有易于实现、权值学习时间短、计算量小以及结构简单的优势，比较适合在一些单输出、多输入的非线性处理单元中应用。

本文基于 PID 控制器、单神经元以及模糊算法理论，可以实现工业应用中液压缸同步控制，有效提高其工作性能。图 4 为模糊 – 单神经元 PID 控制器原理。其中，$r(k)$ 为原始输入量; $e(k)$ 为误差经 PID 控制器处理后的输出状态; $\Delta e(k)$ 为 $r(k) - e(k)$ 的值; $x_1(k)$ 为转换状态 1; $x_2(k)$ 为转换状态 2; $x_3(k)$ 为转换状态 3; $W_1(k)$ 为第 k 代神经元 1; $W_2(k)$ 为第 k 代神经元 2; $W_3(k)$ 为第 k 代神经元 3; K 为输出增益; $u(k)$ 为模糊 – 单神经元 PID 控制器控制量; Z^{-1} 为辅助系数。

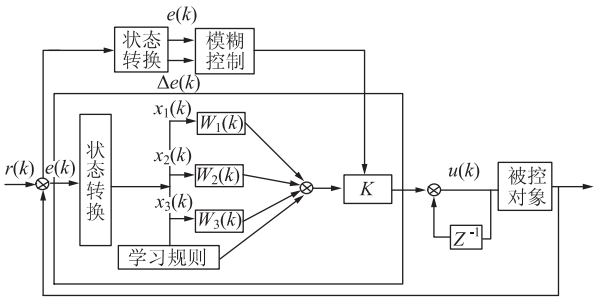


图 4　模糊 – 单神经元 PID 控制器原理

Fig. 4　Principle of fuzzy-single neuron PID controller

控制器的输入是被控对象反馈的误差和误差变化率，通过状态转换得到单神经元的 3 个输入量为:

$$\begin{aligned} x_1(k) &= e(k) \\ x_2(k) &= \Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \\ x_3(k) &= e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{aligned} \quad (12)$$

本文使用增量式的单神经元控制算法对单神经元控制器的权值进行调节。

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k) + K\sum_{j=1}^{3} W_j(k+1)\,x_j(k+1) \\ W_j(k) &= w_j(k) / \sum_{j=1}^{3} |\,w_j(k)\,| \\ \Delta w_j(k+1) &= \Delta w_j(k) + \eta_j u(k)\,e(k)\,x_j(k) \end{aligned} \quad (13)$$

式中: $w_j(k)$ 为第 j 个神经元; $\Delta w_j(k)$ 为目标神经元; η_j 为第 j 个抑制系数与辅助系数的比; $j=1$，2，3。

使用上述控制器后，单神经元控制器包含 4 个可调参数，其中包括一个输出增益 K 和 3 个权值学习速率，输出增益 K 影响着单神经元 PID 控制器的稳定性和收敛性。神经元控制器的输出调节量随 K 增大而增大，从而调节时间减少，收敛速度增大，当 K 值不断增大到某一较大值时，此时系统将发生超调现象，系统稳定性降低，发生震荡; 反之，随着 K 值的减小，控制器输出调节量减少，调节时间增加，系统更加稳定。当 K 值不断减小到某一较小值时，系统响应速度受 K 值影响而降低，其跟踪能力将减弱。

本文研究的参数自正定模糊控制器，可有效调节增益 K 值对神经元 PID 控制器的影响。当出现复杂对象或者控制对象无法建立精准数学模型时，由于模糊控制较强的鲁棒性和抗干扰性，可对其进行有效地调节控制。因此，模糊控制设计简单、对被控模型精准性要求低，一般可应用于参数随工作点变动大、交叉耦合严重以及高度非线性控制中。根据设计者工程经验以及理论所建立的控制规则能够采纳较好的控制思想。

模糊控制器调节系统输出增益 K 值时，可将液压缸的误差变化率及同步误差设置为控制器的输入变量。为了便于计算机计算，分别使用 0.1 和 0.05 的量化因子将同步误差和误差变化率归一到范围为 [–1，1] 的基本论域内。将量化因子设置为 0.4，输出论域设置为 [–3，3]。

系统的输入输出变量为隶属度函数，隶属度函数呈三角形分布，可有效提高系统中算法的执行效率，函数在进行运算过程中，其隶属度幅值与模糊论域的步长大小相等。模糊规则按照以下的原则进行选取: 当系统出现偏差较大时，为了减少调节时间达到最优，将相应速度提升，增加 K 值; 当系统出现偏差较小时，为了防止发生超调现象，提高系统的稳定性，选取较小 K 值。表 1 为模糊规则。

表 1　模糊规则

Table 1　Fuzzy rules

EC	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PM	PM	PB	PS	PS	NS
NM	NS	PB	ZO	NB	NS	NM	PB
NS	PM	PB	NB	PB	PM	NB	NM
ZO	PB	NM	PM	ZO	NM	NS	PS
PS	PM	PS	ZO	ZO	PB	PB	PB
PM	NB	PS	NB	PM	NS	NB	PB
PB	PB	NS	PM	NM	NS	PM	NM

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 锻造机双缸同步控制仿真研究

使用MATLAB/Simulink仿真模块，根据前文得到的锻造机双缸液压同步控制系统模型建立仿真模型。使用常规模糊PID控制算法与模糊－单神经元PID控制算法进行对比分析。研究不同算法下的锻造机双缸液压同步控制精度[12-13]。

根据锻造机实际情况得到数学模型中的各项参数为：活动横梁质量为1500 kg；液压缸活塞等效质量为800 kg；液压缸有杆腔活塞面积为10156 mm^2；液压缸无杆腔活塞面积为13273 mm^2；液压缸阻尼系数为600 $N \cdot s \cdot m^{-1}$；液压缸泄露等效系数为500 $m^5 \cdot N \cdot s$；液压缸1和液压缸2的中心距为1600 mm；活动横梁与导向立柱之间的间距为600 mm；导轨摩擦系数为0.15；液压油的容积模数为700 MPa；流量系数为0.6；电液伺服阀的阀口面积梯度为18π mm^2。

仿真得到分别使用常规模糊PID控制算法与模糊－单神经元PID控制算法作用下的锻造机液压缸1和液压缸2的位置跟踪误差、相对同步控制误差以及液压缸的速度和压力跟踪曲线，如图5所示。

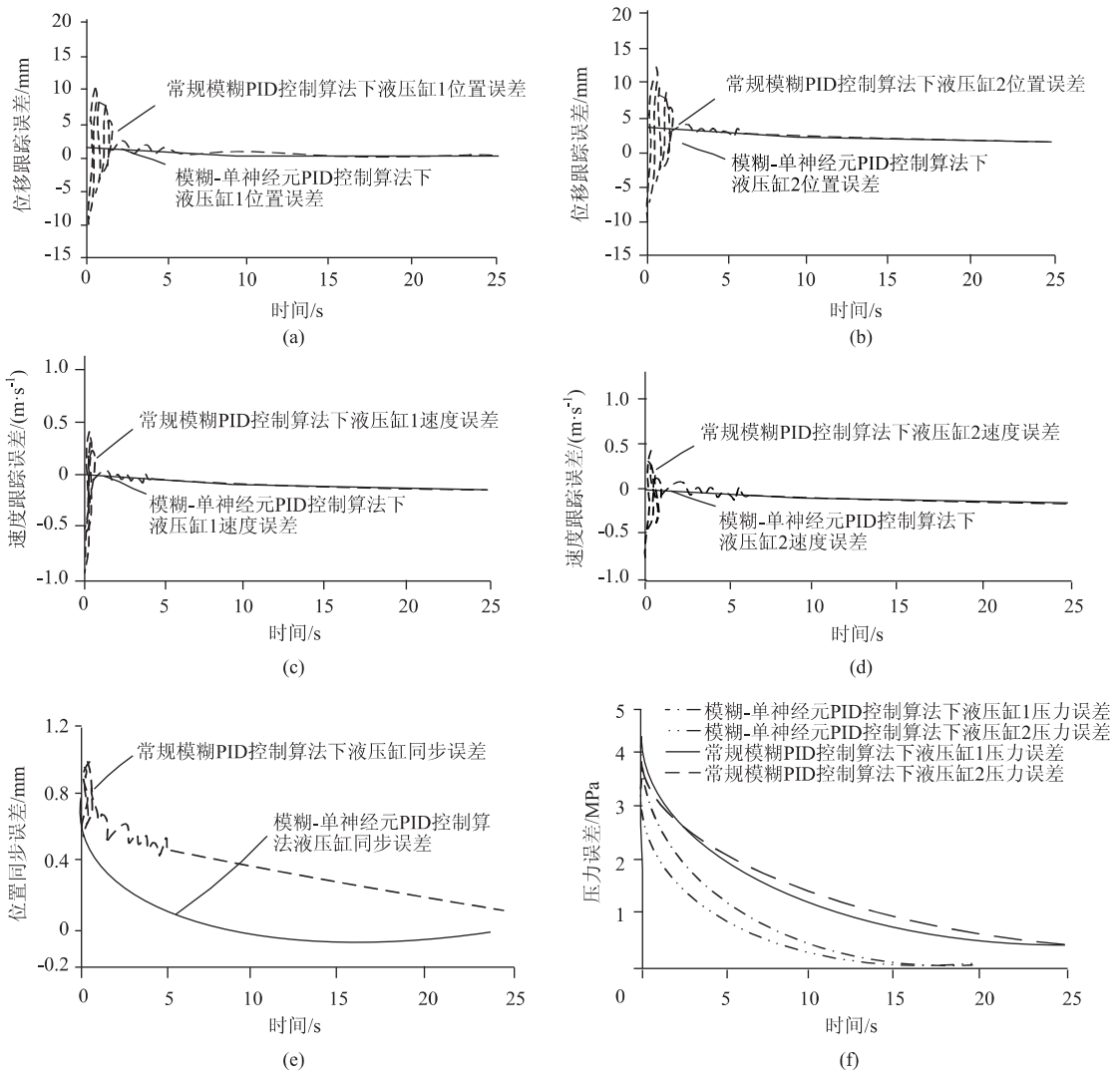


图5 锻造机双缸液压同步控制仿真结果

(a) 液压缸1的位置跟踪误差 (b) 液压缸2的位置跟踪误差 (c) 液压缸1的速度跟踪误差 (d) 液压缸2的速度跟踪误差

(e) 左右液压缸的同步控制误差 (f) 液压缸的压力控制误差

Fig. 5 Simulation results of double cylinder hydraulic synchronization control for forging press

(a) Position tracking error of hydraulic cylinder 1 (b) Position tracking error of hydraulic cylinder 2 (c) Speed tracking error of hydraulic cylinder 1

(d) Speed tracking error of hydraulic cylinder 2 (e) Synchronization control error of left and right hydraulic cylinders

(f) Pressure control error of hydraulic cylinder

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由仿真结果可知，在模糊－单神经元控制算法下，左右液压缸的最大位置跟踪误差为 3.8 mm，并且在 5.0 s 内，左右液压缸的最大位置跟踪误差趋于 0；在常规模糊 PID 控制算法下，左右液压缸的最大位置跟踪误差达到了 15 mm，并且稳定趋于 0 的调整时间超过 15.0 s。由锻造机左右液压缸的同步控制误差曲线可知，初始同步误差在 0.7 mm 左右，模糊－单神经元控制算法作用下，锻造机左右液压缸的同步误差在 8 s 左右稳定趋于 0；而常规模糊 PID 控制算法下，锻造机左右液压缸的同步误差在初始的 5 s 内剧烈波动，并且在仿真时间 25 s 内依然没有稳定。由左右液压缸的速度控制曲线以及压力控制曲线也能够看出，相比于常规模糊 PID 控制算法，模糊－单神经元控制算法下系统能够更快速地收敛。

4　实验研究

针对锻造机双缸液压同步控制系统进行实验研究，分别使用常规模糊 PID 控制算法与模糊－单神经元 PID 控制算法作为同步控制的核心算法，得到液压缸 1 和液压缸 2 的位置跟踪误差以及液压缸的速度曲线如图 6、图 7 所示。

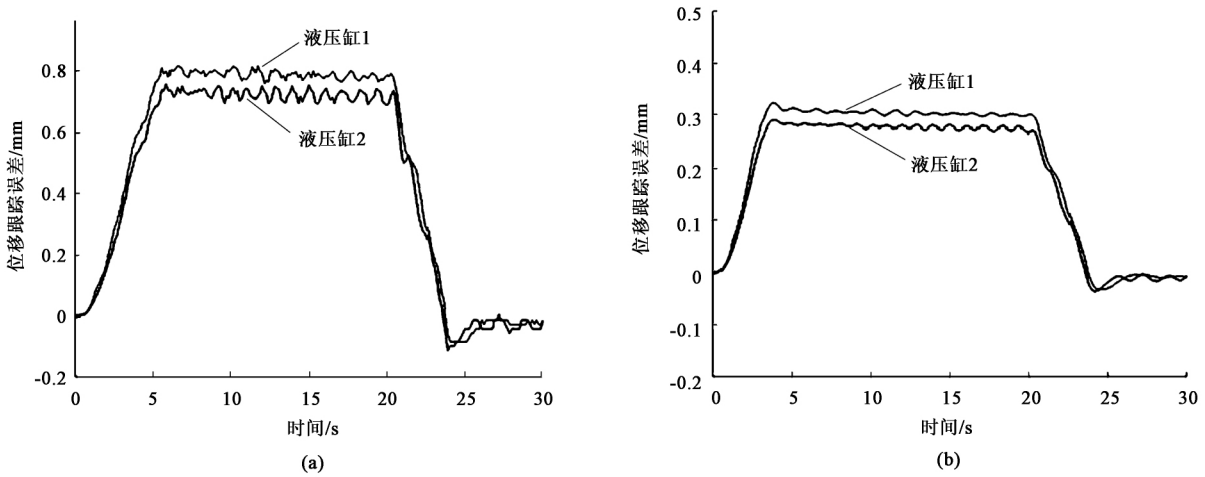


图 6　液压缸位置跟踪误差

(a) 常规模糊 PID 控制算法　(b) 模糊－单神经元 PID 控制算法

Fig. 6　Position tracking errors of hydraulic cylinder

(a) Conventional fuzzy PID control algorithm　(b) Fuzzy-single neuron PID control algorithm

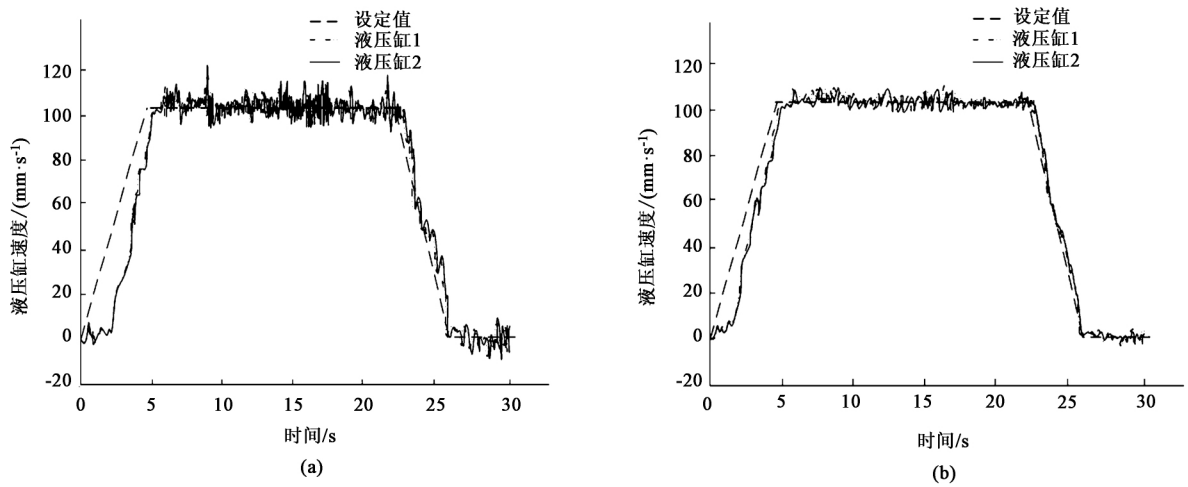


图 7　液压缸的速度曲线

(a) 常规模糊 PID 控制算法　(b) 模糊－单神经元 PID 控制算法

Fig. 7　Speed curves of hydraulic cylinder

(a) Conventional fuzzy PID control algorithm　(b) Fuzzy-single neuron PID control algorithm

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

实验结果与仿真结果存在一定的误差，但是误差在合理范围之内，实验结果与仿真结果趋势基本一致，验证了本文研究的锻造机双缸液压同步控制系统的有效性。仿真结果相对实验结果的抖动较小，主要原因是：真实液压系统会存在比例阀死区非线性特性等仿真模型无法还原的不确定因素。另外，真实控制系统的响应时间和扫描周期在10 ms以上，无法达到仿真模型的响应时间。

5 结语

本文通过分析锻造机工作原理，简化锻造机双缸液压同步电液伺服控制系统模型，推导同步控制系统模型，得到控制目标方程。使用单神经元PID控制算法和交叉耦合算法作为锻造机双缸液压同步控制算法，通过仿真，对比了分别使用常规模糊PID控制算法与模糊－单神经元控制算法作用下的锻造机左右液压缸的位置跟踪误差、相对同步控制误差以及液压缸的速度和压力跟踪误差。结果表明，相比于常规模糊PID控制算法，模糊－单神经元PID控制算法下系统能够更快速地收敛，说明模糊－单神经元PID控制算法使得锻造机双缸液压同步电液伺服控制系统具有更强的鲁棒性。

参考文献:

[1] 王庆娟，双翼翔，孙亚玲，等. 锻造工艺对BTi20合金组织和力学性能的影响[J]. 稀有金属，2019，43(1)：32－37.
Wang Q J，Shuang Y X，Sun Y L. et al. Process on microstructure and mechanical properties of BTi20 titanium alloy with two forging processes.[J]. Chinese Journal of Rare Metals，2019，43(1)：32－37.

[2] 张凌峰，赵宇，马春. 12.5 MN快速锻造机液压油缸故障分析与修复[J]. 设备管理与维修，2018，(22)：69－71.
Zhang L F，Zhao Y，Ma C. Fault analysis and repair of hydraulic cylinder of 12.5 MN rapid forging machine[J]. Equipment Management and Maintenance，2018，(22)：69－71.

[3] 殷正瑞，李兴成，刘凯磊，等. 100 MN液压锻造机预紧组合式机架的有限元分析[J]. 锻压技术，2019，44(8)：66－69.
Yin Z R，Li X C，Liu K L，et al. Finite element analysis on pretightened combination frame for 100 MN hydraulic forging machine.[J]. Forging & Stamping Technology，2019，44(8)：66－69.

[4] Yang H Y，Shi H，Gong G F，et al. Electro-hydraulic proportional control of thrust system for shield tunneling machine[J]. Automation in Construction Construction，2009，18(7)：950－956.

[5] Sun J，Miao Y B. Modeling and simulation of the agricultural sprayer boom leveling system[A]. 2011 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation[C]. Shanghai：IEEE Computer Society，2011.

[6] 范淑琴，华毅，赵升吨，等. 多电机驱动的双辊夹持旋压成形装置的动力学仿真[J]. 锻压技术，2019，44(2)：93－98
Fan S Q，Hua Y，Zhao S D，et al. Dynamic simulation of double roller clamping spinning device driven by multi motor[J]. Forging & Stamping Technology，2019，44(2)：93－98.

[7] Ota Y，Mizunuma W，Konuma H，et al. Horizontal stabilization of a rocket launcher transporter[A]. International Conference on Advanced Motion Control[C]. Nagoya：IEEE，2000.

[8] 郭晓松，占金春，冯永保，等. 导弹发射台新型通用调平系统设计[J]. 机床与液压，2007，35(2)：114－117.
Guo X S，Zhan J C，Feng Y B，et al. Design of a new all-purpose leveling system for missilery launching pad[J]. Machine Tool and Hydraulics，2007，35(2)：114－117.

[9] 张红. 轧机多缸调平系统耦合同步控制方法[J]. 锻压技术，2019，44(5)：110－115.
Zhang H. Coupling synchronous control method for multi-cylinder leveling system of rolling mill[J]. Forging & Stamping Technology，2019，44(5)：110－115.

[10] 倪敬，邵斌，蒙臻，等. 液压拉床双缸IPSO-PID伺服同步驱动控制研究[J]. 中国机械工程，2013，24(11)：1494－1500.
Ni J，Shao B，Meng Z，et al. Research on IPSO-PID servo synchronous drive control of double cylinder hydraulic broaching machine[J]. China Mechanical Engineering，2013，24(11)：1494－1500.

[11] 邵斌. 双缸拉床电液伺服同步驱动系统研制[D]. 杭州：杭州电子科技大学，2013.
Shao B. Development of Electro-hydraulic Servo Synchronous Drive System for Double-cylinder Broaching Machine[D]. Hangzhou：Hangzhou University of Electronic Science and Technology，2013.

[12] 宋云艳. 基于单神经元PID的双液压缸同步控制技术研究[J]. 液压气动与密封，2014，34(7)：45－47.
Song Y Y. Research on synchronous control technology of double hydraulic cylinders based on single neuron PID[J]. Hydraulic Pneumatic and Sealing，2014，34(7)：45－47.

[13] 裴红蕾，刘刚，赵翠萍. 基于二级控制器的重型锻造液压机同步控制[J]. 锻压技术，2019，44(1)：124－128，147.
Pei H L，Liu G，Zhao C P. Synchronous control of heavy forging hydraulic press based on two-stage controller[J]. Forging & Stamping Technology，2019，44(1)：124－128，147.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对当前我国职业资格证书制度改革工作的几点建议

黄　鑫

（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：在研究国际社会的职业资格证书制度当前形势的基础上，结合我国国家职业资格证书制度的现状，分析当前我国该制度存在的主要问题及产生的原因，并从法律保障和标准体系建设、行业组织参与机制等方面提出了一些解决方案，为我国职业资格证书制度的改革工作提供了建议。

关键词：职业资格制度；职业标准体系；职业资格认证

中图分类号：G 717　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1671－0517（2017）01－0012－03

自 2014 年 6 月至今国务院先后分六批共取消了 319 项职业资格的许可和认定事项，职业资格总量减少了近一半，国务院常务会议明确指出下一步还要继续取消一部分不规范和不符合规定的职业资格。社会上，有一些人由此产生了错误的想法，认为职业资格证书制度本身出了问题，国家要逐步取消职业资格认证。但事实上，这一举措政府一是为落实简政放权、深化行政审批制度改革政策，二是为进一步加大对职业资格认证的规范力度，减少就业关卡激发各类人才创新创业活力。纵观当前国际社会，大多发达国家的职业资格证书制度经过前期一系列的建设和改革，该项制度正处于蓬勃发展的时期。就目前我国职业资格证书制度现状来看，确实存在一些迫切需要解决的问题，我国政府相关部门也正在积极进行改革并寻求解决对策。

1　国外发达国家几个典型的职业资格证书制度

1.1　英国的 NVQ 和 GNVQ 国家职业资格证书制度

英国的国家职业资格证书制度是世界上起步最早且被认为是比较完备的一套体系。1986 年英国政府发表了《教育与培训——共同工作》白皮书，提出一种将职业资格与教育资格置于同一框架内的国家职业资格证书制度（NVQ）[1]。随后，又推出一种提供更宽泛、更基础教育的证书制度——普通职业资格证书制度（GNVQ）。1995 年英国的教育部与就业部合并，统一管理全国职业技术教育，推行 NVQ 和 GNVQ 相统一的国家职业资格证书制度。通过职业资格证书制度来引导规范职业教育，并且职业资格证书成为学历教育与职业培训之间互通互认的桥梁。

1.2　澳大利亚的 AQF 职业资格认证框架体系

目前澳大利亚国家推行的是一个相当完善的职业资格认证框架体系——Australia Qualification Framework（AQF）[2]。它是一个综合性的、全国一致而且非常灵活的框架体系，包括义务教育阶段后的所有职业资格证书，从高中毕业证书到职业教育与培训证书，再到大学教育所颁发的资格证书。该框架把所有这些资格证书联系起来，是一个透明度很强的国家教育质量保障和认定体系。其中一个重要部分就是 TAFE 培训包制度。TAFE 培训包以其标准的岗位标准描述、透明的课程信息、清晰的等级划分、规范的教育培训、卓有成效的培训效果为世人所称道，近些年成为众多国家学习和效仿的典范。

1.3　加、美两国的职业资格认证制度

在加、美两国实施的是以法律为依据的职业资格许可制度。在加拿大，国家职业资格设立的准则是具备两个基本条件：一是涉及民生安全、二是应用工程，满足这两个条件的专业（职业）必须取得资格证书。美国从 1938 年开始实施职业资格认证制度以来，逐步制定了有关专业技术人员职业资格的法律和法规，对职业培训、标准、资格证书的发放和管理做出了具体规定[3]。另外，加拿大的职业资格认证制度最大特点是职业资格协会管理模式，行业协会具有以职业认证指导的职业学历教育的职能。其职业教育采用 CBE 模式，从职业岗位的需要出发，由有代表性的企业专家组成的课程开发委员会制定课程开发表，使专业教育始终依凭着职业认证的标准进行。

1.4　德国的“双元制”职业资格体系及以行业为主体的职业资格认证

德国现行的“双元制”职业资格体系，要求学生在毕业时取得考试证书、培训合格证书和职业学校毕业证书。同时，其人才培养也采用“双元制”模式，由企业和学校共同承担培养人才的任务，按照企业对人才需求组织教学和岗位培训[4]。另外，德国的职业资格认证是以国家统一管理、行业协会等组织为实施主体的模式，德国的法律条款中明确规定职业资格认证由行业协会、工会和国家共同管理，在具体分工上，政府主要在宏观上把握职业教育的总体方向，为职业资格认证制度提供法律上的合法性保障，但真正的职业资格认证活动实质上则是由行业协会来运作。

收稿日期：2016－10－27

作者简介：黄鑫（1983－），女，湖北宜昌市人，实验师，硕士，主要从事职业技能鉴定研究。

基金项目：中国高等职业技术教育研究会 2012-2013 年度立项课题（GZYLX1213325）。

中国知网　https://www.cnki.net

2　我国职业资格证书制度的现状与问题

我国职业资格证书制度自正式提出至今经历了二十多年的发展，在制度建设方面取得了较为显著成绩，国家职业资格认证在全社会已形成一定规模，但同时也暴露出一些突出问题。具体来说我国的职业资格证书制度目前存在的主要问题及原因有：

2.1　法律法规和监管机制不健全，各类考试乱象丛生

目前，我国职业资格证书存在大量“考试混乱”“乱发证书”“假证泛滥”的现象，严重扰乱了职业资格认证的正常秩序，破坏了其公正性和严肃性。这些现象的产生归根到底是由于我国职业资格的法律体系不健全，没有专项的法律制度，各单项职业资格法规文件在相关表述上自成体系；未能明确各类职业资格的具体性质和类别，没有明确职业资格实施规则等；缺乏严格的执法和监管,制度执行末端甚至表现为执法缺位。

2.2　职业资格标准体系的建设落后，证书“含金量”不高

职业资格认证普遍存在重知识、轻能力，重书面考试、轻实际操作的倾向。现在很多学生在就业时手拿多个职业资格证书，但真正上岗后发现实际动手和工作能力并不强，实则是一群学术派和理论派，完全失去了职业资格证书对技术技能型人才培养和评价的功能。职业资格证书不能满足企业对各类技术人才的需求，导致企业对职业资格证书的支持和认可度不高，证书的实用性不强、含金量不高。这主要是由于我国的职业标准开发在很大程度上脱离经济、生产的要求和就业需求；更多地带有学科体系的框架和特征，追求的是知识体系的完整性，而不是追求职业功能的实现和技术技能的应用；不能很好的跟随生产力的发展和技术的进步而做出相应变动；主要反映了上层管理部门的要求和利益，而难以反映实际生产部门的要求和利益。

2.3　行业协会、学会等组织所发挥的作用不规范、参与度不高

应该说行业协会等组织在职业资格认证工作中有着很大的优势，能快速洞悉职业的具体需求和标准，拥有政府不具备的行业资源。但目前我国行业协会、学会和其他社会组织在职业资格认证中所起的作用，存在着不规范、水平不高的问题：有些部门、地方和机构、协会私自设置或引进的所谓的职业资格证书，并未向人力资源和社会保障部门报备和批准，造成社会上各种资格证书名目繁多、证出多门、重复交叉。另一方面，在新职业的开发、职业标准的制定等方面行业协会、学会等组织的参与度却不高，导致很多职业标准不能满足行业实际需要、跟不上行业的发展。这主要是因为现行国家职业资格证书制度没有明确职业资格管理的监管主体，各部门、机构、组织在制度中的角色定位不清，职责、义务和权利不明确。

3　我国职业资格证书制度改革的几点建议

我国正处于全面的经济社会转型期，随之必然引起劳动力市场需求及就业结构的变化，这个时期更需要充分应用好职业资格证书这项制度，应大胆学习和借鉴东西方发达国家职业资格证书制度的优势和特点，同时结合国情、历史发展和工作实践对该项制度进行大刀破斧的改革。主要建议如下：

3.1　完善职业资格管理政策法规，加强对职业资格实施的监管

我国正在建设法治社会推进法制化进程，依法治国是基本方略。因此，职业资格证书制度也应尽快纳入立法程序，建立职业资格证书制度的专项法规与规章，与现有的职业资格法规逐步形成职业资格法律体系。

一是随着我国政府职能的转变，政府部门应更多的承担相关立法工作和涉及公众安全的职业资格类别的直接管理，在宏观管理层面发挥指导和监督作用。在法律法规上要进一步明确涉及准入性职业的用人单位和获得资格证书人员，所应承担的法律责任和社会义务；明确行业协会等组织开展的水平评价类资格认证活动的权限与义务，并加大监管的力度。

二是通过立法建立职业资格完善的法律体系，明确职业资格的分类内涵、设置与实施的主体，对于就业准入类职业规定只能由人社部主导制定并管理实施，水平评价类职业则是由本行业内的机构组织设置及开展认证，但必须向人社部报备批准进行统一管理；构建全国统一的职业资格证书体系，规范全国职业资格的登记、注册、管理、执法的程序。

三要建立职业资格证书制度运行制度，明确职业资格证书制度相关链条工作中公共服务和市场化工作的界限；明确各类角色扮演禁忌规则，严禁“考试与培训结合”、“培训与资格证书捆绑”等；明确职业资格相关服务运行规则、纳入行业组织自律约束的范围；加大对职业资格认证活动的监管以及违规操作的惩处力度。

3.2　研究职业资格标准体系的建设和发展

职业资格标准体系是职业资格证书制度的一项基础性工作。我国目前在职业资格标准建设方面有许多亟待完善的地方，具体来说，可以在从以下几方面进行相关的研究：

3.2.1　改进我国的职业分类和职业定义　我国于1999 年 5 月正式颁布《中华人民共和国职业分类大典》，是对我国所有职业进行了划分和归类的第一部典籍，为中国职业分类做出了开创性贡献。但是随着我国社会经济的迅猛发展，尤其是面对当前我国产业结构的转型，社会职业结构已发生根本变化，虽然《大典》也经过了多次修订，但仍不能满足时代的需要。当前对《大典》的修订应借鉴国际标准职业分类以及有关国家和地区职业分类的经验，改变职业分类的视角，从按照社会工作性质同一性的原则转向以各类工作的“技能水平”和“技能的专业程度”为标准，使职业的分类和设置从服务于计划管理部门转为反映生产部门和劳动者的要求。另一方面要进一步丰富职业信息，除了职业名称、代码、工作内容和下设岗位外，还应

中国知网　https://www.cnki.net

明确职业定义及适用范围，对应的具体工作岗位描述和主要工作职能。特别地，还应指出职业资格的属性例如就业准入类、水平评价类等，并指明该职业资格认证的实施和管理方式，这样才能让从业者对本职业性质有清楚了解。

3.2.2 职业资格标准要素结构的研究 职业能力的水平高低反映了从业者的职业素质，是职业岗位对技能人才的要求，故职业能力是职业资格标准的重要要素。应通过研究职业标准的内涵及结构，将职业能力要素放在重要位置，创立符合我国国情的职业标准能力要素结构，为更加科学培养和评价各类专业人才提供充分的依据。另外，在职业标准体系的开发流程上可以借鉴韩国职业标准开发模式，采用 DACUM 技术、CBC 技术、FA 技术，按照如下一系列程序：建立一个开发计划；分析开发领域的特点；职业结构分析；工作分析；设计能力单位；标准化；基本能力评估；确定能力水平；分配代码和职业标准的验证。且开发制定的全过程由行业和职业教育、培训专家参与，对问题的设置和每一个主要步骤都进行可行性验证。只有不断完善职业标准使之更为科学化，才能提高职业资格标准建立的效率[5]。

3.2.3 职业资格的设置及管理方式的研究 随着社会发展，职业流动和职业变动的速度越来越快，为了适应社会经济和产业结构不断变化的发展，必须建立一个不断更新的职业分类体系。在这个方面可采取制定清单式职业资格目录的方式，根据一定规则定期更新并向公众发布职业资格目录清单。设立专业机构通过实时分析当前关系公众安全、责任重大的社会热点领域，如近些年来突显的空气质量检测与治理、合成食品分析与食品添加物检测、生产安全和化工、化学药品仓储保管等领域。针对这些领域的职业设置和管理情况进行专题调查和研究，对于相关职业缺失或有漏洞的要及时将其纳入到职业资格目录内。而随着产业结构转型和市场化进程发展的变化，对于那些逐渐变成“社会通用型”或消失的职业，一旦条件成熟也应适时从目录中调整或取消。

3.3 建立行业协会等承担职业资格认证的机制

为了使资格认证工作更加社会化、市场化，扩大和改善职业资格管理、运行资源，充分发挥行业协会在资格认证方面的作用，政府应对行业协会加强政策支持和指导，强调协会在资格认证工作的角色作用。

3.3.1 行业协会充分参与职业标准和评价规范的制定工作 一方面，面对社会职业种类繁多，不同职业在认证的标准上千差万别，只有充分发挥各行业协会的力量才能使职业资格制度运作起来。另一方面，行业协会和各类专业机构组织有着与专业技术人员职业群体、技能人员职业群体天然纽带关系；他们对市场能够有敏锐的把握，贴近行业的现实情况和需求。应充分利用它们的这些特点和优势，使其成为职业资格认证工作中包括职业的开发、职业标准制定与修订、培训活动和培训机构的审查指导、资格认证质量信息的收集分析和改进意见的提出等众多环节的主要力量。这样，我国运行职业资格证书体系才能满足经济社会需求，实现劳动力市场的供给侧结构性改革。

3.3.2 行业协会负责水平评价类职业资格认证工作 对于确有社会需要的，可转为水平评价类职业资格，交由行业协会、学会组织实施，并在证书类型和认证方式上加以区分。研究制定行业协会、学会有序承担水平评价职业资格认定的具体办法，明确移交的基本原则、条件、组织实施方式和监督管理措施，同时做到所有职业资格证书统一规范管理。

参考文献：

[1] 周国军.借鉴国外先进经验构建我国职业资格认证体系[J].十堰职业技术学院学报,2007,20(05):15-17

[2] 杨延.澳大利亚职业资格认证体系及其启示[J].天津职业院校联合学报,2006,8(03):50-51.

[3] 杨杨延.发达国家职业资格认证制度的成功经验[J].考试研究,2006,2(03):119-120.

[4] 陈爽,冀国峰.欧亚五国职业资格证书制度及对我们的启示[J].职业技术教育,2001,(24):56-61.

[5] 张迎春.国际标准职业分类的更新及其对中国的启示[J].中国行政管理,2009,(01):105-106.

Some Suggestions on the Reform of the National Vocational Qualification Certification System

HUANG Xin

(Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China)

Abstract：Based on the study of development trends of international vocational qualification certification system, and combining the present situation of the vocational qualification certificate system in China, the author analyses the main problems of our country's vocational qualification system and the causes of these problems. The author also puts forward some solutions to these problems from the respects of the law guarantee system, Standard system construction, industry organization participation mechanism.

Key words：vocational qualification system; professional standard system; vocational qualification certification

中国知网 https://www.cnki.net

多孔介质平板通道与空通道的速度分布和温度分布的解析解

逯彦红[1,2] 段国林[1]

(1. 河北工业大学机械工程学院，天津 300132;
2. 天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘 要 建立了平板通道内填充多孔介质和空通道两种情况传热模型，求解动量方程和能量方程的解析解，获得速度分布和温度分布，分析 Da 数、Bi 数、有效导热系数比和孔隙率等参数对温度分布、局部非热平衡程度以及 Nu 数的影响。计算求解表明，通道内填充多孔介质后流体的速度分布和温度分布更均匀，速度边界层更薄；随着 Bi 数和有效导热系数比 k 的增大，θ_s-θ_f 的值减小，局部非热平衡程度减弱，Bi 越大，θ_s 与 θ_f 越接近，即越接近局部热平衡状态。孔隙率对局部非热平衡程度和 Nu 数的影响不明显；Nu 数随着有效导热系数比 k 和 Da 数的减小而增大，随着 Bi 数和孔隙率的增大而增大，当 $k<1$ 时，变化明显，$k>1$ 时，变化不明显。

关键词 多孔介质; 非局部热平衡模型; 速度分布; 温度分布; 解析解

中图分类号: TK124 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-231X(2018)03-0633-07

Analytic Solution of Velocity and Temperature Distribution About Plate Channel Filled With and Without a Porous Medium

LU Yan-Hong[1,2] DUAN Guo-Lin[1]

(1. *School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin* 300130, *China*;
2. *School of electric-mechanical engineering and automation, Tianjin vocational institute, Tianjin* 300410, *China*)

Abstract Heat transfer model of plate channels filled with porous medium and empty is set up respectively, and the momentum equation and energy equation is solved, then velocity distribution and temperature distribution is got. The influence of Darcy, Bi, ratio of effective thermal conductivity and porosity on temperature distribution, degree of local thermal equilibrium and Nu is analyzed. The conclusion indicated that velocity distribution and temperature distribution is more even and velocity boundary layer is thinner for the channel filled with porous medium; θ_s-θ_f is reduced and the local thermal equilibrium is less as Bi and k increases. When Bi is bigger, θ_f is get close to θ_s, which meet the local thermal equilibrium. The effect of degree local thermal equilibrium and Nu is not obvious for the porosity. Nu increases with reduction of k and Darcy and increase of Bi and porosity. When $k<1$, Nu change obviously, but when $k>1$, the change is not obvious.

Key words porous medium; local thermal non-equilibrium model; velocity distribution; temperature distribution; analytic solution

收稿日期: 2017-10-26; **修订日期**: 2018-02-22
基金项目: 河北省重点研发计划项目 (No.17211808D)
作者简介: 逯彦红 (1980-)，女，副教授，博士研究生，多孔介质传热研究方向。 **通信作者**: 段国林，教授，glduan@hebut.edu.cn

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

符 号 表

H	平板通道高度的一半，m	L	平板通道的长度，m
T	温度，K	K	多孔介质渗透率，m^2
G	轴向压力梯度的负值，$N\cdot m^{-3}$	ρ	密度，$kg\cdot m^{-3}$
k_{fe}	流体的有效导热系数，$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	k_f	流体的导热系数，$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$
u	流体的流速，$m\cdot s^{-1}$	q_w	平板热流密度，$W\cdot m^{-2}$
μ_{eff}	流体的有效黏度，$kg\cdot m^{-1}\cdot s^{-1}$	μ_f	流体的黏度，$kg\cdot m^{-1}\cdot s^{-1}$
a_{sf}	多孔介质的比表面积，m^{-1}	k_{se}	固体的有效导热系数，$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$
C_f	流体的比热容，$J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$	h_{sf}	流体与固体间的表面对流换热系数，$W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$
无量纲数			
k	有效导热系数比	u^*	无量纲速度
Bi	毕渥数	Nu	努塞尔数
Da	达西数	η	无量纲坐标
S	多孔介质形状参数	ε	多孔介质孔隙率
下角标			
f	流体	s	固体
c	空通道	p	多孔介质

0 引 言

上个世纪 90 年代，出现了一种具有泡沫或蜂窝形状的新型多孔材料，这种多孔介质具有比表面积大、重量轻、散热均匀等特性，流体流过时可得到很大的流固接触面积，而且与流动方向相垂直的孔棱可将边界层隔断强化流体湍动，增强湍流效果，可应用于高强度电子设备和电子芯片散热。此种材料一出现就成为研究的焦点。

目前对于多孔介质增强散热的研究主要集中在应用研究方面，对于散热机理的理论研究较少；研究方法主要是数值模拟、实验研究或数值模拟和实验相结合，对于多孔介质传热模型的动量方程和能量方程的求解的文献很少。李菊香等 [1,2] 对外略平板的速度边界层和温度边界层的厚度进行求解，欧阳小龙 [3] 在三种热边界条件下对平板内填充多孔介质的动量方程和能量方程进行了求解，求解过程复杂，Maziar Dehghand 等 [4] 用微扰理论进行了求解，Y. Mahmoudi、Dorald A. Nield 等 [5−8] 也都对多孔介质散热机理进行过研究。但以上对动量方程和能量方程求解的研究存在求解过程复杂或求解结果只能得到近似解的不足，而且均没有对平板通道在同等条件下填充与未填充多孔材料的情况做详细的对比研究。本文采用间接解耦法，求解得到平板通道内填充多孔介质和空通道两种情况的速度分布和温度分布的精确解，较清晰地解释了多孔介质在热充分发展阶段的散热机理及各物理因素对其的影响。

1 问题描述

两平板间厚度为 $2H$，平板长度为 $L(L \gg H)$，两平板具有恒定热流 q_w 作用，如图 1 所示，假设平板内流体为理想流体，强迫对流，忽略自然对流和辐射，忽略热物性随温度的变化。当平板内填充多孔介质材料时，符合 Brinkman-Darcy 扩展模型和局部非热平衡模型，多孔介质均匀且各向同性。

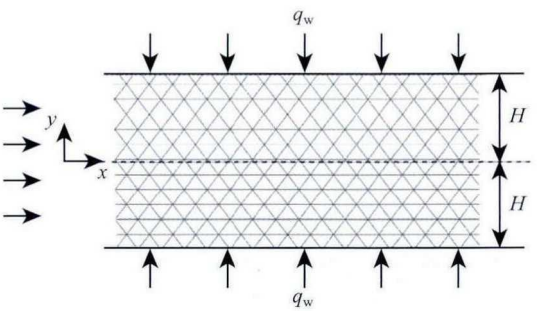


图 1 流体流经平板通道示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fluid flowing through a plate channel

2 速度分布的解析解与特征分析

2.1 平板通道内填充多孔介质

根据问题描述中的假设，流体流过多孔介质满足的动量方程为：

$$\mu_{eff}\frac{d^2u}{dy^2}-\frac{\mu_f}{K}u+G=0 \tag{1}$$

式中，μ_{eff} 为流体的有效黏度，μ_f 为流体的黏度，$\mu_{eff}=\mu_f/\varepsilon$，$\varepsilon$ 为多孔介质的孔隙率，K 为多孔介质的渗透率，u 为流体的流速，G 为轴向压力梯度的负值，$G=-dP/dx$。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

假设流体与平板通道内壁间无相对滑动，则有以下边界条件

当 $y=H$ 时，u=0;

在通道中心处，即当 y=0 时，$\mathrm{d}u/\mathrm{d}y=0$

为求解动量方程，引入以下无量纲数 [9,10]：

$$M=1/\varepsilon,\quad \eta=y/H,\quad U=\mu_{\mathrm{f}}u/GH^2,$$

$$Da=K/H^2,\quad S=\sqrt{\frac{\varepsilon}{Da}}$$

则动量方程及其边界条件变形为

$$M\frac{\mathrm{d}^2U}{\mathrm{d}\eta^2}-\frac{U}{Da}+1=0 \tag{2}$$

当 η=1 时，U=0；当 η=0 时，$\mathrm{d}U/\mathrm{d}\eta$=0

求解方程 (2) 得

$$U=Da\times\left[1-\frac{\cosh(S\eta)}{\cosh S}\right] \tag{3}$$

若定义 $U_{\mathrm{m}}=\int_0^1 U\mathrm{d}\eta$, 则有无量纲速度比

$$u^*=\frac{U}{U_{\mathrm{m}}}=\frac{S}{S-\tanh S}\left[1-\frac{\cosh(S\eta)}{\cosh S}\right] \tag{4}$$

而 $u^*=u/u_{\mathrm{m}}$，其中 u_{m} 为平均流速，$u_{\mathrm{m}}=\frac{1}{H}\int_0^H u\mathrm{d}y$

2.2 平板通道内未填充多孔介质

平板通道内未填充多孔介质时，动量方程为

$$\mu\frac{\mathrm{d}^2u}{\mathrm{d}y^2}+G=0 \tag{5}$$

依然有边界条件：当 $y=H$ 时，u=0；在通道中心处，即当 y=0 时，$\mathrm{d}u/\mathrm{d}y=0$,

直接求解方程 (5) 得

$$u_{\mathrm{c}}=-\frac{G}{2\mu}y^2+\frac{GH^2}{2\mu}$$

则空通道的无量纲速度比

$$u^{*\mathrm{c}}=\frac{u}{u_{\mathrm{m}}}=\frac{3}{2}\frac{H^2-y^2}{H^2}=\frac{3}{2}(1-\eta^2) \tag{6}$$

2.3 速度分布特征与速度边界层厚度

依据两种情况下速度分布的解析解式 (4) 和式 (6)，比较平板内填充与未填充多孔介质的速度分布，见图 2，当多孔介质 ε=0.95、Da=9.5×10^{-3}(如泡沫铜：孔隙率 0.95、渗透率 3.5×10^{-8} m^2、平板通道厚度 3.8 mm) 时，平板通道中心处流速与平均流速的比值为 1.1，而未填充多孔材料的平板通道，中心处流速是平均流速的 1.5 倍，很明显，填充多孔介质后，流体速度在贴近壁面处变化较大，其余区域十分均匀。因为填充多孔介质后增强流体流动的掺混性，速度边界层变薄，速度分布更均匀，这与文献 [9] 数值模拟的结果一致，证明了速度解析解求解方法的正确性。空通道时，距离平板的距离为 0.42H 时，流体流速达到平均流速的 99%, 填充高孔隙率多孔材料时，距离平板的距离约为 0.22H，流体流速即可达到平均流速的 99%。由图 3 可以看出，多孔介质的孔隙率对流速分布有一定影响，在通道过流断面上，当 Da 数或渗透率一定时，孔隙率越大，无量纲速度比的分布越接近于 1，流体流速与平均流速的差距越小，即流速在过流断面上分布越均匀。

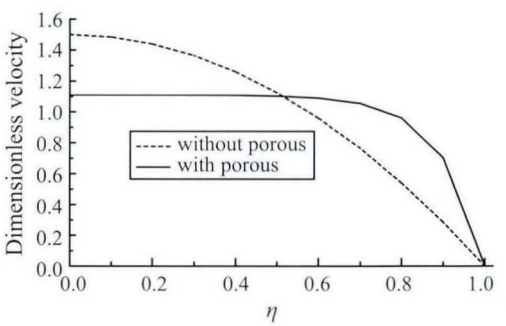


图 2　平板通道内填充与未填充多孔介质时无量纲速度分布

Fig. 2　Dimensionless velocity distribution with and without porous media in the plate channel

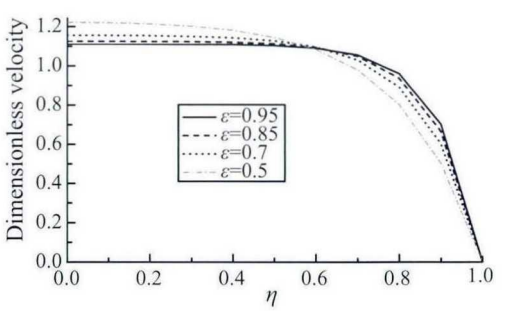


图 3　孔隙率对多孔介质通道内无量纲速度的影响

Fig. 3　Effect of dimensionless velocity for porosity in the plate channel with porous media

3 温度分布的解析解及特征分析

3.1 平板通道内填充多孔介质

基于 Brinkman-Darcy 扩展模型和局部非热平衡的传热模型，忽略流体的导热性，则能量方程为

固体　　$0=k_{\mathrm{se}}\dfrac{\partial^2T_{\mathrm{s}}}{\partial y^2}-h_{\mathrm{sf}}a_{\mathrm{sf}}\left(T_{\mathrm{s}}-T_{\mathrm{f}}\right)$　　(7)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

流体 $\rho_f C_f u\frac{\partial T_f}{\partial x}=k_{fe}\frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2}+h_{af}a_{af}(T_s-T_f)$ (8)

式中，k_{se}、k_{fe} 分别为固体和流体的有效导热系数，T_s、T_f 分别为固体和流体的温度,h_{sf} 为多孔介质内流体与多孔介质固体骨架间的表面对流换热系数，a_{sf} 为多孔介质的比表面积，ρ_f 为流体的密度，C_f 为流体的比热容，u 为流体的流速。

由于通道的上下平板均有 q_w 的恒定热流作用，所以有下面的边界条件

当 $y=H$ 时，

$$q_w=k_{fe}\frac{\partial T_f}{\partial y}+k_{se}\frac{\partial T_s}{\partial y}$$

进入热充分发展阶段，平板通道中的流体与固体在壁面处充分传热，所以两相温度在壁面处均与壁面温度相等，即

当 $y=H$ 时，$T_f=T_s=T_w$

在通道中心处，即 y=0 时，有对称性边界条件 $\frac{\partial T_f}{\partial y}=\frac{\partial T_s}{\partial y}=0$

将式 (7)、(8) 相加，并在 0～H 上积分得

$$\rho C_f u_m\frac{\partial T_f}{\partial x}=\frac{q_w}{H}u^* \tag{9}$$

式中 u^* 与 u_m 同动量方程求解过程中定义相同。

引入下列无量纲数 [10,11]：

有效导热系数比 $k=k_{fe}/k_{se}$，其中 $k_{fe}=\varepsilon k_f$，$k_{se}=(1-\varepsilon)k_s$，毕渥数 $Bi=h_{sf}\cdot a_{sf}\cdot H^2/k_{se}$，无量纲温度 $\theta=\frac{k_{fe}(T-T_w)}{q_w H}$。

能量方程 (7)、(8) 及其边界条件变为

$$k\frac{\partial^2\theta_f}{\partial\eta^2}+Bi(\theta_s-\theta_f)=u^* \tag{10}$$

$$\frac{\partial^2\theta_s}{\partial\eta^2}-Bi(\theta_s-\theta_f)=0 \tag{11}$$

当 η=0 时，$\frac{\partial\theta_f}{\partial y}=\frac{\partial\theta_s}{\partial y}=0$ (12)

当 η=1 时，$\theta_s=\theta_f=0$ (13)

式 (8)，(11) 相加得

$$k\frac{\partial^2\theta_f}{\partial\eta^2}+\frac{\partial^2\theta_s}{\partial\eta^2}=u^* \tag{14}$$

考虑边界条件 (12)、(13)，再将 u^* 的表达式 (4) 代入，可求得流体流经多孔介质区域流体与固体的温度分布的解析解

$$\theta_f=\frac{a}{k\cosh\sigma}\left(\frac{b}{S^2-\sigma^2}+\frac{b}{\sigma^2}-\frac{Bi}{\sigma^4}\right)\cosh(\sigma\eta)-\frac{ab}{k\cosh S(S^2-\sigma^2)}\cosh(S\eta)+\frac{aBi}{2k\sigma^2}\eta^2+\frac{a}{k\sigma^4}\left(Bi-\sigma^2 b-\frac{1}{2}Bi\sigma^2\right) \tag{15}$$

$$\theta_s=-\frac{a}{S^2\cosh S}\cosh(S\eta)+\frac{a}{2}\eta^2+\frac{a}{2S^2}(2-S^2)-k\theta_f \tag{16}$$

其中 $a=\frac{S\cosh S}{S\cosh S-\sinh S}$，

$b=1-Bi/S^2$，

$\sigma=\sqrt{\frac{(1+k)Bi}{k}}$。

3.2 平板通道内未填充多孔介质

同样的假设条件下，平板空通道的能量方程为

$$\rho_f C_f u\frac{\partial T_f}{\partial x}=k_f\frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2} \tag{17}$$

边界条件为

当 y=0 时，$\frac{\partial u}{\partial y}=0$；$\frac{\partial T_f}{\partial y}=0$ (18)

当 $y=H$ 时，

$T_f=T_w=T_0$；$q_w=k_f\frac{\partial T_f}{\partial y}$；$u$=0 (19)

方程 (17) 两边在 0～H 上积分得

$$\frac{q_w}{H}\frac{u}{u_m}=k_f\frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2}$$

再将速度分布解析解 (6) 代入上式，并考虑边界条件 (18) 得

$$T_f=\frac{3}{4}\frac{q_w H}{k_f}\eta^2-\frac{1}{8}\frac{q_w H}{k_f}\eta^4+T_w-\frac{5}{8}\frac{q_w}{k_f}H \tag{20}$$

考虑边界条件 (19) 和无量纲数 $\theta=\frac{k_f(T-T_w)}{q_w H}$，便可得到流体无量纲温度分布的解析解为：

$$\theta=\frac{1}{8}(6\eta^2-\eta^4-5) \tag{21}$$

3.3 平板通道内填充和未填充多孔材料的温度分布与比较

图 4 为 Da=10^{-3}、ε=0.9、k=0.01、Bi=0.5 时，流体和固体两相的无量纲温度分布，同文献 [10] 研究结果吻合，证明了温度分布解析解求解的正确性。由图 5 可以看出，当多孔介质 ε=0.9、Da=10^{-3}、

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

k=0.01、Bi=10 时，与未填充多孔介质的温度分布进行比较分析，靠近平板通道中心处，空通道时的流体的无量纲温度的绝对值大于流体流经多孔介质时的情况，而距离平板通道中心较远处，空通道时的流体的无量纲温度的绝对值小于填充多孔介质的情况。空通道时，在通道过流断面的中心处，即 η=0 时，流体温度与避免温度相差较大，在距离过流断面中心不远处，流体温度快速升高，流体温度与壁面温度的差值快速减小；填充多孔介质后，整个过流断面上，流体温度和壁面温度的差值是逐渐减小的，这是因为填充多孔介质后，湍流强度增强，在过流断面上流速分布更均匀，进而导致流体温度在过流断面上分布更均匀。

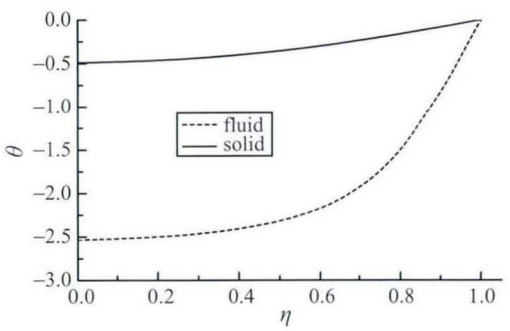


图 4　流固两相的无量纲温度分布

Fig. 4　Dimensionless temperature distribution of fluid and solid

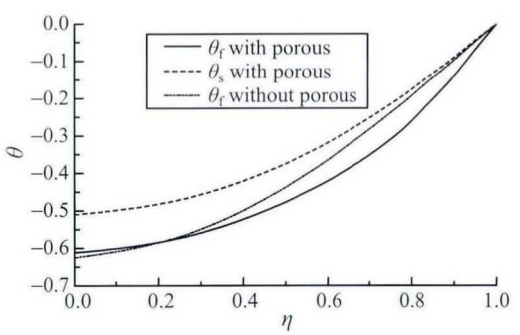


图 5　填充多孔介质与未填充时的无量纲温度分布比较

Fig. 5　Dimensionless temperature distribution with and without porous media

3.4　非局部热平衡程度的影响因素分析

当 Da=10^{-3}、ε=0.9、k=0.01 时，随着 Bi 数的增大，θ_s-θ_f 的值减小，局部非热平衡程度减弱，Bi 数越大，θ_s 与 θ_f 越接近，即越接近局部热平衡状态，见图 6。因为 Bi 数越高，代表多孔介质内部流体与固体间的内部对流热传输越强，因而导致了流体和固体间的温度差减小，即局部非热平衡程度减弱。从图 7 可以看出，当 Da=10^{-3}、ε=0.9、Bi=10 时，随着有效导热系数比 k 的增大，θ_s-θ_f 的值减小，局部非热平衡程度减弱，这与文献 [11] 研究结论一致。因为随着有效导热系数比的增大，流体传输热量的能力相比于固体的传热能力增大，所以流体与固体间的温差减小。图 8 为 Da=10^{-3}、Bi=0.5、k=0.01 时，孔隙率对局部非热平衡程度的影响，可以看出随着孔隙率的增大，流固温差减小，局部非热平衡程度减弱，因为孔隙率越大，流体与固体间接触的面积越大，流体与固体间的对流换热增强，流固间温差减小 [10]。

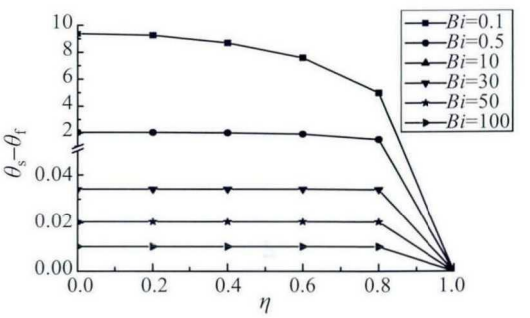


图 6　流固温度差随 Bi 数的变化

Fig. 6　Temperature difference of fluid and solid with Bi

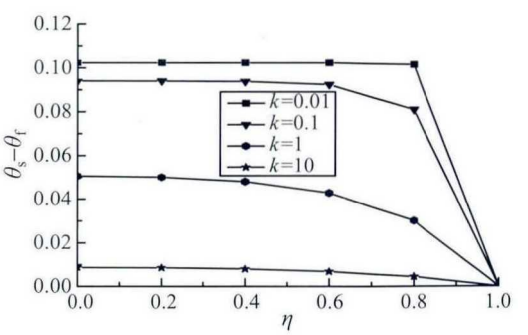


图 7　流固温度差随有效导热系数比的变化

Fig. 7　Temperature difference of fluid and solid with effective thermal conductivity ratio

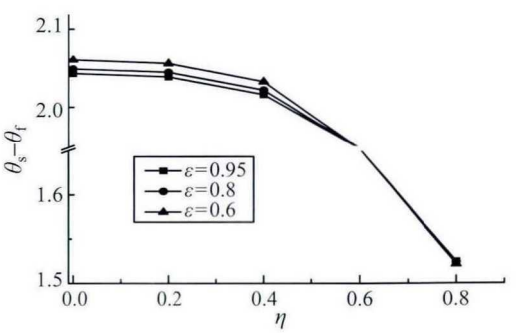


图 8　流固温度差随孔隙率的变化

Fig. 8　Temperature difference of fluid and solid with porosity

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.5 *Nu* 数的影响因素分析

Nu 数是表示对流换热强烈程度的一个准则数，平板通道间的局部 *Nu* 数的表达式为

$$Nu = \frac{h \times 4H}{k_{\mathrm{fe}}} \tag{22}$$

而式中的对流换热系数 $h = \dfrac{q_{\mathrm{w}}}{T_{\mathrm{wm}} - T_{\mathrm{fm}}}$

当平板通道内填充多孔介质时，

$$Nu_{\mathrm{p}} = \frac{4 \times q_{\mathrm{w}} H}{k_{\mathrm{fe}}(T_{\mathrm{wm}} - T_{\mathrm{fm}})} \tag{23}$$

将无量纲温度表达式 (10) 和有效导热系数比 $k = k_{\mathrm{fe}}/k_{\mathrm{se}}$ 代入 (23) 得

$$Nu_{\mathrm{p}} = \frac{4}{k(-\theta_{\mathrm{fm}})} \tag{24}$$

式中 $\theta_{\mathrm{fm}} = \int_0^1 u^* \times \theta_{\mathrm{f}} \mathrm{d}\eta$ (25)

把式 (4)、(16) 代入式 (25)，并用 MATLAB 计算 k、ε、Da、Bi 不同取值时式 (25) 的计算结果，进而代入式 (24) 得到平板通道内填充多孔介质时的 *Nu* 数的变化情况。

为了验证本文理论模型的可靠性，按照本文的模型计算出的结果与文献 [11]，[12] 进行对比，吻合较好，见图 9。

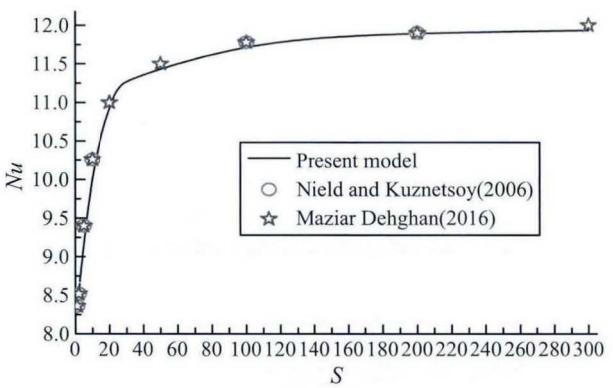


图 9 本文 *Nu* 与前人研究的对比 (Bi=1000, k=1000)

Fig. 9 *Nu* of present analysis in comparison with others(Bi=1000, k=1000)

依据本文模型计算不同情况的 *Nu* 数，分别体现在图 10~12 中。由图 10 可以看出，有效导热系数比 k 与 *Nu* 数的关系。k 表征的物理意义是流体的有效导热系数与固体骨架的有效导热系数之比，k 增大，意味着流体的有效导热系数增大，固体的有效导热系数减小，壁面热流密度通过导热传递到多孔介质区域的热量减小，*Nu* 数减小；k 减小，意味着流体的有效导热系数减小，固体骨架的有效导热系数增大，壁面的热流量更容易通过导热传递到多孔介质区域内从而使得换热增强，*Nu* 数增大。当 k<1 时，随着 Bi 数的增大，*Nu* 数也增大，而当 k>1 时，随着 Bi 数的增大，*Nu* 数增大不明显。图 11 可以看出，随着 Da 数的减小，*Nu* 数增大，而且当 k<1 时，变化明显，k>1 时，*Nu* 数增大不明显。图 12 是 *Nu* 数随多孔介质孔隙率的变化情况，可以看出，随着孔隙率的增大，*Nu* 数增大，但增大幅度不显著。

当平板通道内未填充多孔介质时，

$$Nu_{\mathrm{c}} = \frac{4 \times q_{\mathrm{w}} H}{k_{\mathrm{f}}(T_{\mathrm{w}} - T_{\mathrm{fm}})} \tag{26}$$

式中 $T_{\mathrm{fm}} = \int_0^H u^{*\mathrm{c}} \times T_{\mathrm{f}} \mathrm{d}y$。

将式 (6)、(20) 代入式 (26)，求得 Nu_{c}=8.235

可见，无论 k、Da、Bi、ε 的取值在合理的范围内如何变化，填充多孔介质的平板通道的 *Nu* 数均大于空通道时的 8.235，*Nu* 数增大，是由于多孔介质能够增大流体与固体间的对流换热面积，而且多孔介质的孔棱结构能够隔断流动边界层，增强湍流，导致对流换热系数增大，*Nu* 数增大。

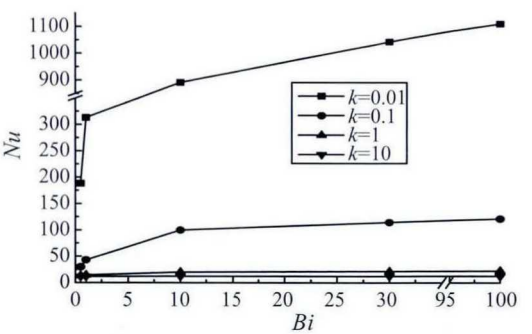


图 10 *Nu* 数随 Bi 数和 k 的变化 (Da=10^{-3}, ε=0.95)

Fig. 10 Nu difference with the Bi and k(Da=10^{-3}, ε=0.95)

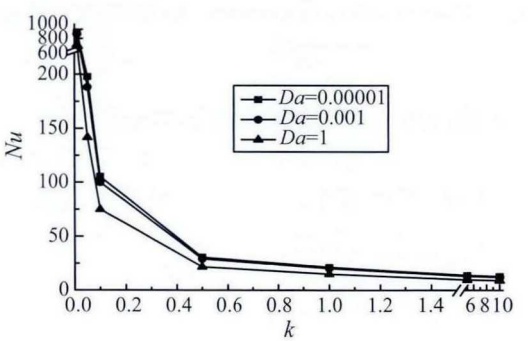


图 11 *Nu* 数随 Da 数和 k 的变化 (Bi=10, ε=0.95)

Fig. 11 *Nu* difference with the Da and k(Bi=10, ε=0.95)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

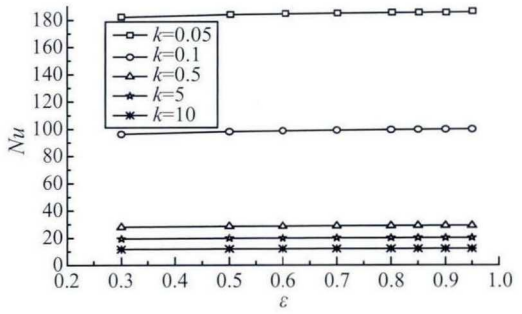


图 12　Nu 数随 ε 和 k 的变化 (Da=10^{-3}, Bi=10)

Fig. 12　Nu difference with ε and$k$(Da=10^{-3}, Bi=10)

4 结论

1) 多孔介质基于 Brinkman-Darcy 扩展模型和非局部热平衡模型的前提下，求解了平板通道内的速度分布和温度分布的解析解，并与空通道时的情况进行了比较分析。

2) 通过平板通道内填充与未填充多孔介质两种情况的速度分布的解析解比较发现，填充多孔介质后，平板通道内的速度分布更均匀，速度边界层明显变薄。

3) 通过平板通道内填充与未填充多孔介质两种情况下的温度分布的解析解比较发现，填充多孔介质后，对流换热强度增强。而且，随着 Bi 数和有效导热系数比 k 的增大，θ_s-θ_f 的值减小，局部非热平衡程度减弱，Bi 越大，θ_s 与 θ_f 越接近，即越接近局部热平衡状态；随着有效导热系数比 k 和 Da 数的减小，Nu 数增大，随着 Bi 数和孔隙率的增大，Nu 数增大，但当 k<1 时，Nu 数增大明显，而 k>1 时，变化不明显；孔隙率对局部非热平衡程度和 Nu 数的影响不大。

参 考 文 献

[1] 李菊香, 涂善东. 考虑局部非热平衡的流体层流横掠多孔介质中恒热流平板的传热分析 [J]. 化工学报, 2010, 61(1): 10–14
LI Juxiang, TU Shandong. Heat Transfer of Laminar Flow Over a Plate Embedded in Porous Medium with a Constant Heat Flux Under Local Non-equilibrium Condition [J]. CIESC Journal, 2010, 61(1): 10–14

[2] 张丹, 李菊香. 多孔泡沫金属内层流强制对流传热的相界面温差分析 [J]. 材料导报, 2010, 24(16): 256–264
ZHANG Dan, LI Juxiang. Phase Interface Temperature Difference of Laminar Forced Convection in Porous Metal Foam [J]. Materials Review, 2010, 24(16): 256–264

[3] 欧阳小龙. 多孔介质传热局部非热平衡效应的基础问题研究 [D]. 北京: 清华大学, 2014
OUYANG Xiaolong. Research on the Local Thermal Non-Equilibrium Effect for Heat Transfer in Porous Media [D]. Beijing:Tsinghua University, 2014

[4] Dehghan M, Valipour M S, Keshmiri A, et al. On the Thermally Developing Forced Convection Through a Porous Material Under the Local Thermal Non-Equilibrium Condition: An Analytical Study [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016, 92: 815–823

[5] Yasser Mahmoudi. Constant Wall Heat Flux Boundary Condition in Micro-Channels Filled With a Porous Medium With Internal Heat Generation Under Local Thermal Non-Equilibrium Condition [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 85: 524–542

[6] Dehghan M, Valipour M S, Saedodin S. Temperature Dependent Conductivity in Forced Convection of Heat Exchangers Filled with Porous Media: A Perturbation Solution [J]. Energy Conversion and Management, 2015, 91: 259–266

[7] Dehghan M, Valipour M S, Saedodin S. Conjugate Heat Tansfer Inside Microchannels Filled With Porous Media: A Exact Solution [J]. Journal of Thermophysics & Heat Transfer. 2015, 30(4): 1–11

[8] Donald A. Nield, Adrian Bejan. Convection in Porous Media [M]. 4th Edition. New York: Springer, 2013: 69–87

[9] 李勇铜, 徐会金, 巩亮, 等. 金属泡沫微流道热沉内流体流动与传热特性的数值研究 [J]. 应用数学和力学, 2014, 35(3): 287–294
LI Yongtong, XU Huijin, GONG Liang, et al. Numerical Study of Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics in Metal-Foam Filled Microchannel Heat Sink [J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2014, 35(3): 287–294

[10] 王克用, 王大中, 李培超. 多孔介质平板通道传热模型的两种求解方法 [J]. 应用数学和力学, 2015, 36(5): 494–504
WANG Keyong, WANG Dazhong, LI Peicha. Two Decoupling Methods for the Heat Transfer Model of a Plate Channel Filled with a Porous Medium [J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2015, 36(5): 494–504

[11] Maziar Dehghan, Mohammad Sadegh Valipour, Seyfolah Saedodin. Microchannels Enhanced by Porous Materials: Heat Transfer Enhancement or Pressure Drop Increment [J]. Energy Conversion and Management, 2016, 110: 22–32

[12] Nield DA, Kuznetsov AV. Forced Convection With Slip-Flow in a Channel or Duct Occupied by a Hyper-Porous Medium Saturated by a Rarefied Gas [J]. Trans Porous Media 2006, 64: 161–70

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

二氧化锆应用于义齿制作的研究

逯彦红

（天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410）

【摘 要】氧化锆材料由于表面光洁，质地坚硬等优势成为了义齿的最佳候选材料，但又由于烧结时容易收缩变形，所以氧化锆应用于义齿受到挑战。本文通过综述氧化锆应用于义齿的材料成分、成型工艺、烧结等方面的发展，提出了今后的研究方向。

【关键词】氧化锆 义齿 烧结

二氧化锆于1969年首次应用于医学行业。氧化锆陶瓷材料表面光洁、质地坚硬，具有良好的生物相容性、化学稳定性以及审美性能，非常适合应用于牙科义齿，故目前在口腔硬组织修复（义齿）领域备受青睐。

但又由于不同相结构的ZrO_2的膨胀性能差异很大，烧结过程各方向膨胀系数不一致，容易造成龟裂，所以二氧化锆在成型烧结工艺和性能方面的研究在学术界成为热点。

1 材料

不同相结构的ZrO_2的膨胀性能差异很大。1100-1200℃之间(1163℃)单斜ZrO_2向四方ZrO_2转化时，发生各向异性膨胀，沿三个轴(a、b、c)膨胀系数是不一致的，沿b轴方向膨胀不明显，而沿a、c轴方向膨胀显著；升温时ZrO_2由单斜向四方转化，由于吸收热量，有明显的体积收缩(5%)，而降温时(四方向单斜转化)产生体积膨胀(8%)，这是造成陶瓷的龟裂的原因，所以很难用单纯的ZrO_2生产陶瓷，需要加入某些适量的氧化物添加剂。

1.1 添加剂

添加阳离子半径与Zr^{4+}相近(相差在12%以内)、性质相似。在ZrO_2中添加某些氧化物作为稳定剂(Y_2O_3、CaO、Al_2O_3、CeO_2、MgO、Sc_2O_3等)，这些氧化物能与ZrO_2形成固溶体或复合体，可改变晶体内部结构；添加的氧化物可填充ZrO_2中晶格缺陷，抑制ZrO_2扭转，起到稳定的作用，在常温形成亚稳的四方相或立方相，使由单一的单斜相变成了双晶结构的四方和立方相。虽然有多种类型的氧化物均可做为氧化锆的稳定剂，但常见的有三种，分别是钇稳定氧化锆(3Y-TZP)、镁部分稳定氧化锆(Mg-PSZ)、氧化锆增韧氧化铝(ZTA)。

1.2 固体成分

氧化锆浆料的固体成分一般在55±57%范围，但试验研究发现固体成分是55%和56%时，烧结后容易坍塌不定型，固体成分57%，烧结后形状完好。

2 成型技术

2006年英航博士R.J.Williams首次利用激光烧结快速成型技术制作义齿框架并成功应用于一名75岁老人的口腔。吴江、胡江、韩彦峰等应用激光快速成型技术证实应用该技术制作口腔金属修复体是可行的，但是这种技术只能对金属进行直接烧结，制作的成本较高。

微滴喷射成型技术具有较好的精度和表面粗糙度，使用材料广泛，工艺灵活，制作成本低廉。Ebert等使用该技术成功制作出全瓷冠的样本，其硬度和抗压强度等机械性能完全满足临床要求，显示出了此种工艺的巨大潜力。德国亚琛工业大学利用直接喷墨打印方法制作了氧化钇稳定氧化锆材质的牙桥框架，经过该方法制作的样本和注塑的参考样本四点弯曲实验的对比，验证了直接喷墨打印方法在制造3Y-TZP牙体修复体方面是一种具有发展前景的先进制造技术。

3 烧结工艺

烧结可以改变陶瓷材料的内部组织结构，改善各项性能。陶瓷类产品的各项性能是否达标，是否优越，烧结工艺是关键。烧结过程中最重要的是烧结温度的控制。施南飞认为微波烧结氧化锆陶瓷的综合性能优于普通烧结氧化锆陶瓷。混合微波烧结结合了传统烧结与直接微波烧结的优点，性能上更为优秀。

3.1 烧结温度

烧结温度不能超过1550度。张斌将3%摩尔比三氧化二钇(3mol% Y2O3)稳定氧化锆粉造粒后，干压成型并缓慢升温至260e，保温2 h后再分组分别升温至1 490℃、1 530℃、1 570℃、1 610℃，随后对密度，表面气孔率、线收缩率和弯曲强度等性能进行测试，认为1570℃综合效果最佳。陈静研究了纳米3Y-TZP的烧结曲线，先在600度煅烧2小时，然后升温到1200度，再降温到1050后保温35小时，可获得高致密度氧化锆陶瓷，同时认为两步烧结法利于烧结致密化。

3.2 升温速率

复旦大学丁亚通实验研究，得出预烧温度900℃，升温速率200℃/h，烧成温度1500℃，得到的3Y-TZP具有最佳的力学性能，完全满足口腔全瓷材料的要求。升温速率为400℃/h、600℃/h和1000℃/h进行烧结，均有不同程度的机械性能的下降。

4 结语

陶瓷材料组分的设计和优化配置对成型精度的影响方面还需进一步深入了解和研究。在制备时要含有尽量少的有机物保证最小的干燥与烧结收缩，义齿牙坯虽然在材料的主要性能上已经达到相关的国际标准，但是距离临床应用还有一段距离，还需完善生物相容性方面的研究和临床实验研究。CAD/CAM技术在口腔修复领域的引入，能快速、精准的设计和制造个性化义齿，但由于切削的材料是强度和硬度都非常高的陶瓷块，对刀具的材料和工艺要求很高，所以新的成型工艺和设备也是下一步的研究重点。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2017.11.093

翻转课堂视域下的包装专业课程改革

王丽颖
（天津职业大学 天津 300410）

【摘要】翻转课堂的出现为教学改革带来了新思路。文章从高职院校包装专业课程教学中的问题入手，探讨了翻转课堂对包装专业课程改革的启示，并提出了改革新思路。

【关键词】翻转课堂；包装专业；课改
【中图分类号】TB48-4 【文献标识码】A 【文章编号】1009-5624（2017）11-0153-02

1 引言

高等职业院校的包装专业为我国包装行业的发展和包装企业的进步贡献了重要力量，为社会培养了大批一线的高技能应用型人才。众所周知包装专业的课程设置包括包装结构与模切版设计、包装技术与设备、包装材料性能检测及选用等，是一个理论联系实践要求很强的专业，如何借助于翻转课堂为主体的项目化教学对包装专业的课程进行改革实践，具有很强的现实意义。

2 当前包装专业课程教学中出现的问题

2.1 教学内容缺乏针对性

近年来随着教育理论研究的不断进步，对高职院校技能人才培养目标的界定越发清晰：即要培养出面向国家经济建设、社会生产生活服务等行业的，具备相关理论基础和较强实际工作经验，且具有良好职业道德素养和创新能力的人员。高职院校对被培养者应有清楚的定位，然而在现行的许多包装专业教材中，对本科、高职之间的没有明显区别，也没有体现出对理工科学生培养的特殊需求——良好的逻辑思维能力。教材的编写往往具有滞后性，其更新速度总是落后于行业发展速度和相关标准的实施速度。倘若教师不加甄选的使用了那些满篇文字理论的教材，则学生只能照本宣科的学习，必然不能对知识灵活掌握，更谈不上创造性。

2.2 课堂教学方法相对陈旧

随着各种先进教学理念的逐渐成熟，原先教学中常采用的灌输式、填鸭式、封闭式教学方法所占比例逐年下降。在各类先进教学技术的大力推广之下，包装专业的课程正在慢慢摒弃了纯理论化教学模式，开始大量使用多媒体教学。此类方式的课程改革，多以制作的美轮美奂绚丽多彩的PPT为主，以此来调动学生学习的积极性。诚然，大量图片、视频、动画在一定程度上提高了学生的学习兴趣，但整体教学过程仍显得枯燥无味改革效果一般。

2.3 考核评价方式缺少灵活性

任何一门课程考核其根本目的都应该是提高教学效果，检验师生教与学的成果，反思教与学的相互关系。目前，包装专业课程考核一般有两种形式。一种是期末闭卷考核，一种是上交结课大作业。无论哪种形式，都存在客观缺陷，前者对学生的实践环节考核不足，后者则缺少相应的监管力度，一些学生从网上摘抄、拼凑完成作业，无法达到既定的考核目的。

著作资源、案例演示、课程教案等进行电子化处理，并收集常用教学软件、工具软件、电子书籍，制作教学演示、录像视频，让学生自主选择进入网络课程学习模块巩固知识点，使自主学习层面更广泛、更多元[4]。网络课程多为开放性资源，可下载保存、共享程度高，教师应考虑课程特点，选择优质网络课程资源，利用电子邮件、QQ群、微信群及BBS等交流讨论课程资源，提供课程资源链接，指导学生利用网络搜索引擎自主搜索课程资源，进一步扩充知识体系。此外，在网络教学中应注意强化监控自主学习过程，指导学生自我记录网络学习进度，并学会自我提问，自觉安排好网络学习时间，包括基础类知识点学习时间、计划及实用类知识点学习时间、计划。要求学生根据自我学习风格、兴趣与水平选择网络课程，通过观看网络课程学习与掌握Internet知识、操作系统知识、多媒体知识、办公软件使用知识、网页制作及网络应用等知识。

5 结语

综上，计算机的应用软件、操作系统版本及功能等可快速更新、没有止境，在大数据、云存储、云服务、云计算等网络技术高速发展的时代，应在教育中融入网络教学方法，避免高校教育与人才需求脱轨。在网络教育模式下选择教学方法时，应培养计算思维、独立思维、敏捷思维，并重知识结构教学、能力教学、素质教育，做到与时俱进、以生为本，更新知识体系，鼓励质疑，使学生可以成为网络教学的主导者，教会学生正确认知网络用途、网络文化，利用网络交流、探讨教学内容。此外，可设计多元化的教学方法、等级化的理论与上机实践教学体系，结合实验室与视频室网络教育模式，增加实践操作机会。

【参考文献】

[1] 王玲，王杨，郑津．创新地方高校MOOC教学模式的探索与实践——以西南石油大学“大学计算机基础”混合式教学改革为例[J]．中国大学教学，2016(12)：59-64.
[2] 徐风．高校计算机教学实验中心建设浅析——以南京林业大学计算机教学实验中心为例[J]．福建电脑，2017(4)：161-162.
[3] 吕厦敏，孙帅．高校师生/党群共建路径设计及实践探索——以清华大学计算机学科院系人才培养为例[J]．计算机教育，2016(10)：152-155.
[4] 潘红．地方本科高校计算机科学与技术专业应用型转型发展的思考——以新乡学院计算机与信息工程学院为例[J]．行政科学论坛，2016(7)：15-18.

中国知网 https://www.cnki.net

2.4 对实践环节重视程度仍有待加强

部分高职院校包装专业的教学长期以来更注重理论课程的教学与考试，分配给实训课的时间不足，对学生实践能力的培养较为轻视，这就使得课堂教学内容和现实的工作拉开了很大的差距，长此以往，不但不能满足社会对人才的需求，更无法满足包装专业的学生自身发展的需求。客观的究其原因，一是一些院校受到自身财力的限制，无法负担费用高昂的实训设施建设和运营管理费用。二是部分院校对此主观重视程度不够。

3 翻转课堂教学对包装专业课程改革的启示

所谓翻转课堂是指教师通过调整课堂内外的时间，把学习的自主权重新交还于学生。在此类教学模式下，通常采用项目教学法。教师在课前借助于手机APP、教学论坛等下达任务单，学生听播客、观视频、学微课进而先行理解掌握项目的相关知识点。课堂上，教师作为项目学习的指导者，集中解答学生们课前学习中的问题，对学生分组完成项目的情况进行点评分析。课后，教师提出项目拓展任务，并借助于教学网络对学生进行考核评价，从而让学生达到对知识点的巩固和提高的目的。

笔者通过实践对翻转课堂在包装专业课程中的应用得到了如下几点启示：一是翻转课堂教学的实质不在于它运用了高科技或者信息技术，而在于思维模式创新。二是翻转课堂教学适应00后学生特点，实施信息化教学，吸引学生，把上课玩手机，下课玩电脑变为课上用电脑，课下用手机。三是翻转课堂教学借助移动互联网把教师和学生的距离拉近，通过微课等形式把学生的主要精力拽回课堂。四是翻转课堂的实践教学中，大量的信息化手段降低了实训室无畏损耗，夯实了学生基础，防止实训中学生手忙脚乱，增强教学效果。

4 包装专业课程教学改革新思路

4.1 调整教学内容，丰富教育资源库

针对于高职学生特点，包装专业教学团队应该根据人才市场需求和行业最新标准对教学内容进行合理规划，丰富教学资源库。这一环节应该分两个阶段进行。第一阶段教师团队应该充分深入企业，搜集最新的行业动态信息、技术标准等，用于制定教学项目。第二阶段是丰富应用型教学所必备的资源库，要着力制作包括“微课、微视频”在内的教学资源。这是因为翻转课堂的一个核心策略就是要将原先课上讲授的知识做成短小精悍的、极具针对性的资料供学生课下学习，这使得此类资源尤为重要，将直接影响着学生的学习效果。

上述两个阶段，无论是深入企业调研还是丰富信息化资源库，都并非一两名教师能独立完成的任务，因此希望高职院校能组建专门的团队，协调校企关系，同时根据教学反馈及时对资源库内容进行完善、修改，做到与时俱进。

4.2 探索创新教学方法，优化授课流程

包装专业的课程特点决定了包装专业的教学方法必须有别于传统的授课流程，那种教师讲、学生听，学生在课堂上仅仅是一个知识的“容器”的传统教学方法早已不适应现代教学体系。如何在改变教学方法基础上实现师生良性互动，更好的引领学生掌握新的知识和技能，创建更为合理的认知结构，翻转课堂为我们指明了方向：借助项目教学法、分组教学法，把课堂重新交给了学生——根据教学内容安排，课前已经充分自主学习知识点的学生们在课上自行分组讨论，教师在课上进行答疑解惑，加深了学生对知识的强化理解，课后又借助于信息化教学手段对学生进行拓展和考核，达到了一举多得的教学效果。

4.3 构建多元化考评体系

考核评价是检验教师教学效果和学生学习效果的重要指标，对包装专业课程改革有着重要意义。翻转课堂下的包装专业考评一般应由两部分组成：

第一是对日常学习情况的考核。这一部分应该占到总评成绩的60%以上，主要考核学生日常学习中的表现，包括出勤、学习态度、团队合作情况以及对各项目知识的掌握理解等。具体实施过程中可包括学生自评互评和教师评价两方面：

（1）学生完成每个不同项目任务后，除自我打分外，还要和其他同学分享自己的学习过程和对知识点的认知，小组成员间提出合理化建议并给出相应分数。这种考评方式不仅检验了学生的学习效果，更增加团队写作能力和专业素养。

（2）教师针对课前、课中、课后三个阶段，对学生进行全方面评价，此类评价应以激励为主，对学生的创新点、逻辑表达能力、合作意识、学习态度、项目完成情况给以加分。

第二是对期末学生作品、总结报告、试验报告的考评。这一部分应该占到总评成绩的40%左右，主要考核学生整个学期的综合情况。成绩给定应包含学生对资料的搜集整理能力、图纸或作品的完成效果、创新性等。

4.4 借助信息化手段完善实践环节

在翻转课堂教学过程中，要求教师精心编制实践实训内容，加强对基础技能、创新能力的编排，既要满足教学大纲基本要求，又要适合高职学生能力，引起学生兴趣。信息化手段的大量使用，使学生可借助手机APP、微信客户端等终端，课前观看、学习、模拟、操作实践实训内容，在一定程度上降低了教学成本，保障了学生安全，同时又增加了学习的趣味性。特别是对一些操作性强的实践实训课程，原始的教学手段让学生对理论知识的掌握比较被动，甚至会使得一些学生不屑一顾。当翻转课堂后，学生往往会要求自己去补充理论知识，来完善实践项目，这样就形成了理论和实践的良性互动，构成了较为完善的知识链条。

5 结语

翻转课堂的教学模式打破了陈旧的传统教学，是现代化教学的思路革新，必将促进高职院校包装专业课程教学的改革与进步，相信随着翻转课堂教学方式的不断完善和优化，高等职业院校的包装专业会为社会输送更多的优秀专业技能人才。

【参考文献】

[1] 蔚东巍．结合翻转课堂谈开放教育《包装设计》课程的教学改革 [J]．高教学刊，2015(23)．

此文为天津市高等职业技术教育研究会项目“基于翻转课堂的教学实施与教学内容重组研究”（课题编号：XIV500）研究成果。

作者简介：王丽颖（1985），讲师，研究方向为包装材料、职业教育。

中国知网 https://www.cnki.net

doi:10.13436/j.mkjx.201906025

非对称齿轮泵的刚度分析*

张海伟[1]，李建国[2]

（1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 天津市汇通仪器设备公司，天津 300410）

摘 要：分析了非对称齿轮泵的齿轮基本参数，图示表达了渐开线非对称齿廓的形成原理，推导出了驱动侧和滑行侧的轨迹方程。非对称齿轮泵在啮合传动过程中，存在单齿啮合区和双齿啮合区，利用有限元法对 20°/20°、25°/20°、30°/20°三种压力角组合的齿轮副单齿刚度、啮合刚度进行对比分析，分析结果表明，随着驱动侧压力角的增大，非对称齿轮的刚度增大，有限元法与公式法结果一致。

关键词：非对称齿轮泵；有限元；单齿刚度；啮合刚度

中图分类号：TH137.51 **文献标志码**：A **文章编号**：1003－0794(2019)06－0082－03

Stiffness Analysis of Asymmetric Gear Pump

Zhang Haiwei[1], Li Jianguo[2]

(1. School of Electromechanical and Automation, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China; 2.Tianjin Huitong Instrument and Equipment Company, Tianjin 300410, China)

Abstract: The basic gear parameters of asymmetric gear pump were analyzed. The formation principle of the involute asymmetric tooth profile was expressed by graphic expression. The trajectory equations of driving side and sliding side were deduced. In the process of meshing transmission of asymmetric gear pump, there are single-tooth meshing area and double-tooth meshing area. The finite element method was applied to 20°/20°, 25°/20°, 30°/20°, the single tooth stiffness and meshing stiffness of gear pairs with three pressure angle combinations were compared and analyzed. The analysis results show that the stiffness of the asymmetric gear increases with the increase of the driving side pressure angle, and the finite element method is consistent with the formula method.

Key words: asymmetric gear pump; finite element; single tooth stiffness; meshing stiffness

0 引言

非对称齿轮泵是新型的外啮合齿轮定量泵，这种泵的核心部件是一对外啮合的非对称齿轮，其齿廓两侧采用了不同压力角的渐开线齿形，相比传统的对称齿轮泵具有大流量、低振动、低噪音的特点，主要应用在矿山、化工、建筑等行业的排污中。非对称齿轮泵在满载工作时，齿廓受到流体的压力作用，轮齿会产生受载变形，轮齿的变形会影响整个泵的刚度，进而对泵工作的稳定性、可靠性都会产生影响。结合 ANSYS 有限元分析和 MATLAB 数值分析，对非对称齿轮泵中齿轮刚度进行分析，为非对称齿轮泵的动态特性分析、动力学分析和研制新型齿轮泵提供一定的参考。

1 非对称齿轮泵中齿轮的形成

(1)非对称齿轮的基本参数

非对称齿轮泵中的非对称齿轮与传统对称齿轮的主要区别在于齿面轮廓：对称齿轮齿面两侧具有相同的轮廓形状，而非对称齿轮齿面两侧具有不同的轮廓形状，参与啮合进程的一侧轮廓称为驱动侧，被动啮合的另一侧称为滑行侧，两侧的压力角不同，非对称齿轮侧面轮廓的示意图如图 1 所示。

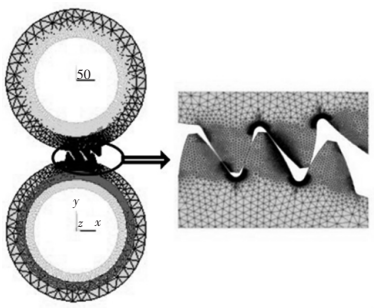


图 1 非对称齿轮侧面轮廓示意图

当 2 条发生线沿着不同的基圆作纯滚动时，形成渐开线轮廓，如图 2 所示。一条发生线 $\overline{mm}$ 沿半径为 r_{bd} 的基圆作纯滚动时，该发生线上任意点 K 的轨迹产生一侧的齿廓；同理，另一条发生线 $\overline{nn}$ 沿半径为 r_{bc} 基圆作纯滚动时，该发生线上任意点 P 的轨迹产生另一侧的齿廓。

(2)非对称齿轮的轨迹方程

K 点为非对称齿轮驱动侧轮廓轨迹点，P 点为滑行侧轮廓轨迹点，K、P 两点的极坐标轨迹方程：

* 天津职业大学基金资助项目(20151104)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

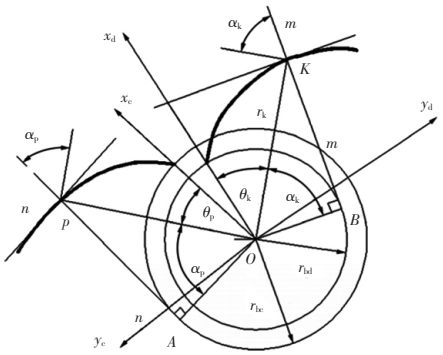


图 2　非对称渐开线齿轮齿廓形成示意图

驱动侧轨迹方程

$$\begin{cases} r_k=\dfrac{r_{bd}}{\cos\alpha_k} \\ \theta_k=\text{inv}\ \alpha_k=\tan\alpha_k-\alpha_k \end{cases} \tag{1}$$

滑行侧轨迹方程

$$\begin{cases} r_p=\dfrac{r_{bc}}{\cos\alpha_p} \\ \theta_k=\text{inv}\ \alpha_p=\tan\alpha_p-\alpha_p \end{cases} \tag{2}$$

式中　α_k、α_p——驱动侧、滑行侧的压力角；

r_{bd}、r_{bc}——驱动侧和滑行侧的基圆半径。

将 K、P 两点的极坐标式(1)、式(2)转化为笛卡尔坐标方程为

$$\begin{cases} x_i=r_{bi}\cos\theta+r_{bi}\theta\sin\theta \\ y_i=r_{bi}\sin\theta+r_{bi}\theta\cos\theta \end{cases} \tag{3}$$

角度 θ 取值范围在 0~tan α_a，α_a 为齿顶圆压力角；i=d 或 c，d 表示驱动侧，c 表示滑动侧。

2　非对称齿轮泵的齿轮啮合刚度

(1)非对称齿轮的啮合特性

非对称齿轮泵的齿轮在啮合传动过程中，驱动侧和滑行侧的基圆齿距相等，啮合区域处在单齿啮合和双齿啮合的动态循环过程中，每个齿的负载发生周期性变化，啮合区域如图 3 所示。齿轮 1 为主动齿轮，齿轮 2 为从动齿轮。

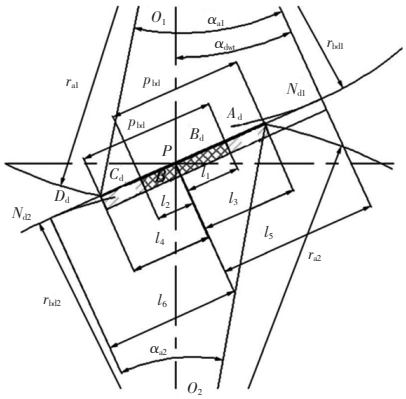


图 3　经非对称齿轮的啮合区域

$\overline{A_dD_d}$：齿轮副的实际啮合线　$\overline{A_dB_d}$、$\overline{C_dD_d}$：双齿啮合区　$\overline{A_dC_d}$：单齿啮合区　A_d：啮合线的起始点　B_d：单齿啮合区的最低点　C_d：单齿啮合区的最高点　D_d：啮合区的终止点

(2)非对称齿轮的刚度

非对称齿轮的刚度是指轮齿在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。齿尖的加载变形如图 4 所示，轮齿齿尖由于受到载荷 F_n 的作用导致齿尖处产生弹性变形量 δ。

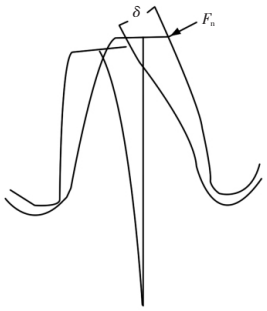


图 4　齿尖的加载变形

载荷与形变的比值为刚度 k，即

$$k=\frac{F_n}{\delta} \tag{4}$$

对于无法直接获取变形量的作用点，可通过提取作用点坐标位移求解变形量，即作用点的位移变形量

$$\delta'=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2} \tag{5}$$

式中　x_1、y_1——作用点变形前坐标；

x_2、y_2——作用点变形后坐标。

假设将单齿啮合模型的齿轮视为弹簧，则双齿啮合模型可视为两弹簧串联模型，如图 5 所示。

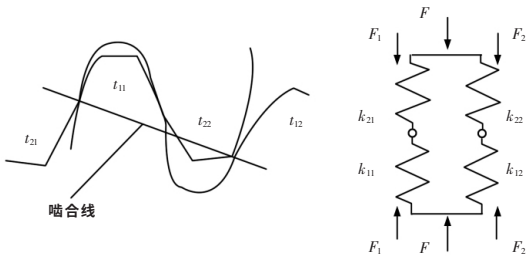


图 5　啮合刚度弹簧模型

齿轮的啮合刚度

$$K_0=\frac{K_1K_2}{K_1+K_2} \tag{6}$$

主动齿轮单齿刚度

$$K_1=\frac{k_{11}k_{21}}{k_{11}+k_{21}} \tag{7}$$

从动轮单齿刚度

$$K_2=\frac{k_{12}k_{22}}{k_{12}+k_{22}} \tag{8}$$

式中　k_{11}——第 1 对主动齿的单齿刚度；

k_{21}——第 1 对从动齿的单齿刚度；

k_{12}——第 2 对主动齿的单齿刚度；

k_{22}——第 2 对从动齿的单齿刚度。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3　非对称齿轮泵的刚度分析

根据齿轮的基本参数建立有限元分析模型，利用ANSYS软件对模型进行约束、施加载荷，进行刚度分析，将分析结果利用MATLAB进行拟合计算，与公式法进行比较，最终得到非对称齿轮刚度的求解模型。

非对称齿轮泵的传递扭矩 T=50 Nm，通过3种不同压力角组合的齿轮副，对比分析非对称齿轮的刚度，具体参数如表1所示。

表1　齿轮副基本参数

齿轮副	模数/mm	小齿轮齿数	驱动侧压力角α_d/(°)	滑行侧压力角α_f/(°)	传动比	材料	齿宽/mm
1	2	17	20	20	1.4	钢	25
2	2	17	25	20	1.4	钢	25
3	2	17	30	20	1.4	钢	25

通过有限元分析可以得出非对称齿轮刚度大小与齿数多少、压力角大小的变化趋势：齿数增加，单齿刚度增大；驱动侧压力角变大，刚度变大，单齿刚度与齿数、压力角关系如图6所示。

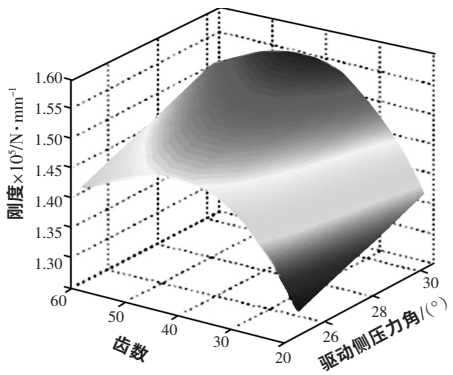


图6　单齿刚度与齿数、压力角关系

分析非对称齿轮驱动侧压力角对齿轮刚度的影响，当驱动侧压力角从标准20°增大到25°时，单齿刚度增大约10%；当驱动侧压力角增大到30°时，单齿刚度增加了近20%，压力角对单齿刚度的影响如图7所示。

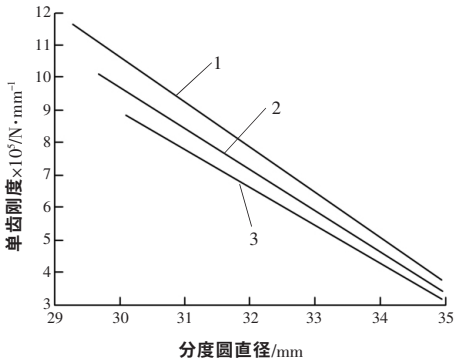


图7　压力角对单齿刚度的影响

1. 30°　2. 25°　3. 20°

根据表1的参数，分析3种典型压力角组合的齿轮副啮合刚度，结果如图8所示，从图8可以看出：随着驱动侧压力角的增大，单齿啮合区和双齿啮合区的刚度均增大，但双齿啮合的时间却减少了，降低了重合度。

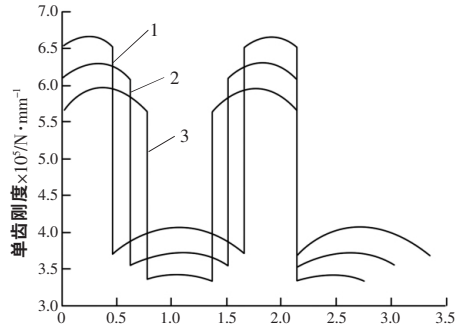


图8　啮合刚度

1. 30°　2. 25°　3. 20°

将有限元法的分析结果与式(4)~式(8)的结果进行比表明：有限元法与公式法具有很好的一致性，验证了有限元法分析非对称齿轮刚度的有效性，比较结果如图9所示。

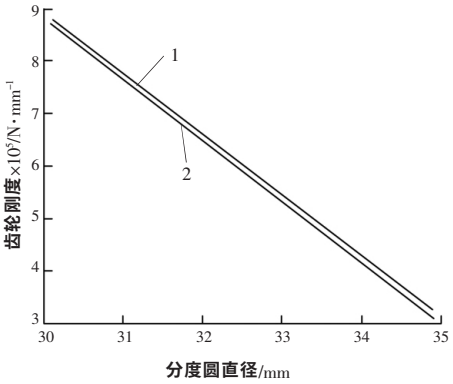


图9　有限元法与公式法比较

1. 有限元法　2. 公式法

4　结语

利用有限元法分析了非对称齿轮泵的齿轮刚度，通过3种齿轮副对比分析，结果表明压力角变大，轮齿变厚，单齿刚度、啮合刚度均增加，单齿啮合时间变长，重合度降低，非对称齿轮比对称齿轮具有更好的刚度特性，分析结果为非对称齿轮泵改造和创新设计提供了依据。

参考文献：

[1]朱良，郗军红，于慧. 非对称渐开线直齿圆柱齿轮动态特性研究[J]. 机械传动，2014，38(9)：30-33.

[2]皇甫一樊，陈康康，马辉. 考虑混合修形的非对称直齿轮副啮合特性与振动特性分析[J]. 中国科学，2019，49(2)：1-8.

[3]周欣，邓康耀，田中旭. 渐开线齿轮传动的扭转刚度研究[J]. 机械传动，2017，41(6)：46-51.

[4]刘鹏，赵韩，黄康，等. 基于势能法的微线段齿轮啮合刚度模型研究[J]. 应用力学学报，2015，32(6)：1 069-1 074+1 109.

[5]刘超，刘晓娟. 有限元分析与ANSYS实践教程[M]. 北京：机械工业出版社，2016.

作者简介：张海伟(1980-)，天津蓟县人，副教授，硕士，主要从事机械设计与制造方向的科研与教学工作，电子信箱：zhw199937@126.com.

责任编辑：张　欣　　收稿日期：2019-02-20

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI：10.16578/j.issn.1004.2539.2013.02.021

文章编号：1004－2539(2013)02－0080－04

非对称齿轮的设计及弯曲应力分析

张海伟
(天津职业大学 机电工程与自动化学院， 天津 300410)

摘要 设计了一种新型齿条刀具用于加工非对称齿轮，推导出了非对称齿轮的齿形轮廓方程，分析了齿轮传动过程中5个典型点的受力情况，对5种压力角组合20°/20°、25°/20°、30°/20°、35°/20°和40°/20°下的齿形进行了弯曲应力分析，得到了弯曲应力最小情况下的压力角组合。

关键词 非对称齿轮 齿条刀具 轮廓方程 弯曲应力

Design and Bending Stress Analysis of Asymmetric Gear

Zhang Haiwei
(Electromechanical and Automation School, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China)

Abstract A new type of rack cutter for cutting asymmetric gear is designed, the profile equations are deduced, the force of five typical points are analyzed in the transmission process, and five sets of asymmetric gears with the pressure angles of 20°/20°, 25°/20°, 30°/20°, 35°/20° and 40°/20° are established to quantitatively check the stress distributions at the fillet of the drive side of these teeth, the combination of pressure angle is got in the minimum bending stress is got.

Key words Asymmetric gear Rack cutter Profile equation Bending stress

0 引言

承载能力是衡量齿轮工作性能的重要指标之一，目前人们通常通过轮齿表面的热处理和轮齿形状的修整来提高其承载能力，在轮齿的形状修整中，开发设计不对称齿轮以提高齿轮的承载能力越来越被人们所重视[1]。传统的渐开线齿轮两侧齿廓是对称的，而非对称齿轮两侧齿廓形状不同，一面为工作齿面，另一面为从动齿面，两齿面的压力角也不相同。非对称齿轮在啮合传动过程中工作齿面传动加载时间变长，非工作齿面传动时间变短，因而提高了承载能力和使用效率[2]。

在齿轮的众多失效形式中，轮齿因发生弯曲而减弱或丧失承载能力的现象很普遍，从弯曲的表象上看，非对称齿轮的弯曲首先发生在工作齿面进而扩展，但在弯曲的机理研究上国内外的相关文献还很少[3]。我们开发了设计了一种新型齿条刀具用于加工非对称齿轮，同时建立了齿形的轮廓方程，分析了非对称齿轮啮合过程中啮合点的周期性变化规律，对5个典型啮合点进行了受力分析，并分别对不同压力角组合下的非对称齿轮进行了弯曲应力分析，分析结果对设计与选用非对称齿轮具有重要的借鉴与指导意义。

中国知网 https://www.cnki.net

1 非对称齿轮齿形设计

1.1 齿条刀具设计

加工非对称齿轮的齿条刀具是经过特殊设计的，其非工作齿面的压力角取标准值，工作齿面的压力角取设计值。具体参数如下：模数 m、非工作齿面压力角 α_c、工作齿面压力角 α_d、非工作齿面齿顶高系数 h_c^*、工作齿面齿顶高系数 h_d^*、非工作齿面顶隙系数 c_c^*、工作齿面顶隙系数 c_d^*、尖端圆弧半径 ρ，如图1所示。

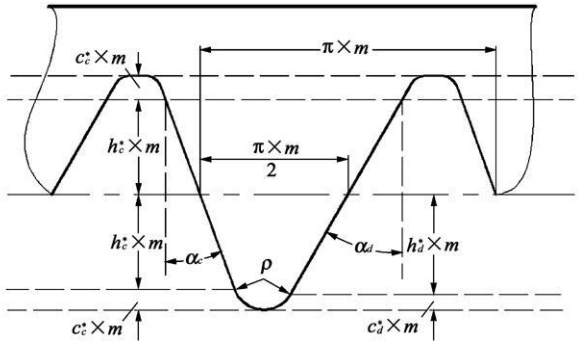


图1 非对称齿轮齿条刀具参数

各参数间的计算关系如下：

齿形尖端圆弧半径 ρ

$$\rho=\frac{[\pi m/2-h_c^{*}m(\tan\alpha_c+\tan\alpha_d)]}{\cos\alpha_c-\sec\alpha_d-\sin\alpha_c\times\tan\alpha_d} \tag{1}$$

非工作齿面顶隙系数 c_c^{*} 及工作齿面顶隙系数 c_d^{*}

$$c_c^{*}=\frac{\rho\times(1-\sin\alpha_c)}{m} \tag{2}$$

$$c_d^{*}=\frac{\rho\times(1-\sin\alpha_d)}{m} \tag{3}$$

工作齿面齿顶高系数

$$h_d^{*}=h_c^{*}+c_c^{*}-c_d^{*} \tag{4}$$

从图 2 中可以找到这些参数之间的确切关系。

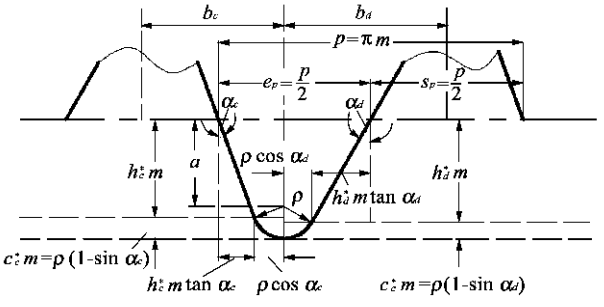


图 2　齿条刀具参数间的关系

1.2　非对称齿形轮廓设计

1.2.1　齿形轮廓的生成

齿轮的齿形是由齿坯通过齿条刀具的加工生成的，其中齿条刀具的直线部分生成渐开线齿形，如图 3 中的①和③，刀具的尖端圆弧部分生成齿轮根部的过渡圆角，如图 3 中的②和④，利用范成法加工齿轮，各轮齿最终同时加工成形，一个完整非对称齿形的加工及齿形与刀具各部分对应关系的示意图[4]，如图 3 所示。

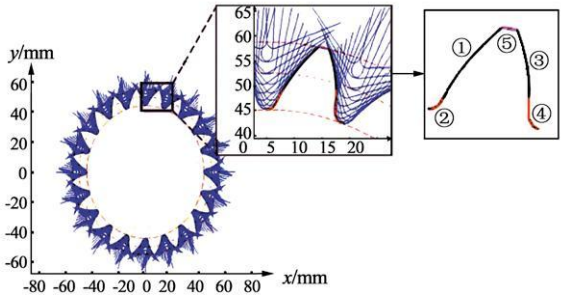


图 3　齿形与齿条刀具的对应示意图

1.2.2　渐开线轮廓方程

齿形轮廓各部分的形状由轮廓方程所得，各齿形参数见图 2，非对称齿轮工作齿面渐开线部分①上任意点 $M(x_M, y_M)$ 的坐标可以表示如下

$$\begin{cases} x_M=r_M\sin(\text{inv}\ \alpha_{Md}-\text{inv}\ \alpha_d-\alpha_q) \\ y_M=r_M\cos(\text{inv}\ \alpha_{Md}-\text{inv}\ \alpha_d-\alpha_q) \end{cases} \tag{5}$$

非工作齿面渐开线部分③上任意点的坐标可以表示如下

$$\begin{cases} x_N=-r_N\sin(\text{inv}\ \alpha_{Nc}-\text{inv}\ \alpha_c-\alpha_q) \\ y_N=r_N\cos(\text{inv}\ \alpha_{Nc}-\text{inv}\ \alpha_c-\alpha_q) \end{cases} \tag{6}$$

齿轮工作齿面根部过渡圆角②上任意点 $W(x_W, y_W)$ 的坐标可以表示如下

$$\begin{cases} x_W=-r\sin\varphi_d+(a/\sin\alpha_{Wd}+\rho)\cos(\alpha_{Wd}-\varphi_d) \\ y_W=-r\cos\varphi_d-(a/\sin\alpha_{Wd}+\rho)\sin(\alpha_{Wd}-\varphi_d) \end{cases} \tag{7}$$

齿轮非工作齿面根部过渡圆角④上任意点 $V(x_V, y_V)$ 的坐标可以表示如下

$$\begin{cases} x_V=r\sin\varphi_c-(a/\sin\alpha_{V_c}+\rho)\cos(\alpha_{V_c}-\varphi_c) \\ y_V=r\cos\varphi_c-(a/\sin\alpha_{V_c}+\rho)\sin(\alpha_{V_c}-\varphi_c) \end{cases} \tag{8}$$

2　弯曲应力分析

2.1　啮合点受力分析

根据齿形轮廓方程，由齿条刀具加工出大小不等的一对啮合的非对称齿轮，如图 4 所示。在啮合传动过程中[5]，啮合点 M 处的传动力 F 可以分解为切向力 F_t 和法向力 F_n，具体大小按式(9)计算，啮合点处的受力分析如图 5 所示。

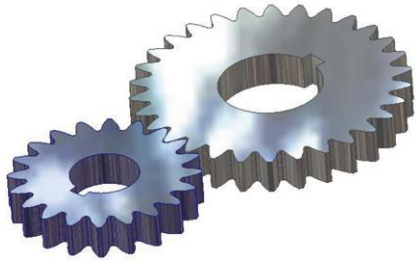


图 4　一对非对称齿轮的三维模型

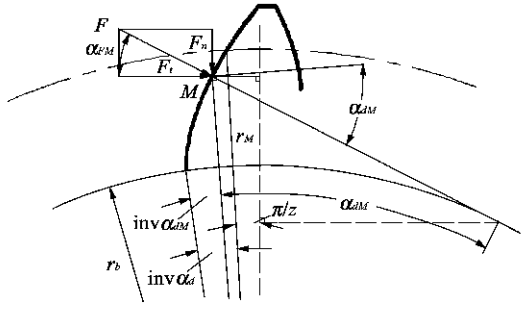


图 5　工作齿面啮合点处的受力分析

$$\begin{cases} F_t=F\times\cos\alpha_{FM} \\ F_n=F\times\sin\alpha_{FM} \end{cases} \tag{9}$$

式中，F ——传递力，N

α_{FM} ——工作齿面压力角

$$F=T/(r_M\times\cos\alpha_{FM}) \tag{10}$$

$$T=9\,550\times P/n \tag{11}$$

式中，P ——传递功率，kW

n ——小齿轮转速，r/min

中国知网　https://www.cnki.net

r_M ——过啮合点的半径，mm

非对称轮齿的弯曲应力计算式为

$$\sigma_f=\frac{KF_t}{bm}Y_{fa}Y_{sa} \tag{12}$$

式中，K ——载荷修正系数

F_t ——切向力，如式(9)所求

b ——轮齿宽度，mm

m ——模数

Y_{fa}——齿形系数

Y_{sa}——应力修正系数

2.2 典型啮合点分析

一对非对称齿轮在传动过程中按“两对齿接触→一对齿接触→两对齿接触”周而复始地传递动力，在一个啮合周期工作齿面上有 5 个典型的接触点，它们是双齿接触最低点 A、单齿接触最低点 B、双齿接触齿顶圆的交点 C、单齿接触最高点 D 及单齿齿尖 E，如图 6 所示。在后面的分析中，将重点分析这 5 个典型点处齿轮所受的弯曲应力。

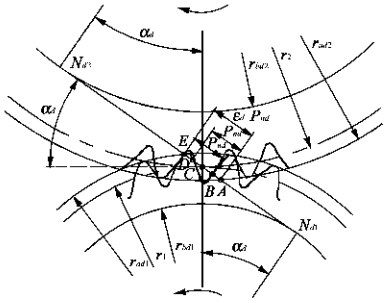


图 6 一个啮合周期内的 5 个典型点

2.3 不同压力角组合下 5 个典型点分析

不对称齿轮一般非工作齿面的压力角取标准值，随着不对称程度的不同，工作齿面上的压力角会有变化，5 个典型点的分布也会随之变化，进而工作齿面所受的弯曲应力也会不同[6]。在不同的压力角组合下工作齿面 5 个典型点的分布情况如图 7 所示。

2.4 弯曲应力图线分析

以一对不对称齿轮为例，分析工作齿面压力角与弯曲应力间的具体数值关系[7]，如图 7 所示中非工作齿面压力角取标准值 20°，工作齿面压力角分别取 20°、25°、30°、35°和 40°。齿轮的其他参数如表 1 所示。

表 1 齿轮相关参数

模数	宽度/mm	传动比	小齿轮转速/(r/min)	杨式模量/GPa	泊松比	传输功率/kW
5	12	4	960	209	0.28	40

按表 1 的齿轮参数对非对称齿轮进行受力分析，利用式(12)对轮齿进行弯曲应力计算，在工作齿面分别取 5 种不同的压力角，利用 MATLAB 软件进行数值模拟，某一轮齿在一个啮合传动周期内 5 个典型点所受弯曲应力的模拟曲线如图 8～图 12 所示，图中横坐标表示非对称齿轮渐开线上某一点在旋转过程中所移动的距离，也就是弧长，纵坐标表示弯曲应力的大小。分析发现在图 8～图 12 中，在啮合过程中的任意时段均是 D 点所对应的弯曲应力曲线位于最上方，说明无论压力角取多大，弯曲应力最大的位置一定是单齿接触最高点 D；在一个啮合周期内，5 个典型点所受弯曲应力的曲线均是开口向下先增后减的，说明无论压力角取多大，5 个点的弯曲应力均是先增大后减小，齿轮承载是由小变大，卸载是从大变小。

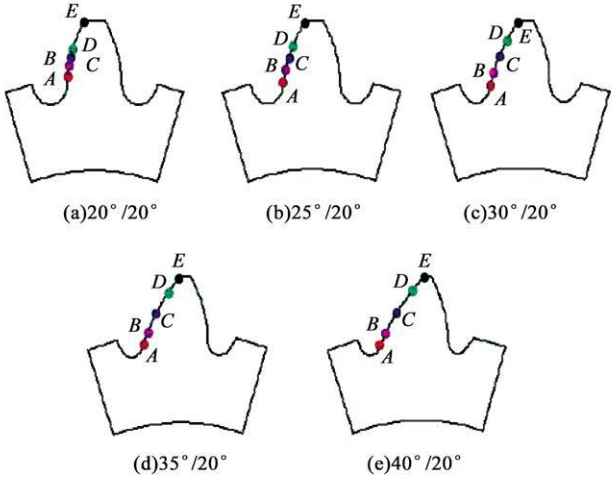


图 7 不同压力角组合下的 5 个典型点

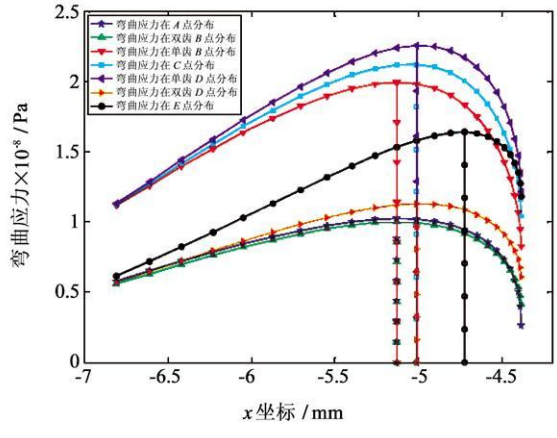


图 8 压力角为时弯曲应力分布

相同工况下，不对称齿轮工作齿面压力角变化所引起的弯曲应力变化情况如图 13 所示，分析发现，在压力角取 40°时，弯曲应力曲线横坐标所对应的水平距离最短，转速一定情况下，所对应的时间最长，而压力角取时，弯曲应力曲线横坐标所对应的水平距离最长，转速一定情况下，所对应的时间最短，这说明压力角越

中国知网 https://www.cnki.net

大，进入啮合和脱离啮合的时间越长，传动越平稳，齿轮的承载能力越强。

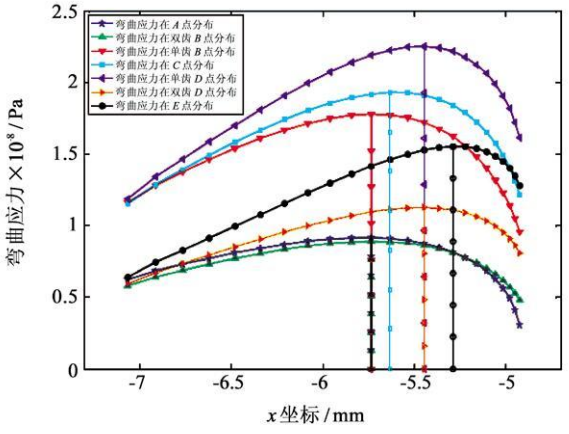


图 9　压力角为时弯曲应力分布

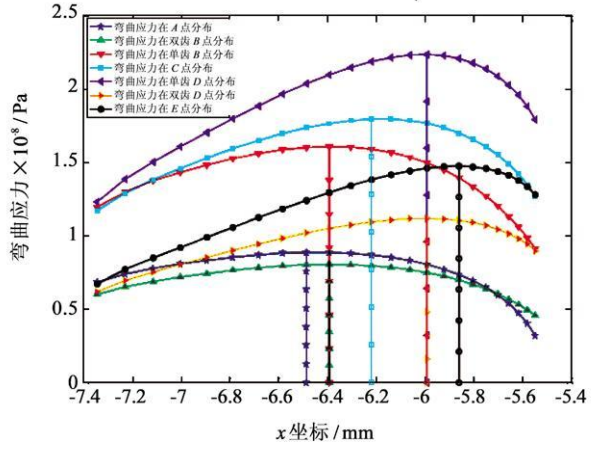


图 10　压力角为时弯曲应力分布

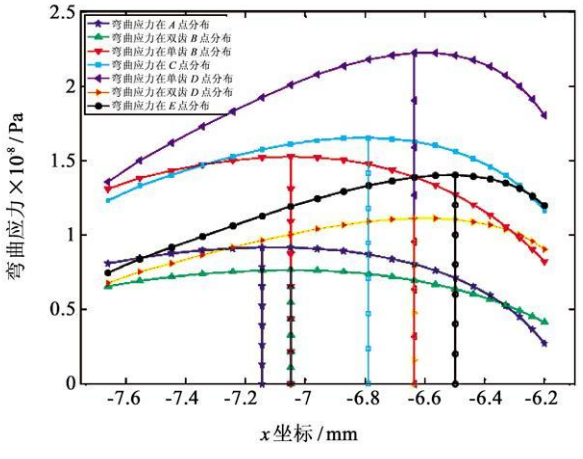


图 11　压力角为时弯曲应力分布

工作齿面上 5 个典型点所受平均弯曲应力随压力角的变化情况如图 14 所示，可以直观看出随着压力角的增大，平均弯曲基本上呈变小的趋势，在压力角为 35°时，曲线处于最低点，所受平均弯曲应力最小。

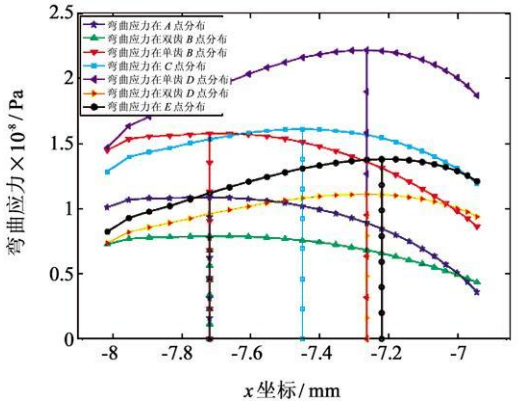


图 12　压力角为时弯曲应力分布

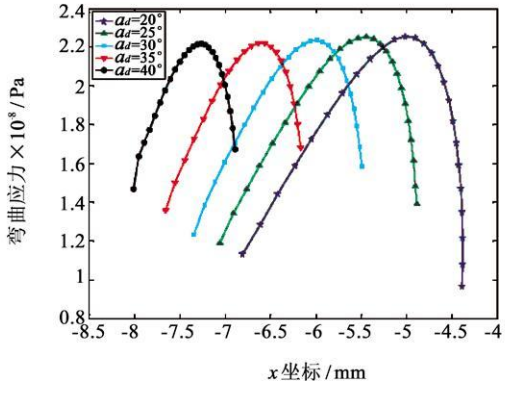


图 13　不同压力角下弯曲应力分布

3　结束语

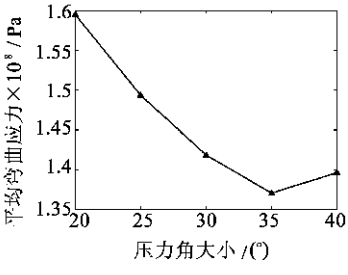


图 14　平均弯曲应力随压力角的变化

在齿轮的设计与选用过程中，可以选择非对称齿轮，在完成功用的情况下可以有效地提高使用寿命，在非对称齿轮的传动过程中，在工作齿面的弯曲应力逐步增大，非工作齿面的弯曲应力逐步变小，同时工作齿面的压力角选用 35°是个不错的选择。

参　考　文　献

[1]　田培棠. 齿轮刀具设计与选用手册[M]. 北京：国防工业出版社，2011：21—23.

[2]　张展. 渐开线变位齿轮传动[M]. 北京：国防工业出版社，2011：140—142.

[3]　张展. 实用齿轮设计计算手册[M]. 北京：机械工业出版社，2011：56—61.

[4]　厉海祥. 点线啮合齿轮传动[M]. 北京：机械工业出版社，2011：88—94.

[5]　朱孝录. 齿轮传动设计手册[M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2011：21—28.

[6]　张宝珠. 齿轮加工速查手册[M]. 北京：化学工业出版社，2010：43—45.

[7]　吴序堂. 齿轮齿和原理[M]. 2 版. 西安：化西安交通大学出版社，2009：8—14.

收稿日期：20120630　　收修改稿日期：20120807
基金项目：天津职业大学培育备案项目(20101201)
作者简介：张海伟(1980—)，男，天津蓟县人，讲师

中国知网　https://www.cnki.net

复杂环境下推进高职院校文化安全建设的具体举措分析

马鸿达（天津职业大学）

摘要：文化是一个国家的灵魂，文化安全是国家稳定发展的基础保障。高职院校作为推动文化安全建设的重要载体，肩负着人才培养、文化传承的重任。近年，随着网络的快速发展，大量良莠不齐的文化信息充斥在高职院校中，给高职院校的文化安全建设带来严峻挑战。因此，本文提出了复杂环境下推进高职院校文化安全建设的举措，包括营造积极健康的校园文化氛围、完善文化安全管理制度、增强文化安全监测与评估、加强文化安全教育等，旨在为培养高素质人才、促进国家文化安全和社会稳定作出积极贡献。

关键词：高职院校；文化安全；具体举措

文化安全是一个国家、一个民族生存和发展的基础，在高职院校中，文化安全建设不仅关乎学校的文化传承和创新，更关乎学生的价值观塑造和思想道德建设[1]。一个安全、健康、积极的校园文化环境，能够为学生提供良好的成长氛围，帮助他们树立正确的世界观、人生观和价值观。然而，复杂的社会环境，对高职院校文化安全建设带来前所未有的挑战。因此，高职院校必须保持清醒的头脑和坚定的信念，采取切实有效的措施来加强文化安全建设，筑牢高校文化安全屏障，为培养合格的社会主义建设者和接班人，提供坚强保障[2]。

一、复杂环境下高职院校文化安全建设面临的挑战

（一）全球化背景下的文化冲击

在全球化背景下，各种文化思潮相互激荡、交融，给高职院校的文化安全带来冲击。一方面，全球化使得不同文化之间的交流和碰撞更加频繁，学生面临多元文化的冲击，这种冲击既带来了新鲜感和启发，也带来了困惑和迷茫，学生在接触不同文化的过程中，可能会产生文化认同的困惑和价值观的冲突。另一方面，全球化带来外来文化的渗透和侵蚀，很多西方文化、西方价值观渗透到高职教育领域中，威胁到高职院校的意识形态领域和政治安全[3]，一些外来文化可能包含不良信息和极端思想，容易对正在树立价值观阶段的高职院校学生的思想和行为产生负面影响。

（二）网络时代的信息传播风险

网络时代的到来，使得信息传播速度加快、范围扩大，短视频盛行，大量信息充斥着高职院校学生，给高职院校的文化安全带来新的风险。一方面，网络上的信息良莠不齐，存在大量的虚假信息、不良信息和极端思想，这些信息可能对学生的思想和行为产生负面影响，甚至引发群体性事件。另一方面，网络空间的匿名性和隐蔽性，使得一些不法分子有机可乘。他们可能利用网络平台传播不良信息和极端思想，对高职院校的文化安全构成威胁。

（三）学生群体多样性与个性化需求的挑战

随着社会的发展和教育水平的提高，高职院校的学生群体呈现多样性和个性化的特点，这种多样性和个性化给高职院校的文化安全建设带来新的挑战。不同背景、不同专业的学生对文化的需求和兴趣各不相同，高职院校需要满足不同学生的需求，保持校园文化的统一性和协调性。此外，高职院校在文化安全建设中，需要注重个性化教育，尊重学生的个性差异和兴趣爱好。然而，在实际操作中，高职院校往往难以兼顾所有学生的需求，导致一些学生感到被忽视或被排斥，从而产生错误的文化认知。

二、复杂环境下推进高职院校文化安全建设的具体举措

（一）营造积极健康的校园文化氛围

在高职院校中，营造积极健康的校园文化氛围，是一项至关重要的任务。校园环境、文化和氛围直接关乎人才培养的质量，安全文化只有真正地深入师生内心，才能从根本上起到保障安全的效果[4]，它不仅关乎学校的整体形象和发展，更对师生们的精神面貌和文化安全建设产生深远的影响。

一方面，一个积极健康的校园文化氛围，对于高

中国知网 https://www.cnki.net

职院校的文化安全建设有着不可或缺的推动作用。在这样的氛围中，师生能够更加深入地了解和感受学校的文化特色和精神风貌，从而增强对学校的归属感和文化认同感。通过举办各种丰富多彩的文化活动，如文艺演出、体育比赛、学术讲座等，可以为师生们提供一个展示自我、交流思想、互相学习的平台，这些活动不仅能够丰富师生们的文化生活，还能够激发他们的创造力和创新精神，为学校的发展注入新的活力。具体来说，文艺演出可以展现学校的艺术氛围和人才储备，通过舞蹈、歌唱、戏剧等形式，让师生们感受到艺术的魅力和文化的力量；体育比赛可以增强师生们的身体素质和团队精神，让他们在竞技中感受到荣誉和拼搏的价值；学术讲座可以拓宽师生们的视野和知识面，激发他们对学术研究的兴趣和热情。这些活动共同构成学校文化的重要组成部分，为学校的发展提供有力的文化支撑。

另一方面，高校可以通过建设校园网站、微信公众号、校报等媒体平台，来传播正能量和弘扬社会主义核心价值观。这些媒体平台是师生们获取信息、交流思想的重要渠道，高校应该充分利用它们来发布学校的新闻动态、政策解读、学术成果等信息，引导师生们关注国家大事、关注学校发展、关注个人成长，宣传学校的文化理念和价值观念，弘扬中华优秀传统文化和时代精神，让师生们在潜移默化中受到熏陶和启迪。

另外，在营造积极健康的校园文化氛围的过程中，高校需要注重文化的多样性和包容性，尊重师生的文化选择和文化需求，鼓励他们积极参与各种文化活动，表达自己的观点和想法，同时需要加强对不良文化的抵制和防范，防止它们对校园文化造成负面影响。

（二）完善文化安全管理制度

在信息化、网络化的时代背景下，高职院校文化安全建设尤为重要。文化安全不仅关乎学校的声誉和形象，更与师生的思想健康、学术道德紧密相连。因此，完善文化安全管理制度，是高职院校文化安全建设的重要保障。

首先，明确责任与义务。高职院校应当制定一套完整的文化安全管理制度，明确各级组织和个人的责任与义务，这包括学校层面的文化安全管理领导小组，负责全面规划、指导、监督和检查学校的文化安全工作，也包括各院系、各部门以及广大师生，他们都应当成为文化安全管理的参与者和执行者。

其次，制定具体的管理制度。第一，网络安全管理制度。针对当前网络安全的严峻形势，高职院校应当建立健全网络安全管理制度，确保校园网络的安全稳定，这包括建立网络安全防护体系，加强网络安全监测和预警，及时处理网络安全事件等。同时，高校还要加强对师生网络行为的监管和引导，规范他们的网络行为，防止不良信息的传播和扩散。第二，信息发布审核制度。高职院校应当建立信息发布审核制度，对校园内各类信息进行严格把关，这包括校园网站、微信公众号、论坛等平台发布的信息，都要经过相关部门的审核和批准，确保信息的真实、准确、合法，对于未经审核或审核未通过的信息，一律不得发布。第三，文化活动管理制度。高职院校应当加强对各类文化活动的管理和监管，这包括学术讲座、文艺演出、展览等活动的审批、组织、实施和监管等，以确保活动的合法性、规范性和安全性，防止不良信息的传播和扩散。

再次，加强宣传和安全教育。高职院校应当加强文化安全宣传与教育，提高师生对文化安全的认识和重视程度。高职院校可以通过开展文化安全知识竞赛、举办文化安全讲座、制作文化安全宣传海报等方式，向师生普及文化安全知识，提高他们的文化安全意识和防范能力。

最后，加强管理制度的监督和检查。高职院校应当加强对文化安全管理制度的监督与检查，确保各项制度得到有效执行。高职院校可以通过定期或不定期的检查、考核和评估等方式，对各级组织和个人的文化安全管理工作进行检查和评估，及时发现和纠正问题，确保文化安全管理制度的顺利运行。

（三）加强文化安全监测与评估

在高职院校中，加强文化安全监测与评估是确保文化安全建设有效实施的关键环节。通过动态控制，可以及时发现潜在的文化安全风险，并采取相应的措施进行防范和应对，确保校园文化环境的健康和安全。

首先，建立完善的文化安全监测机制，是加强文化安全监测与评估的基础，这一机制应包括定期巡查和随机抽查等多种方式，以确保对校园内各类文化活动和网络信息的全面监测。其中，定期巡查指定期对学校的各类文化活动、展览、讲座等进行检查，确保其内容健康、积极向上，没有违反国家法律法规和社会主义核心价值观的情况；随机抽查指对校园内的网

中国知网 https://www.cnki.net

络信息、社交媒体等进行随机检查，防止不良信息的传播和扩散。在监测过程中，高职院校需要关注潜在的文化安全风险和问题，这些风险和问题可能来自各个方面，如文化活动的组织和管理不善、网络信息的恶意传播、师生文化安全意识薄弱等。通过及时发现这些问题，可以采取相应的措施进行干预和纠正，防止其对校园文化安全造成不良影响。

其次，在文化安全建设评估上，高职院校可以通过问卷调查、访谈等方式，了解师生对文化安全建设的满意度和意见。通过评估，高职院校可以了解师生对文化安全建设的期望和需求，发现文化安全建设中的问题和不足，为今后的文化安全建设提供方向和指导。需要注意的是，在评估过程中，高职院校需要注重数据的收集和分析。通过问卷调查、访谈等方式收集的数据，可以进行统计分析，了解师生对文化安全建设的看法和态度。

最后，高职院校需要对文化安全事件进行总结和分析，查找原因和教训，为今后的防范和应对提供借鉴和参考。同时，高职院校需要加强相关人员的培训和教育，以提高师生对文化安全的认识和重视程度，增强他们的文化安全意识和防范能力[5]。

（四）加强文化安全教育

在当今日益复杂多变的社会环境中，文化安全教育对于高职院校来说，其重要性不言而喻。文化安全教育不仅是保障学生全面发展的基础，更是维护国家文化安全、传承和弘扬中华优秀传统文化的关键，因此，加强高职院校的文化安全教育尤为重要[6]。

首先，高职院校应将文化安全教育纳入高职院校的必修课程体系，通过开设专门的文化安全教育课程，系统传授国家文化安全政策、文化安全法律法规、网络文化安全知识等基础知识，帮助学生深刻认识文化安全的重要性和紧迫性。同时，课程内容的设置应当紧密结合当前文化安全领域的热点问题和实际案例，让学生在学习中能够真正感受文化安全问题的现实性和复杂性。

其次，高职院校应当积极邀请专家学者举办文化安全主题讲座和研讨会。这些活动不仅可以为学生提供一个与专家学者面对面交流的机会，而且可以加深他们对文化安全问题的认识和理解。通过专家的深入剖析和解读，学生可以更加清晰地认识到文化安全在国家发展、社会进步中的重要作用，从而自觉增强文化安全素养。

最后，高职院校应当积极组织师生参与文化安全实践活动，如网络安全演练、文化安全知识竞赛等。这些活动不仅可以让学生在实践中学习、体验和掌握文化安全知识，更能够培养他们的应对能力和自我保护能力。通过亲自参与和体验，学生可以更加深入地理解文化安全问题的本质和内涵，从而更加自觉地维护国家文化安全。

三、结语

在全球化与信息化交织的时代背景下，高职院校文化安全建设的重要性与紧迫性日益凸显。高职院校作为培养高素质人才的重要基地，其文化安全建设不仅关乎师生个人的成长与发展，更关乎国家的文化安全和社会稳定。因此，高职院校必须高度重视文化安全建设，将其作为学校工作的重要组成部分，常抓不懈、持之以恒。只有这样，才能确保高职院校文化安全建设的深入发展。

参考文献

[1] 姜平，孟治强．文化安全视域下高职学生传统文化认知的现状调查与分析 [J]. 文化创新比较研究，2023,7(20):128–132.

[2] 周祎，龙昱廷．浅析新形势下如何加强高职院校校园安全文化建设 [J]. 科学咨询（教育科研），2022(12)：22–24.

[3] 蒋海波，陆柏林，翦象虹，等．高职院校安全文化创建实现路径研究 [J]. 现代职业教育，2022(32):85–87.

[4] 李冠贤，丘少美．高职院校安全文化育人共同体的构建与实践探索 [J]. 学园，2021,14(4):81–83.

[5] 方世南．文化安全：把握习近平文化思想的重要维度 [J]. 海南师范大学学报（社会科学版），2024,37(3):1–8.

[6] 刘伊．新形势下我国高职院校文化安全情势及对策探讨 [J]. 承德民族师专学报，2011,31(3):50–52.

作者简介：马鸿达（1989—），男，硕士，助理工程师，研究方向为文化安全建设。

中国知网 https://www.cnki.net

文章编号：1671-7848(2019)10-1850-07　　**DOI:** 10.14107/j.cnki.kzgc.20180026

高超声速飞行器自适应故障估计与容错控制

黄鑫[1]，王婕[2]，马晓[2]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2.河北工业大学 控制科学与工程学院，天津 300130)



摘　要：为提高高超声速飞行器的安全性和可靠性，针对飞行器的执行机构失效故障问题，进行了自适应滑模容错控制方法的研究。首先，基于弹性高超声速飞行器的纵向动力学方程建立故障模型，并转化为严格反馈形式。其次，利用反步法设计控制输入，构造自适应滑模容错控制律，及时快速处理故障影响。最后，利用 Lyapunov 稳定性理论证明了系统的渐近稳定性，仿真结果表明该方法能有效处理执行器控制效益损失故障，有较好的鲁棒性和容错能力。

关键词：弹性高超声速飞行器；自适应容错控制；反演控制；执行器故障

中图分类号：TP27　　**文献标识码**：A

Adaptive Fault Estimation and Fault-Tolerant Control of a Flexible Hypersonic Vehicle

HUANG Xin[1], *WANG Jie*[2], *MA Xiao*[2]

(1. School of Electric-mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
2. School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: In order to improve the security and reliable of the hypersonic vehicle, an adaptive sliding mode fault-tolerant control method is proposed to deal with the actuator faults. Firstly, a fault model is established based on the longitudinal dynamic model of flexible hypersonic vehicles, and transformed into strict feedback form. Secondly, the Back-stepping method is utilized to design the control input, and the adaptive sliding mode fault tolerant control law is proposed to deal with the actuator faults timely and quickly. Finally, the stability of the system is proved by Lyapunov stability theory. Simulations results show that the proposed method can effectively deal with the actuator effectiveness loss fault, and has good robustness and fault tolerant performance.

Key words: Flexible hypersonic vehicle; adaptive fault-tolerant control; backstepping control; actuator fault

1 引　言

为了完成复杂多样的航天任务，高超声速飞行器对控制系统的可靠性和安全性提出了很高的要求，执行器是飞行器的重要元件之一，受高温、高速等复杂飞行条件的影响，容易发生故障，导致系统性能下降甚至不稳定。同时，飞行器的弹性变形会对飞行器的控制输入变量产生影响，加大了执行器发生故障的机率。因此，针对弹性高超声速飞行器的执行器故障进行容错控制方法的研究，对提高系统的可靠性和安全性具有重要意义。

目前，针对高超声速飞行器的容错控制，国内外学者展开了相关的研究工作，取得一定成果[1~5]。文献[6]为实现高超声速飞行器的全自治制导与控制系统，设计健康监控模块完成实时故障诊断，利用自适应和控制分配机制设计容错控制器，提高飞行器容错性能。文献[7]针对高超声速飞行器中发生的执行器卡死故障和漂移故障进行仿真，利用间接自适应方法对动态逆算法进行扩展，实现对高超声速飞行器执行器故障的重构控制。文献[8]在自适应可重构动态逆控制器的设计中引入综合分析法，改进自适应重构控制器的鲁棒性能。文献[9]提出了一种新型的控制系统结构，将嵌入式大气数据系统与智能重构控制系统综合，提高了飞行器的稳定性和

收稿日期：2018-02-09；**修回日期**：2018-07-24

基金项目：国家自然科学基金（1703134,61673294）；河北省自然科学基金(F2015202150)；天津市自然科学基金(17JCQNJC04400)；河北省高等学校科学技术研究(QN2015068)

作者简介：黄鑫（1983−），女，湖北宜昌人，硕士，讲师，主要从事控制理论研究等方面的教学与科研工作；王婕（1986−），女，辽宁朝阳人，博士，讲师，主要从事飞行控制、容错控制等方面的教学与科研工作(本文通讯作者)；马晓(1995−)，女，河北衡水人，硕士，主要研究方向为飞行器控制等。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

健康监管功能。文献[10]针对弹性高超声速飞行器的执行器与传感器失效故障设计了切换容错控制器。

国内学者，南京航空航天大学的姜斌教授最早开始带头研究高超声速飞行器失效故障控制，所提出的控制方法主要是模糊控制、神经网络、滑模控制等，详见文献[11~13]。文献[14]提出并设计了基于自适应观测器的容错控制器，该控制器通过检测故障的残差与故障信息以达到容错控制的目的。

文章基于上述工作的研究基础，针对弹性高超声速飞行器强耦合不确定以及执行器失效故障问题，利用反演控制方法，设计自适应滑模容错控制器，并将虚拟控制的导数包含在系统的不确定项中，解决了传统反步法在虚拟控制求高阶导数时的“计算爆炸”问题，在最小控制效益失效因子与不确定上界未知的条件下，实现了对飞行器期望输出参考指令的稳定跟踪。

2 高超声速飞行器纵向模型

本文采用美国空军实验室提供的高超声速飞行器弹性纵向动力学模型[15,16]，在马赫数 $Ma=15$，高度为 $h=80\,000$ ft(1 ft = 0.304 8 m)，速度为 $V=8\,000$ ft/s，航迹角 $\gamma=0$ deg，俯仰角速率 $q=0$ deg/ s 的平衡巡航条件下，该模型的方程为：

$$\begin{cases}\dot{V}=\dfrac{1}{m}(T\cos\alpha-D)-g\sin\gamma\\ \dot{h}=V\sin\gamma\\ \dot{\gamma}=\dfrac{1}{mV}(T\sin\alpha+L)-\dfrac{g}{V}\cos\gamma\\ \dot{\alpha}=q-\dot{\gamma}\\ \dot{q}=\dfrac{1}{I_{yy}}M\\ \ddot{\eta}_i=-2\zeta_i\omega_i\dot{\eta}_i-\omega_i^2\eta_i+N_i\quad i=1,2,3\end{cases}\tag{1}$$

式中，飞行状态变量 $x=[V,h,\gamma,\alpha,q]^{\mathrm{T}}$；其中，$V$ 为飞行速度；h 为飞行高度；γ 为航迹角；α 为攻角；q 为俯仰角速率。6 个弹性变量 $\eta=[\eta_1,\dot{\eta}_1,\eta_2,\dot{\eta}_2,\eta_3,\dot{\eta}_3]^{\mathrm{T}}$。$g$ 为重力加速度；m 为飞行器质量；I_{yy} 为转动惯量；动压 $\bar{q}=0.5\rho V^2$；ρ 为空气密度；S 为参考面积；$\bar{c}$ 为平均气动弦长；气动力 L 为升力；D 为阻力；T 为推力；俯仰力矩为 M。

N_i 广义力表达式为：

$$\begin{cases}L\approx\bar{q}SC_L(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)\\ D\approx\bar{q}SC_D(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)\\ T\approx\bar{q}S[C_{T,\Phi}(\alpha)\Phi+C_T(\alpha)+C_T^{\eta}\eta]\\ M\approx z_T T+\bar{q}\bar{c}SC_M(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)\\ N_i\approx\bar{q}S[N_i^{\alpha^2}\alpha^2+N_i^{\alpha}\alpha+N_i^{\delta_e}\delta_e+N_i^{\delta_c}\delta_c+N_i^0+N_i^{\eta}\eta]\\ \quad i=1,2,3\end{cases}\tag{2}$$

气动系数表达式如下：

$$\begin{aligned}&C_{T,\Phi}(\alpha)=C_T^{\Phi\alpha^3}\alpha^3+C_T^{\Phi\alpha^2}\alpha^2+C_T^{\Phi\alpha}\alpha+C_T^{\Phi}\\ &C_T(\alpha)=C_T^3\alpha^3+C_T^2\alpha^2+C_T^1\alpha+C_T^0\\ &C_M(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)=C_M^{\alpha^2}\alpha^2+C_M^{\alpha}\alpha+C_M^{\delta_e}\delta_e+\\ &\qquad C_M^{\delta_c}\delta_c+C_M^0+C_M^{\eta}\eta\\ &C_L(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)=C_L^{\alpha}\alpha+C_L^{\delta_e}\delta_e+C_L^{\delta_c}\delta_c+C_L^0+C_L^{\eta}\eta\\ &C_D(\alpha,\delta_e,\delta_c,\eta)=C_D^{\alpha^2}\alpha^2+C_D^{\alpha}\alpha+C_D^{\delta_e^2}\delta_e^2+C_D^{\delta_e}\delta_e+\\ &\qquad C_D^{\delta_c^2}\delta_c^2+C_D^{\delta_e}\delta_c+C_D^0+C_D^{\eta}\eta\\ &C_j^{\eta}=[C_j^{\eta_1}\ \ 0\ \ C_j^{\eta_2}\ \ 0\ \ C_j^{\eta_3}\ \ 0],\quad j=T,M,L,D\\ &N_i^{\eta}=[N_i^{\eta_1}\ \ 0\ \ N_i^{\eta_2}\ \ 0\ \ N_i^{\eta_3}\ \ 0],\quad i=1,2,3\end{aligned}\tag{3}$$

在所假定的标称值中加入变化 Δ 表示参数不确定，即：

$$m=m_0(1+\Delta m),\ I_{yy}=I_0(1+\Delta I_{yy}),\ S=S_0(1+\Delta S)$$
$$\bar{c}=\bar{c}_0(1+\Delta\bar{c}),\ \rho=\rho_0(1+\Delta\rho),\ \bar{q}=\bar{q}_0(1+\Delta\bar{q})$$

为利用反演控制方法，将动力学模型方程(1)推导成面向控制的严格反馈形式[17]，如式(4)~(8)所示：

$$\dot{V}=F_V+G_V\Phi+\Delta f_V\tag{4}$$
$$\dot{h}=V\sin\gamma\tag{5}$$
$$\dot{\gamma}=F_\gamma+G_\gamma\alpha+\Delta f_\gamma\tag{6}$$
$$\dot{\alpha}=F_\alpha+G_\alpha q+\Delta f_\alpha\tag{7}$$
$$\dot{q}=F_q+G_q\delta_e+\Delta f_q\tag{8}$$

式中，

$$\begin{aligned}&F_V=(\bar{q}SC_T(\alpha)\cdot\cos\alpha-\bar{q}SC_{D,1})/m-g\sin\gamma\\ &C_{D,1}=C_D^{\alpha^2}\alpha^2+C_D^{\alpha}\alpha+C_D^0\\ &G_V=\bar{q}SC_{T,\Phi}(\alpha)\cdot\cos\alpha/m\\ &F_\gamma=(\bar{q}SC_L^0+\bar{q}S(C_T^{\Phi}\Phi+C_T^0)-mg\cos\gamma)/(mV)\\ &G_\gamma=(\bar{q}SC_L^{\alpha}+\bar{q}S(C_T^{\Phi\alpha}\Phi+C_T^1)\cdot\sin\alpha)/(mV)\\ &F_\alpha=-(\bar{q}S(C_L^{\alpha}\alpha+C_L^0)+\bar{q}S(C_{T,\Phi}(\alpha)+\\ &\qquad C_T(\alpha)))/(mV)+g\cos\gamma/V\\ &G_\alpha=1\\ &F_Q=(z_T T_1+\bar{q}\bar{c}S(C_M^{\alpha^2}\alpha^2+C_M^{\alpha}\alpha+C_M^0))/I_{yy}\\ &G_Q=\bar{q}\bar{c}SC_M^{\delta_e}/I_{yy}\end{aligned}$$

考虑执行器失效故障：

$$\Delta E_i^f=1-E_i^f\ (i=1,2)\tag{9}$$

式中，E_i^f 为飞行器的控制输入 Φ 和 δ_e 这 2 个执行器通道中发生的未知控制效益损失故障，且 E_i^f 满足 $0\le E_i^f\le 1\ (i=1,2)$。

考虑故障形式如式(9)所示，飞行器动力学模型方程可重新写为：

$$\dot{V}=F_V+G_V\Phi-\Delta E_1^f(t)G_V\Phi+\Delta f_V\tag{10}$$
$$\dot{h}=V\sin\gamma\tag{11}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\dot{\gamma} = F_\gamma + G_\gamma \alpha + \Delta f_\gamma \tag{12}$$

$$\dot{\alpha} = F_\alpha + G_\alpha q + \Delta f_\alpha \tag{13}$$

$$\dot{q} = F_q + G_q \delta_e - \Delta E_2^f(t) G_q \delta_e + \Delta f_q \tag{14}$$

式(10)~(14)中，$\Delta f_V, \Delta f_\gamma, \Delta f_\alpha, \Delta f_q$ 为总不确定项，包含了气动参数不确定、弹性形变的影响、各控制输入之间的耦合项以及应用反步法而出现的虚拟控制的导数。

其中，$\Delta E_i^f(\mathrm{t}) = 1 - E_i^f, i = 1,2$。考虑到执行机构部分的失效故障，即 $0 < E_i^f \le 1$，我们设 $\mathrm{E}_{i,\min}^f = \min\{E_i^f, i = 1,2\}$，有 $1 - \mathrm{E}_{i,\min}^f < 1$，现定义 $\eta_V = 1 - \mathrm{E}_{1,\min}^f, \eta_h = 1 - \mathrm{E}_{2,\min}^f$，设计控制输入燃油当量比 Φ 与升降舵偏转角 δ_e 时必须准确获得 η_V, η_h 的值，即执行机构失效故障 E_i^f 的最小值 $\mathrm{E}_{i,\min}^f$ 必须已知，而在实际的高超声速飞行中，难以准确获得，为了解决此问题，受文献[18]启发，文章采用自适应方法来估计 η_V, η_h 的值，定义 $\theta_V = 1/(1-\eta_V)$，$\theta_h = 1/(1-\eta_h)$，显然 $\eta_V < 1, \eta_h < 1$。

通过设计自适应滑模鲁棒项可以对不确定的未知上界做出估计，以避免参数不确定对系统带来的影响。为此可做出假设：

假设 1 存在未知且有界的正常数 $T_V, \lambda_\gamma, \lambda_\alpha, \lambda_q$ 使得不确定项 $\Delta f_V, \Delta f_\gamma, \Delta f_\alpha, \Delta f_q$ 满足下列不等式：

$$|\Delta f_V| \le T_V, |\Delta f_\lambda| \le \lambda_\gamma, |\Delta f_\alpha - \dot{\alpha}_d| \le \lambda_\alpha, |\Delta f_q - \dot{q}_d| \le \lambda_q$$

至此，本文的控制目标可以描述为在执行器失效与不确定的条件下，通过设计控制输入 $u = [\Phi, \delta_e]^{\mathrm{T}}$，稳定跟踪飞行参考指令 $y_{ref} = [V_{ref}, h_{ref}]^{\mathrm{T}}$。

3 自适应滑模容错控制器设计

3.1 速度子系统设计

速度子系统由式(10)所示的一阶系统决定，因此采用动态逆的方法对控制器进行求解。定义速度跟踪误差 $\tilde{V} = V - V_{ref}$。针对执行器失效故障式(9)与速度子系统式(10)，在假设 1 成立的条件下，设计滑模容错控制器：

$$\Phi = \frac{1}{G_V}\left(-F_V - k_V \tilde{V} + \dot{V}_{ref} - \gamma_V(t)\frac{\tilde{V}}{|\tilde{V}|} - \hat{T}_V \frac{\tilde{V}}{|\tilde{V}|}\right) \tag{15}$$

及自适应律：

$$\begin{cases} \gamma_V(t) = -\varphi_V + \hat{\theta}_V \varphi_V \\ \dot{\hat{T}}_V = c_{1V}|\tilde{V}| \\ \dot{\hat{\theta}}_V = c_{2V}\varphi_V |\tilde{V}| \end{cases} \tag{16}$$

式(15)和(16)中，$\hat{T}_V$ 为 T_V 的估计值；$\varphi_V = \left|-F_V - k_V\tilde{V} + \dot{V}_{ref}\right| + \hat{T}_V + \varepsilon_0$；$\varepsilon_0$，$c_{1V}$，$c_{2V}$ 都是正的常数控制量。

选取 Lyapunov 函数为

$$Y_V = \frac{1}{2}\tilde{V}^2 + \frac{1}{2c_{1V}}\tilde{T}_V^{\,2} + \frac{1-\eta_V}{2c_{2V}}\tilde{\theta}_V^{\,2} \tag{17}$$

式中，$\tilde{T}_V = T_V - \hat{T}_V$，$\tilde{\theta}_V = \theta_V - \hat{\theta}_V$。将式(17)两边同时对时间求导得：

$$\dot{Y}_V = \tilde{V}\dot{\tilde{V}} - \frac{1}{c_{1V}}\tilde{T}_V\dot{\hat{T}}_V - \frac{1-\eta_V}{c_{2V}}\tilde{\theta}_V\dot{\hat{\theta}}_V$$

利用二阶鲁棒项处理不确定项并展开：

$$\begin{aligned} \dot{Y}_V \le\ & \tilde{V}(-k_V\tilde{V} - \gamma_V(t)\frac{\tilde{V}}{|\tilde{V}|} - \\ & \Delta E_1^f(t) G_V \Phi) - \frac{1-\eta_V}{c_{2V}}\tilde{\theta}_V\dot{\hat{\theta}}_V = - \\ & k_V\tilde{V}^2 - |\tilde{V}|\Delta E_1^f(t) G_V \Phi + \\ & (\varphi_V - \hat{\theta}_V\varphi_V)|\tilde{V}| - \frac{1-\eta_V}{c_{2V}}\tilde{\theta}_V\dot{\hat{\theta}}_V \end{aligned}$$

展开并化简：

$$\begin{aligned} \dot{Y}_V \le & -k_V\tilde{V}^2 + (1-\hat{\theta}_V)\varphi_V|\tilde{V}| - \frac{1-\eta_V}{c_{2V}}\tilde{\theta}_V\dot{\hat{\theta}}_V + \\ & \eta_V|\tilde{V}|(|-f_V - k_V\tilde{V} + \dot{V}_{ref}| + \gamma_V(t) + \hat{T}_V) = - \\ & k_V\tilde{V}^2 - \varepsilon_0\eta_V|\tilde{V}| + \\ & [1-(1-\eta_V)\hat{\theta}_V]\varphi_V|\tilde{V}| - \frac{1-\eta_V}{c_{2V}}\tilde{\theta}_V\dot{\hat{\theta}}_V \end{aligned}$$

利用二阶鲁棒项处理失效故障并化简：

$$\begin{aligned} \dot{Y}_V \le & -k_V\tilde{V}^2 - \varepsilon_0\eta_V|\tilde{V}| + [1-(1-\eta_V)\theta_V]\varphi_V|\tilde{V}| = - \\ & k_V\tilde{V}^2 - \varepsilon_0\eta_V|\tilde{V}| \end{aligned}$$

3.2 高度子系统设计

高度子系统由式(11)~(14)所示的四阶系统决定，基于反演设计思想[17]，δ_e 为实际控制量，定义 α_d, q_d 为虚拟控制输入。

定义高度跟踪误差 $\tilde{h} = h - h_{ref}$。则高度跟踪误差动态：

$$\dot{\tilde{h}} = V\sin\gamma - \dot{h}_{ref} \tag{18}$$

定义高度子系统的虚拟参考指令为

$$\gamma_d = [-k_h\tilde{h} + \dot{h}_{ref}]/V \tag{19}$$

式中，$k_h > 0$ 为控制器增益。

当航迹角较小时，假设 $\sin\gamma \approx \gamma$，式(18)可改写成：

$$\dot{\tilde{h}} = -k_h\tilde{h} \tag{20}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

定义跟踪误差：

$$\begin{cases}\tilde{\gamma}=\gamma-\gamma_d\\ \tilde{\alpha}=\alpha-\alpha_d\\ \tilde{q}=q-q_d\end{cases} \tag{21}$$

针对执行器失效故障式(9)与高度子系统式(11)~(14),在假设 1 成立的条件下，设计虚拟控制输入与滑模容错控制器：

$$\begin{cases}\alpha_d=\dfrac{1}{G_\gamma}[-k_\gamma\tilde{\gamma}-F_\gamma+\dot{\gamma}_{cmd}-\dfrac{\hat{\lambda}_\gamma c_\gamma\tilde{\gamma}}{|\tilde{\gamma}|+\varepsilon_\gamma}]\\ q_d=\dfrac{1}{G_\alpha}[-k_\alpha\tilde{\alpha}-F_\alpha-G_\gamma\tilde{\gamma}-\dfrac{\hat{\lambda}_\alpha c_\alpha\tilde{\alpha}}{|\tilde{\alpha}|+\varepsilon_\alpha}]\\ \delta_e=\dfrac{1}{G_q}[-k_q\tilde{q}-F_q-G_\alpha\tilde{\alpha}-\dfrac{\hat{\lambda}_q c_q\tilde{q}}{|\tilde{q}|+\varepsilon_q}-\hat{\Gamma}\dfrac{c_h\tilde{q}}{|\tilde{q}|}]\end{cases} \tag{22}$$

及自适应律：

$$\begin{cases}\dot{\hat{\lambda}}_\gamma=\dfrac{a_\gamma c_\gamma\tilde{\gamma}^2}{|\tilde{\gamma}|+\varepsilon_\gamma}\\ \dot{\hat{\lambda}}_\alpha=\dfrac{a_\alpha c_\alpha\tilde{\alpha}^2}{|\tilde{\alpha}|+\varepsilon_\alpha}\\ \dot{\hat{\lambda}}_q=\dfrac{a_q c_q\tilde{q}^2}{|\tilde{q}|+\varepsilon_q}\\ \dot{\hat{\theta}}_h=a_q c_h\varphi_h|\tilde{q}|\end{cases} \tag{23}$$

其中，$\hat{\Gamma}=-\varphi_h+\hat{\theta}_h\varphi_h$ (24)

$$\varphi_h=|k_q\tilde{q}+F_q+G_\alpha\tilde{\alpha}|+\hat{\lambda}_q-\varepsilon \tag{25}$$

$$\theta_h=1/(1-\eta_h) \tag{26}$$

式中，$\hat{\theta}_h$ 为 θ_h 的估计值；c_h,ε 为正的控制常数。

定义自适应律估计误差为：

$\tilde{\theta}_h=\theta_h-\hat{\theta}_h$，$\tilde{\lambda}_\gamma=\hat{\lambda}_\gamma-\lambda_\gamma$，$i=\gamma,\alpha,q$

选取 Lyapunov 函数为

$$Y_h=\frac{1}{2}\tilde{h}^2 \tag{27}$$

式(27)关于时间的导数为：

$$\dot{Y}_h=-k_h\tilde{h}^2$$

选取 Lyapunov 函数：

$$Y_\gamma=\frac{1}{2}\tilde{\gamma}^2+\frac{1}{2a_\gamma}\tilde{\lambda}_\gamma^{\,2} \tag{28}$$

式(28)关于时间的导数为：

$$\dot{Y}_\gamma=\tilde{\gamma}(F_\gamma+G_\gamma\alpha+\Delta f_\gamma-\dot{\gamma}_{cmd})+\frac{1}{a_\gamma}\tilde{\lambda}_\gamma\dot{\tilde{\lambda}}_\gamma=-$$

$$k_\gamma\tilde{\gamma}^2+\frac{\tilde{\lambda}_\gamma c_\gamma\tilde{\gamma}^2}{|\tilde{\gamma}|+\varepsilon_\gamma}-\frac{\hat{\lambda}_\gamma c_\gamma\tilde{\gamma}^2}{|\tilde{\gamma}|+\varepsilon_\gamma}+\Delta f_\gamma\tilde{\gamma}+G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}\le- \tag{29}$$

$$k_\gamma\tilde{\gamma}^2+|\tilde{\gamma}|\lambda_\gamma-\frac{\lambda_\gamma c_\gamma\tilde{\gamma}^2}{|\tilde{\gamma}|+\varepsilon_\gamma}+G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}$$

只要 $|\tilde{\gamma}|\ge\dfrac{\varepsilon_\gamma}{c_\gamma-1}$，则式(29)满足以下不等式：

$$\dot{Y}_\gamma\le-k_\gamma\tilde{\gamma}^2+G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha} \tag{30}$$

构造 Lyapunov 函数：

$$Y_\alpha=\frac{1}{2}\tilde{\alpha}^2+\frac{1}{2a_\alpha}\tilde{\lambda}_\alpha^{\,2} \tag{31}$$

式(31)关于时间的导数为：

$$\dot{Y}_\alpha=\tilde{\alpha}(F_\alpha+G_\alpha q+\Delta f_\alpha-\dot{\alpha}_d)+\frac{1}{a_\alpha}\tilde{\lambda}_\alpha\dot{\tilde{\lambda}}_\alpha=-$$

$$k_\alpha\tilde{\alpha}^2+\frac{\tilde{\lambda}_\alpha c_\alpha\tilde{\alpha}}{|\tilde{\alpha}|+\varepsilon_\alpha}-\frac{\hat{\lambda}_\alpha c_\alpha\tilde{\alpha}}{|\tilde{\alpha}|+\varepsilon_\alpha}+\Delta f_\alpha\tilde{\alpha}-\tilde{\alpha}\dot{\alpha}_d-$$

$$G_\alpha\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}+G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}\le- \tag{32}$$

$$k_\alpha\tilde{\alpha}^2+|\tilde{\alpha}|\lambda_\alpha-\frac{\lambda_\alpha c_\alpha\tilde{\alpha}}{|\tilde{\alpha}|+\varepsilon_\alpha}-G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}+G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}$$

只要 $\ge\dfrac{\varepsilon_\alpha}{c_\alpha-1}$，则式(32)满足以下不等式：

$$\dot{Y}_\alpha\le-k_\alpha\tilde{\alpha}^2-G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}+G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q} \tag{33}$$

构造 Lyapunov 函数：

$$Y_q=\frac{1}{2}\tilde{q}^2+\frac{1}{2a_q}\tilde{\lambda}_q^{\,2}+\frac{1-\eta_h}{2a_q}\tilde{\theta}_h^{\,2} \tag{34}$$

式(34)关于时间的导数为：

$$\dot{Y}_q=\tilde{q}(F_q+G_q\delta_e-G_q\Delta E_2(t)\delta_e+\Delta f_q-\dot{q}_d)+$$

$$\frac{1}{a_q}\tilde{\lambda}_q\dot{\tilde{\lambda}}_q-\frac{1-\eta_h}{a_q}\tilde{\theta}_h\dot{\tilde{\theta}}_h\le$$

$$\tilde{q}(-G_q\Delta E_2(t)\delta_e-G_\alpha\tilde{\alpha}-k_q\tilde{q}-\hat{\Gamma}\frac{c_h\tilde{q}}{|\tilde{q}|})-\frac{1-\eta_h}{a_q}\tilde{\theta}_h\dot{\tilde{\theta}}_h\le-$$

$$k_q\tilde{q}^2-G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}+(1-\hat{\theta}_h)\varphi_h\frac{c_h\tilde{q}^2}{|\tilde{q}|}-\frac{1-\eta_h}{a_q}\tilde{\theta}_h\dot{\tilde{\theta}}_h+$$

$$|\tilde{q}|\eta_h(k_q\tilde{q}+F_q+G_\alpha\tilde{\alpha}+\frac{\hat{\lambda}_q c_q\tilde{q}}{|\tilde{q}|+\varepsilon_q}+(-\varphi_h+\hat{\theta}_h\varphi_h)\frac{c_h\tilde{q}}{|\tilde{q}|})$$

展开并化简

$$\begin{aligned}\dot{Y}_q\le&-k_q\tilde{q}^2-G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}+\hat{\lambda}_q|\tilde{q}|\eta_h(c_q-c_h)+\\&|k_q\tilde{q}+F_q+G_\alpha\tilde{\alpha}||\tilde{q}|\eta_h(1-c_h)-|\tilde{q}|\eta_h\varepsilon c_h+\\&\varphi_h c_h|\tilde{q}|(1-\hat{\theta}_h+\eta_h\hat{\theta}_h)-\tilde{\theta}_h\varphi_h c_h|\tilde{q}|(1-\eta_h)\le-\\&k_q\tilde{q}^2-G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}+\hat{\lambda}_q|\tilde{q}|\eta_h(c_q-c_h)+\\&|k_q\tilde{q}+F_q+G_\alpha\tilde{\alpha}||\tilde{q}|\eta_h(1-c_h)-|\tilde{q}|\eta_h\varepsilon c_h+\\&\varphi_h c_h|\tilde{q}|[1-(\hat{\theta}_h+\tilde{\theta}_h)(1-\eta_h)]\le-\\&k_q\tilde{q}^2-G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}+\hat{\lambda}_q|\tilde{q}|\eta_h(c_q-c_h)+\\&|k_q\tilde{q}+F_q+G_\alpha\tilde{\alpha}||\tilde{q}|\eta_h(1-c_h)-|\tilde{q}|\eta_h\varepsilon c_h\end{aligned} \tag{35}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

令 $c_q \le c_h, c_h \ge 1$，则式(35)满足以下不等式：

$$\dot{Y}_q \le -k_q\tilde{q}^2 - G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q} - |\tilde{q}|\eta_h\varepsilon c_h \tag{36}$$

基于上述推导过程，可得定理 1 为：

定理 1 针对执行器失效故障式(9)与速度子系统式(10)，高度子系统式(11)~(14)，在假设 1 成立的条件下，设计滑模容错控制器(15)、虚拟控制输入与滑模容错控制器(22)，及自适应律(16)、(23)。则速度子系统与高度子系统是稳定的，稳定跟踪飞行参考指令 $y_{ref} = [V_{ref}, h_{ref}]^{\mathrm{T}}$。

证明 选取系统整体 Lyapunov 函数为：

$$Y = Y_V + Y_h + Y_\gamma + Y_\alpha + Y_q \tag{37}$$

求导得：

$$\dot{Y} = \dot{Y}_V + \dot{Y}_h + \dot{Y}_\gamma + \dot{Y}_\alpha + \dot{Y}_q \le$$

$$(-k_V\tilde{V}^2 - \varepsilon_0\eta_V|\tilde{V}|) - k_h\tilde{h}^2 + (-k_\gamma\tilde{\gamma}^2 + G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha}) +$$

$$(-k_\alpha\tilde{\alpha}^2 - G_\gamma\tilde{\gamma}\tilde{\alpha} + G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q}) + (-k_q\tilde{q}^2 - G_\alpha\tilde{\alpha}\tilde{q} -$$

$$|\tilde{q}|\eta_h\varepsilon c_h) \le -k_V\tilde{V}^2 - k_h\tilde{h}^2 - k_\gamma\tilde{\gamma}^2 - k_\alpha\tilde{\alpha}^2 - k_q\tilde{q}^2 \le 0$$

由文献[18]可知：

当 $t \to \infty$ 时，有 $|\tilde{V}| \to 0$，$|\tilde{h}| \to 0$，$|\tilde{\gamma}| \to 0$，$|\tilde{\alpha}| \to 0$，$|\tilde{q}| \to 0$。

即在执行器发生故障情况下，论文所设计的自适应滑模容错控制律可以保证系统渐进稳定。

4 仿真实验及结果

在 Matlab/Simulink 环境中，针对高超声速飞行器的巡航段执行器失效故障，考虑速度和高度的跟踪问题。飞行器输出参考指令为 $V_{ref} = 100$ ft/s，$h_{ref} = 2\ 000$ ft 通过二阶滤波产生的信号，其中，滤波器的 ω_n 为 0.03 rad/s，阻尼比 $\xi = 0.9$。

为验证控制器的鲁棒性，在仿真模型中加入参数的不确定：

$$|\Delta m| \le 0.03,\ |\Delta I| \le 0.02,\ |\Delta S| \le 0.01,$$
$$|\Delta\bar{c}| \le 0.01, |\Delta\rho| \le 0.06, |\Delta\bar{q}| \le 0.03$$

在实际仿真过程中 Δm，ΔI 取最小的下界，ΔS，$\Delta\bar{c}$，$\Delta\rho$，$\Delta\bar{q}$ 取最大的上界。考虑执行器常值失效故障，假定失效故障形式为：

$$E_i^f = 0.7, (i = 1, 2) \tag{38}$$

可得 $\eta_j = 1 - 0.7 = 0.3, j = V, h$。

设定仿真时间为 300 s，进行到 200 s 时故障发生。验证自适应滑模控制器对控制增益失效故障的容错控制能力。

输出参考指令跟踪曲线，如图 1 所示。

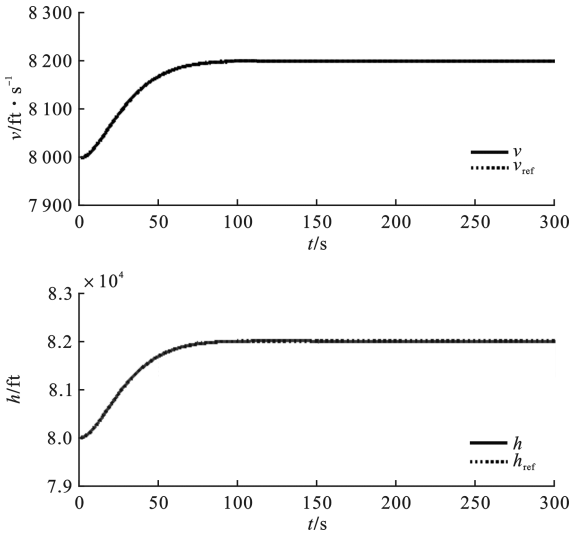


图 1 输出参考指令跟踪曲线

Fig.1 The curves of output reference commands

由图 1 可见，控制器对于给定信号跟踪效果良好。当飞行器发生控制增益损失故障时，巡航段速度 V 和高度 h 并没有太大的变化，执行机构失效故障对系统的动态性能影响有限，在一定时间内达到了跟踪参考指令的目标。

控制输入曲线，如图 2 所示。

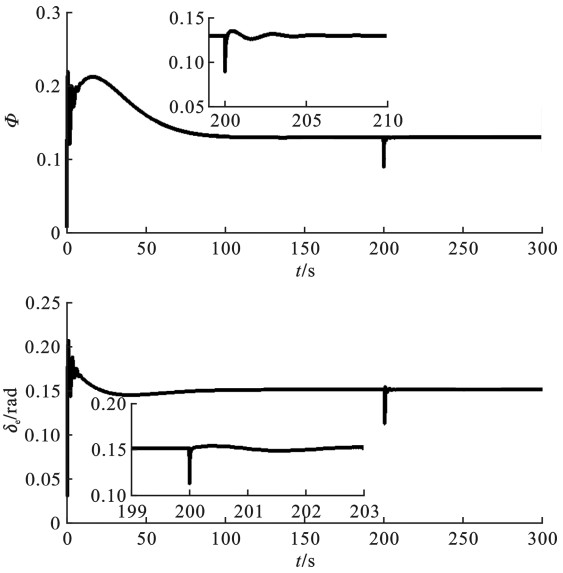


图 2 控制输入曲线

Fig.2 The curves of control inputs

当仿真进行到 200 s 时，由图 2 可以看出，执行器失效故障发生，容错控制器能快速做出反应，自动调整控制增益，以实现对故障影响的有效处理。

为进一步显示执行器故障对跟踪状态的影响，伴随故障的发生，跟踪误差动态曲线发生动态变化，跟踪误差稳定在一定范围内，达到容错控制目的。正是由于自适应滑模鲁棒项的加入，使控制器产生了这种既稳定又能自动调整的控制输出，能够保证

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

及时处理故障，将执行器失效故障对系统动态性能的影响降低，保证了飞行器对参考指令的稳定跟踪，误差跟踪曲线，如图 3 所示。

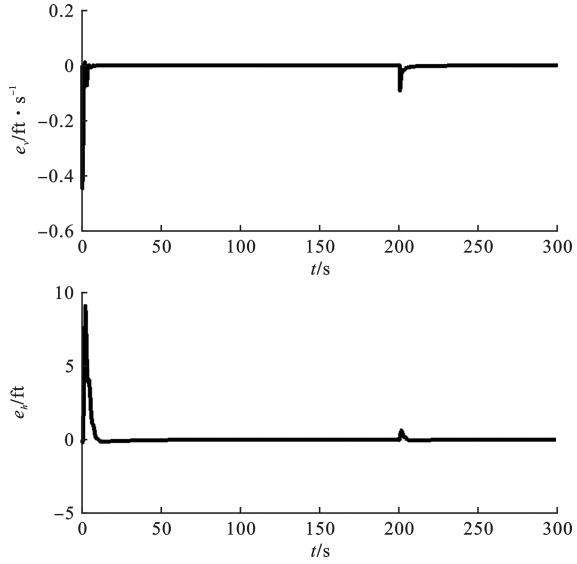


图 3 误差跟踪曲线
Fig.3 The curve of error

控制效益损失程度发生自适应参数动态变化曲线，如图 4 所示。

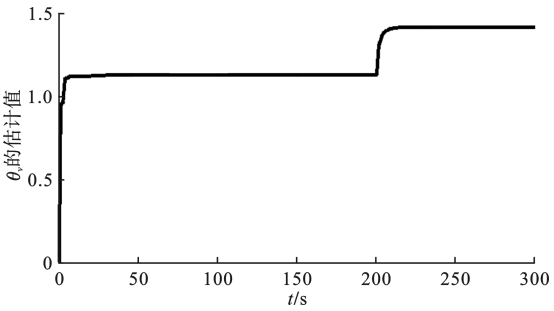


图 4 常值失效故障条件下参数估计值变化曲线
Fig.4 The curve of parameter estimated value in constant loss of effectiveness in the actuators

由仿真结果可得，自适应参数 $\hat{\theta}_v$ 的稳态值约为 $\hat{\theta}_v \approx 1.43$，则 $\theta_v = 1/(1-\eta_v)$，可解出 $\eta_v \approx 0.3$，即在误差允许范围内，实现了对失效故障因子的估计。

高超声速飞行器巡航段高度子系统状态量的曲线变化，如图 5 所示。

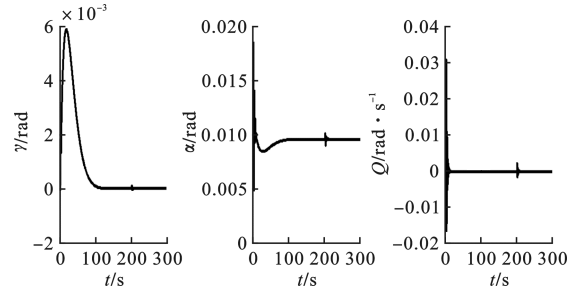


图 5 航迹角、攻角、俯仰角速率曲线
Fig.5 The curves of flight path angle, angle of attack, and pitch rate

弹性状态量的曲线变化，如图 6 所示。

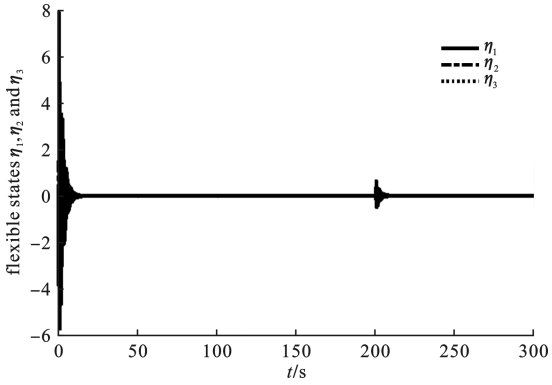


图 6 弹性状态曲线
Fig.6 The curve of flexible state

由仿真图像可以得出，当仿真运行到 200 s 时，执行机构失效故障发生。自适应滑模控制项的加入使得控制器能够对执行器失效故障进行快速且有效的处理，使得在高度子系统动态方程中各飞行状态量能够在短时间内趋于稳定值。

通过上述仿真实验结果及其分析可以看出，当高超声速飞行器发生执行器失效故障时，所设计的自适应滑模容错控制器能够快速、有效地处理故障对系统带来的影响，保证了参考信号的跟踪性能。

5 结　论

论文以弹性高超声速飞行器为研究对象，针对气动参数不确定以及执行机构失效故障问题，进行了自适应滑模容错控制方法的研究。结合参数不确定特点，建立故障模型，结合反步法与自适应滑模控制对未知上界进行估计，并很好的解决了传统反步法“微分爆炸”的问题。利用 Lyapunov 稳定性理论证明了系统的稳定性，通过仿真验证了自适应容错控制策略能够有效处理执行器控制效益损失故障，有较好的鲁棒性和容错能力。

参考文献(References)

[1] Gao Z F, Jiang B, Shi P. Passive Fault-Tolerant Control Design for Near-Space Hypersonic Vehicle Dynamical System[J]. Circuits System Signal Process,2012, 31(2): 565-581.

[2] Qi R Y, Huang Y H, Jiang B. Adaptive Back-Stepping Control for a Hypersonic Vehicle with Uncertain Parameters and Actuator Faults[J]. Proc IMechE, Part I: J Systems and Control Engineering, 2013, 227(I1): 51-61.

[3] Li S H, Sun H B, Sun C Y. Robust Adaptive Integral Sliding Mode Fault-Tolerant Control for Airbreathing Hypersonic Vehicles[J]. Proc IMechE, Part I: J Systems and Control Engineering, 2012, 226(10): 1344-1355.

[4] Li S H, Sun H B, Sun C Y. Adaptive Fault-Tolerant Controller Design for Airbreathing Hypersonic Vehicle with Input Saturation[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics,2013,24(3):488-499.

[5] Li, H Y, Cheng Y M, Si Y L,et al. Reference Tracking Control for Flexible Air-Breathing Hypersonic Vehicle with Actuator Delay and

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Uncertainty[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2011, 22(1): 141-145.

[6] Johnson E N, Calise A J, Curry M D, et al. Adaptive Guidance and Control for Autonomous Hypersonic Vehicles[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2006, 29(3):725-737.

[7] Reiman S E, Dillon C H, Lee H P, et al. Adaptive Reconfigurable Dynamic Inversion Control for a Hypersonic Cruise Vehicle[C]. AIAA Guidance, Navigation and Control conference and exhibit, Honolulu, Hawaii, 2008: AIAA 2008-7466.

[8] Reiman S E, Dillon C H, Lee H P, et al. Robust Adaptive Reconfigurable Control for a Hypersonic Cruise Vehicle[C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Chicago, Illinois, 2009: AIAA 2009-6185.

[9] Vogel J, Kelkar A, Whitmer C, et al. Hypersonic Vehicle Control Augmentation and Health Monitoring Using Fads Technology[C]. AIAA/DLR/DGLR International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Bremen, Germany, 2009: AIAA 2009-7383.

[10] Wu F, Cai X J. Switching Fault-Tolerant Control of a Flexible Air-Breathing Hypersonic Vehicle[J]. Proceedings of The Institution Of Mechanical Engineers Part I-Journal of Systems and Control Engineering, 2013, 227 (I1): 24-38.

[11] Gao Z F, Jiang B. and Qi R Y. Robust Reliable Control for a Near Space Vehicle with Parametric Uncertainties and Actuator Faults[J]. International Journal of Systems Science, 2011, 42(12): 2113-2124.

[12] Gao Z F, Jiang B. Active Fault Tolerant Control Design for Reusable Launch Vehicle Using Adaptive Sliding Mode Technique[J]. Journal of the Franklin Institute, 2012, 349(4): 1543-1560.

[13] Gao Z F, Jiang B. Active Fault Tolerant Control Design for Near-Space Vehicle Attitude Dynamic with Actuator Faults[J]. Proc IMechE, Part I: J Systems and Control Engineering, 2012, 225(3): 413-422.

[14] 许域菲, 姜斌, 齐瑞云,等. 基于模糊 T-S 自适应观测器的近空间飞行器故障诊断与容错控制[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2009, 39(S1):189-194.
Xu Y F, Jiang B, Qi R Y, et al. T-S Fussy Adaptive Observer Based Fault Diagnosis and Fault Tolerant Control for Near Space Vehicle[J]. Journal of South East University (Natural Science Edition), 2009, 39(S1): 189-194.

[15] Bolender M A , Doman D B. Nonlinear Longitudinal Dynamical Model of an Air-Breathing Hypersonic Vehicle[J]. Journal of Spacecraft Rockets, 2007, 44(2): 374 -387.

[16] Fiorentini L, Serrani A, Bolender M A, et al. Nonlinear Robust Adaptive Control of Flexible Air-Breathing Hypersonic Vehicles[J]. Journal of Guidance Control & Dynamics, 2009, 32(2):402-417.

[17] Zong Q, Wang F, Tian B, et al. Robust Adaptive Approximate Backstepping Control Design for a Flexible Air-Breathing Hypersonic Vehicle[J]. Journal of Aerospace Engineering, 2015, 28(4):04014107.

[18] 肖冰, 胡庆雷, 马广富. 航天器执行机构部分失效故障的鲁棒容错控制[J]. 控制与决策, 2011, 26(6): 801-805.
Xiao B, Hu Q L, Ma G F. Robust Fault Tolerant Attitude Control for Spacecraft Under Partial Loss of Actuator Effectiveness[J]. Control and Decision, 2011, 26(6): 801-805.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI：10.3969/j. issn. 1001-3881. 2024. 01. 015
文献引用：李建国,徐国胜.高接触比螺旋锥齿面修形方法及动态特性研究[J].机床与液压,2024,52(1):98-104.
Cite as:LI Jianguo,XU Guosheng.Study on modification method and dynamic characteristics of spiral bevel gear surface with high contact ratio[J].Machine Tool & Hydraulics,2024,52(1):98-104.

高接触比螺旋锥齿面修形方法及动态特性研究

李建国[1]，徐国胜[2]
（1. 天津职业大学机械工程实训中心，天津 300410；
2. 天津职业技术师范大学工程实训中心，天津 300222）

摘要：为抑制高接触比螺旋锥齿轮传动的振动，提出一种新的高阶齿面修形方法。根据高接触比螺旋锥齿轮的啮合特点，提出一种新的修形曲线，采用辅助齿面修形方法生成高阶修形螺旋锥齿轮。在考虑齿变形的情况下，计算了高阶修正弧齿锥齿轮传动的载荷传递误差和啮合冲击，在此基础上建立了降低高接触比螺旋锥齿轮传动的载荷传递误差和啮合冲击的优化模型。仿真结果表明：与二阶修形弧齿锥齿轮相比，高阶齿面修形方法不仅可以有效降低高接触比螺旋锥齿的载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数，而且可以提高其在全速范围内的动态性能。

关键词：高接触比；螺旋锥齿轮；高阶齿面修形；载荷传递误差
中图分类号：TH132. 421

Study on Modification Method and Dynamic Characteristics of Spiral Bevel Gear Surface with High Contact Ratio

LI Jianguo[1],XU Guosheng[2]
(1. Mechanical Engineering Training Center of Tianjin Vocational University,Tianjin 300410,China;
2. Engineering Training Center of Tianjin Vocational and Technical Normal University,Tianjin 300222,China)

Abstract:In order to suppress the vibration of spiral bevel gear transmission with high contact ratio,a new high-order tooth surface modification method was proposed.According to the meshing characteristics of spiral bevel gears with high contact ratio,a new modification curve was proposed,and the high-order modified spiral bevel gears were generated by using the auxiliary tooth surface modification method.Considering the tooth deformation,the load transfer error and meshing impact of high-order modified spiral bevel gear transmission were calculated.On this basis,an optimization model for reducing the load transfer error and meshing impact of high contact ratio spiral bevel gear transmission was established.The simulation results show that compared with the second-order modified spiral bevel gear,the high-order tooth surface modification method can not only effectively reduce the load transmission error,meshing impact and dynamic load factor of the spiral bevel gear with high contact ratio,but also improve its dynamic performance in the full speed range.

Keywords:high contact ratio;spiral bevel gear;high-order tooth surface modification;load transfer error

0 前言

螺旋锥齿轮以其传动效率高、承载能力强、结构紧凑、传动平稳、噪声低等优点，已成为机械传动系统中不可或缺的关键部件。由于螺旋锥齿轮传动的运行振动随着机械传动系统功率的增大而增大，对高接触比螺旋锥齿轮进行齿面修形和动态分析，以减小其运行振动，对提高机械动力系统的设计水平具有重要意义[1-2]。

学者们针对降低螺旋锥齿轮副的振动特性开展了大量研究。王星等人[3]基于局部综合方法，对准双曲面齿轮传动的加工参数进行了设计，以提高齿轮传动的动态特性为目标，提出了加工参数优化的遗传算法，降低了齿轮副的载荷传递误差。张卫青等[4]建立了螺旋锥齿轮的共轭齿面，根据螺旋锥齿轮的齿形设计，提出了曲面设计的插值算法，通过实例及齿轮接触分析对该方法进行了验证，表明螺旋锥齿轮具有良好的传动特性。余佳豪等[5]通过有限元仿真研究了单齿面磨损和全齿磨损情况螺旋锥齿轮传动的动态响应，结果表明单齿磨损与锥齿轮动态传动误差呈现正弦关系，而全齿磨损则与锥齿轮传动动态误差呈线性

收稿日期：2022-09-01
基金项目：教育部第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目（ZH2021020201）
作者简介：李建国（1973—），男，学士，教授，主要研究方向为机械制造加工工艺。E-mail：cantong86@ 126. com。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关系。严宏志等[6]通过有限元分析方法研究了螺旋锥齿轮副在不同载荷下的振动响应特性，结果表明载荷与振动加速度幅值呈近似反比关系，该研究成果为螺旋锥齿轮的优化设计提供了有效的理论支撑。张卫青等[7]针对螺旋锥齿轮的修形，通过有限元模型研究了不同修形量与传动性能的关系，建立了基于高阶切齿运动的修形优化算法，仿真和实验结果表明该方法能有效提高螺旋锥齿轮的传动特性。耿龙龙等[8]建立了螺旋锥齿轮螺旋加工的数学模型，对齿面进行了点离散，在此基础上研究了修形加工参数对齿面偏差的影响以及动力学特性，通过仿真表明所提模型的合理性。

上述研究为改善高接触比螺旋锥齿轮的动态特性提供了参考。本文作者在前述研究成果的基础上，提出一种降低载荷传递误差和啮合冲击的齿面修形方法。采用辅助齿面修形（Auxiliary Tooth Surface Modification，ATSM）方法生成高阶修形螺旋锥齿轮，建立了降低高接触比螺旋锥齿轮传动的载荷传递误差和啮合冲击的优化模型。通过比较二阶和高阶修形螺旋锥齿轮传动的载荷传递误差和啮合冲击，验证了所提方法的有效性。仿真结果表明：该方法可以降低高接触比螺旋锥齿轮传动的载荷传递误差和啮合冲击，并能显著提高高接触比齿轮副在全速范围内的动态特性。

1　基于 Ease-off 的高阶目标曲面模型

根据高接触比齿轮的啮合特性[9]，建立了如图 1 所示的高阶传输误差曲线，其上有 7 个啮合控制点：点 A 和点 G 分别为啮合齿接触或脱离接触的位置，点 D 是参考点，$\varphi_{1i}(i = A,B,\cdots,G)$为齿轮在啮合点处的转动角度，对应的 TE 为 $\delta_i(i = A,B,\cdots,G)$，$\lambda_j(j = 1,2,3,4)$用于控制啮合点的位置。

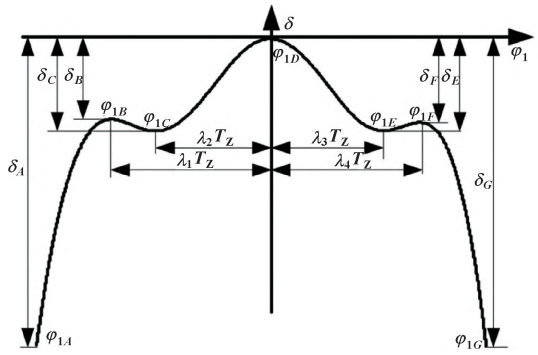


图 1　高阶传输误差曲线

Fig. 1　Higher-order transmission error curve

假设控制点的小齿轮旋转角度为

$$\begin{cases}\varphi_{1A} = \varphi_{1D} - C_R T_Z/2\\ \varphi_{1B} = \varphi_{1D} - \lambda_1 T_Z\\ \varphi_{1C} = \varphi_{1D} - \lambda_2 T_Z\\ \varphi_{1E} = \varphi_{1D} + \lambda_3 T_Z\\ \varphi_{1F} = \varphi_{1D} + \lambda_4 T_Z\\ \varphi_{1G} = \varphi_{1D} + C_R T_Z/2\end{cases} \tag{1}$$

式中：C_R为接触比；T_Z表示啮合周期。根据预先设计的高阶传输误差和接触模式[10]，得到满足功能要求的小齿轮 Ease-off 目标面[11]，如图 2（a）所示。为形象地显示高阶目标面，建立图 2（b）所示的二阶目标表面，两个目标面的传输误差曲线啮合点幅值是相同的。

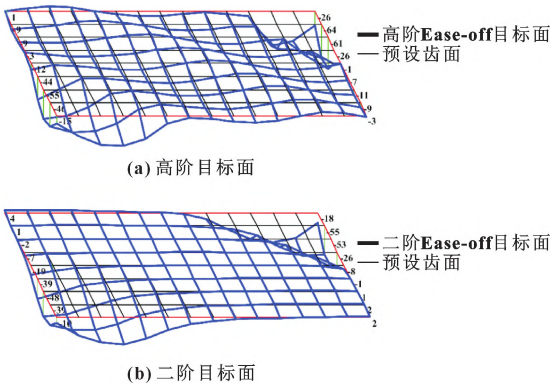


图 2　小齿轮 Ease-off 目标表面

Fig. 2　Pinion Ease-off target surfaces：（a）higher-order target surface；（b）second-order target surface

2　小齿轮齿面数学模型

假设原小齿轮机的参数设置已知，切削锥的位置矢量为

$$\boldsymbol{r}_p(s_p,\theta_p) = \begin{bmatrix}(R_p + s_p\sin\alpha_1)\cos\theta_p\\ (R_p + s_p\sin\alpha_1)\sin\theta_p\\ -s_p\cos\alpha_1\\ 1\end{bmatrix} \tag{2}$$

其中：R_p为刀具半径；s_p、θ_p为刀盘参数；α_1为齿形角。

图 3 为刀盘与小齿轮的坐标系，其中 S_1与小齿轮连接，S_p与刀盘连接。ϕ_p表示托架旋转角；ϕ_1为小齿轮旋转角；s_{r1}为刀具半径；q_1为初始托架初始角度；E_{m1}为垂直偏移量；X_{b1}为滑动底座进给量；X_{G1}为机床中心到后部的增量；γ_1表示工件安装角。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

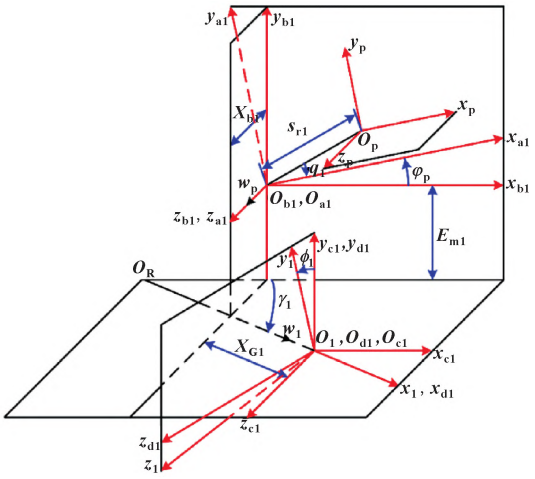


图 3 刀盘与小齿轮的坐标系示意

Fig. 3 Schematic of coordinate system of cutter head and pinion

为实现螺旋锥齿轮传动的复杂侧面修形，将 ATSM 方法引入到小齿轮齿面设计中，利用数控机床的优点，在切削过程中，刀具参数和原机床设置不变，但 ATSM 运动是可以改变的，E_{m1}和 X_{G1}以高阶多项式[12]表述为

$$\begin{cases} E_{m1} = E_0 + a_1\varphi_{10} + a_2\varphi_{10}^2 + \cdots + a_7\varphi_{10}^7 + a_8\varphi_{10}^8 \\ X_{G1} = X_0 - (b_1\varphi_{10} + b_2\varphi_{10}^2 + \cdots + b_7\varphi_{10}^7 - \\ \quad b_8\varphi_{10}^8)/\cos\gamma_1 \end{cases} \tag{3}$$

其中：a_i和 b_i（i = 1，2，3，…，8）表示多项式系数；E_0和 X_0表示初始设置；$\varphi_{10} = \varphi_1 - \varphi_0$，$\varphi_0$为齿轮在齿面控制点处的啮合角度。小齿轮修正齿面位置矢量 $\boldsymbol{r}_1$为

$$\boldsymbol{r}_1 = \boldsymbol{M}_{1d1}\boldsymbol{M}_{d1c1}\boldsymbol{M}_{c1b1}\boldsymbol{M}_{b1a1}\boldsymbol{M}_{a1p}\boldsymbol{r}_p \tag{4}$$

其中：

$$\boldsymbol{M}_{a1p} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & s_{r1}\cos q_1 \\ 0 & 1 & 0 & s_{r1}\sin q_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_{b1a1} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_p & -\sin\varphi_p & 0 & 0 \\ \sin\varphi_p & \cos\varphi_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_{c1b1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_{G1}\cos\gamma_1 \\ 0 & 1 & 0 & E_{m1} \\ 0 & 0 & 1 & -(X_{b1} + X_{G1}\sin\gamma_1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_{d1c1} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_1 & 0 & \sin\gamma_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\gamma_1 & 0 & \cos\gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_{1d1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi_1 & \sin\varphi_1 & 0 \\ 0 & -\sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

则在离散点处，Ease-off 目标表面和小齿轮修正齿表面之间的偏差为

$$\boldsymbol{h}_i = (\boldsymbol{p}_i^* - \boldsymbol{p}_i)\ \boldsymbol{n}_i \tag{5}$$

$$\boldsymbol{h} = [\boldsymbol{h}_1,\ \boldsymbol{h}_2,\ \boldsymbol{h}_3,\ \cdots,\ \boldsymbol{h}_k]^{\mathrm{T}} \tag{6}$$

其中：p_i和 p_i^* 表示修正齿面和目标面上离散点的位置向量；$\boldsymbol{n}_i$表示小齿轮修正齿面上离散点的单位法向量。最后，以 ATSM 方法的多项式系数作为优化模型的优化变量，第一个目标为

$$\min f_1(a_i,\ b_i) = \boldsymbol{h}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{h} \tag{7}$$

3 动力响应分析

3.1 载荷传递误差激励分析

采用齿轮承载接触分析法得到的载荷传递误差是螺旋锥齿轮传动运行振动的主要激励之一。齿轮承载接触分析利用计算机模拟齿轮的啮合性能[13]，齿轮承载接触分析模型如图 4 所示。通过求解基于力平衡条件和变形协调方程建立的数学规划模型，得到了齿轮在载荷作用下的变形。载荷传递误差可以通过将法向位移 Z 转换为角位移来获得，则第二个目标是：

$$\min f_2(a_i,\ b_i) = \max(T_e) - \min(T_e) \tag{8}$$

其中：T_e表示载荷传递误差。

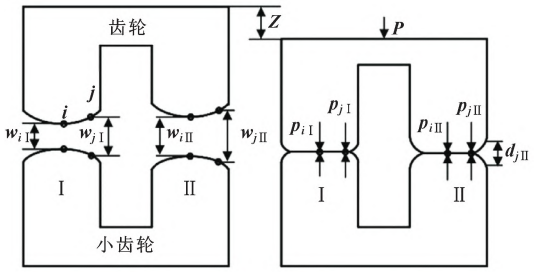


图 4 齿轮承载接触分析模型示意

Fig. 4 Schematic of gear bearing contact analysis model

3.2 啮合冲击激励分析

螺旋锥齿轮传动过程中，载荷变形产生的冲击速度[14]表述为

$$\boldsymbol{v}_s = (\boldsymbol{v}_1 - \boldsymbol{v}_2)\ \boldsymbol{n}_h \tag{9}$$

其中：$\boldsymbol{v}_2$和 $\boldsymbol{v}_1$表示速度；$\boldsymbol{n}_h$表示初始啮合点的法向量。齿轮的弹性变形是由啮合冲击引起的，相应的

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

冲击力就是最大的冲击力。啮合冲击模型结构示意如图 5 所示。根据 TIMOSHENKO 的弹性理论，假设在静态下建立的方程在冲击过程中也是有效的。因此，最大冲击力 F_s 如下：

$$F_s = k_s \delta_s^n \tag{10}$$

式中：n 为啮合力指数系数；k_s 为啮合刚度；δ_s 为齿变形。弹性势能 E_k 可以表示为

$$E_k = \int_0^{\delta_s} k_s x^n \mathrm{d}x = \frac{1}{n+1} k_s \delta_s^{n+1} \tag{11}$$

根据冲击理论，冲击动能与弹性势能的关系为

$$E_k = \frac{1}{2} \frac{J_1 J_2}{J_1 r_{b2}^2 + J_2 r_{b1}^2} v_s^2 = \frac{1}{n+1} k_s \delta_s^{n+1} \tag{12}$$

其中：J_1、J_2 为转动惯量；r_{b1}、r_{b2} 为瞬时基圆半径。因此，最大弹性变形可以表示为

$$\delta_s = \sqrt[n+1]{\frac{n+1}{2} \frac{J_1 J_2}{J_1 r_{b2}^2 + J_2 r_{b1}^2} v_s^2} \tag{13}$$

最后，根据得到的最大弹性变形，最大冲击力可表示为

$$F_s = \left(\frac{n+1}{2} \frac{J_1 J_2}{J_1 r_{b2}^2 + J_2 r_{b1}^2} v_s^2 k_s^{(n+1)/n} \right)^{n/(n+1)} \tag{14}$$

则第三个目标为

$$\min f_3(a_i,\ b_i) = F_s \tag{15}$$

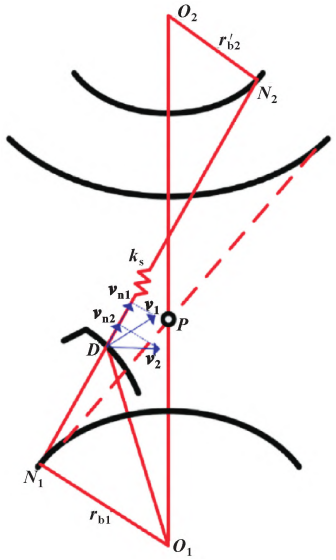


图 5　啮合冲击模型结构示意

Fig. 5　Structural diagram of meshing impact model

3.3　优化模型的建立

减小振动激励和响应是抑制螺旋锥齿轮传动运行振动以及提高动态性能的主要手段，而减小振动激励是提高螺旋锥齿轮传动动态性能最有效的措施。螺旋锥齿轮齿面优化修形的直接目的是降低载荷传递误差的激励效应和啮合冲击，以减少螺旋锥齿轮的运行振动，提高其动态性能。为此，基于 Ease-off 技术和高阶齿面修形方法，建立了螺旋锥齿轮传动的优化模型，以减少载荷传递误差和啮合冲击。螺旋锥齿轮传动的优化模型如下：

$$\begin{cases} \min f_1(a_i,\ b_i) = \boldsymbol{h}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{h} \\ \min f_2(a_i,\ b_i) = \max(T_e) - \min(T_e) \\ \min f_3(a_i,\ b_i) = F_s \\ a_i,\ b_i \in [\chi_1,\ \chi_2] \end{cases} \tag{16}$$

其中：a_i 和 b_i（$i = 1, 2, \cdots, 4$）表示优化变量；χ_1 表示最小值；χ_2 表示最大值。

传统的多目标优化方法是利用加权目标法将多目标优化问题转化为单目标优化问题，存在主观性强、局部优化和各目标相互约束的缺点。文中的优化目标函数为齿轮承载接触分析和啮合冲击的结果，与优化变量没有直接关系，因此无法建立从优化变量到目标函数的精确解析表达式。针对这一问题，采用了快速最优非支配排序遗传算法（NSGA-II）[15]，并编制了相应的 MATLAB 程序。NSGA-II 采用了快速非支配排序算法和拥挤距离比较算子，并引入了精英策略，从而降低了计算复杂度，保证了种群的多样性，提高了算法的计算效率。

3.4　动态性能分析

根据图 6 所示的齿轮传动八自由度动力学模型，应用载荷传递误差激励和啮合冲击激励对齿轮传动的动态性能进行分析。

$$\begin{cases} m_1 \ddot{X}_1 + c_{1x} \dot{X}_1 + k_{1x} X_1 = -F_x \\ m_1 \ddot{Y}_1 + c_{1y} \dot{Y}_1 + k_{1y} Y_1 = -F_y \\ m_1 \ddot{Z}_1 + c_{1z} \dot{Z}_1 + k_{1z} Z_1 = -F_z \\ J_1 \ddot{\theta}_1 = T_1 - F_n r_1 + F_s r_1 \\ m_2 \ddot{X}_2 + c_{2x} \dot{X}_2 + k_{2x} X_2 = F_x \\ m_2 \ddot{Y}_2 + c_{2y} \dot{Y}_2 + k_{2y} Y_2 = F_y \\ m_2 \ddot{Z}_2 + c_{2z} \dot{Z}_2 + k_{2z} Z_2 = F_z \\ J_2 \ddot{\theta}_2 = -T_2 + F_n r_2 - F_s r_2 \end{cases} \tag{17}$$

式中：F_s 为冲击力，根据冲击理论求得；F_n 表示法向载荷，$F_n = k_n(t) f(\lambda_n) + c_n \dot{\lambda}_n$，$k_n$ 为啮合刚度，λ_n 表示齿轮啮合点的法向相对位移；F_x、F_y、F_z 分别表示 F_n 沿为 x、y、z 轴 3 个方向的法向载荷分量；k_{1x}、k_{1y}、k_{1z} 分别表示主动齿轮沿 x、y、z 轴的支承刚度；k_{2x}、k_{2y}、k_{2z} 分别表示从动齿轮沿 x、y、z 轴的支承刚度；m_1 和 m_2 分别表示主动齿轮和从动齿轮的质量；J_1、J_2 表示转动惯量；c_n 表示啮合阻尼；c_{1x}、c_{1y}、c_{1z} 分别表示主动齿轮沿 x、y、z 轴的阻尼；c_{2x}、c_{2y}、c_{2z} 分别表示从动齿轮沿 x、y、z 轴的阻尼；T_1 和 T_2 分别表示主动齿轮和从动齿轮的扭矩。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

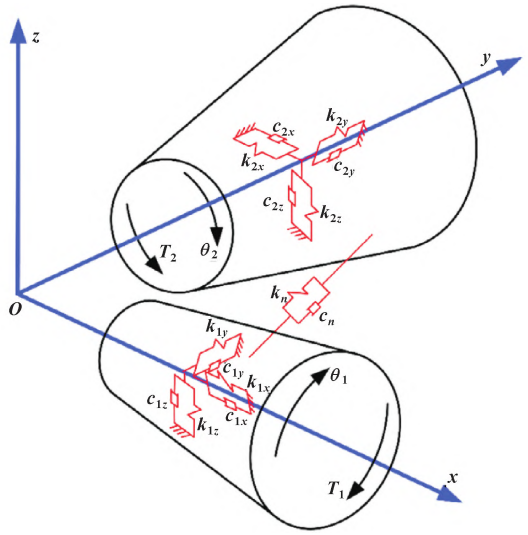


图 6 螺旋锥齿轮传动的动力学模型

Fig. 6 Dynamic model of spiral bevel gear transmission

4 数值算例

以某螺旋锥齿轮传动为例，验证该方法的有效性。其几何参数和加工参数设置分别如表 1 和表 2 所示。当负载为 1 000 N·m、小齿轮转速为 20 000 r/min时，高接触比螺旋锥齿轮的优化是基于 Ease-off 技术，通过 ATSM 方法计算高阶修正螺旋锥齿轮传动的多项式系数，如表 3 所示。分析了高阶修正齿轮传动的啮合性能，轮齿接触分析结果如图 7 所示。通过比较，可以看出高阶修正齿轮传动的传输误差曲线符合上述条件。

表 1 几何参数设置

Tab. 1 Geometric parameter settings

项目	小齿轮	齿轮
齿数	23	65
模数/mm	3.9	
平均螺旋角/(°)	25	
轴角/(°)	90	
旋转方向	L	R
表面宽度/mm	37	

表 2 加工参数设置

Tab. 2 Processing parameter settings

项目	齿轮	小齿轮
刀具直径/mm	190.5	190.5
齿形角/(°)	22.5	
径向设置/mm	114.76	108.92
初始支架角度设置/(°)	48.85	48.35
垂直偏移量/mm	0	2.62
滑动底座进给设置/mm	0	−2.58
加工中心到背面的增量/mm	0	1.05
工件安装角/(°)	68.23	18.35

表 3 ATSM 方法的多项式系数

Tab. 3 Polynomial coefficients of ATSM method

	a_i	b_i
1	−0.03	0.02
2	−0.39	0.18
3	3.96	−2.26
4	23.75	−9.18
5	−90.27	59.46
6	−422.94	150.97
7	484.35	−421.16
8	2 089.89	−745.67

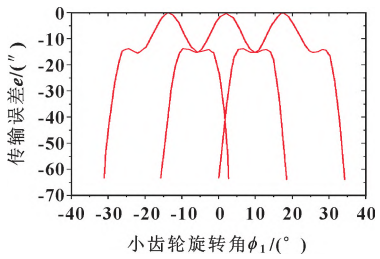


图 7 高阶修正齿轮的接触分析结果

Fig. 7 Contact analysis results of high-order modified gears

对负载为 1 000 N·m 时的高阶修正齿轮传动的载荷传递误差进行了齿轮承载接触分析，将其与高阶修正齿轮啮合比相同的二阶修正齿轮传动进行了比较，其加工参数设置如表 4 所示。

表 4 二阶修正齿轮传动的小齿轮加工设置

Tab. 4 Pinion machining settings of second-order modifed gear transmission

参数	小齿轮
径向设置/mm	111.05
初始支架角度设置/(°)	48.73
垂直偏移/mm	0.57
加工中心到背面的增量/mm	−1.65
滑动底座进给设置/mm	0.69
工件安装角/(°)	18.49
二阶系数	−0.03
三阶系数	0.01

高阶修正齿轮传动和二阶修正齿轮传动的载荷传递误差如图 8 所示，通过对比可以看出：二阶修正齿轮传动的载荷传递误差幅值为 5.438 0，高阶修正齿轮传动的载荷传递误差幅值为 3.339 0，比二阶修正齿轮传动的载荷传递误差幅值低 38.60%。因此，ATSM 方法可以降低高接触比齿轮传动的载荷传递误差幅值。

当负载为 1 000 N·m，小齿轮转速为 20 000 r/min时，计算高阶改进型齿轮传动的啮合冲击值，并与二阶改进型齿轮传动进行比较，结果如图 9 所示。通过比较可以看出：二阶修正齿轮传动的冲击速

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度和冲击力分别为 0.46 m/s 和 7.89 kN，而高阶修正齿轮传动的冲击速度与冲击力分别是 0.26 m/s 与 4.31 kN，分别比二阶齿轮传动低 43.93%和 46.12%。因此，ATSM 方法可以有效降低高接触比齿轮传动的啮合冲击。

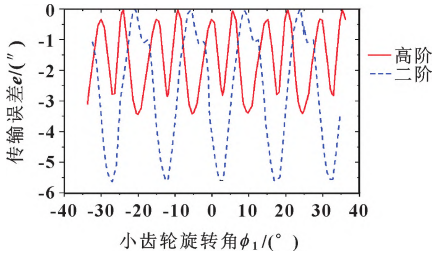


图 8　高阶和二阶修正齿轮的载荷传递误差振幅的比较

Fig. 8　Comparison of the load trasmission error amplitudes for the higher-order and second-order modified gears

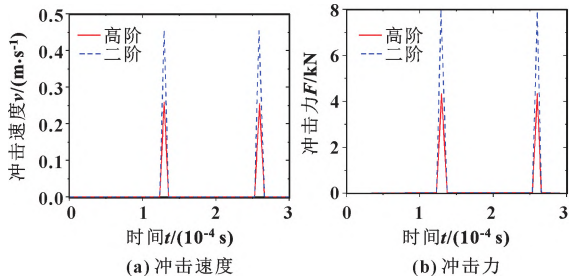


图 9　高阶和二阶改进型齿轮的啮合冲击比较

Fig. 9　Comparison of meshing impact between high-order and second-order modified gears: (a) impact velocity; (b) impact force

基于图 6 所示的八自由度螺旋锥齿轮传动动力学模型，比较了在相同工况下（负载为 1 000 N·m，小齿轮转速为 20 000 r/min），二阶修正齿轮传动与高阶修正齿轮传动的动态响应，结果如图 10 所示。

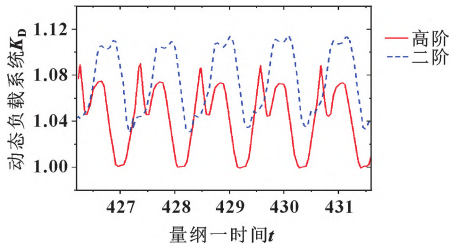


图 10　高阶和二阶改进型齿轮传动的动态负载系数比较

Fig. 10　Comparison of dynamic load coefficients of high-order and second-order modified gear transmission

通过对比可以看出：二级齿轮传动的动态负载系数为 1.118，而高阶修正齿轮传动的动态负载系数为 1.089，小于二级齿轮传动。因此，ATSM 方法可以有效地降低高接触比螺旋锥齿轮传动的振动，提高其动态性能。

为验证 ATSM 方法的优越性，对高阶改进型齿轮传动在多种工况下的载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数进行了分析。当小齿轮转速为 20 000 r/min 时，结果如图 11—13 所示。通过对比可以看出：高阶改进型齿轮传动的载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数都比二阶改进型齿轮传动的要小得多。高阶修正齿轮和二阶修正齿轮的啮合冲击均随载荷的增大而增大，高阶修正齿轮和二阶修正齿轮的动态负载系数均随载荷的增大而减小。因此，ATSM 方法可以有效地降低载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数，提高高接触比齿轮传动的动态性能。

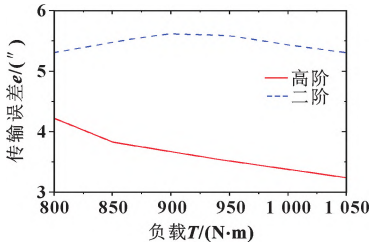


图 11　多工况下载荷传递误差振幅比较

Fig. 11　Load trasmission error amplitudes comparison under multiple operating conditions

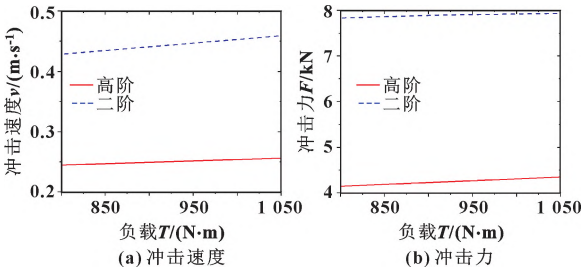


图 12　多工况下啮合冲击的比较

Fig. 12　Comparison of meshing impact under multiple working conditions: (a) impact velocity; (b) impact force

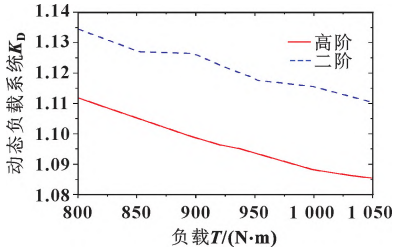


图 13　多工况下动态负载系数比较

Fig. 13　Comparison of dynamic response under multiple working conditions

5　结论

针对高接触比螺旋锥齿轮传动的振动，提出了减少螺旋锥齿的载荷传递误差、啮合冲击的辅助齿面修形方法。通过仿真分析得到如下结果：

（1）基于 Ease-off 技术和辅助齿面修形方法，实现了具有高接触比螺旋锥齿轮的传动。通过齿轮接触分析，表明高阶改进型齿轮传动满足设计要求。

（2）与二阶改进型齿轮传动相比，高阶改进型

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

齿轮传动的载荷传递误差振幅、啮合冲击和动态负载系数均大幅降低，有效地降低了螺旋锥齿轮传动的振动，改善了螺旋锥齿轮传动的动态特性，且螺旋锥齿轮传动的振动随动态负载系数的增大而增大。

（3）针对螺旋锥齿轮传动的可变工况，分析了螺旋锥齿轮传动在多载荷作用下的载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数。仿真结果表明：与二阶改进型齿轮传动相比，高阶改进型齿轮传动能有效降低载荷传递误差、啮合冲击和动态负载系数。

参考文献

[1] 王志永,杜伟涛.螺旋锥齿轮铣齿机主轴-轴承系统的动力学分析[J].中国机械工程,2019,30(18):2211-2216.
WANG Z Y,DU W T.Dynamics analysis of spindle-bearing systems on spiral bevel gear cutting machines[J].China Mechanical Engineering,2019,30(18):2211-2216.

[2] MU Y M,FANG Z D.Design and analysis of high contact ratio spiral bevel gears by modified curvature motion method[J].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers:Part C:Journal of Mechanical Engineering Science,2018,232(19):3396-3409.

[3] 王星,方宗德,牟彦铭,等.HGT 准双曲面齿轮承载传动误差的优化设计[J].振动与冲击,2017,36(8):34-40.
WANG X,FANG Z D,MU Y M,et al.Optimization design of loaded transmission error for HGT hypoid gear drives[J].Journal of Vibration and Shock,2017,36(8):34-40.

[4] 张卫青,马朋朋,郭晓东.基于共轭差曲面的螺旋锥齿轮接触特性控制方法[J].北京工业大学学报,2018,44(7):1024-1031.
ZHANG W Q,MA P P,GUO X D.Contact characteristics control method of spiral bevel gears based on Ease-off[J].Journal of Beijing University of Technology,2018,44(7):1024-1031.

[5] 余佳豪,郭帅平,蒋玲莉,等.齿面磨损故障对服役过程中螺旋锥齿轮传动误差的影响研究[J].机械科学与技术,2020,39(9):1352-1357.
YU J H,GUO S P,JIANG L L,et al.Study on effect of tooth surface wear failure on transmission errors of spiral bevel gears in service life[J].Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering,2020,39(9):1352-1357.

[6] 严宏志,吴聪,黄国兵,等.双重螺旋法加工的螺旋锥齿轮副动力学分析[J].现代制造工程,2018(9):121-126.
YAN H Z,WU C,HUANG G B,et al.Dynamic analysis of spiral bevel gears generated by duplex helical method[J].Modern Manufacturing Engineering,2018(9):121-126.

[7] 张卫青,文怿恺,郭晓东,等.基于切齿高阶运动的螺旋锥齿轮齿面修缘方法[J].航空动力学报,2019,34(1):238-247.
ZHANG W Q,WEN Y K,GUO X D,et al.Tooth surface relief method of spiral bevel gear based on high-order cutting motion[J].Journal of Aerospace Power,2019,34(1):238-247.

[8] 耿龙龙,邓静,聂少武,等.弧齿锥齿轮双重螺旋法加工数学模型及齿面偏差修正研究[J].机械传动,2020,44(9):7-13.
GENG L L,DENG J,NIE S W,et al.Research on mathematical model and flank deviation correction of spiral bevel gear by duplex helical method[J].Journal of Mechanical Transmission,2020,44(9):7-13.

[9] MU Y M,LI W L,FANG Z D,et al.A novel tooth surface modification method for spiral bevel gears with higher-order transmission error[J].Mechanism and Machine Theory,2018,126:49-60.

[10] 王永旭,阿达依·谢尔亚孜旦,刘明亮.双正交小波对球面渐开线螺旋锥齿轮齿面拟合的研究[J].机床与液压,2022,50(2):1-7.
WANG Y X,XIEERYAZIDAN A,LIU M L.Research on tooth surface fitting of spherical involute spiral bevel gear based on biorthogonal wavelet[J].Machine Tool & Hydraulics,2022,50(2):1-7.

[11] 严宏志,肖蒙,胡志安,等.基于 Ease-off 的螺旋锥齿轮齿面分区修形方法[J].中南大学学报(自然科学版),2018,49(4):824-830.
YAN H Z,XIAO M,HU Z A,et al.A novel Ease-off flank zoning modification method of spiral bevel gears[J].Journal of Central South University (Science and Technology),2018,49(4):824-830.

[12] 李大庆,吴素珍,赵让乾,等.面齿轮高阶曲线齿形设计及轮齿接触分析[J].机械设计,2020,37(11):109-114.
LI D Q,WU S Z,ZHAO R Q,et al.Design of the high-order curve tooth profile and analysis on the face gear's tooth contact[J].Journal of Machine Design,2020,37(11):109-114.

[13] 牟彦铭,方宗德,张西金.高重合度弧齿锥齿轮高阶传动误差设计与分析[J].华中科技大学学报(自然科学版),2018,46(7):67-72.
MU Y M,FANG Z D,ZHANG X J.Design and analysis of high-order transmission error for high contact ratio spiral bevel gears[J].Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition),2018,46(7):67-72.

[14] 李强,渠艳娟,王鑫龙,等.对数螺旋锥齿轮啮入冲击理论研究及仿真验证[J].机械设计与制造,2022(7):43-47.
LI Q,QU Y J,WANG X L,et al.Theoretical study and simulation verification of the impact of the logarithmic spiral bevel gear[J].Machinery Design & Manufacture,2022(7):43-47.

[15] 刘彬,王卫涛,武尤,等.改进自适应多种群 NSGA-Ⅲ算法的研究[J].计算机应用研究,2021,38(1):48-52.
LIU B,WANG W T,WU Y,et al.Research on improved adaptive multi-population NSGA-Ⅲ[J].Application Research of Computers,2021,38(1):48-52.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高速切削钛合金刀具磨损的研究

张 敬[1,2]

（1.天津职业技术师范大学，天津 300410；2.天津职业大学，天津 300410）

摘 要：钛合金在航天、航空等领域越来越受到青睐。它具有强度比高、抗腐蚀性好、热强度高等优良性能，它已经被广泛应用高科技领域。但由于钛合金在低速的切削下加工钛合金也会出现切削温度高、刀具磨损严重、刀具寿命低以及加工表面质量差等现象。所以钛合金成为一种典型的难加工材料。我们通过对比三种刀具材料的刀具寿命、切削力及刀具磨损，总结出不同刀具材料高速车削加工钛合金的特性，为今后生产中选择高速加工钛合金的刀具提供依据。

关键词：高速加工；钛合金；刀具磨损

中图分类号：TQ153.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**11-5004(2016)2-0049-2

钛合金具有强度比高、耐热性和耐蚀性好等优良性能，被广泛应用于航空航天、海洋工程、军事装备、医疗科学方面轻质量金属的工业生产中，然而由于高温化学活性大、导热系数小、弹性模量低、加工时摩擦系数大等特殊性使其成为典型的难加工材料，引起加工过程中刀具磨损破损严重、生产效率低等问题[1]。钛合金的加工应用是一个国家装备制造业先进程度的体现，是一个国家装备制造水平的主要指标。

1 钛合金的分类

α 钛合金：退火组织为单一 α 相固溶体的钛合金称为 α 钛合金。α 钛合金主要含有 α 稳定元素和中性元素，如铝、锡、锆，基本上不含或仅含少量的 β 稳定元素。高合金化 α 钛合金其高温性能好，组织稳定，热稳定性好焊接性好，是高温钛合金发展的方向[2]。低合金化的a钛合金强度虽较低，但低温加工变形性能较好，因此易于加工薄壁件。

β 钛合金：从 β 区淬火后能将 β 相保留到室温的高 β 稳定元素含量的钛合金，一般称为 β 钛合金。β 钛合金的变形加工性能良好，经热处理后可获得很好的强度和断裂韧度之间的组合，以及较高的应力腐蚀抗力。

α + β 钛合金：α + β 钛合金一般也称为两相钛合金，其平衡状态下的组织以 α 相为主，β 相含量通常9% ~ 30%。两相钛合金具有较好的综合力学性能，可热处理强化，热压力加工性好，α + β 钛合金是工业上应用最多的一类钛合金[3,4]。

2 高速切削技术

高速切削技术(HighSpeedCutting，HSC)是近些年展现的一种集高效、优质、低耗于一身的先进制造加工技术，是金属切削技术的重要发展方向之一。提出高速切削概念是德国切削物理学家Salomon，由于这种加工方式生产效率高，加工精度保证的好，表面粗糙度好，同时又降低了加工成本等有点，经过多年的研究和实践，伴随着机床和刀具的不断发展呢，自90年代以来，已经应用到工业生产中。其加工机理发生了根本的变化，与传统切削加工相比，高速切削加工发生了本质性的飞跃，其单位功率的金属切除率提高了30% ~ 40%，切削力降低了30%，刀具的切削寿命提高了70%，留于工件的切削热大幅度降低，低阶切削振动几乎消失，使世界加工行业获得了更多的经济效益和社会效益。

3 高速车削钛合金切屑形成及力学特性

我们通过研究和分析，可以得出切屑的形成与切削参数有密不可分的影响，并且是有规律可寻的，切屑的生成频率和周期性波动的切削力是有一定关系的，钛合金的加工中，在切削参数一定的情况下，都会形成锯齿状的切屑，但由于参数的不同会对切屑的形状、生成频率和几何特征等形成不一样的影响，所以从这个出发点考虑，我们可以改变加工中参数，从而可以减小切削震动，降低刀具的磨损，提高使用效率，达到更好的表面粗糙度。通过对钛合金车削加工时刀具参数与切削参数的分析，我们可知当切削速度增大时，切削力会反而降低，当进给量增大时，切削力同样会上升，当刀具的前角增大、后角增大时，切削力会随之减小，刀具如果后刀面出现磨损会直接增大切削力。在精密车削时，随着刀刃不断的磨钝，刀尖圆角变大，主切削力和进给力都会随之变大，当倒棱度和棱宽度变大，主切削力以及进给力也同样会变大。刀具刃口的改变，其实是切削前角和刀具接触关系的改变，刀与工件的挤压、剪切作用会发生改变，导致在加工中主切削力小于进给力。所以在高速精密加工钛合金时刀具刃口的优化设计是十分有必要的。

4 刀具磨损的形式

金属加工时，刀具的前、后刀面必然会和切屑与工件相互摩擦，且十分剧烈，因此接触区内温度和压力相当高的，导致

收稿日期：2016年2月

作者简介：张敬，生于1976年，男，天津人，本科，实验师，主要研究方向：机械加工。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

产生磨损。前刀面在切削的时候由于接触和摩擦，反应很强烈，接触面压力高、温度高，使空气、切削液进入困难，因此在前刀面上形成月牙洼，后刀面由于工件的待加工表面与刀具后刀面接触形成磨损带，多数情况是两者同时发生，相互影响。刀具的磨损分为三个阶段：初期磨损期、正常磨损期和急剧磨损期。

5 刀具失效机理

刀具损坏的形式主要有磨损和破损两类。刀具磨损是连续的逐渐磨损；其主要原因是：磨粒磨损粘结磨损扩散磨损氧化磨损。刀具磨损后，精度降低，表面粗糙度增大，切削力和切削温度都会增加，甚至振动，不能正常切削。因此，刀具磨损直接影响加工效率、质量和成本。刀具破损包括脆性破损（如崩刃、碎断、剥落、裂纹破损等）和塑性破损两种。

6 高速加工钛合金的温度分布特性

在金属加工中金属之间进行摩擦，金属的塑性变形等所做的功，都会能量转变为切削热。在钛合金车削中由于高速加工，会产生大量的热能，这些切削热很少的一部分会被空气或者切削液带走，大部分都会散入到切削、刀具、工件中。直接导致加工区域内的温度很高，这会使工件的材料性能发生改变同时摩擦系数也会变化，导致工件加工精度降低，刀具寿命缩短，加工不出合格的零件。

通过研究，切削速度改变了加工中的弹性变形、切屑的排出率以及摩擦系数，从而影响了加工温度。进给量改变了金属的切除率以及刀具与切屑的摩擦系数，影响了切削热的温度和分布区域。两方面的因素导致切削热量增大，热量会不断向刀尖处聚集，从而加剧了刀尖和前刀面的磨损。我们可以改变刀具的前角和后角来降低加工中产生的热量，当适当的增加前角，切削温度先降低随后升高，证明前角的增大会减低热量的产生，但随着磨损热量又会上升，当增大刀具的后角，可以改变刀具的散热，使温度降低。

当精密加工时，刀具刀刃的结构和参数也是影响加工温度的主要原因，刀具刃口的结构直接影响刀具加工出切屑的形状，影响刀具与工件之间的接触关系。当刃口磨圆时刀刃半径变大，导致分流点处温度增加，使刀刃磨损增大。刀具倒棱角度和倒棱宽度的增大，切削温度也会上升，但刀刃的温度分布比较平均，说明倒棱度的作用要比倒棱宽度明显。

7 高速车切削钛合金时刀具磨损的分析

我们通过比较硬质合金刀具、涂层刀具和CBN 刀具高速车削中的刀具寿命、切削力及刀具磨损，来进行分析不同刀具材料的特性。

7.1 刀具寿命分析

刀具后刀面磨损量随切削路程变化。我们以加工Ti26Al24V 为例，硬质合金刀具和涂层刀具的整个磨损过程都是急剧磨损，没有明显的正常磨损阶段；涂层刀具比合金刀具的磨损轻微一些，而CBN 刀具的整个磨损过程有正常的三个磨损阶段，刀具使用寿命最长。

7.2 切削力对比

三种刀具的切削力随切削路程变化。三种刀具车削时，由于钛合金的弹性模量小，弹性变形大，导致切削加工时径向力最大。在切削过程中，CBN 刀具的切削力相对稳定，甚至切削力有微小的下降趋势。这是由于切削一段时间后，切削温度迅速升高，高的切削温度使工件材料软化导致切削力减小。硬质合金刀具和涂层刀具的切削力变化基本相同，随着不断的切削，切削力迅速增大，不过涂层刀具的切削力会比硬质合金刀具稍小，这是因为涂层刀具表面的涂层有减磨和润滑作用。

7.3 刀具磨损特性研究

硬质合金刀具前、后刀面出现明显犁沟状的磨粒磨损，但刀具前刀面的磨损形式不同于切削其它金属材料时形成的月牙洼磨损，而是前刀面的磨损区域直接和切削刃相连，切削刃处磨损最大。这是因为高速切削加工钛合金时，切屑短，切削力集中在切削刃附近，高温使刀刃发生软化和变形，形成最大的斜面磨损形式。刀具的粘结磨损和扩散磨损同时发生，又相互促进，共同影响刀具的使用寿命。

8 总结

高速车削加工钛合金时三种刀具材料相同切削参数下，硬质合金刀具的使用寿命最低，CBN 刀具的使用效果相对较好。整个车削过程中，CBN 刀具的切削力比较稳定。随着不断切削，硬质合金刀具和涂层刀具的切削力均迅速增大。涂层刀具比硬质合金刀具的切削力小。刀具的前刀面磨损形式不同于常规月牙洼磨损，而是切削刃处磨损最大的斜面磨损，其中在CBN 刀具的前、后刀面还伴有剥落和崩碎现象。三种刀具材料的磨损机理都有磨粒磨损、粘结磨损和扩散磨损，对于硬质合金刀具和涂层刀具在刀具的磨损边缘区还发生氧化磨损。通过比较我们可以根据实际情况选择合适的刀具，提高加工效率和加工质量。通

参考文献

[1] 张春江.钛合金切削加工技术[M].西安:西北工业大学出版社,1986.
[2] 刘战强,艾兴.高速切削刀具表面形态磨损研究[J].摩擦学学报,2002(06).
[3] 肖诗纲.刀具材料及其合理选择[M].北京:机械工业出版社,1990.
[4] 李友生,邓建新,石磊.高速切削加工钛合金的刀具材料[J].制造技术与机床,2007(08).

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高碳高合金锻钢冷轧工作辊的锻造工艺开发

刘建红
(天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘要：从工程应用的角度对合金含量介于半高速钢和高速钢之间的一种 8% Cr 锻造冷轧工作辊新材质的锻造工艺开发进行研究。通过将相图分析、热模拟实验与小件锻造实验相结合，确定了当前合金的锻造温度区间为 950 ~ 1150 ℃，并通过对锻件在工艺执行中的冷却状况和锻造抗力情况进行有限元模拟，确定了工艺执行时间和锻造设备吨位。在室内实验和计算分析的基础上，考虑了自由锻造生产中物流、温度及锻造裂纹控制的特点，制定了 3 阶段的锻造工艺实施方案和时间控制措施，实现了生产试制 1 次成功。结果表明，大型自由锻锻件新材质的锻造工艺可以通过计算机分析与物理模拟实验相结合的方式获得较为可靠的工艺参数，实现产品的低成本开发。

关键词：高碳高合金钢；锻造；冷轧工作辊；相图；热模拟实验
DOI：10.13330/j.issn.1000-3940.2020.11.003
中图分类号：TG316　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-3940（2020）11-0013-07

Development of forging process for cold rolling work roller with high carbon and high alloy steel

Liu Jianhong
(School of Mechanical & Electrical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The development of forging process for a new material of 8% Cr with the alloy composition between semi-HSS and HSS for cold rolling work roller was researched from an engineering application perspective. Then, based on the phase diagram analysis, the thermal simulation experiment and the small scale forging experiment, the forging temperature range of the present alloy was determined at 950 - 1150 ℃, and the process execution time as well as the tonnage of forging equipment were determined by finite element analysis on the cooling status and the forging resistance during the forging process. Furthermore, according to the experimental results and simulation analysis, considering the characteristics of logistics, temperature and forging crack control during the free forging production, three-stage forging process scheme and time control measures were developed, and the first successful trial production was achieved. The results show that the reasonable forging process parameters of a new material for large free forgings are obtained by combining computer analysis and physical simulation experiments, and the low cost development of product is realized.

Key words: high carbon and high alloy steel; forging; cold rolling work roller; phase diagram; thermal simulation experiment

冷轧工作辊是轧钢行业的重要零件，其质量直接决定了冷轧钢板的产品质量和产品档次。对于汽车板、高强板等对成品板材质量要求较高的场景，一般需要采用锻造态的冷轧工作辊，且冷轧工作辊的材质需要具有较高的表面硬度和较好的硬度均匀性，并具有较强的抗事故性[1-4]。当前，国内此类冷轧工作辊一般采用 MC5（5% Cr）模具钢材质，采用电渣重熔制造毛坯，然后通过锻造、热处理以及机械加工获得最终产品[5-6]。在轧钢前，需要在冷轧工作辊的辊面镀铬，并且每 1 次磨辊后，需要重新镀铬，从而进一步提高轧辊的表面质量和性能。从冷轧工作辊的全生命周期来看，镀铬大大增加了冷轧辊工作的成本，并且容易造成污染。采用高速钢、半高速钢材质制造轧辊能够将轧辊的辊耗降低至 MC5 锻钢材质的 1/3 ~ 1/5 左右，并且无需镀铬，从而大大降低了反复镀铬造成的附加成本。然而，高速钢、半高速钢材质的碳含量和合金含量一般都非常高、锻造区间窄、锻造过程中容易开裂、开裂后不容易清伤，因此，高速钢和半高速钢的锻造难度很大。

国外关于锻造半高速钢、高速钢类材质的研究较早，日立、联合电钢等均开发出了一系列的半高速钢、高速钢的冷轧辊材质及产品，但是难以搜集

收稿日期：2020-03-21；**修订日期**：2020-06-25
作者简介：刘建红（1983-），男，硕士，高级工程师
E-mail：viliu@outlook.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

到相关的实用性的工艺研究资料。国内，马雪飞等[7]、徐咏梅[8]曾针对6%~8% Cr冷轧工作辊材质的锻造工艺开发进行了研究，但是，所研究材质的碳含量和合金含量与高速钢类材质存在差距；郭婧等[9-12]对高速钢材质冷轧工作辊进行了比较深入的研究，通过计算相图考察了高速钢冷轧工作辊材质的碳化物析出行为，在此基础上，针对该材质的锻造工艺问题，通过热压缩模拟实验测定了材料的高温变形数据，并通过韧性断裂准则计算了材料热变形的损伤因子，结合锻造模拟计算绘制了材质在热锻过程中的成形极限图，实现了该材质的热锻成形。上述采用的研究方法对当前材质的锻造工艺开发有着直接的参考意义，但是，本文所研究材质的热变形数据存在特殊性，不能按照文献中的方法确定出合理的损伤因子以及成形极限图。

本文从锻造工艺开发工程实践的角度出发，针对一种成分介于高速钢和半高速钢之间的高碳高合金锻造冷轧工作辊材质，研究其锻造工艺方案的开发方法，通过相图分析、热模拟实验、小件锻造实验以及锻造模拟计算等多种手段对锻造工艺实施的温度区间、锻造工序分配、工序时间控制以及设备能力等进行了预判，并在此基础上实现了产品的1次试制成功。

1 合金材质

本文所研究的8% Cr合金钢的主要成分如表1所示，材质主要依靠提高合金含量来控制材质性能。当前，合金钢的碳含量比普通材质的冷、热连轧辊的碳含量略高，但远低于半钢轧辊材质1.4%~2.1%的碳含量。由于碳含量对锻造温度区间的影响比合金含量更为明显，这样设计能够使适宜锻造的温度区间窗口尽可能宽。合金成分方面，与刀具类的高速钢材质以及铸造高速钢轧辊材质不同，用于锻造冷轧辊的高速钢类材质需要具有较高的Cr含量，从而保证足够的淬透性，在此基础上适当增加W、V等元素来提高合金的强度、硬度和耐磨性，同时还需要确保合金在大型块体尺寸的毛坯条件下具备足够的塑性成形能力。

表1 合金钢的主要元素组成（%，质量分数）

Table 1 Compositions of primary elements for alloy steel (%, mass fraction)

C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
0.85	0.50	0.60	8.50	2.00	2.00	2.00

2 相图分析与DSC曲线测定

为了研究该合金材质的锻造温度区间，采用Jmatpro软件对普通的50Cr5NiMoV钢连轧辊材质和本文所研究的8% Cr合金钢材质同时进行了相图计算并对比，计算结果如图1所示。

常规的50Cr5NiMoV钢材质主要用于热连轧支承辊的制造，该材质在850~1230 ℃的锻造温度区间内能够获得比较好的锻造性能。根据相图计算结果可见：50Cr5NiMoV钢的液相线在1400 ℃以上，并且在1000~1250 ℃锻造温度范围内，合金完全处于奥氏体状态，碳化物含量极少；8% Cr合金钢材质的液相线下移至1240 ℃，同时，在800~1200 ℃锻造温度范围内，合金内部始终存在比较多的析出碳化物。其中，温度低于1100 ℃后，$M_{23}C_6$碳化物开始析出，并

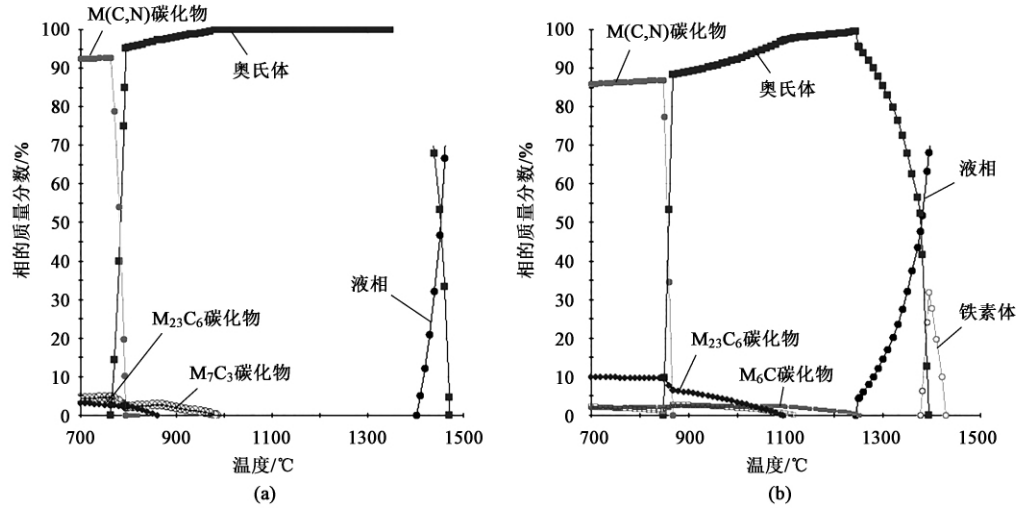


图1 50Cr5NiMoV钢（a）与8% Cr合金钢（b）的计算相图对比

Fig. 1 Comparison of calculated phase diagrams between 50Cr5NiMoV steel (a) and 8% Cr alloy steel (b)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

且含量不断升高；900 ℃时，$M_{23}C_6$ 碳化物的含量达到6%，总碳化物的含量超过10%；合金在870 ℃左右会发生相变，同时 $M_{23}C_6$ 碳化物的含量会进一步升高。

为了验证计算相图的结果，测定了 8% Cr 合金钢材质的 DSC 曲线，如图 2 所示。从测定结果来看，DSC 曲线和计算相图的结果比较符合，在 840 ~ 890 ℃锻造温度范围内合金发生奥氏体转变，1240 ℃时开始出现液相，相应位置均出现了明显的热流波动。

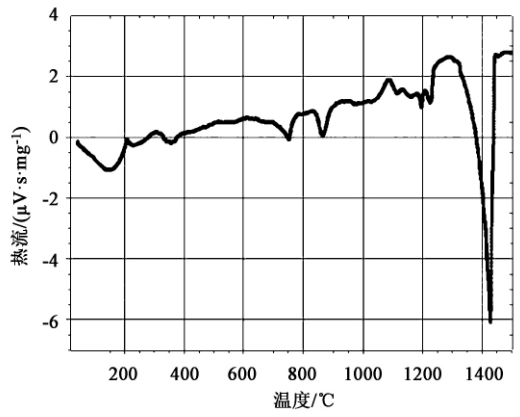


图 2　8% Cr 合金钢材质的 DSC 曲线

Fig. 2　DSC curve of 8% Cr alloy steel material

综合计算相图和 DSC 曲线测试结果，可初步确定当前合金材质的锻造温度区间为：始锻温度宜控制在 1200 ℃以内，终锻温度宜控制在 900 ℃以上，大变形阶段的锻造温度宜控制在 1000 ~ 1200 ℃范围以内。由于这些温度参数主要是由相图确定的，需要通过进一步的实验予以确认。

3　热模拟实验

在相图分析的基础上，针对 8% Cr 合金钢材质，采用 Gleeble 热模拟实验机对小型压缩样品进行了热压缩实验，实验样品是采用小型真空炉生产的 40 kg 的小型实验钢锭，经过炉内长时间退火后切割取样，实验样品尺寸为 8 mm × 15 mm。为了能够更全面地反映出当前材质的热变形性能，热压缩实验采用 4 组应变速率 $\dot{\varepsilon}$（0.001，0.01，0.1 和 1 s^{-1}）和 7 个变形温度（900，950，1000，1050，1100，1150 和 1200 ℃）进行了 28 组压缩实验，另外，增加了一组变形温度为 1250 ℃、应变速率 $\dot{\varepsilon}$ 为 0.01 s^{-1} 条件下的压缩实验。部分试样压缩后的形貌如图 3 所示，1000 和1150 ℃条件下、不同应变速率的压缩曲线如图 4 所示。

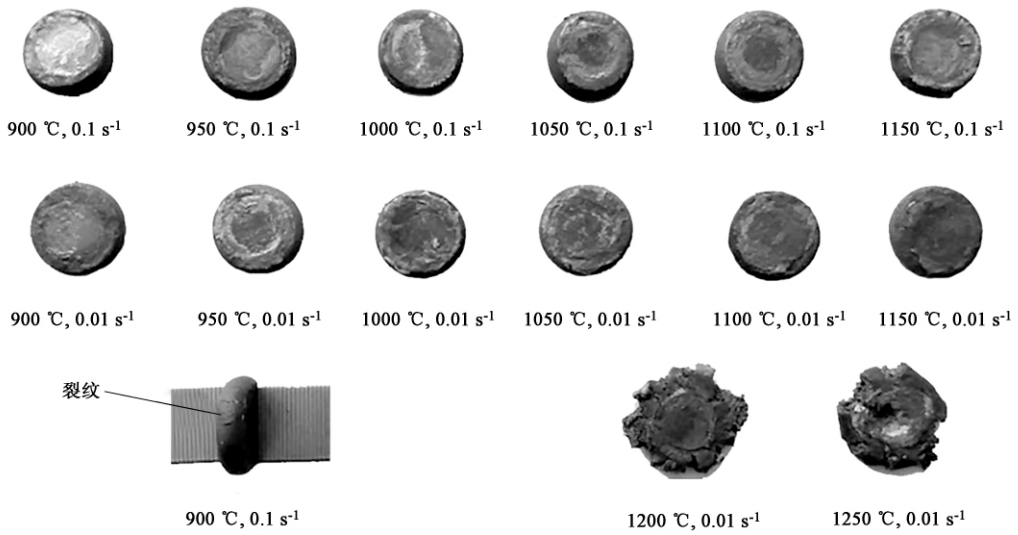


图 3　试样压缩后的形貌

Fig. 3　Appearances of samples after compression

根据图 3 变形后的形貌照片可观察到：8% Cr 合金钢材质在 1200 和 1250 ℃下进行热压缩时，试样均被压溃裂开，但是在 1150 ℃、不同应变速率的试样均能够稳定压缩，因此，始锻温度应控制在 1150 ~ 1200 ℃之间。同时，900 ℃、$\dot{\varepsilon}$ = 0.1 s^{-1} 条件下的压缩试样的侧部存在明显的纵向裂纹，虽然 $\dot{\varepsilon}$ = 0.01 s^{-1} 时，压缩试样并未开裂，但真实的锻造并不是一个各个部位应变速率恒定的过程，因此，900 ℃已经不适合大变形。根据图 4 的变形曲线可知：合金材质在 1000 ℃时的变形抗力远超过 1150 ℃时的变形抗力，同样应变速率下，1000 ℃时的变形抗力约为后者的 2.5 倍，可见 8% Cr 合金钢在温度降低后，变形所需的锻造压力会急剧上升，即便不出现裂纹，也可能因抗力过大而无法锻造。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

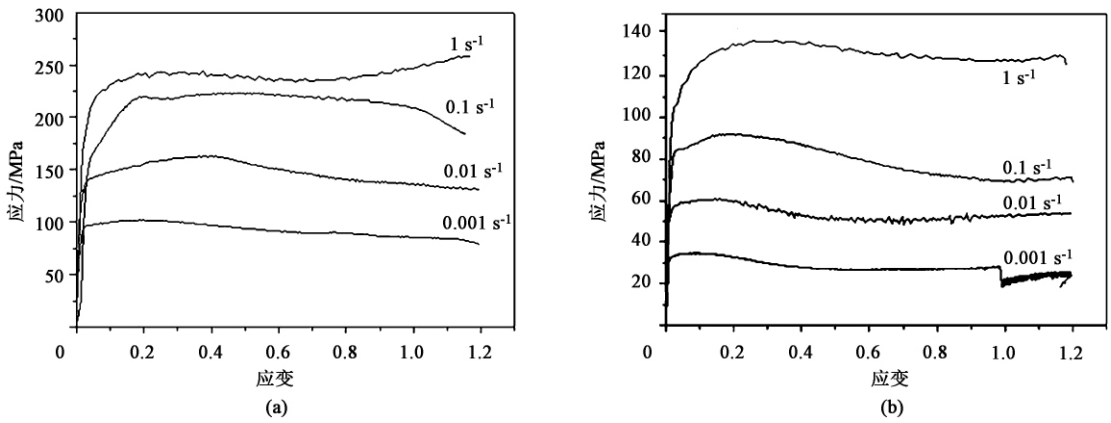


图4 1000 ℃(a) 和1150 ℃(b) 条件下的热压缩变形曲线

Fig. 4 Thermal compression deformation curves at 1000 ℃ (a) and 1150 ℃ (b)

在热压缩实验的基础上，采用小压缩样品在0.01 s^{-1}的应变速率以及1160和1180 ℃温度条件下分别补充两批热压缩实验。从热压缩实验的结果来看，在最大压缩应变控制在0.8的条件下，试样均有不同程度的开裂，因此，在1150 ℃的基础上进一步增加始锻温度存在一定风险。

根据热压缩实验的结果，在相图计算确定的锻造温度区间的基础上，从材质本身的锻造性能角度上考虑，锻造温度区间应设定为950～1150 ℃，大变形阶段的锻造温度宜控制在1000 ℃以上。

4 小件锻造实验

热压缩试样由于尺寸小，不能充分地反映实际锻件的锻造性能。因此，在前述实验的基础上，利用真空小钢锭的切割料进行了小件锻造的模拟实验，主要检验当前合金钢材质的实际锻造性能，并预判可能出现的锻造问题。

模拟锻造过程采用1150 ℃作为始锻温度，采用小型箱式电炉进行加热，并采用0.3 t实验压力机模拟锻造压机施加变形力，图5为模拟锻造过程。变形开始时，毛坯尺寸约为Φ140 mm×120 mm，变形过程中采用50%压下量镦粗，之后相对侧面，按照90°反复翻转进行拔长，最终尺寸约为90 mm×90 mm×200 mm。

小件模拟锻造的结果表明，8% Cr合金钢材质在1150 ℃热态出炉后，锻造变形比较顺利，不易出现裂纹，但是温度降低后，锻件表面容易变形开裂

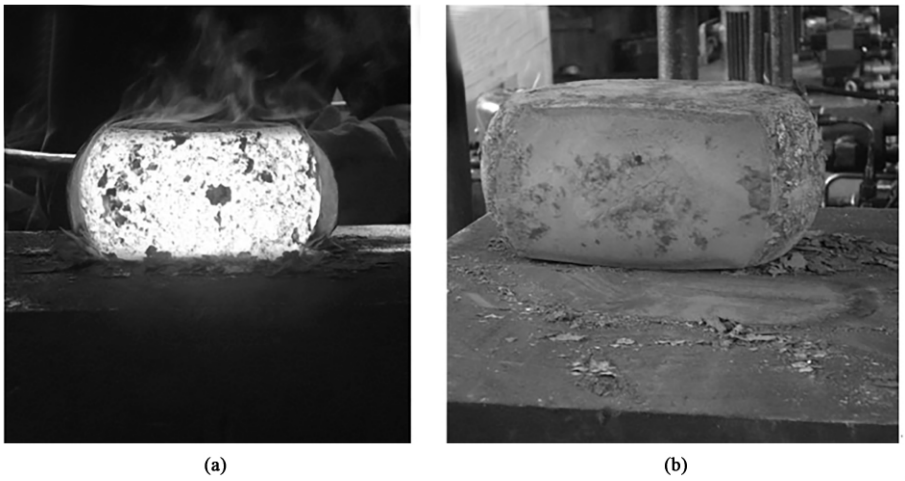


图5 小件模拟锻造过程

(a) 镦粗 (b) 成品(其中一侧面中部轻微开裂)

Fig. 5 Simulated forging process of small parts

(a) Upsetting (b) Finished product (Slight cracking in the middle of one side)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(图 5b)，并且锻造抗力迅速加大。在此次模拟锻造过程中，为了检验材质的变形能力，特意加大了压缩锻比，大变形阶段的压缩锻比基本上均在 2 左右。从锻造结果来看，只要能保持较高的锻造温度，则该材质具备良好的变形能力。小件模拟锻造的结果反映了前期预估的始锻温度和锻造性能是合理的。

5　热锻工艺方案与工艺模拟

在前述系列实验的基础上，考虑了自由锻现场的操作能力，以质量为 6000 kg 的冷轧工作辊为目标锻件，制定了 3 阶段的热锻工艺方案。锻造温度和变形过程如表 2 所示。

表 2　锻造工艺参数

Table 2　Parameters of forging process

参数	始锻温度/℃	终锻温度(锻件表面温度)/℃	变形过程	炉外锻造时间/min	锻造设备
数值	1150	800	1. 镦粗 2. 拔长压实 3. 拔长成形	≤20 ≤30 多火次(≤3)，≤60	4500 t 液压机

对于大型锻件产品的锻造工艺参数，需要在室内实验的基础上，结合锻造现场的质量控制和生产管理等因素进行调整，使工艺便于实施。如表 2 所示，采用 1150 ℃的始锻温度来控制加热炉的炉温，实际锻造料温通常会比炉温低 10 ~ 20 ℃左右，其可以确保不出现过热、过烧的问题。用于现场锻造生产控制的终锻温度并未采用 950 ℃，而是参考高碳轧辊将其设置在 800 ℃，这个温度为锻件的表面温度，由质检人员现场通过红外测温仪检测，来判断是否中止锻造。大型锻件锻造过程中的表面温度和心部温度会存在较大温差，当表面温度低于室内实验确定的终锻温度 950 ℃时，锻件表层以下大部分区域还处于高温状态，同时，锻造过程中还会由于机械功和热传导的影响导致锻件表面局部出现温度回升，重新进入适宜锻造的状态。此外，大型块体锻件在锻造过程中，只要不影响产品最终质量，可以允许局部有一定尺度的裂纹存在。因此，为了便于现场质检人员和操作者执行，表 2 中的工艺方案设定了较低的终锻温度，锻造实施过程中，由工艺技术人员根据实际锻造情况来灵活控制，现场锻造抗力过大或者出现严重开裂时，可以随时停止锻造。除了温度参数和锻件变形按照 3 阶段设计外，开坯阶段采用镦粗变形，镦粗比控制在 2.0，拔长压实阶段按照 20% 压下量控制，拔长比为 2.5，完成拔长压实后，采用总数不超过 3 火次的变形获得最终锻件成品，不控制单火次锻比。

为了检验工艺方案的合理性，采用 Deform-3D 对开坯锻造阶段坯料的降温过程和镦粗阶段的锻造抗力进行了模拟计算，其中，材质参数采用热压缩实验所获得的应力 - 应变数据。

图 6 为 Φ900 mm 电渣锭在料温为 1140 ℃出炉后空冷降温的模拟计算结果。可以看到：前 10 min 内，表面降温很快；在 10 ~ 30 min 这段时间内，钢锭中部截面上 1000 ℃等温面大致每 5 min 向电渣锭心部移动 15 ~ 20 mm。实际锻造现场条件下，钢锭从离开加热炉到开始锻造大致需要 8 ~ 10 min 的物料转运时间，因此，开始锻造时，钢锭表面约 30 mm厚的区域低于 1000 ℃，而心部大部分区域仍处于适宜变形的高温状态。考虑到锻造过程中锻件

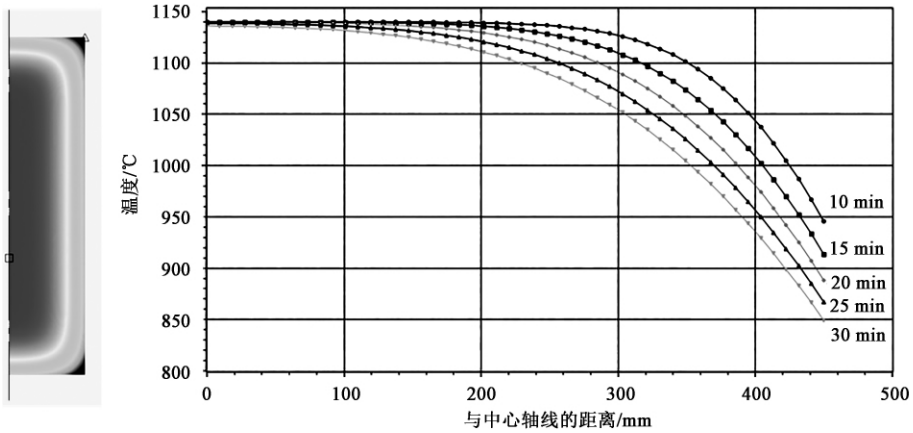


图 6　开坯锻造前空冷条件下电渣锭温降模拟结果

Fig. 6　Simulation results of temperature drop for ESR ingots under air cooling condition before billet forging

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表面的料温在机械变形作用下还会存在升温现象，因此，镦粗阶段炉外锻造不超过 20 min、拔长压实阶段炉外锻造不超过 30 min 是合理的。

图 7 为电渣锭镦粗过程中上砧块的压力状况。根据模拟计算结果，在上砧速度为 5 和 10 mm·s^{-1} 条件下进行镦粗的锻造抗力约为 30000 ~ 55000 kN。实际锻造过程中液压机并不是恒定速率控制，而是接近于恒定功率控制，当压力无法进一步提升时，上砧压下速度会逐渐降低。镦粗后期通常是自由锻件多火次锻造过程中锻造抗力最大的阶段，根据当前计算的锻造抗力，采用 4500 t 液压机应能够满足该锻件镦粗及后续火次锻造生产。

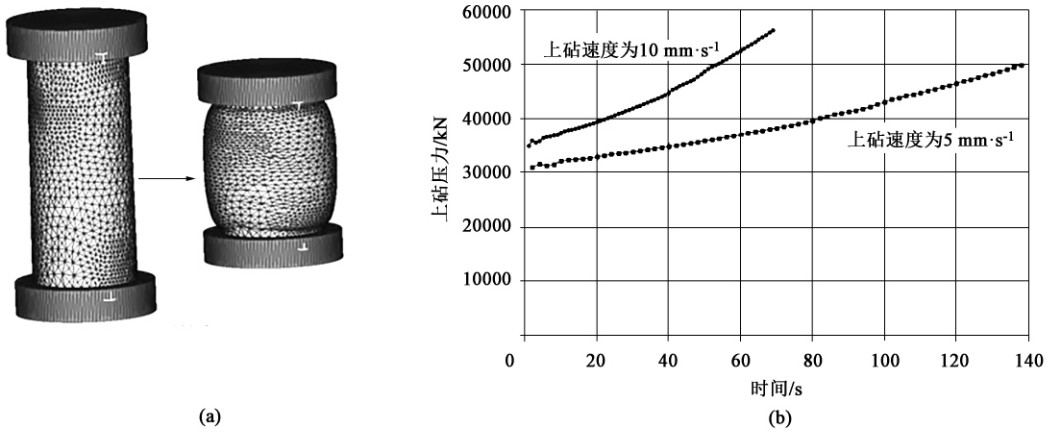


图 7 镦粗过程 (a) 与上砧压力模拟计算结果 (b)

Fig. 7 Upsetting process (a) and simulation results of upper anvil pressure (b)

通过对镦粗阶段温降和锻造抗力的计算分析可知，表 2 对锻造设备以及锻造过程的时间控制是合理的，具备进行生产实施的条件。

6 锻造生产

通过前期的工艺准备，按设定的锻造工艺方案对高碳高合金钢冷轧辊材质的试制件进行了锻造生产。从生产过程来看，在前述综合了相图分析、计算模拟、室内实验以及生产经验而制定的锻造工艺方案能够满足当前新材质锻件的生产要求、锻造温度设置合理、锻造时间控制适当、实际锻造生产过程总体顺利，除了变形过程中因局部温降会出现表面裂纹外，其他状况基本符合工艺预期。图 8 分别为开坯阶段和成品阶段的现场照片。



图 8 高碳高合金钢冷轧工作辊锻件的试制过程

(a) 镦粗结束 (b) 锻造成品

Fig. 8 Trial production process of cold rolling work rollor forgings for high carbon and high alloy steel

(a) End of upsetting (b) Forged product

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

7　结论

(1) 本文通过相图分析、热模拟实验、小件锻造实验，确定了一种具有 8% Cr 含量的高碳高合金钢冷轧工作辊材质的锻造温度区间为 950 ~ 1150 ℃，其中，大变形阶段的锻造温度应控制在1000 ℃ 以上，并通过有限元模拟对锻件出炉冷却情况和开坯锻造变形抗力进行了定量预测。

(2) 从工程应用的角度出发，自由锻件产品在制定工艺方案时应充分考虑锻造过程中锻件温度、变形的不均匀性、现场生产调度和设备能力。基于上述考虑，本文在室内实验的基础上，在制定锻造工艺阶段，将以锻件表面温度为参考依据的现场终锻控制温度设定在 800 ℃，将镦粗、拔长压实这两个大变形火次完成变形的时间分别控制在 20 和 30 min 内，并选定 4500 t 压机作为锻造压机。锻件产品的成功试制验证了工艺方案的合理性。

参考文献:

[1] Bolt P H, Batazzi D, Belfiore N P, et al. Damage resistance and roughness retention of work rolls in cold rolling mills [J]. Revue de Métallurgie, 2010, 107 (6): 245 - 255.

[2] Sun W H, Li H C, Tieu A K. A study on corrosion wear of cold rolling work roll [J]. Advanced Materials Research, 2014, 871: 152 - 158.

[3] 唐广银，周才东，张义静. 高耐磨锻钢冷轧工作辊 [J]. 金属加工: 热加工, 2012, (15): 42 - 44.
Tang G Y, Zhou C D, Zhang Y J. High wear resistance forged steel cold work roll [J]. MW Metal Forming, 2012, (15): 42 - 44.

[4] 王爽，刘大琦. 锻造冷轧工作辊材料的发展 [J]. 金属加工: 热加工, 2013, (5): 70 - 72.
Wang S, Liu D Q. Development of forged work roll material [J]. MW Metal Forming, 2013, (5): 70 - 72.

[5] 尹钟大，刘德富，徐德祥，等. 锻造半高速钢冷轧工作辊的试制 [J]. 特殊钢, 2005, 26 (4): 40 - 41.
Yin Z D, Liu D F, Xu D X, et al. Pilot production of forged semi-high speed steel working roll for cold rolling [J]. Special Steel, 2005, 26 (4): 40 - 41

[6] 徐咏梅. 锻造及热处理工艺对 MC5 冷轧辊坯缺陷与组织性能的影响 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
Xu Y M. Effects of Forging and Heat Treatment Process of MC5 Cold Roll Blank Defects and Structure Property [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.

[7] 马雪飞，姜君，李红雷. 基于动态材料模型的 Cr8 钢的热加工图 [J]. 锻压技术, 2019, 44 (1): 166 - 170.
Ma X F, Jiang J, Li H L. Hot processing map of Cr8 steel based on dynamic material model [J]. Forging & Stamping Technology, 2019, 44 (1): 166 - 170.

[8] 徐咏梅，岳喜军，刘英武. Cr6 冷轧工作辊用钢的开发试制 [J]. 特钢技术, 2009, 15 (4): 9 - 10.
Xu Y M, Yue X J, Liu Y W. Development and trial production of Cr6 steel for working roller in cold rolling process [J]. Special Steel Technology, 2009, 15 (4): 9 - 10.

[9] 郭婧. 新型冷轧工作辊用钢中碳化物研究及轧辊锻造数值模拟 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014.
Guo J. Carbide Investigation of a Novel Steel for Cold Work Roll and Roll-forging Simulation [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014.

[10] 刘利刚，李强，郭婧，等. 一种新型冷轧工作辊用高速钢的热变形行为 [J]. 材料热处理学报, 2012, 33 (8): 89 - 95.
Liu L G, Li Q, Guo J, et al. Hot deformation behavior of a novel high speed steel for cold mill work roller [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2012, 33 (8): 89 - 95.

[11] Guo J, Liu L G, Li Q, et al. Characterization on carbide of a novel steel for cold work roll during solidification process [J]. Materials Characterization, 2013, 79: 100 - 109.

[12] Guo J, Liao B, Liu L G, et al. Forging limit of a novel high-speed-steel cold work roll based on ductile fracture criteria by finite element model [J]. Materials and Design, 2013, 52: 1027 - 1034.

《锻压技术》读者信息反馈卡声明

《锻压技术》杂志自 2008 年起设立“读者信息反馈卡”，旨在加强刊物与读者的交流，促进刊物质量的提高，并竭诚为读者服务。反馈卡填写要求：内容填写完整、没有遗漏，提供的信息准确、详细，字迹书写清晰、整洁。如收到的反馈卡内容填写不完整，字迹不清、无法辨认，通讯地址模糊、不详细等，编辑部将不予邮寄杂志，特此声明。

“读者信息反馈卡”1 ~ 12 期刊登，位置在正文后，请读者注意查看，以免遗漏。

《锻压技术》编辑部

《锻压技术》郑重声明

为充分尊重作者权益，坚决抵制学术不端行为，积极倡导优良学风，努力为学术创新营造良好氛围，本刊郑重声明：对一稿多投，重复发表，存在署名有争议，引用他人著述未注明出处，抄袭、剽窃、弄虚作假，或以上情况的变相形式等学术不端行为的文章，坚决拒绝刊登。一经发现，立即撤稿，并由本刊视情节轻重给予书面警告、拒绝刊登有其署名的稿件、通知其所在单位等处理。轻者给予 3 ~ 5 年不允许刊发其论文的处罚，情节严重者，将以适当方式予以公布，该作者的论文永久不得刊用。

《锻压技术》编辑部

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高温合金导板的析出相与使用寿命的研究

周建波[1], 张锡祯[2], 常林林[2], 李丁卯[2]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院, 天津 300402; 2. 天津机辆轨道交通装备有限责任公司 技术开发部, 天津 300232)

摘　要:采用 OM、SEM 对国内外铸造成型的热轧无缝钢管孔型控制用导板进行组织观察,对其基体和析出相的化学成分进行了 EDS 分析,发现直接铸造成型工艺制备的导板无法形成典型 Cr 的碳化物,从而直接影响了导板的使用寿命。这说明形成典型碳化物能提高导板的使用寿命。

关键词:高温合金;导板;析出相;使用寿命

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 2016. 14. 016

中图分类号:TG 131　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001-3814(2016)14-0059-02

Research on Precipitate Phase and Service Life of Superalloy Guide Plate

ZHOU Jianbo[1], ZHANG Xizhen[2], CHANG Linlin[2], LI Dingmao[2]

(1. Department of Mechanical & Electrical Engineering and Automation, Tianjin Professional College, Tianjin 300402, China; 2. Technology Development Department, Tianjin JL Railway Transport Equipment Co., Ltd., Tianjin 300232, China)

Abstract: The microstructure of hot rolled seamless tube groove controlling guide plate in domestic and foreign casting formation was observed by OM and TEM. The chemical composition of matrix and precipitate phase of the guide plate was analyzed by EDS. It is discovered that it is not able to form typical carbide of Cr in direct cast forming guide plate. Because of no typical carbide forming, the service life of the guide plate can be influenced, which shows that the service life of the guide plate improves by forming typical carbide.

Key words: superalloy; guide plate; precipitate phase; service life

热轧无缝钢管时,导板的工作环境十分恶劣,其工作表面温度高达 1100℃左右,同时还要承受钢坯的热冲击、摩擦、挤压以及冷却水的激冷等[1]。

目前,国内质量较好的导板,一次穿管 2600 支以后发生失效，而较差的导板大体穿管 1600 支失效,有时甚至更低。一旦失效,无缝钢管生产就要中断，严重影响无缝钢管的产量和质量。每个导板单价成本近万元,导板失效修复起来难度较大,给企业带来很大的经济损失。通过对导板的成分、组织和现场实际生产情况进行分析，发现导板表面耐磨性优劣对于提高其使用寿命具有重要影响。

1　试验材料与方法

将原料配好进行冶炼,然后铸造成型,完成后续机械加工使之最终成型。这样导板在使用条件下主要为铸态。试验选择了三种导板,化学成分见表 1。表 1 中 1# 为进口的导板,2#、3# 为国内制造的导板。利用 AXIO 电子金相显微镜、Hitachi-S-3400N 扫描电镜和附带的能谱仪对以上三种导板的成分和组织进行了分析，同时在实际热轧无缝钢管生产线上进行了使用寿命测试。

表 1　导板材料的化学成分(质量分数,%)

Tab.1　Chemical composition of guide plate materials(wt%)

序号	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe
1#	0.94	0.019	0.009	1.35	0.76	27.09	46.66	4.12	余量
2#	0.92	0.023	0.009	0.57	0.20	27.68	50.78	4.05	余量
3#	1.02	0.016	0.010	0.71	0.30	29.80	50.21	3.67	余量

1#:国外导板,2#:国内导板,3#:国内导板

2　试验结果与分析

2.1　三种导板金相组织分析

图 1 分别为表 1 中三种导板的金相组织。从图 1 不难看出,3 种导板金相组织特征相近，均是在基体组织上分布着一些颗粒，区别主要是这些颗粒的分布状态不完全一致，由于合金为高镍铬成分且为

收稿日期:2015-05-11

基金项目:天津市应用基础与前沿技术研究计划(一般项目)

作者简介:周建波(1964–),男,天津人,教授,高级工程师,工学硕士,主要研究方向:高温合金的力学行为和高等职业教育改革;

电话:022-60585156;E-mail:jzhouianbo@163.com

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

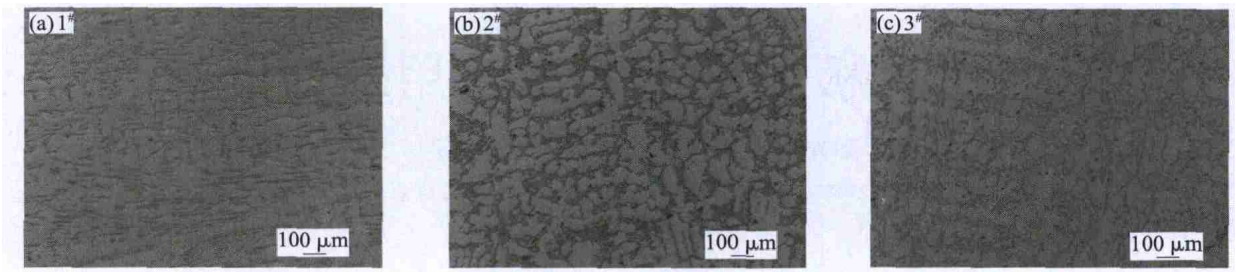


图 1 铸态合金的组织

Fig.1 Microstructure of as-cast alloy

铸态，所以基体相为奥氏体[2]。而在基体组织上分布的颗粒是合金元素在铸造凝固过程中，逐渐析出而形成的，有可能是固溶体，也有可能是碳化物，无论是固溶体还是碳化物，这些颗粒主要起强化作用。国外的导板即图 1(a)中形成的颗粒明显具有方向性，而国内导板图 1(b)、(c)析出的颗粒基本没有方向性。表明国内外导板合金制备工艺上可能有些区别。

2.2 三种导板 SEM 断口分析

对三种导板进行了热轧无缝钢管现场生产测试，测试的结果均不太理想，1#、3# 导板大体在 1500 支断裂，2# 大体在 1600 支断裂，与比较理想的 2600 支断裂均有一定距离。这表明这三种导板合金组织没有达到理想情况下的组织状态。对三种导板断口进行了 SEM 组织分析，见图 2 所示。从图 2 不难看出，1# 导板属于典型的脆性断裂，2# 导板的断口有一些韧窝，具有一些塑性断裂特征，3# 导板介于两者之间。总体上看，这样的导板由于韧性相对较差，很难达到令人满意的使用效果。

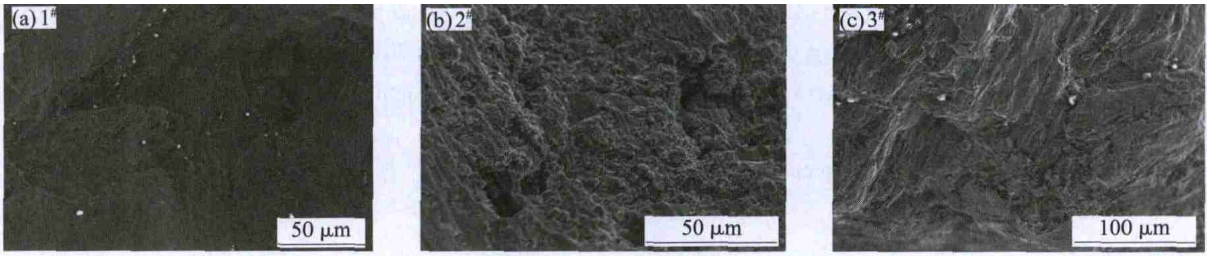


图 2 导板断口的 SEM 组织照片

Fig.2 SEM images of fracture of guide plate

2.3 三种导板基体的 EDS 分析

为搞清楚以上结果产生的原因，对三种导板基体进行了能谱分析，结果如表 2 所示。可看出，三个导板的基体成分还是基本相近的。研究中更为关心的是在基体上的强化相成分是否是典型的碳化物，因为这直接关系到导板的耐磨性，为此进行了三种导板强化相的成分分析。

表 2 三种导板基体 EDS 分析结果(原子分数%)

Tab.2 EDS analysis results of three guide plate matrixes (at%)

元素	1#	2#	3#
Cr	20.35	22.52	22.93
C	17.06	15.12	12.85
Fe	20.52	17.32	15.76
Ni	41.66	44.48	47.94
W	0.4	0.56	0.52

2.4 三种导板强化相的 EDS 分析

对三种导板强化相形貌进行观察，见图 3。对图 3 中强化相进行了定点成分分析，结果见表 3。如果认为基体上的强化相为典型 Cr 的碳化物的话，则按照绝对含量计算，1# 板为：Cr1.69C；2# 板为：Cr1.89C；3# 板为 Cr1.88C。三种情况下的计算结果相近，表明此强化相尽管主要由 Cr 和 C 组成，但还不是一个典型的 Cr 的碳化物。不过，从强化相的元素含量可看出，其主要成分还是由 Cr、C 组成，虽然没有形成典型的碳化物，但是可以说是 C 在 Cr 中形成的固溶体，同样具有强化效应。

尽管这些导板中形成的强化相为固溶体，而且固溶强化也是合金强化的主要方式，但是与碳化物的强化效果比，还是较差。有文献报道，如果合金中形成了 Cr_7C_3 即 M_7C_3 类型的碳化物，则强化效果更加明显[3]。总的说来，由于强化相不是典型的碳化物类型，这样的导板表面就不会非常耐磨，从而在实际生产上，就会产生过早的失效，这样的情况在实际生产中得到了验证。

(下转第 63 页)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

偏转或弯曲。可观察到,层错已经开始越过 xz 方向的标记原子层。空洞上部两层错之间的标记原子层与原标记层发生“断裂”,并且层错带和标记原子层相交处以内的标记原子层由“弯曲”变直,空洞也逐渐愈合。

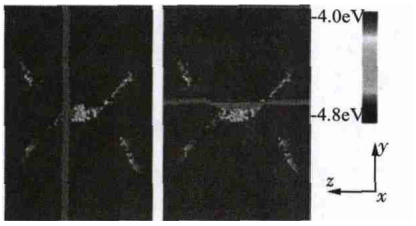


图 7 10.5 ps 时空洞周围原子形态

Fig.7 Atomic states around the spherical void at 10.5 ps

在时间达到 11.5 ps 时,层错带继续沿着密排面向外发散,空洞最终愈合。空洞消失后,晶体中分布着位错网和小的空洞,如图 8 所示。

2.2 空洞愈合机理

空洞在 8.5ps 时,应力达到 12.0 GPa,空洞周围开始发射位错环,表明空洞能发射位错的临界压应力为 12GPa。伴随着位错环,孔洞周围原子能量也跟着升高,出现层错带。持续受压,使得两层错带之间原子沿着受力方向向空洞方向运动,导致空洞在受压方向变小。垂直于受力方向,由于空洞端部原子能量较高,挤压后端部有原子持续向空洞中填充,导致在垂直于空洞方向空洞变小,最终空洞在三维方向上变小直到消失。位错的产生和运动在空洞愈合中起着至关重要的作用。

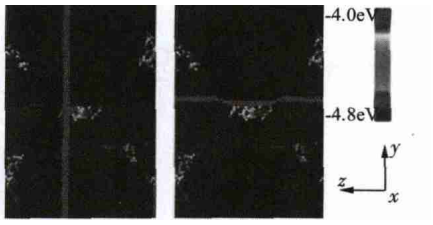


图 8 11.5 ps 时空洞周围原子形态

Fig.8 Atomic states around the spherical void at 11.5 ps

3 结论

通过本模拟可知,对单晶钛施加压应力可使内部球形空洞愈合。在晶体受压时,晶体中的球形空洞开始变扁,呈椭球状。但当压力达到临界压应力时,椭球形空洞的长轴端部发射位错环。伴随着位错环的发射,球形空洞周围出现堆垛层错,层错随着位错环变大,层错范围增大。在受力方向层错内原子层向空洞移动导致受力方向上空洞尺寸变小,垂直于受力方向上空洞端部原子受挤压,并沿垂直受力方向向空洞运动,最终使得空洞空隙变小,直至最后愈合。

参考文献:

[1] 赵晓鹏,周本濂,罗春荣,等. 具有自修复行为的智能材料模型[J]. 材料研究学报,1996, 10(1):101-104.

[2] 韦东滨,韩静涛,谢建新,等. 金属材料内部损伤愈合研究进展[J]. 材料导报,1999, 13(6):10-11.

[3] Zhou B L. Biomimetic study of composite materials [J]. JOM, 1994, 46(2):57-62.

(上接第 60 页)

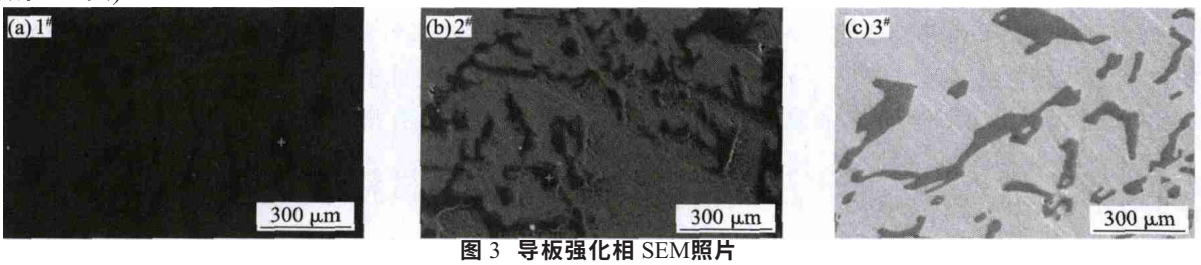


图 3 导板强化相 SEM照片

Fig.3 SEM images of strengthen phase of guide plate

表 3 导板强化相 EDS 成分分析结果(原子分数%)

Tab.3 EDS analysis results of strengthning phase of guide plates(at%)

元素	1#	2#	3#
Cr	59.06	61.77	62.54
C	34.64	32.63	33.28
Fe	4.25	3.42	2.63
W	0.68	0.46	0.47
Ni	1.38	1.73	1.09

3 结语

(1) 直接铸造成型的导板基体上的强化相还不是典型的碳化物,属于 Cr 的固溶体,其强化效应较 Cr 的典型碳化物还有较大差距。

(2) 如何在铸造完成通过后期热处理工艺,形成典型碳化物,对于提高导板的使用寿命有重要影响。

参考文献:

[1] 马彦明,刘金海. 高温合金导板失效分析[C]//2008 中国铸造活动周论文集. 2008:614-617.

[2] 付寒光. 变质处理高速钢轧机导板的研究和应用 [J]. 钢铁, 2002, 37(S1):454-457.

[3] 吴晓俊,邢建东,付寒光,等. 高铬白口铸铁初生碳化物细化的研究进展[J]. 铸造,2006,55(10):999-1002.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高校党委教师工作部职能定位研究

天津职业大学　　司　炜

摘　要：为加强教师思想政治工作和师德师风建设，完善“大思政”工作格局，深化党对高校的全面领导，各高校相继增设党委教师工作部这一新部门。本文在分析高校党委教师工作部设置情况及存在问题的基础上，对其统筹教师思想政治工作、牵头师德师风建设、助力教师职业发展等职能作用进行了梳理分析。

关键词：高校　党委教师工作部　职能定位

文章编号：ISSN2095-6711/Z01-2019-17-0044

DOI:10.16534/j.cnki.cn13-9000/g.2019.1922

随着高校内设机构改革的不断深化，党委教师工作部作为高校普遍增设的一个部门，得到越来越多的关注。尽管是新生事物，但其承载的主要职能，如教师思想政治工作、师德师风建设、教师发展等一直以来都是高校思想政治工作及人才队伍建设的题中应有之义。但在多数高校原有的内部治理体系中，宣传部门、人事部门、教务部门等均不同程度承担相关职能，牵头抓总的责任不甚明确、职能边界不够清晰，开展工作的针对性和实效性也不是很强。相较于体制机制、制度体系及管理模式已经非常成熟完善的党委学生工作部门来说，部分高校在思想政治工作的“供给侧”一方，即教师的思想政治教育方面，仍然存在薄弱环节甚至“真空地带”。教师承担着教书育人的神圣使命，作为传道者首先自己要先明道信道，而教师思想政治工作的重视程度不够、顶层设计和统筹谋划不足、制度机制建设不够健全完善等问题，显然不利于教师思想政治素质的持续有效提升。要解决这些长期以来因为重视程度不足、体制机制不畅导致的教师思想政治教育不同程度弱化等问题，专门成立一个主要承担该职责的党委职能部门，既是必要举措，也是有力保障。

一、高校党委教师工作部设置情况分析

尽管各中管高校及地方院校相继成立了党委教师工作部，但机构设置情况不尽相同。据调研，主要分为五种设置形式。第一种是独立设置，如天津财经大学；第二种是与人事部门合署办公，如中南大学；第三种是与党委宣传部门合署办公，如华中农业大学；第四种是与党委组织部门合署办公，如南京农业大学；第五种是与教师发展中心合署办公，如西南交通大学。五种设置情况实际上可以划分为两种模式，一是独立设置，二是合署办公，两种模式各有利弊。例如，独立设置模式，职能定位相对清晰，主要承担教师思想政治工作和师德师风建设，同时部门精力相对集中，不容易出现在部门内上述职责工作被边缘化的情况；但独立设置的党委教师工作部在利用其他部门已有资源方面，显然不具备合署办公模式固有的优势条件。同理，合署办公模式，一方面在资源共享、制度衔接、协同发展等层面具有一定的天然优势，另一方面也能够节约人员编制，避免新增机构可能会导致的职责交叉、多头管理、政出多门等问题，但合署办公模式较为容易落入以往教师思想政治工作和师德师风建设的职能被弱化、边缘化的窠臼之中。尽管两种模式、五种形式均各有利弊，但党委教师工作部这一新部门的设立，无疑对于各高校聚焦立德树人之根本、完善“大思政”工作格局、加强党对高校的全面领导，具有不可替代的重要作用。

二、高校党委教师工作部存在问题分析

全国各高校成立党委教师工作部门的时间均较短，由于是新设机构，没有现成的建设经验可循，通过调研发现，目前主要存在以下问题。一是职能定位相对不够明晰，这种情况在合署办公设置模式的党委教师工作部门比较凸显，有教师思想政治工作和师德建设职能仍然不够突出和被边缘化的情况，也有教师管理服务职能与其他部门存在职能交叉的问题，一定程度上均对新部门的工作开展及建设成效造成影响。二是少数党委教师工作部在履行职能过程中，缺乏顶层设计和统筹谋划，重点工作聚焦不准，制度机制建设亟待健全完善。三是有的党委教师工作部抓教师思想引领、抓师德建设、抓教师发展三者之间缺乏有机结合，形成了“两张皮”或“三条线”，不善于抓住融合点与切入点来协调推进。四是有的情况下工作方法陈旧、措施单调，尽管成立的是新部门，但教育方式、活动形式、工作模式等，都还是“老调调”。由于工作的吸引力和实效性都不够强，导致新部门的职能作用发挥不畅不佳，在广大教师中的感召力和影响力还有很大的提升空间。

三、高校党委教师工作部职能定位分析

1. 统筹教师思想政治工作。当前，高校教师思想政治素质状况总体良好，思想主流积极向上，但仍有极少数教师在价值判断、选择、塑造能力等方面存在一定问题。另外，部分教师在满足青年学生对高质量思想政治教育需求上不同程度存在供需不平衡现象，思想政治教育缺乏针对性实效性，学生的积极性、主动性和创造性很难被有效调动和充分激发。如果授课教师自身的思想政治素质“不达标”，或缺乏对思想政治工作规律性和学生成长成才规律性的理性认知与实践把握，忽略或不擅于对学生思想困惑与内在需求进行科学研究都很难实现课堂教学作为育人主渠道的功能作用。长期以来，有的高校在教师政治理论学习制度、教师社会实践锻炼制度等教师思想政治工作制度落实上，存在薄弱环节或形式主义倾向，教师理论学习缺乏计划性、互动性和吸引力、感

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

染力，可以说这种状况一定程度上导致部分教师在脑海中形成了理论学习“虚、空、浅”的印象，“守好一段渠、种好责任田”的育人意识和育人能力明显不足，所以产生了“重科研、轻教学，重学科、轻育人”的现象。要从根本上解决上述认识误区和行动偏差，加强教师的思想政治工作应该是先导和基础。

党委教师工作部应该协助党委承担起教师思想引领的使命与职责，统筹协调好教师思想政治工作，积极引导高校教师准确把握新时代新思想的深刻内涵，自觉践行社会主义核心价值观，主动融会贯通于教育教学实践活动中，包括横向上牵头贯彻落实高校教师思想政治工作的决策部署，制定规划并组织实施；负责建立健全教师政治理论学习制度，加强教师的思想政治教育和职业道德教育；负责引导支持教师立足实际参与社会实践，通过学习考察、调查研究、志愿服务、挂职锻炼等方式，深入了解新时代党情国情社情民情，增强教师思想政治工作的针对性实效性。针对高校专业课程育人功能弱化问题，党委教师工作部还要协助教务部门，在提升教师思想政治素质的基础上，深入挖掘提炼各类专业课程所蕴含的思政要素和德育功能，着力推进“课程思政”建设，充分发挥课堂教学育人主渠道的作用。

2. 牵头师德师风建设。党委教师工作部的师德建设职能与思想引领职能是相辅相成的，两者共同构成其作为党委职能部门的两大基础与核心功能。师德建设职能包括六项内容:

第一，创新师德教育。党委教师工作部应该将师德教育摆在师德建设的首位，以“四有好老师”“四个引路人”“四个相统一”为标准要求，加大师德养成教育，作为教师培训课程的必修模块，贯穿教师教育和职业生涯的全过程。针对不同群体开展内容丰富、形式多样的师德教育活动，如举行新教师入职宣誓仪式和老教师的荣休仪式；组织开展师德传承结对活动，发挥优秀教师的师德榜样影响力；建立师德教育专家库，定期邀请师德先进典型与一线青年教师进行互动交流，激励广大教师见贤思齐。

第二，加强师德宣传。把师德宣传作为高校宣传思想工作的重要组成部分，组织开展师德报告会、经验交流会等各级各类师德宣传活动；充分利用校园内外媒体，广泛展示优秀教师感人事迹，大力宣传新时代优秀教师爱岗敬业、精益求精、默默奉献的生动形象。

第三，健全师德考核。建立教师招聘和人才引进师德考察机制，严把高校教师“入口关”；建立教师师德档案，把师德考核作为高校教师考核的重要内容，完善师德考核指标体系，推行师德负面清单制度，严格执行师德“一票否决”。

第四，完善师德监督。建立师德投诉举报平台，健全高校、教师、学生、家长、社会等广泛参与的师德监督体系；建立师德研判、重大问题报告及师德舆情快速反应机制，动态掌握师德状况，有针对性地改进提升。

第五，强化师德激励。师德表现应该作为各级各类评奖评优的首要条件，建立教师荣誉体系，加大师德表彰力度，深入发掘选树和培育一批师德先进典型，发挥其引领带动作用，促进高尚师德蔚然成风、薪火相传。

第六，加强惩处问责。高校亟待结合实际建立健全师德失范行为受理与调查处理机制，明确党委教师工作部门的统筹协调职责及组织、人事及纪检监察等部门的协同配合职责，同时明确受理、调查、认定、处理、复核、监督等处理程序。坚持权责对等、分级负责、层层落实、失责必问、问责必严的原则，对高校相关责任单位和责任人不履行职责或不正确履行职责的，按照职责权限和责任划分进行严肃问责。

3. 助力教师职业发展。教师是高校的主体，也是高校改革发展的主力军，教师的参与、创造和奉献是高校落实好立德树人根本任务的基石。党委教师工作部应该做好教师发展指导服务工作，充分尊重教师的主体地位，坚持以人为本，把对教师的素质能力要求与满腔热情、积极主动地关心服务教师结合起来，让广大教师安心、热心、舒心、静心从教。一是建立健全教师发展制度，积极构建完整的职业发展体系，引导广大教师做好职业生涯规划、明确个人成长路径，助力教师的可持续发展。二是建立健全教师培养培训体系，广泛搭建教师成长发展的平台，立足新入职教师、青年骨干教师等不同层次的教师群体特点，有针对性地组织开展培训研修活动，着力提高教师专业能力；建立青年导师制度和传帮带机制，加强教研室等学习共同体及教学团队建设，帮助青年教师全面提升教学水平，培育教育教学生力军。三是切实关注教师的工作生活和成长发展，不断完善教师服务保障体系，帮助其解决合理诉求与实际困难，关心教师身心健康，克服职业倦怠，千方百计为广大教师排忧解难。在履行教师发展服务职能中，党委教师工作部需要妥善处理好与人事部门、组织部门、教务部门及工会组织等部门之间存在的职能交叉问题，一方面既要找准职责定位，不逃避、不推诿，另一方面又要加强沟通交流与协同配合，完善定期磋商和联动机制，共同助力教师职业发展。

参考文献：

[1]习近平在全国高校思想政治工作会议上强调：把思想政治工作贯穿教育教学全过程 开创我国高等教育事业发展新局面[N].人民日报，2016.12.09

[2]习近平在全国教育大会上强调：坚持中国特色社会主义教育发展道路 培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人[N].人民日报，2018.09.11

[3]中共中央国务院关于全面深化新时代教师队伍建设改革的意见[N].人民日报，2018.01.20

[4]林志华.现代大学制度对高校党委的新要求探微[J].思想教育研究，2013

[5]熊继承，李　维.浅谈民办高校党委如何发挥政治核心作用[J].长沙铁道学院学报（社会科学版），2013

[6]张银付.加强高校党委领导的切入点和着力点[J].人民论坛，2012

[7]卢振环.明确高校党委在深化改革中的重要职责[J].中国高等教育，1992

[8]刘建德.对高校党委工作职能转变的思考[J].高等教育研究，1988

[9]刘超美.中优化高校党委职能 深化高等教育综合改革[J].国高等教育，2014

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高职成果导向的教学设计与实施

邹吉权，刘晓梅，牟信妮

（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：国际工程教育认证三大协议即《华盛顿协议》《悉尼协议》和《都柏林协议》，均将成果导向教育理念纳入其中，遵循以成果为导向、以学生为中心和持续改进三大理念，是我国当前工程教育改革的潮流和方向。目前，我国虽未加入《悉尼协议》，但很多高职院校均开展了基于《悉尼协议》成果导向的教育教学改革。结合《悉尼协议》认证要求，系统阐述了成果导向的教育理念、教学设计与教学实施，深入探讨了成果导向的教育目标、毕业要求、课程体系、教学实施之间的关系和设计原则，以期为高职院校成果导向的教育教学改革提供参考和借鉴。

关键词：工程教育；成果导向；教学设计；教学实施

中图分类号：G719.21 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9290(2018)0020-0026-07

一、成果导向教育理念及国际工程教育认证协议

成果导向教育理念于20世纪80年代由斯派迪（William G. Spady）提出，该理念核心为成果导向、以学生为中心和持续改进；其逻辑架构基础是：每个学生都可以成功，并且认为“成功是成功之母”，学校应为每个学生找到成功方法。该理念主张学生在真实情境中带着问题去学习，通过同伴学习、探究训练提升学习主动性、自觉性和积极性，从而实现对知识的真正理解，而教师起促进、推动作用。成果导向教育理念坚持清楚聚焦、逆向设计、高度期许、扩展机会等4个设计原则。

国际三大工程教育认证协议将成果导向教育理论和实践纳入其中，《华盛顿协议》《悉尼协议》和《都柏林协议》3者均面向工程人才的培养，但在解决问题范畴、工程活动范畴、知识要求、毕业素质要求、职业能力要求上有深度和广度等方面的



图1 国际工程教育认证协议对比

收稿日期：2018-06-20

基金项目：天津市教育科学“十三五”规划课题“职业教育产教融合的国际比较研究”（项目编号：VE3135，主持人：邹吉权）；天津市教育科学十三五规划重点课题“天津高职院校产教融合育人机制研究”（项目编号：VE1046，主持人：刘斌）

作者简介：邹吉权（1965—），男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士，主要研究方向为职业教育。

差别，图1给出了三大工程协议在工程面向、知识深度、知识广度、人才类型、岗位类型、学习周期以及教育层次等方面的对比情况。

二、成果导向的教学设计

成果导向的教学设计以立德树人为根本，坚持逆向设计原则，如图2所示。

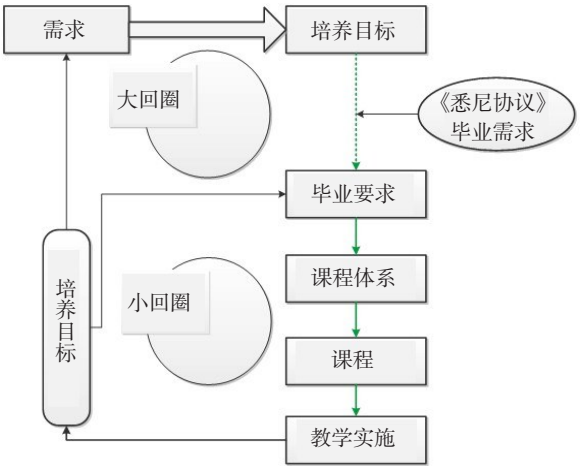


图2　成果导向的教学设计

第一步，需求调研。需求是确定培养目标的依据，因此需要全面、准确调研内外部需求。外部需求包括国家教育方针、政策以及相关法律法规，行业、产业发展及职场需求，学生家长及校友的期望等；内部需求包括学校定位及发展目标，学生发展及教职员工期望等。第二步，根据需求确立培养目标。培养目标是对学生毕业后3~4年能够达到的职业和专业成就的总体描述。第三步，根据培养目标确定毕业要求。毕业要求也叫毕业生核心能力，是对学生毕业时所应该具备的知识、技能、态度的具体描述，是学生完成学业时应该取得的学习成果。[1]第四步，根据毕业要求构建课程体系。课程体系必须完全能够支撑毕业要求的达成，涵盖所有的核心能力。第五步，根据课程体系设计课程。毕业要求的实现最终要落实在每一门课程上，因此，针对该课程所覆盖的核心能力系统设计课程大纲、教学内容、知识呈现的方式及顺序、教学策略、教学组织方式以及评价方式。第六步，教学实施。教学实施是成果导向教学的核心环节，实施过程中必须坚持以学生为中心，坚持任务驱动和问题导向，让学生在真实的情境中学习。第七步，评价与持续改进。评价是成果导向教学的关键环节，是持续改进的依据。评价包含培养目标到课程的每一个环节，既有宏观层面的，也有微观层面的，宏观层面主要指教育目标和毕业要求，评价指标为符合度和达成度，评价的方式为直接评价和间接评价相结合。培养目标的符合度是指它是否与需求一致，毕业要求的符合度是指其与培养目标的符合程度，可通过重要程度指标衡量；培养目标的达成度是指是否实现了预期的教育目标，学生毕业3~4年后是否达到了相应的专业和职业能力，毕业要求的达成度是指应届毕业生是否具备了相应的核心能力，可通过课程评价及应届毕业生调查来评价。

三、成果导向的教学实施

（一）成立相关机构

首先需要成立校、院、专业三级“成果导向教育咨询委员会”，以推动成果导向的教学实施。校级委员会的校内代表应包含校领导、教务管理人员和教师代表，校外代表应包含行业企业专家、校友以及教育专家，而二级学院和专业咨询委员会代表包含教师代表（含学院领导和教研室主任）、行业企业专家、校友和同行专家。代表的构成人数参见表1。咨询委员会负责培养目标的确定、毕业要求的制订、课程体系的审核、教学条件的配备以及教学实施过程的监控。

表1　成果导向教育咨询委员会人员构成

	人数	人员构成					
		校领导	教务管理人员	教师代表	行业专家	校友代表	同行专家
校	19	2	2	8	4	2	1
院	13			8	3	1	1
专业	7			3	2	1	1

（二）培养目标的确定

培养目标是对学生毕业3~4年后能够达到的职业和专业成就的总体描述，培养目标要描述精准、内涵明确、条理清晰。校级咨询委员会根据需求调研结果，初步确定学校培养目标，之后在学校师生、校友、行业企业广泛征求意见，经民主评议，最终形成学校的培养目标。学校培养目标确定要以立德树人为根本，基于学校的办学理念、办学定位和办学思路，符合教育教学规律。既要考虑学

生当前就业需要，又要考虑学生长远发展；既要考虑教育的社会性，又要考虑教育的人本性；既要符合党和国家的教育方针、政策，又要适应国家和区域经济社会发展。学校层面的培养目标更关注学生的通用知识、社会能力、道德修养的培养，由学校统一规划通识课程。二级学院的培养目标主要从专业群的角度考虑，要体现专业链和产业链的对接，并根据学院培养目标规划专业群平台课程。专业培养目标重点关注行业、企业、用人单位、校友等群体的需求。

确定培养目标的关键是做好需求调研，需求调研的形式包括调查问卷、访谈、论坛、研讨等，也可以委托第三方机构进行调查。在确立培养目标的过程中要做好痕迹管理，将相关材料和会议记录存档。

（三）毕业要求

确定毕业要求需遵循两个原则：一是毕业要求要能支撑培养目标的达成；二是毕业要求要全面覆盖《悉尼协议》认证标准要求。参照我国台湾地区的高校，毕业要求一般包括知识、技能和态度3个模块，含8~14条，通过调研和民主评议确定每条权重。若毕业要求条目数较少，也可在每条下再设2~3个指标点。在对毕业要求进行描述时，尽量选择较高的认知层次，即多选择“应用”“分析”“评价”“创造”这4个层次，尽量不用“记忆”“理解”这两个层次。

专业的毕业要求除满足培养目标外，还要覆盖《悉尼协议》规定的12条毕业要求（表2），《悉尼协议》12条毕业要求给出了毕业生能力结构框架，各专业应该根据各自的培养目标和定位逐条落实，将其列出的毕业要求变为可评价、可测量的学习产出，将“程度”描述具体。例如，《悉尼协议》毕业要求第三条“设计/开发解决方法”，需描述清楚什么样的“广义工程”？“解决方案”的复杂程度如何？“特定需求”指什么？“适当考虑”的程度等等，只有这样才能将毕业要求变得具体化、可测量。

（四）课程体系构建

1.课程体系

基于成果导向的高职课程体系构建，既要考虑当前行业状况和人才需求情况，又要面向未来

表2 《悉尼协议》毕业要求

序号	类目	毕业要求
1	工程知识	能够将数学、科学、工程基础知识及某个特定专业的工程知识应用于确定的、实用的工程流程、程序、系统和方法
2	问题分析	能够运用适用于所属学科或专业领域的分析工具，定义与分析广义的工程问题，检索相关文献，并得出实证性的结论
3	设计/开发解决方法	能够设计广义工程技术问题的解决方案，设计满足特定需求的系统、部件或过程，并能够适当考虑公共健康、安全、文化、社会以及环境等因素
4	研究	能够对广义问题开展研究；从规范准则、数据库及文献中检索并选择出相关数据，设计并进行实验，以得出有效结论
5	现代工具的应用	能够针对广义工程活动选择和应用适当的技术、资源和现代工程及信息技术工具，包括对广义工程活动的预测和建模，并能够理解其局限性
6	工程师与社会	能够理解专业工程实践和广义工程问题解决方案在社会、健康、安全、法律及文化诸方面涉及的因素与应承担的责任
7	环境与可持续性发展	能够在社会和环境大背景下，理解和评价解决广义工程问题的工程技术工作的可持续性和影响
8	职业道德	能够恪守伦理准则，理解和遵守工程实践中的职业道德、责任及规范，履行责任
9	个人与团队	能够在具有多样性的团队中作为个体、成员或负责人有效地发挥作用
10	沟通交流	能够就广义工程活动与同行以及社会公众进行有效沟通，包括理解和撰写报告、设计文档、做现场报告，理解或发出清晰指令
11	项目管理和财务管理	能够认识和理解工程管理原理，并将其应用于工作中，即作为团队成员和领导者，能够在多学科交叉的环境下进行项目管理
12	终身学习	能够认识在专门技术领域进行自主学习和终身学习的必要性，并具备相应的能力

产业转型升级和技术创新；既要注重技能，又要强调技术；既要重视学生当前就业，又要考虑学生今后发展；既要强调职业性，又要重视高等性；既要强调专业能力，又要关注人文素养。要处理好各门课程之间的前后衔接，科学制订各门课程的学分，同时还要重视第二课堂和隐性课程对学生知识、技能和态度的培养。

毕业要求（核心能力）的知识、技能和态度培养必须通过构建科学合理的课程体系来实现，因此，课程体系要能够完全支撑毕业要求，毕业要求与课程体系的对应关系一般用课程矩阵表达（表3），要详细说明每门课程支撑哪些毕业要求，并要确定各自的权重，每条毕业要求必须有3门以上课程支撑（含Capstone课程），而Capstone课程必须覆盖所有或绝大部分毕业要求，放在表格最后。

表3　课程矩阵

课程	学分	毕业要求1	毕业要求2	毕业要求3	毕业要求i……	合计
预设权重		a1%	a2%	a3%	ai%	100%
课程1	Cre_1	√		√		100%
课程2	Cre_2		√			100%
……						
Capstone课程	Cre_n	√	√	√		100%
实际权重	$\sum Cre_i$	b1%	b2%	b3%	bi%	100%

应用课程矩阵对原有课程体系进行改造，重新构建后的课程体系应满足毕业要求预设权重，即bi%应接近ai%。

2.课程地图

成果导向的课程体系需要给学生提供一个清晰的学习路径，使学生能够根据自己的职业生涯规划去选择就业岗位，同时需要知道该岗位应具备哪些核心能力、修习哪些课程、修课顺序以及各课程之间的关系，这就需要课程地图。[2]课程地图的首要功能是指引学生学习，学生根据自己的能力专长、兴趣爱好和职业生涯规划，按课程地图指引的路径修完高职3年的全部课程，及时进行自我评估，检视自己获得了哪些核心能力，存在哪些不足。其次，课程地图促进课程体系的优化。课程地图清晰呈现出课程间的纵向和横向关系，教师能够明确所授课程在课程体系中的地位和作用，根据学习成果要求来更好地组织教学；教师依据课程地图，查找教学计划、课程内容之间是否存在遗漏和重叠现象，以便及时增加或删减相应内容。第三，课程地图是相关人员进行教学管理和评估的有效工具。

课程地图绘制是成果导向教学设计重要环节，它包括学校、学院、专业、专业方向、就业岗位各个层面，内容涵盖教育目标、核心能力、课程体系、课程大纲、授课进度、教学组织方式等等，是一个十分庞大的系统工程，但核心是专业课程地图。图3是某高职院校模具设计与制造专业课程地图，清晰展现了高职6个学期各主要课程的逻辑关系。

若使课程地图更加具有生命力，关键是要满足学生多样化、个性化需求，有更多的职业方向供学生选择，开设更多的课程供学生选修。同时，充分调动教师的积极性，将课程体系规划的所有课程相关资料（课程覆盖的核心能力、课程资讯、课程大纲、授课进度等）进行完善，去充实课程地图。

（五）课程教学设计

1.课程大纲与单元设计

成果导向的课程大纲包含课程性质与定位、教学目标、教学内容、情境创设、教学评价等内容，编写课程大纲要紧紧围绕其所支撑的毕业要求进行。课程性质与定位要描述清楚其在课程体系中所处的位置，与前置课程和后续课程的关系，培养学生哪些核心能力。教学目标是课程大纲的核心，是其他教学环节设计的依据，所以，教学目标必须明确、具体、可测量，同时教学目标与毕业要求要有明确的对应关系。教学内容设计重点是教学内容的选择和顺序安排，内容选择要保证课程目标的实现，各部分内容与课程目标及毕业要求应有明确的对应关系；顺序安排要符合教育教学规律和学习者的认知规律，由浅入深、由简到繁，循序渐进，并分配好各单元的学时。根据建构主义理论，知识、技能和态度的培养必须在特定的职业情境中开展，因此教师对学习情境的创设至关重要，教师应为学生创设真实的职业情境，体现“教学做”一体，理论与实践相结合，同时有利于激发学生兴趣。课程教学评价是判断学生是否实现

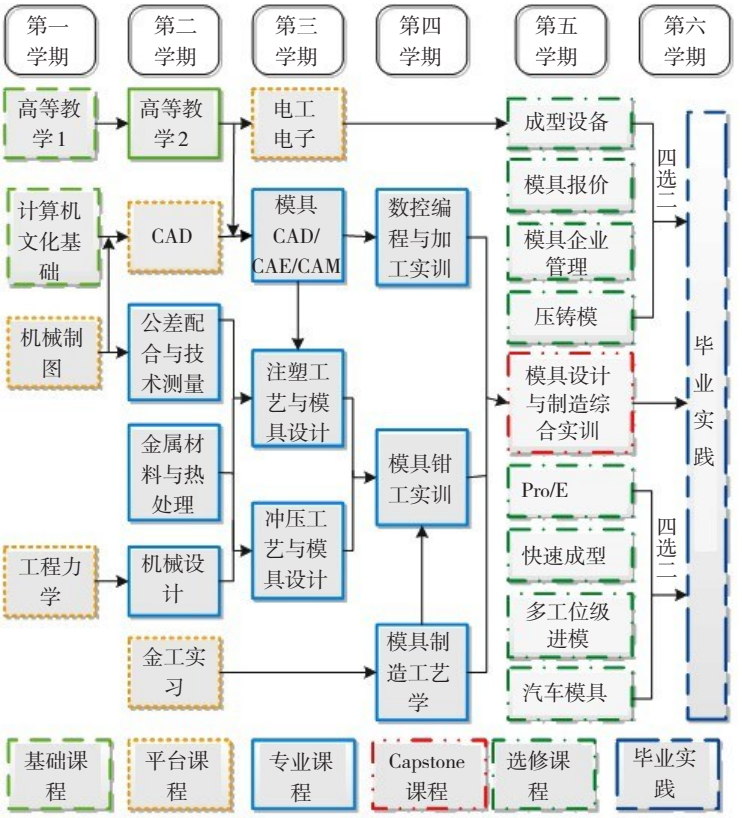


图3　某高职院校模具设计与制造专业课程地图

了该课程的教学目标，应将终结性评价和过程性评价结合起来，以便随时改进教与学，并实现个性化教学。

单元设计包括学生特征分析、单元教学目标、教学内容、教学策略等。学生特征分析是做好单元设计的前提，教师要全面了解特定班级学生的学习状态、认知特点以及知识基础，之后才能制订相应的教学策略，做到因材施教。单元教学目标包括知识、技能、态度（素养）3个方面，并要明确其支撑的课程目标和毕业要求指标。一般将教学活动内容和教学策略结合起来进行设计，其实就是为教学活动设计一个详细的脚本，整体考虑内容顺序安排、学习者活动与组织、教学活动、媒体活动、时间分配等。[3]

2.Capstone课程

1998年，美国卡内基教学促进基金会发表了著名的《博耶报告》，该报告针对美国本科教育知识学习的碎片化等问题，呼吁大学教育要开设Capstone课程（翻译为顶石课程、顶点课程、整合课程等），至今，美国70%的大学都将Capstone课程设置为必修课。[4]国际工程教育认证协议也要求将Capstone课程设置为必修课，设置该课程至少要实现以下3点目标：（1）将过去所学碎片化知识进行整合，强化知识的应用能力，促进专业教育的系统化和综合化；（2）以学生为中心，学生在真实情境中应用所学知识、技能解决实际工程问题，促进学校教育与就业岗位的有效衔接；（3）评价毕业要求（核心能力）的达成度。

Capstone课程强调综合性、职业性、实践性、技术性、创新性，必须覆盖全部或绝大部分毕业要求（核心能力）。Capstone课程基本特征为：需要用较深的综合知识或技能解决一个实际问题，而这个问题没有显而易见的解决方法，需要创新应用专业基本原则及实务才可能解决；问题本身是多面向的，在技术、经济、社会影响等诸多层面可能存在冲突，需要考量现实条件的诸多限制，如人力、成本、设备、材料、资讯及技术等。Capstone课程项目来源可以是企业真实项目、教师科研课题、教师自拟项目，课题的形式可以是产品设计、产品制造（加工、制作）、加工工艺编制、技术分析、调查分析、专题策划、商业计划、创业规划、研究论文等。Capstone课程不仅仅要提升学生的专业能力，还要重视学生通用能力的培养，如以小组合作的形式培养学生的团队合作、沟通交流、职业素养等。总之，Capstone课程就是培养学生将所学知识、技术应用于广义工程实务的能力，尝试解决一个相对复杂且整合性的工程问题。

Capstone课程特别强调教师的指导作用，教师作为学生学习任务的设计者、学习环境的创设者、学习过程的促进者及学习结果的评判者，是课程能否取得预期效果的关键因素，因此，拥有一支专业水平高、认真负责、来源广泛的师资队伍至关重要。Capstone课程强调不能用毕业设计（毕业实践）代替，必须在校内进行，建议在第五学期开设，根据其他国家和地区的经验，Capstone课程为3~9学分，占总学分4%左右为宜。可以集中授课，也

可以分散进行，教学组织上尽可能让学生以分组合作的方式进行。

Capstone课程评价强调全面性、多元性和过程性。全面性是指对课程覆盖的所有核心能力分项打分，并给出权重，最后对各项核心能力得分进行统计，统计结果作为持续改进的依据；多元性是指评价主体的多元，将学生自我评价、同伴评价、指导教师评价、企业人员评价等各种评价结果综合考虑，最终得出总体评价，使评价结果更客观、更公平、更全面；过程性是指将评价贯穿于课程实施全过程，采用中期汇报等形式时时关注课程进程，并进行及时指导，促进学生反思自身的不足，并做出修正，最后将学生的中期报告、最终报告、答辩结果以及作品综合考虑给出最终成绩。

四、以学生为中心的课堂教学

以学生为中心强调以学生的发展为中心、以学生的学习为中心、以学生的学习成果为中心。[5]建构主义理论认为，世界是客观存在的，但对于世界的理解和所赋予的意义却是由每个人自己决定的，人们以自己原有的知识和经验为基础来建构和解释事实。建构主义学习理论强调以学生为中心，学生是信息加工的主体、知识意义的主动建构者，这就要求教师要由知识的传授者、灌输者转变为学生主动建构意义的帮助者、促进者，并创设真实情境，学习者在教师的组织和引导下进行讨论和交流，学生之间互相合作，追求教与学的合作化，共同建立起学习群体。

高职院校面临的普遍问题是，学生的基础较差，学生的学习积极性不高，翘课、上课玩手机、睡觉、发呆、不做笔记、考试作弊、大面积不及格是普遍现象。我们不能因此而抱怨，职业教育的使命正在于此，就是让这些学生通过我们的教育使其得到全面发展，成长为对国家、对社会有用的人。

如何才能做到这一点？关键是教师要深入研究高职教育教学规律和人才成长规律，坚持以学生为中心，要清楚了解学生现有基础，加强与学生的情感沟通，经常进行教学反思，不断追问自己讲的内容是否是学生所需要的？讲课的节奏和知识结构安排是否符合学生的认知规律，能被学生所接受？在课堂上如何更多地让学生参与，调动学生学习的主动性和积极性？如何把学生的惰性知识激活，强化学生知识应用能力？总之，要根据实际情况不断改进教学方法和教学组织方式，坚决摒弃教师“满堂灌”的做法，采用项目化教学、问题导向教学法，增加更多的实践机会，给学生更多的思考机会，实现从“以教师为中心”到“以学生为中心”的转变。[6]

以学生为中心是一场教育理念变革，说起来容易，实施起来难，涉及教师观念的变化和大量精力的付出，因此，必须从学校层面实施，重点做好以下3个层面工作。

1.调查统计分析

对学生的学习状况和课堂表现进行全校调查，如出勤率、上课状态、考试情况等，之后通过问卷调查、座谈会等形式全面了解产生问题的原因，倾听学生和教师的想法，使以学生为中心的教学改革有的放矢。

2.教师的培训

近年来，高职院校更加重视对教师专业技能的培训，而教育学、心理学的培训较少，然而高职院校教师绝大部分非师范院校毕业，对于教学教法的了解非常有限，对于高职教育规律和学生的认知规律也没有深入的研究和反思，相比专业能力，教学能力可能更欠缺，因此，实施以学生为中心的教育教学改革，教师的培训显得尤为重要。教师培训可分两个层次进行，一是邀请国内外教育专家培训教育理念、教育规律、教学方法；二是邀请国内外教育专家、名师培训课堂教学，现场示范。

3.以学生为中心的课堂实施

学校出台实施“以学生为中心”的教学改革文件，教师按自愿原则进行课程改革申报，学校成立课改评价小组，对课改实施过程和最终效果进行评价，通过后给予教师相应的奖励和待遇，以点带面，全校铺开。

五、评价与持续改进

国际工程教育认证协议《悉尼协议》遵循以学习成果为导向、以学生为中心和持续改进三大理

念，主张通过持续不断地改进提高教育质量，保证教育目标的实现。高职院校应健全质量管理机构，建立全面质量管理体系，按照PDCA（计划（Plan）—执行（Do）—检查（Check）—处理（Action））循环管理教育教学全过程，使教学质量管理形成一个闭环。[7]

如图4所示，持续改进包括内部和外部两个回圈，内部回圈调查毕业要求的符合度和达成度，调查对象主要是应届毕业生，可利用毕业答辩学生集中返校的时间进行，毕业要求的符合度主要看其是否能够很好地支撑培养目标，否则要修改毕业要求；毕业要求的达成度主要看学生毕业时是否实现了核心能力的达成，否则要改进教学活动，使其更好地支撑毕业要求的达成。外部回圈主要调查教育目标的符合度和达成度，调查的对象主要是雇主和校友（毕业3年以上），若教育目标符合用人单位和校友的需求，不做修改，否则修改教育目标；若教育目标的达成度不满足要求，则需要不断改进毕业要求和教学活动，使其更好满足内部和外部需求。

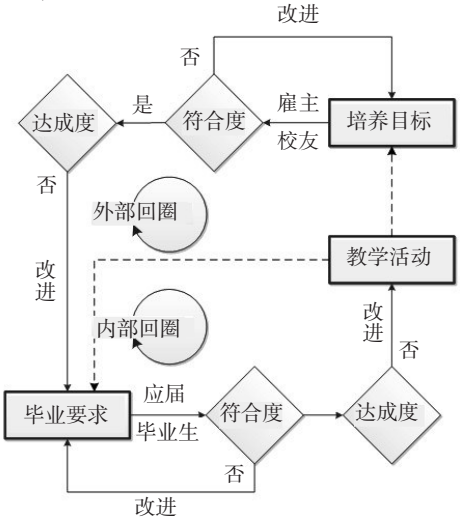


图4　持续改进流程

教学活动包括课程体系、课程、教学过程、师资队伍及实训条件等诸多方面，这也是持续改进的重点，这就要求专业建立一种具有“评价—反馈—改进”反复循环特征的持续改进机制，教师在授课过程中不断进行教学反思，不断改进教学内容、教学组织方式和教学策略，将知识课堂变为学问课堂，将句号课堂变为问号课堂，将灌输式教学转变为研究型教学，着重培养学生的应用能力和实践能力，从而实现教学活动、毕业要求以及培养目标的持续改进，以保障培养的学生达到应有的专业和职业能力，满足产业和社会需求，并实现人的全面发展。

六、结语

以成果为导向、以学生为中心和持续改进是成果导向教学三大核心理念，在实施过程中应时时追问，我们想让学生取得什么样的学习成果？为什么要取得这样的成果而不是那样的成果？我们如何采用有效措施帮助学生取得这些成果？我们如何评价学生是否取得了预期成果？[8]特别强调这些成果应是内化于心的，强调学生对知识的应用能力，强调成果不仅仅是专业知识或职业技能，还应该包括学生的价值观、工程伦理、社会责任以及情感等，不但教会学生“以何为生”，还要使学生懂得“何以为生”。

参考文献：

[1]李志义.成果导向的教学设计[J].中国大学教学，2015，(3)：32-39.

[2]郭士清，庄宇，颜兵兵.基于成果导向与课程地图理念的高校课程规划探究[J].高教论坛，2016，(1)：60-63.

[3]黎华，刘柳.如何进行高职课程的整体设计和单元设计[J].广西职业技术学院学报，2010，(5)：24-26+81.

[4]张学良，李辉.过程取向与自主建构：美国高校顶石课程形态[J].中国高教研究，2017，(3).

[5]刘献君.论“以学生为中心”[J].高等教育研究，2012，(8)：1-6.

[6]卫建国.英国大学以学生为中心的优质教学探析[J].高等教育研究，2016，(10)：104-109.

[7]柳勤，唐水源，冯慧华等.工程教育认证中专业建设持续改进的毕业生跟踪反馈机制构建初探——以北京理工大学机械工程专业为例[J].工业和信息化教育，2017，(3)：1-4.

[8]李志义，朱泓，刘志军，夏远景.用成果导向教育理念引导高等工程教育教学改革[J].高等工程教育研究，2014，(2)：29-34.

高职德智体美劳五育的理念、内涵与实施策略

邹吉权　刘　斌

摘　要　习近平总书记在全国教育大会上指出，要全面贯彻落实党的教育方针，以立德树人为根本，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。审视过去十余年来我国高职教育的培养目标和培养定位，党的教育方针并没有得到全面贯彻落实，德智体美劳五育之间还存在严重的不平衡、不充分和割裂等问题。必须深入探究党的教育方针的理论渊源，明晰德智体美劳五育的内涵与高职特点，厘清德智体美劳五育之间的关系，进而系统构建新时代高职人才培养体系，重点从通识课程体系构建、课堂体系构建、课程思政建设、工匠精神培育等方面落实立德树人根本任务，促进学生全面发展，大力提升人才培养质量。

关键词　高等职业教育；德智体美劳五育；立德树人；通识课程；课程育人

中图分类号　G718.5　**文献标识码**　A　**文章编号**　1008-3219（2020）04-0017-06

一、引言

习近平总书记在全国教育大会上指出：“要努力构建德智体美劳全面培养的教育体系，形成更高水平的人才培养体系。”教育部已经启动“中国特色高水平高职学校和专业建设计划”，高水平高职院校建设必须要有高水平人才培养体系作为支撑，高水平人才培养体系构建必须紧紧围绕“德智体美劳全面发展”这个教育目标，这是我国高等职业教育实现中国特色、世界水平的核心价值所在。

高等职业教育以立德树人为根本，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。但审视过去十余年来我国高职教育培养目标和培养定位，党的教育方针并没得到全面贯彻落实。在德育方面，高职重点强调职业道德和职业素养，但没有形成系统的德育体系，虽然部分高职院校开展了“课程思政”试点，但其深度和广度还存在较大差距。在智育方面，高职院校尚未适应产业转型升级和技术进步带来的新产业、新业态变化，现行的人才培养模式和教育教学方式相对滞后，学生的创新能力和职业技能还不能很好满足职场需求，产教融合亟待深化。在体育方面，还没有把学生的身心和谐发展作为一个整体来把握，体育对其他四育的内在价值尚待挖掘，体育的形式过于单一。在美育方面，高职院校还基本处于空白状态，既没有高雅艺术的熏陶，也没有生活化的审美教育，学生缺少欣赏美、体验美、评价美和创造美的机会。在劳动教育方面，尽管高职学生有劳动技术教育的先天优势，如综合实训、顶岗

作者简介
邹吉权（1965-　），男，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士，研究方向：职业教育（天津，300410）；刘斌（1961-　），男，天津职业大学校长，教授，博士，研究方向：高职教育管理

基金项目
2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”（DJA190347），主持人：邹吉权

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

实习等，但还没有意识到劳动技术教育的重要地位，没有深入研究其对德智体美四育的重要影响，也没有系统的劳育教学设计。

总之，当前高职院校尚未形成德智体美劳全面培养的教育体系，五育之间存在严重的不平衡、不充分和割裂等问题，迫切需要全面贯彻落实党的教育方针，遵循德智体美劳全面发展的教育思想，按逆向设计原则，重新确立高职人才培养目标和毕业生核心能力，系统构建高职课程体系、教材体系、教学体系、评价体系和管理体系，从而形成更高水平的人才培养体系，以实现德智体美劳五育的内在统一和人的全面发展，提升人才培养质量。

二、德智体美劳全面发展的教育理念

新中国成立初期，党的教育方针强调“教育必须与生产劳动和社会实践相结合”“使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展”。1999年，在全国第三次教育工作会议上，将“美育”正式纳入全面发展教育中，之后党的十六大至十九大报告均将德智体美四育并列，并强调教育与生产劳动和社会实践相结合。2018年，在全国教育大会上，习近平总书记强调，坚持把立德树人作为根本任务，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人，明确将劳动教育与其他四育并列，作为人的全面发展的重要组成部分，这一论断是对党的教育方针的重大理论创新。纵观党的教育方针的历史演变，在继承中不断发展创新，其理论基础是马克思关于人的全面发展学说，与其相关的教育理念包括全人教育思潮、人文主义教育观、通识教育理念、素质教育理念等。

在全人教育方面，20世纪70年代，美国教育家Miller Ron正式提出“全人教育”概念[1]，之后他创建了《全人教育评论》，以期把全人教育运动引向一场教育改造运动。1990年，80位学者在芝加哥签署《教育2000：全人教育的观点》，提出全人教育的十大原则，标志着全人教育从一种教育思潮走向一场教育改造运动，迅速传播到北美、欧洲、澳洲和亚洲的一些国家和地区。全人教育的核心思想在于教育培养目标的转变，对传统教育只重视知识传授和技能习得的培养目标提出批评，倡导教育培养完整的人，使人在身体、知识、技能、道德、智力、精神、灵魂、创造性等方面都得到发展[2]。SirousMahmoudi等认为，全人教育包含广泛的哲学取向和教学实践，它重点关注教育的完整性，旨在促进学生个人不同方面（智力、身体、精神、情感、社会和审美）的平衡发展，并处理好个人和他人、个人和自然环境之间的关系，全人教育关注的是生活经验，而不是狭义的“基本技能”[3]。

20世纪70年代以来，联合国教科文组织先后发布了三个对世界教育产生广泛而深远影响的报告，即1972年的《学会生存：教育世界的今天和明天》、1996年的《教育：财富蕴藏其中》和2015年的《反思教育：向“全球共同利益”的理念转变?》[4]，三个报告均强调人文主义教育观，强调“教育应当促进每个人的全面发展，即身心、智力、敏感性、审美意识、个人责任感、精神价值等方面的发展”，强调形成完善的人格是教育宗旨的重要组成部分。

通识教育概念最早由美国帕卡德（A .S .Packard）提出，认为通识教育课程包括古典学、文学和科学等方面的内容，这些内容是学生进行任何专业学习的准备。通识教育既是一种理念，也是一种培养模式，强调不仅培养学生的较强的专业特长和职业能力，还要有通融识见、博雅精神和优美情感。通识教育同样关注人的全面发展，首先是培养人，其次才是培养职业人。

素质教育继承了马克思主义关于人的全面发展思想，同时又具有鲜明的中国本土特色。20世纪80年代后期，针对当时的“应试教育”弊端提出素质教育理念，此后，其理论研究和实践创新不断深入，最终上升到国家战略层面，从基础教育扩展到职业教育、成人教育和高等教育。1999年，《中共中央国务院关于深化教育改革全面实施素质教育的决定》明确指出，实施素质教育，就是全面贯彻党的教育方针，培养德智体美等全面发展的社会主义事业建设者和接班人，必须把德育、智育、体育、美育等有机地统一在教育活动的各个环节中，学校教育不仅要抓好智育，更要重视德育，还要加强体育、美育、劳动技术教育和社会实践，使诸方面教育相互渗透、协调发展，促进学生的全面发展和健康成长[5]。此后，党的十六大至十九大报告中均强调推进素质教育。潘懋元认为，素质教育是全面发展教育的实施策略[6]。眭依凡认为，目前素质教育在大学存在推而不进的问题，其症结在于对素质教育存在思想误区，呼吁大学要以素质教育为价值引领构建人才培养体系[7]。

三、德智体美劳五育的关系、内涵与高职特点

在党的教育方针中，德智体美劳是并列的，但他们的地位和作用是不同的，分属于三个不同层次，见图1。德育、智育、美育属于心理层面的教育，教育的终极目标就是使受教

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

育者形成真善美内在统一的完美人格；劳动技术教育属于培养创造性实践能力的层次[8]，是德智美三育的重要手段；而体育属于生理层面的教育，目标是促进受教育者身心和谐发展，是前四育的基础保障。尽管德智体美劳五育各有自己特定的内容和要求，但是它们又是一个相互制约、相互联系的整体[9]，必须把德育、智育、体育、美育和劳动教育有机地统一在教育活动的各个环节中，在抓好智育的同时，更要重视德育，还要加强体育、美育、劳动技术教育和社会实践，使诸育相互渗透、协调发展，促进学生的全面发展和健康成长[10]。

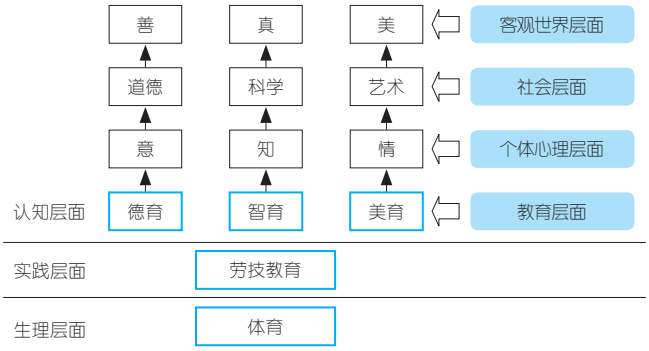


图1　五育的地位、作用

德育、智育、美育对应人的心理认知结构中的意、知、情，在社会文化领域中对应道德、科学和艺术，其价值尺度为善、真、美。在德智美三育中，德育为首，是各育的灵魂和方向。德育的基本职能是教人向善，“善”的最基本含义是指人的行为活动及其结果的合社会的正当性和规范性[11]。我国的教育方针是培养社会主义建设者和接班人，因此，其德育必须符合社会主义核心价值观，使受教育者明大德、守公德、严私德，坚定理想信念、厚植爱国情怀、强化个人品德修养。高职教育的本质属性是职业性和技术性，因此，高职德育还要特别加强职业道德和技术伦理教育，彰显职业文化和技术文化特色。

智育是掌握知识、形成技能、发展智力、养成智慧的教育活动，是其他诸育的基础，追求智慧是智育的终极目的。智育的内涵包括储备结构化、系统化的陈述性知识，训练并习得操作性、程序性的技能，培养分析问题、解决问题以及发明创造的能力[12]，培养学生具有良好的心态，具有较高的品位和境界。高等职业教育培养面向产业转型升级和企业技术创新所需要的发展型、复合型、创新型高素质技术技能人才，强调技术、注重技能、关注创新是高职智育的应有之意，同时高职智育要关注学生智慧的养成，坚持面向未来职场的专业教育理念，关注人工智能、云计算、大数据、物联网等新技术带来的产业与业态变化，以及由此带来的人才培养规格和人才培养模式的变化，培养学生的职场适应能力和融入能力，学会沟通合作，具有较强的服务意识，树立顾客至上的理念。

我国高等学校体育素质教育的内容体系主要有生理、心理和社会三个层面素质教育[13]，体育不但促进学生身心和谐发展，还具有思想素质教育功能。坚持身心和谐发展的体育观，注重体育对德育、智育、美育的促进作用，同时将体育与职业（专业）特点相结合，针对不同专业（职业），开设不同的实用性体育教学模块和训练项目，使学生进入社会后，具备岗位所需的身体素质、心理素质和意志品质。同时要注重挖掘体育的社会功能和思政元素，通过体育活动，培养学生的团队精神、竞争意识、规则意识、爱国情怀。

美育亦称审美教育，是一种情感教育，是现代素质教育的重要组成部分，是使学生掌握审美基础知识、形成一定的审美能力、培养正确的审美观点，美化其心灵、行为、语言、体态，提高道德与智慧水平的教育[14]，其目的是教会学生以审美的态度对待自然、社会和自身，使人与自然、社会和谐相处。高职美育不但要使学生受到高雅艺术的熏陶，还要特别观照生活层面的审美教育，坚持审美与致用统一的工艺观，将艺术性与实用性相结合，即审美的生活化和生活的审美化，提升学生欣赏美、体验美、评价美、创造美的能力和水平，实现以美育人、以美化人、以美培元。同时，高职美育还要实现审美教育和立美教育的统一，不但提升学生的审美水平，还要让学生成为一个美的人。

劳动是指人利用工具改造自然的创造性实践活动，劳动教育的目的有二。一是使学生树立正确的劳动观，引导学生崇尚劳动、尊重劳动，懂得劳动最光荣、劳动最崇高、劳动最伟大、劳动最美丽的道理；使学生了解劳动制度设计，尊崇“按劳分配”的原则，追求社会公平正义，进入社会后通过辛勤劳动、诚实劳动创造美好生活。二是通过劳动促进德智体美的全面发展，实现知识技能的内化，提升技术应用能力，在劳动中将职业道德变成一种行动和习惯，在劳动中体验美、欣赏美、创造美，实现以劳树德、以劳增智、以劳强体、以劳育美的目的。高职人才培养模式是产教融合、校企合作、工学结合、教学做一体，具有实施劳动教育的天然优势。

四、高职全面落实德智体美劳五育的策略

培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

人，必须以更高水平的人才培养体系作为支撑，这包括更新教育理念、重新审视人才培养目标、创新人才培养模式，重构学科（专业）体系、课程体系、教学体系、教材体系、管理体系、评价体系等，提升教师的育人能力和水平，还要注重文化引领等。本文从通识课程体系构建、课堂体系构建、课程育人（课程思政）、工匠精神涵育等方面阐述其实施策略。

（一）系统构建通识教育课程体系

通识教育从理念层面到行动层面，关键是秉持通识、博雅、全人教育理念，系统构建通识教育课程体系，以德智体美劳全面发展的人才培养目标划分通识课程模块，根据学生兴趣通过不同的课程模块培养学生的道德品质、爱国主义精神、人文情怀、科学精神、艺术修养、国际视野、创新能力等各方面素质，同时要注重培养学生的逻辑思维能力、交流沟通能力、价值判断能力和创新创业能力等方法能力。在教育部规定的必修课框架下，按以上原则构建5大模块17个子模块的通识课程体系，各高职院校可根据学校类型特点、专业设置情况、现有师资条件等开设不同课程，建议各校根据学生兴趣爱好在每个大模块中必选一门课程，每门课程2个学分，共10个学分。见表1。

表1　高职通识课程体系

序号	核心素养	课程模块	子模块	课程范例
1	爱国主义精神	文史经典传承	史学名著	《史记》导读
			文学经典	《红楼梦》研读
			古典诗文	唐诗宋词赏析
2	科学精神	科学精神与创新能力	高新技术	人工智能基础
			科学与科学精神	诺贝尔奖与科学精神
			科学技术与社会	科技发展与人类文明
3	艺术修养	艺术创作与审美体验	美学理论	艺术原理与文化
			艺术鉴赏	古陶瓷鉴赏、书画鉴赏、音乐审美、影视解读
			才艺教育	舞蹈、美术、音乐、书画
4	国际视野		西方文明	现代西方文明 古希腊罗马文明
			东方文明	东亚文明、西亚与伊斯兰文明、印度文明
			文化交流与对话	中西文化交流史
5	工匠精神	工匠精神与文化	中国古代手工艺文献	《考工典》《考工记》《营造法式》《天工开物》等文献解读
			器物文明与文化	器物文明与工匠
			诸子经典与工匠精神	《庄子》与工匠精神
			国外工匠文化	日本、德国的工匠精神与企业文化
			大国工匠	大国工匠进校园

（二）系统构建课堂体系

高职院校落实立德树人根本任务，促进学生德智体美劳全面发展，只靠第一课堂显然是不够的，必须系统构建课堂体系，即传统的第一课堂、以社团活动为主的第二课堂、以泛在学习为特征的第三课堂和以校外行业企业实训基地为平台的第四课堂，四个课堂均以立德树人为根本，既各有侧重，又相互协同、相互补充，最终实现学生德智体美劳全面发展。

第一课堂即传统的课堂教学，教师、学生根据教学计划和教学大纲，在指定的时间、地点（教室、实训室），以班级为单位，进行教与学的活动。第一课堂是高职院校教学活动、最重要的阵地，是知识传递、技能培养、素养提升的主渠道。一方面，高职院校必须大力提升第一课堂的教学效率和效果，以学生为中心，精心进行教学设计，以任务为载体，以项目为导向，采用“教学做”一体的教学模式，大力推行自主学习、合作学习、探究学习，教师要转变角色，成为学生学习和知识内化的促进者；另一方面，要将立德树人融入第一课堂的所有课程，特别是专业课程，以实现知识技能传授、思想价值引领和审美立美教育的统一。

第二课堂是指以学生社团为主要载体开展的思政教育、创新创业、技能竞赛、文体活动、公益服务、劳动教育等系列活动，具有开放性、实践性、自主性、灵活性和多样性等特点，是第一课堂的重要补充和延伸，是人才培养体系的重要组成部分，是实现学生全面发展的重要途径。高职院校应彻底打破教学管理部门与学生管理部门之间的行政壁垒，将第二课堂纳入专业人才培养方案，紧紧围绕学生德智体美劳全面发展的人才培养目标，将第一课堂与第二课堂相融合，进行一体化设计、实施课程化管理。将社团按功能进行科学分类，各类社团协同发展、各有侧重，思政研究类社团重点培养学生思想道德水平，科技类社团重点培养学生的专业能力、职业能力和创新创业能力，体育类社团侧重学生身心和谐发展，文化艺术类社团重点培养学生的审美能力，公益类社团侧重劳动教育，最终实现人的全面发展。

第三课堂是指以网络信息技术为支撑的泛在学习。泛在学习是泛在计算环境下，任何人可以在任何地方、任何时刻获取所需的任何信息的方式[15]，其具有即时性、便捷性、交互性、永久性等特点。近年来，以网络信息技术为支撑，以微课、慕课为载体的翻转课堂在高职院校开始大力推广，学生通过课前观看微课视频学习知识，在课堂上通过老师的指导和同学之间的协作将知识内化，从而实现了传统的知识传递和知识内化次序颠倒，实现了教学流程再造。教师从知识传授者、课堂管理者转变为学生学习和知识内化的促进者，学生从知识的被动接受者转变为知识的意义建构者，从而真正体现以学生为中心的教学理念。第三课堂是一种蕴含了丰富学习理念与教育意义的新型学习方式[16]，同时也是其他类型课堂的重要延伸，高职院校应加强第三课堂的学习环境建设，大力推动泛在学习，为人才培养和学习型社会构建提供有力支持。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

第四课堂是指在企（事）业单位开展的授课、实习、实训等教育教学活动。高职教育必须坚持面向未来职场培养高素质技术技能人才，而第四课堂为学生提供了真实的职场环境，包括真实的生产设备、工艺流程、管理制度、职场文化，让学生在真实的环境中接受职场的约束、熏陶和检验，以提升职业技能和综合素质，为将来就业做好准备。第四课堂主要包括三种教学模式。一是基于现代学徒制的企业课堂，是学习者以学生和学徒双重身份在学校和企业之间交替进行的一种学习方式，学生接受学校教师和产业导师的双重指导，所对应的企业课堂具有明确的学习型岗位标准、结构化的课程体系和规范化的教学组织[17]。二是基于产业学院的企业课堂。产业学院是校企双方或多方共同出资建设、具有独立法人资格的股份制办学机构，其主要特征是企业主导人才培养方案制订、课程体系开发和人才培养过程，地点通常设在企业或工业园。产业学院是打造校企命运共同体的重要途径，实现了“专业建在企业、教室转向车间、讲台搬到岗位、实习对接就业”的人才培养模式。三是基于顶岗实习的企业课堂。企业顶岗实习是落实产教融合、校企合作、工学结合、知行合一的一项重要举措，是专业教学的重要形式，是培养学生良好的职业道德、强化学生职业技能、提高全面素质和综合职业能力的重要环节。但顶岗实习效果并不理想，当务之急是落实《职业院校专业（类）顶岗实习标准》。顶岗实习标准是职业教育国家教学标准体系的重要组成部分，对有关专业顶岗实习目标、时间安排、实习条件、内容与要求、考核评价、实习管理等提出了基本要求，是职业学校组织开展顶岗实习的主要依据。教育部已经公布两批共136个职业学校专业（类）顶岗实习标准，尚没有出台国家标准的，高职院校要参照已出台的标准制定校本标准，只要严格落实标准，顶岗实习效果一定大有改观。

（三）将立德树人融入各类课程，实施课程育人

习近平总书记在全国教育大会上明确指出，要把立德树人融入思想道德教育、文化知识教育、社会实践教育各环节，这句话深刻揭示了教育的本质和人的全面发展的内涵。在高职课程体系中，虽然不同的课程类别侧重不同的教育功能，但德智体美劳五育是一个内在统一的整体，是不可分割的，必须将德智体美劳作为一个整体融入每一门课程中，做到五育之间的有机融合和无缝衔接，从而实现知识传授、价值引领和审美立美的统一，即课程育人。

理工类专业课要充分发挥专业（学科）科技史的教育功能，展示中国古代科技成就，特别是新时代中国特色社会主义取得的经济和科技成就，增强学生的民族自豪感和爱国主义精神，更加坚定“四个自信”，增强“四个意识”，做到“两个维护”。要讲好本专业（学科）领域古今中外科学家的故事，让学生了解科学家的奋斗历程和家国情怀，培养学生的科学精神和创新精神。在专业课程特别是实习实训实践课程中要注重学生职业道德的养成，通过教师的言传身教加强学生职业态度、职业观念、职业纪律、职业作风、职业伦理等方面的教育，培养其爱岗敬业、诚实守信的品格，让遵守规则成为一种习惯。同时，还要将沟通能力、人文关怀、环保意识、安全意识融入到专业课程中。

高职美育要坚持审美与致用统一的审美工艺观，坚持审美日常生活化和日常生活审美化，特别强调将审美元素融入到专业课程中。在设计制造类课程中，要坚持工具理性和价值理性相统一的设计观，让设计弥合生活与艺术之间的鸿沟，使设计不再单调、刻板。产品在满足使用功能的前提下，将美学元素融入设计，让消费者体验到材质之美、颜色之美、形状之美、秩序之美，给其带来审美体验和身心愉悦。在建筑类课程中融入协调美、均衡美、韵律美、序列美；在数学类课程中融入协调美、对称美、简洁美、奇异美[18]。高职院校还要特别观照审美和立美的统一，不但要提升学生的审美水平，更要注重立美，特别是在空乘、医护、老年服务、学前教育、旅游餐饮等服务类专业课程中，从形象美、语言美、行为美和心灵美等四个维度让学生变为一个美的人。

（四）弘扬工匠精神

技艺的诞生，源于人们对生活的需求，匠师通过对自然的尊重及理解，撷取自然界的各种材料，以双手与巧心制造出各式工艺作品，紧密结合了工具、材料、工法与工序，并在代代相传中不断积淀先民的智慧与经验，体现出实用、审美和人的自我实现与超越的多元价值，形成了以科学精神、审美情感和价值追求为代表的工匠精神，走向“技”“艺”“道”的完整和真善美的统一。工匠精神与高职教育及人的全面发展高度契合，高职院校应将工匠精神培育融入人才培养全过程。有关高职院校培养工匠精神的文献很多，这里只谈在通识课程体系中开设“工匠精神与文化”模块。

在通识课程体系中，开设“工匠精神与文化”课程模块。通过“中国古代手工艺文献”课程子模块向学生介绍《考工典》《考工记》《营造法式》《天工开物》等中国古代手工艺经典范本，让学生系统了解中国古代工匠文化体系，深入挖掘中华工匠的文化史意义和当代价值。开设“器物文明与工匠”课程子模块，对中国古代各类型文物进行全方

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

位、多角度解读，使学生了解器物的制作工艺和文化内涵，并在此过程中获得美的体悟，了解社会文明的演进历程和人类智慧在物质文明创造中的结晶；同时介绍器物相关的著名工匠，讲好工匠故事，让学生了解中国古代工匠精益求精的精神、审美情趣和价值追求。开设“诸子经典与工匠精神”课程子模块，让学生遵守技术伦理，坚持“道技合一”“以道驭术”的价值取向。开设“国外工匠文化”课程子模块，介绍国外特别是日本、德国的工匠文化。此外，通过“大国工匠进校园”活动，邀请工艺大师、能工巧匠进校园讲座，弘扬新时代中国特色社会主义工匠精神。

参 考 文 献

[1]Miller R. What are Schools for? Holistic Education in American Culture[J]. Inside Tucson Business, 1992,28(101):51.
[2]刘宝存.全人教育思潮的兴起与教育目标的转变[J].比较教育研究，2004（9）：17-22.
[3]Sirous M, Ebrahim J, Ali N H, et al. Holistic Education: An Approach for 21 Century[J]. International Education Studies, 2012,5(3):178-186.
[4]联合国教科文组织. 反思教育：向“全球共同利益”的理念转变？[M].北京：教育科学出版社，2017.
[5]“素质教育的概念、内涵及相关理论”课题组.素质教育的概念、内涵及相关理论[J].教育研究，2006（2）：3-10.
[6]潘懋元.试论素质教育[J].教育评论，1997（5）：6-8.
[7]眭依凡，王贤娴.再论素质教育[J].中国高教研究，2017（8）：30-35.
[8][10]桑新民.对“五育”地位作用及其相互关系的哲学思考[J].中国社会科学，1991（6）：159-166.
[9]楼昔勇.德智体美一盘棋——美育与其它各育之关系探讨[J].汕头大学学报，2004（6）：23-27.
[11]庞学光.培养真善美统一的完满人格——教育的终极目标论纲[J].教育理论与实践，1998（4）：9-12.
[12]杜作润.智慧与智育漫话[J].复旦教育论坛，2007（5）：16-21.
[13]张子沙，龚正伟，周波. 对我国高校体育素质教育内容的研究[J].体育科学，2001（1）：16-21.
[14]顾明远.教育大辞典（1）[Z].上海：上海教育出版社，1990：159-160.
[15]杨孝堂.泛在学习：理论、模式与资源[J].中国远程教育，2011（6）：69-73.
[16]李卢一，郑燕林.泛在学习的内涵与特征解构[J].现代远距离教育，2009（4）：17-21 .
[17]章鸿雁，赵鹏飞，杨敏，等.现代学徒制企业课堂的定位、构建和评价研究[J].中国职业技术教育，2019（2）：24-29.
[18]谭维奇.数学的美学特征[J].安庆师范学院学报：自然科学版，2005（4）：122-124.

The Idea, Connotation and Implementation Strategy of All-round Development of Moral, Intellectual, Physical, Aesthetic and Labor Education in Higher Vocational Education

Zou Jiquan, Liu Bin

Abstract In his speech at the National Education Conference, General Secretary Xi Jinping states that the Party's educational policy should be fully implemented and socialist builders and successors with all-round development should be trained based on fostering virtue through education. By reviewing the education objective and orientation of higher vocational education in China in the past decade or so, it is found that the Party's educational policy has not been fully implemented, and there still exist serious imbalances, inadequacies and fragmentation between the five education systems of morality, intelligence, physical education, aesthetics and labor. We must deeply explore the theoretical origin of the Party's educational policy, clarify the connotation of moral, intellectual, physical, aesthetic and labor education as well as their special features in higher vocational colleges, sort out the relationship among moral, intellectual, physical, aesthetic and labor education, and then systematically construct the talent training system of higher vocational education in the new era. We should carry out the fundamental task of fostering virtue through education, promote the all-round development of students, and vigorously improve the quality of talent training, by mainly focusing on the construction of general curriculum system and classroom system, curriculum ideological and political construction, and the fostering of craftsman spirit.

Key words higher vocational education; moral, intellectual, physical, aesthetic and labor education; fostering virtue through education; general curriculum; curriculum education

Author Zou Jiquan, professor of Tianjin Vocational Institute(Tianjin 300410); Liu Bin, professor of Tianjin Vocational Institute

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201904035

高职教育机械制造专业的教学体制分析

刘 炜 毋沙沙

天津职业大学 天津 300410

摘 要: 随着社会的发展,高职教育越来越受到关注,为我国输送了大量专业人才。本文对高职教育机械制造专业的教学体制进行分析,希望能够给相关学者提供参考意见。

关键词: 高职教育; 机械制造; 教学体制

面对高职教育机械制造专业的教学体制改革问题,笔者深入到在高职教育方面有着优秀经验的地区进行了考察学习; 对于当地在经济建设中对于机械制造专业人才的能力、知识结构等需求进行了分析; 在高职院校内部建立起一支由企业技术人员、社会专家所组成的机械工程指导部门,对专业设置进行指导,并组织建设一系列获得等,并以此为基础,对目前经济建设中对于高职院校机械制造专业人才的培养方案、教学体系与理论基础,和编制以培养学生职业技能为主的教学计划,进行了更加深入、更加全面的探讨。

一、定位高职教育机械制造专业培训目标,建立培养应用型人才方案

自从我国首次提出以经济建设为中心以来,我国各个行业、各个地区都相继开展了社会主义现代化建设的浪潮。随着我改革开放至今,社会经济取得了快速发展,加上科学水平的不断提升,使民众的生活品质得到了大幅提升。但也将人才短缺的问题渐渐暴露出来,对企业生产人员的能力、知识、综合素质等都提出了更高的要求。随着全球经济一体化的脚步不断加快,我国企业与世界上其他国家企业的竞争也越来越激烈,要想在市场中站稳脚跟、立于不败之地,迫使我国急需加快脚步,培养出具备扎实理论基础,与较强实践能力的专业应用型人才,这些人才是能够将理论知识与实践能力相结合,将专业技术与科学发展相结合,将体力劳动与脑力劳动相结合的中间型人才。这也给我国高职院校在培养人才模式、规格、目标、方案等方面提出了更高标准。在此大环境下,高职院校在社会对于新型人才迫切需求中应运而生。

面对日益发展的社会对于应用型技术人才的需求,高职教育将机械制造专业人才培养目标设定在: 培养始终贯彻社会主义道路,并且能够从德智体多方面进步的,能够满足我国社会经济建设中生产企业第一生产线需求的应用型技术人才。在此目标中,“应用型技术人才”“第一线”等关键词尤为受到关注,当然,这与中等专业院校在培养操作型技术人才的目标上有较大区别,也与本科院校在培养研究型、设计型、开发型的工程技术人才目标有本质上的不同。为了让人才培养目标更加明确、更加有针对性,对机械制造专业毕业生的岗位群、工作领域等进行了有目的的划分,明确了该专业的学生在完成学业后一般在生产企业第一生产线、工程领域等进行机械设备调试、安装、工艺技术、技术管理、工装夹设计、开发简单的机电产品、对机电产品进行设计等工作。通过这样有针对的岗位群、工作领域等划分,全面彰显了机械制造专业的强针对性、应用性等特色,并且能够完全满足生产企业对于机械制造专业毕业生的具体使用情况。

在形成了良好的专业人才培养目标后,对于人才培养方案来说也更有依据性。可将人才培养方案概括为: 划分模块、多方兼顾、分清主次、加强重点、主线贯穿等。对其进行详细阐述: 将培养生产企业机械制造第一生产线需要的应用型工程技术人才的专业能力、基本素质等的综合能力作为教学主线; 加强重点技术培养与实践环节的关注程度; 认清生产实习、基本技能实习与新技术实习这三个方面内容; 按照高职教育所具备的强针对性,注重培养学生的适应能力,让学生得到全面发展,将机电培训作为主要教学环节并配以电工教学,以冷加工培训作为主要教学环节并配以热加工教学,以技术培训作为主要教学环节并配以管理教学,以机械制造技术培训作为主要教学环节并配以通用机械教学; 对教学内容进行合理布置,形成机械制造专业技能、知识、能力的结构体系,并以此为基础,按照检测、控制、应用新技术、制造与设计、应用计算机、基础知识五大模块,通过对其进行优化、整合与重组,对教学内容体系进行重新构建,让培养人才的方案能够真正的有效落实。

二、以工程应用能力对知识模块进行划分,形成应用型理论教学体系

一直以来,高职院校在理论教学体系方面是照搬本科院校同类型专业的教学体系,属于以学科为主要内容的“三段式”注重传授知识、培养能力的理论教学体系。但是这种模式的理论教学体系无法满足新时期下高职教育机械制造专业对于培养应用型技术人才的需求,也不能满足人才培养的目标。所以,对传统的理论教学体系进行全面改革,也是当前对高职教学体制改革的关键内容。

通过对机械制造专业毕业生的岗位群、工作领域等进行了有目的的划分后,以掌握了该专业生产企业第一生产线、工程领域等对于,机械制造专业学生的能力与知识结构为基础,打破了不同学科间的界限,改变了学科中的完整性、系统性与传统“三段式”的限制,遵循工程应用能力的需求,将机械制造专业中需要掌握的基本知识与理论划分成: 检测、控制、应用新技术、制造与设计、应用计算机、基础知识五大模块,当做是应用理论教学体系的框架结构,并通过模块对课程进行有效设置。总的来说,按照工程技术应用能力的实际需求对模块进行设置,通过模块划分重新组建理论教学体系。

在组建应用型理论教学体系的思想指导为基础,以模块划分、课程设置、重构框架为依托,形成以专业技能为主要内容的教学体系,对教学计划进行全面优化。让教学技术在宏观上成为彰显高职教育特点的重要保障,成为机械制造专业培养技术

中国知网 https://www.cnki.net

人才计划的教学信条。

三、将培养能力、技能作为目标，对实践教学体系进行深化改革

高职教育机械制造专业的教学体制一般是由计算机操作实习、毕业实习、课程设计、毕业实训、实验课程、“三层次”实习等组合而成。其中，最为主要的就是“三层次”实习体系，毕业实训与毕业实习能够对学生的综合能力进行全面考察。全部体系能够在培养学生职业能力与综合素质方面提供便利条件与可行性依据，让理论教学体系与实践教学体系进行完美融合，相互影响，不但使学生的实践能力得到了全面提升，还对学生掌握基础理论知识有积极的促进作用。

在高职教育设定的人才培养目标中，最为重要的就是培养学生的实践能力。培训学生的实践能力要循序渐进，是由初级逐步过渡到高级，由掌握技能到具备能力的全过程来实现的。而且这一过程可在“三层次”中得到全面落实。

“三层次”实习中的第一层为操作实习，将此实习内容一般安排在学生刚入学的时间段，通常包括锻压、铸造、焊接、车工、钳工、刨等操作。其教学目的是为了培训学生的工程意识与基本技术知识以及基本技术操作等。将侧重点更多的放在铣工与车工上，并对培训内容进行适当充实，对学生进行严格要求，经过学成后的专业技术考核，让学生能够从初级水平跃升到中级水平，并获得相应的等级证书；第二层为生产实习，将此实习内容一般设置在第五学期，一般是将学生派送到具有较大规模的工厂中去，使学生们能够掌握生产毛坯的现代化工艺、机加工的普遍工艺、设备操作基本知识以及生产组织等内容。其教学目的是为了培训学生能够发挥主观能动性，以刚性生产线为主训练工厂第一生产线技术人员应该掌握的基本理论知识与基本技能，并能够学以致用，灵活掌握；第三层为新兴技术的实习，将此实习内容一般设置在第六学期。基本实习内容包括数控机床的调试、编程、操作等，以及以线切割机床、电火花为主要内容的特种机械操作实习，其教学目的是为了培训学生能够接收新型技术的基本操作技能与知识理论，让学生具备更好的创新能力，拓宽学生的视野，提高他们的智力。

“三层次”实习法能够彻底转变传统观念中将实习当做一种课堂辅助教学的想法，真正将实习内容看作是培养学生实践能力、培养学生通过所学到的知识解决问题的能力、培养学生面对为题自主分析问题的能力、培养具备高职教育特点法人才手段，教育人员要重视这种实习培训的地位，将其与课堂教学同等看待。

在不同层次的教育中，要将实际中的便利条件进行成分利用，向学生们传递有价值的理论基础知识。例如，对于操作实习来说，要将操作机构、传动机构与专业人员在现场所讲解的机床加工原理进行有机结合，并考虑刀具的切入点、切削原理等，不仅要将操作知识传递给学生，还要让学生知道这么做的原因，不但可使学生的实习训练得到进一步提升，还能让学生更早的接触工厂中的实际工作情况，为日后的学习以及将来步入工作岗位打下牢固基础，对理论教学与实践教学是一次全面强化训练，让二者相互渗透、相互影响、共同提升。

对于“三层次”实习来说，为了更好的培养学生的应用能力，将其中的每层实习又具体分为不同的小点：第一点为掌握机械设备操作的基本知识与理论；第二点为对实习内容的思考与实际操作；第三点为操作完成后的实习报告。第二点与第三点需要学生自行完成，让学生在实际操作中通过观察，能够理解其中的原理，并对其中的问题能够自己解决，一些难度较大的问题需要学生通过查找资料或是通过后期的学习总结进行完善，发挥学生的主观能动性，让学生对实习操作的全过程进行归纳与总结，并完成作业。在刚刚开始进行实习时，向学生布置机械制造专业的设计内容，让学生们带着问题深入到工厂中进行实习，在体验到了第一线的实际情况、掌握了较为完整的第一手资料后，便于开展之后的夹具、刀具、工艺等的课程设计，让学生在实习中更有针对性，了解也更加细致入微，培养学生通过所掌握的基础理论与实践知识解决实践工程中出现的问题。在实习新型技术中，学生能够掌握电火花机床、数控机床、线切割机床的基本操作能力，了解三者的交叉专业，将不同的知识进行交融，让学生在学习新型技术时更富热情，并让学生具备应用机械制造专业新型技术的能力。

四、对传统教学方法进行改革，与现代化教学方法相结合

要完全遵循培养应用型技术人才的规律，对传统的教学观念进行更新，改变传统的教学模式，倡导导学式、启发式、提问式、讲座式的全新教学手段，打破传统填鸭式、传授式、注入式的教学理念，进一步提高学生的发散性思维与创新能力。教学内容不但要将理论知识的特色凸现出来，还要表现出实践能力的培养方法，理论教学也不单纯的是基础知识，更要突出实践目的；专业教学要将侧重点放在实用性与针对性方面。倡导在理论中实践，在实践中教学，例如可将原本的课堂教学内容放在生产实习中进行，包括了零件加工规程、大型机床运动特点、齿轮加工原理等，在实习中通过比对实物，并配套教具与图片，可使学生在理解过程中更加透彻，便于记忆，知识掌握也更加牢固。而且也相继减少了课程学时，可为学生提供更多的新技术学习时间，为培养学生的重新能力提供了便利条件。利用现代化教学方法，将学习内容转化成影像资料，通过多媒体技术提高教学效果。对学习成果进行严格考核，可提高技能培训效果，让学生在应用知识、掌握能力方面有有所提升，进而激发学生的学习热情，达到高效的教学目标。

五、结语

综上所述，高职教学是社会发展、经济建设出现了新型教育模式，所以要以培养技术性人才为核心，对传统的教学方法进行改革，转变旧的思想观念，将实践与理论进行充分结合，通过完善与创新，使我国的高职教育得到更好的发展。

参考文献：

[1] 王飒.高职机械类专业实践教学 [J] .黑龙江科学，2016(03).

[2] 张伟强.高职机械制造专业教学改革的思考 [J] .化工管理，2016(14).

作者简介：刘炜(1990-)，男，汉族，湖南人，本科，助理工程师，研究方向：产教融合；毋沙沙(1993-)，女，汉族，山西人，本科，研究方向：产教融合的探索。

中国知网 https://www.cnki.net

高职教育技术技能人才培养标准及途径研究
——以模具设计与制造专业为例

□董 刚 邹吉权

摘 要：对《国家教育事业发展第十二个五年规划》高职教育目标定位进行详细解读，同时提出高职人才培养的新思路，即强调技术、注重技能、关注创新、兼顾人文、综合发展。同时，以模具设计与制造专业为例，对高职教育新的专业人才培养方案制订过程进行了详细剖析。

关键词：高职教育；技术技能；人才培养；途径研究

作者简介：董刚（1955－），男，山东潍坊人，天津职业大学校长，教授，中国高等职业技术教育研究会会长，享受国务院政府特殊津贴专家，研究方向为高等职业教育管理；邹吉权（1965－），男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职教所副所长，教授，研究方向为高等职业教育。

基金项目：天津市科技计划项目“高职教育产学研结合的激励机制研究”（编号：12ZLZLZF04500），主持人：董刚；天津市教育科学“十二五”规划项目“高职院校教师专业发展的国际比较研究”（编号：VE3014），主持人：邹吉权。

中图分类号：G710 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-7518（2014）15-0004-04

一、我国高职教育目标最新定位解读

《国家教育事业发展第十二个五年规划》（简称《规划》）指出：“高等职业教育重点培养产业转型升级和企业技术创新需要的发展型、复合型和创新型的技术技能人才。”这段话给出了高职教育目标的清晰定位，主要包括以下三个方面。

（一）服务面向定位

《规划》明确提出高职教育要为我国产业转型升级和企业技术创新培养人才，对高职教育的服务面向提出了清晰而明确的定位。

产业转型升级主要包括产业间转型和产业内升级。产业间转型主要是第一产业向二、三产业转型，从劳动密集型产业向资本密集型、技术密集型产业转型。产业内升级是指全球价值链视角下的产业升级，其升级也有两条路线。一条是遵循工艺（流程）升级、产品升级、功能升级和价值链升级的路线；另一条是指从 OEM（贴牌生产）—ODM（自主设计生产）—OBM（自主品牌生产）[1]。

产业转型升级与企业技术创新密不可分，产业转型升级的动力来自社会需求，它决定产业的发展方向和目的，而企业技术创新决定着产业转型升级的水平和快慢。

（二）能力特性定位

《规划》明确提出了高职学生的能力特性定位，即发展型、复合型、创新型，这一定位符合高职教育的服务面向的内在要求。由于高职教育是为产业转型升级和企业技术创新服务的，这必然要求高职学生具备发展潜质、复合特征和创新能力。

发展型：社会在发展、产业在升级、技术在进步，使学生毕业后工作岗位（内容）会不断变化，同时学生本身也有发展的强烈愿望。因此高职教育不但要为学生的第一份工作负责，还要为学生的最后一份工作做好准备。除了让学生掌握当前岗位所需要的技术技能以外，还必须培养学生可迁移能力和可持续学习能力，为学生今后发展打下坚实基础。

复合型：由于产业转型升级以及学生自身发展的需要，学生毕业后将要面对多个工作岗位，这就要求学生需要具备多方面的职业能力。高职毕业生所面临的职业岗位主要有以下四类：即专业技术岗位，经营管理岗位，经营业务岗位，智能操作岗位，而每一类型职业技术岗位又可以划分不同类型的职业岗位[2]。例如模具专业技术岗位有模具设计、成

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

型工艺分析、模具加工工艺制定等，而操作岗位包含模具零件加工、模具装配、模具调试、模具检测等。在高职学生职业生涯中，可能有数次机会在这些岗位之间变换。这要求高职教育不能只培养学生的单一技能，必须是基础宽厚、知识面广、综合素质高、思维辐射广、职业岗位适应能力强的复合型人才。

创新型：产业转型升级的关键在技术创新，技术创新的关键在于培养大批创新型人才。创新型人才就是具有创新意识、创新精神、创新思维、创新能力并能够取得创新成果的人才[3]。高职院校重点培养技术应用领域创新型人才，包括成果转化、技术革新、产品创意、服务创新、管理创新等。

《规划》对高职学生能力特性定位不但体现了高职教育的职业性，更体现了高职教育的高等性，使得高职教育与中职教育层次更加清晰。

（三）人才类型定位

人才可分为四种类型，即学术型人才、工程型人才、技术型人才和技能型人才[4]。易雪玲[5]认为《规划》将高职教育的目标确定为技术技能型人才，意在将高职培养目标界定在掌握了一定理论技术和智力技能的技能型人才，既不是单纯的技能型人才，也不是单纯的技术型人才，而是处在两者的重叠带——技术技能型人才。而我们认为，还是应将技术型人才和技能型人才区分开来，《规划》强调二者的重叠带，即掌握一定理论技术的智力技能型人才或具备一定智力技能的技术型人才。

二、高职院校人才培养新思路

根据《规划》对高职教育人才培养目标定位，我们确定了强调技术、注重技能、关注创新、兼顾人文、综合发展人才培养的新思路。

（一）强调技术

通过对企业调研和毕业生就业去向分析得知，随着我国产业转型升级的加快，高职毕业生从事技术岗位的比例显著上升，如机电领域的工装夹具设计、产品造型设计、模具结构设计、热处理工艺制订、机械加工工艺制订、焊接工艺制订等就业岗位需求大增；同时根据对高职学生及家长的调查，60%以上的学生和家长都希望学生毕业后从事技术、管理岗位。《规划》对高职教育技术技能型人才培养目标定位，既满足了企业需求，又满足了学生的从业愿望。

世界知识产权组织对技术的定义是："技术是制造一种产品的系统知识，所采用的一种工艺或提供的一项服务。"随着技术的飞速发展，技术型人才在经济社会发展中作用日益显露，技术教育逐步被大多数国家所接受。根据联合国教科文组织关于"技术教育"的解释，我国的高等职业教育实际上主要是高等技术教育[6]。杨金土认为，高等职业技术教育不能搞"学科本位"，但也不排斥学科教育。在原有的学科体系被打破后，应重新构建适应职业教育的"技术学科体系"[7]。

高职院校人才培养既要考虑学生当前就业需要，又要注重今后发展的需要。改变以往单纯注重技能的培养模式，让学生掌握扎实的专业理论基础和宽泛的专业知识，具有较强的综合应用各种知识解决实际问题的应变能力，注重技术学科理论的系统性。

强调技术至少应包含以下三个方面的内容：①为了培养技术型人才。近年，随着经济社会发展和产业转型升级，对高职层次的技术型人才需求明显上升，因此高等职业教育应使一部分学生成为技术型人才。②使技能包含更多的技术成分或智力成分，即智力技能型人才。③使学生具备较强的综合应用能力和解决实际问题的能力，为将来发展打下基础。

（二）注重技能

技能培养是高职教育的核心内容之一。技能一般分为动作技能和智力技能，而英国教学理论家罗米索斯基将技能分为再生性技能（如打字）和创造性技能（如营销）。随着科学技术的发展和自动化水平的提高，再生性技能将逐步被机器所取代，其价值在下降，而创造性智力技能的价值逐步提升。

高职教育重点培养学生的创造性智力技能。系统化设计实验、实训、实习、顶岗实习到最后的毕业实践整个实践教学环节，减少验证性实验比重，增

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

加设计性实验比重；将虚拟实训与生产性实训有机结合，增大综合实训比重；逐步增加高端设备实训环节。在实施过程中关注学生普适性培养与个性化辅导相结合，按照工作领域的要求，以工作任务为导向、基于工作过程组织、实施教学。这些措施将有效提升学生的创造性智力技能。

（三）关注创新

对于高职院校而言，第一课堂（含实训）是培养学生创新意识和创新精神的主要载体。将创意、创新、创业教育融入主要技术技能课程中，通过在课程中设计科学合理的典型教学案例，采用教学做一体教学模式和启发式教学方法，使学生在获取知识和掌握技能的同时，学会主动思考，能够发现问题、分析问题、解决问题，逐步培养其创新意识和创新精神。

以能工巧匠工作室（开放实训室）为依托，以专业社团为组织形式，以技能大赛培训为切入点，重点培养学生的创新思维，即创造发明思维、科技辩证思维以及科技竞争思维。

通过校企共建专业研发中心，学校师生与企业技术人员合作，对社会提供项目研发、技术咨询、产品设计等各种技术服务，逐步培养学生的创新能力。

（四）兼顾人文

杨叔子指出，大学教育是“育人”，而非“制器”。对于高等职业教育而言，人文教育既包含通识人文教育，也包含职业人文教育。通识人文教育包括人文知识、人文思想、人文精神以及人文方法等方面的教育[8]。除了思想政治类必修课程外，高职院校应开设丰富多彩的选修课程，如文学、艺术、哲学、历史、法律等方面的人文课程，学生可根据自己的兴趣爱好选修。通过这些课程的学习，使学生增长人文知识，锻造积极向上的人文思想，形成具有民族特征和时代特征的人文精神，掌握科学的人文方法，并使之内化为稳定的人文素质。

职业人文教育是在高等职业院校面向全体学生实施的一种形成其职业素质、养成职业精神的教育活动；其内容包括职业价值观、职业道德、职业核心能力和职业生涯规划等[9]。职业人文教育与专业密切相关，因此职业人文教育应融入到专业教育中，将诚信、责任、敬业、团队合作、职业道德等方面的培养融入到专业（基础）课程中。

技术、技能、创新、人文均是构成高职学生的能力要素，相辅相成，缺一不可。技能一定是技术背景下的技能，技术必须以技能为依托；技术技能是创新的前提，而高端技术技能本身就含有创新成分；没有人文教育，高职教育就是“制器”，而不是“育人”。

三、模具设计与制造专业人才培养方案修订

（一）方案构建总体思路

首先对模具行业及其下游产业进行市场调研，重点调研产业转型升级情况，得出模具专业人才需求变化与趋势。在此基础上，根据“高职院校重点培养产业转型升级和企业技术创新所需要的发展型、复合型和创新型技术技能人才”要求，确定专业人才培养目标；根据培养目标确定“强调技术、注重技能、关注创新、兼顾人文、综合发展”的培养思路。根据新的培养思路，在原有课程体系的基础上，构建新的课程体系，对课程进行解构与重构，并对实施路径和条件建设进行了说明。在实施专业人才培养方案过程中，根据第三方评价和反馈，对其不断修订完善（见图 1）。

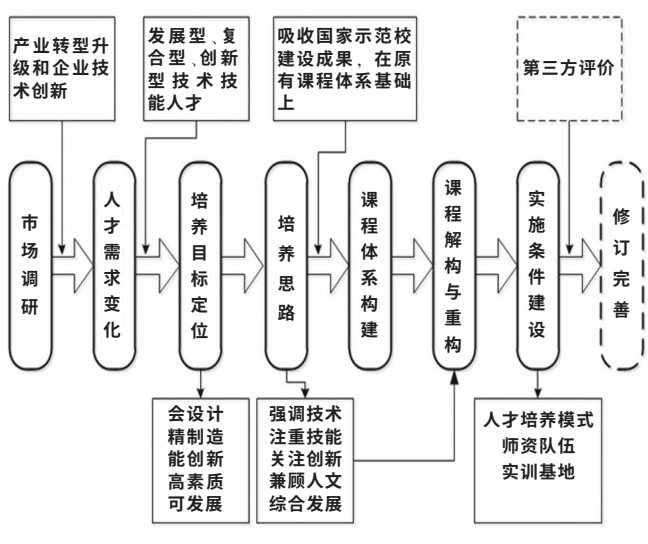


图 1　方案构建总体思路

（二）培养目标定位

高职学生的能力特性为发展型、复合型和创新

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

型，图2对模具设计与制造专业学生的发展路径、复合特征及创新能力做出了具体描述。根据产业转型升级和能力特性要求，模具设计与制造专业人才培养目标定位为：面向汽车及装备制造、电子信息及通信、家电、航空航天制造等产业转型升级和企业技术创新，培养具有发展潜质、复合特征和创新能力的技术技能人才，即“会设计、精制造、能创新、高素质、有发展”的模具设计与制造专门人才。

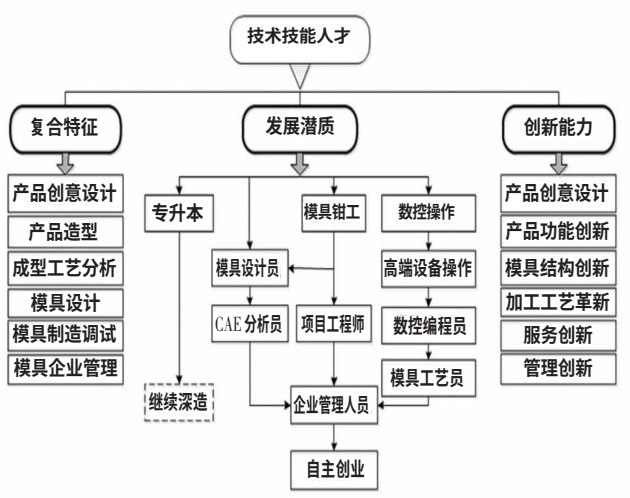


图2　模具专业学生的能力特性

（三）课程体系构建

重新构建的课程体系增加了基础课和专业基础课程，强化了综合实训环节，将技能大赛、研发中心、专业社团、开放实训室纳入到创新人才培养环节，同时将学生的人文教育纳入到了课程体系之中。具体变化内容见图3。

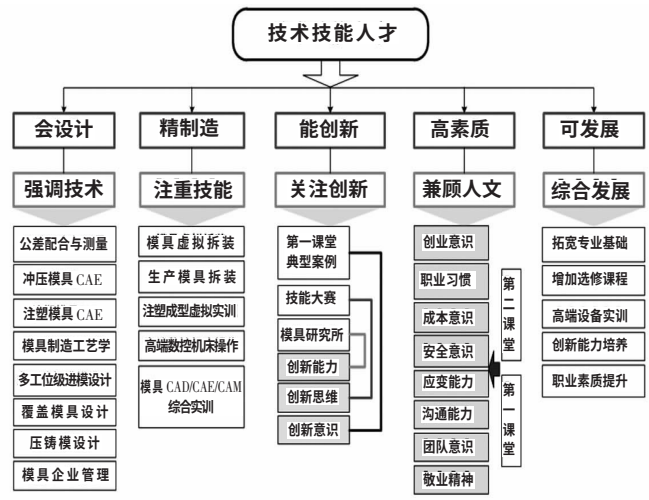


图3 课程体系变化

四、结语

目前，大部分高职院校现行的专业人才培养方案基本框架是在国家示范校建设期间构建的，当时的方案打破了学科型的课程体系，基于工作过程构建，对我国高职教育教学质量提升起到了极大的促进作用。但也应该看到，原有的课程体系更多考虑了当时的行业状况和人才需求情况，而较少考虑产业转型升级和企业技术创新；在某些方面，更多注重技能而轻视技术，注重当前而忽视发展，强调单一技能而忽视复合能力，强调职业性而忽视高等性，强调专业能力而忽视人文素养。因此，根据《国家教育事业发展第十二个五年规划》对高职院校人才培养目标新的定位，按照强调技术、注重技能、关注创新、兼顾人文、综合发展的思路，进一步修订完善专业人才培养方案，构建新的课程体系，成为当前高职教育领域关注的一个热点问题。

参考文献：

[1]黄优，孙宝强. 珠三角产业升级的内涵、误区与出路[J].广东经济，2011(10):35-40.

[2]邹彩屏. 高职复合型技术人才的界定与培养问题研究[D].长沙：中南大学，2006.

[3]钟秉林，董奇，葛岳静，等.创新型人才培养体系的构建与实践[J]. 中国大学教学，2009(11):22-24.

[4]董刚，杨理连. 高职教育高素质技术技能型人才培养质量研究[J].中国高教研究，2012(9):91-94.

[5]易雪玲. 我国高职教育目标定位演变的理性思考[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版)，2013(2):143-147.

[6]杨金土，孟广平，严雪怡，等.对技术、技术型人才和技术教育的再认识[J].职业技术教育，2002(22).

[7]杨金土，孟广平，严雪怡，等.对技术、技术型人才和技术教育的再认识（二）[J].职业技术教育，2002(25)：5-9.

[8]高永会.高职院校大学生人文素质教育现状及对策研究[D].济南：山东师范大学，2008.

[9]高宝立.高等职业院校人文教育问题研究[D].厦门：厦门大学，2007.

责任编辑　殷新红

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高职数控加工专业课程设置的整合与优化

张海伟
（天津职业大学，天津　300410）

摘要：目前我国高职院校数控加工专业课程设置还存在诸多问题。对此以学校个案的形式，结合人才培养方案目标，对高职数控加工专业进行深入调研和剖析，找准毕业生重点培养岗位，在遵循课程设置依据及原则基础上，整合优化专业课程设置，构建了基于工作过程的课程开发体系，以工学结合为切入点，课证融合，改进了课程的评价方法，推行全面素质评价，以促进数控加工专业人才培养质量的全面提高。

关键词：数控加工方向；课程；整合；优化

随着社会生产力的发展和科学技术的进步，产品的加工制造水平越来越高，社会对数控加工类的人才需求量与日俱增，同时也对人才培养质量提出了更高要求。各高职院校都加强了数控加工类专业的建设，加快了教学改革步伐，但仍存在很多问题。其中最根本的问题是人才培养系统性的偏差，集中体现在数控加工专业人才培养的效果与市场需求之间的距离，而导致这一偏差的最直接原因在于课程设置，需要进一步进行优化。文章以天津职业大学数控加工专业为例，探讨高职数控加工专业课程设置整合优化的主要依据、基本准则、优化步骤以及有效途径。

一、课程设置整合优化的缘由

高职教育要顺应时代发展需要，要取得更快的发展，必须重视课程建设中的问题与矛盾，对课程设置进行必要的改革，具体原因有：

1.职业教育实践性的特点决定了其培养目标和课程设置应该和经济技术的发展同步。经济体制的变革，产业结构的升级，科学技术的进步，给高职院校课程设置带来了新的挑战。此外，由于社会经济和产业结构的变迁和科技发展是一个动态的过程，这就要求高职课程设置不能一劳永逸。

2.课程理念的不断更新对高职课程设置产生重大影响。高职教育发展至今，其课程改革理念已经历了几次较大的调整。

3.我国的高职课程设置面临的挑战还相当严峻，为应对这些挑战，消除高职课程设置中的种种障碍和问题，进行课程设置优化研究，既能最大限度地节省开支、避免教育资源浪费，又能分步到位、由点及面地促进高职课程的发展和完善。

4.我国高职院校中同一专业的课程设置在不同的高职院校并不相同，并且同一院校的同一专业的课程设置中知识点技能点也存在重复与遗漏的现象。以天津市部分高职院校的数控加工专业为例，天津职业大学、天津中德职业技术学院、天津机电职业技术学院等院校并不相同。

结合以上原因，必须对高职课程设置进行改革，而高职课程设置优化正是高职课程改革的核心组成部分。

二、课程设置优化依据及原则

针对现有课程设置存在的问题，从实际出发，结合课程开发、设置的观念、原理和相关理论基础，明确课程设置优化的依据和原则。

1.课程设置优化的依据

国家有关教育的方针、政策是课程设置优化的总要求和总依据。如《普通高等学校高职高专教育指导性专业目录（试行）》。人才培养目标是选择和编制课程的根本依据和最终目的。课程门类的横向

收稿日期：2012-12-11
基金项目：天津职业大学“十二五”教育教学改革研究项目“高职院校课程设置的优化研究——以天津市数控加工专业为例”、天津市高教学会“十二五”高等教育科学研究课题“政校企”合作开发高职课程的探索与实践（125q209）阶段性成果
作者简介：张海伟（1980-），男，天津职业大学机电工程与自动化学院讲师，研究方向：机电工程与职业教育学。

中国知网　https://www.cnki.net

结构与纵向结构，由培养目标的素质结构和逻辑结构决定。科学技术的发展趋势促进课程结构不断改革。同时，能否满足学生就业需要是评价课程设置合理与否的基本依据。

2.课程设置优化原则

结合课程设置优化依据，课程设置优化应以人才培养目标为基本原则，适应社会发展的需要，充分顾及学生知识和能力两个方面的培养，处理好稳定与更新的关系、通才和专才的关系，满足学生就业需要；符合高职教学规律和学生身心发展规律；反映现代科学技术的新成就。

三、优化整合具体步骤

1.人才培养方案设计

高等职业教育作为高等教育发展中的一个类型，肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命。以就业为导向的职业教育要将学生培养成为社会需要的“岗位人才”、“职业人”和能生存能发展的“社会人”，甚至是经济全球化要求的“国际人”，必须树立能力本位的教育教学观。而过去职业教育课程体系源于本科教育，基于学科完整。学习目标与职业教育不符，学习的应用性不强，学校里学的东西很多在工作中用不上，而且学生也不感兴趣。因此制定新的专业人才培养方案，必须源于企业，源于需求，以就业为导向，制定人才培养方案。

2.基于工作过程构建课程体系

形成高技能人才完成职业任务所需的技术实践能力，必须与整体化的实际工作过程相联系，必须针对“解决综合性实际问题”进行学习。因此，高等职业教育的课程必须打破传统学科系统化的束缚，将学习过程、工作过程与学生的能力和个性发展联系起来，开发工作过程系统化的课程体系。

3.以工学结合为切入点的课程体系形成

以就业为导向，突出针对性。以就业为导向，就是针对地区、行业经济和社会发展的需要，按照技术领域和职业岗位（群）的实际要求设置课程。首先，在天津及周边地区的机电行业开展机械制造与自动化专业就业岗位及核心能力的广泛调研，了解机械行业人才结构现状、专业发展趋势、人才需求状况，工作过程、岗位对知识能力的要求、相应的职业资格、学生就业去向等，取得机电专业就业岗位及核心能力需求的第一手资料，为确定教学改革思路，制定更加贴近就业市场的课程大纲和人才培养方案提供可靠的依据与基础。

4.第一课堂与第二课堂结合，注重职业能力培养

在人才培养方案中采用第一课堂与第二课堂结合的方法。在第二课堂中，完成社会实践、文化素质教育、第二技能培训、专业素质教育、就业指导等教育内容。虽然教学时数不计入教学计划，但有第二课堂学习的学分要求，取不到相应学分不能毕业，给学生创造更多的社会能力、方法能力的锻炼机会，促进全面发展。

5.毕业环节

毕业环节是对三年学习的检验与考核，是对学习的综合评价。但是要考核的是知识应用能力，必须突出应用，强调做。在企业顶岗实习的学生由指导教师结合岗位确定课题。可以是内容详实的实习总结，也可以是对自己岗位的工艺或设备等的改进方案或分析，或是在岗位上独立完成的加工产品及工艺分析。对于岗位已定，但在毕业后才上岗的学生，可在实训中心实习完成一个较为复杂的零件的全部加工和工艺设计。在毕业环节中，教师必须下企业，强化校企合作。通过这个环节提高学生顶岗的实际工作能力，密切与企业的联系，为职业教育探索更好的模式，为校企合作打下坚实基础。

6.改进评价方法，推行全面素质评价

建立能激励学生学习兴趣和自主学习能力发展的多方位考察、多元化评价的考核评价体系。评价要有利于促进学生知识应用能力和健康人格的发展；促进教师不断提高教育教学水平。改变过去重结果、轻过程的评价方法。每门课程实施态度、知识、技能、素养多维度综合评价，促进学生全方位发展。

四、结束语

经过示范校的几年建设，我们已基本整合理顺了数控加工专业的课程设置和教学体系，提出了优化整合课程设置的原则和相关的措施，制订了科学的教学计划，改革了课程体系内容，应用现代化教学手段及教学方法，促进了新型高素质数控加工人才的培养。

（下转第38页）

中国知网 https://www.cnki.net

动脑思维能力，引导学生敢于质疑并善于提出自己的新思想、新观点。

4.以整合教育资源为途径办出职业教育品牌特色

目前我国职业教育的通病是过度注重“大而全”和“遍地开花”，导致每个学校办学理念、教学体系、管理模式、专业设置雷同，浪费了教育资源又不能保障教育质量。我国农村中等职业教育顺应社会人才市场的需要，根据各校办学特色通过新建、迁建、扩建等形式，撤（合）并一批职业学校，使农村职业学校的布局合理，从而优化教学资源，发挥教育资源的整体效应。对专业设置由“大而全”转向“小而精”，整合专业设置，实行专业“强强联合”，突出优势和特色专业，形成职业学校品牌特色。

参考文献：

[1] 教育部.中等职业教育改革创新行动计划（2010-2012）[J].中国职业技术教育，2011，(1).

[2] 袁桂林.我国农村学校教育诸政策评析 [J].中国教育学刊，2009，(2).

[3] 陈冰.我国义务教育后分流政策分析 [J].职业技术教育，2005，(13).

[4] 李洪平.我国中等职业教育发展的问题与对策研究 [D].西北大学，2007.

[5] 朱茹华.从教育分流意向看我国农村初中教育分流现状 [D].华东师范大学，2006.

The Dilemma for the Development of Vocational Education After Rural Compulsory Education and its Countermeasures

LI Chong-ai, XIANG Wen-hong

Abstract: Secondary vocational education in rural areas is the balancer for human resource shunt after rural compulsory education, which can relieve the pressure for regular higher education, promote rural educational reform, and facilitate the integration of urban and rural education. Secondary vocational education under this circumstances should set the functions and objectives catering to and constructing the countryside, innovate the content of courses, establish n interactive “Five in One” management model, and optimize the educational resources, thus, unique features and brands can be created.

Key words: post-compulsory education; secondary vocational education; human resource shunt

（上接第34页）

参考文献：

[1] 李强.职业教育学 [M].北京：北京师范大学出版社，2010.

[2] 王利明.高等职业教育课程开发与实施技术 [M].北京：中国轻工业出版社，2011.

[3] 赵志群.职业教育工学结合一体化课程开发指南 [M].北京：清华大学出版社，2009.

[4] 龚雯.职业教育“双证书”课程开发论 [M].北京:北京师范大学出版社，2011.

Vocational Curriculum CNC Machining Direction to Integration and Optimization

ZHANG Hai-wei

Abstract: There are still many problems in China’ vocational colleges curriculum of CNC machining direction at present. This form of school cases are combined with the goal of personnel training programs, the direction of vocational CNC processing is conducted in-depth research and profiling, training posts of graduates are pinpointed, following the course set on the basis of the basis and principles, integration and optimization of the professional curriculum, build a curriculum development system based on the work process, to the point of combination of working and learning, integration class and card, improve the course of the evaluation method, implementation of comprehensive quality evaluation, comprehensively improve in order to promote the quality of personnel training for CNC machining direction.

Key words: CNC machining direction; curriculum; integration; optimization

中国知网 https://www.cnki.net

高职院校“双师型”教师培养模式研究

杜玉雪
(天津职业大学 300410)

摘 要:本文通过分析当前高职院校‘双师型’教师培养特色及培养误区,探讨了新形势下‘双师型’教师的培养模式,指出‘双师型”教师的培养不能简单以‘双证书”、“双素质”双职称’等为检验或培养标准,应全面分析各高职院校特点,从教师实际出发,扬长避短,培养适应高职发展的‘双师型’教师。
关键词:“双师型’教师 高职教育 培养模式

上世纪九十年代我国首次提出了“双师型’教师队伍建设,在全国高职院校内立即得到了广泛重视,各院校纷纷结合本校发展特色,制定相关方案,提供培养条件,鼓励广大教师向‘双师型”方向发展。经过国家、院校、教师三方二十多年的努力,时至今日,高职院校的师资队伍相比二十年前均有了较大的变化,“双师型’教师在教师队伍中所占比例也逐步上升。但是由于我国目前仍没有一个权威机构对‘双师型”教师的概念做明确的界定,研究者们的看法和表述也不尽相同,所以各高职院校培养的‘双师型’教师,也各具院校特色。本文从当前高职院校存在的各种‘双师型’教师特点出发,分析导致‘双师型’教师培养各具特色的原因及培养误区①,探讨了新形势下我国高职院校‘双师型’教师的培养模式。

1 “双师型”教师概念理解误区导致的培养误区

“双师型’教师概念是在以往职业教育中重理论、轻实践、重知识传授、轻能力培养和知识应用的基础上提出来的,其强调了实践环节在教学当中的重要地位,不能光在嘴上说理论联系实践还要从教学这个本源上就把理论与实践联系在一起,才能培养出理论实践均衡发展的高级技术人员。然而部分职业院校夸大了“双师型’教师的积极意义,由于大部分职业院校的教师来自于学科型人才培养,其理论教学可以达到很高的层次,但实践教学就差强人意,为了适应新形势下高职教师的发展需求,许多硕士、博士又从初级工、中级工开始学起以满足‘双师型’的要求,带上‘双师型’的牌子成为了他们的奋斗目标。而实际上高职教育一直秉持的宗旨都是培养理论与实践双能人才,“双师型’教师概念的提出仅是引导高职师资队伍建设对实践的重视这个初衷,当达到这个目的它的历史任务就完成了。

2 “双师型”教师内涵理解误区导致的培养误区

由于目前我国还没有一个权威机构对“双师型’教师的概念做明确的界定,对‘双师型’教师的内涵理解也五花八门,归纳起来主要有几种:

(一)“双证书”说,认为凡是持有“双证书”(教师资格证和职业技能证)的教师就是“双师型’教师。这也是如此多硕士、博士考取初、中、高级技能证书的初衷。国内部分院校也将‘双证书’作为衡量教师是否符合“双师型’教师的一项硬性指标,最终导致许多高职教师不真正以提高自身技能水平为目标,而以考取证书为目标的坏现象,许多拿有‘双证书’的教师其技能水平只能应付考证,却不能教授学生。

(二)“双职称”说,认为凡是‘双师型’教师就必须同时具有讲师(副教授、教授)和工程师(高级工程师)或农艺师、律师等的职称,最终导致高职教师评完讲师又要评工程师,教师苦不堪言。

(三)“双素质”说,认为‘双师型’教师既要具备教师的职业素质和能力,即拥有教学、教研的能力和素质,又要具备至少一种其他专业技术人员的职业素质和能力,即能将行业、企业知识和技能传授予学生,放低了对技能证书的重视程度。这种培养模式虽能够提高高职教师理论与实践相结合的能力,但缺少了检验和督促教师继续进步的手段。

(四)‘双来源’说,指学校教师的来源必须包括两个方向,一个是职业院校本校的专任教师,另一个是来自企事业单位的专业技术人员、一线操作人员或能工巧匠。这种说话,针对的改进主体是学校而不是教师个人,对教师本身实践技能和职业素质的提高没有太大的实际作用。

除以上四种对‘双师型’教师内涵理解说法外,还有“双层次”、“双融合”、“双能力”、“双资格”②③等等理解。上述各种说法因各自存在弊端对职业院校的发展和职业教师能力的培养均造成了一定程度的影响和延误,因此找到一种符合我国高职发展形势,适合高职教师向‘双师型’教师发展的培养模式迫在眉睫。

从上述‘双师型’教师理解及培养误区分析,新形势下我国高职院校培养‘双师型’教师需从三个方面入手:

(一)正确认识‘双师型’教师的概念,明确提出‘双师型’教师概念的宗旨是引导全国高职院校改变传统重理论、轻实践、重知识传授、轻能力培养和知识应用的培养理念,将学生技能培养放到足够重要的位置,培养出适合于我国经济发展的创新型、发展型、复合型技术技能人才。

(二)正确理解‘双师型’教师的内涵,摆脱各种对‘双师型’教师片面性解释而造成的培养误区,从职业教育发展大局出发,客观分析当前职业教育教师需具备的素质和能力。

(三)从高职教师需具备的素质和能力出发,培养‘双师型’教师,从高职院校的长远发展着手,采取将‘双证书”、“双职称”、“双素质”、“双来源’等培养模式巧妙融合,各自发挥优点,互相补偿缺点的培养模式,培育合格的‘双师型’教师。

高职院校培养‘双师型’教师需结合本校特色,从教师实际出发,扬长避短,培养适应本校发展的‘双师型’教师。“双师型”教师首先需具备‘双素质”,兼具教师和专技人员的素质和能力,针对高职教师主要来源于学科型培养模式,教学和教研能力好而实践能力差的特点,学校需最大限度的提供教师提高技能水平的条件,可采取教师个人到企业一线实际操作学习、学校聘请企业能工巧匠集中给教师培训等方式,使教师真正具备双师素质,而不是简单地以‘证书’为证。同时技能证书也要发挥其检验和督促教师不断提升能力的作用,学校阶段性以教师获取证书检验教师技能提升水平。同时学校还可以采取开展竞赛方式激励教师不断进步,发挥‘比、学、赶、帮、超’精神,争取更大发展。对于学校中以能工巧匠的方式引进的企业来源教师,除发挥其实际的动手能力强项,也应加强对其进行教学能力培养,使他们同样具备双师素质。

当前,我国高职教育仍旧处于‘青年”时期,它将在岁月的长河中吸取教训、积累经验慢慢成长,“双师型’教师的培养模式也将随着高职教育的发展不断完善。

参考文献

[1] 肖玲君.“双师型’教师理论研究的误区[D].学位论文,中南大学,2008.
[2] 翟莲.高职院校‘双师型’教师队伍培养研究——以A校为例[D].学位论文,四川师范大学,2010.
[3] 刘洁.高职院校‘双师型’教师队伍建设研究——以广东科学技术职业学院为例[D].学位论文,华南理工大学,2010.

作者简介:杜玉雪(1982—),女,天津职业大学教师。

中国知网 https://www.cnki.net

高职院校“信息化教学设计大赛”参赛研究与思考

安海霞　巴世光
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：全国职业院校信息化教学设计大赛对教师自身的信息化素养、信息技术应用能力、信息化教学水平的提升，推动教师能力发展等方面，其有效性已被理论和实践共同验证。作为参赛者，对信息化教学设计参赛的内容、步骤、备赛流程等方面进行详细的解读与研究，并对高职院校如何“以信息化引领职业教育现代化”存在的问题进行了思考。

关键词：高职教育；信息化；教学比赛；教学设计
中图分类号：G712　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-8415[2016]-03-0057-04

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》指出要“强化信息技术应用，提高教师应用信息技术水平”。教育部为推动教师运用信息化技术的能力、提高教师的教学水平，于2012年在江苏南京高等职业技术学校举办了“全国职业院校信息化教学设计大赛”。天津市教委于2013年举办了首届“高等职业院校信息化教学竞赛”。本次比赛共设3个类别，分别是多媒体教学软件比赛、信息化教学设计比赛和网络课程比赛。笔者作为参赛者，对信息化教学设计参赛的内容、步骤、备赛流程等方面进行了详细的解读与研究。

一、信息化教学设计解读

1. 信息化教学设计的内涵

信息化教学就是在信息化环境中，教育者与学习者借助现代教育媒体、教育信息资源和教育技术方法进行的双边活动。其中信息化环境具有信息显示多媒体化、信息网络化、信息处理智能化和教学环境虚拟化的特征；配套设施包括多媒体计算机、多媒体网络教室、校园网络、微格教室、语音室、电子阅览室等；现代教育媒体包括：多媒体教室、实训现场教学、一体化教学；教育信息资源包括：课程网络资源、校园电子图书馆、校园网络平台（QQ、微信等）、视频资源库、图片资源库、软件资源库等；教育技术方法包括：基于工作过程的导向式教学、项目教学、案例教学以及问题引入式教学等；双边活动是指以学生为中心，教师做引导，达到学生自主探究学习、提高学习效果为目的的优化活动。

信息化教学设计是依据学习者特征和学习需要，将学习资源、学习环境与信息技术有机整合，以达到过程最优化而编制的教学实施方案。

信息化条件下高职生的特点是日常能接触多种信息化资源，并掌握多种信息化手段，如计算机网络、微信、QQ交流平台等。对视频、图片、声音等动态的资源感兴趣且对自己的职业目标有很强的规划性。但同时存在文化基础差，对复杂的理论知识不容易理解，缺乏自信心，抗挫折打击能力差等弱点。

根据高职生的特点以及课程改革的需求，笔者所在的课程小组对机电专业的基础课程《电器元器件检测与应用技术》进行了信息化教学设计，其中对“日光灯电路接线与测量”项目，将“单项正弦交流电路”的知识以日光灯为载体，运用实物图片、安装视频、原理动画、模拟仿真、资源共享课等信息化教学资源，以及教学做一体

收稿日期：2016-01-19
项目来源：该文为中国职业技术教育学会科研规划项目（编号：201402Y01）的研究成果。
作者简介：安海霞（1975-），女，河北易县人，天津职业大学机电工程学院，副教授，硕士。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的模式进行了信息化教学设计，充分调动了学生的积极性与参与性，很好地解决了正弦交流电理解难、计算难，理论知识枯燥、晦涩难懂，电路抽象的难题，达到了教学过程优化、教学效果显著的目的。

2. 信息化教学设计的步骤

（1）学情分析、制定教学目标。教学目标一般分为：知识目标、能力目标和职业素养。知识目标是指学生应该掌握的基本文化知识、专业知识以及有益于学生持续发展的人文科技知识、创新创造和创业知识以及自主学习、自我管理等方面的知识。能力目标是指学生应具备的适应正常的社会生活、职业工作和职业竞争以及职业生涯发展所必需的技能和能力。职业素养是指学生应形成的良好品德、个性和职业态度与情感以及价值观等。在充分了解高职生的知识、能力和素养的基础上，从学生已知、未知和想知出发，确定教学目标。

（2）选择合适的教学模式。目前提倡的教学模式，主要有项目驱动式、案例驱动式、任务引领式、工作过程式等。其主要目的是将“学”作为中心，“教”作为引导，改变传统教学学生被动接受知识的现状，优化教学过程，提高教学效果。

（3）确定教学的重难点，选择适当的信息化资源。信息化教学设计的重点是如何突破传统教学中最难以突破的难题，关键是信息技术在教学当中的运用，追求信息技术在教学当中的功效最大化，用最简单的方式来解决传统教学中最难以解决的问题。因此选择合适的信息化资源，如加工视频、模拟仿真等，解决教学过程中看不到、摸不着，难以理解的原理、结构和现象，能起到事半功倍的效果。

（4）信息化教学设计的实施。信息化教学设计大赛考察的是一个完整的信息化教学过程，因此需从以下四个步骤入手进行信息化教学设计。

课前准备。教师课前布置任务，通过网络、微信、QQ 等交流平台下发任务工单或工作视频，学生通过观看课程的教学网站，初步了解即将学习的知识和任务，并把初步学习的成果如 ppt、电路图、讨论方案等上传到学习交流平台，完成课前预习。

课程导入。教师通过播放任务视频、加工动画或引入实际案例、创设任务情景进行课程的导入，并对学生的课前预习选择典型的成果进行分析，增强学生的成就感，引起学生兴趣。

课程实施过程。明确任务后，教师引领学生获取与任务相关的未知知识，或者学生先动手操作，观察现象，进行总结，引出所需要掌握的未知知识。可通过图片、动画、仿真等多种信息化手段解决知识上的重难点，尤其是工作原理和分析计算的知识。进入实操环节前，可通过观看操作视频、操作仿真软件，减少操作的失误率和设备的故障率。知识学习和实际操作穿插进行。

课后作业及知识拓展。课后作业包括教师检查学生掌握所学知识情况的作业、学生的自我测试以及查漏补缺、自我拓展提高的情况。该项任务可通过课程的资源共享课平台进行互动交流实施。

资源共享课将原来教学中呈孤立状态的课堂教学平台、实验教学平台、拓展教学平台等进行融合，并辅以相关资源的教学视频、原理动画、自我测试等大量的信息化资源，特别是课堂互动、答疑解惑、学习笔记、资料分享等版块，促进了师生、生生交流，发挥了学生的主体性和主动性。

3. 信息化教学实践与成果展示

信息化教学模式下，学生通过多种信息化手段掌握丰富的专业知识后，鼓励学生自主创新，进行产品的设计与开发，并参加各种专业竞赛，如电气自动化专业的电子设计大赛、物联网大赛、自动生产线安装调试大赛等。在检验信息化教学成果的基础上进一步巩固所学知识，并将获奖成果和学生作品进行展示，对其他同学进行有效激励。

二、信息化教学设计备赛流程

1. 备赛 1：参赛项目的选择

一个好的教学设计参赛作品，选题是关键。选题时须选择能够鲜明体现本课程特色的教学单元。笔者的参赛作品是《电器元器件检测与应用技术》课程中的“日光灯电路接线与测量”项目，该项目要求学生具有一定的识图能力、电路

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

安装调试能力、分析计算能力以及软件的仿真能力。因此，该项目的完成是对学生综合能力的培养与提升，充分体现了高职院校培养技术技能型人才的培养目标。

选择的设计单元还必须具有清晰的重点和难点，并有丰富的信息化技术、资源来支撑表现。笔者一直在教授本课程，对课程中的知识点、技能点把握的很清楚，也了解该课程在传统教学中存在的难题，掌握学生在该门课程中的学习情况，这为在竞赛时的答辩做好了充分准备。该门课程有一个庞大的信息化资源作平台——国家级资源共享课，共享课里有丰富的视频、动画、仿真、课件等信息化资源。应用这些信息资源可以创设信息化的学习环境，解决在传统教学中存在的诸多难题。

2. 备赛2：信息化教学设计大赛评审指标分析

在进行信息化教学设计的过程中，要仔细研读大赛评分标准，评分标准的每一条要点都要在教学设计中有所体现。重点关注以下四点：

（1）设计单元必须是已经实施过的教学过程，重点突出以学生为中心，注重学习者学习能力的培养。

（2）找出传统教学中最难以突破的重难点，合理运用信息化技术解决重难点，追求信息技术在教学当中的功效最大化，用最简单的方式来解决传统教学中最难以解决的问题。

（3）恰当运用图、文、音频、视频、动画等多种媒体形式，促进学生自主探究，做中学、做中教。

（4）防止信息化技术的“过度替代”，以防适得其反，尤其是学生思考和计算的能力不能完全用软件来代替。

3. 备赛3：历年获奖作品分析

“他山之石可以攻玉”，登陆信息化大赛官网：http://www.nvic.com.cn/FrontEnd/ZZBMDS/shipin.html?type=6，观看历年信息化大赛获奖作品，对参赛设计起到事倍功半的效果。

4. 备赛4：报名表的填写和教案设计

（1）充分说明信息化技术是如何运用在本单元中，产生了怎样的教学效果；尤其是运用信息化技术如何突破传统教学中的重难点，并对使用信息化前后进行对比，突出信息化的优势。

（2）恰当表达本单元信息化教学设计的创新和特色所在。

（3）单元设计的样式要规范、美观、有特色，要简洁，不用大篇幅的文字，注意图表和流程图的恰当运用。

5. 备赛5：演示文稿中工具的使用

参赛作品中需要大量的视频、图片进行教学过程的展示，需要掌握以下软件对素材进行处理：（1）录屏软件：屏幕录像专家V7.5Build20080428破解版、Camtasia Studio 6（绿化版）；（2）视频剪辑：QQ影音、camtasia_8_4_0；（3）视频格式转换软件：插入ppt的视频需全部转换成MWV格式，采用格式工厂；（4）仿真软件：Protus、Multisim、AutocAD等；（5）图片处理软件：光影魔术手、photoshop；（6）课件制作软件：PPT（带动态转场）、flash等。

三、信息化教学设计思考

信息化教学改变了一支粉笔、一本教材、一块黑板的传统教学方式，对教师的教学设计思想、信息化资源的开发、合理的应用于教学做一体课堂、教学效果的评估提出了更高的要求。而信息化教学大赛的竞赛机制激发了教师的内在需求，推动了教师的能力发展，使大批参赛教师正在或已经成长为职业院校的教学改革领军人物和推进信息化教学的骨干力量，大赛在推动职业教育教学改革，提高技术技能人才培养质量等方面发挥着重要作用。

但如何将大赛的成果进行推广，实施到教学的每个环节、每一节课，落实到每一位教师，惠及到每一位学生，还存在以下问题：

问题一：信息化教育基础设施建设薄弱。信息化的教学做一体实训室需要有计算机网络、投影、电子白板等配套电子设备，但大部分高职院校的实训室建设年代较远，教学做一体化的实训室由原先的设备实验室改造而成，只有少数配有投影仪单一的电子设备，信息化教学普及存在着很大困难。

问题二：适应信息化要求的师资队伍参差不

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

齐。参赛的教师大部分为青年教师，青年教师在掌握信息化手段、技术方面要优于老教师，但老教师对课程的把握、内容设计方面优于年轻教师。因此需要建立一定的机制，将二者的优势结合起来，提供给学生更优质的教育。

问题三：信息化教学资源开发不足。大部分参赛教师只对参赛项目进行充分的信息化教学设计与展示，课程其他项目却存在信息化教学资源不足的现象。

基于以上几个问题，高职院校需要把信息化设施建设作为实训室建设的重点，充分考虑今后发展的需求，有长远打算。同时，重点打造课程团队，组成具有年龄梯度的教学队伍，优势互补，集思广益，进行信息化资源的开发与建设，将大赛的成果真正的进行推广和实施。

[**责任编辑：**刘晓梅]

参考文献：

[1]杜占元.教学点数字教育资源全覆盖[EB/OL].http://www.ncet.edu.cn/ldjh123/1313.jhtml.

[2]国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)[EB/OL].http://news.xinhuanet.com/edu/2010-07/29/c_12389320_2.htm.

[3]王　娟.《药事管理与法规》信息化教学案例设计[J].广东化工,2012(15):198.

[4]傅钢善.2015信息化教学设计[EB/OL].http://wenku.baidu.com/link?url=mFImH_SQMgvDci4qw7Ti40BpnOw0efeG7kuQbZ_DmYwlIi8rncc_QQ7khebjI8ky5uWLUfJepBAwMxCAQkz1ZVFWztGkZv9RhVvnQR2wtwC.

[5]张　良.职业素质本位的高职教育课程建构研究[D].长沙:湖南师范大学博士论文,2012.

[6]参加全国信息化教学设计大赛的几点体会[EB/OL]..http://www.docin.com/p-505107296.html.

[7]谢传兵,侯小菊,张少刚.全国职业院校信息化教学大赛发展报告[J].中国远程教育,2014(12).

Research and Thinking on Participation in "Informational Instructional Design Competition" for Higher Vocational Colleges

AN Hai-xia　BA Shi-guang

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The effectiveness of informational instructional design competition for national vocational colleges has been proved both theoretically and practically in the aspects of enhancing the teachers´ information literacy, information technology application, information-based teaching level, and promoting development of the ability of teachers. This article from the perspective of a participant carries out a detailed explanation and research on the informational instructional design competition content, steps, preparation process and other aspects. And on "how to lead the modernization of vocational education with information technology" in higher vocational colleges, there are also issues of thinking.

Key words: higher vocational education; informatization; teaching competition; instructional design

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高职院校班级建设存在的问题和解决方法的探究

胡金鑫
（天津职业大学机电学院，天津 300410）

摘要：与本科院校相比，高职院校有着与之差别化的培养目的和教育方案，所以传统的班级建设及管理法则，在高职院校会有不适用之处，尤其是在新媒体时代的的背景下会显得更加无力。因此，如何在新媒体时代做好高职院校班级建设成了学生工作者的必修课题，本文介绍了新时代背景下高职院校班级建设经常出现的几类问题，并结合发现的问题，探讨班级建设的有效方法。

关键词：高职院校；班级建设；解决方法
中图分类号：D262 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-4609（2017）14-0108-02

随着时代的不断前行，科技的不断进步，通讯方式不断升级，我们悄无声息的进入到了新媒体时代，如今我们的媒体早已经变得更加数字性、网络化、即时化，并且具有较强的互动功能，在这样的一个时代，传播信息、交流信息的方式早已改变了人们生活的习惯。作为高职院校学生而言，他们的年纪大多接近零零后，他们大都性格开朗，都有较强的独特个性，并且作为高职院校的学生，他们大多在中学时期没有养成良好的学习习惯，退而求其次进入到高职院校，可能一部分学生存在自卑情绪[1-2]。结合新媒体的大时代背景，高职院校管理学生的模式也发生着改变，对于这个自媒体时代，每个人都是信息的接受者，同时也是信息的制造者，所以如何充分利用媒体来引导学生的思想，如何积极的教育学生，这就给我们提出了一个难题。

班级具有重要的育人功能，也是开展大学生思想政治教育的重要阵地，是大学生开展教育和自我教育的重要领域，高校对学生的管理方式基本上还是以班级为基础，逐步、逐级展开教育，从而做到层层渗透，是学生真正感受带教育的力量，但目前高职院校的班级建设还存在不少改进的地方，加上新媒体的大背景又给了我们新的机遇与挑战，所以，如何在新媒体时代做好班级建设成了我们必修课题。

一、传统班级建设方式常出现的问题

（一）落后的班级管理方式已经不能满足高职院校的功能性分班

多年来，班级的形成一般都依赖于行政分班，有太多的随机性和偶然性，并且一段时间以来班级的构建和管理模式，并没有随着时代的发展而发生变革，尤其对于高职院校来说，有着不一样的培养目标，高职院校旨在培养复合型高素质技能型人才，学校也在不断通过校企合作的方式促进教育目标形成，所以我们经常可以在高职院校看到，如“订单班”等培养目的性很强的分班模式，所以，对于传统的班级建设模式的功能，如传递信息、上传下达、评优评奖等基本功能，已经不能与高职院校功能性相适应，所以对于高职院校的功能性分班，不可能靠偶尔的几次班会课把集体连接在一起，最后对学生的教育成果的针对性和时效性也会变弱。

高职院校功能班中的学生大多有共同的职业目标和职业需求，所以往往相关的专业社团往往必班级更有吸引力，更容易引导学生的思想，再者新媒体时代下的校园文化更加跳跃，更加活泼，更加独立，这就使落后的班级管理方式更加捉襟见肘。

（二）班级建设中辅导员的管理模式不够深入

辅导员往往负责整个专业学生的生活和学习，所以常常需要依靠班主任的行动和配合达成思想教育活动，由于思想教育的环节被拉长，所以往往思想教育的效果不够明显，再加上辅导员还有全面负责学生的评优评奖、助困助学、学生干部培养和党团建设等多项活动，所以，相对的，辅导员不容易做好班级的建设和构建活动，再者，对于班级建设而言，学生会的建设和学生社团的管理可能在辅导员的眼中更受重视，但是学生班级对于开展思想政治教育又特别重要，所以辅导员的角色需要从传统的角色中转换出来，以此来深入到班级中去。

（三）新媒体时代的媒介方式容易使班级建设趋于涣散

新媒体时代学生接受消息的模式，早已经不是通过班委组织班会传达，学生的选课模式也再也不是逐一线下提交申请，对于QQ、微信和微博来传递消息，使原来的点对面的传递方式拆解为点对点，学生日常的小范围活动，使班级很少能聚集起来，如此，班级再也不容易开展思想政治教育。即使我们有了更多的传递媒介，但是我们也丧失了更多集中民主讨论、交互沟通的机会，我们接触到越来越多冰冷的文字，而不是能显现喜怒哀乐的生动表情，所以合理使用新媒介，如何使用新媒介将学生联结起来，重新在新的背景下把学生重新真正聚集起来，已经变得不太容易了。

二、新媒体背景下班级建设方法的探索

新媒体时代下，为了使班级建设更加高效，更加适应整个大环境的变化，更加适应高职院校的发展需求，这就需要在管理模式上做一定的调整，所以可以围绕满足功能性班级发展需求、因材施教和标准化管理、转变辅导员的单一角色和合理利用新媒介这四个方面，对班级建设的新模式进行探索。

（一）满足功能性班级的发展需求[3-4]

在高职院校中，都会存在功能性班级，如订单班等职业目标很明显的特色班级，所以相较于普通班级的学生来说，功能性班级有不一样的学校教学活动，功能性班级具有较强的目标性，具有自己不同的文化氛围。

对于高职院校来说，在班级活动中如果能够加入订制化的就业指导，就能给班级的聚集增加新的活力，每个人有共同的目标，这就为集体的思想教育提供了一个基础，如此以来，学生更容易接受思想教育，由于集体有相同的目标性，班级更容易产生凝聚力。以此类推，在不同的功能性班级发展其班级特色，将班级打造的社团化，经常性的开展个性班级活动，增进学生的互动，促进学生间的互相了解，为班级的评优评奖、助困助贫打下良好的班级氛围基础。

（二）辅导员的角色转变

在新的时代背景下，面对个性十足的青年学生，辅导员管理者的身份也要逐渐有所转变，新媒体时代的到来，没能如愿以偿的因为通信方便而拉近辅导员与学生的距离，反而书写在群组里的通知失去了应有的温度，辅导员的角色一下子变得冰冷，变得高高在上，以上这种情况的出现，就需要辅导员的状态，尤其是日常扮演的角色就要发生转变。

以往在管理班级时，辅导员常常借助班主任这一不可少的中间环节，如此一来疏远

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

了与学生的距离，所以，辅导员时常应该站在班主任的角度，帮助学生，解决学生问题，这时辅导员就不应该是一个班级管理者的身份，也不是单纯的把任务分发给班主任，而逐级的开展活动，辅导员需要主动发现学现学生诉求，与班主任共同对各个班级及时进行调查分析，找出不同的班级特色，再次以一个策划者的身份订制活动，以这种投入关怀的方式融入班集体，从而走进学生。

（三）标准化班级建设与因材施教的个性化发展

作为一名辅导员，常常需要负责整个专业或者几个专业，这就为辅导员的精力分配和时间分配提出了挑战，所以班级管理制度标准化的建立就会起到重要的作用，我们要完善学生基事务操作实行的基本程序，结合已经存在的标准化文件，把一般情况的事务，因地制宜的转化为适宜自己操作的标准化程序，以此在开展学生活动时可达到多线进行的效果，并可以按程序监控效果，及时发现问题，从而避免不良后果的发生。

在（二）中也提到，由于学生具有不同的性格，所以班与班之间也有不同的特色，所以这就需要辅导员和班主任善于发现班级的性格，从而在标准化的制度下，又能因材施教的开展班级特色活动，这样既能保证正常情况下能解决学生事务，又能发展学生的多样性，保证了学生思想教育的质量。

（四）合理利用新媒介平台开展班级活动

新媒介的出现为辅导员的工作提供了许多便利，同时这种信息的便利也为辅导员的工作带来了“困扰”。首先，在开展班级活动时，便利的通讯技术可以让辅导员的活动内容直接传达出去，可是正是这种便捷使我们没能拉近与学生的距离，反而辅导员却变成了信息播报员，而偏离了活动组织者的身份；其次，新媒体时代使每个人都变成了媒体人，这就是常说的自媒体，这使我们在接受信息的同时，也时时刻刻的制造信息，对于有些思想不坚定的学生而言，很容易受到不良信息的困扰，同时又会将接受到的不良信息转化成负能量再传递出去，从而恶性循环。所以，辅导员再利用新媒体开展班级活动时，不要仅仅将它当作一个通讯工具在使用，要充分利用新媒体多变、活泼、灵动的表现形式，积极与学生互动，在互动中传递正能量，加深与学生的情感，使线上活动具有深远的意义。

三、小结

虽然班级只是学生群体中一个最基本的集合方式，但它却是开展思想政治教育的重要阵地。班级建设不能只靠传统的经验就能达到效果，它需要与时俱进，贴合大的时代背景展开，并且探索班级建设的还需要丰富的实践经验作为指导，高职院校班级建设的问题是一个需要不断探索的课题，其中还有很多难题需要探究，这还继续需要长久的探究和总结才能逐渐完善。

【作者简介】胡金鑫（1989-），男，硕士研究生，辅导员，研究方向为思想政治理论。

【参考文献】

[1] 马贵民，米志鹃，尹莹．高职学生特点及教育管理对策探究 [J]. 中国西部科技，2008,7(17):51-52.

[2] 刘慧．高职学生特点分析及对策浅探 [J]. 山东商业职业技术学院学报，2010,10(02):36-38.

[3] 方雅静．新时期高校班级集体建设的研究和探索 [D]. 上海：华东师范大学，2007.

[4] 许钟元．高校班级建设长效机制研究 [J]. 时代教育，2015,(13):57-58.

（上接第 107 页）

的专业情意很低。

师范生教师专业情意的缺失不仅有学生自身的因素，而且还有学校的因素，比如课程设置，教师在教学中对教育信念和教育情意方面不够重视，学校过于强调学科专业知识的学习，忽略了对教师职业的情感态度和价值观教育，等等。

还有在教学中流于形式，重于理论说教，学生觉得枯燥无味，所受的教益不大，不利于师范生树立新的教育观、教师观和学生观，不利于他们树立热爱学生、甘于清贫、乐于奉献的志向，不利于塑造良好的人格特质和专业自我 [6]。

这些都在不同的程度上影响着师范生教师专业情意的形成和发展。

三、提升师范生教师专业情意的策略

根据教师专业情意的内涵和重要性，针对目前在校师范生的教师专业情意缺失状况，提出以下三点建设性的师范生教师专业情意培养策略。

（1）引导在校师范生对教师职业形成正确认识。根据加里·德斯勒的职业生涯五阶段理论，在校师范生的大学本科年龄大多在 18-22 岁，处于职业角色设计期 [7]，这一阶段的可塑性比较强，因此学校和教师都有责任和义务采取一些行动来加深学生对教师职业的认同感，要让他们意识到教师职业是一个神圣的职业，它不仅关乎教师个人自身的发展，而且关乎到民族教育事业的发展。还要让他们能意识到他们肩负的重要使命，他们便会因此而不断地努力寻求机会实现自我成长 [8]。

（2）大学教师自身要给师范生做好榜样，以良好的专业情意引导和影响师范生的发展。教师可以借鉴彭云的《关于教师专业情意结构的研究》中教师专业情意的三维结构模型，可以运用到教学中引导师范生教师专业情意的发展。

教师自身以乐教、冶教和入教三个维度及相应层次的标准也要求自己，潜移默化中可以影响到学生自身发展。教师专业情意也可以说是师范生专业发展的一个内在因素，是一种价值的体现，它也需要教师通过学生能看得见的教学行为来影响学生。

（3）教学中加强教育信念和教育情意的培养。我们也可以借鉴研究者丁刚，李梅提出的提升师范生素养的策略，如关注教师教育课程设置的相互联系及其内在统一；加强师范生的专业情意教育，采多种形式使学生深刻认识到教师职业的性质、特点、社会形象和社会地位等，培养学生对教师职业的认同感等 [9]。教师在教学中要将教育信念和教育情意渗透在教学内容中，让学生加深对其的理解。

【作者简介】李艳凤（1986-），女，硕士研究生。

【参考文献】

[1] 冯龙芝．高师院校教学改革与师范生专业素质发展 [J]. 中国高教研究，2004,(5):87.

[2] 唐松林，徐厚道．教师素质的实然分析与应然探讨 [J]. 高等师范教育研究，2000,(6):34-39.

[3] 陶西平．教师的专业情意 [J]. 中小学管理，2007,(7):54-54.

[4] 童云飞，刘桂林．论教师专业情意的发展水平 [J]. 临沧师范高等专科学校学报，2010,(4):88-91.

[5] 教育部师范教育司．教师专业化的理论与实践 [M]. 北京：人民教育出版社，2001

[6] 赖小琴．师范生教师专业素养培养中存在的问题与对策 [J]. 学术论坛，2008,(6):179-181.

[7] 罗亮．基于职业生涯规划理论引导免费师范生终身从教 [J]. 西南农业大学学报：社会科学版，2011,09(8):201-204.

[8] 彭云．关于教师专业情意结构的研究 [J]. 现代教育科学，2011,(3):1-4.

[9] 丁钢，李梅．中国高等师范院校师范生培养状况调查与政策分析报告 [J]. 教育研究，2014,(11):95-106.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高职院校服务国家战略的内涵与模式

——天津职业大学服务国家战略的实践与探索

周晶晶 邹吉权 王 昆
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：服务国家战略是高等职业教育重要的社会职能和使命担当，高职院校应重点服务人才发展、科学发展、社会发展和国际化发展等国家战略，为其提供技术技能人才支持、产教融合主体支撑、社会服务培训保障、职业教育方案输出。结合天津职业大学在服务国家战略过程中的实践探索，构建高职院校服务国家战略的理论模型，以服务区域经济协调发展为基础，有机融入创新驱动、人才发展和民生保障等战略实施。从“面、点、线”的角度，提出高职院校全方位、全链条、全要素服务国家战略的“三全”模式，旨在为提升我国高职院校服务能力提供指导依据。

关键词：高职院校；国家战略；职业教育；模式
中图分类号：G711 **文献标识码**：A **文章编号**：1008-8415[2022]-04-0003-09

国家战略是一个国家为实现国家目标而综合开发、合理配置和有效运用国家力量的总体方略，[1]是事关国家长远利益和长远目标的宏伟蓝图，是我国建成社会主义现代化国家的策略和行动指南。党的十九大报告提出了实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略、乡村振兴战略、区域协调发展战略、可持续发展战略、军民融合发展战略等七大国家战略。此外，国家战略还包括以构建人类命运共同体的“一带一路”建设等。国家战略为职业教育发展提供了重大历史机遇，同时也提出了更高要求。

职业教育是培养多样化人才、传承技术技能、促进就业创业的重要途径，是与社会经济和产业发展联系最紧密的一种教育类型。在新形势下，高职院校如何主动服务国家战略，在服务经济发展转方式、服务产业转型调结构、服务民生促发展、服务人类命运共同体构建等方面提供技术技能人才支撑和智力支持？学界对于高等职业教育服务国家战略的内容和模式鲜有研究。本文旨在回答以下四个问题：第一，高职院校服务国家战略的意义所在？第二，高职院校应重点服务哪些国家战略？第三，高职院校在推进国家战略中如何发挥作用？第四，高职院校服务国家战略面临哪些问题，如何改进？

一、高职院校服务国家战略的价值取向

（一）服务国家重大战略的时代要求

国家战略本质上是为了维护和增进国家利益，在特定历史时期维护或实现国家利益即为国家目标。[2]现阶段，我国的目标即为实现社会主义现代化。在社会主义现代化建设中，教育具有基础性、先导性和全局性的地位和作用，为开启全面建设社会主义现代化国家新征程奠定人才基础，提供创新主力。[3]加快教育现代化，以教育现代化支撑和助推国家现代化，建成教育强国、人才强国尤

收稿日期：2022-07-12
基金项目：本文为2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”（项目编号：DJA190347；主持人：邹吉权）；2021年天津市教育科学规划课题“基于’互联网+’双创大赛视角的高职创新创业教育路径研究与实践”（项目编号：CJE210242；主持人：王昆）的阶段性研究成果。
作者简介：周晶晶(1987—)，女，天津人，天津职业大学职业技术教育研究所，助理研究员，硕士。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为必要。习近平总书记在全国职业教育大会中作出重要指示强调，在全面建设社会主义现代化国家新征程中，职业教育前途广阔、大有可为。高等职业教育作为职业教育的重要组成部分，理应为全面建设社会主义现代化强国提供高素质技术技能人才和技能支撑。

从国家对职业教育的定位来看，《职业教育法》时隔26年大修，以法律形式明确“职业教育是与普通教育具有同等重要地位的教育类型”。在教育规划上，规定发展职业教育应当与促进就业创业、推动发展方式转变和产业结构调整等整体部署、统筹实施。[4]2021年，首次以党中央名义召开全国职业教育大会，会议高度评价了职业教育“前途广阔、大有可为”的战略地位，充分肯定了职业教育在推进社会主义现代化建设中的重要作用，并创造性提出了建设技能型社会的理念和战略，这无疑对职业教育提出了更高的“期待”。李克强总理在第十三届全国人民代表大会第五次会议的政府工作报告中指出，2022年国家经济社会发展总体要求和政策取向依然坚持“稳增长、调结构，加快转变发展方式”，这就要求职业教育的人才培养必须适应经济发展方式转变的要求，职业院校的专业建设必须适应产业结构调整的要求。政府工作报告还指出将“继续开展大规模职业技能培训，共建共享一批公共实训基地”“使用1000亿元失业保险基金支持稳岗和培训，加快培养制造业高质量发展的急需人才”。职业教育还应在服务民生建设上作贡献，一方面支撑政府履行公共服务职责，面向人人，开展技能培训。另一方面支撑我国人力资源结构调整，培养更多的高素质技术技能人才。

（二）职业教育高质量发展的必然使命

党的十九大以来，特别是《国家职业教育改革实施方案》出台以来，职业教育迎来大改革大发展的新阶段。随后，教育部、财政部印发《实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》（以下简称《双高计划》），旨在集中力量建设一批引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职学校和专业群，带动职业教育持续深化改革。2020年，教育部等九部门印发《职业教育提质培优行动计划（2020—2023年）》（以下简称《行动计划》），标志着职业教育从深化改革提升到提质培优阶段。此后，为贯彻全国职业教育大会精神，对接教育强国建设和《中国教育现代化2035》的总要求，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》（以下简称《意见》），对建设高质量职业教育体系作出总体安排。

上述国家出台关于职业教育改革发展的重大文件，不仅清晰描绘了“十四五”期间职业教育改革发展政策框架，也对职业教育服务国家战略做出了具体要求。

从职业教育高质量发展的内在需求来看，《双高计划》中提出“面向脱贫攻坚主战场，积极吸引贫困地区学生到‘双高计划’学校就学”“服务乡村振兴战略，广泛开展面向农业农村的职业教育和培训”“积极参与‘一带一路’建设和国际产能合作，培养国际化技术技能人才，促进中外人文交流”等具体改革任务。[5]《行动计划》将有效支撑国家重大战略列为主要目标之一，提出“加大对农业农村等人才急需领域的职业教育供给，建设100所乡村振兴人才培养优质校”“积极承办世界职业教育大会”等具体举措。[6]《意见》对优化职业教育供给结构提出“围绕国家重大战略”建设专业、“优化区域资源配置”“持续深化职业教育东西部协作”“加快培养乡村振兴人才”“全方位践行世界技能组织2025战略”“推动职业教育走出去”等。[7]

（三）高职院校品牌打造的内在需求

高职院校品牌是社会对其在创立、发展过程中形成的鲜明的办学特色、先进的办学理念、丰富的办学经验、一流的师资队伍、优质的教学资源和卓越的人才培养质量的认知和评价，是高职院校的无形资产。一方面，在职业教育高质量发展的背景下，拥有良好的品牌势必会为高职院校赢得有利的市场地位，使其能够引进高端人才充实师资队伍，吸引众多生源，引入龙头企业合作，培养更多高质量技术技能人才，服务能力得到进一步提升，社会效益日益增强，形成品牌良性循环。另一方面，《双高计划》的目的即为打造中国

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高等职业教育品牌，高职院校力求通过内涵建设，积极打造品牌特色，在专业群建设方面，深度对接国家重大战略、区域经济发展和产业发展需求，建立专业群动态调整机制，优化专业结构和布局，提高人才培养契合度，这与国家战略的时代要求具有同质性。

从高职院校内涵建设需求来看，服务国家战略倒逼高职院校深化改革，使高职院校紧密对接战略性新兴产业和区域高端产业发展要求设置（调整）专业，密切加强校企合作，深入推进院校现代化治理，提高人才培养质量，形成品牌特色。

二、高职教育服务国家战略的主要领域

在高职教育服务领域，国家重大战略可以划分为四类，包括服务国家立德树人的人才发展战略、服务国家创新驱动的科学发展战略、服务国家促进民生的社会发展战略以及服务构建人类命运共同体的国际化发展战略。[8]

（一）服务国家立德树人的人才发展战略

在众多人才发展战略中，人才强国战略早在2002年被定义为“是增强我国综合国力和国际竞争力，实现中华民族伟大复兴的战略选择”。国务院印发的《中国制造2025》把人才作为建设制造强国的根本前提，提出“加快培养制造业发展急需的专业技术人才、经营管理人才、技能人才”，并明确提出新一代信息技术产业等十大重点领域，每个领域都需要大量的高端技能型人才。[9]2022年4月29日，中共中央政治局召开会议，审议《国家“十四五”期间人才发展规划》，着重强调要进一步激发人才活力，会议在产业技术技能人才开发方面提出了具体要求，强调创新力强、竞争力强、自我孕育能力强。[10]因此，高职教育最重要的使命即为培养复合型、创新型高素质技术技能人才。

（二）服务国家创新驱动的科学发展战略

纵观创新驱动战略，党的十八大报告中把创新驱动战略聚焦在科技创新，构建了提高自主创新能力、深化科技体制改革、优化创新环境和扩大科技开放合作等实施路径，在深化科技体制改革中，提出加快建设国家创新体系，建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系。而在党的十九大报告中再次强调了“建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系”，并指出“加强对中小企业创新的支持”“培养造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才和高水平创新团队”等。高职院校校企合作的主要对象为行业领军企业、高端企业等，通过引进企业最先进的理念、技术、工艺，培养高素质技术技能人才。此外，高职院校技术服务的主要对象为中小微企业，这与创新驱动战略对职业教育产教融合和人才培养具体要求高度吻合。

（三）服务国家促进民生的社会发展战略

促进民生的社会发展战略包括脱贫攻坚、乡村振兴、区域协调发展等。以习近平同志为核心的党中央把脱贫攻坚纳入“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局，摆在治国理政突出位置。区域协调发展战略是缩小区域间差异，实现区域均衡发展的重大战略，包括以东部沿海剩余经济发展能力提高西部地区发展的西部大开发战略，以疏解北京非首都功能为重点的京津冀协同发展及高起点规划、高标准建设雄安新区，以共抓大保护、不搞大开发为导向的长江经济带建设，以促进合作共赢为落脚点的粤港澳大湾区建设等。东西扶贫协作和对口支援是推动区域协调发展，解决西部深度贫困问题的重要举措。职业教育是距离农村贫困人口和基础工作者最近、最能直接提升其就业能力和收入水平的教育类型，习近平总书记在中央农村工作会议上指出：“脱贫攻坚取得胜利后，要全面推进乡村振兴，要坚决守住脱贫攻坚成果，做好巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接”，对东西部职业教育协作发展和区域职业教育协同发展提出了新要求。

（四）服务构建人类命运共同体的国际化发展战略

“一带一路”是构建人类命运共同体理念的具体实践，也是打造人类利益共同体的最好方式。一方面，“一带一路”建设可以使更多国家间实现不同程度的政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通和民心相通，其中民心相通是“一带一路”建设的社会根基。职业院校境外办学的使命之一即为推进沿线国家民心相通，通过开展文化交流、

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

学术研究、人才交流合作等，为深化合作奠定坚实的民意基础。另一方面，“一带一路”建设有利于中西部地区的全面发展，把中西部地区的发展与我国发展较好的地区、与亚欧周边国家联系起来，带动形成陆海内外联动、东西双向互济的开放格局。习近平总书记在推进“一带一路”建设工作5周年座谈会上的重要讲话中指出，要加强共建“一带一路”同京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设等国家战略对接。职业教育与经济依存度较高，是“一带一路”中经济建设的重要支撑，是“一带一路”与区域协调发展战略、乡村振兴战略等有机衔接的关键一环。

三、高职院校服务国家战略的应然向度

职业教育服务国家战略“大有可为”，高职院校在服务领域中应如何发挥其社会职能，展现使命担当?

（一）服务重大人才发展战略的技术技能人才支持

人才资源是第一资源。党的十九大报告中提出，坚定实施人才强国战略，强调“人才是实现民族振兴、赢得国际竞争主动的战略资源”。党的十九大报告中提出的七大战略对人才均提出了不同需求，如创新驱动发展战略的“更加注重发挥技术技能人才队伍创新作用，充分激发全社会的创新活力”，乡村振兴战略的“培养新一代爱农业、懂技术、善经营的新型职业农民”“加大‘三农’领域实用专业人才培育力度”“一带一路”建设的“中文”+“专业”高素质复合型国际化人才等。由此可见，人才强国战略是国家其他战略的实施基础。进入新时代，世界新一轮科技革命和产业变革创造出越来越多的新产品、新需求、新业态，这就要求与之相匹配的创新型高层次人才支撑，特别是能够引领世界科技潮流的创新型人才。然而，现阶段我国高端人才尤其是创新型的高端人才仍然短缺，人才队伍结构性矛盾仍然存在。习近平总书记指出，“世界级大师缺乏，工程技术人才培养同生产和创新实践脱节”“重视高端人才但对初中级人才关注不够”等问题。高等职业教育兼具“高等”和“职业”双重属性，教育形式具有跨界性，教育内容极具实践性，培养的技术技能人才指向工程技术一线，是初中级工程人才队伍结构的重要一环。高职院校应聚焦战略性新兴产业、区域高端产业和产业高端建设专业（群），构建高水平人才培养体系，大力培养德智体美劳全面发展，具有审辨式思维能力、国际化视野、解决复杂实际问题能力和创新能力的创新型高素质技术技能人才。

（二）服务创新驱动发展战略的产教融合主体支撑

实施创新驱动发展战略的重要内容即为构建以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系。中共中央、国务院印发的《关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》中指出，“建立技术创新市场导向机制”，充分强调了企业的主体作用，并提出“完善中小企业创新服务体系”。一方面，产教融合是高职院校服务创新驱动发展的重要载体。职业教育是与产业发展衔接最为紧密的教育类型，《意见》指出职业学校要“服务地方中小微企业技术升级和产品研发”。深化产教融合有利于推动高职院校和企业的研发成果转化为现实生产力，推动企业技术进步和产业升级，有利于真正形成市场主导型、学研驱动型的产业协同创新。[11]另一方面，创新驱动发展战略是高职院校深化产教融合的内在需求。新修订的《职业教育法》在第一章第九条中提出“国家发挥企业的重要办学主体作用，推动企业深度参与职业教育”，明确了企业在职业教育中的重要作用。企业参与职业教育势必推动职业教育管理体制机制创新，而体制机制创新是创新驱动发展战略的重要组成部分。[12]高职院校以产教融合为主线，围绕生产性实训、技术研发等关键环节，探索依法合资、合作设立实体化机构，以科技成果推广和转化、产品研发、工艺改进、技能大师培养等为主要内容，服务企业技术改造和升级，使高职院校科技开发和技术服务能力得到提升；与此同时，通过完善高技术技能创新人才联合培养和双向流动机制，促进复合型、创新型高层次技术技能人才培养，实现产业协同创新。

（三）服务重大社会发展战略的社会服务培训保障

教育是最大的民生事业，职业教育具有面向

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

人人、服务区域、促进就业、改善民生的功能和独特优势，在国家促进民生重大社会发展战略发挥了重要作用。京津冀协同发展战略，是以习近平同志为核心的党中央在新的历史条件下作出的重大决策部署，设立雄安新区是疏解北京非首都功能、推进京津冀协同发展的历史性工程。职业教育是京津冀协同发展的重要组成部分，其目的是促进区域与产业协调发展，实现职业教育资源共享、优势互补、错位发展、共同提高，形成职业教育创新发展、高质量发展的标杆。习近平总书记在中央扶贫开发工作会议上的讲话中指出："脱贫攻坚期内，职业教育培训要重点做好。一个贫困家庭的孩子如果能接受职业教育，掌握一技之长，能就业，这一户脱贫就有希望了"。目前，我国脱贫攻坚已取得决定性胜利，改善了乡村尤其是贫困地区的生产生活条件，提高了当地群众的生活质量，然而从根本上彻底解决农村、农业及农民问题，还需要促进乡村产业、人才、文化、生态、组织等全面振兴，即全面推进乡村振兴。高职院校应在巩固脱贫攻坚成果的基础上，按照习近平总书记"实现乡村产业振兴、人才振兴、文化振兴、生态振兴、组织振兴"的总体要求，以推动特色产业发展、培养乡村振兴人才和提升农民素质为载体，积极培育农业农村领域科技创新创业项目，提高多种形式的资源供给，广泛开展面向农业农村的职业教育和培训。

（四）服务重大国际发展战略的职业教育方案输出

教育在"一带一路"建设中具有基础性、先导性作用。中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于做好新时期教育对外开放工作的若干意见》中提出："实施'一带一路'教育行动，……，加强教育互联互通、人才培养培训等工作"。此后，教育部针对教育服务"一带一路"建设出台了《推进共建"一带一路"教育行动》，提出推进民心相通，培养"一带一路"急需人才，推动教育深度合作等愿景，以期扩大教育对外开放。在教育国际化背景下，对职业教育也提出了具体要求。《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》提出要推动与中国企业和产品"走出去"相配套的职业教育发展模式，注重培养符合中国企业海外生产经营需求的本土化人才。《行动计划》指出，通过与国外中资企业合作境外办学、建设"鲁班工坊"等项目，加快培养国际产能合作急需人才；通过联合开展国际学术研究、标准研制等项目，输出中国职业教育方案。《意见》将职业教育国际化上升为"打造中国特色职业教育品牌"，在拓展中外合作交流平台中给出了更详细的举措。这些政策文件共同把服务中国企业"走出去"需要的人才培养，服务国际产能合作作为职业教育合作的重要内容。因此，高职院校应在培养具有国际视野、通晓国际规则的复合型技术技能人才培养与提高国际化办学水平、开发国际化专业教学标准与课程资源、打造具有国际化水平的师资队伍、搭建国际职业教育交流平台、打造鲁班工坊国际化品牌等，输出中国职教方案上下功夫。

四、高职院校服务国家战略的问题分析

（一）教育资源与育人模式成为制约技术技能人才培养质量的首要问题

随着我国经济持续健康发展、产业逐步转型升级，尤其是创新驱动发展战略实施之后，在推动"中国制造 2025"行动计划的实施过程中，技术技能型人才数量不足、质量不高的问题日益突出。[13]在此背景下，教育部先后出台《关于深化职业教育教学改革，全面提高人才培养质量的若干意见》《行动计划》等职业教育改革发展的指导性文件，促进职业教育从重数量增长到重质量建设，提升技术技能人才培养质量。一方面，资源的竞争在一定程度上成为提高人才培养质量的有效手段。重大项目、优秀师资、高端合作企业、优质生源、精品课程等资源的短缺，尤其成为中西部地区制约人才培养质量的关键因素。另一方面，人才培养模式的优劣在实践层面是影响人才培养质量的关键因素。当前我国部分高职院校，尤其是职业教育发展欠发达地区，存在办学理念、人才培养目标定位不清晰、专业设置与产业脱节、教学内容与岗位需求不匹配、课程体系设置不合理等现象，使得高职院校服务的成效不高。

（二）融合机制与融合深度成为阻碍产教协同创新的核心问题

产教融合要支撑创新驱动发展战略实施，必

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

须建立起良性互动、运行高效的校企协同创新机制，从深层次、大范围地整合校企创新资源，充分发挥高职院校师生、企业技术骨干的创新能动性。[14]然而，在“高职院校的技术创新成果通过企业转化为现实生产力”与“产业新技术、新工艺通过高职院校转化为教育教学资源”的双向对接过程中，还存在创新资源建设与共享机制、创新成果转化机制不畅、产教融合深度不够等问题。表现为企业的技术创新需求与高职院校的技术资源、智力资源供给无法有效对接，校企间缺少沟通交流和资源共享平台，校企合作项目的深度和广度还不够。

（三）职教体系与职业培训成为影响人的多样化发展的主要问题

建立适应多样化发展需要，纵向贯通、横向融通，服务全民终身学习的现代职业教育体系，可为不同性格禀赋、不同兴趣特长、不同素质潜力、不同学习阶段的学生提供多样化选择、多路径成才机会。然而，长期以来，尤其是我国西部地区，虽然职业教育发展规模和质量得到了显著提升，但区域职业教育发展水平仍不均衡，无法满足各类群体的职业教育和培训需求。其主要原因是现代职教体系建设仍有待完善，从顶层构建中高职衔接、专本衔接、社会服务的制度设计还不够。此外，针对缩小贫富差距的职业教育培训方面，虽然建设了面向农村职业教育与培训优质资源体系，但高职院校在师资短缺及社会服务需求增加的双重压力下，职业教育培训的质量和效率有待提升。

（四）统筹协调与标准建设成为束缚职业教育方案输出的关键问题

据有关数据统计，职业教育伴随中国企业和产品“走出去”、服务共建“一带一路”倡议，目前与70多个国家和国际组织建立了稳定联系，与19个国家和地区合作建成20家“鲁班工坊”，在40多个国家和地区合作开设“中文＋职业教育”特色项目，培养了大批懂中文、熟悉中华传统文化、当地中资企业急需的本土技术技能人才。然而，中国职业教育在“走出去”过程中，还存在统筹协调不够、境外办学规划意识不强、国际化教育教学标准欠缺、协同企业发展能力不高、境外办学绩效评价不足等问题，对中国职业院校深度参与“一带一路”建设形成挑战。

五、高职院校服务国家战略的模式探索

服务国家战略是一项系统工程，高职院校必须结合自身的优势，深入研究服务领域、服务面向、服务环节的特点和要素之间的内在联系，统筹谋划、系统推进，才能取得更好的服务实效。基于服务国家战略的服务领域、内容和向度分析，高职院校服务国家战略可以构建“面、点、线”的关系网。“面”即为高职院校所在的“区域面”。高职院校的服务基础即为服务区域协调发展，为国家战略、区域经济和社会发展培养类型全面、素质较高的技术技能人才，为中小微企业提供技术服务，为职业教育协同发展扩大资源供给。在服务区域协调发展中，有机融入创新驱动、人才发展和民生保障战略实施，重点整合优质资源、搭建合作平台、推广优秀育人模式、构建职教体系及培训体系，提升区域协同育人质量和服务质量。“点”即为高职院校跨区域服务的“地区点”。职业教育服务脱贫攻坚战略和乡村振兴中，重点聚焦推动中西部贫困地区，使东部地区与西部地区职业教育“定点”帮扶、协调发展，促进教育公平。“线”即为“一带一路”的“路途线”。职业教育服务“一带一路”建设聚焦扩大对外开放，形成更大范围的区域协同发展。“面、点、线”的关系网使服务面向从区域向全国，再到世界三个层面层层递进。

作为国家首批示范校、全国优质高职院校、“双高计划”学校A档建设单位，天津职业大学依托先进的办学理念、丰富的办学经验、过硬的师资队伍和优质的教学资源，在服务国家战略中，做出了一系列的探索和实践。立足区域，面向全国，放眼世界，坚持问题导向，使服务更具针对性，系统分析问题原因，在构建高职院校服务国家战略的理论模型和实践模式上做出了有益尝试。

（一）构建高职院校服务国家战略的理论模型

强调服务的整体性、开放性和层次性，构建高职院校服务国家战略的理论模型（如图所示），创新高职院校全方位、全链条、全要素服务国家

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

战略的“三全”模式。包括面向京津冀协同发展的“规划引领、联盟推动、项目支撑、资源共享”全方位协同模式，面向脱贫攻坚和乡村振兴的“规划引领、模式复制、资源支持、就业援助”全链条职教帮扶模式，面向“一带一路”建设的“联盟推动、机构支撑、标准统领、绩效评价”全要素统筹国际化办学模式。在服务主体上，建立学校——职能部门——二级学院三级实时联动机制，实施党委书记、校长双组长负责制，由校领导牵头，职业技术教育研究所出思路、出规划，合作教育办公室出方案、出模式，继续教育中心出平台、出资源，二级学院担项目、包落实；在服务面向上，建立了区域——全国——世界三个层面层层递进机制；以服务区域协同发展为基础，在服务过程中，融入人才发展战略、创新驱动战略和民生保障等战略实施，依托服务区域的经验和模式，以问题为导向，向全国其他区域以及“一带一路”沿线国家和地区推广；在服务流程上，建立了引领——驱动——执行——反馈四个环节环环相扣机制。

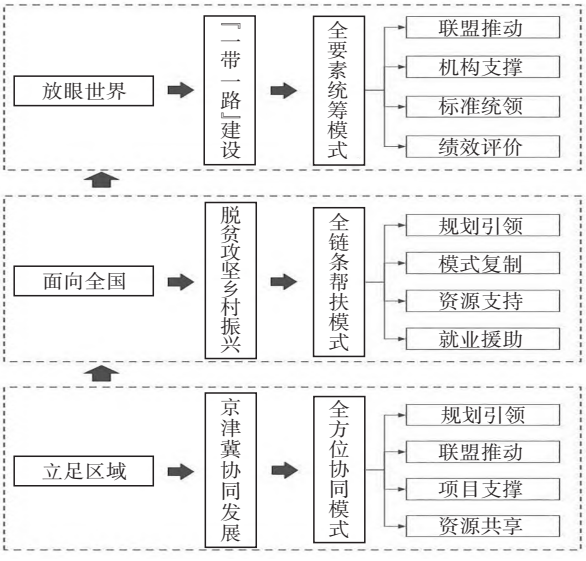


图　高职院校服务国家战略的理论模型

（二）立足区域：规划引领、联盟推动、项目支撑、资源共享全方位协同模式

在区域、学校、专业和人才全方位服务京津冀协同发展，实现区域协同有规划、校际合作有平台、专业共建有项目、人才培养有资源。规划引领即以区域职业教育发展规划作为区域协同的顶层设计，将职业教育发展规划与区域发展特点和战略需求相结合。天津职业大学主持制定《天津市职业教育改革与发展“十四五”规划》《天津市本科层次职业教育发展规划》，将京津冀职业教育协同发展纳入规划，并基于此研制了《雄安新区职业教育强基提质培优引领行动计划》，重点服务现代职教体系构建。

联盟推动即通过组建职教集团、产教联盟等协作组织，为校区、校际、校企间搭建沟通与交流的平台，促进面向区域产业升级转移的职业教育协作和发展。学校组织京津冀三地重点企业、职业院校和研发机构等，共同组建京津冀“双高计划”建设联盟、津雄职业教育发展联盟、京津冀眼视光技术专业职业教育集团等多个协作组织，通过联盟加强三地优质高职院校、龙头企业之间的沟通合作，重点搭建合作平台，推进产教深度融合、校际深度协同。

项目支撑即通过建立合作项目，使专业（群）深化合作内容，创新合作模式，提高协同效能。一是异地建分校项目。河北省威县是京津冀产业转移的承接地区之一，也曾是国家扶贫开发重点县，全县只有一个职教中心，年平均培养中职毕业生仅500余人，远远不能满足周边区域乃至河北省广大的生源市场和人才层次的需求，急需建立中高职衔接的现代职业教育体系。鉴于此，在教育部大力支持下，学校打破跨省份招生、异地学生补贴发放等政策壁垒，成立了天津职业大学威县分校，以促进就业为导向，探索实施了全国首个跨省份的“五年一贯制”人才培养模式，依托分校建设带动威县职业教育发展。二是专业结对项目。学校与廊坊职业学院、唐山工业职业技术学院等5所河北省高职院校专业结对发展，在对接区域产业群建设优质特色专业群、专业人才联合培养等多方面制定具体举措，重点围绕人才培养质量提升，探索人才培养新模式。

资源共享即充分发挥学校资源优势，共享共建优质职业教育资源，助力人才培养质量提升。学校持续面向唐山市、石家庄市、张家口市开展职业教育师资培训，推广应用学校专业教学资源库、共享全国职业院校技能大赛优质资源成果转

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化平台、信息化教学平台和教学能力比赛成果；学校在雄安新区建立天津职业大学雄安师资培训中心，与曹妃甸职业技术学院共建“国际职业教育研修中心”，持续开展师资培训和交流；在雄安新区建立特蕾新学前教育学院附属幼儿园，既作为学生“学徒制”培养基地，又作为面向雄安新区学前教育师资培训基地，并与企业共建的资源、课程输送到雄安新区。重点解决因资源缺乏导致人才培养质量不高的问题。

（三）面向全国：规划引领、模式复制、资源支持、就业援助全链条帮扶模式

在职教体系构建、职业院校建设、人才培养和学生就业全链条服务脱贫攻坚与乡村振兴，实现规划引领体系构建、模式带动院校发展、资源支撑人才培养、就业援助改善环境。规划引领要注重融入东西部帮扶举措，在充分调研职业教育和产业发展现状基础上，科学做好顶层设计，为中西部地区制定中长期职业教育发展规划。学校研制《和田职教园区规划方案》，聚焦和田地区社会稳定和长治久安总目标，着眼于打赢脱贫攻坚战，为和田地区构建具有本土特点的现代职教体系。

模式复制要注重因地制宜，将东部地区先进的职业教育办学理念和模式复制到西部地区，探索实施模式复制本土化的实践方法，形成受援院校本土化方案，防止借鉴东部建设经验出现“水土不服”的现象，促进西部地区职业院校内涵建设。在专业建设、师资队伍以及资源共享等诸多方面进行了全方位援助，探索出区域系统援建、品牌整体输出、专业结对共建、师资轮岗培训等有效模式。

资源支持要注重输造并举，实施“输血”与“造血”相结合的帮扶机制，结合受援院校发展实际，有针对性地派出挂职干部，充实师资队伍，优化师资结构，引领专业建设和院校发展；共享学校教学资源库、教材、课程标准等优质资源；援建实训基地（室），派出技术专家指导项目研发。建设师资培训基地，组团派出教师以线上、线下相结合开展师资培训。实施专业结对建设，指导西部职业院校开发教学资源、建设实训基地等。

就业帮扶要注重产教融合，一是组织东部地区重点企业实施转移就业，实施劳动力输转培训，解决中西部劳动力过剩和东部重点企业用工难的问题。二是为中西部地区企业、学校搭建校企合作平台。搭建中西部劳动力输转“大平台”，与东部地区缺工企业联系，为中西部中职院校“两后生”“定制”实习岗位，通过对输转的学生开展岗前培训、技能培训、技能鉴定取证以及在自愿基础上的学历教育，提升综合素质，实现稳定就业、定居发展的新目标。

（四）放眼世界：联盟推动、机构支撑、标准统领、绩效评价全要素统筹模式

在交流平台、办学机构、标准研制和办学水平等全要素服务“一带一路”建设，以联盟推动实现统筹协调，以办学机构输出中国方案，以标准研制提升国际影响，以绩效评价提高办学水平。联盟推动强调联盟的平台作用。成立鲁班工坊建设联盟，搭建鲁班工坊建设实施、交流协作和宣传推广平台，共鉴共享鲁班工坊建设经验和成果，推进鲁班工坊高质量建设。

机构支撑强调服务中国企业“走出去”。联手“走出去”中国企业建设海外鲁班工坊、办学机构等，满足企业对新信息技术与先进制造技术的急迫需求，研发相关专业标准和证书课程标准，并配套开发核心专业课教学资源及教材，使用中国本土厂商设备建设实训室，为当地师资开展专业知识、教学方法及设备应用技术的培训，培养当地技术技能人才。

标准统领强调中国标准输出。研制鲁班工坊建设标准、国际化专业教学标准和国际化课程标准及其配套的教学资源，开发国际化专业教育标准和课程标准，以标准为统领开展国际化教学，培养了一大批高素质本土技术技能人才，在国际上提供了职业教育的中国方案、中国标准、中国技术，有力支持了中国企业“走出去”。

绩效评价强调质量反馈。开展鲁班工坊评价标准体系研究，推动鲁班工坊全过程质量监控评估管理，建立数据库跟踪鲁班工坊人才培养、资源建设、人文交流、产教融合等各个方面的进展情况，确保项目高质量、可持续发展。

（责任编辑：古光甫）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献：

[1]薄贵利.十九大报告国家战略解读[J].领导科学论坛,2018(14):32-45.

[2]薄贵利.论国家战略的科学内涵[J].中国行政管理,2015(07):70-75.

[3]西安交通大学马克思主义学院.建设教育强国是实现社会主义现代化强国的题中之义[EB/OL].(2020-12-25)[2022-04-25].https://www.sohu.com/a/440375846_120873510.

[4]中华人民共和国职业教育法[EB/OL].(2022-05-01)[2022-05-21].http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/sjzl_zcfg/zcfg_jyfl/202204/t20220421_620064.html.

[5]教育部,财政部.关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见[EB/OL].(2019-04-02)[2022-04-11].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_737/s3876_qt/201904/t20190402_376471.html.

[6]教育部等九部门.关于印发《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》的通知[EB/OL].(2020-09-16)[2022-04-11].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/202009/t20200929_492299.html.

[7]中共中央办公厅,国务院办公厅.关于印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》[EB/OL].(2021-10-02)[2022-04-11].http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/12/content_5642120.htm.

[8]朱旭东.论教育学科服务国家重大发展战略的时代内涵[J].教育研究,2020(05):4-9.

[9]国务院.关于印发《中国制造2025》的通知[EB/OL].(2015-05-08)[2022-04-16].http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.

[10]光明网.中共中央政治局召开会议 审议《国家"十四五"期间人才发展规划》[EB/OL].(2022-04-30)[2022-04-13].https://m.gmw.cn/baijia/2022-04/30/35702252.html.

[11]苏　华.实施创新驱动发展战略必须构建创新型技术技能人才培养模式[J].教育与职业,2016(14):5-7.

[12] [14]熊晨超,齐思廉.基于创新驱动战略的高职产教融合的问题与发展路径[J].教育与职业,2019(22):12-18.

[13]祝木伟.吹响经济发展新常态下提高职业教育人才培养质量的号角[EB/OL].(2015-08-20)[2022-05-11].http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/moe_2082/zl_2015n/2015_zl32/201508/t20150820_201787.html.

Connotation and Mode of Higher Vocational Colleges Serving National Strategy
—Practice and Exploration of Tianjin Vocational Institute Serving National Strategy

Zhou Jingjing　Zou Jiquan　Wang Kun

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: It is an important social function and mission for higher vocational colleges to serve national strategy. Higher vocational colleges should focus on serving national strategies such as talents development, scientific development, social development and international development, and provide them with technical and skilled talents support, main body support of industry and education integration, guarantee of social service training and vocational education program output. Based on the practice and exploration of Tianjin Vocational Institute in the process of serving national strategy, the theoretical model of higher vocational colleges serving national strategy is constructed. Based on the service of regional economy coordination development, the implementation strategies of innovation driven, talents development and livelihood security are organically integrated. From the perspective of "area, point and line", the paper puts forward the "three-in-one" mode of all-round, whole-chain and whole-factorfor higher vocational colleges servicing national strategy. The purpose is to provide guidance for improving the service ability of higher vocational colleges in China.

Keywords:higher vocational colleges;national strategy; vocational education;model

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

高职院校兼职教师队伍建设路径与高效管理的探索

王丽华，邹吉权

（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：兼职教师队伍建设是我国高职院校师资建设的重要组成部分，本文针对高职院校兼职教师的现状和存在的问题，进行了兼职教师队伍建设路径的探索，并构建以“校企合作、专兼融合、加强考核、有效激励、营造环境”为主体的兼职教师有效管理框架，以推进高职院校兼职教师队伍建设。

关键词：高职院校；兼职教师；队伍建设；有效管理

高等职业教育作为高等教育的重要组成部分，其任务是培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用型人才，承担着为社会开发劳动力资源、直接为社会输送实用型人才的重任。高职教育的任务决定了高职院校师资队伍建设的立足点是建设一支精干高效、素质优良、结构合理、专兼结合、特色鲜明的教师队伍。因此，聘任一批兼职教师，建设好一支兼职教师队伍，是高职教育自身发展的需要，也是高职院校培养应用型人才的需要。

一、兼职教师基本情况

教育部《高职高专院校人才培养工作水平评估方案（试行）》（教高司[2004]16 号）指标体系师资队伍建设指标说明中指出：兼职教师是指学校正式聘任的，已独立承担某一门专业课教学或实践教学任务的校外企业及社会中实践经验丰富的名师专家高级技术人员或技师及能工巧匠。在高职高专教育示范专业评估指标体系中规定，来自企业的兼职教师所占比例大于等于 30%；国家教育部规定，通过评估的高职院校，其专任专业教师与兼职教师的比例要达到 3:1。从 2007 年开始，按教育部规定进行示范评估的高职院校，其专任专业教师与兼职教师的比例要达到 1:1。由此可见，兼职教师在高职院校师资队伍结构中已成为重要的组成部分，也是发展高职教育的重要力量。

基金项目：本文为全国教育科学“十一五”规划课题“高职院校兼职教师聘用管理状况的国际比较研究”的研究成果。课题负责人邹吉权，课题批准号 GJA094017

作者简介：王丽华（1978—），女，汉族，硕士研究生，天津职业大学机电学院，讲师。研究方向为电气自动化技术、高职教育；

邹吉权（1965—），男，汉族，博士研究生，天津职业大学机电学院，副教授。研究方向为模具设计、高职教育。

中国知网 https://www.cnki.net

表 1　2009 年第一批国家示范性高等职业院校专、兼职教师情况

类别	总人数	男教师数及比例	女教师数及比例	高级职称及比例	中级职称及比例	初级职称及比例
专职教师	11 664 人	6 106 人 52.3%	5 558 人 47.7%	3 782 人 33.6%	4 719 人 42.0%	2 740 人 24.4%
兼职教师	9 121 人	6 660 人 73.0%	2 461 人 27.0%	2 357 人 42.7%	2 459 人 44.5%	706 人 12.8%

资料来源:中国高职高专教育网

从表 1 可以看出,2009 年高职院校兼职教师比例已经达到了 43.9%,且中高级职称兼职教师的比例也较高，在一定程度上反映了我国高职兼职教师的能力。数量上占到总教师数的近一半,层次上的较高水平,兼职教师在解决高职的师资问题,加强与企业社会的联系等方面发挥了重要作用。

二、高职院校兼职教师队伍建设面临的困境

1985—2007 年,“兼职教师”一直未离开国家发展职业教育的政策视野。而从“学校可以聘请”到“企业要提供”,从“广泛吸引和鼓励”到“制定政策和支持聘请”,再到“大量聘请”和“ 逐步加大比例”,关键词的一系列变化,意味着职业教育兼职教师队伍建设必须走规模化、科学化、制度化的道路。尽管这些年各高职院校不断探索,兼职教师队伍建设取得了一定经验，但其中也一直存在很多问题,未能得到有效解决。

1.政府方面

由于我国高职教育起步较晚，加上政府的工作重心一直放在经济建设上，对于企业支持高职院校办学在资金、税收减免、资源分配等方面无优惠政策，对高职院校兼职教师的配套制度也基本处于空白。因此高职院校对兼职教师的聘请与管理无法从政府的政策层面上获得依据，致使该项工作难以规范，不利于高职院校兼职教师队伍建设的可持续发展。此外,国家行业协会制度尚未健全，现有的行业协会与职业院校之间尚未建立起长期、稳定的联系，行业协会对职业院校专业设置、师资队伍建设等方面的指导作用还没有得到充分的发挥，相关人才信息平台的缺失和选聘渠道的不通畅，客观上给选聘兼职教师造成了比较大的困难。

2.企业方面

由于高职院校目前总体上科技生产 (学术产品)及转化能力和创新能力不足,使得企业参与职业教育的动力不足,广度和深度不够。兼职教师大多是企业中实践经验丰富的名师专家、高级技术人员及能工巧匠,均为企业的技术骨干,是经企业培养成长起来的。这类人员外出兼职,会给企业的生产、经营或多或少带来影响。而且更重要的是,因商业或技术秘密等原因，企业也会限制或不允许技术人员到外单位兼职。长此以往,同样不利于高职院校兼职教师队伍建设的可持续发展。

3.学校方面

兼职教师流动性大，难以建立长期合作关系,学校往往是缺什么教师就聘什么教师，兼职教师只是按课时取酬，聘后既没有报上级相关职能部门备案,亦未建立兼职教师业务档案,对兼职教师的聘用管理基本上处于无序状态。况且很多学校将聘请兼职教师看成是一种临时的短期需要,没有从专业建设和整个师资队伍建设的高度来对其进行规划设计,有些院校对兼职教师关心不够,实行简单的契约式管理，没有为其提供良好的工作环境，课酬也不高，使兼职教师既无动力也无压力,归属感不强,影响教学质量的提高。有些虽然制定了比较规范的兼职教师管理措施，但是由于兼职教师与学校没有隶属关系，导致学校对兼职教师的严格管理难以落到实处。

4.兼职教师方面

首先,兼职教师大多专业实践经验丰富,实践技能娴熟,具有较强的实践指导能力,但是许多兼职教师过去没有从事教育教学工作的经历，缺乏必要的教育理论知识和教学基本功，驾驭课堂的教学能力相对较弱，对学生的学习心理缺乏深入了解,与学生的沟通也较少,不能充分调动学生学习积极性,影响教学效果。其次,兼职教师通常有自己的本职工作，而且往往是本单位的业务或管理骨干,承担着繁重的工作任务,用于教学的时间和精力都很有限,有时会出现课前准备不足、课后

中国知网 https://www.cnki.net

跟进不及时等现象，这些情况，都使教学质量难以保证。

三、兼职教师队伍建设路径的探索

1.“编制活口”

一些省份从编制上预留活口，在畅通兼职教师聘任通道方面进行了有益的尝试。吉林省近几年在大力发展职业教育过程中，在公办学校采取空编运行方式，实施“能工巧匠进校园”计划。如辽源市实行20%空编运行方式，用于引进人才和聘请兼职教师，解决教师队伍静态管理与专业设置动态变化的矛盾，保证聘请的兼职教师工资待遇与公办教师一致。

2.政府介入实现人才资源在更高层面共享

借助行政力量使学校能够聘到好用的人才，调控学校用好人才。对于这一点，山东省平度市的做法可以借鉴。首先，根据市政府提出的要求实行个人自愿报名与单位推荐相结合的办法，经市教委和市经科教结合职业教育领导小组办公室对报名和单位推荐者进行考核，选聘思想品质好，有较高专业理论水平和实践技能的技术人员担任首批兼职教师，并签订了教学工作目标责任书。其次，搞好统一管理使用，领导小组办公室建立起了兼职教师教学档案，实施统一管理，制定细则，对学校需要兼职教师的申请、使用考核、待遇及经费支出等内容作了明确的规定。再次，搞好经费统筹，抓好待遇落实。领导小组办公室根据有关规定，按不同技术职称职务标准发放课时工资和一定的生活补贴，兼职教师在原单位的各项待遇不变，全部费用从职业教育专项经费中列支。平度市兼职教师的管理、使用步入了规范化、科学化的轨道。

3.组建兼职教师人才库

在推动兼职教师队伍建设中，不少地方采取了组建兼职教师人才库的方式。其中，湖南省沅江市在成教领域组建“师库”的一些做法值得参考。沅江市组织权威人士对各单位推荐来的专业技术人员的学历、实际工作能力、口头表达能力等进行考察，确认其任教资格和任教级别，颁发任教级别证书和聘书，建立兼职教师“师库”，以便查阅调配。此做法不仅促进了队伍管理的规范化，更在优化兼职教师队伍结构、促进兼职人才合理使用方面发挥了作用。

4.国家层面的探索

在中职教育中，国家已经开始了兼职教师的聘请探索。2008年，中央财政划拨专项经费2 400万元资助907所中职学校的1 249个紧缺专业特聘3 010名兼职教师。为此，教育部、财政部制订了《中等职业学校教师素质提高计划专项资金管理暂行办法》、《中等职业学校紧缺专业特聘兼职教师资助项目实施办法》，并要求各地要对拟聘兼职教师进行审核和公示，审查并备案中职学校与兼职教师签订的聘用合同。这为高校兼职教师队伍的建设和管理提供了借鉴和参考。

政府应从政策层面进行宏观指导、组织与协调，在资金、税收减免、资源分配等方面制定措施实施奖励，以增强企业的使命感和责任感，指导并鼓励企业积极参与高等职业教育。同时，兼职教师制度还要与专业技术人员的专业技术职务晋升制度结合起来，相关部门在进行专业技术职务评定时，对到职业学校担任兼职教师的专业技术人员在专业技术职务晋升时给予相应的优先权，使到职业学校兼职的专业技术人员在获取应得的课程酬金的同时，也得到社会的广泛认可。

四、高职院校兼职教师高效管理框架的构建

只有学校内部建立起高效的用人机制和科学合理的分配制度，才能为兼职教师的聘任提供发展空间，大量聘用兼职教师才能发挥积极的作用。

1.校企合作，共同管理

高职教育开展校企合作多年，多数高职院校在多家企业建立了校外基地。以基地为平台，以校企之间良好的合作关系为依托，从合作企业聘请专业技术人员担任兼职教师，有利于兼职教师队伍的发展。校企共同参与兼职教师的聘用管理，一方面可以使兼职教师的兼职行为得到企业的认可和支持，保证兼职教师的教学时间和质量；另一方

中国知网 https://www.cnki.net

面能根据学校需要从企业骨干中选取优秀人员，成为稳定的兼职教师来源。在与企业合作的基本框架内，加入兼职教师派遣的内容，使兼职教师来校兼职成为组织行为，可解决兼职教师的后顾之忧，减轻其心理压力。此外，兼职教师与学校形成合作契约关系之后，定期来校授课或在企业内为学生进行实践指导，可以成为学校与企业之间沟通的桥梁，切实加强校企合作、工学结合。

2.专兼融合，互相提高

兼职教师来自不同领域，通过各种形式的学术讨论会、学术讲座、科研讲座，兼职教师与专职教师共同探讨各种学术问题，取长补短，互相启迪、相互学习，共同提高。来自企业、科研机构的技术人员和专家，他们有丰富的专业理论和实际经验，但对职业教育工作不是很熟悉，教学不得法，影响教学效果，学校应充分发挥专职教师的积极性对兼职教师进行必要的教育理论培训，提高教学技能，促进兼职教师教学水平、能力的提高。同时专职教师在与兼职教师合作的过程中，能学到很多书本上没有的专业知识和解决实际问题的方法思路，业务能力和学识水平都会有不同程度的提高，这既是对专职教师的一种培训形式，又是对兼职教师的监督，因此，用恰当的方式促进专兼教师的融合，使得专兼教师在专业建设、科研合作、课程实施等方面实现共同提高。

3.加强考核，保障质量

考核是对兼职教师工作绩效的反馈依据，更是实现有效管理的重要保障。基于科学、公正、积极可靠、严谨的考核评价体系，将考核结果与报酬、奖励等挂钩，从而充分调动兼职教师的积极性。对于兼职教师的考核，主要可以从两个方面着手。一是过程监控，将兼职教师纳入学校的教学质量监控体系，请督导专家定期对兼职教师的工作进行督导，从教学内容、教学方法、教学态度、教学效果四个方面，对兼职教师的教学质量进行监控，发现问题或不足之处及时与兼职教师沟通，探寻解决办法，以便改进。二是结果评价，建立完善的兼职教师量化考核评价体系，开展考核。此外，兼职教师的考核办法应尽量接近企业考核的方式，让兼职教师更易理解与接受。

4.有效激励，提高效率

大幅度地提高职兼职教师的工资水平，在思想上和制度上予以充分尊重和体现，努力给其创造宽松和谐的生活和工作环境。加大兼职教师聘任制的力度，通过“低职高聘”，形成竞争上岗的激励机制；通过选拔“骨干教师”、“教学优秀奖”、“专业带头人”等活动，多种激励措施并用，将责任激励、荣誉激励和物质激励结合起来。比如，对有特殊贡献的兼职教师授予“职教专家”称号，对高层次、高素质、高水平的骨干教师实行优先政策，对“双师型”兼职教师在利益分配政策和职称评聘等方面给予倾斜和优惠，等等。此外，要有效地利用约束机制，有奖有惩，真正做到奖罚分明。

5.营造聘任环境，增强管理效能

高职院校应加强自身建设，提高教育教学质量，提高人才培养水平，塑造良好的社会形象，赢得良好的社会声誉，使兼职教师以能在学校工作为荣，高职院校要不断总结提炼自己的办学理念，通过组织活动、制度等形式传递给兼职教师，形成一种健康的、积极向上的氛围，为教师成长创造良好的环境。学校要充分发挥教师的主观能动性，让教师不单单为薪资而工作，而要从工作中找到乐趣，体会到事业的成就感。

参考文献：

[1]中国高职高专教育网：http://www.tech.net.cn/

[2]孙保平，王庆飞. 对高职高专师资队伍建设的探索和实践[J]. 安阳大学学报，2003，(4).

[3]张立君，赵雪峰. 高职院校兼职教师规范化管理的研究与实践[J]. 黑龙江高教研究，2005，(3).

[4]张小军. 江苏省独立设置高职院校师资队伍建设问题的研究 [D]. 天津大学职业技术教育学院，2003.

[5]刘琴. 中央财政支持中职特聘 3010 名兼职教师[N]. 中国教育报，2008-07-12.

责任编辑：刘　红

中国知网 https://www.cnki.net

高职院校兼职教师教学质量提高方法与途径

刘培琴,张　容,邹吉权
(天津职业大学, 天津　300410)

摘　要　高职院校兼职教师教学质量的优劣已经成为影响高职院校整体教学质量的一个重要因素,其具有的多重职业身份、多方扩展的工作职能和不稳定的工作特性直接影响了教学质量。为此,高职院校应严把"入口关",建立兼职教师培训制度,完善教学质量评价与激励机制,并依托校企合作基地充分发挥兼职教师的优势,以此提升兼职教师的整体教学质量。

关键词　高职院校;兼职教师;教学质量;培训

中图分类号　G715　**文献标识码**　A　**文章编号**　1008-3219(2011)11-0066-04

拥有一支业务技术熟练、理论水平较高、相对稳定的兼职教师队伍是高职院校实现人才培养目标的可靠保证。作为高职教育师资队伍中的特殊群体,兼职教师教学质量的优劣已成为影响高职院校整体教学质量的重要因素。因此,研究和分析提高兼职教师教学质量的方法与途径,对加强高职院校师资队伍建设,促进教学改革与发展,提升整体教学质量有着极其重要的现实意义。

一、高职院校兼职教师的职业特征

(一)具有多重的职业身份

高职院校兼职教师一般是从企业或社会其他行业中的专家、技术骨干和能工巧匠中聘任。受聘教师与学校通过契约形成合作关系,这种合作关系是短期的,并不影响受聘人员原有的独立个体身份。这种多渠道的聘任来源决定了高职院校兼职教师具有其职业身份的多重性。

(二)具有多方扩展的工作职能

兼职教师来自不同行业岗位,具有丰富的社会资源、工作经验和实践技能。由于各自的特殊经历,使得兼职教师的教学会更加强调能力本位,更加注重职业素质的培养。可以根据教学需求进行不同特色、不同类型的教学,体现其灵活多样的教学风格,展示出多方扩展的工作职能。这种优势和能力既可体现在教育教学中,还可体现在专业建设、学生就业、校企合作等多种环节中。

(三)具有不稳定的工作特性

流动性大是兼职教师这一特殊群体的特征。这种不稳定特性主要体现在两个方面。首先是人员的流动性。由于兼职教师与学校的合作关系是短期的,一般高职院校并未将兼职教师纳入到学校师资队伍的管理之中,其工作业绩得到赞扬和认可的程度要比专职教师低。这导致他们对教学工作的热情不高,人员调换频繁,流动性大。同时,兼职教师自身也有相对的流动性。在不违反合约的前

收稿日期:2011-01-16

作者简介:刘培琴(1959-　),女,江苏徐州人,天津职业大学机电工程与自动化学院教研室主任,副教授;张容(1969-　),女,天津人,天津职业大学机电工程与自动化学院副教授;邹吉权(1965-　),男,内蒙古呼和浩特人,天津职业大学副教授。

基金项目:全国教育科学规划课题《高职院校兼职教师聘用管理状况的国际比较研究》(编号:GJA094017),主持人:邹吉权。

中国知网　https://www.cnki.net

提下，兼职教师可以随自身的兴趣和需求在不同的院校任聘，使工作的流动性进一步加大。其次是工作时间的不稳定。由于兼职教师必须服从于本职工作的需求，一旦出现教学与本职工作时间上的冲突，兼职工作必然会被调整，教学时间难以保证。

二、兼职教师教学存在的主要问题

（一）教学能力的欠缺

高职院校兼职教师大部分来自企业，他们实践经验丰富，具有较强的专业实践技能。然而，许多兼职教师没有接受过系统的教育教学能力训练，缺乏必要的教育理论知识和教学基本能力，缺乏课堂授课语言的训练，存在“只会做、不会说”的缺陷。这些实践经验丰富的能工巧匠由于缺乏教学经验而难以灵活驾驭课堂教学，更不擅长运用现代化教学手段及教学方法来实施教育。

（二）工作责任心的欠缺

兼职教师在学校主要负责具体的教学任务，由于具有自己的专职工作，因而很难全身心地投入到教学工作中。部分教师工作责任心不强，用于教学时间和精力有限，对教材钻研不深、理解不透。有些教师备课不认真，对学生要求不严，不注意研究学生的学习状态和接受能力，教学的随意性较大。教学过程中缺少与学生必要的沟通与交流，不能调动学生的积极性和创造性，学生的满意度相对不高，教学质量得不到保证。个别教师甚至难以完成所约定的教学任务，有时还会出现一门课程教学中途换人的情况，导致正常的教学秩序被打乱，对教育教学产生极为不利的影响。

三、发达国家高职院校提高兼职教师教学质量的成功经验

在许多发达国家，聘任兼职教师是高等职业教育发展过程中一项长久而持续的策略。

（一）重视兼职教师的来源

德国实行“双元制”培训制度，非常重视兼职教师制。学校与企业的关系非常密切，其兼职教师绝大部分来自企业，外聘教师要通过相应的资格考试进行应聘。“双元制”职业教育中，企业对职业教育大力支持，会挑选素质高、业务好的员工进行教育教学方面的培训，合格者颁发证书，正式成为实训教师，到职业学院任兼职教师。澳大利亚高职院校招聘兼职教师已形成一种机制，学校一般在培训项目启动时就会通过广告、中介或直接与企业联系，从有丰富实践经验的专业技术人员中大量选聘培训兼职教师。法国兼职教师主要从业务水平较高的工程技术人员、工矿企业管理专家中选聘。英国的兼职教师是直接从技术岗位招聘而来的。美国社区学院也是从企业部门中聘请技术高超、经验丰富的工程技术人员和管理人员担任兼职教师。

（二）对兼职教师任职资格要求严格

德国一般要求兼职教师至少要拥有大学文凭。实践课程教师必须是具有一定教育学基础理论知识及较高业务水平的技术专家来担任。生产实习指导教师则从企业工程技术人员、管理专家中挑选。应聘教师都必须通过相应的资格考试，合格者才能进入高职院校任教。澳大利亚对兼职教师的学习经历要求非常具体，如悉尼理工学院在招聘教师时，要求具有大学本科学历，有从事本专业5年以上的工作经历，兼职教师还要学习教育学、教育心理学等课程。法国对从企业聘请的兼职人员要求具有本行业的专业技术资格，并具备丰富的实践经验。美国对聘请的高职院校兼职教师要求具备硕士以上学历，并且必须是本行业优秀的工程师或技术专家。

（三）注重兼职教师的进修培训

德国各联邦州法律规定，兼职教师应不断接受新技术知识、新规范的继续教育。各州普遍设有职业教育师资进修学院，负责在职教师的进修培训。如巴伐利亚州建立了4级教师进修网络，从州属进修学院到行政区设立的教师进修学校，再到各教育局组织的教师短期培训活动，最后一级是各校校长负责的师资培训。外聘教师可以参加相应级别的学校进修学习。澳大利亚被招聘录用的专业技术兼职人员，在TAFE（继续教育）学院任教的同时，必须到大学教育学院接受为期1~2年的师范教育，或接受网上教育，补修教育学、教育心理学等课程，获取教师职业资格证书。日本的高职院校要求外聘教师必须和在职教师一同参加教师发展培训活动。培训的主要内容是教学的基本方法和技巧。通

中国知网 https://www.cnki.net

过培训使外聘教师在教学方法和教学手段上能达到基本要求。美国十分重视职教师资的职前培养和职后教育的协调，实行“职业技术教育教师证书制”，以促进教学质量的提高。

（四）加强兼职教师的教学监控和考核管理

德国针对兼职教师的工作量和课时费制定了详细的标准，对教学过程的监控与评价都有许多详细规定。澳大利亚针对兼职教师制定了相关的制度和政策来加强管理，如明确规定教师的招聘、辞呈或辞退标准。日本的高职外聘教师质量监控分为设置前和设置后两个环节，采取学校内部同行随堂听课考察及组织同领域专家进行评价等方法，以确保外聘教师的教学质量。美国社区学院对兼职教师有一套严格的考核方法，社区学院院长在1年中有9个月的时间在进行教师考核。通过教学监控和考核了解和掌握兼职教师的教学状况，采取有的放矢的措施，促进兼职教师教学质量的提高。

（五）坚持校企合作

德国职业院校与企业的合作有其鲜明的特色。参与职业培训的企业都是自愿并定期进行培训工作。企业为受训者提供优良的培训工厂和实习车间，同时承担受训者在实习期间的报酬和指导师傅的报酬。澳大利亚则以校企合作方式建立生产实训场所，用以满足校企双方的共同需求。如在新南威尔士州，学校以低价出租校舍供企业作车间，企业在车间装备先进的生产仪器设备，既可供自身生产使用，也可为学生提供实训场所，兼职教师在这里为学生讲课训练，更有利于其发挥特长。

四、发达国家成功经验的启示

发达国家促进兼职教师教学质量提高的做法，为我国高职院校提高兼职教师教学质量提供了可供借鉴的经验。结合我国职业教育的实际情况，笔者认为高职院校提升兼职教师教学质量应在以下几个方面加强工作力度。

（一）严把“入口关”，建立兼职教师数据库

严格的“入口准入制”是保证兼职教师教学质量的首要条件。高职院校对外聘教师要建立严格的选聘制度，制定兼职教师具体聘任标准。应以高职院校基本教学质量为依据，对兼职教师的学历、思想品德、工作经历、专业水平等方面作出相应的规定，把职业道德、为人师表、教书育人作为衡量其政治素质是否合格的标准；把技术能力和工作业绩作为衡量其业务水平是否合格的标准；把是否掌握教育科学、懂得高等职业教育规律作为衡量其教学能力的标准。坚持以“能力为主”的选聘原则，实行公开的招聘程序。通过专家组严格的资格审查、面试、试讲、专业技能操作等考核程序，与合格者签订聘用合同，并颁发聘用证书。在此基础上，建立兼职教师资源数据库，根据教学需要，储备优秀人才，不断扩充兼职教师队伍的规模，建立一支既熟悉生产实践，又懂得高职教育基本规律的相对稳定的兼职教师队伍。

（二）建立兼职教师培训制度，提升教学素质

教师的教学素质是保证其教学质量的重要条件。教学素质以教师的德与才为基本内涵，包括教师的现代教育观念、科学的教育方法、先进的教育技术、全身心投入的教学态度等内容。兼职教师一般都来自企业，具有丰富的实际操作能力。但他们在教学素质方面相对缺乏，对教师的职业特点认识不清，不熟悉教学规律，教学经验相对不足。实施兼职教师的进修培训可以弥补这方面的缺失。首先应加强岗前培训，对他们进行教育学、教育心理学及教学方法、教学手段的教育培训。通过培训使兼职教师了解高职教育的基本规律，熟悉学生的学习特点和心理特点，掌握最基本的教学知识和技能，促使兼职教师进行角色转换，使其尽快地适应教学环境，能够进行正常的教学活动。同时，还应加强兼职教师的职后培训，鼓励兼职教师通过各种方式参加继续教育学习，通过举办专兼教师座谈会、经验交流会、教学研讨会及观摩公开课等活动，提高兼职教师自身的职业素质，促进教学水平和教学质量的提高。

（三）建立教学质量评价与激励机制

建立教学质量评价与激励机制，是提高兼职教师教学质量行之有效的方法。在教学质量的评价与监控中，考核是评价管理效果的重要手段，也是对兼职教师工作业绩的反馈依据。通过建立兼职教师业绩考核档案，形成完备的监控

中国知网 https://www.cnki.net

体系。应将兼职教师的教学水平、教学效果、工作态度、工作质量评价等方面的考核结果记入其业务档案,作为续聘和解聘的依据。在对兼职教师教学过程的督察检测中,可采取随堂听课、学生问卷调查及同行评教等方式,检查和监督兼职教师的教学质量,给其一个正确的评价和信息反馈,使其能审视工作中的不足,及时改进。同时,根据合理的分配原则将考核结果与报酬奖励挂钩,从而充分调动兼职教师的积极性。

(四)依托校企合作基地,发挥兼职教师优长

校企合作培训基地是职业院校师资培养体系的重要组成部分。高职院校应把兼职教师的培养作为校企合作的重要内容。以良好的合作关系为依托,以校企合作校外实训基地为平台,从合作企业中聘请符合任职条件的能工巧匠、高级技术管理人员到学校任教,使之成为优质稳定的兼职教师来源。同时,校企合作基地可以为兼职教师提供更好的教学场所,让兼职教师把企业先进的生产管理信息及时带入课堂,使学生真正学以致用,使兼职教师的优势得以充分发挥,这对于教学质量的提高有着极大的促进作用。

参考文献:

[1]黄祐.关于高职院校兼职教师队伍建设的几点思考[J].职业教育研究,2005(10):31-32.

[2]唐冬生,罗敏杰.对高职院校兼职教师队伍建设的思考[J].教育与职业,2009(11):59-60.

[3]朱登胜.高职院校兼职教师队伍建设的研究[J].教育探索,2008(8):98-99.

[4]王振洪.高职院校兼职教师有效管理探索[J].教育发展研究,2010(5):72-75.

[5]罗三桂.高职院校兼职教师及其管理[J].职业技术教育,2003(13):45-47.

[6]黄东昱.高职院校兼职教师管理的问题及对策[J].中国职业技术教育,2006(26):25,27.

[7]彭红玉.发达国家高职院校聘任兼职教师的国际比较[J].中国职业技术教育,2005(11):60-61.

[8]汪慧蕙.高职院校外聘教师教学质量保证研究[D].长沙:湖南农业大学,2008.

[9]张艳芳,汪晓莺.德国高职兼职教师队伍建设的特点及对中国的启示[J].经济研究导刊,2009(33):220-222.

Methods and Approaches of Enhancing the Teaching Quality of Part-time Teachers of Higher Vocational Schools

LIU Pei-qin, ZHANG Rong, ZOU Ji-quan

(Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China)

Abstract The teaching quality of part-time teachers of higher vocational schools has become an important factors influencing the whole teaching quality of higher vocational schools, and their characteristics of various professional identities, expanded working functions and instability directly influenced the teaching quality. Therefore, higher vocational schools should hold the appointment of part-time teachers strictly, build part-time teacher training system, optimize teaching quality evaluation and inspiration mechanism, and fully take advantage of part-time teachers relying on school-enterprise cooperation base to enhance the whole teaching quality of part-time teachers.

Key words higher vocational schools; part-time teachers; teaching quality; training

中国知网 https://www.cnki.net

高职院校学生党员发展质量提升路径研究

天津职业大学 马彦臻

【摘要】在教育改革的深化发展下高职院校的教育教学得到了教育界的关注，高职院校学生党员的发展质量关系到中国共产党的执政地位，对党的长远建设意义深远。为此，文章在阐述强化高职院校学生党员发展和培养工作必要性的基础上，立足于当前高职院校学生党员发展和培养工作中存在的问题，从强化培养力度、完善制度建设、创新培养机制等方面入手思考如何提升高职院校学生党员培养质量，旨在为党的建设事业输送优秀建设者和接班人。

【Abstract】With the deepening development of the education reform, the education and teaching in higher vocational colleges has attracted the attention of the education circle. The development quality of student Party members in higher vocational colleges is related to the ruling status of the CPC, which is of far-reaching significance to the Party's long-term construction. Therefore, this article expounds on the necessity of strengthening student Party construction work in higher vocational colleges, based on the current problems existing in the cultivation of Party members of the higher vocational colleges , and think about how to improving the quality of student party members in higher vocational colleges cultivate from strengthening training, Improve system construction, innovate training mechanism and other aspects, aimed at providing more outstanding builders and successors for the construction of the communist party of China.

【关键词】高职院校；党员；培养；质量提升；对策

【Keywords】higher vocational colleges; The party member; culture; quality improvement; countermeasures

引言

高职院校学生党员是学生群体中的优秀先进分子，是实现中华民族伟大复兴的重要力量。目前，在学生党员发展过程中，仍普遍存在一些问题，诸如高职院校学生的入党动机不正确、党员培训体系不完善、党员教育形式和内容缺乏高职院校发展特色、党员管理服务方式单一等。这些问题的存在严重制约了高职院校学生党员发展和培养工作的深入发展，不利于提升高职院校学生党员发展质量。为此，文章立足于高职院校“学历证书+若干职业技能等级证书”制度（1+X证书制度）人才培养模式大的发展背景，在分析高职院校学生党员发展必要性和培养现状的基础上，从思想、内容、机制、形式等方面探究提升高职院校学生党员发展质量的有效路径。

一、1+X证书制度培养模式对高职院校学生党员发展工作提出了更高的要求

《国家职业教育改革方案》提出，2019年开始在职业院校、应用型本科高校启动“学历证书+若干职业技能等级证书”制度试点（1+X证书制度试点）工作，鼓励职业院校学生在获得学历证书的同时，积极取得多类职业技能等级证书，拓展就业创业本领，缓解结构性就业矛盾。在1+X证书制度培养模式的要求下，职业院校实践性教学课时原则上占总课时一半以上，顶岗实习时间一般为6个月，这就要求学生在基本的理论知识学习之余需要花费大量时间来进行实践和技能学习，考取各类职业资格证书。在这个过程中高职院校学生的技能水平得到大幅提升，高职院校能够为社会培养更多高技能水平的专业人才，但由于学生参加实践和技能学习的种类和等级存在差异，这导致不同学生参加学习和培训的时间不会相对固定和统一，这在很大程度上限制了集中统一对学生进行思想政治教育和党性教育培养的时间，从而给高职院校学生党员发展和培养工作增加了难度。

二、高职院校学生党员发展和培养的必要性分析

党的十九大会议对新时期党建工作提出了更高的要求，即在新的历史时期需要采取有效的措施全面提升党的建设水平，并为新时期党建工作的深化发展指明了方向。第二十六次全国高校党的建设工作会议指出，要全面落实党的教育方针，扎实推进高校党的建设和思想政治工作，为培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人提供坚强保证，要以党的政治建设为统领全面推进高校党的建设各项工作，加强政治引领和价值引领。在我国国际地位日益提升、国际交流合作日益密切、多种思想文化激烈碰撞的发展环境下，对大学生进行充分良好的党性教育就显得十分重要。通过充分必要的党性教育能够让高职院校学生在新时期用习近平新时代中国特色社会主义思想和社会主义核心价值观武装思想，在复杂的社会发展环境中永葆初心，始终坚定对党的信念和信仰。

三、高职院校学生党员发展和培养存在的问题分析

1. 学生入党动机功利化

受多元思想价值观的影响，一些不良的思想比如个人主义思想、拜金主义思想、享乐主义思想、权利主义思想等影响着高职院校学生的思想，如果缺乏正向价值观的引导，高职院校学生很容易产生入党困惑，从而在价值目标的选择上偏重个人利益的获得，导致思想功利性较强，这一点完全不符合党员发展培养的基本思想和培养要求。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2. 学生党建工作师资队伍缺乏

学生党员的发展和培养工作十分细致和繁琐，需要高职院校专职党务师资投入大量的时间和精力进行细致分析和深入研究，建立科学化规范化的学生党员发展和培养管理机制。但是从目前发展实际情况来看，很多高职院校没有对学生党员的发展和培养工作提供数量充足的高质量师资队伍，这使得高职院校学生党建工作放松、弱化，这直接导致党的思想感召力、引领力被削弱。

3. 学生党员发展程序不严密

学生党员的发展需要在自愿的基础上朝着成熟的方向培养，只有这样才能够提升学生党员的发展质量。但是由于高职院校发展预备党员的数量逐年递增，学生党员发展工作大多是定期、定量的，这导致很多情况下发展和审核程序不够严谨，采取的党员评选方式多为群众座谈、民主测评、团委推荐等，评估学生是否可以入党的标准不成熟，且党员的选拔和培养没有和高职院校独有的办学特点以及社会对高职院校人才的要求结合在一起，学生党员发展和培养缺乏针对性。

四、高职院校学生党员发展和培养质量的提升路径

1. 强化思想政治教育，端正高职院校学生的入党动机

在对高职院校学生开展党性教育的过程中，首先要深刻理解和认识广大高职学生的思想认知局限性，并通过不断强化思想政治教育来帮助学生摆脱不利思想对个人价值观的冲击和影响，引导学生通过各阶段党课的学习来不断强化学生对党的基本理论、知识的理解和认识，使其在学习和生活中能够自觉运用先进的思想理念武装自己的头脑，在先进思想理念的熏陶下逐渐树立和形成正确的三观，从而端正自己的入党动机。其次要鼓励学生把个人目标与理想与党的建设伟大事业紧密结合，引导学生思考“大学生入党的条件和标准是什么？ ”，“大学生为什么要加入共产党？”，“大学生党员与其他同学有什么区别？”，“我心目中的大学生党员”等问题，引导学生充分认识“入党意味着什么”和“入党以后该怎样做”等问题，只有在入党动机端正的前提下，才能够进一步教育和引导学生树立远大抱负和理想，为国家的现代化建设培养输送合格建设者和接班人。

2. 发挥党员先锋模范，带动广大学生共同进步

首先，在政治方面，高职院校学生党员要带头积极主动学习党的基本理论知识，并向身边的同学积极宣传党的宗旨、基本路线和方针，充分发挥在广大学生中的模范带头作用。其次，在学习方面，高职院校学生党员要积极主动地学习党的先进理论知识，并努力将所学的知识应用到实际学习和生活中指导实践，为自己的目标和理想坚持不懈奋斗。再次，在生活方面，高职院校学生党员要将勤俭刻苦的优良作风和传统美德传递给身边同学，在日常生活中为同学树立良好的榜样。最后，在工作方面，高职院校学生党员要将个人利益个集体利益的关系提升认识高度，将集体利益摆放在个人利益前面，在学校的各项活动和志愿服务等工作中走在其他同学的前面，坚定不移地为其他同学服务。另外，高职院校要加大力度打造优秀党员事迹展示长廊，对表现突出的学生党员予以表扬和宣传，及时召开表彰大会对在各个方面表现优异的学生党员予以表彰，充分发挥学生党员的表率作用，带动广大学生共同进步。

3. 加强学生党员培养师资队伍，为党员发展工作提供坚实力量

针对目前高职院校专职党建工作师资队伍人员缺乏的问题，需要高职院校在发展的过程中积极打造一支高素质的党员培养师资队伍，从而为高职院校党员发展和培养工作的深化开展提供重要支持。在打造师资队伍的过程中一方面要充分发挥专业教师、兼职教师和班主任的融合力量，把更多工作作风良好、党性修养高的优秀党员教师吸纳到学生党员发展和培养工作队伍中，加强党建工作师资队伍建设；另一方面可以积极从高职院校的高年级学生党员中遴选出在各方面表现优异的学生党员，做好老师的得力助手，协助老师共同开展学生党建工作，进一步充实学生党建工作团队和力量。同时，高职院校党建师资队伍要定期参加各类党建工作业务培训，通过加强学习进一步掌握党的最新理论和知识，不断提升党建工作业务技能和水平，并将党的理论和知识及时输送给学生，让党的领导引领当代大学生的成长和发展。

4. 完善学生党员教育培养体系，把好学生党员发展质量关

为了提升高职院校学生党员的发展质量，需要将科学的学生党员教育培养体系贯穿于高职院校学生从入学到最终成为一名合格党员的全过程中。首先，在学生入校时就要对其开展马克思主义教育和党的基本知识教育，让学生从入校开始就了解党的基础知识、入党流程等，帮助学生树立对党的信念和信仰，形成较高的思想认识觉悟。其次，对入党积极分子、预备党员进行完善系统的党性教育和培养，制定详细的培养计划和考察方式，至少每半年对积极分子、预备党员从思想表现、学习成绩、日常行为、发挥作用等多个方面对其进行综合评价，作为后续发展党员考核的重要标准。再次，提升高职院校校级党校和二级院系党校的工作质量，通过开展理论联系实际的高质量初级党课、高级党课，帮助学生提升自身的政治理论水平和实践能力，让学生将学到的党的理论知识应用到实际学习和生活中，不断提升综合素质。

5. 发挥高职院校“产教融合”特点，创新党员培养方式

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

产教融合、校企合作，育训结合，健全多元化办学格局，推动企业深度参与协同育人，是高职院校区别于其他高校的特点。为了更好地提升高职院校党员发展和培养方式的针对性和实效性，需要充分发挥高职院校“产教融合”特点，创新党员发展和培养方式。首先，要探索将高职院校学生党员的发展和培养工作同人才培养目标、思想政治教育工作紧密结合，在学生党员发展和培养过程中既注重学生政治理论水平的提升，又结合学生的职业化技能化培养特色，做到理论与实践相结合，学以致用。例如可以在高职院校学生刚刚步入校园时及时借助多媒体方式向学生形象地介绍党的基本理论知识，让学生加强对党的认识；可以结合高职院校学生的专业特点和技能要求，邀请专业技术人才、工匠大师、技能大师、优秀毕业生等为学生开展有关技能提升、职业生涯规划等方面的讲座，让学生在与优秀专业人才的交流中不断树立正确的发展目标和职业理想；可以通过理论育人、实践育人、劳动育人等多种方式，开展形式多样的学习活动、实践活动、调研活动、志愿服务活动等，让学生深刻感受到党建工作和自己实际生活的紧密联系，引导学生从思想上、行动上多方面提升自己的党性修养。另外，对于顶岗实习期间学生党员的培养和管理，可以在学生党员数量较多的实习企业成立临时党支部或党小组，探索高校与企业党支部共建模式，不放松对学生党员任何阶段的培养和教育。

6. 完善学生党员发展质量评估机制，保障学生党员发展质量

在学生党员发展和培养过程中，很多高职院校缺乏对积极分子、预备党员阶段的发展评估和监督，为此需要进一步完善高职院校学生党员发展全过程质量评估机制。首先，对学生党员的发展流程进行评估，党员发展流程的评估一般需包括入党环节是否符合规定、各发展阶段档案材料是否齐全、党员评定程序是否规范等。其次，对学生在入党积极分子阶段通过向党组织递交个人思想汇报、开展群众民主座谈等形式对其进行综合评估；在预备党员阶段要注重从学生党员是否能够以党员标准严格要求自己、全面履行党员义务、严肃认真参加党的组织生活、按期缴纳党费等方面对其进行评估。再次，成为正式党员之后仍然不能放松对学生党员的要求，需要对其个人发展情况进行更加全面的综合评估，从而切实提升高职院校学生党员的发展质量。

结束语

综上所述，在新的发展时期，提升高职院校学生党员发展和培养质量，是为国家的现代化建设事业和党的建设伟大工程培养和输送优秀建设者和接班人的重要途径。为此，高职院校党建师资队伍在新时期要紧密结合高职院校的教育教学特点，从学生入党积极分子、预备党员、正式党员三个阶段入手，全过程跟踪和监督学生党员的培养，同时将高职院校学生党员培养和社会主义建设对人才的需求结合在一起，把立德树人作为培育时代新人的根本标准，遵循职业教育发展规律、思想理论教育规律和大学生认知规律，全面提升高职院校学生党员发展和培养质量。

【参考文献】

[1] 洪俊．农牧类高职院校学生党员发展质量保障路径实践 —— 基于江苏省某农牧高职院校的实践研究 [J]. 大学教育，2014(17):163-165.

[2] 张津君．提升高职院校顶岗实习学生党员发展质量路径探究 [J]. 智库时代，2019(47).

[3] 徐海兰．新形势下提升高职院校学生党员发展质量的管理路径探析 [J]. 现代职业教育，2018,000(024):86-88.

[4] 林丽凤．关于加强医学高职院校学生党员发展质量路径的探讨 —— 以福建卫生职业技术学院为例 [J]. 教育现代化，2016.

[5] 谢颖．高职院校大学生党员发展质量路径微探 -- 基于高职大学生党性锻炼的视角 [J]. 法制博览，2015,000(016):24-25.

[6] 过正达．高职院校学生党员发展质量提升途径探究 [J]. 机械职业教育，2014(10).

[7] 汤灵，彭建华．新时代高职院校学生党员培养考核机制探索 [J]. 智库时代，2019(28).

[8] 孙宏伟，吴贺华，张朝晶．高职院校顶岗实习预备党员考察方式创新探索 [J]. 创新创业理论研究与实践，2019(04).

[9] 王军．顶岗实习期高职院校学生党员教育管理机制探析 [J]. 当代教育实践与教学研究，2018(11).

[10] 朱雯．高职院校顶岗实习学生党建工作新方法探索 [J]. 广东轻工职业技术学院学报，2018(03).

【基金项目】天津职业大学科学研究基金项目资助，项目编号：20194102。

【作者简介】马彦臻（1988—），女，内蒙古化德县，研究实习员 / 助理政工师，硕士研究生，天津职业大学，党建工作、思政工作研究

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2016.07.116

隔膜真空泵的现状分析与探索

吴 娜[1,2]

（1、天津职业技术师范大学，天津 300222　2、天津职业大学，天津 300410）

摘　要：隔膜真空泵是一个安装在偏心轴上的弹性膜片在电动机的带动下做直线往复运动，使得腔体发生形变，实现介质的抽入和排出，泵在转移，疏散及压缩的过程完全无油，实现无污染传输的一种装置。文章对该装置的发展历史及现状进行分析，并简要论述了隔膜真空泵的特点和发展趋势。

关键词：隔膜真空泵；特点；发展趋势

1 发展历史

隔膜真空泵国外起步较早，隔膜泵是一种高技术含量高附加值的产品，目前世界上只有荷兰、德国等少数几个国家可以生产制造并普及。中国大部分用户还继续在使用水循环真空泵，在欧盟国家由于水循环真空泵污染环境已立法禁止在实验室中使用，在日本规定实验室如果使用水循环真空泵也必须无害化处理才能排放，中国国内并未从法律上采取严厉的禁止行为，至此中国用户在相关领域仍可以继续采用水循环真空泵。

2 我国现状

我国隔膜泵市场过去由荷兰 HOLTHUIS 公司占领，价格昂贵，大大限制了该产品的使用范畴。为使隔膜泵国产化，中色泵业于 1991 年开始研制，1994 年制造首台双缸双作用隔膜泵。目前，我国已有生产商进行开发、研制，但其产品性能不佳，各方面存在不足。面对此现状，相应高校积极参与隔膜真空泵的设计研发工作，努力开发，不断创新设计自主产权的新产品来填补国内产品的空白。

真空泵它是用来蒸发、蒸馏、结晶、干燥、升华、过滤减压、脱气提供真空条件，以及溶媒回收、各种剧毒，易燃易爆、强酸、强碱抽取等。过去的几十年中由于技术和价格的限制，我国经常采用国产式水循环结构的真空泵，其抗有机溶剂的腐蚀性差；真空度不够，水温很快升高，真空度下降，寿命短，需要经常换水冷却，产生倒吸现象等，从而影响到产品的质量以及工作的效率，会间接提高生产成本。

随着国家经济的发展，科研单位及各大高校加强对新设备、新技术的研发及探索，水循环真空泵会逐步被隔膜真空泵取代，其工作原理是一个安装在偏心轴上的弹性膜片在电动机的带动下做直线往复运动，使得腔体发生形变，实现介质的抽入和排出，泵在转移，疏散及压缩的过程完全无油，实现无污染传输，其开发与设计是一项具有挑战，创新的项目。文章就是通过参考国外先进的相关设备，分析一款新型隔膜泵是如何实现效率高，性能优越，高寿命，高抗腐蚀性，工作可靠。

3 隔膜真空泵的特点

⑴ 工作原理：一个安装在偏心轴上的弹性膜片在电动机的带动下做直线往复运动，使得腔体发生形变，实现介质的抽入和排出，泵在转移，疏散及压缩的过程完全无油，实现无污染传输；

⑵ 结构：内部结构紧凑的设计，不会占用实验室的空间，体积小，携带方便，装卸操作简单易学。

⑶ 材料：全 PTFE 材质，可耐强酸强碱气体和蒸汽介质。

⑷ 功能：可 24 小时连续工作，无须担心泵本身因过热而终止试验；无污染的介质传输，抽取真空及压力压缩，最终要保证其干式运行，无油雾污染，维护少，降低使用成本，提高工作效率，设计自冷却排风系统，可长时间工作让实验室更加洁净。其功能优点有以下几点：

a. 高强抗腐蚀：全特氟龙隔膜真空泵可以抗任何强化学腐蚀，如：盐酸、硝酸、HF、氯仿、溴水、二氯甲烷、苯、甲苯等化学腐蚀；

b.超高真空度，且易于精确而稳定地控制，即使 DMSO、DMF 等高沸点的溶剂也能快速蒸发，从而大大提高工作效率；

c.隔膜真空泵还可实现溶剂完全回收，高效消除有毒有害的有机溶剂，减少对环境的污染、对操作者和附近人员身体健康的危害，即使混合溶剂也能高度回收并利用；

d.隔膜真空泵是无水无油的干泵，这样可让实验室变得更加洁净和安静，操作者无需定期清洗、换管、换水等维护工作，隔膜真空泵做到了 100%免维护。

⑸ 性能指标：电压电频：230V/50Hz；强气密性（泄漏率约 6×10^{-3}mbar×l/–s）；电机防护等级：IP44；带有热开关和电源保险；完全无油，100%免维护。

⑹ 用途：隔膜真空泵良好的环境性能、安静、微振动，可广泛应用于精细化工、食品检验、公安刑侦、生化实验室，医药研制实验室等。另外，隔膜真空泵无油的特点，使其更加环保和维护方便。

这些特点在当今真空泵的研发具有重要意义。

4 隔膜真空泵的几种选型原则

⑴ 系统内的气体越多，则真空泵的抽气量就越大，还取决于系统本身的气密性；⑵ 真空蒸馏所要求的极限真空度，一般≤8mbar，DSMO、DMF 要求 2mbar；⑶ 根据溶剂的腐蚀性程度来选择相应的抗腐蚀的隔膜泵，例如材料为全特氟龙的隔膜真空泵；⑷ 对于真空蒸馏的用户，单一泵体并不适合，必须选择配置相应的真空系统。

5 隔膜真空泵的未来发展趋势

⑴ 更加智能化：可以与计算机相连接，即时观测真空度的数据，可实现远程操作；

⑵ 可以满足更多不同的工作环境：例如由于污水中的杂质多且成分复杂，管路易于堵塞，这样对电泵就形成负荷过高的情况，电机发热易损等；

⑶ 设备小体积化：可易于移动，占据空间小，安装简便经济，可用于移动式物料输送泵。

⑷ 同时在有危害性、腐蚀性的物料处理中，隔膜泵可将物料与外界完全隔开：可用于运输化学性质比较不稳定的流体，如：感光材料、絮凝液等。

⑸ 更加节能：隔膜真空泵的节能问题并不是一件轻而易举的事情，必须要经过认真的研究、反复试验来确定措施。但是目前许多厂商只是简单地把配套的电机改小，就认为隔膜真空泵可以节能多少，这是十分不可取的。真正做到节能，需要考虑以下几点：

a.减少摩擦功。需要保持各个零部件之间的间隙，适当提高泵的温度，以便降低油的粘度，轴承配合的过盈量要适当，皮带的张进度要适当。

b.降低启动功率。减少偏心距离，适当放大缸深与缸径的比例，保持室内温度，尤其是北方。减少转动零部件的质量。

c.减少压缩功。控制进油量，对于用油泵供油的泵尤为重要，油量过大容易造成过压缩。减少排气（油）阻力，保持排气（油）通道畅通，排气管道尽量短。

d.真空泵斜装，减少弯头，缩短管路，扩大出水管径，及时清除管道内的堵塞物，若有异物留在进水管、叶轮或导流壳流道内，都将会减少出水量。

6 结束语

隔膜真空泵的种类比较多样，应用场合也有异同，简单了解隔膜真空泵的一些内容对我们今后选型应用和使用维修都提供了一些帮助，设备使用中的维护保养也是至关重要的，它决定了使用寿命，同时一些使用过程中积累下来的经验技巧也是帮助我们提高机械性能的途径。

参考文献

[1]谌乾坤.干式真空泵的优化选择[J].半导体技术，2004(6).

[2]杨乃恒.真空获得设备[M].北京：冶金工业出版社，2001.

[3]徐海涛，桑芝富，顾斌，等.蒸汽喷射真空泵性能的 CFD 模拟研究[J].高校化学工程学报，2005，19.

[4]李锦云，傅晓云，杜经民.基于真空泵的正负压连续控制系统[J].机械工程学报，2005，41(11).

[5]刘先孚，王颖.隔膜泵橡胶密封圈的有限元分析及其结构优化研究[J].有色设备，2011(2).

中国知网 https://www.cnki.net

工程教育专业认证视域下高职包装专业学生创业活动意愿影响因素研究

王丽颖
（天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410）

摘要 随着我国创新驱动发展战略及工程教育专业认证的推进，高职工程教育专业认证与创业活动之间关系越发密切，培养具有创业能力的专业工程技术人才成为高职教育教学改革的方向之一。基于此，本研究针对包装专业四年制高职本科学生进行调研，运用SPSS软件对问卷数据进行系统分析，使用二元Logistic模型对所有变量进行回归分析，探究影响高职包装专业学生创业活动意愿的主要因素。调研结果表明，37.92%的包装专业学生有创业活动的意愿；个体特征中性别、户籍性质等对包装专业学生创业活动意愿呈现显著性影响；创业能力、创业环境、创业知识与包装专业学生创业活动意愿呈现明显相关关系；当地金融服务、当地基础设施建设对包装专业学生创业活动意愿呈现显著性正向影响。根据分析结果，本研究结合工程教育专业认证“以学生为中心、成果导向、持续改进”的教育理念，从学校、社会、国家及地方政府3个维度给出了优化建议。

关键词 工程教育专业认证；高职包装专业；创业活动意愿；回归模型；影响因素
中图分类号 G712; TB48 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9540(2022)04-138-08
DOI 10.19370/j.cnki.cn10-1304/ts.2022.04.021

Research on Influencing Factors of Entrepreneurial Intention of Higher Vocational Students Majoring in Packaging under Vision of Engineering Education Accreditation

WANG Li-ying
(*College of Mechanical and Electrical Engineering and Automation*, *Tianjin Vocational Institute*, *Tianjin* 300410, *China*)

Abstract With the promotion of innovation driven development strategy and engineering education accreditation, the relationship between the engineering education accreditation of higher vocational engineering education and entrepreneurial activities is becoming more and more close. Cultivating professional engineering and technical personnel with entrepreneurial ability has become one of the directions of higher vocational education teaching reform. Based on this, in this study, the four-year higher vocational college students majoring in packaging were

收稿日期：2022－06－02 修回日期：2022－06－29
项目来源：天津职业大学2018年度校基金项目(No.20183106)；2021年天津市大学生思想政治工作专项课题(No.TJSZJYKT2021－Y011)
本文引用格式：王丽颖．工程教育专业认证视域下高职包装专业学生创业活动意愿影响因素研究[J]．数字印刷，2022，(4)：138－145，151．

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

investigated, the questionnaire data was systematically analyzed with SPSS software, and regression analysis on all variables with binary logistic model was conducted to explore the main factors that affect the entrepreneurial activities of students majoring in packaging in higher vocational colleges. The empirical results showed that 37.92% of the students have the intention of entrepreneurial activities. In the individual characteristics, gender and the nature of registered residence have a significant impact on the entrepreneurial activities of students majoring in packaging; Entrepreneurial ability, entrepreneurial environment and entrepreneurial knowledge showed obvious related to students' entrepreneurial activity intention. Local financial services and local infrastructure construction have a significant positive impact on the entrepreneurial activities of the students. According to the analysis results, combined with the education concept of “student centered, output oriented and continuous improvement” of engineering education accreditation, optimization suggestions were given from three dimensions of school, society, state and local government.

Key words Engineering education accreditation; Packaging major in higher vocational education; Entrepreneurial intention; Regression model; Influence factor

0 引言

随着世界经济和科技的高速发展，我国先后提出了“互联网+”“大众创业、万众创新”等重要政策，急需具备国际竞争力、创业能力强的高素质复合型工程技术人才。但是现阶段我国工程教育领域仍存在大而不强、创新意识培养不足、人才培养目标定位模糊等一系列问题[1]。

为使上述现状得到根本性改变，我国于2016年加入了《华盛顿协议》，它是对应大学本科层次的协议，而《悉尼协议》则与技术工程师和我国高等职业院校的人才培养目标定位基本一致[2]。高职本科教育作为全日制学历的一种，已成为我国现代教育体系中的重要组成部分。自2010年，我国多个地区对四年制高职本科联合培养项目进行了有力探索，如天津职业大学和天津科技大学开展的“四年制应用型技术人才”试点项目，中山火炬职业技术学院与仲恺农业工程学院设立的“四年制本科协同育人项目实验班”等。这些对高职本科教育进行人才培养体系的构建与探索，可以加速我国高职工程教育与国际接轨，培养更多具有创业能力的工程技术人才，这不仅有利于工程教育专业教学实践改革，更有利于高职院校提升专业建设水平，提高人才培养质量[3]。

作为行业特征鲜明的包装专业，承担着为包装印刷领域提供高素质创业工程技术人才的重任，必须以工程教育专业认证为契机，探究创业活动影响因素，从而完善高职创新创业教育体系，深化职业教育改革。

1 高职工程教育专业认证与创业活动的相关性

1.1 两者参与主体重合

工程教育专业认证是由行业协会或机构携手相关领域教育专家、行业专家组成认证小组，对工程专业的教育质量进行评估和考核，评估对象包括高职院校学生。创业活动是面对全社会不同群体分层次分阶段进行的活动，高职学生是该群体的重要组成部分。两者的参与主体高度重合。

1.2 两者教育理念相符

首先，工程教育专业认证是通过评估工程培训质量而制定的一套原则、程序和规范。它不仅为教育提供了质量保证，也是高职教育认证的有机组成部分。工程教育专业认证的目的是达到一定的工程培训质量标准，其培养目标中包含对高职学生创新能力的要求，而创新能力又是学生创业能力的重要组成部分。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

相对应的，高职创业活动教育的核心思想是培育学生的创新精神及创业意识。两者的概念密切相关。

其次，工程教育专业认证所秉承的核心教育理念为“以学生为中心、成果导向、持续改进”，它与高职创业活动教育理念高度契合，即创业活动教育本身就是基于“以学生为中心”的根本理念进行教学设计。创业活动鼓励项目成果产生实践效应和经济效益，符合工程教育专业认证中“成果导向”的理念。创业活动的目标之一就是借助于“评价——反馈——处理”这一教育循环过程，激励人才的可持续发展，这又与工程教育专业认证中的“持续改进”不谋而合。

1.3 两者关系紧密相连

工程教育专业认证是高职院校开展创业活动的重要基础，是检验高职人才培养质量的基本标准，通过该认证即代表着高职学生创新能力达到了最低标准，也为其未来开展创业活动奠定基础。同时，高质量的高职学生创业活动又离不开学生自身坚实的专业技术能力，创业活动成果也能体现工程教育专业认证的重要价值。

2 变量选择与实验设计

2.1 研究对象的选取

本研究以四年制高职院校包装专业的学生为研究对象，调研其创业活动意愿的影响因素。为体现示范性高职的引领作用，调研院校的选取兼顾了以下三个主要方面：一是已有序推进工程教育专业认证工作；二是积极开展双创教育活动；三是试点包装专业四年制高职本科项目。最终选取了目标院校内的272名学生参与调研。

2.2 变量选择

2.2.1 因变量

本研究选取是否有创业活动意愿为因变量。若选择“是”，则赋值为1；回答“否”，则赋值为0。

2.2.2 核心自变量

考虑到学生自身和外部影响因素，本研究设计12个问题指标，分别为个人能力（X_1）、创业资金（X_2）、创业心态（X_3）、当地经济发展水平（X_4）、当地金融服务水平（X_5）、当地社会网络发展（X_6）、当地基础设施建设（X_7）、国家创业补贴（X_8）、政府政策支持（X_9）、高职创业服务项目指导及孵化（X_{10}）、高职创业理论课程（X_{11}）和高职创业实践课程（X_{12}）12个指标。根据学生回答“很弱”“弱”“一般”“强”“很强”依次赋值1、2、3、4、5。

2.2.3 控制变量

为了尽量避免遗漏变量偏差，需要在研究中加入控制变量，包括影响被解释变量的主要因素，本研究将学生的个体特征设置为控制变量。个体特征包括学生的性别（M_1）、年级（M_2）、户籍性质（M_3），探究因果关系中控制变量是否也造成被解释变量的变化。其中，性别为男性赋值为1，性别为女性赋值为0；年级按照“大一”“大二”“大三”“大四”依次赋值3、2、1、0；户籍性质为农业，赋值为1，非农业则赋值为0。

2.3 数据说明

本研究采取在线问卷调查方式。样本范围覆盖包装专业大一至大四272名学生，删除变量缺失或数据异常样本，最后得到有效样本269份，问卷有效率为99%。本研究采用统计软件SPSS（V23.0）进行数据分析。

2.4 计量模型

由于因变量取值只有0和1，因此采用二元Logistic回归模型进行实证，二元 Logistic 回归模型如式(1)。

$$\text{Logit}(p)=\ln[p/(1-p)]=C+\beta X+\Sigma i\gamma iM_i+\varepsilon \quad (1)$$

其中，X为创业活动意愿影响因素，将 X_1~X_{12}分别纳入模型进行估计；p为被解释变量为1的概率。M_i为控制变量，本研究中的i取值范围为1~3，将M_1~M_3所有的控制变量一并纳入模型。C为常数项，β为创业活动意愿变量的回归系数，代表包装专业学生创业活动意愿的影响方向和影响程度，γ为控制变量系数，ε为模型随机误差项。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 数据分析

3.1 信效度分析

调查问卷的质量需要得到保障，必须要进行信度分析。问卷信度能够反映问卷设计的可靠性、统一性、稳定性。在针对问卷进行信度分析时，最常用的是克隆巴赫信度检验方法。本研究依据克隆巴赫信度检验，将有效测量某一题项剔除后，对所有题项信度变动状况进行分析。当克隆巴赫系数（α）大于0.8时，证明问卷的信度较高。计算问卷12项总克隆巴赫系数为0.915，剔除各个分量后的α全部高于0.9（见表1），表明该问卷数据信度高。问卷的设计是否具有一定的质量，还需要对问卷的效度进行分析。通常采用KMO检验和巴特利特球形度检验，KMO值在0.9以上为非常适合，0.8~0.9为很适合，0.7~0.8为合适，0.6~0.7为尚可，0.5~0.6为不合适，0.5以下表示极不适合。由表2可知，KMO为0.899，巴特利特球形度检验显著性为0.000，在0.001的显著水平下，近似卡方分布为2237.647，表明该调研的效度良好。说明本研究数据能够相对真实可靠地反映工程教育专业认证视域下高职包装专业创业活动意愿。

表1 信度分析表
Tab.1 Reliability analysis table

指标	删除项后的标度平均值	删除项后的标度方差	修正后的项与总计相关性	删除项后的α
个人能力	56.21	82.130	0.482	0.914
创业资金	55.90	81.643	0.552	0.911
创业心态	55.86	82.234	0.563	0.911
当地经济发展水平	56.04	81.129	0.616	0.909
当地金融服务	56.09	79.659	0.711	0.906
当地社会网络发展	55.97	80.503	0.672	0.908
当地基础设施建设	55.95	81.352	0.639	0.909
国家创业补贴	55.87	80.648	0.672	0.908
国家政策支持	55.81	80.440	0.673	0.908
高职创业服务项目指导及孵化	56.27	80.228	0.628	0.909
高职创业理论课程	56.56	81.360	0.482	0.915
高职创业实践课程	56.48	80.288	0.566	0.911

表2 效度分析表
Tab.2 Validity analysis table

KMO	巴特利特球形度检验		
	近似卡方	自由度	显著性
0.899	2237.647	95	0.000

3.2 因子分析

本研究采用因子分析将12个指标进行降维分析，以较少公共成分代替指标，以不同成分对应指标的特质反映成分所涵盖的意义和维度。经过SPSS软件对数据进行分析，并通过主成分分析法提取公共因子，可得表3总方差解释表。提炼出载荷平方和方差的百分比仅有前三行数据，前3个因子包含

表3 总方差解释
Tab.3 Total variance explanation

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积（%）	总计	方差百分比	累积（%）	总计	方差百分比	累积（%）
1	6.516	46.454	46.454	7.016	46.454	46.454	4.623	30.756	30.756
2	1.647	11.259	57.753	1.647	11.259	57.753	2.638	18.711	49.467
3	1.041	7.396	65.149	1.041	7.396	65.149	2.344	15.682	65.149
4	0.963	6.878	72.027						
5	0.731	4.757	76.784						
6	0.658	4.274	81.058						
7	0.590	3.819	84.877						
8	0.538	3.472	88.349						
9	0.498	3.204	91.553						
10	0.484	3.110	94.663						
11	0.426	2.721	97.384						
12	0.410	2.620	100.004						

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的数据信息总量（即其累积贡献率）为65.149%，可取前3个因子来反映原评价指标。

由表3可知，将12个指标分为3个维度的公共因子进行分析更为合理。通过表4深入分析可知，第一公共因子和当地社会网络发展、当地金融服务、当地经济发展水平、当地基础设施建设、国家创业补贴、国家政策支持的对应系数较高，其指标主要反映社会发展、金融市场和国家宏观调控等方面因素，将其命名为创业环境因子，反映学生创业环境情况；第二公共因子和高职创业理论课程、高职创业实践课程、高职创业服务项目指导及孵化的对应系数较高，其指标主要反映高校的整体创业理论和实践知识教育的水平，将其命名为创业知识因子，反映学生创业知识教育的水平；第三公共因子和个人能力、创业资金、创业心态的对应系数较高，其指标主要基于学生自身能力和心态等水平，将其命名为创业能力因子，反映学生自身创业能力的水平。将数据进行归类便于后文的相关性回归分析。

表4 成分表
Tab.4 Ingredient table

指标	成分		
	第一公共因子对应系数	第二公共因子对应系数	第三公共因子对应系数
当地社会网络发展	0.771		
当地金融服务	0.760		
当地经济发展水平	0.752		
当地基础设施建设	0.746		
国家创业补贴	0.561		
国家政策支持	0.526		
高职创业理论课程		0.895	
高职创业实践课程		0.859	
高职创业服务项目指导及孵化		0.760	
个人能力			0.834
创业资金			0.764
创业心态			0.517

3.3 人口学变量

通过统计发现，所调查的269名包装专业学生中有102人有创业活动意愿，占比37.92%相对较低。可能原因是本研究的调研院校较少，范围较小，且低年级学生对于就业压力以及就业形势没有过多的感知认识。对此，提升该专业学生创业活动意愿非常重要，更进一步说明了本次研究的必要性。

3.3.1 性别差异

本研究主要采用*T*检验进行性别差异分析，*T*检验法是用来检测两组计量资料差异性的方法。其中*T*统计量>临界值，说明其拒绝原假设，即认为男女性别差异显著。*P*值是进行检验决策的另一个依据，根据其数值作出拒绝或不拒绝原假设的统计结论，若*P*值大于临界值反映其差别不显著，若*P*值小于临界值反映其差别显著。根据表5的*P*值可知，在90%的置信水平下，在创业能力、创业知识两个维度中*P*值均大于0.1，因此可以表明在该项问卷中存在性别差异不显著，即性别差异对于包装专业学生创业能力、创业知识2个维度影响不明显；在90%的置信水平下，创业环境中的*P*值小于0.1，即表示性别差异对于创业环境维度呈现较为明显的影响。

表5 性别差异
Tab.5 Gender differences

*T*检验	男（均值±标准差）	女（均值±标准差）	*T*统计量	*P*值
创业能力	4.03±0.78	4.14±0.75	−1.167	0.244
创业环境	4.01±0.73	4.17±0.66	−1.822	0.070
创业知识	3.60±0.98	3.68±0.87	−0.745	0.457

3.3.2 年级差异

本研究采用*F*检验进行年级差异分析，根据表6可知，在年级差异中，创业能力*P*=0.184>0.05，呈现不显著；创业环境维度*P*=0.406>0.05，呈现不显著，

表6 年级差异
Tab.6 Grade differences

*F*检验	大一(均值±标准差)	大二(均值±标准差)	大三(均值±标准差)	大四(均值±标准差)	*F*统计量	*P*值
创业能力	4.10±0.66	3.89±0.14	4.18±0.73	4.14±0.65	1.625	0.184
创业环境	4.08±0.58	3.97±1.01	4.13±0.61	4.19±0.59	0.973	0.406
创业知识	3.86±0.71	3.58±1.14	3.63±0.87	3.42±0.96	2.854	0.038

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

而在创业知识维度，P=0.038<0.05，呈现显著影响，对此针对创业知识维度进行分析，若想缩小年级差异带来的影响，应从高职创业理论课程、高职创业实践课程以及高职创业服务项目指导及孵化三个方面提出相应的意见。

3.3.3 户籍性质差异

本研究主要采用T检验进行户籍性质差异分析。由表7可知，在户籍性质差异中，包装专业学生创业能力P=0.062<0.1，呈现为显著影响；创业环境P=0.095<0.1，呈现较为显著影响；创业知识P=0.169>0.1，呈现不显著性。因此户籍性质差异对创业能力、创业环境两个维度呈现较为明显的影响，而对于创业知识维度呈现不明显的影响。

表7 户籍差异
Tab.7 Household registration difference

	农业	非农业	T统计量	P值
创业能力	4.19±0.65	4.02±0.83	1.877	0.062
创业环境	4.18±0.62	4.03±0.74	1.677	0.095
创业知识	3.73±0.87	3.58±0.95	1.380	0.169

本研究发现工程教育专业认证视域下高职包装专业，不同性别、不同年级、不同户籍性质对3个维度呈现不同的显著差异。其中，性别差异针对创业环境维度呈现显著性；年级差异针对创业知识维度呈现显著性；户籍性质差异针对创业能力以及创业环境呈现显著性。

3.4 相关性分析

在前文对各变量设置基础上，本研究针对创业活动意愿、创业能力、创业环境、创业知识进行相关分析，数据见表8，两公共因子之间的系数表示相关性，称为相关系数，相关系数为正值反映两者存在正相关关系，相关系数为负值则反映存在负相关关系。由表8可知，创业能力、创业环境、创业知识均与包装专业学生创业活动意愿在0.1的显著水平下呈现正相关关系，初步验证了本研究影响因素与研究对象的相关性。但是，包装专业学生创业意愿和创业能力、创业环境、创业知识正相关并不意味这3个因子可以显著影响创业活动意愿，创业活动意愿的结论必须通过线性回归分析得出。

表8 相关性分析表
Tab.8 Correlation analysis table

	创业能力	创业环境	创业知识	创业意愿
创业能力皮尔逊相关性	1			
创业环境皮尔逊相关性	0.626	1		
创业知识皮尔逊相关性	0.359	0.521**	1	
创业意愿皮尔逊相关性	0.790*	0.854*	0.804**	1

注：*、**分别表示统计检验达到0.1、0.05的显著水平。

3.5 回归分析

通过二元Logistic模型进行线性回归分析和霍斯默—莱梅肖检验得出显著性为0.859>0.5，说明此次问卷调查充分展现了工程教育专业认证视域下高职包装专业创业活动的基本状况。由二元Logistic回归分析得出表9，可知性别因素的显著性0.002<0.05，说明性别因素对包装专业学生创业活动意愿具有明显的正向影响；年级前三项分布为大四、大三、大二，显著性均为0.00<0.05，大一年级的显著性为0.360>0.1，综合表明年级对包装专业学生创业活动意愿有着强的影响，即年级越高，越能充分展现创业活动意愿；户籍因素的显著性为0.003<0.05，呈现强烈的正向显著，即农业户籍的包装学生对于创业活动意愿较强；当地金融服务的显著性为0.082<0.1，呈现较强显著性，即当地金融服务越好包装专业学生创业活动意愿越强烈；当地基础设施建设的显著性为0.022<0.05，呈现强烈的正向显著性，即当地基础设施建设越来越完善，包装专业学生选择创业活动意愿越强烈。其余的影响因素，均不呈现显著性关系，对于包装专业学生创业活动意愿影响不明显。

从表9还可看出性别、年级、户籍性质、当地金融服务、当地基础设施建设等变量对创业活动意愿呈现显著性影响；个人能力、创业资金、创业心态、当地经济发展水平、当地社会网络发展、高职创业服务项目指导及孵化、高职创业理论课程、高职创业实践课程、国家创业补贴、国家政策支持等变量与创业活动意愿呈现不显著关系。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表9 方程中的变量
Tab.9 Variables in the equation

	变量系数（*B*）	标准误差	瓦尔德	自由度	显著性	Exp(*B*)	EXP(*B*) 的 95% 置信区间	
							下限	上限
性别(1)	0.848	0.317	8.443	1	0.002	2.499	1.271	5.066
年级			29.201	3	0.000			
年级(1)	2.016	0.471	19.402	1	0.000	8.28	3.164	21.664
年级(2)	1.764	0.507	13.008	1	0.000	6.411	2.263	18.094
年级(3)	0.333	0.475	0.724	1	0.360	1.448	0.501	4.141
户籍(1)	-1.119	0.342	8.026	1	0.003	0.254	0.082	0.83
个人能力	0.156	0.184	1.77	1	0.169	1.196	0.791	2.016
创业资金	-0.168	0.209	-0.044	1	0.743	0.833	0.512	1.555
创业心态	-0.016	0.23	0.043	1	0.694	0.988	0.584	1.865
当地经济发展水平	-0.267	0.229	0.312	1	0.532	0.744	0.433	1.471
当地金融服务	0.335	0.246	2.894	1	0.082	1.451	0.842	2.687
当地社会网络发展	0.155	0.244	0.975	1	0.287	1.194	0.69	2.253
当地基础设施建设	-0.709	0.253	5.036	1	0.022	0.439	0.227	1.023
高职创业服务项目指导及孵化	-0.076	0.241	-0.091	1	0.843	0.925	0.532	1.797
高职创业理论课程	-0.076	0.223	-0.089	1	0.881	0.924	0.554	1.737
高职创业实践课程	0.213	0.241	1.543	1	0.194	1.272	0.743	2.368
国家创业补贴	-0.123	0.266	-0.109	1	0.842	0.877	0.473	1.801
国家政策支持	0.113	0.258	0.58	1	0.405	1.14	0.637	2.22
常量	-5.397	1.421	13.52	1	0.000	0.006		

4 工程教育专业认证视域下高职包装专业创业活动优化建议

4.1 学校层面

高职院校应“以学生为中心”，助其树立人生观的同时，引入“金字塔”式的分层教育模式，广泛开展公益实践活动。

首先，现阶段的高职包装专业双创教育方针普遍着重于培养学生的创业能力，如知识、技能传授等智力支持，但对学生树立正确创业观念过程中的思想教育较为欠缺。因此，在工程教育专业认证视域下，学校应该强化学生在创业领域中的性别平等、户籍平等意识，并积极引导学生追求自我成长、自我价值创造，树立正确的道德观、价值观和自我实现的创业人生观。

其次，高职院校还要避免创业教育仅是为参与创业大赛这一单一目标。而要面向全体学生，尤其是中低年级学生开展广谱式的双创基础教育，针对已有创业意愿的学生开展实用性的创业准备教育，对已经开始创业起步的学生则应该提供支持。同时学校要根据各项人才要求，全方位培养学生个人能力，从整体上提升学生创业自我效能感。

第三，通过访谈得知，并非学生对创业知识不感兴趣，而是教师在授课时重理论、轻实践，无法引起学生兴趣。对此，建议学校广泛开展公益实践活动。此类活动所具有的服务性可以让学生在志愿服务以及他人服务奉献中发现个人的力量、发现社会需求，坚定社会责任意识，形成自觉的奉献精神。此过程摒弃了枯燥的理论讲授，让学生通过脑力、体力劳动发挥自己的作用，明确自身的社会属性，更加主动地关怀他人、强化追求社会效益和公

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

共利益，还可加强学生党员的带头作用，从而潜移默化地影响学生的创业情怀和创业价值观。

第四，调查中发现部分包装专业学生对相关创业政策并不了解。因此从学校角度要帮助学生注重对实时新闻政策的关注，了解国家以及各个单位对于不同人才的需求情况。作为包装专业学生，应尽早明确自身的发展情况，对于专业的进修以及课外学习均衡分配，全面提升专业性硬件知识。留意政府、企业单位对于包装专业的创新型人才招募情况，为后续专业性的发展做好铺垫。

4.2 社会层面

提升学生创业能力不仅是高职院校的责任，包装印刷行业协会、相关企业、社会团体、学生家庭均应强化“成果导向”理念，发挥各自作用。

首先，社会媒介应当增强对高职包装专业性创新人才的认知，我国作为包装印刷大国离不开创新型人才的支持，创新型人才在我国社会体系中起着不可或缺的作用。社会媒介应将在包装领域做出巨大贡献的杰出人员作为社会正风向标，鼓励更多的青年才俊投身于国家建设和包装行业发展中去。

其次，从本质上来讲，高职包装专业学生创业活动属于市场行为，社会对这一活动的参与行为大都受经济利益的推动，而这也符合工程教育专业认证的“成果导向”理念。但学生的创业教育与实践活动又是一项公共事业活动。如何有效解决上述矛盾，是学生创业活动成功与否的重要基础。网络时代，数字化的社会媒介的出现在一定程度上解决了上述问题，其高效性、便捷性、低成本的特点，能帮助各社会主体有效整合各方需求。同时，也呼吁相关企事业单位，发挥企业社会责任感，投身高职学生创业促进项目中去。

第三，高职学生尚处于成长期，其创业意识和精神往往受社会和家庭影响。因此，社会媒介要对学生主体一视同仁，切勿添加性别、年龄、户籍等个人歧视色彩。家长要转变传统就业择业观，根据家庭环境及条件，引导学生勇于创新、大胆尝试。而社会成员应对参与创业学生予以关注，结合工程教育专业认证中“持续改进”理念，对学生创业者予以“评价、反馈、处理”。对失败者给予足够的支持和理解，并建立健全相关保障救济制度。

4.3 国家及地方政府层面

政府作为各类创业活动的引领者和服务者，必须秉承工程教育专业认证的“持续改进”理念，不断推动高职学生创业活动发展。

首先，现阶段我国各级政府制定的创业政策仍缺乏一定系统性，且存在宣传不到位、执行力度差等现象。因此各级政府需理清创业活动发展的一般规律，明确各方责任，协调各主体通力配合，强调政策的与时俱进及执行效率，增加宣传力度，为有创业活动意愿的高职学生提供法律及政策保障。

其次，区域经济水平、城乡差异在一定程度上影响着高职学生的创业活动。因此希望地方政府在不断完善基础设施建设，缩短城乡之间差距的同时，加强金融服务力度。在财政扶持过程中以吸引社会资金为主，引导社会资本参与高职学生创业。

第三，政府在促进良好的创业文化氛围形成的同时，应针对高职包装专业学生，加大工程教育专业认证项目的推广力度，结合相关协议框架要求，有针对性地要求高职院校提高相关双创课程授课占比，使人才市场需求方能够根据不同需求，高效地选择不同类型的包装工程技术专业人才，也使学生能够尽早对未来职业有清晰的规划。

5 结论

在工程教育专业认证视域下，高职学生创业素质和能力的提升是新时期我国实施创新战略和经济转型的客观要求，是高职院校深化改革，育人成才的重要手段，更是提升高职学生职业竞争力的有效方式。本研究针对包装专业四年制高职本科学生进行调研，探究影响其创业活动意愿的主要因素，将问卷调查数据进行因子分析，再运用二元Logistic回归分析法来进行显著性分析，并结合工程教育专业认证理念，提出有针对性的优化建议，期望能够稳步提升高职创业教育成效。

（下转第151页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Review of the Quality of Engineering Talents Training in Universities During the Past 40 Years of Reform and Opening in China [J]. Heilongjiang Researches on Higher Education, 2019, 37(2): 30-34.

主要作者

张芸（1988年-），硕士，讲师；主要研究方向为大学生思想政治教育，大学生职业生涯规划与就业指导。



ZHANG Yun, born in 1988. She got the master degree and now is a lecturer. She main research directions are ideological and political education of college students, career planning and employment guidance for college students.

（上接第145页）

参考文献

[1] 徐源廷, 赵伟锋, 木肖玉, 等. 新工科背景下高分子材料类人才创新创业能力培养的改革与实践[J]. 高分子通报, 2022, (4): 89-93.
XU Yuan-ting, ZHAO Wei-feng, MU Xiao-yu, et al. Reform and Practice of Cultivating Innovation and Entrepreneurial Ability for Polymer Material Students under the Bacakground of Emerging Engineering Education [J]. Polymer Bulletin, 2022, (4): 89-93.

[2] 王秀彦, 单晴雯, 张景波, 等. 工程教育专业认证指标赋权研究——基于技术能力与非技术能力指标的实证分析[J]. 中国高校科技, 2022, (Z1): 82-86.
WANG Xiu-yan, SHAN Qing-wen, ZHANG Jing-bo, et al. Research on the Index Weighting of Engineering Education Professional Certification--Empirical Analysis Based on Technical and Non-technical Capability Indicators [J]. China University Science & Technology, 2022, (Z1): 82-86.

[3] 王立高. 高职学生创业教育与创业意愿关系及影响因素的实证研究[J]. 教育与职业, 2019, (12): 62-67.
WANG Li-gao. An Empirical Study on the Relationship Between Entrepreneurship Education and Entrepreneurial Willingness of Higher Vocational Students and Its Influencing Factors [J]. Education and Occupation, 2019, (12): 62-67.

主要作者



王丽颖（1985年-），硕士，讲师；主要从事创新创业教育等研究。
WANG Li-ying，born in 1985. She got the master degree and now is a lecturer. She mainly engaged in innovational entrepreneurship education research.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

工匠精神视域下电气自动化专业技能课程实训教学改革

许衍泽

(天津职业大学,天津 300410)

摘要: 对工匠精神视域下电气自动化专业技能课程实训教学改革进行研究,分析了工匠精神在电气自动化人才培养中的重要性,使学生在掌握专业知识的同时能够具备工匠精神,能够更好地投身到工作中,对工艺技术和设备进行优化创新。基础理论过多、教学模式传统、实践环节缺失,这些都是电气自动化专业技能课程教学存在的问题。基础理论课程较多会影响学生对于基础知识的掌握能力,而且教学时间相对较短,使得实践教学严重滞后,教学效果无法得到保障。职业院校在开展电气自动化专业技能课程教学过程中,很多都是直接沿袭普通高校的教学模式,但这样的教学模式在职业院校中并不具备适用性。部分院校还存在实践环节缺失问题。单纯的理论知识讲解并不能很好地满足课程教学以及人才培养的现实需求。要改革传统教学理念,开发新的课程体系,建设企业实习平台,重新定位教学目标,在教学中大力弘扬工匠精神,以提升教学效果。

关键词: 工匠精神; 电气自动化专业技能课程; 实训教学改革

中图分类号: G712　　**文献标志码**: B　　**文章编号**: 1674 - 8646(2020) 23 - 0041 - 03

Practical Teaching Reform of Automation Professional Skill Course Under the Perspective of Craftsman Spirit

Xu Yanze

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The research explores the practical teaching reform of automation professional skill course under the perspective of craftsman spirit, and analyzes the importance of craftsman spirit in automation talent training. Students' possession of craftsman spirit while their grasp of professional knowledge can make them better dedicate themselves into work, and optimize and innovate technology and equipment. There are some problems in automation professional skill course teaching, such as too much basic theory, the traditional teaching model and lack of practical links. Too much basic theory can reflect the grasp ability of students on basic knowledge. Relatively short teaching time can make practical teaching lag behind seriously, so the teaching effect can't be guaranteed. In the process of vocational colleges developing automation professional skill teaching, there is much same of regular institutions of higher learning, but the teaching model is not suitable for vocational colleges. There is the lack of practice in some colleges. Simple theoretical knowledge explanation can't satisfy course teaching and the reality demand of talent training. It is suggested to reform traditional teaching concept, develop new course system, establish enterprise practice platform, relocate teaching aim, and promote craftsman spirit in teaching, in order to promote teaching effect.

Key words: Craftsman spirit; Automation professional skill course; Practical teaching reform

产业结构的调整使得社会对于高端技能应用型人才提出了新的要求,职业院校作为应用型人才培养基地,也获得了良好的发展机遇。但随着办学规模的扩大,不少职业院校在落实办学方针过程中出现了一定偏差,导致培养出的毕业生在能力素质方面无法满足企业需求,出现了企业人才紧缺,毕业生就业困难的矛盾局面。职业院校应立足于工匠精神的角度做好教学改革工作,提升教学效果,培养出更多能够适应社会发展需求的专业人才。

1　工匠精神

工匠精神属于一种特殊的职业精神,也是对职业能力、职业道德、职业品质的直观体现,是从业人员本

收稿日期: 2020 - 05 - 11
作者简介: 许衍泽(1988 -),女,助教。

中国知网　https://www.cnki.net

身的职业取向和行为表现。工匠精神的内涵体现在以下方面:一是敬业。敬业精神是所有从业者必须坚守的一种精神品质,主要是指从业者基于对自身职业的热爱和敬畏,全身心投入到工作中。自古以来,我国就有敬业乐群、忠于职守的优良传统,敬业不仅是传统美德,更是社会主义核心价值观的一个基本要求。如果从业者在工作中缺乏敬业精神,抱着得过且过的心理,那不仅无法保证产品质量,还可能引发安全事故。二是精益。精益具体来讲就是精益求精,指从业者认真对待每一件产品和每一道工序,通过全身心投入来追求极致。正如老子所言,“天下大事,必作于细”,想要实现长远发展,必须做到精益求精。三是专注。专注强调对眼前细节的执着和耐心,这也是优秀工匠所必须具备的精神品质,可以把工匠精神看做是一种特殊的执着,数十年如一日的坚持,优秀的工匠甚至会达到“偏执”的地步,正所言谓“艺痴者技必良”。四是创新。工匠精神不仅需要强调敬业、精益和专注,更必须不断追求突破创新,科学技术的进步正是在工匠们的不断创新中实现的。

2 工匠精神在电气自动化人才培养中的重要性

新发展环境下,企业对于电气类人才的需求持续增长,职业院校教师必须立足于工匠精神的大背景来推动电气自动化课程教学的改革创新,确保学生能够熟练掌握与电气自动化相关的知识和操作技能,要培养出有责任心的综合型、实践型技术人才。

新时期职业教育强调向学生传授真正具备可操作性的技术,要求学生能够拥有被用于实际操作场景的专业知识。这个要求看似简单,要想实现难度较大,其核心体现在两点,一是学生必须掌握相应的专业知识,二是在实际场景中必须做到随机应变,将专业知识合理应用到实践中。工匠精神的本质主要是将每一个技术人才的价值最大化体现出来,引导学生真正领会工匠精神,形成对职业的敬畏心,要对工作认真负责。

工匠精神能够推动生产力水平的提高。随着技术的发展,人们越发认识到工匠在社会生产和社会发展中的重要作用。将工匠精神引入到教育教学和人才培养中,使学生在掌握专业知识的同时能够具备工匠精神,能够更好地投身到工作中,对工艺技术和设备进行优化创新,满足新时期社会经济发展的新要求,推动社会生产全面转型升级,提高社会生产力水平。

3 电气自动化专业技能课程教学存在的问题

3.1 基础理论过多

基础理论课程较多会影响学生对于基础知识的掌握能力。电气自动化专业技能课程本身属于机电专业中的一项基础性课程,对于实践能力有着较高的要求。但从教学情况来看,课程基础理论过多,教学时间相对较短,使得实践教学严重滞后,教学效果无法得到保障。

3.2 教学模式传统

职业院校在开展电气自动化专业技能课程教学的过程中,教学模式过于传统,很多都是直接沿袭普通高校的教学模式。然而职业院校学生的基础能力相对薄弱,不能很好地适应普通高校的教学模式。电气自动化专业技能课程本身比较抽象,单一的教学模式和教学方法导致课堂教学过于枯燥乏味,无法激发学生的学习兴趣,甚至会对相关课程产生抵触心理。

3.3 实践环节缺失

电气自动化专业技能课程教学中,要将理论和实践教学结合在一起,保证教学效果。但从职业院校的实际教学情况来看,实践教学时长严重不足,部分院校还存在实践环节缺失的问题,单纯的理论知识讲解并不能很好地满足课程教学以及人才培养的现实需求。

4 工匠精神视域下电气自动化专业技能课程教学改革

电气自动化专业技能课程教学主要是针对实用型技能人才进行培养,要求职业院校必须结合市场需求以及教学实际情况做好持续改革工作,培养出具备工匠精神的学生。

4.1 改革传统教学理念

电气自动化专业技能课程教师需要及时对自身的教学思维进行更新,改革传统教学理念,积极学习先进的教学理念和教学方法,同时将工匠精神引入到专业课程教学中,提升课程教学的有效性。职业院校在教学过程中应将培养学生工匠精神作为重点,将职业教育的作用和价值充分发挥出来。从实际操作角度来看,高职院校应建立起相应的师资培训机制,做好对于工匠精神的宣传教育,借助教学研究、校风制定等措施来推动教师教学理念的快速转变。

4.2 开发新的课程体系

职业院校在对电气自动化专业技能课程教学进行

中国知网 https://www.cnki.net

改革的过程中，应强调理论与实践的结合，在工匠精神视域下对实践课程体系进行持续优化和完善，确保教学内容完整，职责分明。

需对电气自动化课程的教学时间进行改革，适当延长课堂时间，合并课堂，确保教师在完成理论知识的讲解后能够留出一定的课堂时间供学生进行实践操作。在条件允许的情况下，可以带领学生到实验室开展专业实践，使学生在巩固理论知识的同时提高专业应用能力。

需对工匠精神的内涵进行明确，结合学校自身办学特点探寻与工匠精神存在的共性及特性，综合多方面因素来对新课程体系进行开发。通过对传承工匠精神的校本课程体系进行开发，能够对电气自动化的专业课程以及公共课程的教学工作进行延伸和拓展，以实现培养学生工匠精神的目标。

在对专业课程进行设置的过程中，职业院校应从学生的专业特点入手，在传授专业知识和培养专业技能的过程中就课程中体现出的专业素养进行强化，确保学生在学习专业知识的同时养成良好的行为习惯和职业操守。

4.3　建设企业实习平台

职业院校在实施电气自动化实践教学的过程中，需以企业平台为支撑，建立起良好的校企合作关系，保持与企业之间的沟通，把握好社会、行业及企业对人才信息需求的变化情况，及时对专业课程进行改革和完善。企业应及时将自身对于人才的需求告知学校，帮助学校完成课程体系建设工作。职业院校应从自身实际需求出发，在电气自动化专业技能课程改革和培养学生工匠精神的过程中高度关注实训教学，做好机电实践设备、检测设备的采购和更新，完善实训基础设施建设，保证实践教学顺利实施，提升教学的有效性。

4.4　重新定位教学目标

职业院校要想立足于工匠精神视角来对实训课程进行改善，不仅需要完善现有的基础课程体系，还需要重视对学生职业素质的培养，关注职业道德和工匠精神，重新定位教学目标，将学生确定为具备工匠精神的专业技能型人才。从实际操作角度来看，应将工匠精神培养作为教学中的一项核心内容。在设置电气自动化专业课程教学目标的过程中，要着重提升学生的专业基础知识水平和实践操作能力。

5　结语

工匠精神在电气自动化专业技能课程教学中的很多方面都有体现，教师不仅需要重视专业知识的讲解和专业技能的培养，还应关注学生的职业道德，要从宏观人文角度来提升其工匠精神。对于学生而言，在充分掌握工匠精神的情况下，能够更认可自身专业，养成自主学习的良好习惯，会在课下主动学习专业知识，打磨提升自身的专业能力。

参考文献:

[1] 陈益飞. 基于工匠精神的电力拖动教学中现代学徒制的应用[J]. 科技经济导刊,2019,27(25):183.

[2] 李旭刚. 浅析工匠精神背景下电气自动化课程教学问题与改革[J]. 科学咨询(科技·管理),2019,(03):98.

[3] 吴国中,秦咏红,李镇. 电气自动化技术专业学生的工匠精神培育探索与实践[J]. 教育现代化,2019,6(02):181-183.

(上接第40页)

均可得到3个1。第二步的例外情形是得到1,1,1,x_1,x_2,x_3,x_4后(可设这几个数按递增顺序排列),若$x_1+x_4>10$且$x_4-x_1\leqslant 1$,就会得到1,1,1,1,x_2,x_3。

利用1,1,1,x_1,x_2,x_3计算24点的详细方法为设$x_1\leqslant x_2\leqslant x_3$,若$x_1+x_3\leqslant 8$,则有$x_1+x_3\geqslant 2$。根据引理可知1,1,1,$x_1+x_3$,$x_2$可得到24。若$x_1+x_3\geqslant 9$,分两种情形:①$|x_3-x_1|\geqslant 2$,由引理可知1,1,1,$x_3-x_1$,$x_2$可得到24。②$|x_3-x_1|\leqslant 1$,则$x_3\geqslant 5$。若$x_1$,$x_2$,$x_3$中有一个在{6,7,8,9}中,则将另两个数相减或相除可得到1,从而可由以下计算得到24,6和4个1可得24,7、8、9和1可得8,再和3个1可得24。

$$6\times(1+1+1+1)=24$$
$$(1+1+1)\times(7+1)=24$$
$$(1+1+1)\times(8\times 1)=24$$
$$(1+1+1)\times(9-1)=24$$

剩下只需计算$x_1=x_2=x_3=5$和$x_1=x_2=x_3=10$。这两种情况可由以下计算得出结论:

$$(5-1)\times 5+5-1\times 1=24$$
$$(10+1+1)\times(10/10+1)=24$$

参考文献:

[1] 孙宝琳,朱汴梁. 探究数学游戏"24点"的理论支撑[J]. 中学数学教学,2010,(04):24-26.

[2] 简敏豪,杨健辉. 数学游戏"算24点"的新变化与拓展[J]. 小学教学参考,2017,(05):6-8.

[3] 黄金勇. 寓教于乐的24点游戏——数学教学的好帮手[J]. 教育教学论坛,2013,(43):186-187.

[4] 张洋. 马丁·加德纳的数学游戏思想[D]. 大连:辽宁师范大学,2015.

[5] 孙荣恒. 应用概率论(第三版)[M]. 北京:科学出版社,2014.

中国知网 https://www.cnki.net

构建产学研相结合的技术创新体系研究

李建国（天津职业大学机械工程实训中心）

[摘　要]随着社会的进步，人们越来越注重科技的力量，这种思想也渗透到了企业的发展中。因此，出现了产学研相结合技术的发展。产学研相结合就是科研、教育、生产三方面的结合促进企业的发展。本文简单介绍了产学研技术，分析了产学研相结合的发展状况、产学研的优势以及存在的问题。最后对产学研的问题提出了解决方法。而中国产学研促进会的成立为产学研的发展提供保障。

[关键词]产学研

[中图分类号]F124.3　　[文献标识码]A　　[文章编号]1006-4222(2015)11-0260-02

社会是一个动态变化的社会，任何事物都在发展变化之中，尤其是在我国经济的迅速发展之后，更要事物的发展要向最优化。因此，出现了“产学研相结合”的技术。并且，在此展开对“产学研相结合”技术的研究。

1 中国产学研合作促进会

1.1 中国产学研促进会的成立及简介

中国产学研促进会（以下简称促进会）成立于 2007 年 11 月，是经国务院批准，由国家发改委、教育部、科技部、工信部、商务部、国务院国资委、国家知识产权局、中国科学院、中国工程院、中国科协等产学研界相关部门和高校、科研院所、企业共同参与和推动创办的一个跨部委、跨区域、跨行业、跨学科的产学研、政资介互动的高层平台，是一个以提升企业自主创新能力，促进创新成果商品化、产业化、国际化为目标的全国性非营利社会团体。

1.2 中国产学研促进会成立的好处

中国产学研促进会就是要实现“产”、“学”、“研”三者的相结合，所以中国产学研促进会的成立首先有利于实现这三者之间的相互促进。学习是来自于生产中的。在美国教育家杜威的观念里讲，“社会即学校”。因此，我们可以得出，学习首先是来自于社会的生产活动中。人们只有在不断地生产活动中才能发现问题解决问题，即实现学习的全过程。而“研”是人们在学习中发现问题研究的过程，在“产”和“学”的过程中被包含。而研究的结果是要被人们学习，学习也就是为了在社会生产中应用。“产”是“学”与“研”的来源，而“学”与“研”也被应用到生产之中。

2 “产学研相结合”简介

产学研相结合，是科研、教育、生产不同社会分工在功能与资源优势上的协同与集成化，是技术创新上、中、下游的对接与耦合。随着技术发展和创新形态演变，政府在创新平台搭建中的作用，用户在创新进程中的特殊地位进一步凸显。知识社会环境下的创新 2.0 形态正推动科技创新从 “产学研”向“政产学研用”，再向“政用产学研”协同发展的转变。

3 产学研相结合的发展优势

3.1 加速企业发展

企业发展不是盲目的，也是不是完全的“深水区”摸索前进，而是要有技术的引领。但是在过去的企业发展中却缺少了这一环节。因为高校与企业之间是孤立的。高校技术没有进入到企业的发展中，企业的发展完全靠自己的摸索。但是，在现在的企业发展中不再是盲目的摸索而是由比较科学的发展方式。知识是一切事物发展的捷径，而“产学研相结合”为企业的发展提供一种捷径，加速了企业的发展。

3.2 高校科研技术有了实践基地

科研不是在研究室内就可以完成的，而是在实践中不断的发展问题激发研究者的灵感。在过去，高校以及研究所的研究都是在实验室内的研究。这样的研究不仅效率低，而且科研成果往往是脱离实际情况的。也就是说，对实际生活的应用没有意义。而在现在企业为科研提供实践操作的基地之后，这一系列的问题都迎刃而解了。因为，科研人员是在实际操作中根据实际问题进行研究的。而且，科研人员的研究成果有实验的基地。一定程度上讲，这样的合作方式避免了研究中的盲目，没有方向和目的。

3.3 解决了科研的资金问题

企业的发展必然会带来企业的利益。作为科研人员，就不必担心研究的费用。因为，企业想要利用科研陈果生存和发展就必然会科研人员提供资金上的资助。作为高校，为企业提供优秀的人力资源是企业求之不得的。所以，企业必然会为高校的发展提供合理的资金资助。

4 “产”、“学”、“研”的合作状况分析

4.1 企业发展注重科技的力量

“知识是人类攀登的力量。”这句话流传已久，但是不幸的是，它只是在学术界被广泛应用。而知识对人类发展的力量实在任何一个领域都不可以忽视的。随着我国经济的发展，人们越来越注意到，想要发展科技的创新是不可以或缺的。在过去，企业要想发展人们只关注管理的方式是不是很合理、很先进。因为领导是企业发展的“领头雁”。但是，随着社会经济的发展，只有领导的管理方式合理就像是“光杆司令”。所以，在现在企业发展中人们开始大力发展科技。在明显的体现就是“产学研”的相结合。

4.2 产学研合作的形式多样化

“产学研”相结合的合作是在高校、企业以及研究所之间的合作。高校主要“学”上贡献力量，研究所主要在“研”上贡献力量，而企业则注重“产”。主要的合作方式为企业投资办学。这种方式的合作是企业为高校的建设提供资金，高校为企业提供有些学生以及科研人员，实现技术的学习和技术的研究创新，最终为企业的发展贡献力量。共建实验室、为高校提供实习基地、企业参与课程开发等都是“产学研相结合”合作的体现。在现在的“产学研”合作中，最常见的合作方式就是企业为高校学生提供实习基地。①高校的学生带着满腹才华无处施展，而企业可以为他们提供机会。②企业的发展也需要技术的革新，然而靠企业中的员工几乎是不可能的。但是，高校可

中国知网 https://www.cnki.net

以为他们提供有知识、有才华的热血青年。

4.3 企业的合作意愿较强

高校学生在企业中的实习许多是没有薪水的，即使有薪水也是比较低的。而且，高校学生刚进入到社会中，工作的热情是比较高的。在加上，高校学生大多数是出于社会知识的前沿水平，可以为企业创造利益。这就引起了企业的兴趣。当然，现在的大多数企业已经逐步确立了为科技发展服务以及为社会经建设服务的意识。乐于为高校学生提供实习的岗位。而且，企业也可以为自己创造利益，实现了企业与高校的双赢。高校学生能够获得锻炼自己的机会也是比较满意的。而高校校方也为能够提高本院校毕业生的素质感到荣幸。

4.4 产学研相结合得到了广泛支持

在上述本文中我们提到了，在“产学研相结合”的合作为企业与高校的发展都提供了许多便利之处，所以“产学研相结合”的实施必然会高校和企业的支持。而且，中国产学研合作促进会也建立了起来。这说明我国政府已经开始给予“产学研相结合”的支持。该促进会的成立对“产学研相结合”的合作的顺利进行提供了保障，在企业的“产学研相结合”的合作中积极地给予引导，为“产学研想结合”合作提供了良好的合作氛围，避免在合作出现问题。而且，“中国产学研促进会”的成立也为许多企业在与高校的合作提供了平台。

4.5 避免了“产”、“学”、“研”的分家

“产学研”本来就是一个整体，但是在先前的社会企业发展与高校发展中，这三者是互不相连的。研究所，只是为了搞科研而不管企业的发展，而高校的学生也是只是空有一套理论知识没有施展才华的机会，企业的发展急需要技术的支持却没有响应。但是，在那些实现了“产学研”这三者之间的相结合，上述问题全部解决了，实现了企业、研究所以及高校三方的三赢。

5“产学研相结合”合作中存在的问题分析

5.1 企业、研究所、高校三者均顾及自己的利益多

我们首先来讲企业。企业的发展就是要考虑企业的利润问题。之所以企业会与研究所以及高校合作的原因就是因为企业中急需要支持企业发展的科研技术，而且企业不能自己解决。因此，企业在为高校学生提供实习岗位时会考虑高校学生的素质问题，高校学生介入企业的运行是否会给企业的发展带来优势，是否会给企业创造利益。而高校则考虑，企业是否会给学校的建设提供资金帮助促进学校的发展。而且，高校将自己的学生安排按企业中实习是否会给学生未来的发展提供帮助，从而提高学校的声誉。而研究所的研究需要大量的资金。这也就意味着研究所需要企业为他们提供资金帮助搞科研。他们关注的问题在于自己的科研成果是否会被社会认可。而企业关注的却是研究所的科研成果是否能够给企业的发展带来利益。

5.2 科研力量薄弱

“产学研相结合”的合作的关键在于科研的发展。因为，高校学生学习就是要学习科研成果，只有有了科研成果的支持才能在企业的工作中运用为企业创造利益。但是，在“产学研”技术中表现出了科研力量薄弱的问题。这是“产学研”合作的一种限制。“产学研”之间是相互限制的，所以三者的发展是同步的。“产学研”在现在社会上的发展不是很公开透明，所以企业在“产学研”的投资方面的力量不足。所以，这就造成了科研的发展缓慢，也因此限制了“产学研”的发展，限制了“产学研”的效果发挥。

5.3 企业、研究所以及高校三方的信任感不强

实现“产学研相结合”的基础就是企业、研究所以及高校三方的合作。在合作中首先实现相互信任。但是在这三方中表现出，他们之间只顾及自己的利益对其他两方的信任感不强，这就限制了这三者之间的良好合作，所以“产学研相结合”的发展受限。

6 针对上述问题的解决方法

6.1 建立有效的合作机制

产学研相结合的基础在于企业与高校以及研究所三者之间的合作。然而合作不是空口说话，所以就要建立合理的合作机制作为合作保障。这是产学研发展的必然常务。但是，在产学研相结合发展的初期阶段，相关机制都不完善，所以要尽快建立有效的产学研合作机制。

6.2 加大政府的干预力度

政府是我国社会发展的宏观调控者。政府的介入能够为产学研相结合发展提供保障。而且，合理的干预产学研相结合的合作是对产学研合作的引导。在产学研发展的初期阶段，政府也有义务监督和引导产学研相结合的发展。我们国家在 2007 年建立了中国产学研促进会，这是政府干预产学研相结合发展的一种方式。但是，力度不够。所以，才会出现上述文章中出现的一系列问题。所以，在今后的产学研相结合发展中必须加大政府的干预力度，及时解决产学研相结合合作中一系列问题。比如说，在产学研相结合合作中的一些矛盾纠纷等。

6.3 创建产学研相结合合作的网络平台

现在已经进入了一网络化发展的大时代。任何事物的发展都是与网络发展分不开的。所以，产学研相结合的发展也需要与网络相结合。首先，网络处理问题和传递信息的速度是比较快的，可以及时将产学研相结合的问题反馈出来，而且，上述文章中我们提到了产学研相结合要受到政府的宏观调控。那么，网络平台的创建也有利于政府机关对产学研相结合的监督。

6.4 避免自私心理，建立信任感

没有信任感的合作是不可能成功的。无论是在那个方面的合作中，最忌讳就是自私自利、互相不信任。当然在产学研相结合的合作中信任也很重要。那么作为企业和高校在合作中要秉着公平公正的态度，为彼此共同的利益着想，实现在合作中的双赢。

参考文献

[1]杨广敏.产学研相结合技术创新体系中地方政府的路径选择[J].大连大学学报，2014(05).

收稿日期：2015-5-20

作者简介：李建国(1973-)，男，汉族，河北邢台人，高级实验师，大学本科，研究方向为产学结合数控技能实训教学和数控加工技术。

中国知网 https://www.cnki.net

构建能力导向的职业资格制度体系

黄　鑫
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：借鉴国外发达国家职业资格制度的先进理论和模式，结合我国职业资格制度发展的实际，从职业标准结构、职业培训模式、资格认证模型出发，研究设计以职业能力为本位的职业资格制度体系，以使职业资格制度从真正意义上体现“以职业活动为导向、以职业能力为核心”的特征，实现人力资源开发和促进就业的效用。

关键词：职业资格制度；职业标准结构；职业培训模式；职业资格认证
中图分类号：G710　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-8415[2015]-06-0007-04

职业资格制度是国际上通用的一种对职业能力的认证制度，也是劳动就业制度的一项重要内容。它是指按照国家制定的职业技能标准或任职资格条件，通过政府认定的考核鉴定机构，对劳动者的技能水平或职业资格进行客观公正、科学规范的评价和鉴定，对合格者授予相应的职业资格证书。

从微观上说，政府通过实行职业资格制度，可以提高技术技能型从业者的职业能力，实现对劳动力市场的规范和管理。从宏观上说，政府可以结合产业和行业发展规划，通过对职业资格制度的调控促进特定行业人力资源的开发和管理，进而推进经济结构的调整和转型。

一、构建能力导向的职业资格制度体系的意义

职业资格制度与现代社会的职业紧密联系，它既体现了现代职业高度分化的特点，也是国家经济社会发展到一定阶段的特定产物，是世界各国进行人力资源开发和促进就业普遍采用的制度。职业能力是职业资格制度建设的主要切入点，职业资格制度发展的历程就是促进职业能力发展的轨迹。所以，职业资格制度的建设是以职业能力为本位。

1. 从职业资格制度的本质来说

职业资格制度是以职业资格为核心，围绕职业资格培训、鉴定、证书颁发建立起来的一系列规章制度和组织机构及其运作内容的统称。职业资格是对从事某一种职业所必备的学识、技术和能力的基本要求，反映了劳动者为适应职业劳动需要而运用特定的知识、技术和技能的能力。职业资格与职业劳动的具体要求密切结合，直接、准确地反映了特定职业的实际工作标准和操作规范，以及劳动者从事这种职业所达到的实际能力水平。所以，职业资格制度的建设必须以职业活动为基础，以劳动者的职业能力为向导。

2. 从职业资格制度的功能来说

我国推行职业资格制度的主要功能是：以全面提高劳动者素质，增强劳动者就业能力和工作能力作为出发点，通过推行职业资格制度实现人力资源的开发及优化配置，规范劳动力市场发展，提高人力资源质量、促进就业。要从真正意义上发挥职业资格制度的功能，就必须从职业资格认证的每一个环节做到以职业活动为导向，以实际工作岗位的需要为依据，密切联系经济活动或生产的实际，以实际生产和管理部门需要的技

收稿日期：2015-12-10
基金项目：该文为中国高等职业技术教育研究会2012-2013年度立项课题“能力导向的职业资格认证制度研究”（编号：GZYLX1213325）的研究成果。
作者简介：黄　鑫（1983～），女，湖北宜昌人，天津职业大学职业技能鉴定所，实验师，硕士。

中国知网　https://www.cnki.net

能和技术为主要内容，这样通过职业资格培训和认证的劳动力才能输出到现实工作岗位。

3. 从职业资格制度建设的外在要求来说

一方面，在全球经济一体化的大环境下，不但要求我们在国际贸易、技术加工、质量标准等方面要符合国际标准，在职业规范、职业标准等职业资格制度方面也面临与国际的接轨互通。这就要求我们必须学习国外资格制度的先进理论与模式，加快相关职业资格认证制度方面的交流与互认。另一方面，我国存在人力资源素质较差且结构不合理的问题，要求国家人力资源管理部门适应新形势转变职能，依靠职业资格制度的创新建设，加强职业技能培训，改革技能人才培养的模式。

在当今知识经济时代，社会经济的发展离不开高质量的人力资源的开发。从世界各国特别是发达国家成功的实践看，加强职业技能培训，推行国家职业资格制度，已经被公认为是进行人力资源开发，提高劳动者素质的重要手段，是促进就业的关键措施，是振兴经济、推动经济腾飞的“秘密武器”。面对国际上职业资格制度向能力本位的发展趋势以及当前我国经济社会结构化转型的要求，我国职业资格制度的发展和建设必须以职业能力为导向，并且要全面推行这种国家职业资格制度，在全社会掀起学技术、学技能、提高自身工作技能水平的热潮。总之，建设能力本位的职业资格制度体系对培育和发展有序竞争的劳动力市场，促进社会人员资源的优化配置，实现我国经济社会的可持续发展，有着重要的现实意义。

二、能力导向的职业资格制度体系的设计

职业资格制度从整个系统的运作结构来说，主要包括三个方面的核心要素：职业标准、职业培训、职业资格认证。职业标准是根据职业（工种）的活动内容，对从业人员工作能力水平的规范性要求，它是职业资格制度一切工作的基础和导向。职业标准决定了职业培训内容、培训模式等相关方面的制定，职业资格认证的考核内容、考评方式等也以职业标准为依据。职业培训是对劳动者进行职业道德教育、传授职业知识、培养职业技能、进行职业指导的活动，它是职业资格制度体系中的一项主要活动，职业资格制度是通过职业培训来实现其人力资源开发等功能的。职业资格认证是由指定机构对劳动者从事某种职业所应掌握的技术理论知识和实际操作能力做出评价的过程，是职业资格制度体系中把握制度实施质量的重要环节。

此研究是从这三大核心要素出发，设计以职业能力要素为基础的职业标准框架、以“职业培训包”为代表的职业培训模式以及基于能力本位评价理论的资格认证模型，从而形成以能力为导向的职业资格制度体系。

1. 以职业能力要素为基础的职业标准框架

目前我国国家职业标准的内容框架是由职业概况、基本要求、工作要求和比重表四个部分构成。其中工作要求是国家职业标准的主体部分和核心内容，是对职业活动内容进行分解和细化，包括职业功能、工作内容、技能要求、相关知识四部分内容。主要采用工作分析法，从技能和知识两个方面描述完成各项具体工作所需的职业能力。这部分的内容和结构明显存在着理论知识和技能操作相分割，内容层次不清晰、操作要点不具体，对各能力点要求的具体指标不明确等问题。

“职业功能分析法”是现行国际社会开发职业标准的主流方法，它认为职业活动可分解为若干能力要素，指出这些要素相应的操作指标，从而衡量出劳动者的技能操作水平。本文采用该职业功能分析法，并借鉴美国SCANS标准对职业标准中工作要求这部分进行重新分析设计，从能力胜任的角度将这部分内容框架设计成如图1所示。

（1）功能模块（能力单元）：构成职业活动的具有相对独立性的基本能力单元，即从事本职业的某一实际工作岗位所需完成的任务项。

（2）能力单元要素：实现上述能力单元须掌握的最小技能要素，它表现为完成一个能力模块（任务项目）的具体工作步骤。

（3）操作指标：完成每项技能任务的具体操作（能力单元要素）所需的水平要求的描述。

（4）活动领域：完成每项技能任务的具体操作的主要工作范围，包括涉及到的工作场地环境，设施设备使用范围，职场健康与安全，产品

中国知网 https://www.cnki.net

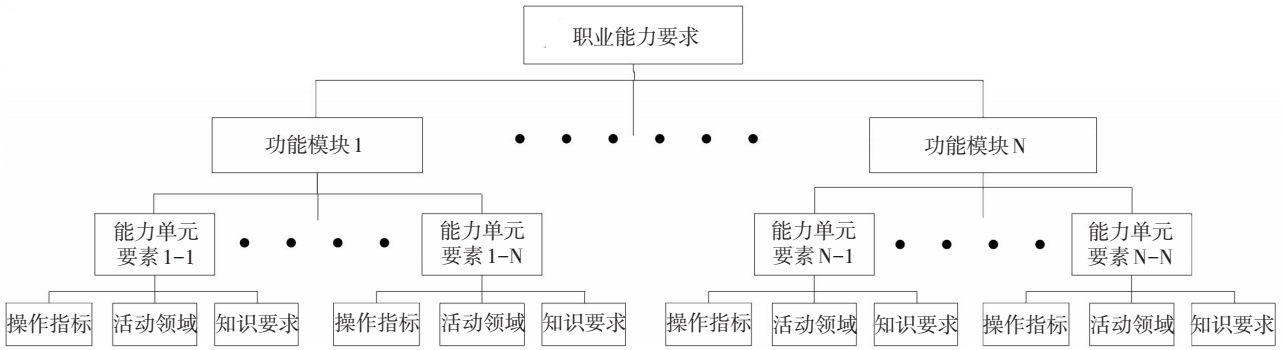


图 1　以职业能力要素为基础的职业标准框架

质量要求等的描述。

（5）知识要求：完成每项技能任务的具体操作所涉及到的职业道德、基础知识以及理论知识点等。将原来的职业基本要求和知识要点融合到每一步的技能操作中。

“能力导向”的职业标准基础框架的设计，将职业活动首先分解成若干功能模块（能力单元），再将功能模块细化成最小能力单元要素（具体工作步骤），最后指出完成每一项能力单元要素涉及到的操作指标和活动领域及知识要求等方面。这种层次化、模块化的架构设计，一方面使实际工作对劳动者的职业能力要求变得更为具体，结构更为清晰；另一方面，可以根据生产实际中工作岗位的情况，灵活的选择实际需要的具有相对独立性的一个或几个功能模块，有利于使职业能力要求与生产和就业更紧密地结合。

2. 以“职业培训包”为代表的职业培训模式

天津市“职业培训包”项目是借鉴澳大利亚 TAFE 培训包和国际劳工组织的 MES 模式开发的一项模块化、菜单式职业培训新体系。这种培训模式主要开发思路是：按照职业或岗位应具备的职能划分出不同的工作任务，以从事某种职业的实际岗位工作的完成程序为主线，将每项工作任务定义为一个“任务模块”（Work　Modular，简称 WM）。根据完成典型工作任务应具备的知识、技能和综合职业能力要求来设计“任务模块”，将完成每项任务所包含的单项知识和操作技能作为“任务模块”中的“学习单元”（Learning　Unit,简称 LU）。以此“模块——单元”式结构建立模块化的职业培训体系，开发职业培训内容和课程计划，进行职业培训活动。

这种培训模式优势在于由生产项目导入学习和训练内容，从“用”入手“学”，使学习内容与训练项目紧密结合。把企业对职业属性的要求融入培训过程中，把学习训练过程与生产过程相结合，把培训过程作为生产能力来培养。从而实现职业技能培训活动紧密围绕着职业能力开展，摆脱原来从教育的逻辑出发，把学科体系作为培训课程基础的教学模式。

3. 基于能力本位评价理论的资格认证模型

上世纪 90 年代末期由英国教育评价学家艾利逊·沃尔夫（Alison　Wolf）提出“能力本位评价是根据对所期望的学习结果加以明确界定而发展起来的一种评价形式”。澳大利亚就业与培训咨询委员会认为“能力本位评价是收集证据，并按照能力标准的说明，对学习者操作能力的进步状况与程度加以判断，最终断定学习者是否已取得相应能力的过程”。并由此定义能力本位评价的具体流程如下图 2 所示。

评价是一个广义的概念，一般来说，对人的

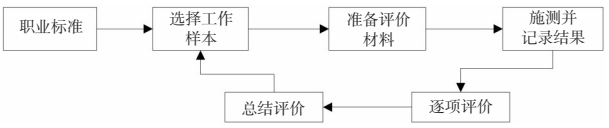


图 2　能力本位评价的具体流程图

评价是指评价者参照评价标准，了解评价标准的各项指标“是什么、应做什么、应达程度”，通过一定的评价工具测评受评者对应“会做什么、在做什么、所达程度”的过程，即现实表现与理想标准进行参照比较得出结论的过程。依据上述评价理论，职业能力的评价内容可定义为劳动者的“知识技能、运用能力、工作业绩”，而职业能力反映在职业活动中的表现形式对应有：“执行规

中国知网　https://www.cnki.net

范、解决问题、完成任务”。职业能力评价过程中所包含的主要内容见表1。

表1　职业能力三种表现形式与评价内容

职业能力表现形式	职业能力表现内容	职业能力评价内容
执行规范	职业劳动者掌握工作活动所必备的知识和技能的范围和程度	职业劳动者已经具备的知识和技能
解决问题	职业劳动者再工作活动中运用知识和技能，创造性地适应环境和处理问题的能力	职业劳动者在工作活动中持续运用知识和技能的情况
完成任务	职业劳动者完成工作活动成果后的产出情况	职业劳动者实际的工作业绩

结合能力本位评价理论和上述职业能力的评价内容以及我国职业活动的特点，本文设计出如图3所示的职业资格认证模型。职业标准定义了理想状态下职业能力各项“是什么，应做什么，应达到程度”，对应到实际工作现场中以“执行规范、解决问题、完成任务”为具体表现形式。将这些作为职业资格认证的考评指标（即系统的输入），围绕这些内容搜集能力表现的证据材料，并

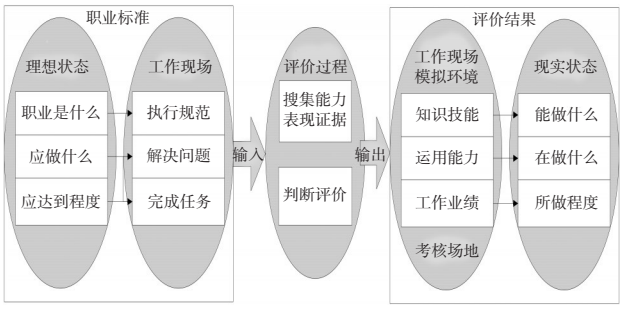


图3　基于能力本位评价理论的资格认证模型

将现实表现和理想标准加以参照评价，从而得出受评者在工作现场或模拟环境、考核场地下以“知识技能、运用能力、工作业绩”为内容的各项“成绩”（成果），即输出现实状态下“能做什么、在做什么、所做程度”的评价结果，授予相应的职业资格证书，从而完成职业资格认证过程。

这种考评模型在明确职业能力的评价内容的基础上，可以多形式、多方位的搜集相关证明材料，除了考试试卷和技能操作考核，还包括学习和工作过程中一切能反映这些评价内容材料。且该模型明确了针对各项评价内容的具体考评指标和现实表现形式，有利于考评者有章可循的给出评价理论。

[**责任编辑**：李茹]

参考文献：

[1]吕忠民.职业资格制度概论[M].北京:中国人事出版社,2011.

[2]徐　燕.我国职业技能鉴定的发展历史及现状[J].职业技术教育,2007(19):66.

[3]石伟平.职业能力与职业标准[J].外国教育资料,1997(3):59-64.

[4]李　茹.“职业培训包”功能分析与基本框架搭建[J].天津职业大学学报,2012(6):10-13.

[5]Alison Wolf. Competence-Based Assessment[M].London:Open University Press,1995.

Constructing Competence-oriented Vocational Qualification System

HUANG Xin

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: Using the advanced theories and models of vocational qualification system in developed countries for reference, and combined with the development practice of vocational qualification system in china, a competence-oriented vocational qualification system has been researched and designed from the three core aspects: the framework of vocational standards, the mode of vocational training, and the model of vocational qualification certification. This makes the vocational qualification system in China really reflect the characteristics of "taking vocational activity as the orientation, and taking the vocational competence as the core", and realize the utility of human resources development and promoting employment.

Key words: vocational qualification system; framework of vocational standards; mode of vocational training; vocational qualification certification

中国知网　https://www.cnki.net

DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2018.27.070

故障树分析法在无人机故障诊断中的应用 *

李 强,霍淑珍,郑 伟
(天津职业大学,天津 300410)

摘 要:文章为了实现对无人机的故障诊断,对无人机故障诊断和故障树分析法的特点进行了剖析,并将二者进行了有机地融合。最终文章建立了无人机的故障树模型,通过故障树分析法为专家系统的构建提供了思路。

关键词:无人机;故障树分析法;故障诊断;专家系统
中图分类号:V267 文献标志码:A 文章编号:2095-2945(2018)27-0155-02

Abstract: In order to realize the fault diagnosis of UAV, the characteristics of UAV fault diagnosis and fault tree analysis are analyzed, and the two methods are combined organically. Finally, the paper establishes the fault tree model of UAV, and provides ideas for the construction of expert system through fault tree analysis.

Keywords: UAV; fault tree analysis; fault diagnosis; expert system

随着科技的发展,无人机的功能越来越多,越来越复杂。为了提高无人机的可靠性和安全性,无人机的故障检测和诊断成为了日常必不可少的关键环节。而由于无人机故障诊断的复杂性和特殊性,使得对其进行故障诊断成为一个难点问题。

故障树分析法是利用故障树模型对研究对象进行分析的方法。通过对无人机的建模发现:无人机的各子系统均可以按照树型结构表示各种故障之间的逻辑关系,二者之间存在紧密的联系。因此,将故障树分析法应用到无人机的故障诊断中,成为了一种很好的解决办法。

1 无人机故障诊断的目的和意义

无人机不仅在农业、航拍、测绘、救灾等民用领域应用广泛,在军事、国防等领域对军事建设也做出了巨大贡献[1]。和有人机相比,无人机造价低、容易实现、机动灵活、功能多样,最关键的是飞行员无需进入现场就能够完成多项任务,如作战、预警、侦查等。尤其是在近几次美国参与的现代化战争中,无人机的成功应用显示了无人机的巨大优势,因此国内外均开始竞相研制各类无人机。但无人机作为一个庞大的系统,其内部结构复杂,尤其是军用无人机,不仅具有多个主要系统,且各系统间关系复杂。往往一个系统故障,会产生连锁反应波及到其他系统。此外,随着各种高科技技术的引入,无人机功能的增加,以及对无人机作战能力和使用寿命的要求,使得无人机的各个系统设计复杂化,对其后期的检测与维护带来了巨大的困难。

作为无人机测试和维护的重要环节,无人机的故障诊断因此成为了一个关键问题,越来越多的国家投入大量人力、物力开展无人机外场故障诊断系统的研制。无人机需要在多种环境条件下开展工作,为了保证飞行安全并顺利完成飞行任务,无人机在起飞前需要进行一系列的检测,完成对无人机当前状态的评估及故障排除:需要对无人机的各项参数及机载设备进行故障诊断,还要对检测到的故障进行分析并报警,让维护人员进行处理,将故障排除在起飞线之前[2]。当前,随着人工智能技术的发展,其在无人机故障诊断上得到了广泛的应用,极大地提高了无人机故障诊断的效率和准确性。

2 故障树分析法的作用及特点

故障树是指以最不希望发生事件为出发点,逐级描述可能引起故障发生的所有原因及其相互关系的树状逻辑关系图。

故障树分析法是指通过分析可能造成系统故障的硬件、软件等因素,对故障原因构建故障树模型,通过对故障树进行分析最终找到故障原因的一种方法[3]。

运用故障树分析法,首先要从系统最不希望发生的故障开始,找到能够直接导致该故障发生的故障原因,再将这些故障原因分别展开,找到产生这些故障的下一级原因,直至找到构成系统的基本单元为止[4]。故障树自身就是构成这些故障原因的串联或并联组合方式。

通过这种图形演绎法,我们可以把系统故障及导致其故障的各种原因形象地绘成故障图表,这样能较直观地表达系统、故障、元部件之间的相互关系,并体现各故障因素对系统故障产生影响的途径及程度。

3 故障树分析法与无人机故障诊断的联系

对无人机的故障诊断一般采用专家系统进行分析。专家系统是基于知识的一种计算机程序,它对某领域的知识进行总结并制定规则,通过严密地推理,快速准确地定位故障点及故障原因。采用了专家系统的故障诊断,具有形式统一、表达直观、模块性强、容易推理的优点。故障树分析法是一种倒立树的逻辑图法,其目的是找到导致顶事件

* 基金项目:天津职业大学科学研究基金项目"基于故障树的无人机飞控计算机故障诊断专辑系统设计"(编号:20171104)
作者简介:李强(1990-),男,汉族,天津市滨海新区,天津职业大学机电学院助教,硕士。研究方向:嵌入式系统应用、飞行控制系统。

中国知网 https://www.cnki.net

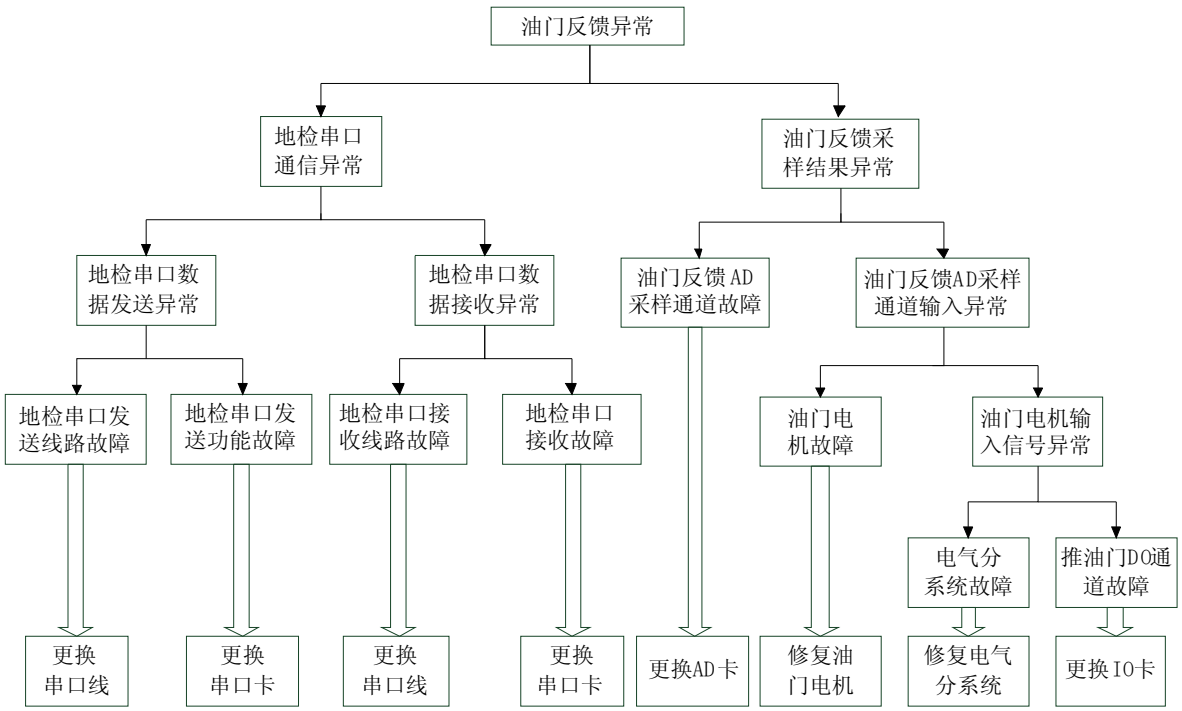


图 1 油门反馈异常故障树

发生的所有故障因素，这种自上而下的诊断方式为专家系统推理机的设计提供了便利[5]。

具体来讲，故障树的树根节点对应专家系统要解决的问题，叶子节点对应专家系统的推理结果，对故障树进行遍历的过程对应专家系统的推理过程。此外，故障树一般还具有标准的知识结构，可以利用系统的故障树设计知识库的表示方法并将故障树的结构和内容直接添加到知识库中，完成知识获取任务[6]。

4 无人机故障树的建立与分析

无人机由数个系统组成，每个系统又分为几个模块。虽然每个模块及内部各单元之间可能存在错综复杂的对应关系，但是根据信号传递的路径，可以按照无人机的各项功能，构建按功能划分的唯一确定的故障树。按照上述思路，要想建立无人机的故障树模型，需要分析每种功能对应的无人机的硬件资源及信号流通途径，设计出结构类似、互不相同的故障树。由于无人机内部各关联单元之间一般都是逻辑关系，也就是说任意一个下级故障都会导致上级故障的发生。按照这一顺序抽丝剥茧、层层深入即可建立每种功能完整的故障树模型。下面以油门反馈异常故障树为例进行分析。

油门反馈包含了无人机的串口、A/D、DO 模块，每个模块之间相互联系，油门反馈功能如果想正常工作，必须保证所有模块都功能正常。油门反馈的原理是：无人机的地检串口接收到地面传来的推油门指令，之后允许对应推油门的 DO 通道输出信号，随后由 A/D 通道采集数据得到反馈的油门位置，飞控系统最终得到采样结果并通过地检串口返回[7]。图 1 为油门反馈异常故障树模型及对应诊断意见。

与油门反馈故障树的建立方法类似，无人机各项功能的故障树均可从工作原理、硬件结构出发，分析每种功能之间的关系，逐层深入，层层展开，最后根据故障类型，得到各种故障的解决办法。对无人机建立出完整的故障树模型后，就可以按照专家系统的分析方法进行下一步的诊断检测。

5 结束语

本文论述了故障树分析法针对于无人机故障诊断的应用，同传统的故障诊断方法相比，以故障树分析法为基础建立起来的故障诊断专家系统，既降低了故障模型建立的难度，又保证了故障诊断的可靠性，实现了对无人机故障的快速排查并给出科学的解决方案，为维修人员提供了高效、准确的故障排除方案，为无人机提供了强大的技术保障能力。

参考文献：

[1]陈翔宇.无人机测控系统通用化关键问题研究[D].南京航空航天大学，2013.

[2]郭庆梁.无人机起飞线检测与故障分析系统设计与实现[D].电子科技大学，2017.

[3]čepin M. Fault tree analysis//Assessment of Power System Reliability. Springer London，2011：61-87.

[4]高超.船舶电气事故的故障树分析研究[D].大连海事大学，2014.

[5]苏健，陈玉强，陈军伟，等.基于故障树分析的火控系统故障诊断专家系统设计[J].计算机测量与控制，2013，21（11）：3008-3010+3020.

[6]郭伟伟.基于故障树技术的远程故障诊断专家系统的研究[D].西安：西北工业大学，2007.

[7]杨柳庆.基于 586-Engine 的小型无人机飞行控制系统设计[D].南京：南京航空航天大学，2011.

中国知网 https://www.cnki.net

文章编号：2095－6835（2017）21－0153－03

关于 UG 软件在数控加工中运用研究

吴 娜，李文军
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：UG 软件在整个数控加工技术的发展历程中，是一个关键性的因素，也因此被越来越广泛地应用于实践。在数控加工的过程中充分地利用 UG 软件，使得整个数控加工的效率得到大幅度的提高，同时能够使加工项目达到超出预期的效果。通过 UG 软件，可以灵活地对零件的几何模型进行设立，能够真实还原数控刀切割演示材料的完整过程，并且立即生成数据技术代码，使得相关编程员工的编辑时间缩短、工作效率提高，并且其安全性和正确性得到更好的保证，生产成本减少。

关键词：UG 软件；数控加工；数控代码；数据编程
中图分类号：TG659 **文献标识码：**A DOI：10.15913/j.cnki.kjycx.2017.21.153

要想确保数控加工更高效地进行，就必须保证计算机编程的高质量。而 UG 软件在众多软件程序中脱颖而出，被广泛地应用到数控加工的各个环节中，比如数控车床、数控线路、数控电火花分割机等的编辑程序中，其精准性和安全性得到很大的提升，为整个数控加工进展提供强有力的保障。

1 数控加工代码编辑的基础原理和 UG 软件加工技术

1.1 数控加工代码编辑的基础原理

随着数控加工的广泛应用，数据加工的编程技术也一路从纯人工编程发展到语言类自动化编程和交叉式图形自动化编程几个阶段。传统纯人工数控加工的编程技术由于只能处理非常简单的零件，计算式简单，整个加工步骤也非常少，不能够适应逐步发展的数控加工技术，对程序步骤多的零件或者是形状较为复杂的零件，束手无策。因为语言类的自动化编程技术应运而生，与传统的纯手工编程相比较，其体现出高达数十倍的工作效率，但在复杂几何图形的精准描述及定义上还存在着一定的欠缺，更难以满足三维加工领域的精准语言描述需求[2]，与现代大力发展的 CAD 技术产生了极大的矛盾，进而于 20 世纪的 80 年代，数控加工的编程技术进入到交叉式图形自动化编程的崭新阶段。CAD 产出图形交互式编程技术所需要的零件图，进而建立模型，勾画建立起几何形状的零件图样，再细致地分析其工艺构造，最终敲定数据生产方案。这种数控加工的编程技术更能够对每一个数控加工细节，比如切割零件边角用量、生产工艺定制、特定刀具及其特定参数的确立，需要被加工的位置等进行及时的监控与校对，确保数控加工的精准性，减少错误率，提高整个数控编程计划的安全性与效率。

1.2 深入探讨 UG 软件的生产工艺

UG 软件作为目前应用最为广泛的 CAM/CAD/CAE 类高端数控加工类软件的一种，凭借着其 20 多年在模具制造行业及航天技术行业中的完美应用，成为所有同类软件中最受欢迎、使用最为广泛的软件[3]，其在生成数控工艺图形、数控加工过程、加工零件实际造型以及系统装配等方面有着突出表现。UG 软件在指导和辅助方面也起到良好的作用，可以使实体造型、线型造型以及曲型造型通过技术手段进行巧妙的融合。

2 数控加工技术的实施过程和步骤模拟

2.1 数控加工技术的具体实施过程

数控加工的编程程序能够很轻松地利用此流程在 CAD/CAM 等高端数控软件中获得，如图 1 所示。

2.2 数控加工过程中的数据代码生成

在实际数控加工机床实施环境下，会依据所需要加工生产的零件工艺、形状、大小、轨迹等因素确立参考数值，虚拟演练数控加工机床的加工过程，并凭借刀具进行检查和干涉。等通过计算机所呈现出来的虚拟数控机床加工过程与结果完全符合数据机床加工的要求之后，就可以使用 UG 软件的后置数控代码处理程序来生成代码。通过模拟式的仿真过程后，就形成了刀具路径图文件。但是生成的刀具路径图文件并不能够直接被利用在数控加工机床上，数控加工机床的内部系统只可以识别如 M 代码、G 代码类的指令。将刀具路径图文件转化为指定的数控代码指令是使数据加工机床顺利通过数码指令的唯一方法，需要经过 UG 软件的后置数控代码处理技术来生成最终指令代码。不同的数控机床加工设备具有不同的数控机床控制系统和加工实施程序的格式，所以最终要后置处理 G 代码。对于不同的数控机床加工设备，应当选用与之相对应的后置数控代码处理程序，后置处理产生的指令代码通过特定的改动之后，就能够直接利用到

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数控机床加工控制系统之中，从而进行数控加工生产。

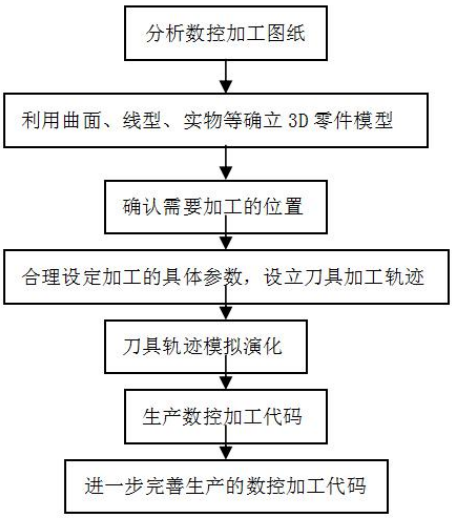


图 1 数控加工的整个流程示范图

2.3 数控机床加工指令代码输入方法

通过直接连接数控机床专门的数据指令代码输入接口和计算机 RS232 串接口的对接，可直接供给数控机床加工生产使用。接下来根据 knd 的系统实例给出相关介绍。

2.3.1 将数控编制程序传输到存储器中

将数控编制程序通过专门的接口传输到数控机床系统的存储器之中。首先把数控机床系统控制面板上的程序保障开关打开，显示“ON”，把控制模式改为编辑模式，按下“程序”键，呈现出程序编辑画面。做好这一系列的准备工作之后，使用专门的数据线将计算机的程序输送接口与数控机床控制系统的串口相连接，开启电脑后将 knd 软件运行起来。设置好波率、串口接口、数据位置、停止位置以及检验位置的参数。参数可选择范围如下：

波率参数：（8 800/7 200/4 800/2 400）/s；

串口参数：COM1-COM6；

数据位置参数：7 位或是 8 位；

停止位置参数：1 位或是 2 位；

检验位置参数：偶数或是奇数检验参考值。

设立好所有的参数后，将数控机床程序下载入 knd 软件之中。按“加载”键，调入 UG 软件自动生成的数控机床加工程序。在数控机床的系统控制面板上点击“输入”，此时数控机床的控制面板上会呈现“输入”的状态，按 knd 软件上的“传送”，数控机床编制程序传送入 CNC 系统之中，之后就可以进行数控机床加工及运行程序调整。

2.3.2 数控技术加工传送的数控系统程序

数控机床上面的控制系统没有办法全面地存储和处理数控技术加工程序，尤其是当数控系统的程序数量很大的时候。这个时候可以凭借计算机的控制面板对数控加工系统程序进行加工和控制。

3 UG 软件在数控加工过程中的实际应用

3.1 UG 软件在数控加工系统中的应用基础

UG 软件在数控加工过程中的应用及不断开发都可以直接通过 UG 软件平台来实现，可以依据数控加工的零件图形、弧度要求、实际要求、加工工艺等具体因素，开发出相应的 CAM/CAD 数控系统及整个设计加工流程。这个特点的突出优势是可以针对各种各样的数据加工要求做出相应的实际运用开发工具，提升对实际的 UG 数控系统的开发便利性，也更能够对应地开发出符合数据机床实际加工需求的应用软件。UG/OpenMEnuScript、UG/OpenAPI、UG/OpenUIStyler、UG/OpenGRIP 4 个系统工具集是 CAM/CAD 系统开发工具的组成部分，能够将 UG 系统软件与外部设备完美结合的是作为应用编程接口的 UG/OpenAPI，其操作原理是以 C/C++ 的编程语言来完成的，同时供给函数的结合，成功地实现自定义用户的新建、程序系统界面的交互式体验、实时操作 UG 系统文件等功能，函数基础类型的集合，比如 ag-t、Enumtype、Structuretype 以及 UnionType 等。UG 软件系统中自定义的脚本语言为 UG/OpenMenuScript。所以新建和改动 UG 软件的系统菜单并不一定要应用 C 程序语言。想要设定 UG 软件的系统菜单，只需要使用 UG/OpenAPI 中的 MenuScript 功能。而可以在 GUI 数据编程不正在进行的情况下就生成完整的 C 代码和 UIStyler 文件，就需要用到 UG/OpenUIStyler 的强大可视化功能，不仅为整个空间属性的修改提供了便利，还有效地使开发实际应用软件的时间缩短。整个系统的各个工具完美结合，互相促进，相互融合，使得系统开发工作变得非常容易简便。

3.2 UG 软件在数控加工系统中的应用实例

现代的数控加工系统中广泛应用到 UG 软件，首先机床加工出配件零件，通过 UG 软件生成 CAD 数值模型，然后就能够生成具体的 3D 虚拟模型。接下来就是定义数控加工地域、数控机床加工的产品以及数控机床生产环境，可以根据不同数控加工的要求进行刀具及模板尺寸等参数的设立。其他的系统数据则要根据数控加工零件的部分特殊尺寸、零件特殊形状弧度、数控加工工艺类型、切割剩余量、切割方向及切割顺序等来确立。所有的参数完善地确立之后，就可以生成完整的刀具轨迹图。

下面我们以数控机床加工普通剃须刀外壳零件为例，就 UG 软件在数控机床加工系统中的具体应用步骤进行描述。

3.2.1 UG 软件中 CAD 系统模板的基础建模

根据数控加工生产的剃须刀成品模型要求，总结出几何信息的各个细节，利用 UG 软件系统中的 CAD 系统模板进行基础建模。

3.2.2 根据 3D 虚拟模型进行分析

CAD 系统模板建立出 3D 虚拟模型之后，进行其数控加

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：2095－6835（2017）21－0155－02

电气控制技术的应用及其发展

张 真
（江苏省沭阳高级中学，江苏 宿迁 223600）

摘 要：随着我国经济的不断发展，我国国际标准接口的开放量也在不断增加，这就要求电气控制技术需具备更高的适用性和灵活性，从而满足电气控制系统能对数据进行自动化存取的功能要求，实现网络控制。电气控制技术不仅有效降低了人工工作量和工程施工成本，还有效提升了系统的安全性、稳定性，电气控制技术已在我们生活和各行业中得到了广泛应用。分别从炼钢行业、电力行业、环保行业分析了电气控制技术的应用现状，并分析了电气控制技术的开放化、智能化、网络化发展趋势。

关键词：电气控制；网络控制；计算机；鼓风机
中图分类号：TM921.5 **文献标识码：**A DOI：10.15913/j.cnki.kjycx.2017.21.155

现代控制技术在设备安装上比较简单，能有效节省材料，系统运行可靠性较高，因此，现代控制技术的发展前景广阔。到目前为止，现代控制技术已被广泛应用于各行业，特别是射频技术，已融入到了工程的各层面，在工作状态上真正达到了人工智能化，有效对器件和仪表进行了操控和控制。高新技术的发展促进了新型电气控制工艺的进步，而智能控制和计算机等技术的迅速发展有效保障了电气技术发展的可持续性，从而使电气控制技术由传统的人工化不断向数控化和智能化转变，在此背景下，就需要对电气控制技术的实际工作进行更深层次的研究，并以此作为发展中心。

1 电气控制技术的应用现状

随着电子、电力、电气、计算机等技术的不断融合，电

工工艺的制订。然后选定毛坯体，设立固定坐标，选择适合数控加工尺寸、数控加工类型、生产零件外表形状、切割部位大小尺寸等参数要求的刀具，确立切割剩余量、切割方向、切割精确部位、切割顺序等切割参数，以及所有定量的确认。

3.2.3 依据几何参数设定刀具工作轨迹

多方位研究生产零件外部的几何参数来选择适合的刀具切割方式，UG 软件系统再依据刀具切割方式及已经设定好的参数来计算刀具工作轨迹，最终形成数控加工刀具工作路径图。

3.2.4 数控机床加工仿真演练

根据前面几个步骤中设立的数控加工参数及刀具工作路径图，进行数控机床加工的仿真演练，从而检查之前确立的数控加工参数及刀具工作路径图是否有所偏差，如果有偏差，应及时进行调整改正，最终使整个刀具工作路径图能够合理、正确。根据不同的数控机床连接型号，选择与之相符的后置处理器，如果实在没有匹配的后置处理器，就需要马上制作出一个相匹配的后置处理器。最后将最终确立的刀具工作路径图通过后置处理器生成适合的 NC 程序。

3.2.5 使用 NC 程序来加工数控机床

最终获得的NC程序通过相匹配的数据接口在数据线路和传送软件的作用下下载至数控机床加工系统中，用 NC 程序进行数控机床加工工作，以确认 NC 程序是否能够完全合理地生产出需要的零件。石蜡或是铝合金是数控机床加工中最常用的加工素材，剃须刀的外壳材料就选用的是铝合金。

4 结束语

现如今，在所有的机械生产类软件之中最为常用流行的就是 UG 软件，其能够随着数控机床加工技术的发展而不断地更新技术，且功能强大，为用户提供了很大的便利。伴随着对现代数控机床加工技术要求的不断提高及生产零件、产品等工艺的越来越多元、越来越复杂，UG 软件通过不断研究与完善，将会被越来越广泛地使用。

参考文献：

[1] 李珑.数控加工中 UG 软件的应用分析[J].技术研发，2016（5）：240.
[2] 叶海平.UG 数控加工技术的研究[J].机械与自动化工程，2016（3）：18-20.
[3] 李安泰.UG 软件在数控加工中的应用[J].电子工艺技术，2017（3）：115-117.

〔编辑：刘晓芳〕

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.19356/j.cnki.1001-3997.2013.07.051

机电一体化在数控坡口机技术升级中的应用

何四平
(天津职业大学,天津 300402)

摘 要:数控机床,是综合技术性很强的机电一体化设备,这些设备有一个共同特点,就是机和电共存,电为机服务,同时机也离不开电,设计合理的一台机电设备,它往往能非常好的做到机械和电气内容之间的相互融合。介绍了数控坡口机的工作原理、结构特点以及它的初期控制方式;在进行数控坡口机故障诊断的同时,对故障形成原因做了较为详尽的分析;针对数控坡口机在切割海底作业管道时,枪嘴控制出现不稳定的问题,基于现场控制要求,提出了从机电一体化角度考虑,使用机械控制方式替换原来 PLC 控制位移传感器信号方式的技术升级方案;对升级后数控坡口机的技术可行性进行了分析;通过实际案例,总结了机电一体化技术的应用和发展前景。

关键词:机电一体化;数控坡口机;诊断;故障原因;改造;技术要求;切割;装置
中图分类号:TH16 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3997(2013)07-0159-02

Application of Electromechanical Technology in the Remaking CNC Beveling Machine

HE Si-ping
(Tianjin Professional College, Tianjin 300402, China)

Abstract: *Numerical control machine tools are comprehensive technical electromechanical integration equipment, all of which have a common characteristic, which is coexistence of machine and electricity, and electricity services for machine, at the same time also cannot leave the electricity. They are reasonably designed equipment of electromechanical device, which usually can do very good integration of mechanical and electrical content. The working principle of* CNC *beveling machine, structure features and early control method are introduced. In the fault diagnosis of* CNC *beveling machine at the same time, it makes a detailed analysis on the failure cause. Aiming at these problems of the gun nozzle control instability in cutting seabed pipeline, based on the requirements of the field control, it puts forward the scheme considering through mechanical and electronic integration, and based on the on-site control requirements, it considers the user of mechanical control mode to replace the original* PLC *control displacement sensor signal from the perspective of technology upgrading scheme. Technical feasibility of the* CNC *beveling machine after upgrading are analyzed. Through the actual case, it summarizes the application and development prospect of electromechanical integration technology.*

Key Words: Electromechanical Integration; CNC Beveling Machine; Diagnose; Cause of the Fault; Remake; Technical Requirements; Cutting; Device

1 引言

现今应用广泛的各式各样数控机床,它是综合技术性很强的机电一体化设备,这些设备有一个共同特点,就是机和电共存,电为机服务,同时机也离不开电[1],设计合理的一台机电设备,它往往能非常好的做到机械和电气内容之间的相互融合。

中石油工程公司在生产海底作业管道时,需对壁厚 50mm 的管道进行火焰切割,切割轨迹必须符合管道对焊时相贯线的要求,而且切割面的壁厚是随相贯线的变化而变化,由于目前国内外还没有这种技术成熟的通用型数控设备,所以,该工序采用了专门设计制作的数控切割坡口机。

2 坡口机工作原理(枪嘴控制部分)

切割需要的相贯线轨迹,其控制部分采用了成熟的三轴 FANUC 0i Mate M 数控系统[2],分别控制钢管工件的轴向移动、钢管工件绕轴线的旋转运动以及枪嘴的旋转运动。工作时,先按图样要求编辑切割程序,输入运行程序后,CNC 控制伺服直线轴进给,使得钢管工件沿轴向移动的同时,CNC 控制伺服回转轴带动钢管工件进行旋转,从而实现钢管工件相贯线切割轨迹的控制要求,但由于钢管工件的壁厚为 50mm,垂直轴线方向切割会使得后续的钢管之间沿相贯线焊接加工带来问题,所以,切割程序按照现场控制要求,CNC 还得控制另一伺服回转轴带动枪嘴进行

来稿日期:2012-09-24
基金项目:天津市自然科学基金项目(12JC2DJC27200)
作者简介:何四平,(1969-),男,湖南邵阳人,副教授,主要研究方向:机械制造、数控机床安装调试与维修方面的工作

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

旋转运动[3]。火焰切割是利用可燃性气体在枪嘴出口处燃烧产生的高温,来熔化接近高温区的金属工件材料,以达到火焰切割的目的。理想的切割状态应让火焰中心(温度最高区)部分处在切割材料表面,如果离得太近或太远,都会影响到熔化金属材料的效果,所以,该设备需要控制枪嘴离钢管工件的距离。这部分的工作原理,如图 1 所示。枪嘴和位移传感器通过连接件连接在一起,当 FANUC 0i Mate M 数控系统根据加工程序要求控制伺服电机带动枪嘴进行旋转时,它会导致枪嘴离钢管工件距离发生改变,另一方面,位移传感器检测到,因钢管工件表面凹凸不平而导致的枪嘴离钢管工件表面的距离发生改变,这个模拟量输入信号由 PLC 处理后,控制直流电机带动丝杆螺母,从而达到实时调整枪嘴与钢管工件的距离稳定在正常需要的范围内。

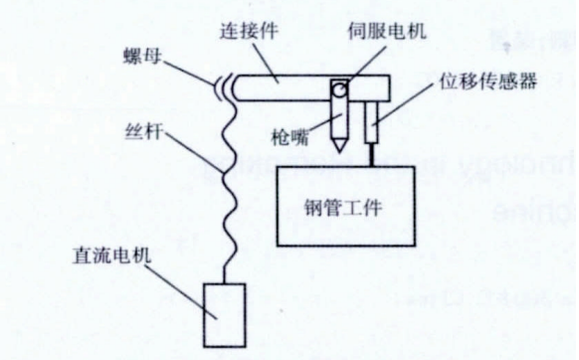


图 1 数控坡口机枪嘴控制部分结构

Fig.1 Structure Diagram of Gun Nozzle Control Part for CNC Beveling Machine

3 存在的问题

该设备第一次出现故障时,因为切割面出现波纹现象严重,现场维修的技术人员判断位移传感器有问题,所以,采取了更换位移传感器的方法。安装调试好新的位移传感器,使用时间不长,又重复出现原来的故障。由于钢管工件的外圆面为轧制钢板卷曲而成的毛面,定位误差大,从而使得钢管工件旋转时,火焰枪嘴到钢管表面的距离出现没有规律的变化;另一方面,在枪嘴根据相贯线要求进行旋转,枪嘴离钢管工件表面距离也会发生改变。这些因枪嘴离钢管工件表面的距离发生改变的因素,会导致切割面形成波纹,而后面的自动焊接设备对切割面的要求较高,如果切割面的波纹现象严重,就会给后面的自动焊接工序带来不良影响。

4 解决方案

在实际应用中,位移传感器采用的是 ZKL—A 单电源电压高精度型[4],它是通过测量杆位移的改变转换成电压变化的信号,传送给 PLC 模拟量处理模块,PLC 根据这个输入信号来进行处理。PLC 处理开关量等逻辑信号具有先天性的优势,对模拟量信号的处理大大影响了 PLC 的扫描周期,而且使用的这款位移传感器,其灵敏度较高,这就使得 PLC 的输入信号和输出信号在节拍控制上容易出现偏差,这也是专用数控切割坡口机经常出现问题的主要原因。其次,这种类型的位移传感器在使用上,它要求采用纹波噪声小的电源,否则测值会出现不稳定的情况,而现场实际所采用的电源确有偏差;它还要求被测点的运动轨迹尽可能与传感器测杆轴线平行,而实际在钢管工件的旋转过程中,由于钢管外圆为未经加工的毛面,定位误差大,使得外圆面的径向跳动大,被测点在沿传感器测杆轴线方向运动的同时,与传感器测杆轴线垂直方向也出现小幅的移动,这些都导致了切割面出现的波纹现象严重。

为了不影响生产,决定采用机械方式来实现对枪嘴与钢管工件的距离进行稳定控制,替代 PLC 程序用位移传感器实现枪嘴与钢管工件距离进行控制的方式,基本思路是:

(1) 撤掉位移传感器,并对 PLC 程序进行修改,在位移传感器输入信号的后面加上常零信号,这样就能使得位移传感器控制枪嘴进给电机的语句不再起作用,但还得保留手动按钮控制枪嘴电机输出的语句行。

(2) 加工一根枪嘴同步杆,把它与枪嘴固定连接,它们是通过弹簧(压簧)与连接件进行位置调整,移动时,沿导轨方向进行[5],基本结构,如图 2 所示。同步杆前端与工件接触,此时,变化的工件表面使得同步杆移到到哪里,枪嘴就跟着移动至哪里。

分析原来所用位移传感器,因其前端触头球面半径值较小(2.5mm),在接触钢管工件凹凸不平的表面并进行移动的过程中,其误差使得 PLC 对这个输入信号产生影响,产生的这种波动让枪嘴距离钢管工件表面的距离发生改变,这也是导致切割面形成波纹的一个原因。基于现场的生产情况,所以,把枪嘴同步杆的前端做成半径为 10mm 的球面,如此,也可从一定程度上消除因钢管工件表面凹凸不平带来的误差。

操作时,按钮控制电机进给到弹簧压缩一定量的位置(该位置只要能保证坡口机切割工作过程中,让枪嘴同步杆始终与钢管工件接触即可),然后就能运行加工程序,当数控系统控制钢管工件沿轴向进给和绕轴线旋转时,由于工件表面凹凸不平造成枪嘴离钢管工件距离的变化,就由枪嘴同步杆实时补偿调整[6]。

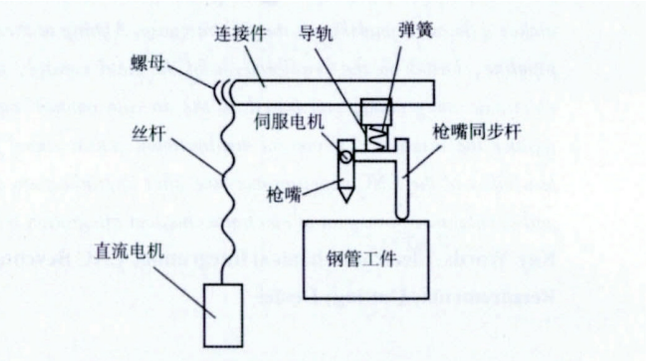


图 2 改造升级结构示意图

Fig.2 Schematic Diagram of the Structure Transformation and Upgrading

5 关键技术

故障诊断的思路是正确的,但由于惯性思维的作用,第一次解决时,脱离不了原来控制模式的影响,电气控制的问题还是用电气控制的方式解决,没有意识到枪嘴运动的不稳定是由于位移传感器的高精度造成的。设计初期,考虑到选用低精度位移传感器满足不了切割精度的要求,所以,才采用了高精度的位移传感器,可以说,这个问题是由于设计上的缺陷造成的。基于现场控制要求,切割精度高,还要枪嘴运动稳定,所以,在解决这个问题时,打破原来机械和电气的明显界限,采用稳定的机械控制方式替代原来设计的不稳定的电气控制方式,把机械和电气内容融合在一起,从结构上进行改进升级,效果很好。

(下转第 163 页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

```
… …
;(依次对其余各轴的定位精度及重复定位精度进行测量)
AUSWERT:
;************  X-AXIS  ************

IF ABS (R11) >R61
  MSG ("MEASURE X-AXIS IS NOT OK")
  _ERROR=1
  M0
  ELSE
  MSG ("MEASURE X-AXIS IS OK")
  M0
ENDIF
MSG ("")
… …
;(依次对其余轴的定位精度及重复定位精度进行判断)
M17
```

5 检测结果说明

因此,当加工一件公差要求比较严格的工件时,使用雷尼绍球杆仪测量标准块,能够很高精度的获得机床的定位精度及重复定位精度,从而决定机床是否可以正常加工工件,此种方法只需操作者运行预定程序即可,操作简单,检测效率高,检测结果直接显示在屏幕上,直观易懂,能够有效的避免非常昂贵的加工件变为废品的风险,当检测结果显示为"NOT OK"时,操作者只需通知工程技术人员解决相关问题即可。同时标准检测块制造费用低,安装方便,该方法可为同行业提供较好的参考。

参考文献

[1] 宁广庆,毛胜辉,柴成林.数控机床精度诊断及可靠性校验.郑州:郑州铁路职业技术学院学报,2010.
(Ning Guang-qing, Mao Sheng-hui, Chai Cheng-lin. Precision diagnosis and capability checking of numerical control machine [J]. Zhengzhou Railway Profession Institute of Technology Transaction,2010.)

[2] 杨滋彬,王洪义,孙伏娇.数控机床的精度检测与精度恢复[J].理论广角,2010.
(Yang Zi-bin, Wang Hong-yi, Sun Fu-jiao. Precision checking and precision resuming of CNC [J]. Theory Wide-Angle, 2010)

[3] 熊军.数控机床原理与结构[M].北京:人民邮电出版社,2007.
(Xiong Jun. Structure and Principle of Numerical Control Machine [M]. Beijing :People Postage Publish Company, 2007)

[4] 韩鸿鸾.数控机床的结构与维修[M].北京:机械工业出版社,2004.
(Han Hong-luan. Maintaining and Structure of Numerical Control Machine [M]. Beijing :Machining Industry Publish Company.2004)

[5] 喻允风,颜松华,颜柏华.大型数控机床精度检测的探讨[J].机械研究与应用,2008.
(Yu Yun-feng, Yan Song-hua, Yan Bo-hua. Discussion on checking precision of large numerical control machine [J]. Machining Research and Practicality, 2008)

[6] 伏利芝.如何自行检测数控机床精度[C].广州:第十届粤港机电工程技术与应用研讨会文集,2011.
(Fu Li-zhi. How to Auto-detecting precision of numerical control machine [C]. The Tenth Proseminar of Yuegang Machine and Electricity Engineering Technology and Practicality, 2011.)

[7] 王哲,赵爱国,赵德云.数控机床定位精度的综合分析[J].机械设计与制造,2010(9).
(Wang Zhe, Zhao Ai-guo, Zhao De-yun. Integration analyzed of orientation precision in numerical control machine [J]. Machinery Design & Manufaction, 2010(9))

[8] 李永桥,谌永祥,王彭结.数控机床误差检测及其软件误差补偿技术研究[J].机械设计与制造,2010(11).
(Li Yong-qiao, Zhan Yong-xiang, Wang Peng-jie. Study on error checking and error compensating technology of numerical control machine [J]. Machinery Design &Manufacture, 2010(11))

(上接第 160 页)

6 结论

(1)结构直观简单,易于维护保养,一般操作人员即可根据需要随时进行调整(原来现场出现大的变化时,需要专业人员到场调试);(2)与电气控制结构相比较,运行稳定可靠;(3)这种改造升级的技术可行性好,实用性强。这是一个利用机电一体化技术解决实际问题的成功案例,通过这个案例,说明了机械和电气在形式上可以相互依存,在内容上可以相互补充,其功能作用在有些场合甚至能相互转化。在解决这方面的问题时,只要思路对头,灵活运用,就能达到事半功倍的效果,该案例也为以后解决这方面的实际问题提供了可借鉴的经验。机电一体化是随着近些年新型工业设备技术的快速发展,在上世纪 90 年代中期悄然兴起,由国家大力推进的、发展潜力巨大的专业,必须看到的是,机电一体化技术的市场需求量很大,应用前景广阔,该方向的发展空间无限,应用得当时,就能让机电一体化技术的优势发挥得淋漓尽致。

参考文献

[1] 杜君文.数控技术[M].天津:天津大学出版社,2002.
(Du Jun-wen. Computer Numerical Control Technology [M].Tianjin: Tianjin University Press, 2002)

[2] 北京 FANUC 公司.FANUC 数控系统使用说明书[M].北京:北京 FANUC 公司,2001.
(Beijing FANUC Company.Manual of FANUC Computer Numerical Control System [M].Beijing: Beijing FANUC Company, 2001)

[3] 王宗义.圆柱形壳体上开大直径相贯圆孔的数控切割原理[J].船舶工程 2003(2).
(Wang Zong-yi.Principle of CNC cutting a large intersecting round hole on a cylindrical shell [J].Marine Engineering, 2003(2))

[4] 北京中科明纬传感器技术事业部.ZKL—A 高精度位移传感器使用说明书[Z].北京:北京中科明纬.
(Beijing Zhongke Mingwei Sensor Technology Division.Manual of ZKL—A high precision displacement sensor [Z]. Beijing:Beijing Zhongke Mingwei)

[5] 杨可桢.机械设计基础[M].北京:高等教育出版社,2010.
(Yang Ke-zhen. Fundamentals of Mechanical Design [M].Beijing: Higher Education Press, 2010)

[6] 胡胜海.数控火焰切割机中摆动机构的演化与设计[J].哈尔滨工程大学学报,1999(5).
(Hu Sheng-hai. The evolvement and design of swing mechanism in the numerical controlled flame cutting machine [J].Harbin Engineering University Journal, 1999(5))

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：2095－6835（2016）24－0001－03

机械加工车间的安全操作性能评估

曹 宏[1]，张倩颖[2]

（1.航天精工股份有限公司天津分公司，天津 300000；2.天津职业大学，天津 300410）

摘 要：机械加工车间作为机械制造企业的生产一线，稳定、安全的生产对于企业来说是很重要的。机械加工车间的主要生产力就是工人和机械设备，所以加强企业生产工人对机械设备的安全操作能力对于企业的安全生产具有重要的意义。因此，为了科学、准确地评估机械加工车间的安全操作性能，使企业对操作工人的操作技能培训更具准确性和方向性，企业应结合自己的实际情况，重视机械加工车间的安全操作性能的评估工作，建立企业机械加工车间的安全操作评估体系，提高安全生产能力。出于以上目的，介绍了安全能力的概念和内涵，并提出了企业建立安全操作能力评价体系的方法。通过这个过程，我们找到了评估企业安全操作能力的方法，对于提高企业的安全操作能力有很大的帮助。

关键词：机械加工；车间；安全操作；性能评估

中图分类号：X941 文献标识码：A DOI：10.15913/j.cnki.kjycx.2016.24.001

随着我国工业现代化进程的不断推进，各种各样的高科技机械设备成为了机械加工企业的重要组成部分，极大地促进了社会生产力的发展进步。而机械加工车间作为企业的第一生产现场，是产生企业效益的直接场所，所以其安全性能对于企业的整体生产运营具有重要的影响。在机械加工车间中，机械设备、普通工人、操作工人是构成车间的几个主体元素，所以加强机械加工车间的安全操作水平是提高车间安全指数的重要途径之一。所以，企业应建立科学、合理的车间操作工安全能力评价体系，客观、准确地评价出企业机械加工车间的安全操作能力，为企业选拔和任用机械操作工人提供依据，实现人力资源的科学有效利用，提高机械生产的安全指数，降低生产事故的发生率。

1 安全操作性能的定义与内涵

1.1 安全操作能力的定义

在日常生活当中，我们经常能看到“安全生产”“安全施工”等类似的标语，其实，本文中的安全操作有与这些标语一样，无论是“安全生产”还是“安全操作”，“安全”才是这个词语所表达的重点所在。安全，就是一种没有危险因素、不发生事故的一种状态，也就是某种事物是对外界的环境、人和动植物没有潜在的危害隐患和危害行为；从哲学的角度来分析这个问题，危险是与安全相对立的一个概念，表示事物处于一种不可接受的安全范围内，所以安全就是指事物的危险程度处于可接受的范围内的状态。从相关的文献资料和行业生产作业的安全要求中可以知道，安全的生产作业过程就是对生产人员的健康不构成危害、不发生工伤事故、对生产设备及财产不会造成危害的作业过程。

本文所说的安全操作是指在机械车间的生产过程中，体现出来的员工个人安全操作生产能力。关于安全操作能力，有人认为能力是在指具体机械车间工作条件下，为完成生产任务或工作绩效，生产工人所必须具备的价值观、知识、技能等要素的集合，对于机械操作工人，就是应具备必要的机械操作技能和知识，且具备科学、合理的价值理念。

关于本文所讨论的机械加工车间的安全操作性能的定义，可以根据上面对安全和安全操作的解释定义为：在机械加工车间中，出于安全生产的考虑，为降低由于操作原因导致的安全事故的发生概率，机械操作人员利用安全生产的专业知识和机械加工技能、经验，可以做到对机械操作中存在的危险因素进行有效的识别和控制，避免由于人为的不当设备操作使机械设备处于一种危险的状态中。也就是说，机械设备的安全操作性能就是指机械设备操作人员通过专业、正确的操作，避免由于操作不当导致的安全生产事故的发生，最终使机械设备安全、稳定地完成生产任务的过程。

1.2 安全操作性能的内涵

通过对机械加工车间的安全操作能力定义的描述，加上我们对机械加工车间的实地考察，认为机械加工车间的安全操作能力的内容包括以下几点：

首先，机械加工制造的类型有很多种，每个机械加工车间的现实情况各不相同，所以我们对于机械加工车间的安全操作性能不能一概而论。也就是说，机械加工车间的安全操作性能有差异性，所以我们要学会根据实际情况客观评价机械加工车间的安全操作性能。比如，作业环境和条件相同的机械加工车间，在完成相同的生产任务时表现出来的安全操作能力不一定是相同的；又比如，在不同生产环境和条件下的机械加工车间，其安全操作性能的评价标准是不一样的，应区分对待。

第二，对于本文探讨的机械加工车间的安全操作性能，其安全范围的界定是不对员工的人身安全造成伤害、不对机械设备和周围环境造成伤害，也可以说对机械加工设备的操作要求是不对员工、设备和环境带来不利影响，将因机械设备操作造成的安全事故发生的概率控制在最低限度。

第三，机械加工车间的安全操作的实现需要设备操作工人具备专业的操作能力，熟练地掌握安全生产的技巧等专业技能。机械设备操作工人需要在不断地学习和实践中将掌握的专业知识和技能进行不断的整合和更新，最终才能够完成自身专业素养的提升。所以，机械设备操作工人的安全操作能力是一个动态进化的过程，需要通过不断的实践来锻炼和提升自己的机械设备操作能力，因此，企业应重视对于机械操作员工的专业培养。

第四，一个企业的机械加工车间安全操作性能的优劣主要取决于机械操作工人的安全操作能力，机械设备操作工人安全操作的具体任务有：设备操作工人在操作设备的过程中要及时地发现和正确地处理随时都有可能出现的危险源，保证自己及他人、机械设备、周围环境不因自己的操作失误而处于危险之中，使生产过程安全事故损失保持在可以接受的正常范围内。

2 安全操作性能评估体系的构建原则

评估机械加工车间的安全操作能力要考虑到机械生产的方

中国知网 https://www.cnki.net

方面面，不能忽略任何一个细节。只有这样，我们才能够准确、全面地了解机械加工车间的安全操作性能。另外，机械加工车间的类型有很多种，生产加工性质各不相同，这里我们尽量考虑到所有重要的、常见的机械加工生产类型。对于评估机械加工车间的安全操作能力的原则，我们总结为以下几点。

2.1 指标化

在评估一个机械加工车间的安全操作能力时，需要考虑加工车间的每一个方面，但不是每一个评估标准都可以直接进行量化评估的，比如操作工人的安全意识、企业的安全管理状况等。这时我们需要建立一套科学、合理的量化方法，将这些定性的评估标准进行量化，以便更加客观、直接地反映出机械车间的安全操作性能。

2.2 科学简明性

我们在评估机械加工车间的安全操作性能时，应在保证评估结果准确全面的前提下，尽量使用那些比较简洁明了的评估体系，以便于评估工作的进行。

2.3 系统性

机械加工制造通常都是一个系统的制造生产过程，其生产加工过程往往包括好几个加工工序，所以对其评估时也要注意评估指标的全面性和系统性，将每一个生产环节的安全操作指标都要考虑在内。所以，在评估开始之前先建立一个系统的评估指标体系，充分考虑到人的因素、机械设备的因素和外界环境的因素对机械设备操作安全带来的影响。2.4 针对性原则

我们知道，机械加工的种类和性质有很多种，不同企业的机械加工车间更是千差万别，其机械设备的类型和生产类型也不会完全一样。所以，评估不同的机械加工车间的安全操作性能时，其评估体系也应是有所不同的，针对不同的机械加工车间，我们应该有与实际情况性符合的评估指标，做到具体问题具体分析。

3 机械加工车间安全操作性能评估方法

3.1 常见的几种安全评估方法

现在，我国企业对于自身的生产安全越来越重视，其风险评估过程和方法也越来越科学和专业。在这样的趋势下，人们投入了更多的精力研究和提高企业生产的安全性能评估工作。常见的评估方法有定量分析法、定性分析法、基于知识的分析法和基于模型的分析法。其中，基于模型的分析法的评估过程最具科学性，其评估结果也更加准确全面，所以利用这种方法进行安全评估的可信度要相对较高一些，当然在对评估要求不是很高的情况下，也没有必要采取这种相对复杂、烦琐的评估方法。下面简单介绍一下这几种评估方法。

3.1.1 定性分析法

这种评估方法的准确性虽然相对其他几种方法较差一些，但由于过程简单易于操作，所以是对评估准确性要求不是很高的情况下的首选方法，应用广泛。利用这种方法来评估机械加工车间的安全操作性能时，需要工作人员具备丰富的经验和敏锐的直觉，再结合机械加工行业的加工标准和生产惯例，对机械加工车间的各种风险因素的高低进行定性分析，比如将风险分为大、中、低三个档次。很明显，这种评估方法往往会带有一些个人的主观性在里面，且评估的科学性和精确性也要差一些。

3.1.2 定量分析法

定量分析法是相对定性分析法而言的，与定性分析法相对应，定量分析法的过程是：对机械加工车间生产操作中存在的各个危险因素进行量化处理，量化的原则可以是从各个危险因素造成的经济损失的角度来确定危险因素的数值，在对各个危险因素赋值后，机械加工车间的安全操作性能的评估结果就被量化出来了。

3.1.3 基于知识的评估方法

这种风险评估方法又被称为经验评估法，采用这种风险评估方法来评估机械加工车间的安全操作性能时，企业的投入成本较低，且用时较短，企业只需要通过多种途径来采集机械加工车间的有关信息，并分辨和识别加工车间的风险所在及当前的安全措施，最后与相应的标准进行比较，找出安全标准不达标的地方，评估出机械加工车间的安全操作系数即可。这种评估方法可为企业的员工培训和招聘提供借鉴依据，帮助企业及时发现机械设备存在的安全隐患，最终达到消减和控制风险的目的。

3.1.4 基于模型的风险评估方法

这种风险评估方法的出现较晚，是在 21 世纪初由多国的研究机构和大型企业提出来的一种全新的生产安全评估方式。这种评估方式涉及到了人员、技术设备和与生产相关的方方面面，计算过程相对复杂，但评估结果的准确性和全面性较高。模型的种类有很多，所以各种基于不同模型的评估方法虽然原理相似，但也有所不同。下面重点介绍一种基于模型一种矩阵模型的风险评估方法。

3.2 基于安全能力层次结构模型的评估法

这种基于安全能力层次结构模型机械加工车间的安全操作性能的评估方法是在层次分析法的基础上演变而来的，层次分析法是一种可以对多种因素进行综合分析的多属性决策方法，可用这种方法可以对机械加工车间的安全操作性能进行定量和定性分析。但单纯地用这种方法对机械加工车间的安全操作性能进行评估无法充分地表现出操作人员在生产操作时判断的模糊信息。而机械加工中的操作安全性能会受到多种因素的影响，具有模糊性和随机性，所以层次分析法无法完全表现出各种因素对机械加工操作产生的安全性影响。而根据层次分析法产生的模糊层次法，提出来的基于安全能力层次结构模型的机械加工车间安全操作性能的评估方法则可以有效解决这一问题，提高评估结果的科学性和准确性，使评估结果更加真实可信，为企业制订发展经营计划提供可靠的借鉴依据。

利用这种方法来评估机械加工车间的安全操作性能时，需要我们建立安全能力层次结构模型，这是所有基于模型的评估方法进行评估工作的共同基础工作。前面说过，机械加工的实际种类和性质有多种，包括车、铣、锁、磨、钻等。这些都是机械加工中的不同具体加工制造方法，加工性质不同，加工目的也不同，使用的机械设备也不同，不同的机械加工种类存在各自不同的安全操作风险，且在使用这些机械设备的各个环节，机器的不同状态都有危险因素存在。所以，员工机械设备操作能力的高低对企业的安全生产操作性能有很大的影响，因此，规范地操作机械设备，及时、准确地识别出设备中存在的危险因素是企业安全生产的关键。基于以上目标，机械车间工人应有良好的教育背景，具备相关的专业操作技能和丰富的工作经验。除此之外，员工具有高度的责任感和职业精神对于提高企业机械加工车间的安全操作性能有重要意义。同时，健康的身体素质、良好的心理和精神状态也是员工安全完成机械设备操作的基础，因为机械加工往往是一个单一和不断重复的过程，时间一长，难免使人感到枯燥无聊，导致注意力不集中，产生操作安全隐患，所以机械设备操作员工应具备自觉控制违规操作行为的能力，保证对设备操作的正确性和稳定性。

综上，笔者认为应从以下几个方面构建安全能力层次模型：①从风险因素层次构建模型。机械加工车间操作风险因素的整理归纳是一个较复杂的过程，由于其因素较多，除了明显的因素外，还有很多隐藏的、不易发现的操作风险，但在识别这些

中国知网 https://www.cnki.net

文章编号：2095－6835（2016）24－0003－02

香山南麓侏罗系含煤特征分析及沉积背景探讨

赵世军，王 磊，魏向成，谢变宁，闫丽佳，李 涛
（宁夏回族自治区矿产地质调查院，宁夏 银川 750021）

摘 要：香山南麓地区赋存有煤系地层，以往地质工作将其定为中侏罗统延安组，属山间盆地沉积区域。其在沉积岩相、沉积建造、聚煤规律等方面与周边侏罗纪煤系赋存区域有一定的相似性，但也具有独特性。随着近年来勘查工作的不断深入，研究人员对这一区域的沉积演化特征及其与其他区域的沉积关联性也提出了诸多新的见解。拟通过香山南麓地质背景、含煤特征分析探讨其地层归属和盆地沉积背景。

关键词：侏罗系；煤层；含煤特征；沉积背景

中图分类号：P618.13 文献标识码：A DOI：10.15913/j.cnki.kjycx.2016.24.003

宁夏西部香山南麓地区煤炭资源早为前人所开采利用。20 世纪 50 年代以来，石油、地质、煤炭等部门所开展的相关工作将本区含煤岩系确定为中下侏罗统。2005－2007 年，宁夏地质局曾在该区域开展过煤炭资源普查工作，但未发现可观资源量。直到 2015 年，新近完成的普查－勘探工作在香山南麓下流水一带发现了一中型井田，并且在井田外围圈定了一定范围的资源潜力区。

1 香山南麓区域构造背景

宁夏构造位置处于柴达木－华北板块中南部，地处华北陆块的鄂尔多斯地块西缘、阿拉善微陆块东南部和祁连早古生代造山带交汇地区，经过漫长不同方式的构造变动，形成了较为复杂的构造特征。

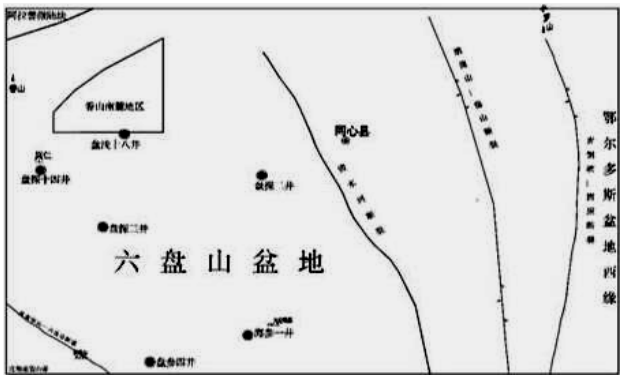


图 1 香山南麓区域地质简图

如图 1 所示，香山南麓构造位置处于阿拉善微陆块腾格里增生楔卫宁北山－香山弧形冲断带之香山褶冲带，是一个有独特活动特征的构造带，呈北西－北北西向弧形展布。褶冲带主体为华北陆缘型奥陶系（天景山组、米钵山组、香山群），其次有泥盆系及石炭－二叠系、侏罗系、白垩系和新生界。燕山运动及喜马拉雅运动致使冲断席内部构造变形强烈，发育一系列线状褶皱及次级推覆岩席。

2 香山南麓侏罗系岩性、含煤特征

2.1 岩性、含煤特征

香山南麓延安组岩性在垂向表现为上、下较粗，中间细，剖面上沉积小旋回发育，结构清晰。在已控制的深度范围内，根据岩石成因标志、岩性、物性特征和宏观沉积旋回特征，以沉积间断面或较稳定煤层的顶界面作为划分标志，可将本区延安组划分为 5 个岩性段，其中Ⅱ，Ⅲ岩段保存或揭露完整，Ⅳ，Ⅴ岩段部分被剥蚀，Ⅰ岩段地层揭露不全。对每段各含相应的煤层进行自上而下的编号，现将各岩段特征自下而上分述如下。

2.1.1 延安组第Ⅰ岩段(J_2y^1)

该段分布较为广泛，以河流相沉积为主，岩性为灰白色中细粒砂岩、灰黑色粉砂岩、黑色泥岩、炭质泥岩、薄煤层和煤线，具有明显的下粗上细的二元结构河流相沉积层序特征。煤层集中于本段的上部，但含煤性差，但仅在西部地区见有分布较为局限的可采煤层 1 层，其他钻孔均未见到可采煤层。

2.1.2 延安组第Ⅱ岩段（J_2y^2）

该段为湖泊三角洲相沉积体系，底部为灰白色中厚层状中细粒砂岩，局部可见厚度 3～5 m 的中砂岩和小于 2 m 的粗砂岩，

因素时，可以重点将那些可获取的、可测量的和可比的风险因素识别出来。②从目标层次构建评估模型。具体就是从机加工车间操作工安全操作能力量化评价的目标。③从准则方面构建评估模型。从机械操作工的行为能力、专业能力、基础素养和责任意识、安全意识方面构建评估模型。

4 结束语

随着科学技术的进步和社会生产力的发展，大量的现代化机械加工设备出现在各个企业的车间内，成为现代社会生产力发展的重要资本，但随之安全操作的问题也成为各机械加工企业不得不面对的问题。本文以提高机械加工车间的安全操作能力为初衷，介绍了操作安全能力的概念和安全操作性能的评估方法，建立了以基本素质、业务素质、行为能力和意识状况为准则层的操作工安全能力层次结构模型。

参考文献

[1] 陈文瑛，吴穹，王勇毅.机械安全性评估方法研究［J］.中国安全科学学报，2010，20（01）：77，83.
[2] 汪伟忠，张国宝，卢明银.多因素耦合下的加工车间关键风险因素定量分析［J］.中国安全生产科学技术，2015，11（9）：158-164.
[3] 胡甚平，黎法明，席永涛，等.海上交通系统风险成因耦合机理仿真［J］.应用基础与工程科学学报，2015，23（2）：409-419.
[4] 陈芳，罗云.管制员安全能力模型研究［J］.中国安全科学学报，2012，22（01）：17，23.

〔编辑：王霞〕

中国知网 https://www.cnki.net

机械设备管理与维修技术的现状与措施

王庆龙[1]，李文军[2]
（1. 天津冶金职业技术学院，天津，300000；
2. 天津职业大学，天津，300410）

摘　要：企业追求经济利益最大化，就要保证机械设备管理与维修精准化、体系化，使其最大程度的正常运转，为企业生存服务。分析了当前机械设备管理与维修现状，针对问题提出了相应对策；提出了建立健全企业点检管理制度，探讨了定人、定机和定岗的“三定制度”。为同行全面优化机械设备管理与维修水平、带来更大经济效益，具有参考价值。

关键词：机械设备；管理；维修；隐患；点检制度；三定制度
中图分类号：TH186　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2095-8412 (2016) 06-1264-04
工业技术创新 URL: http://www.china-iti.com　　DOI: 10.14103/j.issn.2095-8412.2016.06.057

Status Quo and Countermeasures on Management and Maintenance of Mechanical Equipment

WANG Qing-long[1], LI Wen-jun[2]
(*1.Tianjin Metallurgical Vocation Technology Institute, Tianjin,* 300000, *China;*
2. Tianjin Vocational Institute, Tianjin, 300410, *China*)

Abstract: Many enterprises ignore the management and maintenance of mechanical equipment in the excess pursuit of economic benefits, resulting in multi-aspect hidden dangers. As per the principles and essences of the management and maintenance of mechanical equipment, the status quo is pointed out, and corresponding countermeasures are put forward. Leaders in enterprises should lead all the staff to improve the awareness of management and maintenance, as well as establish and improve the spot checking management principle, and carry out a three-adherence principle which adheres to person, machine and position, ultimately for a comprehensive optimization level for management and maintenance of mechanical equipment. The above countermeasures will bring more economic benefits for the enterprise, and create greater social benefits for China, with a profound strategic significance.
Key words: Mechanical Equipment; Management;Maintenance; Hidden Danger; Spot Checking Principle; Three-adherence Principle

引言

中国取得了世界第二大经济体的地位，成为了制造大国。制造业在国民经济中占有重要地位，而各种机械设备作为制造业的重要生产力，对制造业的发展尤为重要。机械设备是各个制造业的主要生产设备，绝大部分生产任务是由机械设备直接完成的。但现在人们缺乏对机械设备管理与维修的重视，导致很多企业的生产效率和经济效益不高。科学合理管理和维修机械设备，对于企业的正常运转，乃至提高企业的生产效率和经济效益，具有重要意义[1-5]。

1 机械设备维修与管理的原则和实质

1.1 原则

机械设备维修与管理的原则是：首先，与机械设备的使用环境和使用状况相结合，做到紧跟时代潮流，依托先进科学理念和技术，促进生产力发展；其次，坚持未雨绸缪，重视预防工作，坚持定期检查与维修的结合，改造、修理和更新的结合，对使用寿命到期、易出故障的设备及时更换；第三，激励机制和约束机制相结合、全员管理和专业管理相结合、经济管理和技术管理相结合，最大化发挥出企业可利用的资源，降低企业在机械设备上

中国知网 https://www.cnki.net

的投入成本。

1.2 实质

机械设备维修与管理的实质，主要是通过科学的管理方法和维护维修方式，使机械设备最大化地发挥出其生产能力，保证其使用寿命，提高生产效率和经济效益。在设备管理方面，企业应建立健全管理责任体系和具体规章制度，坚决落实国家在相关机械设备上的管理方针和政策，通过科学的管理方法和经济、行政手段，实行全方位综合管理，保证机械始终处于最佳使用状况，为企业创造最优的生产力。同时，企业通过对机械设备的规范使用、择优选购、科学检修、精心养护和适时更新，达到使用状况安全可靠、生产效率和使用效率最优的目标，从而为企业的发展壮大做好准备。

2 机械设备管理与维修现状

2.1 意识缺乏

在市场经济体制下，企业往往面临着巨大的竞争压力，特别是我国在加入世界贸易组织后，被卷入了全球经济一体化的时代潮流中，使我国企业受到了来自国际企业的巨大竞争。在这种环境下，制造业的生存空间被进一步压缩，盈利成为一件更加艰难的目标，大量制造类企业不得不在经营过程中想尽办法提高生产效率和效益，以保持市场竞争力。这样一来，企业的主要精力都放在了生产和经营上，机械设备的管理与维修工作容易被忽视，导致意识淡薄，管理体系不健全，制度有待完善，机械设备的管理与维修长期处于被动状态中。尤其是那些处于农村和偏远地区的机械制造企业，由于相关部门对其监管力度相对较为薄弱，企业领导和员工的业务综合水平有限，尤其是缺乏规则意识和科学管理生产意识，所以往往没有设备管理与维护的概念，设备损坏后方知道维修，是万万不可的。

在这样的大背景下，很多企业没有明确的设备管理和维修人员，还有一些企业虽然有这些人员，但由于组织管理制度不完善，缺乏必要的制度约束，在设备管理和维修的过程中缺乏责任意识，难以及时发现机械设备存在的隐患和问题，个别人员甚至对已经出现的问题置之不理，导致设备故障率居高不下，严重影响了企业的正常生产计划和经济效益。

2.2 管理机制不完善

在企业的生产经营体系中，一般应有专门负责机械设备管理和维修工作的部门及管理人员。然而，很少有企业会达到具备完善的管理机制这一层面，再加上没有意识到设备管理部门与生产经营的关系，因此与其他部门之间也缺乏必要沟通。在这些因素的影响下，协同工作不到位，造成了管理层与操作层之间频繁发生脱节，使机械管理部门并不了解机械设备的实际使用情况，工作难以展开和落实到位。一旦出现问题，哪个部门也不情愿来承担责任，深入来看，这诚然不是某一个部门造成的，而是管理制度不完善导致的。还有一些问题更严重的企业，为了提高效率，节约成本，刻意简化管理流程，导致设备管理工作无法开展，这样一来反而加重了隐患，一旦出现问题，将造成不可挽回的后果。

2.3 维护维修不及时

当前，很多企业对于机械设备的维护维修不够重视，没有制定明确的保养制度，也很少有企业能够做到定期检查，出现了企业机械设备只用不养或是重用轻养的现象，对使用寿命和生产质量产生了一些不良影响，甚至酿成生产事故。

出现这样的现状，企业肯定是有自己的顾虑。对每个企业来说，利润是其最终经营目的，所以实现企业利益最大化是大部分企业领导首先考虑的问题。而机械设备的管理和维修工作只会增加企业成本，容易被企业所忽视，那些规模和实力不够强大的企业更是如此。更有甚者，有些设备已经出现了故障隐患或问题，但只要其“勉强还能用”，就让设备“带病”坚持工作，直到出现明显问题才肯修理。在这样的状况下，机械设备出现问题是不可避免的，且往往是比较严重的问题，导致设备使用寿命大大低于正常寿命，设备更新处于不正常的态势——虽然省去了一些维修费用，但设备支出反而增加，更加压缩了利润空间，尤其是当设备昂贵时，企业会蒙受巨大的经济损失。

2.4 设备操作不合理，维修技术落后

如章节2.3所述，机械设备的使用寿命是有限的，因此更新淘汰是必然的。但有些企业机械设备使用寿命远远达不到正常寿命，这其中的一个重要原因就是设备的不合理操作，这与企业的操作制度不完善有着密切的关系。由于一些企业操作制度的不具体、不完善，使得员工在操作时不甚规范，加速了设备的磨损，增加了故障率。同时，由于我国专业技术人才数量和专业技能的不足，导致对机械

中国知网 https://www.cnki.net

设备，尤其是技术含量高的设备的维修能力不足，再加上维修检测工具的落后，一旦出现故障，维修人员只能凭借经验和感官来判别故障状况，降低了维修成功率，甚至无法找到故障根源，影响了企业生产活动的正常开展。

3 机械设备管理与维修策略

3.1 提高管理与维修意识

马克思主义哲学原理认为，意识对物质具有能动作用。因此，要加强机械制造企业对机械设备的管理与维修工作，就必须要提高设备管理与维修意识，从上而下明确这一工作的重要性，尤其是认识到其对企业利益造成的潜在影响。首先，企业领导应认识到机械设备在机械制造企业生产经营中发挥的重要作用。虽然重视生产经营活动、追求企业经济利益最大化是再正常不过的，但也应意识到确保机械设备的正常、安全运转才是确保产品质量、提升企业经济效益的重要前提条件。一旦机械设备出现问题，生产经营活动必然会遭到不同程度的影响，使企业蒙受经济损失。其次，企业应加强对机械设备操作人员、管理人员与维修人员的培训（如图1所示），加强对设备的管理、维护、维修和责任意识，使其能够秉持认真负责的工作态度，教育其做好本职工作，在设备检查和维修时做到细心、准确和全面，及时发现设备中的潜在隐患，做到未雨绸缪，防患于未然。



图1 机械设备操作人员、管理人员与维修人员素养培训

3.2 建立健全企业点检管理制度

所谓点检管理制度，是指企业根据自身实际情况，按照一定周期和标准，定期对机械设备进行检修的管理体系。建立健全点检管理制度，有利于企业及时发现机械设备中存在的故障隐患，提前对设备进行必要调整或修理，使设备始终处于最佳使用状态，降低故障发生率，提高生产效率。需要特别说明的是，点检制不是一种单纯的设备检查规章制度，而是一种管理方法和管理制度。

点检制度与目前很多企业采用的日常设备保养相比有明显的优点，总起来可以概括为以下四点：

（1）符合对设备故障的预防为主管理原则，是设备维护维修的重要基础。企业在建立健全点检制度的过程中，可以找到更加科学合理的机械设备零部件更新和维修计划，通过对点检资料的整体保存，设备管理人员可不断积累经验，完善和优化维修标准，找到保持机械设备安全稳定运行的最为经济的维护维修方法，延长设备使用寿命。

（2）有利于企业提前发现机械设备故障隐患，及时采取必要防范措施，做到未雨绸缪，将故障隐患消灭在萌芽状态，从而防止故障进一步恶化，降低了故障发生率，有利于企业安全、稳定生产。

（3）可以拓宽企业的机械设备信息反馈渠道，有利于企业收集到全面的设备信息，降低停机率和故障率。利用反馈得到的设备信息，将设备可靠性逐步提高并保持在一个较高的水平之上。同时，由于点检制度提供了信息反馈的渠道，可以为企业编制维修计划提供依据，提高计划科学性和全面性。

（4）可以把握点检机会，对机械设备性能、组成结构进行深入认识和理解，对提高员工爱护机械设备的责任心和保养机械设备的水平有极大帮助，如图2所示。



图2 员工爱护机械设备的责任心

3.3 秉承三定制度

三定制度是指企业在管理与维修机械设备时，采取定人、定机和定岗的组织形式，具体就是企业应培训员工的专业操作能力，确保每一台机械设备

中国知网 https://www.cnki.net

都配备专业的操作人员，对需要多人操作的大型机械设备制定完善的交接制度。另外，企业要完善机械设备的安全交底制度，严格要求交底报告的形式和内容，设备的场地环境、使用状况和工作要求都要在其中体现出来，以确保设备安全稳定运行。当然，即使设备操作相当专业仔细，正常磨损等故障的出现依然不可避免，那么企业就应注意以下三点：第一，绝不使设备“带病”上阵，发现设备出现故障应及时送检维修，绝不因为故障小、对生产影响不大就忽视不管，以免造成更大故障和生产事故；第二，设备出现故障后，如果维修条件和技术达不到要求，切不可盲目拆修，以免造成更大故障；第三，随时做好应对常见小故障的准备，以便发生时可以以最快的速度维修好。

3.4 优化机械设备管理与维修水平

目前很多企业的机械管理维修人员与设备操作人员之间缺乏深入交流。加强交流对提升机械设备工作效率、加强机械设备管理水平、降低机械设备故障率等，具有重要意义，如图3所示。同时，维修人员可以从交流过程中快速准确地找出设备的问题所在，提高维修效率和准确性。毕竟机械发生故障的部分原因是由于员工的不正确操作导致的，这就意味着员工的操作水平有待提高，所以企业加强员工对机械设备的规范操作水平，可培养员工的故障预防和排查能力。最后，企业应重视培养维修工人的维修技术，并优化维修检测工具，以减少对机械零部件的错误拆卸，提高维修工作的效率和准确性。



图3 机械管理维修人员与设备操作人员之间密切交流

4 结语

机械设备是制造业的直接生产力也称“工业母机”，是企业生产加工的主要生产工具。企业应务必重视机械设备管理与维修方面的工作，建立健全规章制度，加强培训，加大投入，确保设备安全稳定运转，减少不必要的开支，为企业获取更多的经济效益，进而为国家创造更大的社会效益。

参考文献

[1] 孙加林. 机械制造加工设备的安全管理与维修探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2012(35): 147.

[2] 付帅. 浅谈机械加工设备安全管理与维修[J]. 科技视界, 2014(34): 265.

[3] 张光学. 浅谈机械加工设备的管理和维修[J]. 现代制造技术与装备, 2010(6): 61-62.

[4] 刘武强. 机械加工设备的安全生产管理和维修[J]. 科技创新与应用, 2012(5): 52.

[5] 陶宝荣. 浅析机械加工设备维护规范[J]. 品牌与标准化, 2010(18): 50.

作者简介：

王庆龙(1988-)，男，汉族，河北衡水人，本科，助理实验师。研究方向：产学结合数控加工实训教学。

李文军(1987-)，男；汉族，天津人，本科，工程师。研究方向：产学结合数控加工实训教学。

中国知网 https://www.cnki.net

机械制造的工艺可靠性研究

谢学浩

DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.19.239

前言

机械制造是一个相互联系，相互影响的工程。机械制造的最后就是人们使用这些机械在日常的工作中，并且人们利用先进的机械带来巨大的收益，最后达到提高整个生产力。因此可以看出机械制造的重要性和研究的必要性。机械制造的工艺不是简单的技术的革新和工艺的传承，更多的我们要学会利用科学和知识，提高我们机械制造的工艺的先进性和可靠性。目前我国的机械制造工艺确实有较大的发展和进步，比如四川德阳的东汽集团的涡轮发电机远销国外，我们的高铁技术卖到东南亚国和拉美国家等等。我们取得了较大的进步，同时我们也应该清楚的看到我国现阶段机械制造工艺的短板。首先是机械制造的工艺的粗糙性，制造时间较短，机械制造的工艺没有长时间的验证。其次的问题，就是真正具有自主知识产权的技术有限。一方面是没有自己的科研团队，技术单纯的进口或者沿用较老的制造工艺技术。国内开设制造专业高校具有很好的先进技术，但是只是实验室的技术，真正投产的确实有限。企业本身的技术的不确定性以及技术的落后性。另外一方面就是管理的不专业。比如，我们在对机械制造的企业的管理应该根据机械制造的特点进行科学的管理，但是大部分企业却是过多采用非机械制造企业的管理模式，这对我们提高机械制造工艺是不利的。另外，由于近几年我们的机械制造行业的大力发展，需求量急剧上升，这也在对机械制造企业的工艺发展发生了较大的影响。由于需求的变大，而且是短时间的上升，大部分机械制造企业的产品没有较长时间的使用，因此工艺的质量也就无法得到较大的提升。

根据问题的具体要求，我们要深入细致的研究这些问题的原因，找出切实可行的措施改变现在存在的问题。因此我们首先要落实制造可靠安全的工艺的思想，要坚持机械制造百年大计，质量第一的要求，思想上首先重视。其次，我们要积极提升机械制造工艺的水平，强化机械制造的基础性工艺，加强对机械制造工艺的提升，特别强调和高校相关专业的联盟。要将机械制造的先进工艺从实验室搬到工厂，提高我们机械制造工艺的水平。最后要加强管理，先进的技术只有在与之匹配管理相结合，才能提高工艺的可要性，最后提高机械制造的实用性和稳定性。

一、机械制造工艺可靠性研究的概况

（一）机械制造工艺的背景

机械制造业的工艺是一个基础的研究，同时也是一个高端的研究。基础性研究是因为机械制造的工艺直接关系到我们后期产品的一系列问题，是产品实用性和可靠性的基础；高端性的研究是因为机械制造的工艺是多种技术的综合衍生物。它不仅需要高新技术的使用，同时也需要原有的技术，因此要求每一位设计者要前后联系，综合运用。当前社会对机械制造的工艺要求相比以前呈现出多样化的趋势。首先，我们的机械制造的工艺不再是简单的为了制作和销售，机械制造的工艺从规划、设计、制造、管理、出售、售后等多方面都有了新的要求和标准。

当前社会对机械制造业的要求日趋专业化、精细化、多样化，这就要求我们每一名从事机械制造的工艺研究的人员，要从战略的高度充分考虑，通盘考虑，具有高度的责任意识。我们所有的机械制造的从事人员需要具有新思维，新理念。要不断的推进技术的革新，工艺的革新，充分的利用国在机械制造方面的该科技技术，同时注意与高等院校进行合作，最好的是将高科技技术利用到产品的研发和生产上。另外我们可以充分利用国外的先进技术和科技，统筹发展国际国内两个平台，从而推动我国的机械制造工艺的快速发展。最后我们在发展机械工艺时要对前期的优秀技术做一个详细的总结，力求把好的工艺传承和发展，此外更要多国外引进的先机工艺要先试点，总结其中的不足和教训，找到适合我国国情的机械制造工艺的生产技术。最后机械制造业的工艺要想发展就必须制定严格的管理措施形成系统化的工作模式，最终提高我国机械制造工艺的整体水平，促进我国由机械制造大国向机械制造强国的转变以及整个机械制造工业的稳步、高速、健康的发展。

（二）机械制造工艺的可靠性

机械制造的工艺的可靠性是指机械在设计阶段符合我们最初的施工设计的要求，在制造阶段要符合制造的要求，使用阶段要符合我们使用者预先的使用要求。总的要求就是不得超出预期的规定，符合各方要求。或者这样说机械制造的工艺符合设计要求，完成基础的产品生产后，要有符合工艺规范和切实的经济效益。对于机械制造的工艺把控的主要是可靠性的控制，工艺的可靠性就需要设计、生产、管理等方面的协调，由于它的复杂多样性，这就要求我们综合考虑，合理布局，分析各种可能影响的因数，针对这些因素采取相应的措施，最终促进机械制造工艺的正常生产。

二、机械制造工艺研究的必要性

经过我们的长期研究和和实践，我们不难发现机械产品使用的时间的长短和机械制造的工艺的可靠性具有密切的联系。同样的机械制造的产品，如果越是尽早的对它的工艺的可靠性进行研究，越能提高机械使用时间，那么同样可靠性研究越早，分析的数据越精确的，它的后期维护的次数和维护周期明显较少。目前我们的机械制造的可行性确实有较大的发展和进步，但是机械制造的优劣不是仅靠可行性的研究就足以完成的，在制造方面还有许多的因素影响。我们目前的机械制造很大程度上还是一个理想的环境状态下进行生产，才能达到预期。但是我们的实际生产中是几乎找不到这样的环境。因此这就要求我们的可靠性研究首先还是要加大研究的量，做大量的数据的分析，同时做好不同环境的可靠性的研究，要将可靠性的研究建立在工业的生产的环境之上。其次机械制造工艺的可靠性研究不应该只停留在设计的阶段，根据我们对机械制造工艺数据的长期分析，机械制造的工艺的不合理主要是制作阶段，同时制作过程的总费用占整个费用的一半以上。因此我们对机械制造工艺的研究还要向制作阶段发展。因此我们不仅仅要求机械制造的工艺的要求达到客户的需要，更需要充分考虑各方因素的影响。这样才能整体提高机械制造工艺的可靠性，因此可以看出机械制造的工艺的可靠性的重要作用。

三、机械制造的工艺可靠性研究中存在的问题

（一）可靠性的研究缺乏系统的认识和全局的考虑

机械制造的工艺的可靠性的研究的认识问题，从横向上讲，企业更多的关注经济效益，使用者更多的关注使用效能。但是都没有形成良好的沟通机制，更多的从自己的角度出发，因此在可靠性的研究过程中要多角度，全方位来考虑问题。从纵向上讲，我们的机械制造的工艺的可行性的研究主要是设计阶段，但是正如前面谈到的机械制造的可靠性是各方面的因素的综合反映。不仅是因为设计的作用，在制作，管理等方面同样对机械制造的工艺可靠性具有很大的影响。例如，在生产制作阶段，我们购买的原材料的不合格或者质量低下，生产时工艺不规范，设备的落后以及工业生产的环境的变化等因素都导致工艺的可靠性降低。因此我们在对机械制造的工

中国知网 https://www.cnki.net

艺可靠性研究是要从全局考虑，要把握其中的各个重点，只有整体的掌控才能最终提高工艺的可靠性。

（二）缺乏严格细致的评定标准

在机械制造的工艺上我们的企业主要还是采用的国家标准和行业标准，自己企业独特的标准还是很缺乏。机械制造的工艺的可靠性研究是要在国家和行业的标注上，做出符合自己企业的评定标准。从近些年来对机械制造的企业的研究来看，大部分企业对于可靠性研究的标准还是相当缺乏的，一是没有系统化的认识；二是可靠性的系统指标的缺乏。目前我国的机械制造的企业主要采用的标准是加工稳定度指数，它的优势在于可以对其中具体的某方面进行控制，但是前面我们提到了机械制造工艺的可靠性研究是一个整体考虑的要求，它不能做出系统的评定。因此我们还必须对机械制造的工艺可靠性制定新的标准和规范。

（三）缺乏可靠性的评定方法

我们对机械制造的工艺的可靠性的评定必须是建立在大量的数据之上的，并且对所有的数据我们必须进行客观细致的科学性研究和研究。同样对于数据的采集不是简单的一段时间的采集，而是应当长时间的采集。这样可以确保最大程度的找到可靠的评定方法，但是在实际的共工作中却有两个问题。一方面是数据的采集时间过于短，采集样本过于少，导致数据的采集具有很大的局限性。另外一个方面是可靠性的评定很大程度上是一种敷衍了事的态度，也就是说我们的评定只是在程序上做文章，真正的采集数据加以分析却是很少能做到。出现这两种情况的原因是缺乏可靠的评定的方法，致使无流程或者流程过于程序化，没有科学严谨的对可靠性进行研究。

四、机械制造的工艺对产品性能的影响

（一）工艺参数和产品可靠性的关系

我们理解产品的可靠性是要符合各种工艺的参数，因为参数是我们需要的性能的最直观的表现。但是我们在前面讲到了工艺的可靠性不仅仅是简单的参数就可以控制，工艺可靠性只是优质的产品其中之一参数，工艺的可靠性在设计、制作、管理等阶段都需要进行控制才能整体提高可要性。产品的质量和工艺的可靠性之间具有很多复杂的联系，产品的工艺最大程度表现在产品的质量，但是产品的质量是多方面的因素共同作用的结果。因此机械制造不是简单的从重复数据和重复施工技艺，而是要根据具体的情况分析进行处理。

（二）产品的实用性和工艺可靠性之间的关系

我们在工厂生产出工器具的目的是为了最大程度的利用这些工器具解决我们在施工中遇到的问题。但是在机械制造的过程中由于工艺的不成熟，或者是工艺的不精湛导致产品的实用性降低。出现这类问题的原因有两个方面。一方面是机械制造工艺自身的问题。机械制造工艺自身存在较大的缺陷，无论原材料怎么样改变，施工者怎样修改参数，结果都是产品的残次品较多。这种情况下我们只有引进先进的工艺克服原本的施工工艺的缺陷。另外一方面是因为机械制造的产品的残留物未及时处理干净导致产品的残次品数量增加。这种情况比较好处理，主要就是对原机械制造的设备进行处理。同时如果不是因为具有很大的精度的要求，可以不用过多的对原机械制造设备进行处理。同时在机械制造的过程中由于原材料的物理和化学性质的差异，同样会导致工艺的可靠性的变化。举个简单的例子，我们在用水泥做模具时，首先是做好模具，再放水泥成型。如果模具里有异物是是不是我们最后取下的成品就有很大的问题，大部分是残次品。因此我们可以看出工艺的可靠性和产品的使用性之间具有重要的联系。

五、建立科学的机械制造工艺可靠的性研究的指标体系

（一）建立起切实科学的指标体系，统筹考虑多方因数

从设计开始到最后的售后，只有严格的制度才是工艺就可靠性的保证。同时我们制定的指标体系应当是科学、全面、正确的，要横向到面，纵向到点。

（二）建立工艺的可靠度

机械的制造的工艺的可靠度是我们追求的目标，也是最重要的要求。工艺的可靠度是在我们机械的制造的过程中无论主观还是客观因素的变化，我们都尽自己最大的力量去掌控好机械制造的生产规格和要去，主观方面的问题要最大程度的降低，客观方面的因素要努力克服。

（三）严格控制故障的发生

任何机械制造的产品都有自己的故障，而且这些故障具有突发性和随意性。但是不是说这些故障就不能控制。同样故障控制在一定的范围内可控的，控制问题的发生就会提高我们的机械制造的可靠性。相反如果过大故障就会降低我们工艺的可靠性。同时故障的产生对于机械制造商和机械使用者都会产生经济损失。但是只要我们建立科学的机械制造工艺的可靠性的指标体系就会最大程度降低损失。，因此故障率的高低同样是指标体系的重要组成部分。

（四）严格控制机械使用的稳定性和安全性

机械制造的工程中我们清楚的认识到工艺的可靠性的最大表现就是稳定和安全性。假如我们在使用机械的过程中，它的内部不稳定，或者不安全。那么就不是简单的经济损失了，很有可能造成不可挽回的损失。

（五）故障维护和及时处理的时间

机械制造的可靠性主要是受内部的稳定性影响，但是不可否认的是我们必须清楚的认识到另外一个关键的因素。那就是故障的处理，及时机械制造的内部极其稳定，但是如果一旦出现问题和故障，制造的2设备不是立即修复，而是中断使用，那么就会出现许多问题。那么这样的机械制造的工艺可靠性可以说确实很低。特别是机械自身的检查纠正能力对于故障的及时处理是非常重要的，对于机械制造的工艺的可靠性研究，故障的及时快速的处理的能力同样是我们衡量可靠性的重要标准。

（六）机械制造中问题的累积性

它是指在上一道工序中未及时处理，导致在下一道工序中该问题仍然存在，这种问题越积越多，最后导致整个机械制造的工艺的可靠性降低。如果小问题不及时处理，那么问题就会越积越大，就会工艺降低，产品成为残次品。

总结语

总之，在对机械制造的工艺可靠性的研究中，我们要树立动态管理的意识和全局的管理概念。坚持科学的方式方法，最后更要重视可靠性的研究。

（作者单位：天津职业大学）

作者简介

谢学浩，男，1981年10月；籍贯：天津；民族：汉；学历：大学本科；职称：助理实验师；研究方向：产学结合数控技能实训教学；单位：天津职业大学。

中国知网 https://www.cnki.net

机械制造中数控技术的有效运用

李建国
天津职业大学机械工程实训中心　300410

【摘要】机械制造在国民生产中有着举足轻重的地位，是一个国家综合实力的具体体现，设涉及航空航天、机床设备、汽车制造以及工业生产。随着计算机技术的发展，数控技术也相应的得到发展，不断的采用计算机、控制理论的最新技术成就，它的性能日臻完善，应用领域越来越广大，很好地满足市场发展的需求和要求。

【关键词】机械制造；数控技术；有效运用
DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.15.195

前言

1946年诞生了世界上第一台计算机，让人类进入了信息化社会，六年后，计算机技术用到机械制造中。从此，传统机械制造产生了本质的变化，半个世纪过去了，数控技术历经了两个阶段和六代的发展。特别是到1970年，通用小型的计算机业开始发展，计算速度大幅提高，一直到现在的第六代，基于PC机的数控技术。本文主要从航空工业、机床设备来论述机械制造中数控技术的运用。数控机床通常是有程序载体、CNC装置、伺服系统、检测与反馈装置、辅助装置，机床本体组成。程序载体是用于存取零件加工程序的装置，可将装置加工程序以一定的格式和代码存储在载体上，程序载体可以是磁盘、磁带、硬盘和闪存卡等。

数控技术在航空工业、汽车制造、机床生产等机械制造行业中具有广泛的运用，提升了机械制造的自动化、智能化水平。数控技术在机械制造中的有效运用是一个较为宏达的课题，受篇幅的限制，本文仅从汽车制造中螺纹转配来论述数控技术在机械制造中的运用，希望对大家相关的课题的研究有所帮助。

1、设备

1.1设备的工作流程

“当汽车水平停放时，在汽车的横向垂面内，车轮平面与地面垂线的夹角为前轮外倾角，简称前倾角”[1]。在空载的情况下，安装的车轮垂直于路面，随着荷载的增加，车轮受到的压力越来越大，就会出现内倾的现象，使得车轮更加容易磨损。车辆对路面有压力，基于受力平衡，路面对汽车有一个同等大小的垂直反力，垂直反力作用于车轮形成沿轮毂的轴向分力，使得轮毂对轮毂紧固螺母和小轴承的压力越来愈大，降低了它们的使用期限。因此，为了降低荷载增大对汽车各个相关部件的消极影响，大多数车辆都有处于0°~3°30`范围内的固定前倾角a，但在汽车前悬架与转向轮的螺纹装配中，前倾角a的大小并不容易控制，经常出现大于3°30`的情况，加快车轮胎的磨损。为了解决前倾角不容易控制的问题，本文设计了基于数控技术和气压传动控制技术的汽车前悬架与转向轮螺纹装配设备（以下简称设备）。

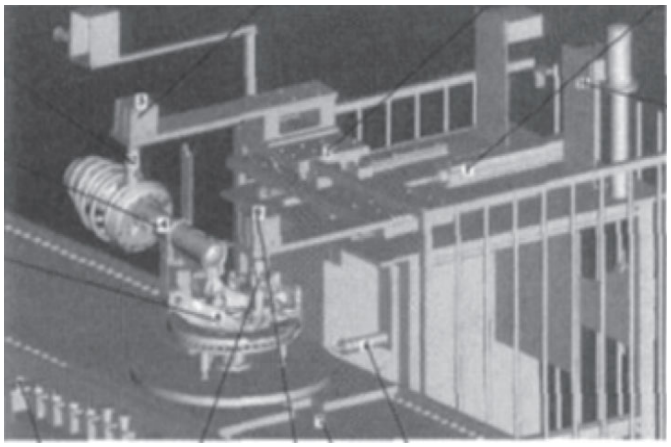


图1 设备的结构建模

设备主要构件是移动机构、前悬架、平推气缸、控制系统、压力显示仪、移动气缸、压紧机构、压紧气缸、流水线工作台、转向轮。设备工作流程如下：首先，设定流水线工装移动轨迹，让流水线工装在规定的轨迹上移动。流水线工装在指定位置挺稳后，操作人员可通过控制系统对流水线工装上的前悬架与转向轮进行操作，平推气缸动作，以流水线一侧为标准来调整工件固定板，确保工件固定板与流水线严密合缝。平推气缸运动到指定位置后，为了给移动机构施加一个向前的推力，移动气缸动作，移动气缸运动到指定位置后，压紧气缸动作，对两压紧机构施加相向的推力，分别压紧前悬架和转向轮，确保在拧紧螺纹的过程中，前悬架和转向轮不发生偏移，避免产生较大的前倾角。结构建模如图1所示。

1.2设备的安装

1.2.1安装准备

确定安装的操作平台，准备好拼装、挂装所用的机械设备、电源、水等。

根据设计图纸对设备进行清点，确保设备的数量、型号、规格满足设计要求。对压力钢管、座环的尺寸进行检查，对安装基准点、线进行测量，确保符合安装要求。确保安全措施方案、技术方案在监理部门通过审查，确保使用说明书、安装手册、设计图纸等技术资料齐备。技术人员与施工作业人员进行过充分的沟通和交流，确保施工人员的操作规范、技术合理[2]。

1.2.2设备拼装及焊接

在平面低于2㎜的拼装平台上放出设备各断面的地样，确保设备各断面数据符合设备单线图的要求。设备瓦片用汽车进行吊装，吊装完成后用压马板、拉板、骑马板、拉紧器等工具对尺寸实样线上的瓦片进行调整。调整的要求如下：瓦片与地样平台的间隙不超过2㎜；瓦片组合纵缝间的过流面错牙不超过2㎜；各瓦片过流面与地样线的偏差不超过2m；瓦片组合纵缝间的间隙不超过4㎜。拼装完成后，检查单节设备的对角线尺寸K1与K2、进水口内径R、检查开口尺寸G、大小口周长L，然后焊接组合纵缝。

1.2.3设备挂装

1.2.3.1吊装及运输

单节设备拼装完成后，用平板拖车吊运至安装间，然后用桥机吊吊至机坑进行挂装，

1.2.3.2挂装顺序

以焊接在座环上的设备尾部的第1、7、16、30节作为作为定位节，确保设备挂装、焊接产生的累积误差能合理分布在凑合节内，确保舌板与相应的设备节间焊缝的错牙、间隙满足设计要求，确保挂装过程中座环受力对称平衡。

1.2.3.3定位节挂装

设备定位节样冲点、控制点可根据设备安装图在座环上进行测量。在挂装时，采用挂线锤的方法，利用出水边的垂直平面度、内支撑上的旋套调整定位节进以及外支撑调整工具，对其垂直平面度进行测量和调整，使垂直平面度低于5㎜。对最远点到机组中心线的距离进行调整，确保与设计值的偏差不超出最远点半径设计值的±0.004倍；对腰线高程进行调整，确保与固定导叶中心平面的偏差不超出±5㎜；对管口进行调整，确保与基准线的偏差不超出±5㎜。定位节挂装满足上述要求后，点焊固定相应的千斤顶点、拉紧器、调整旋套，然后全面检测、调整定位节，尽可能缩小安装误差，最后去除吊具并加固。

1.2.3.4其余节挂装

根据设备挂装顺序图，以定位节为基准对设备其余管节依次挂装。在挂装时，应安装设备支撑，并实施中心对称挂装，避免设备的重量影响到座环水平，确保座环的受力平衡。同时，对座环水平进行实时监控，确保设备的挂装、调整的顺利实施。设备的挂装顺应与环缝的调整顺序一致，每调整一条环缝就进行一次焊接，以此类推，这样有效降低环缝间隙、错牙调整对环缝焊接的影响[2]。除此之外，其余节挂装的挂装方

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net/

法和要求可参考1.2.3.3.

1.2.3.5凑合节挂装

设备管节挂装、相邻环缝焊接结束后，就可以进行凑合节的挂装。为了确定凑合节的配割部位，应对凑合节各瓦片进、出水边过流面的周长进行实测，综合对比分析该实测结果以及相邻管节进、出水边的周长。对相邻管节用压码压紧，并在设备相应位置上覆盖两凑合节瓦片。对瓦片进行配割，为了确保装配间隙符合实际空间尺，应在配割时采取谨慎合格的操作。根据实际尺寸，切割从进出口两侧的过渡板侧向腰线方向同时进行。对错牙进行监测调整，合格后点焊固定。可参照设备凑合节安装方法来安装设备与压力钢管连接的直管段凑合节[3]。在设备混凝土浇筑完成后，应对其强度进行监测，强度符合设计要求才能进行最后一条凑合节环缝的焊接，防止座环发生应力变形。

2、气压传动控制系统

气压传动控制系统的核心构件是四个气缸，其中两个压紧气缸、一个平推气缸、一个移动气缸。需固定工件时，平推气缸动作；需向两压紧机构的直线运动提供推力时，移动气缸动作；需压紧前悬架与转向轮时，压紧气缸动作。各个气缸的基本构造如图2所示。

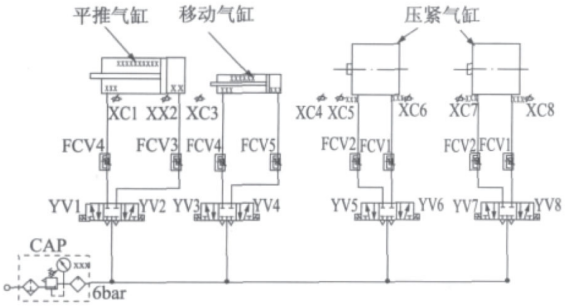


图2 气缸的基本构造

其中，XC1、XC2、XC3.. XC8是位置传感器，感应气缸的位置，并记录下来，然后把其转化为电信号，传给控制系统。FCV1、FCV2…FCV5是单向节流阀，通过调节单向节流阀能实现对气缸伸缩运动速度的控制。YV1、YV2…YV8是电控换向阀，通过控制电控换向阀实现对气缸运动方向的控制。

3.数控系统

设备采用的数控系统的核心构件是可编程序控制器，13个输出信号，23个输入信号。输出信号主要是位置传感器信号、按钮信号；输出信号用来控制指示灯、计时器以及电磁换向阀等。

3.1引入模糊控制法

模糊控制法引入需要结合螺纹装配的实际需要和现场的基本情况，然后在具体的操作中不断积累经验，提升数据整理的科学性，确保设备自动化控制的各个环节都能有序、高效地进行。在运用模糊控制法改进自动化控制中，工程人员应充分了解其特点和工作原理。

3.1.1模糊控制系统

传统的自动化控制采用被动控制法，只关注液位的变化，而集水井具有一定的滞后性和非线性，这就使得控制丧失一定的联动性。引入模糊控制系统后，其不仅能收集操作人员控制规律和方法，还能经由计算机的智能化分析给出最佳的自动控制方法和规律，比如具备根据液位变化率和液位差控制PD结构的能力，能极大地提升自动化控制的效果和装配量的处理质量[1]。在模糊控制系统下，自动化控制将更加的智能，使得自动控制系统的运行更加的高效，降低了对人工操作的依赖[4]。

3.1.2模糊控制器的语言变量

启动气缸台数（U）、液位变化率(EC)、液位差(E)是模糊控制器三个语言变量，不同的语言变量对应不同的控制操作。EC、E是输入语言变量，它们发生变化时会反馈到模糊控制器上，然后根据PLC编程输出语言变量U，经由非线性的PD控制系统给出相应操作指令，实现对启动气缸台数的控制。不同的装配量公司，采样间隔时间不同，一般情况下是10s。

3.1.3模糊论域和隶属度函数

模糊子集隶属函数的图形越尖，模糊集合的分辨率就越高，对EC、E变化就表现的越敏感，控制会非常高效、迅速；模糊子集隶属函数的图形越扁，模糊集合的分辨率就越低，对EC、E变化就表现的越保守，控制会非常的稳定、平滑。所说说不同的隶属度函数代表不同的控制涵义。

3.2实行气缸轮值控制

气缸轮值就是对气缸的工作量和启动平率进行控制，从而保证各个气缸工作量和启动次数的平均性，使每台气缸的工作负荷适当，避免一台或多台气缸的过度使用，有利于延长气缸的使用寿命，提升其工作效率。在气缸启动时，控制系统会对气缸的启动顺序就行编码，对启动次数进行记录，让每个气缸都有机会分配到装配量，分配的装配量也更加的平均。具体方式下：气缸启动时开始计时，气缸运行结束时停止计时，气缸轮值控制系统根据气缸的运行时间进行排序，运行时间或由高到低或由低到高；气缸启动时累计增加一次启动次数，气缸运行结束时，气缸轮值控制系统根据总的启动次数进行排序，启动频率或高到低或由低到高。在下次启动时，会按顺序先启动启动频率较低的气缸和启动时间较短的气缸，甚至可以按顺序先停止启动早或启动次数多的气缸。

此外，但启动顺序中的某台气缸出现故障时，气缸轮值控制系统会自动跳过该台气缸，启动下个气缸，避免故障气缸影响自动控制系统的效率，也使得装配量的抽排顺利进行。值得注意的是，但气缸房水位没有变化时，轮值控制系统会默认气缸没有正常工作，不会对气缸的工作时间和启动次数进行记录，极容易出现单个气缸超负荷工作的现象，对此可设定气缸的工作上限，确保超时工作后能强制切换或对气缸轮值控制进行升级，使其能在气缸房水位不变化时依旧能区分气缸是否在工作，避免气缸由于过度使用出现使用寿命或工作效率降低的问题。同时应加强启动周期的设置，尽可能减少气缸启动的频率，避免出现电压过大的情况，以减少线路负荷，维护用电安全。

4、结束语

气压传动控制系统执行控制工作，数控系统下发控制指令。通过PLC的控制，气缸才能更好地向汽车前悬架、转向轮施加压力，才能有效固定各个空间，为螺纹的装配创造一个理想的条件，避免出现前倾角过大的情况，较少对汽车轮胎的磨损。设备有效利用了数控技术、气压传动控制技术优势，不仅提升了流水线工作效率、质量，还实现了对整个装配流程的有效监控，具有较高的应用价值。

参考文献

[1]明哲.基于数控技术的机械设计制造及其自动化专业应用型本科人才培养模式的研究与实践[J].制造业自动化,2012,34(3):95-98.

[2]郁晗.浅析木材加工机械数控技术的特点及发展[J].科技创新与应用,2014,(22):119-119.

[3]陈雅娟.机械数控技术的应用现状和发展趋势[J].科技与企业,2013,(24):174-174.

[4]陈玉山.机械数控技术的创新及应用探究[J].中国机械,2014,(14):130-130.

[5]李朔.试论数控技术专业机械CAD教学[J].电子制作,2014,(12):102-103.

[6]阎庆博.浅析工业加工机械数控技术的特点及发展[J].中国机械,2014,(18):76-76.

作者简介

李建国，男，1973年7月；籍贯：河北邢台；民族：汉；学历：大学本科；职称：实验师；研究方向：产学结合数控技能实训教学；单位：天津职业大学机械工程实训中心.

(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13615/j.cnki.1004-3985.2013.30.060

基于“职业培训包”项目评价体系研究

李茹　张海伟

[摘要]文章以“职业培训包”项目内涵与作用分析研究为基础,提出“职业培训包”“四—三—二”项目评估观点,建立了以“知名企业、知名专家、受训学员、培训机构”为四方评价主体,以“开发内容、开发过程、试验性培训结果”为三维度评价内容,包括分项评价和综合评价二类评价形式的评价体系模型,以此为抓手,客观、公正、全面、系统地评价“职业培训包”项目应用价值。对培训包“开发内容”建立了二级评价目标,创新提出基本评价指标和评价标准,并经过实践验证。

[关键词]职业　培训包　评价体系

[作者简介]李茹(1961-),女,天津人,天津职业大学职业技能鉴定所所长,教授,研究方向为高等职业教育与职业培训。(天津 300410)

[课题项目]本文系中国高等职业技术教育研究会“十二五”规划课题“高职院校社会服务职能与创新实践研究”(项目编号:GZYLX2011139,项目主持人:李茹)和天津市教育科学“十二五”规划课题资助项目“职业教育的社会培训效能研究”(项目编号:VE3013,项目主持人:李茹)的研究成果之一。

[中图分类号]G712　[文献标识码]A　[文章编号]1004-3985(2013)30-0169-03

按照津政办发布[2012]61号文件《关于印发天津市“职业培训包”项目开发实施方案的通知》精神,天津部分职业院校、企业、培训机构等单位正在进行“职业培训包”项目开发。

一、“职业培训包”的开发宗旨

(一)解决培训内容与岗位工作任务需求的偏差问题

天津市是高技术产业快速发展的城市,许多职业(工种)的现行《国家职业标准》远不能满足天津经济发展的需求,职业能力要求水准偏低,工作内容和技能要求落后于天津企业实际生产要求,职业培训内容远离当前新技术、新工艺、新材料的应用,以致职业培训内容与岗位工作要求存有偏差,培训项目与岗位能力需求不能紧密对接,进而造成培训质量跟不上、培训资源和培训投入浪费的结果。

(二)解决培训课程按需选择问题

目前各职业(工种)对应多种岗位(岗位群)工作,就受训者本人可能从事此职业领域中某个或某几个岗位工作,持证上岗受训者希望接受本岗位的职业培训,以提升应对岗位工作的职业技能和职业素质,获取职业资格证书。但目前的培训课程、培训项目按职业大类设置,无论是哪个岗位都要接受一样的培训,以致出现培训学员接受正规的培训,取得职业资格证书,但仍不能承担本岗工作的现象。

(三)解决培训质量过程控制问题

目前职业培训一般由职业院校或培训机构依据国家职业标准和岗位技能要求自行培训,以鉴定考核作为培训最终结果的考证。就其培训教育过程如何,是否偏离培训策划方案,无所掌控。培训过程处于松散状态,致使由偏离培训策划方案引起的一系列培训质量问题难以发现、反馈和纠正。培训质量难以实现过程控制。

二、“职业培训包”项目的内涵与作用、特色

(一)“职业培训包”内涵分析

天津市“职业培训包”是依据国家职业标准,针对某一职业各层次的培训对象进行职业技能培训的资源总和。每个培训包由“标准包”“指南包”“资源包”三部分组成。(“职业培训包”框架体系详见李茹《“职业培训包”功能分析与基本框架搭建》)。

“标准包”对培训模式、培训内容、培训方法、师资队伍、设备与环境、培训考核等方面进行严格规范。特别是在国家职业标准框架下,结合天津产业技术的实际,扩充新内容和新要求,包括职业功能、工作内容、技能要求、相关知识等方面内容,形成培训包提升标准,拟解决职业技能培训与实际工作紧密联系,与职业标准、国家职业资格证书紧密对接问题。此外,“标准包”对培训机构从管理建设方面也提出标准要求,拟将培训结果管理转变为过程管理,无论哪个学校、哪个教师都必须按照标准包进行培训和考核,实现对培训过程各环节的规范监控。

“指南包”将以职业等级进行系统培训的模式转变为单元培训模式,即把职业等级培训内容拆分为若干个培训单元,紧密结合岗位工作任务,按培训单元设置培训内容,建立柔性化、模块化培训课程体系,形成职业培训超市,方便不同经历、不同层次培训学员根据自身需要到培训超市选择培训模块。

“资源包”跟进新技术、新工艺、新材料应用,建立极为丰富的、多种多样的适宜不同培训学员、培训教师享用的课程资源、学习资源。且设有资源维护和版本升级,根据职业发展情况,定期调整更新“职业培训包”内容,拟保障职业培训可持续性、技术应用的先进性。

(二)“职业培训包”作用分析

“职业培训包”作用:其一,建立职业培训纲领。它是职业技能培训组织、实施和规范管理的依据,为职业培训工作发挥指导性作用。其二,建立职业培训技术规范。培训包中丰富的培训资源,供培训对象、培训教师、培训机构享用。其资源的先进性和可操作性,不仅方便教师直接选用,而且能为教师采用先进的教学手段提供方便。其三,建立培训学员即时学习、训练平台。培训包既有丰富的培训项目、技术咨询项目,还提供大量的职业

中国知网　https://www.cnki.net

信息、就业岗位信息，为培训学员搭建服务培训、服务就业的平台。其四，指导培训机构标准化建设。培训包对培训环境设施、培训设备配备、培训师资配备、水平能力等提出一系列标准要求，成为培训机构、培训师资、硬件环境、规范管理制度等方面建设的执行标准。

（三）“职业培训包”主要特色

“职业培训包”用于三类人群，即企业行业在职职工、职业院校在校生、社会无业或失业人员开展职业技能培训。实行以行业企业为主体、以职业院校为基础、以职业培训机构为补充、校企合作为纽带共同开发资源，其特色主要体现在以下几点：(1)项目化培训。“职业培训包”结合职业的工作条件、典型工作任务、综合职业能力要求，在调研、分析的基础上确定开发项目，设置培训课程，精选培训内容。由生产项目导入学习和训练内容，从“用”入手“训”，使学习内容与训练项目紧密结合，理论与实操结合。(2)职业化培训。“职业培训包”体现职业属性，把企业对职业属性的要求体现在培训包中，把学习训练过程与生产过程结合，把培训过程作为生产能力培养过程。(3)模块化(超市)培训。“职业培训包”将职业等级、岗位工作内容划分为课程模块和训练项目模块，方便不同岗位工作培训对象的选择，不同等级的培训学习和考核鉴定，适应不同层面人员的需求。(4)新技术应用培训。“职业培训包”根据行业、企业需求，职业发展情况，调整更新“职业培训包”的内容，实现版本升级，保持技术应用先进性。

三、“职业培训包”评价体系的构建

（一）问题的提出

培训包项目是职业培训教育应用型开发项目，其应用价值的标定，依赖于成果的评价。此外，“职业培训包”项目本身又是当前职业教育领域涉及职业培训模式与方法的创新性研究课题，其成果必须按照科学、完整、量化的评价指标，进行公正、准确、客观的评价。因此，建立评价体系模型，确定评价方案，确立评价体系标准至关重要。

（二）评价方案设计

天津市“职业培训包”是政府主导项目。为保证培训包评价工作的有效进行，必须做好评价方案设计。重点考虑以下几个方面：(1)确定评价维度。评价维度是对职业培训包进行有效性评价的前提，决定了各阶段评价内容、评价方法以及评价工作程序。(2)确定评价指标。评价指标是职业培训包评价工作最基本和关键的一步，评价指标作为科学、合理评价开发成果的准则和标准。(3)确定评价主体。选择多元化评价主体有利于评价结果的客观公正性，有利于提高培训包项目的可信度，有利于后期的应用与推广。(4)确定评价规划。评价规划是对评价过程的计划，根据评价目标，选择评价形式、方法，分析评价模型，确定评价时间和操作程序。(5)确定评价操作方式。根据评价指标和评价规划对各项评价指标进行客观准确测量，评价操作方式应兼顾科学、客观、实用和效益等原则，保证测量的客观准确。(6)完成评价分析。根据原始的测评资料，按评价指标确立的测评项目逐一进行统计分析，形成评价分析结果或评价报告，为改进培训包提供依据。

（三）评价体系模型构建

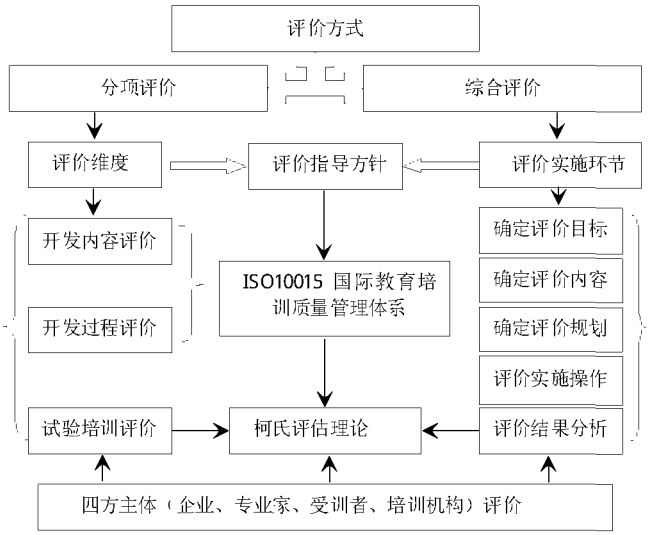
1. 四方评价主体。培训包开发成果只有得到受众者的支持和肯定，才具生命力。培训包面对的服务对象是企业、职业院校(或培训机构)、受训者及专家、企业家，因此依靠他们为主体作四方评价。

2. 三维评价内容。按照天津市“职业培训包”项目实施方案要求，各培训包项目开发实行项目管理，分阶段进行，衡量培训包项目的成果水平，拟要从实实在在的开发成品，真真切切的开发过程，明明白白的试验性培训结果来检测。“开发成品、开发过程、试验性培训结果”三个维度能全面、真实、系统地表象培训包成果水平和应用价值。在此，以培训包内容的创新性和适用度直接衡量培训包水平，以培训包开发过程的科学性和严谨度间接检测培训包质量，以培训包试验性培训结果的真实性和可信度客观验证培训包实效。

3. 二类评价方式。培训包可采用分项评价和综合评价二类评价方式建立评价指标，计量评价结果。

此外，值得指出的是“职业培训包”项目将ISO-10015标准(即国际培训认证标准——培训质量管理指南)和美国柯氏评估经典理论融入其评价体系，作为评价体系建立的指导方针和理论依据。

诸如上述考虑建立起评价体系模型如下图所示。



评价体系模型图

（四）职业培训包“开发内容”评价指标和评价标准

培训包开发内容建立二级评价目标，重点观测“标准包”的完整性、创新性、可行性，“指南包”的适用性、可操作性、方便性，以及“资源包”的先进性、技术性和多样性，建立9个分项评价指标和1个综合评价指标，形成职业培训包“开发内容”评价体系标准(见171页表)。

四、小结

笔者直接参与天津市“职业培训包”项目顶层设计和开发研究，以试点开发项目所获取的初步经验，对“职业培训包”项目评价体系作了较为深入的研究。培训包“开发内容”评价指标和评价标准，已经过试点开发项目评价验证，效果良好。关于开发过程、试验性培训结果评估指标和评价标准问题的研究尚需深入探索。

中国知网 https://www.cnki.net

"职业培训包"项目内容评价指标和评价标准

评价目标		评价指标			评价程度			
一级目标	二级目标	指标名称	指标含义	评价材料	1级	2级	3级	4级
1标准包	1-1 培训包职业标准	1.完整性	内容、体例设计与国家职业标准一致	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.创新性	三新技术及设备使用,占有一定权重	论证报告,调研支撑材料	很高	较高	一般	不高
		3.可行性	内容变化可靠,在职业培训领域可应用	分析报告,调研支撑材料	很强	较强	一般	不强
	1-2 培训标准	1.完整性	内容设计与职业标准一致,有细化指标	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.创新性	内容设计与职业标准,ISO10015培训标准一致,有新意	文本材料、论证报告、支撑材料	很高	较高	一般	不高
		3.可行性	规范明确,数据可信,有可靠依据	调研记录,论证报告,支撑材料	很强	较强	一般	不强
	1-3 考核标准	1.完整性	内容设计与国家职业标准相统一	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.创新性	考核内容、考核方式有创新	论证报告,试验分析	很高	较高	一般	不高
		3.可行性	同1-2-3	同1-2-3	很强	较强	一般	不强
	1-4 师资标准	1.完整性	内容设计与国家职业标准、ISO10015培训标准相适应	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.创新性	内容设计与职业标准适应,有创新目标	同1-3-2	很高	较高	一般	不高
		…	…	…	…	…	…	…
	1-5 …	…	…	…	…	…	…	…
		…	…	…	…	…	…	…
2指南包	2-1 职业指南	1.实用性	对培训机构、培训教师、培训对象有针对性服务项目	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.可操作性	含多项服务功能,有对口服务,对点服务	资讯支撑材料,信息类项说明	很强	较强	一般	不强
		3.方便性	有人性化、可选择性服务,易操作使用	文本,服务菜单;水平测试	很强	较强	一般	不强
	2-2 培训指南	1.实用性	同2-1-1	文本材料	很强	较强	一般	不强
		2.可操作性	培训计划与培训项目、模块与岗位、培训方案与技能认知及形成规律相适应	论证报告、支撑材料	很强	较强	一般	不强
		3.方便性	同2-1-3	论证报告	很强	较强	一般	不强
	2-3 …	…	…	…	…	…	…	…
		…	…	…	…	…	…	…
3资源包	3-1 课程资源	1.先进性	实训项目、资源开发应用新技术,自主开发占比例	文本、图片、视频、课程课件	很强	较强	一般	不强
		2.技术性	实训项目来源于实际,适宜项目化培训	同上	很高	较高	一般	不高
		3.多样性	模块课程、菜单丰富,多样	同上	很大	较大	一般	不大
	3-2 学习资源	1.先进性	训练项目、资源开发应用新技术占比例	文本、图片、视频、指导教材、模拟练习	很强	较强	一般	不强
		2.技术性	训练项目来源于实际,适于多种培训模式	同上	很高	较高	一般	不高
		3.多样性	自主开发,占比例,形式多,容量大,可选择	同上	很大	较大	一般	不大
	3-3 …	…	…	…	…	…	…	…
		…	…	…	…	…	…	…
综合评价		优秀 1级程度指标比例95%	良好 1级程度指标比例85%	中等 1级程度指标比例75%	一般 1级程度指标比例65%		较差	

[参考文献]

[1]李茹."职业培训包"功能分析与基本框架搭建[J].高等职业教育:天津职业大学学报,2012(6).

[2]马旭玲.对柯氏评估技术的再认识及其对我国开展培训评估的启示[J].黑龙江教育学院学报,2012(8).

[3]马旭玲.基于柯氏评估模型的部门行业教育培训效果评估指标体系设计研究[J].科协论坛,2011(9).

[4]王松壮,曲京民.关于开展社会培训的实践与思考[J].中国成人教育,2010(15).

[5]闫小红.ISO10015国际培训标准对我公司员工培训能力的提升[J].天津市经理学院学报,2007(12).

[6]张忠伟.西部地区高技能人才的紧缺现状及对策[J].中国成人教育,2009(11).

中国知网 https://www.cnki.net

doi: 10.3969/j.issn.1001-8794.2021.04.009

基于 1 + X 证书的“四方联动、五链耦合”人才培养机制研究

邹吉权
(天津职业大学 职业技术教育研究所，天津 300410)

【摘　要】1 + X 证书制度是提高技术技能人才培养质量的重要举措，是深化复合型技术技能人才培养培训模式和评价模式改革的重要途径，是探索构建国家资历框架的基础性工程。1 + X 证书制度涉及多方利益主体，事关人才培养体系重构。基于 1 + X 证书制度的实施，提出“四方联动、五链耦合”人才培养机制。所谓“四方联动”，是指政府、学校、企业、培训评价组织四方高度协同、实时联动；所谓“五链耦合”，是指基于 1 + X 证书重构教学流程、再造课程结构，人才培养体系中的智慧型岗位、模块化课程、结构化团队、项目化教学、复合型人才五个环节高度耦合、环环相扣，形成复合型技术技能人才培养新机制，以期为中国特色高水平高职学校建设提供参考借鉴。

【关键词】1 + X 证书；模块化课程；结构化团队；项目化教学；复合型人才
【中图分类号】G712　　【文献标识码】A　　【文章编号】1001-8794(2021)04-0046-07

一、1 + X 证书制度旨在探索技术技能人才培养新机制

《国家职业教育改革实施方案》提出，启动 1 + X 证书制度试点工作。1 + X 证书制度是提高技术技能人才培养质量的重要举措，是深化复合型技术技能人才培养、培训模式和评价模式改革的重要途径，是探索构建国家资历框架的基础性工程，其更深层次的指向是探索符合职业教育规律的技术技能人才培养新机制。

基于 1 + X 证书制度提出“四方联动、五链耦合”人才培养机制(见图 1)，旨在更好地落实《国家职业教育改革实施方案》，为中国特色高水平高职学校建设提供参考借鉴。所谓“四方联动”，是指政府、学校、企业、培训评价组织四方高度协同、实时联动。所谓“五链耦合”，是指人才培养体系中的智慧型岗位、模块化课程、结构化团队、项目化教学、复合型人才五个要素(环节)高度耦合、环环相扣，基于 1 + X 证书重构教学流程、再造课程结构，形成岗证对接、课证融合、教培一体、工作导向、书证融通的复合型技术技能人才培养新机制。

二、四方联动

职业教育培训评价组织是职业技能等级证书及标准的建设主体，职业院校是 1 + X 证书制度的实施主体，企业是用人主体和证书使用主体，而政府是引导、监督和调控的主体。四个主体都是利益相关方，既具有共同的利益，又存在复杂的博弈，不同主体有不同的利益诉求，任何一方的强势都会导致 X 证书的异化。

高职院校要围绕 1 + X 证书制度试点，升级现有职教集团(联盟)，积极吸纳培训评价组织加入，创新四方联动机制，打造“政、培、企、校”合作教育共同体(见图 2)。政府与培训评价组织要建立监督机制，同时负责整体规划和宏观指导；与企业建立引导机制，特别是引导产教融合型企业将 X 证书与员工招聘和薪酬待遇挂钩；与高职院校建立调控机制，将 1 + X 证书制度的实施作为“双高”建设重要绩效考核指标，并采用政策和资金手段调控。培训评价

【收稿日期】2020-08-26
【基金项目】2019 年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”，课题编号为 DJA190347，主持人：邹吉权
【作者简介】邹吉权(1965—)，男，内蒙古赤峰人，博士，天津职业大学职业技术教育研究所所长，教授，研究方向为高等职业教育。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

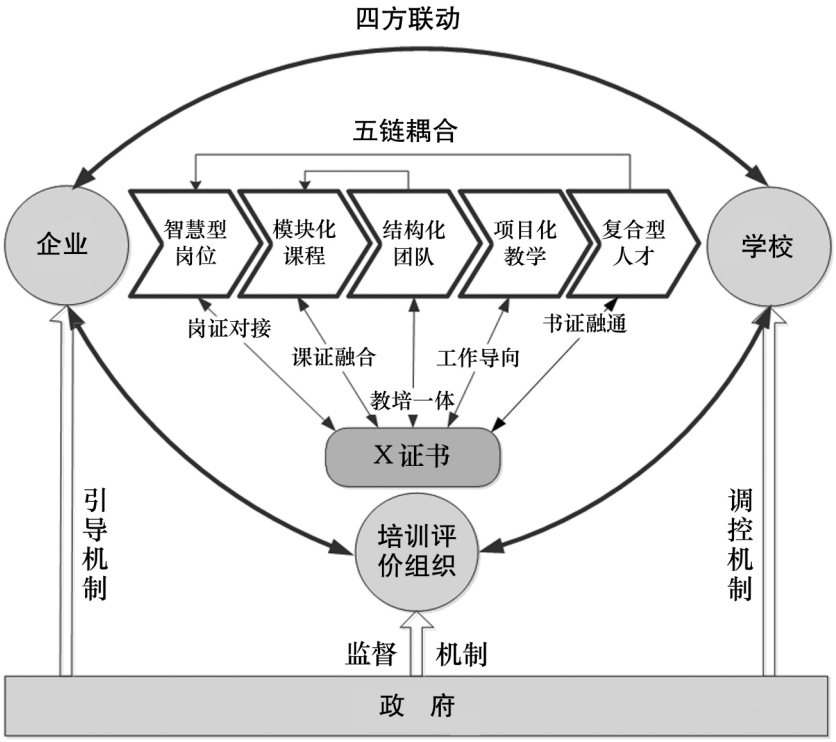


图 1　基于 1+X 证书的“四方联动、五链耦合”人才培养机制

组织与企业要建立证书的共生共享机制和反馈机制，企业全程参与证书的开发、更新和使用；与高职院校要建立上下游联动机制，使证书的开发和实施实时联动；高职院校与企业之间要建立协同育人机制，让企业作为一个重要育人主体，全程参与专业建设、团队建设、课程建设、教材建设和整个教学过程。

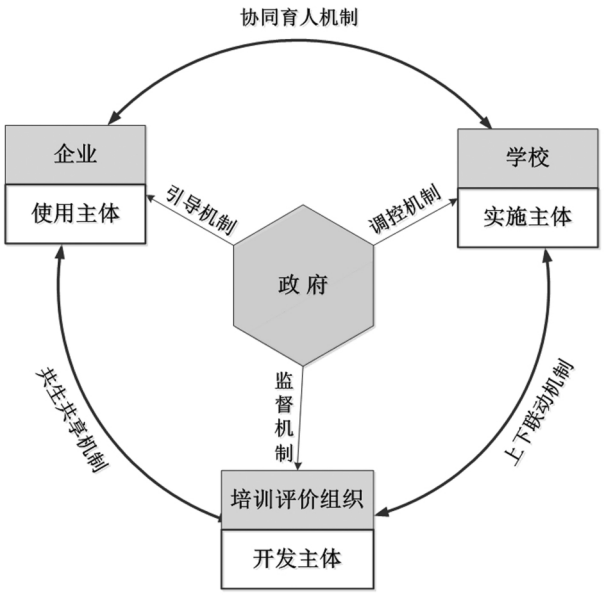


图 2　基于 1+X 证书的四方联动机制

(一) 培训评价组织

培训评价组织作为职业技能等级证书及标准的建设主体，对证书质量、声誉负总责。1 + X 证书制度试点能否成功，关键在于证书质量能否为学生的就业、创业带来直接的帮助，能否为企业选人、用人提供客观公正、高效有用的评价手段，也就是说，证书质量高不高，学生说了算，企业说了算。

培训评价组织的第一个职能是开发标准。首先，职业技能等级标准要能够代表当今行业岗位对职业技能的普遍要求，还要符合高职教育规律和技术技能人才成长规律，因此在技能标准开发阶段，要广泛征询行业企业和高职院校的意见建议，联合行业、龙头企业和职业院校等，依据国家职业标准，借鉴国际国内先进标准，开发的职业技能标准要做到学生能达到、企业用得上。其次，要建立职业技能等级标准的更新机制，培训评价组织要时刻关注行业技术的发展和职业的变化，将新技术、新工艺、新规范、新要求等及时融入标准；同时与行业企业、高职院校建立良好的沟通机制，时刻关注证书在实施和使用过程中出现的新情况、新问题，及时作出调整。再次，借鉴德国附加职业资格证书的有益经验，根据技术的发展和职业的变化，在职业技能等级标准的基础上开发附加模块，一起纳入国家学分银行体系，以满足职业世界的多样性和学生的个性化需求。

培训评价组织的第二个职能是开发教材和学习资源。培训评价组织与职业院校不能各行其是，需要达成一个基本共识，哪些职业技能要求要融入专业人才培养方案、课程，作为学校正常教学的一部

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

分，由学校编写教材、开发教学资源；哪些技能作为强化、补充和拓展，需要由培训评价组织来实施，这部分是其教材、教学资源开发的重点。

培训评价组织的第三个职能是考核站点建设。培训评价组织本身不建实体考核站点，而是在全国范围内统筹规划证书考核站点建设，考核站点一般设在职业院校。培训评价组织需制定考核站点遴选与管理办法以及考核站点设立条件，由职业院校提出申请，培训评价组织审批。考核站点设立条件一般应考虑学校相关专业开设情况和学生规模、师资实力和场地情况，同时对考核设备、工具、材料清单及监控设备提出要求。考评员队伍建设也是培训评价组织的一项重要工作，面向试点院校专业教师遴选、培训考评员，具有资质的教师才能参加证书考评。

培训评价组织的第四个职能是考核颁证。一是考核内容的科学性。考核内容要紧贴职业技能标准，反映行业企业对职业岗位技能的真实需求，全面考核学生的职业素养、专业知识和职业技能。二是考核形式的灵活性。理论考核与实践考核相结合，理论考核应采用标准化试题，以提高评卷的客观性；实践考核应选取企业真实的典型工作任务，重点考核学生对知识的应用能力和职业实践能力，可借鉴全国职业院校职业技能大赛的形式，对学生可以是单独考核，也可以是小组考核。三是考核过程的严谨性。严格遵守考核规程和考核纪律，考场负责人、考评员、督导员各司其职，督导员必须是培训评价组织专职人员，同时对考核过程进行全程监控、录像，确保考核过程严谨有序、公平公正。四是技能证书的权威性。职业资格证书考试和颁证在英国是政府行为，在德国由行业协会主导，都具有很高的权威性。我国的职业技能等级证书考试和颁证由培训评价组织负责，这个组织由培训机构衍生而来，如何让证书具有权威性，需要有一个培育和探索的过程。要坚持公益性和市场化相结合的原则，培训评价组织应该是公益性组织，不以营利为目的，同时要引入竞争机制，优胜劣汰。学生考证可以不要求工作经历，但必须逐级考证，无初级证书不得直接考中级证书。

（二）高职院校

高职院校是 1 + X 证书制度试点的实施主体。一是 X 证书选择。前三批公布的 X 证书数量分别是 5、10、76 个，从这一趋势看，X 证书的开发速度将会呈指数增长，一家培训评价组织可能会开发多个证书，一个证书也可以由多个培训评价组织开发，最终数量可能会达到上千个。职业院校应基于专业群统筹选择 X 证书，群内每个专业均有 1 个必修证书，1—2 个选修证书，选修证书由专业群统一规划，学生自愿选择。二是“1”与“X”融合。高职院校应将国家专业教学标准和职业技能等级标准有机融合，开发高水平人才培养方案，将职业技能等级标准有机融入课程体系，在进行充分岗位调研的基础上，开发模块化课程、打造结构化团队、实施项目化教学、培养复合型人才，这部分内容在后面将有详细叙述。三是培训考核站点建设。在“双高计划”项目建设中，高职院校应以 1 + X 证书制度试点为契机，以 X 证书培训考核站点建设为导向，加强实训基地建设，提升实训条件，除满足正常教学外，面向校内学生和企业职工开展 X 证书培训。在 1 + X 证书制度实施过程中，涉及大量业务，对内包括证书的选择、融入人才培养方案、站点建设、培训考试等，对外包括与培训评价组织、用人单位、政府机关的对接，因此需要成立专门二级部门来落实这项重大改革举措，避免挂靠多个部门，造成权责不分。

（三）企业

企业作为用人主体，对 1 + X 证书制度试点成功与否起决定性作用，只有企业认可 X 证书，将 X 证书和员工招聘与配置、继续教育、薪酬福利、劳动关系管理挂钩，才能对毕业生就业产生直接而有效的影响，学生取证才有积极性，进而影响学校的教育资源配置，形成良性循环。因此，培训评价组织要积极凝聚企业，政府部门要积极引导企业，职业院校要积极对接企业，让企业参与职业技能标准开发、人才培养、员工培训、信息反馈、标准更新全过程。企业通过参与 X 证书制度试点，可以提高选人用人效率，招聘到合格人才，提升员工技术技能水平。

（四）政府部门

1 + X 证书制度试点是我国职业教育重大改革举措，是职业教育人才培养模式和评价模式的重大创新，必须在国家教育行政部门整体规划、统筹部署下有序开展。国家教育行政部门建立职业教育“学分银行”制度，对学历证书和职业技能等级证书所体现的学习成果进行登记和存储，计入个人学习账户，尝试学习成果的认定、积累与转换，促进学历证书与职业技能等级证书互通，研究探索构建符合国情的国家资历框架。对培训评价组织，政府部门要进行宏观指导、统筹协调和有效监督，建设培训评价组织遴选专家库和招募遴选管理办法，组织制订有关标准化工作指南，指导培训评价组织开发职业技能等级标准，定期开展“双随机、一公开”的抽查和监督。对高职院校，政府部门要运用调控机制，规定

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“双高计划”项目建设单位必须开展 1 + X 证书制度试点，根据试点专业数量、学生取证比例、证书级别等给予资金和政策倾斜。对企业，政府部门要引入引导、激励机制，激励企业参与证书开发、人才培养，特别是鼓励产教融合型企业将 X 证书作为员工招聘和岗位配置的重要依据，并与薪酬待遇和职务晋升挂钩。

三、五链耦合

（一）与岗位对接，构建模块化课程体系

高职院校在各专业建设中需要系统分析国家专业教学标准和相关 X 证书标准之间的逻辑关系，X 证书标准应该是国家专业教学标准的强化、补充和拓展，强化的是职业技能、知识、素养等，补充的是新技术、新工艺、新规范、新要求等，拓展的是职业领域、职业能力等。模块化课程体系构建要将国家专业教学标准和 X 证书标准相结合，国家专业教学标准在职业面向中列举了主要岗位群或技术领域，X 证书标准也有明确的专业对应和岗位（群）面向，因而二者结合的逻辑起点就是职业岗位。

首先，高职院校根据国家专业教学标准的职业岗位面向，在对区域行业企业充分调研的基础上，确定本专业面向的核心岗位及辅助岗位。建议选取 1 个核心岗位，1—2 个辅助岗位，之后去选择相对应的 X 证书，1 个岗位对应 1 个 X 证书，学生毕业后取得 1 个毕业证书、1 个核心岗位证书、1—2 个辅修岗位证书，形成“1 + 1 + 2”的书证融通模式。辅修岗位 X 证书建议以专业群为基础统筹规划，学生自愿选择。其次，根据职业岗位面向，系统融入职业技能等级标准构建模块化课程体系。每个岗位纵向分为三个职业技能等级，若干工作领域，每个工作领域又分若干工作任务，从而形成能力矩阵（见图 3），能力矩阵每一个元素是模块化课程的基本单元（微观模块），其内容涵盖 X 证书中对应的每一项职业技能要求。由微观模块组成中观模块，进而组成宏观模块，从而构建柔性化、模块化课程体系。

模块化课程的理论基础是基于能力本位的课程观，把培养适应未来职场、面向职业岗位所需要的知识、技能、素养的目标作为课程开发的主线；模块化课程体系结构强调内容优化整合和理论、实践的高度融合，“模块池”中的每一个模块具有自由、灵活的特性，适合柔性化教学组织和管理，满足学生个性化学习需求。[1]

（二）与课程耦合，打造结构化教师教学团队

以专业为基础构建结构化教师教学创新团队，

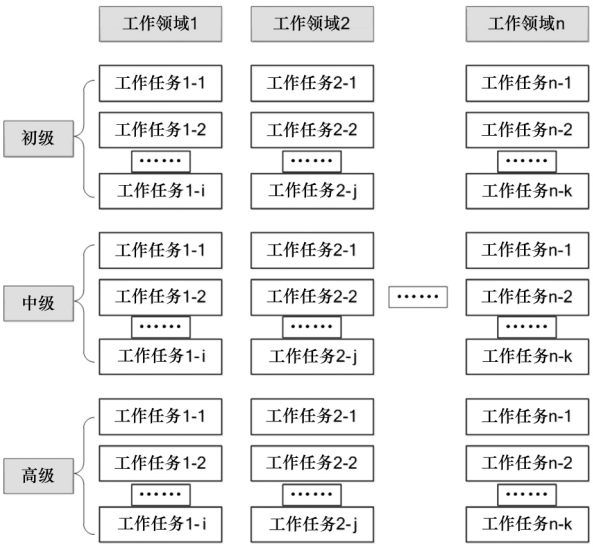


图 3　岗位能力矩阵

模块化课程（体系）是构建结构化团队的最重要、最基本的依据，教师教学创新团队的基本价值在于教学，灵魂在于创新，根本在于育人。教师教学创新团队建设必须有共同的目标愿景、合理的组织结构、明确的工作任务、科学的运行机制。

1. 共同的目标愿景

愿景是唯一最有力的、最具激励性的因素，它可以把不同的人联结在一起。[2] 现阶段，高职院校教师教学创新团队的共同目标愿景是聚焦国家职业教育重大改革举措，服务职业教育高质量发展和 1 + X 证书制度，着眼岗证对接、课证融合、书证融通，遵循高职教育规律和技术技能人才成长规律，全力开展教育教学改革，全面提升复合型技术技能人才培养质量。

2. 合理的组织结构

《全国职业院校教师教学创新团队建设方案》明确指出，教师教学创新团队的首要建设任务是“满足职业教育教学和培训实际需要”，因此必须基于模块化课程教学和培训需要确定团队的组织结构和人数。课程宏观模块可分为三个模块，即通识课程模块、专业群平台模块、专业课程模块。通识课程模块注重学生的全面发展和可持续发展，一般由学校层面统一规划；专业群平台课程是面向专业群职业岗位的具有基础性、通用性、共享性的课程，一般由二级学院统筹规划，因此平台课程教学团队应体现跨学科、跨专业特点；专业课程的开发和教学实施是专业教学团队的主要任务，对应专业所面向的主要岗位和相应的 X 证书，专业课程可分为 3—4 个模块，对应的结构化团队可分为 3—4 个小组，每个小组 3—5 人，其中每个小组至少有一名来自行业企业

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的产业导师，专业结构化团队总人数在12—16人之间（不含通识课）。团队负责人是教学团队的核心和灵魂，应具有先进的职业教育理念、丰富的专业建设和教学经验、深厚的行业背景和企业实践经验、较强的组织协调能力和校内外资源整合能力、较高的学术成就和强烈的改革创新意识。

3. 明确的工作任务

教学团队要有清晰的教学改革方向和明确的教学改革任务。团队主要任务是深入区域行业、企业进行岗位能力需求调研，根据国家专业教学标准和职业技能等级标准修订专业人才培养方案，开发模块化课程、制定课程标准、编写新型教材，实施模块化、项目化教学，开展X证书培训，不断创新教学模式、教学方法、教学手段和教学内容，实现教学流程重构、课程结构再造，培养适应未来职场需要的复合型技术技能人才。完成上述任务，团队的自身能力建设必不可少，团队负责人需要根据每一个成员承担的具体任务和教育教学实际需要，有计划、有步骤开展各项教师专项培训，要特别关注教师X证书取证、课程开发技术、教学方法、企业实践能力等方面的培训。

4. 科学的运行机制

（1）首席负责，行为整合。团队负责人是团队的核心，对团队的建设起着至关重要的作用。团队负责人要引导成员在团队目标愿景、教学理念等方面达成共识，培育相互信任的团队氛围，清晰界定成员的岗位职责，激发成员探索性学习意识，统筹协调各组、各成员之间的合作以及整合校内外资源，在各方面发挥核心作用。（2）分工明确，团结协作。分工明确、职责清晰是团队行为整合的重要条件，[3]以职业岗位面向进行小组分工，以模块化课程开发、实施教学以及相应的X证书培训作为成员分工的基础，可以一人多课，也可以一课多人，在此基础上形成柔性化、结构化团队基本雏形。分工要考虑每一位成员的特长偏好，使其承担的任务与其知识、技能和经验相匹配。团结协作是团队建设的核心价值所在，改变以往个人单打独斗的局面，团队成员协同推进专业建设和校企合作、协同进行人才培养方案制订、协同进行课程开发、协同授课、协同进行实训基地建设，在协同中取长补短，在协同中沟通交流，在协同中实现创新。（3）各取所长，优势互补。团队构建要充分考虑成员的知识技能结构、来源结构、职称结构、年龄结构、学缘结构等，形成知识技能互补机制、老中青传帮带机制和专兼结合机制。在大力提升“双师”素质的基础上，着重发挥团队“双师”结构优势，让理论功底深厚的成员带理论课，让动手能力强的成员带实训课，让职业技能强的成员带X证书培训课，从而实现知识技能互补。充分发挥老教师教学经验丰富、青年教师信息化能力强的优势，老教师出思路、出设计，青年教师建设信息化资源，老教师帮助青年教师提升教学水平，青年教师帮助老教师提升信息化教学水平，从而实现老中青传帮带机制。充分发挥行业企业兼职教师的作用，聘请企业高级技术人员参与专业建设、人才培养方案制订、教材开发以及教育教学全过程，职业性、实践性特别强的课程由产业导师承担，将行业新技术、新工艺、新规范实时纳入教学内容，形成校企专兼结合运行机制。（4）充分沟通，共同提高。要确保团队成员之间充分的交流沟通，实行集体备课、相互听课、协同教研、集体反思等制度，通过沟通交流达到分享经验、合作学习、持续改进、共同提高的目的。

（三）依托教学团队，实施项目化教学

项目化教学模式源于建构主义学习理论、杜威实用主义教育理念以及库珀的体验式学习理论，其教学理念强调以学生为中心，教学目标指向职业岗位能力要求，教学策略凸显职业性导向，教学过程基于行动逻辑，教学环境强调真实的职业情境，教学方式为“教、学、做”一体，教学载体为企业典型工作任务（项目），教学组织形式一般为教师协同教学、学生分组学习，教学成果是制作（设计）一件产品、提供一项服务或排除一个故障。通过项目导向、任务驱动，学生将理论与实践相结合，自主学习、自主探究，从而实现知识与技能的自主建构。项目化教学具有鲜明的职业性、实践性、开放性、探究性、情境性、合作性。[4]我国高职项目化教学始于国家示范校建设时期，是当前我国高职教育的主流教学模式，但其效果并没有充分显现出来，因此需要对这种教学模式再认识。若要使项目化教学取得更好成效，需对其进行改造和创新，重点从团队协同教学、融入技能标准、教学流程重构三个方面开展工作。

1. 团队协同教学

从教学目标看，项目化教学既要让学生掌握知识、习得技能，又要提升其职业素养，这就要求教师既要有深厚的理论功底，又要有较强的实践技能；从教学流程看，涉及相关岗位技能分析、工作项目筛选、教学项目转化、教学资源开发、教学情境创设、教学策略制定、课堂教学实施等，这就要求教师既要有丰富的职业经验，又要有丰富的教学经验，还要有较强的信息化教学能力；从教学内容看，项目可能涉及跨岗位、跨专业、跨学科的理论知识与实践技能，要

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

求教师要有很宽的知识面；从教学场所看，涉及教室、实训室、创新创业基地、企业车间以及线上学习，要求教师要有较强的组织协调能力。这些任务靠个人的单打独斗几乎是不可能完成的，必须依靠团队的力量，发挥每一名成员的优势特长，通过技能互补、协同作战，才能高质量完成项目化教学。协同教学是一种教学组织形式，由两名以上各有专长的教师组成教学共同体，通过技能互补，合作开发教育教学资源，协同授课，分享教育思想和经验，满足学生个体发展的主客观要求。基于项目化协同教学的理想范式应该是以项目化课程为单位，组建柔性化课程小组，设首席教授 1 名，主要职责是统筹项目的整体策划；企业高级技术人员 1 名，主要职责是遴选企业真实案例；中年教师 1 名，主要职责是将企业真实案例进行教学化处理，转化成典型学习项目；青年教师 1—2 名，主要职责是负责具体的教学设计和实施。主要职责并不是只干一件事，而是各有侧重又协同合作，例如，在课程实施过程中，职业性特别强的环节必须由企业兼职教师授课。

2. 融入技能标准

提升教学项目开发质量的关键是将职业技能等级标准融入到项目中，基于 X 证书的职业技能要求开发教学项目。职业技能等级标准有明确的工作领域、工作任务和职业技能要求，工作领域对应的是课程，工作任务对应的是课程模块，而职业技能要求则对应教学项目单元，例如，数控车铣加工职业技能等级标准三个等级共有 80 项职业技能要求（见表 1），对应 80 个教学项目单元。

表 1　　数控车铣加工职业技能等级标准

等级	工作领域	工作任务	职业技能要求
对应课程	课程	课程模块	教学项目
初级	4	10	35
中级	4	9	22
高级	3	9	23

教学项目单元既可以作为独立的教学项目，也可以横向组合或纵向组合，形成综合教学项目。例如，在数控车铣加工职业技能等级标准中，将零件识图、数控编程、数控加工、零件检测等项目单元组合为一个综合项目，即为横向组合；在数控铣削加工中，将简单零件加工、复杂零件加工、配合零件加工等项目单元组合，由浅入深、由简单到复杂，分阶递进，即为纵向组合。职业技能等级标准既是教学项目开发的依据，也是评价教学质量的标准。1 + X 证书制度的实施，为高职项目化教学模式改革指明了方向，即职业技能等级标准是教学项目开发的主要依据，在此基础上，遴选企业真实工作项目，进行教学项目转化，开发相应的教学资源，创设真实的工作情境，实施协同教学，才能使项目化教学取得良好效果。

3. 教学流程重构

项目化教学是以典型工作项目为载体，通过项目实施使学生实现知识的建构和技能的习得。项目化教学流程一般为：项目引入、知识铺垫、方案制订、项目实施、评价总结、知识拓展等六个步骤，[5] 打破了原有的“教学设计→课堂讲授→教学考核→教学评价”教学流程，真正实现了教学流程重构，这一流程有利于学生的个性化学习，体现以学生为中心的教育理念，大大提升了课堂学习效率和效果。然而，项目化教学会大幅度增加教学学时，如何在有限的课堂学时下高质量完成项目化教学，是我们必须要解决的问题。翻转课堂与项目化教学具有高度的耦合性，翻转课堂颠倒了传统的课堂教学、课后巩固的教学方式，学生在课前通过微课、慕课等资源自主学习相关知识，课堂时间重点用于知识的内化。将翻转课堂教学方式融入项目化教学，将项目化教学流程中的项目引入、知识铺垫、方案制订、知识拓展等环节在课下（线上）进行，课堂上主要用来项目实施和评价总结，这样可以大大提高课堂效率。基于翻转课堂的项目化教学会大大增加教师的工作量和学生课外学习时间，教师不仅要制作或寻找大量的课程资源，为学生提供清晰的学习导航体系和知识结构清单，还需要大量时间进行线上交流，如何充分调动教师和学生的积极性，真正实现将翻转课堂融入项目式教学的重大变革，还需要学校、任课教师及学生做出更多的努力与探索。[6]

（四）培养复合型人才，适应智慧型岗位

随着智能化时代的来临，社会凸显学科交叉、知识融合、技术集成等特征，职业岗位也出现交叉融合的趋势，即操作性职业与专业性职业交叉融合，操作性职业之间的交叉融合，职业之间的边界日益消融，制造业与服务业逐渐融为一体，[7] 单一知识和技能很难适应未来社会发展要求，培养“一人多岗、一岗多能”的复合型技术技能人才是高职教育的必然选择。复合型人才是指具有两个或两个以上专业（或学科）的基本知识和基本能力的人才，具有知识的集成性、能力的复合型、素养的全面性等特征。[8] 对复合型技术技能人才至今尚未见到比较权威的定义，我们认为其定义应凸显职业教育的类型特点，落脚点应该是职业岗位。复合型技术技能人才，是指具有较为全面的理论知识和实践技能，能够胜任

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2—3 个相近(相关)职业岗位,或能够胜任 1 个复杂技术岗位的技术技能人才。

培养复合型技术技能人才需要解决两个问题,一是技能的多接口、多模块,二是各种知识、技能的融合与综合应用。无论是模块化课程、项目化教学,还是结构化团队,其目标指向都是复合型技术技能人才培养,实施的基本路径都是基于 1 + X 证书制度,让学生在获得学历证书的同时,再取得 2—3 个职业技能等级证书,培养具备多接口、多模块职业技能的复合型人才,拓展学生的就业、创业能力,以适应知识、技能交叉融合的智慧型岗位,缓解结构性就业矛盾。通过实施项目化教学,打破学科之间、专业之间的界限,通过项目实施,应用多个方面知识和技能,解决工作中的现实问题,培养学生的沟通、合作、创新、批判、决策等高阶思维能力,提高分析问题、解决问题的能力,以适应未来复杂技术岗位需求。

四、结束语

我国的职业教育不同于国外,国外的职业教育多是等同于职业培训,而我国的职业教育更关注人的全面发展和可持续发展,在此基础上强化职业技能,培养行业企业需要的复合型技术技能人才,这是 1 + X 证书制度产生的深刻背景。1 + X 证书制度是我国职业教育人才培养模式和评价模式一项重大制度创新,是我国建立国家资历框架的一项基础工程,体现了教育的人本性和社会性相统一。既然是创新,就没有现成的、可照搬的经验,需要政府、职业院校、培训评价组织、行业企业等多方探索。特别是“双高计划”建设学校,要将 1 + X 证书制度试点作为“双高”建设任务的重中之重,以 1 + X 证书制度试点为突破口,创新人才培养模式、课程体系、教学体系和评价体系,从而形成更高水平的人才培养体系,为行业企业培养更多高素质复合型技术技能人才。

【参考文献】

[1] 余国江. 课程模块化:地方本科院校课程转型的路径探索[J]. 中国高教研究,2014(11):99—102.

[2] 季舒鸿,高查清. 高职“双师结构”教学团队:内涵与建设要素[J]. 职业技术教育,2012(4):49—53.

[3] 成瑾,白海青,刘丹. CEO 如何促进高管团队的行为整合:基于结构化理论的解释[J]. 管理世界,2017(2):159—173.

[4] 谭永平,何宏华. 项目化教学模式的基本特征及其实施策略[J]. 中国职业技术教育,2014(23):49—52.

[5] 陈旭辉,张荣胜. 项目教学的项目开发、教学设计及其应用[J]. 中国职业技术教育,2009(8):59—61.

[6] 宋朝霞,俞启定. 基于翻转课堂的项目式教学模式研究[J]. 远程教育杂志,2014(1):96—104.

[7] 徐国庆,伏梦瑶. “1 + X”是智能化时代职业教育人才培养模式的重要创新[J]. 教育发展研究,2019(7):21—26.

[8] 辛涛,黄宁. 高校复合型人才的评价框架与特点[J]. 清华大学教育研究,2008(3):49—53.

Research on the Talent Training Mechanism of “Four-party Linkage and Five-chain Coupling” Based on 1 + X Certificate

ZOU Ji-quan

(Institute of Vocational and Technical Education, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

【Abstract】The 1 + X certificate system is an important measure to improve the quality assurance of vocational education, an important approach to deepen the reform of compound technical and skilled talent training model and evaluation model, and a basic project to establish the national qualification framework. The 1 + X certificate system involves multiple stakeholders, which is related to the reconstruction of talent training system. Based on the implementation of the 1 + X certificate system, the talent training mechanism of “four-party linkage and five-chain coupling” is proposed. The “four-party linkage” refers to the highly coordinated and real-time linkage among the government, schools, enterprises and training and evaluation organizations; the “five-chain coupling” refers to the reconstruction of teaching process and curriculum structure based on 1 + X certificate, and the high coupling and looping of five links in the talent training system, including intelligent posts, modular courses, structured teams, project-based teaching and compound talents in order to provide reference for the construction of high-level vocational schools with Chinese characteristics.

【Key words】1 + X certificate; modular-based curriculum; structured team; project-based teaching; compound talents

(编辑/冀 盈)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI：10.16578/j.issn.1004.2539.2013.03.027

文章编号：1004－2539(2013)03－0094－03

基于 ANSYS 的非对称齿轮应力分析

张海伟
(天津职业大学 机电工程与自动化学院， 天津 300410)

摘要 对非对称齿轮的几何参数进行了推导，解析表达了渐开线齿形的轮廓，对 5 种典型压力角组合 20°/20°、25°/25°、20°/25°、20°/30°、25°/20°、30°/20°的齿形，利用路易斯标准方程和有限元分析软件 ANSYS12.0 进行了弯曲应力分析，分析结果表明，驱动齿面选择更大的压力角会使非对称齿轮的承载能力增强。

关键词 非对称齿轮 应力分析 弯曲应力 有限元分析

Stress Analysis of Asymmetric Gear based on ANSYS

Zhang Haiwei
(Electromechanical and Automation School，Tianjin Professional College，Tianjin 300410，China)

Abstract The geometrical parameter of the asymmetric gear are derived，the tooth profile of is resolved，five sets of asymmetric gears with the pressure angles of 20°/20°、25°/25°、20°/25°、20°/30°、25°/20°、30°/20° bending stress analysis are carried out to quantitatively check the stress using Standard Lewis Equation and ANSYS12.0. The analysis results show that the drive side with a larger pressure angle have better load carrying capacity.

Key words Asymmetric gear Stress analysis Bending stress Finite element analysis

0 引言

齿轮是机械传动中应用最广泛的零件之一，它具有功率范围大、传动效率高、传动比准确、使用寿命长等特点，但从零件失效的情况来看齿轮也是最容易出故障的零件之一，而近几年才出现的非对称齿轮因其承载能力强、噪声低等特点应用越来越广泛[1]。传统的渐开线齿轮两侧齿廓是对称的，而非对称齿轮两侧齿廓形状不同，一边为驱动齿面，另一边为从动齿面，两齿面的压力角也不相同。非对称齿轮在啮合传动过程中驱动齿面工作加载时间变长，从动齿面工作加载时间变短，因而提高了承载能力和使用寿命[2]。目前对非对称齿轮的承载能力的研究大多是定性的分析，我们将结合有限分析元件 ANSYS12.0 对非对称的齿轮的承载能力进行定量研究，这对非对称齿轮的改造、优化设计及研制新型齿轮都具有重要意义。

1 非对称齿轮的数值分析

1.1 非对称齿轮几何参数

非对称齿轮的驱动齿面和从动齿面由不同的渐开线齿面组成，具有不同的压力角，两齿面所对应的基圆、节圆大小也不相同，节圆半径为

$$r_{pi}=\frac{z_i m_n}{2} \tag{1}$$

式中，m_n 为标准模数；z_i 为齿轮齿数。

基圆半径为

$$r_{bij}=r_{pi}\cos\ \alpha_j \tag{2}$$

式中，α_j 为压力角。

其中，$i=c$、d 分别表示驱动齿面和从动齿面，$j=1$、2 表示相应齿面上的压力角。

临界面的半径计算公式为

$$r_{cij}=r_{bij}+0.157m \tag{3}$$

1.2 渐开线齿形的解析表示

非对称齿轮渐开线齿形在全齿高上任意点的厚度如图 1 所示，可以使用下列关系计算

$$S_{ji}=r_{ji}\left(\frac{\pi}{z_i}+\mathrm{inv}\ \alpha_c+\mathrm{inv}\ \alpha_d-\mathrm{inv}\ \alpha_{jci}+\mathrm{inv}\ \alpha_{jdi}\right) \tag{4}$$

式中

$$\alpha_{jci}=\arccos\left(\frac{r_{pi}}{r_{ji}}\cos\ \alpha_c\right) \tag{5}$$

$$\alpha_{jdi}=\arccos\left(\frac{r_{pi}}{r_{ji}}\cos\ \alpha_d\right) \tag{6}$$

渐开线齿形压力角方程为

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\text{inv}\ \alpha=(\tan\ \alpha-\frac{\pi\alpha}{180}) \tag{7}$$

驱动面的重合度为

$$\varepsilon_d=\frac{\sqrt{r_{a1}^2-r_{b1}^2}+\sqrt{r_{a2}^2-r_{b2}^2}-\alpha_d\sin\ \alpha_d}{p_b} \tag{8}$$

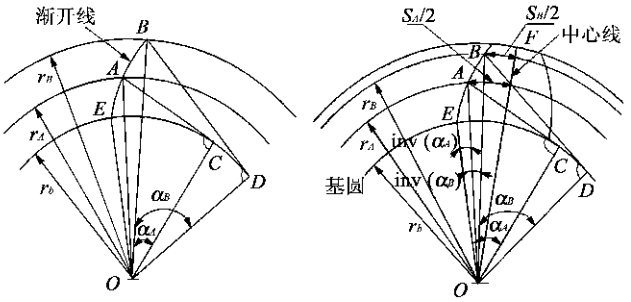


图 1　非对称齿轮从动边和驱动边参数

1.3　非对称齿轮齿形参数的推导

由于在驱动齿面和从动齿面的压力角不同，渐开线齿形的齿厚度取决于齿顶圆半径和齿根圆半径[3]。在不同齿高上的齿厚可以利用三角形相似原理求得，如图 2 所示。

在齿高上任一点的齿轮半径为

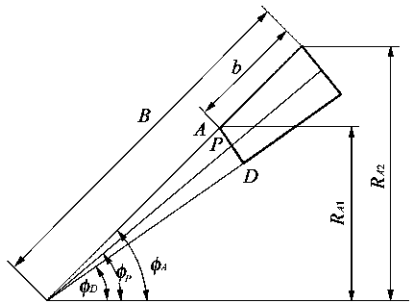


图 2　齿形的演化

$$R_{ji}=r_{ji}(1-\frac{b_i}{B_i}) \tag{9}$$

联立式(4)和式(9)，非对称齿轮渐开线齿形在全齿高上任意点的厚度，像在齿顶圆、齿根圆和节圆上齿厚均可表达为

$$S_{ji}=r_{ji}(1-\frac{b_i}{B_i})(\frac{\pi}{z_i}+\text{inv}\ \alpha_c+\text{inv}\ \alpha_d-\text{inv}\ \alpha_{jci}+\text{inv}\ \alpha_{jdi}) \tag{10}$$

式中，i=1、2 分别表示驱动齿面和从动齿面，j=A、P、D 分别表示齿顶圆、节圆和齿根圆；b 为齿宽，mm；B 为齿距，mm。

如图 3 所示，在临界面的齿厚为

$$S_{fn}=\frac{S_{fn1}}{2}+\frac{S_{fn2}}{2} \tag{11}$$

式中，

$$\frac{S_{fn1}}{2}=r_{ci}(1-\frac{b_i}{B_i})(\frac{\pi}{2z_i}+\text{inv}\ \alpha_c-\text{inv}\ \alpha_d) \tag{12}$$

$$\frac{S_{fn2}}{2}=r_{ci}(1-\frac{b_i}{B_i})(\frac{\pi}{2z_i}+\text{inv}\ \alpha_{cci}-\text{inv}\ \alpha_{dci}) \tag{13}$$

i=1、2 分别表示驱动齿面和从动齿面，通过以上方程组可以确定非对称齿轮在任何截面的齿厚及其他有关参数[4]。

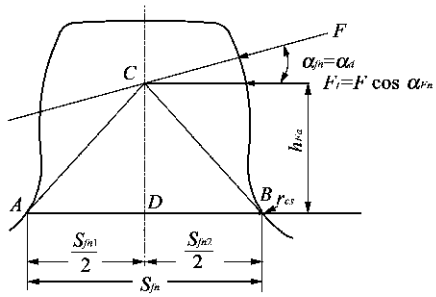


图 3　临界面的齿厚

2　非对称齿轮的应力分析

2.1　利用方程的应力分析

非对称齿轮的抗弯强度可以利用路易斯标准方程来确定，在标准方程中将齿形简化为悬臂梁，齿轮在传动过程受外负载时的主要的变形形式是弯曲[5]，轮齿的抗弯强度为

$$\sigma_b=\frac{F_t}{bm}YK_cY_\varepsilon Y_\beta \tag{14}$$

式中，Y 为路易斯形状因数，$Y=\frac{6h_{fa}m}{(S_{fn})^2}$；$Y_\varepsilon$ 为均载因数或接触因子，$Y_\varepsilon=0.25+\frac{0.75}{\varepsilon_d}$；$K_C$ 为应力集中系数，$K_C=(1.2+1.3\frac{S_{fn}}{h_{fa}})(\frac{S_{fn}}{2r_{cs}})^{\frac{1}{(1.2+1.3\frac{h_{fa}}{S_{fn}})}}$；$Y_\beta$ 为重合度系数，Y_β=1。

要想利用以上方程进行计算，应给出齿轮的基本参数，我们选择典型的非对称齿轮作为案例进行分析，具有推广意义，齿轮的基本参数如表 1 所示。

表 1　非对称齿轮基本参数

齿数	模数	法向压力角/(°)	齿顶高/mm	全齿高/mm	弦齿厚/mm	弦齿高/mm	材料
25	5	20	2.5	5.5	3.9	2.55	40Cr

非对称齿轮的已知参数由表 1 列出，其他参数由相关方程推导可得，如表 2 所示。

表 2　由相关方程所得齿轮几何参数

α_c/α_d/(°)	r_{a1}/mm	r_{p1}/mm	S_{a1}/mm	S_{p1}/mm	S_{c1}/mm	h_{fa1}/mm	ε_d
20/20	33.85	31.35	1.468	3.914	3.758	1.495	1.644
25/25	33.85	31.35	1.315	3.914	2.642	2.533	1.462
20/25	33.85	31.35	1.156	3.914	5.642	3.421	1.491

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表

a_c/a_d /(°)	r_{a1} /mm	r_{p1} /mm	S_{a1} /mm	S_{p1} /mm	S_{c1} /mm	h_{fa1} /mm	ε_d
20/30	33.85	31.35	1.577	3.914	4.887	2.568	1.474
25/20	33.85	31.35	1.513	3.914	4.887	2.537	1.473
30/20	31.35	33.85	1.475	3.914	5.054	3.078	1.417

利用路易斯标准方程计算非对称齿轮的弯曲应力，按从动齿面和驱动齿面的压力角大小关系可分三种情况计算，分别是从动齿面等于驱动齿面、从动齿面小于驱动齿面和从动齿面大于驱动齿面。每种情况选择两种典型的压力角进行计算，它们的组合是 20°/20°、25°/25°、20°/25°、20°/30°、25°/20°、30°/20°，计算结果如表 3 所示。

表 3 各种压力角组合下的弯曲应力计算值

a_c/a_d/(°)	20/20	25/25	20/25	20/30	25/20	30/20
路易斯方程 σ_b/(kN/mm^2)	3.98	4.52	3.88	3.12	4.05	4.62

2.2 利用软件的应力分析

利用有限元分析软件 ANSYS12.0 对非对称齿轮进行应力分析，齿轮参数采用如表 1 所列，划分单元选用具有 3 维 20 节点的 Solid186，受载情况相当于沿齿面宽度方向一端受约 400 N 另一端受约 600 N 的力。齿轮材料为 40Cr，杨氏模量 210 GPa，泊松比 0.3，有限元模型如图 4 所示。

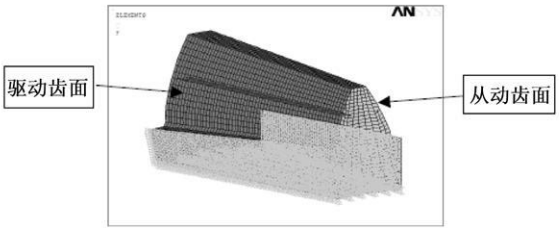


图 4 非对称齿轮有限元模型

按表 3 所列的六种压力角组合对齿轮进行弯曲应力分析，分析结果如图 5～图 10 所示。

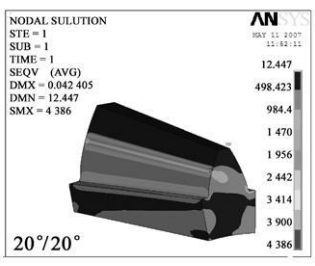


图 5 20°/20°弯曲应力云

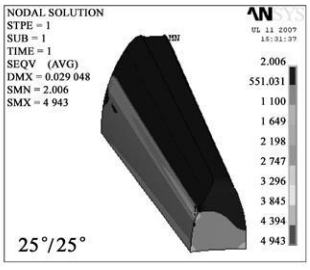


图 6 25°/25°弯曲应力云

通过弯曲应力云图比较分析发现，增大齿面压力角可以提高齿轮的抗弯能力；对于非对称齿轮驱动齿面的压力角要大于从动齿面的压力角，如图 7、图 8 所示，齿轮的抗弯能力显著增强。通过有限元分析与方程计算分析比较，如表 4 所示，两者分析的结果差别不大，误差在 4%～9%之间。

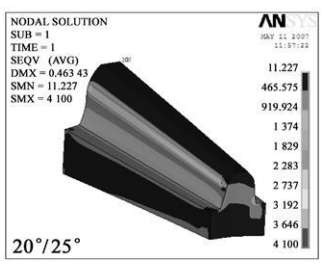


图 7 20°/25°弯曲应力云

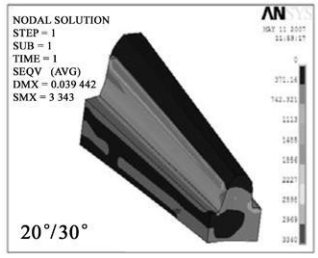


图 8 20°/30°弯曲应力云

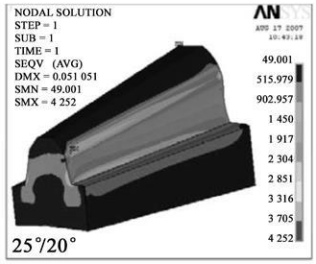


图 9 25°/20°弯曲应力云

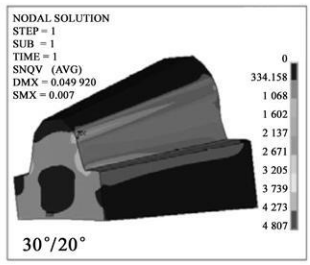


图 10 30°/20°弯曲应力云

表 4 两种分析结果的比较

a_c/a_d/(°)	20/20	25/25	20/25	20/30	25/20	30/20
路易斯方程 σ_b/(kN/mm^2)	3.98	4.52	3.88	3.12	4.05	4.62
*ANSYS*12.0 σ_b(KN/mm^2)	4.38	4.94	4.11	3.34	4.25	4.82
偏差	9%	9%	7%	7%	6%	4%

3 结论

用标准方程和有限元分析两种手段定量地对非对称的进行了应力分析，两种分析结果的一致性为非对称齿轮的承载能力提供了理论依据，为设计研发新型齿轮提供了技术手段。

参 考 文 献

[1] 董学朱. 摆线齿锥齿轮及准双曲面齿轮设计和制度[M]. 北京：机械工业出版社，2003：5－13.

[2] 张秀华，李光喜，王婉. 基于 ANSYS 的渐开线直齿圆柱齿轮接触应力分析[J]. 煤矿机械，2012，33(2)：110－111.

[3] 朱孝录. 齿轮传动设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004：120－131.

[4] 张展. 齿轮检测技术[M]. 北京：机械工业出版社，2012：73－84.

[5] 张宝珠. 齿轮加工速查手册[M]. 北京：化学工业出版社，2010：42－57.

收稿日期：20120715

基金项目：天津职业大学培育备案项目(20101201)

作者简介：张海伟(1980－)，男，天津蓟县人，讲师

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI: 10.3969/j. issn. 1001-3881. 2020. 09. 041
本文引用格式: 王丽华,方旭东,韩素敏,等.基于 BP 神经网络的三电平逆变器开路故障诊断研究[J].机床与液压,2020,48(9):187-191.
WANG Lihua,FANG Xudong,HAN Sumin,et al. Research on Open Circuit Fault Diagnosis of Three-level Inverter Based on BP Neural Network[J]. Machine Tool & Hydraulics,2020,48(9):187-191.

基于 BP 神经网络的三电平逆变器开路故障诊断研究

王丽华[1]，方旭东[2]，韩素敏[3]，郑书晴[3]
(1. 天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 河南能源化工集团赵固二矿，河南新乡 453600；3. 河南理工大学电气工程与自动化学院，河南焦作 454000)

摘要: 分析了三电平变频器发生故障的原因，并将 2 只 IGBT 开路故障进行分类，为各类故障进行编码。选择逆变电路 3 个桥臂的相电压信号作为研究对象，利用 $d-q$ 变换将三相电压信号转换为两相以减少故障信息的维数，通过傅立叶变换提取不同故障下的特征向量；建立一个 4 层的 BP 神经网络并进行故障诊断，将特征向量作为输入，对应故障的编码作为输出，对网络进行训练仿真，实现并验证了采用 BP 神经网络对三电平变频器故障诊断的可行性和准确性。

关键词: 三电平逆变器；逆变电路；故障诊断；BP 神经网络
中图分类号: TH165.3；TM464

Research on Open Circuit Fault Diagnosis of Three-level Inverter Based on BP Neural Network

WANG Lihua[1], FANG Xudong[2], HAN Sumin[3], ZHENG Shuqing[3]
(1. Department of Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
2. Zhaogu II Mine, Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd., Xinxiang Henan 453600, China;
3. School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000, China)

Abstract: The reason of the fault of three-level inverter was analyzed, the open circuit fault of two IGBTs was classified, and all kinds of faults were coded. Taking the phase voltage signals of three bridge arms of the inverter circuit as the research object, and the three-phase voltage signals were converted into two phases by using the $d-q$ transformation to reduce the dimension of the fault information, and the feature vectors under different faults were extracted by Fourier transform. A four-layer BP neural network was established and fault diagnosis was carried out. The network was trained and simulated with the feature vector as input, and the corresponding fault code as output. The feasibility and accuracy of fault diagnosis of three-level inverter using BP neural network were realized and verified.

Keywords: Three-level inverter; Inverter circuit; Fault diagnosis; BP neural network

0 前言

随着科技的进步与社会的发展，交流调速技术凭借其优秀的调速精度和显著的节能效果已经取代直流调速而成为主流调速方式[1]。变频器是调速系统的核心设备，而交流电路更是变频器的核心部件[2]。相关研究表明，大多数变频器故障是由于主电路的晶闸管损坏引起的，尤其是以逆变电路上的高频率开关器件开路故障居多[3]。如此高集成度的设备一旦发生故障，将会影响到整个系统的运行和安全状态，进而严重影响工厂的生产，如果得不到及时的排查和处理，可能造成严重的经济损失甚至发生安全事故[4]，这使得设备故障诊断的研究变得非常重要。

目前，对于三电平变频器的故障诊断理论尤其是关于变频器逆变部分的三电平逆变器方面的研究尚不成熟，国内外在这方面的文献报道也相对较少。WANG 等[4]提出了一种通过检测三相输出相电流的幅值来诊断三电平逆变器故障的专家系统方法。纪峰[5]提出了一种基于知识的方法来诊断单相三电平逆变器主电路功率开关器件的开路故障，并用晶闸管替代有故障的器件实现了容错控制。SON 等[6]提出了一种通过提取三相输出电流信号来诊断变频器故障的神经网络模型。但以上文献研究的都是三电平变频器

收稿日期: 2019-01-27
基金项目: 国家重点研发计划专项项目(2016YFC0600906)；河南省控制工程重点学科开放基金资助项目(KG2011-08)
作者简介: 王丽华(1978—)，女，硕士，副教授，主要从事电力电子设备的电磁兼容、电气设备远程故障维护等方面的教学和研究工作。E-mail: 498151055@qq.com。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

逆变电路主电路的单个功率开关器件的开路故障诊断问题。本文作者不仅对变频器主电路单个功率开关管的故障诊断问题进行了探讨，还对含有较多功率开关管的逆变电路双管故障的故障诊断问题进行了研究。

人工神经网络是近年来应用于各领域的一种预测评估方法，它可以模拟人脑的信息处理系统，能接收大量样本信息，揭示样本数据中蕴含的非线性规律[7]。神经网络系统可以处理大量非线性样本数据，具有良好的自组织性、适应性以及强大的学习、容错和抗干扰能力[8-9]。近年来，很多学者将神经网络与其他方法相结合，如通过将神经网络与粗糙集理论相结合，对电力电子电路进行故障定位[10]，但是缺点是需要对故障信号和数据进行变换处理，其实现难度较大。

本文作者以三电平变频器逆变电路为研究对象，使用 BP 神经网络对双管逆变器的故障诊断问题进行研究。

1 逆变电路的故障仿真分析

1.1 逆变电路故障分类

三电平变频器的整流电路通常采用不可控二极管，而逆变电路通常使用 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）。逆变电路为故障高发部位，其主电路故障仿真模型如图 1 所示。

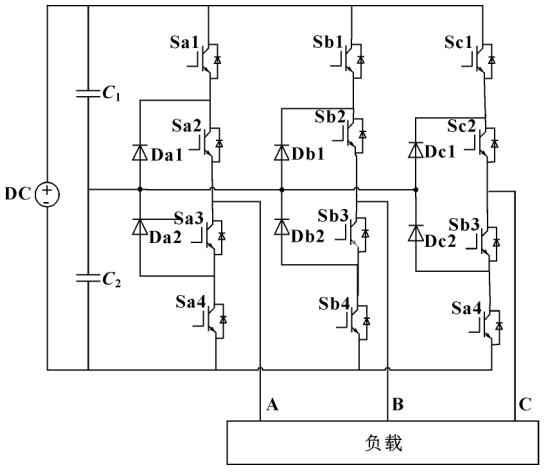


图 1 逆变电路主电路发生故障的仿真模型

使用 MATLAB 中的 Simulink 组件，建立逆变电路的仿真模型，并对故障进行逐一仿真。无故障发生时，相电压和电流波形如图 2、3 所示。有故障发生时，相电压和电流波形如图 4、5 所示。从图 4、5 可以看出，当 A 相和 B 相的 IGBT 同时发生了开路故障且都是每个桥臂上的第二个 IGBT 故障。可以发现，即使 C 相桥臂没有发生任何故障，但是该相输出的相电压与电流的波形已经发生了严重的畸变。因此，为继续研究这种复杂故障的诊断，则需要对剩下的六大类故障采用智能的诊断方法。

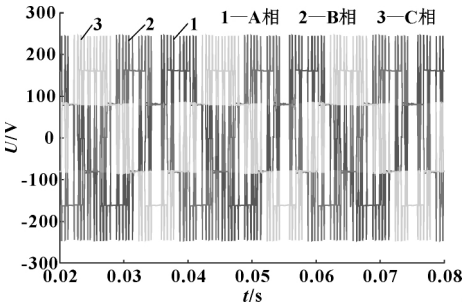


图 2 无故障时相电压波形

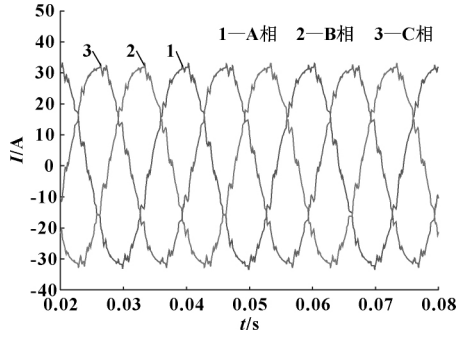


图 3 无故障时电流波形

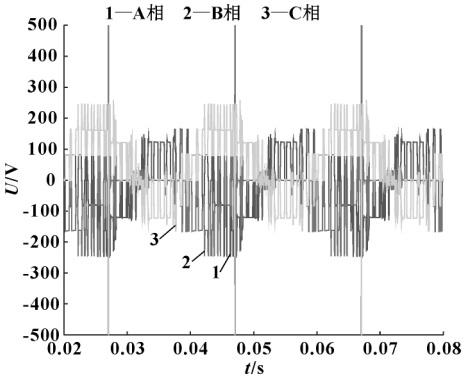


图 4 A、B 相故障时相电压波形

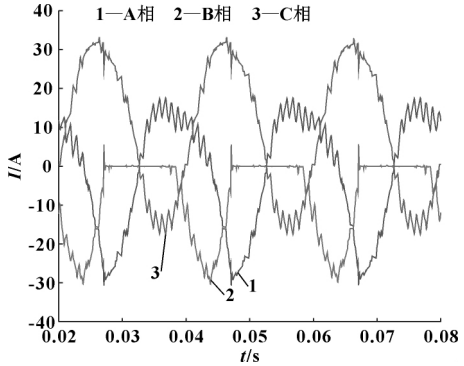


图 5 A、B 相故障时电流波形

假设逆变电路同时有 2 个 IGBT 发生开路故障，根据其所在位置将故障进行分类，可分为 7 个大类 60 个小类，具体如表 1 所示。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　逆变器 2 个 IGBT 同时发生故障时的 7 类故障类型

类型	故障划分依据	故障位置
1	同一桥臂上的 2 只 IGBT 发生故障	$S_{a1}S_{a3}$，$S_{a1}S_{a4}$，$S_{a2}S_{a3}$，$S_{a2}S_{a4}$，$S_{b1}S_{b3}$，$S_{b1}S_{b4}$，$S_{b2}S_{b3}$，$S_{b2}S_{b4}$，$S_{c1}S_{c3}$，$S_{c1}S_{c4}$，$S_{c2}S_{c3}$，$S_{c2}S_{c4}$
2	不同桥臂上半部分的 2 只 IGBT 发生故障	$S_{a1}S_{b1}$，$S_{a1}S_{c1}$，$S_{a2}S_{b2}$，$S_{a2}S_{c2}$，$S_{b1}S_{a1}$，$S_{b1}S_{c1}$，$S_{b2}S_{a2}$，$S_{b2}S_{c2}$，$S_{c1}S_{a1}$，$S_{c1}S_{b1}$，$S_{c2}S_{a2}$，$S_{c2}S_{b2}$
3	不同桥臂下半部分的 2 只 IGBT 发生故障	$S_{a3}S_{b3}$，$S_{a3}S_{b4}$，$S_{a3}S_{c3}$，$S_{a3}S_{c4}$，$S_{b3}S_{a3}$，$S_{b3}S_{a4}$，$S_{b3}S_{c3}$，$S_{b3}S_{c4}$，$S_{c3}S_{a3}$，$S_{c3}S_{a4}$，$S_{c3}S_{b3}$，$S_{c3}S_{b4}$
4	不同桥臂每相的 1，4 管各有 1 个故障	$S_{a1}S_{b4}$，$S_{b1}S_{a4}$，$S_{a1}S_{c4}$，$S_{c1}S_{a4}$，$S_{b1}S_{c4}$，$S_{c1}S_{b4}$
5	不同桥臂每相的 2，3 管各有 1 个故障	$S_{a2}S_{b3}$，$S_{b2}S_{a3}$，$S_{a2}S_{c3}$，$S_{c2}S_{a3}$，$S_{b2}S_{c3}$，$S_{c2}S_{b3}$
6	不同桥臂每相的 1，3 管各有 1 个故障	$S_{a1}S_{b3}$，$S_{b1}S_{a3}$，$S_{a1}S_{c3}$，$S_{c1}S_{a3}$，$S_{b1}S_{c3}$，$S_{c1}S_{b3}$
7	不同桥臂每相的 2，4 管各有 1 个故障	$S_{a2}S_{b4}$，$S_{b2}S_{a4}$，$S_{a2}S_{c4}$，$S_{c2}S_{a4}$，$S_{b2}S_{c4}$，$S_{c2}S_{b4}$

1.2　逆变电路故障特征提取

由逆变电路的工作原理可知，对每个 IGBT 的工作情况进行实时监测是非常复杂的，而逆变器输出的电压或电流波形具有周期性，并且故障发生时的故障特征信息也包含在此周期信号中，因此本文作者采用傅立叶变换原理将时域的信号波转换到频域中，以便于提取故障特征。其中，输出电流容易受负载变化而变化，容易产生干扰因素，所以选取逆变器输出的三相电压作为检测对象。采集输出三相电压的相电压波形，然后对其进行 $d-q$ 变换，以降低维度，简化分析，其 $d-q$ 变换的公式如式（1）所示。

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

由于变换之后的 u_d 和 u_q 都为周期信号，所以可以通过傅立叶变换对其进行分析，分别提取 u_d 和 u_q 的各次谐波的幅值与相位。提取了 u_d 和 u_q 各次谐波后，通过仿真分析及文献[11]，发现只需要提取 u_d、u_q 各自的直流分量、基波幅值、基波相位、二次谐波相位这 8 个量就包含能进行故障识别的各种信息，以这 8 个数据为特征向量组，作为神经网络的输入，表 2 为一组用于故障诊断的网络学习样本及故障的编码，其中为了使神经网络对样本学习简单化，提高诊断的准确性，采用 6 位二进制数对故障类型进行编码。

2　BP 神经网络的构建

2.1　网络层数的选择

设计 BP 神经网络时，首先要选择网络层数。BP 神经网络中 3 层或 4 层的 BP 神经网络（含 1 个或 2 个隐含层）可以实现样本空间的超平面划分（任意非线性映射），因此含有 1 个或 2 个隐含层的 BP 神经网络适用于大多数情况。在样本较多的情况下，可以增加 1 个隐含层用来减小 BP 神经网络的规模，进一步减低输出误差，以提高精度。本文作者选择 4 层（含输入输出层）的 BP 神经网络结构，如图 6 所示。

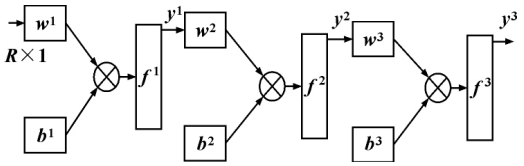


图 6　4 层神经网络结构

图中 w^1、w^2、w^3 分别为输入层、隐含层和输出层的权值；b^1、b^2、b^3 为阈值；y^1、y^2、y^3 分别为输入层、隐含层和输出层激励函数；f^1、f^2、f^3 分别为输入层、隐含层和输出层激励函数。

表 2　故障诊断的网络训练样本

序号	故障特征参数								故障编码	故障类型
	u_d				u_q					
	直流分量	基波幅值	基波相位	二次谐波相位	直流分量	基波幅值	基波相位	二次谐波相位		
1	53.45	122.5	131.1	−66.03	28.32	138.5	−158.2	13.02	000011	S_{a1}，S_{b4}
2	50.67	118	111.7	−25.55	31.12	143	−141.9	88.47	000100	S_{a1}，S_{c4}
3	52.83	122.5	130.6	112.9	28.93	139	−158.2	−169.5	000010	$S_{b1}S_{a4}$
4	1.705	152.9	119.6	51.7	59.76	106.3	−148	128.1	000110	S_{b1}，S_{c4}
5	50.53	117.3	112	155.3	30.44	143.8	−141.5	−92.15	000101	S_{c1}，S_{a4}
6	2.032	152.5	119.7	−127.1	59.96	105.2	−147	−50.5	000111	$S_{c1}S_{b4}$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表 2

序号	故障特征参数								故障编码	故障类型
	u_d				u_q					
	直流分量	基波幅值	基波相位	二次谐波相位	直流分量	基波幅值	基波相位	二次谐波相位		
7	21.17	114.5	131.5	−14.58	33.96	141.2	−162.1	−156.4	001000	S_{a1},S_{b1}
8	18.58	113	105.8	−54	34.53	142.7	−140.3	−93.96	001011	$S_{a1}S_{c1}$
9	39.18	155.3	118.6	−42.55	2.01	95.42	−150.2	−123.9	001101	S_{b1},S_{c1}
10	20.63	115	132	166	33.36	140.6	−162.1	25.78	001001	S_{a4},S_{b4}
11	18.69	113.9	105.9	125.7	34.92	142.5	−140.9	86.14	001010	S_{a4},S_{c4}
12	39.51	156.5	118.6	143.9	1.42	94.55	−150.8	56.88	001100	S_{b4},S_{c4}
13	70.37	104.4	132.6	−27.17	36.04	118	−155.6	−2.61	001110	S_{a2},S_{b3}
14	66.29	100	114.5	−53.82	41.1	119.9	−140.5	105.2	010001	S_{a2},S_{c3}
15	69.5	104.5	132	154.2	37.64	118.2	−155.9	175.1	010011	S_{b2},S_{a3}
16	2.456	128.8	121.4	52.18	78.63	91.03	−146.5	131.8	001110	S_{b2},S_{c3}
17	67.07	100.1	114.5	124.5	40.64	120.6	−140.1	−73.68	010000	S_{c2},S_{a3}
18	3.119	130.1	121.4	−127.6	78.02	89.88	−145.8	−51.41	010011	S_{c2},S_{b3}
……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
48	52.75	142.3	114.2	129.4	21.47	80.15	−132.3	54.2	101100	S_{c3},S_{b4}

2.2 激励函数的选择

双曲正切函数 Sigmoid 作为传递函数时，其将神经元的输入范围从（−∞，+∞）映射到（−1，+1），并且正切函数 Sigmoid 可微，所以用它作为文中所建立神经网络的隐含层神经元的激励函数，函数示意图如图 7。为保证输出线性化变化，输出层函数采用 Purelin，如图 8 所示。

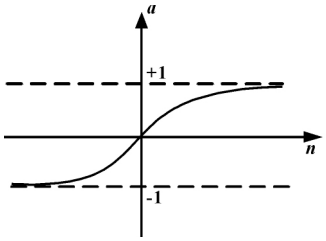


图 7 Sigmoid 函数

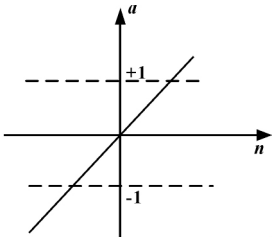


图 8 Purelin 函数

2.3 期望误差、训练速率、最大迭代步数的选取

在神经网络的设计中，期望误差（输出结果与目标结果相差的程度）越小越接近目标值，但取值太小会导致训练时间过长，另外训练速率和最大迭代步数也影响训练时间。本文作者设置期望误差为 0.000 04，训练速率为 0.1，最大迭代步数为 300。

2.4 BP 神经网络的算法

标准 BP 神经网络自身存在缺陷，比如收敛速度较慢，对参数选择比较敏感，存在局部极小点等。改进的 BP 神经网络算法能避免上述问题。本文作者采用改进的 BP 神经网络算法，即基于数值优化的 Levenberg−Marquardt 算法，该算法是在中等规模的神经网络中训练最为快速精准的[13]。

2.5 网络隐含层的神经元数

目前没有确切的理论来计算神经网络隐层神经元的数量，只能在实际情况中，通过经验及试凑的方法来寻找最合适的神经元数目。经过试凑法分别用神经元数量为 16、17、18 个的隐含层建立 BP 神经网络，发现隐含层含有 17 个神经元的 BP 神经网络结构具有迭代次数少、训练速度快等优点，因此文中 BP 神经网络结构的 2 个隐含层的神经元数目选择 17 个。

3 基于 BP 神经网络的诊断结果验证

以所提取的逆变电路故障特征向量作为神经网络的输入，故障种类的编码作为输出，对搭建的 BP 神经网络进行训练仿真。图 9 所示为针对逆变部分搭建的 BP 神经网络训练后的网络性能。表 3 为故障仿真部分输出结果。

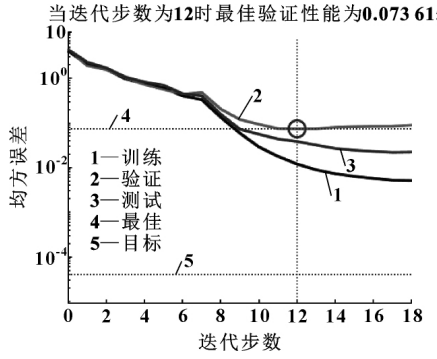


图 9 逆变部分 BP 神经网络性能

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　逆变电路故障仿真部分结果

序号	实际输出						期望输出
1	0.014 189	−0.005 72	−0.001 65	−0.005 84	0.982 076	1.022 948	000 011
2	0.032 036	0.052 226	0.000 45	1.017 80	0.017 123	−0.022 19	000 100
3	0.010 282	0.019 183	0.038 346	0.021 13	1.015 714	0.037 682	000 010
4	−0.019 98	0.015 113	0.001 122	0.994 754	1.005 367	−0.012 06	000 110
5	−0.005 19	0.005 335	−0.003 5	0.988 62	0.009 238	0.995 634	000 101
6	0.017 088	−0.002 13	0.003 059	0.958 309	0.965 717	1.008 324	000 111
7	0.029 186	−0.001 22	1.009 351	0.007 628	−0.033 49	0.029 434	001 000
8	−0.027 36	0.000 258	0.994 995	0.000 4	0.992 409	0.985 837	001 011
9	0.005 748	−0.010 91	1.011 685	1.013 298	0.003 79	1.030 964	001 101
10	−0.005 65	−0.003 58	0.995 724	0.002 05	0.006 968	0.990 979	001 001
11	−0.030 94	−0.001 08	1.025 016	−0.036 4	0.971 07	0.016 14	001 010
12	0.008 984	−0.000 014	1.017 138	1.017 295	−0.002 62	0.005 607	001 100
13	0.023 64	0.072 238	0.974 945	0.856 484	1.015 254	0.071 87	001 110
14	0.046 032	1.039 116	0.005 267	0.038 317	0.041 152	0.992 125	010 001
15	−0.019 92	1.019 507	0.009 214	0.008 185	1.042 889	0.966 529	010 011
16	0.012 498	0.010 204	0.963 872	0.997 33	0.979 965	−0.018 86	001 110
17	−0.041 53	1.000 555	−0.001 68	0.003 429	0.003 919	0.029 807	010 000
18	0.018 489	1.051 319	0.014 908	0.011 066	1.011 449	1.023 491	010 011

4　结论

对三电平变频器逆变电路各类故障进行分类并编码，对交流侧三相电压的相电压进行 $d-q$ 变换降维处理，再用傅立叶变换原理提取直流分量的幅值、基波幅值与相位、二次谐波的相位作为特征向量。同时，采用 BP 神经网络进行故障识别，经过试凑法及相关经验确定 4 层网络结构、隐层节点数及其他相关参数来搭建合适的 BP 网络结构。将上述特征向量作为 BP 神经网络的输入向量，对应的故障编码作为输出，编写程序搭建 BP 神经网络进行训练和仿真，并分析输出结果。通过对此实际输出与期望输出，验证了本文作者所提出的故障诊断方法是可行的。与传统的诊断方法相比，由于采用了相电压降维，特征向量值较少，实现起来简单方便，避免了复杂的数据处理问题。该方法具有提取故障特征简单方便、将复杂问题简单化、特征向量的选取简洁明了等优势，很好地解决了逆变器中两只管子同时发生故障的问题。

参考文献:

[1] 马天兵,杜菲,张安宁.变频器故障诊断技术及其发展趋势[J].工矿自动化,2007(3):32-34.
MA T B,DU F,ZHANG A N.Fault Diagnosis Technology of Frequency Converter and Its Development Trend[J].Industry and Mine Automation,2007(3):32-34.

[2] 张涛,刘玲,张新燕,等.基于神经网络的风力发电机变频器故障诊断研究[J].华东电力,2013,41(6):1161-1165.
ZHANG T,LIU L,ZHANG X Y,et al.Fault Diagnosis of Wind Power Generator Frequency Converter Based on Neural Network[J].East China Electric Power,2013,41(6):1161-1165.

[3] 王玉梅,张毅,夏玲玲,等.基于 IGBT 光伏发电逆变电路的设计分析[J].电子科技,2013(23):4.

[4] WANG B C,WANG J,SUN X F,et al.Phase Multilevel Inverter Fault Diagonsis and Tolerant Control Technique[C]//Proceedings of 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference.IEEE,2006.

[5] 纪峰.级联型逆变器的控制及开路故障诊断技术的研究[D].南京:南京航空航天大学,2005.

[6] SON H I,KIN T J,KANG D W.Fault Diagnosis and Neutral Point Voltagr Control When the 1-level Inverter Faults Occur[C]//Proceedings of IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference.IEEE,2004.

[7] 李元鹏.基于 AHP 和 BP 神经网络的人工湿地运行状态评估研究[D].济南:山东建筑大学,2018.

[8] 谭晓慧.新薛河人工湿地污染物净化效果与水质预测应用研究[D].青岛:青岛理工大学,2010.

[9] 赵正信,陈建生,陈亮.无黏性管涌型土的 BP 神经网络判别法研究[J].岩土工程学报,2008,30(4):536-540.
ZHAO Z X,CHEN J S,CHEN L.Application of BP Neural Network to Assessment of Noncohesive Piping-typed Soils[J].Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2008,30(4):536-540.

[10] CARPENTER G A,GROSSBERG S,MARKUZON N,et al.Fuzzy ARTMAP:a Neural Network Architecture for Incremental Supervised Learning of Analog Multidimensional Maps[J].IEEE Transactions on Neural Networks,1992,3(5):698-713.

[11] 肖刚.三电平逆变器故障诊断研究[D].西安:西安理工大学,2007.

[12] 张泽旭.神经网络控制与 MATLAB 仿真[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2011.

(责任编辑:张楠)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI:10.16660/j.cnki.1674-098x.2015.14.021

基于CAD/CAM软件的轴类键槽铣削方法①

吴娜
（天津职业大学机械工程实训中心　天津　300410）

摘　要：键槽加工是轴类零件加工中经常遇到的问题。对键槽的技术要求、装夹方法尤其是要对加工方法进行合理的阐述，重点是对是加工方法进行全面的阐述，重点还要对键槽铣削加工所要经历的3个阶段在加工过程中对加工刀具的选用、走刀路线的确定、加工质量的对比以及加工特点进行了分析比较。这类轴类键具有很多优点，构造上简洁并且使用起来也非常方便，以此减少时间，提高工作的效率，通过对轴类键槽进行铣削，整个过程要充分提高我们的精确度，综合考虑各个方面的因素。

关键词：软件　轴类键槽　铣削　铣削阶台
中图分类号：TG547　　文献标识码：A　　文章编号：1674-098X(2015)05(b)-0089-02

轴类零件是机器的所有的零件中最基本的零件之一，轴类零件的主要功能就是，使转矩充分的运动用来支撑零件。轴类键因为构造十分简单，并且具有可靠安全的优点，拆卸安装起来也十分方便，因此在对轴类零件进行固定，实现有效的传递方面的运用十分的广泛。

1 轴类键槽铣削的方法

随着数控技术的发展，进行数控加工在机械类的加工中，占据着很重要的作用。在进行数控加工中，我们常常会遇到需要加工键槽的情况。在这种情况下，我们应该采取用软件先绘制出跟零件相似的三维实体的模型，然后再选择合适的加工方法，在验证结果正确了以后，根据情况自动生成一定的数控加工程序。对轴上键槽加工工序安排在精磨之前和之后的优缺点进行了比较，介绍了铣削轴上键槽的加工方法，建议企业应根据轴类产品的实际情况确定合理的键槽加工工序。键是一种标准化的部件，通常情况下，用键来对轴和轴上的零件进行连接，并且在一定程度上起到固定的效果。轴和周围的齿轮在连接的时候一般都是用键来连接的，平键的连接方法是最为常见的方法之一。在对平键进行连接的时候，需要在轴颈上分别对键槽进行加工。通常情况下，进行轴类连接的零件有，钢以及球墨等。对键槽加工是轴类零件加工中经常遇到的问题。对键槽的技术要求、装夹方法特别是键槽的加工方法要全面的进行阐述，重点是要对加工质量的对比以及加工特点进行了分析比较。轴类组装的零件是进行机器生产中最基本和最重要的零件之一，这类零件的主要功能就是用来转矩并且还要支撑回转的零件。现在我们对普通的平键的键槽加工方法进行初步的探讨。

键槽要求把普通的平键的两个侧面当成工作面，尤其是我们在对机械设备进行维修的时候，通常都会遇到大部分的轴类零件的键槽，或者是零件的平面的部分出现磨损的情况。如果需要对这种损坏的情况进行合理的维修，最为常用的方法就是在对这些零件进行堆焊以后，需要对键槽或者平面的部分重新进行加工。但是，这些对那些采取流动性机械的加工，尤其是那种只具备车床却没有铣床的小型的单位来说，是一件特别困难的事情。对轴类零件的键槽的加工主要是在表面上进行加工，按照工序的先后顺序的安排，先对零件的表面加工，然后再加工键槽。由于进行次要表面的加工的工作量不大，对表面的加工工作应该安排在精加工之前，避免表面的精确度和表面上的质量因为搬运、安装等各种原因而使机器受到损伤。对轴类零件进行生产也是大批量的进行的，一般选择大批量的方法进行零件的加工，通常情况下认为，这些工件的材料的稳定度还没有得到提高。特别是在我们对键槽加工的时候，要先用工艺尺寸来衡量，接着再去计算键槽的尺寸，最后再根据实用的工具。尤其是我们进行键槽的加工的时候，要先用工艺尺寸链的方法把键槽的尺寸给计算出来，然后再设计好专门使用的工具。工人在进行加工的时候可以相应的减少测量的时间，从而更高的提高工作的效率。最后再对键槽进行磨削，可以用来修复键槽所引起的变形问题。

2 轴上键槽的加工

键是一种标准化的零件，通常用键来连接轴承和轴上的零件，起到岁周围的零件的固定作用。轴和齿轮之间的链接通常都会采用链连接。尤其是在现代我国的数控机床业，正处在日新月异的发展当中。在轴上进行键槽的加工问题主要指的是，如何才能保证槽宽与轴的中心线对称，所以说在进行加工的时候，如何保持对称度是很重要的。提高键槽精度的方法，首先要提高键槽铣削的精度的具体方法，键槽的精度与整个槽宽的尺寸和两个侧面的轴线都提出了一定的要求。用来提高键槽精度的方法主要有：采用虎口平钳来对工件的轴线进行精确的定位，从而确保工件的稳固，用来减少弹性。还要采用切痕对刀的方法，这个方法与指示表的测量的对称度这个方法相结合，从而提高整个工作的精度。提高铣刀直径的检查和安装的精度，尽量减少铣刀会偏摆的风险，以及铣刀的尺寸与对称度的影响，在对工具进行批量生产的过程中，要注意铣刀的磨损的情况，掌握铣刀的使用中的寿命，对影响键槽的铣削的加工质量的各个因素都要进行分析。

影响键槽的对称度的重要的因素是工件的定位和调整方法，当这个检测方法不符合对精度的要求的时候，要通过举例，加工出一大批的轴类零件，采用虎钳等工具来进行工作。影响键槽的宽度和尺寸的主要因素是刀具的尺寸的精度和刀具的磨损程度。如果刀具的尺寸精度不符合要求的话，就一定会影响到键槽的宽度和尺寸的精度。刀具的加工部位要是严重的磨损了，铣刀安装的精度都会影响到键槽的宽度和尺寸。

平面铣削，端铣刀铣削各种平面，刀杆刚度好，铣削厚度变化小，同时参加工作的刀齿数较多，切削平稳，加工表面质量较高，生产率较高。螺旋齿圆柱形铣刀，仅用于铣削宽度不大的平面，当选用较大螺旋角的铣刀时，可以适当提高进给量。套式立铣刀铣削阶台平面。立铣，当铣削宽度较大直径的立铣刀，以提高铣削效率。三面刃铣刀铣削侧面，在满足工件的铣削要求及工件不碰刀杆套筒的条件下，应选用较小直径的铣刀。两把三面刃铣刀铣削平行台平面，铣刀的直径应向等，装刀时，两把铣刀的刀齿应错开半个齿，以减小振幅。

键是一种标准化程度很高的零件，通常用键来对轴和轴上的旋转零键或者是摆动零件进行连接，主要是用来进行固定的，用来方便扭矩的传递。无论是轴还是齿轮一般情况下通通都用键来进行连接。最常见的连接方式是平键连接。在平键进行连接

（下转91页）

①作者简介：吴娜（1982，10—），女，天津人，汉，大学本科，实验师，研究方向：产学结合数控技能实训教学。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(3)复合材料具有脆性材料的特性。在到达失效点之前,他们的应力-应变关系是线性的。

3 复合材料在民用飞机上的应用

众所周知波音和空客是当今世界上两大民用飞机制造商,其同期产品波音787和A380上应用的复合材料是当今世界民用大飞机复合材料领域中的先进材料。

3.1 波音公司大型民用飞机的复合材料用量情况

波音公司复合材料技术的应用也经历了从次承力构件向主承力构件过渡的过程。B757飞机上复合材料的总用量达到了2t,约占结构重量的2.5%;B777飞机共用复合材料9.9t,约占结构重量的11%;B787的复合材料用量创历史最高记录达到50%,铝合金用量只占20%。上述占比都指重量百分比,由于复合材料密度小,如果按体积百分比计算,这个数据就更悬殊了。环氧树脂与石墨成为787客机主要复合材料,机体主要复合材料为强化环氧树脂与石墨的化合物。机翼部分的复合材料还将包括钛和金的化合物。新型的复合材料使飞机更耐用,同时降低了维修要求,增加了未来发展的潜力。复合材料的使用提高燃油效率20%(其中12%的贡献来自于大量采用复合材料结构),B787飞机的复合材料用量占结构重量的50%,其中碳纤维复合材料为45%,玻璃纤维复合材料为5%。波音B787飞机主结构的50%采用了复合材料,它包括整个机身尾段,机身和机翼的一些主要部件;钛和钢占到了B787材料总量的25%,用在机翼的某些部件、起落架、发动机挂件等部位;传统的铝材占了25%;而塑料、橡胶和其他材料占了5%。它是世界上第一个采用复合材料机翼和机身的大型商用客机,其复合材料应用广度远远超过B777。波音公司在以后生产的飞机上将会进一步扩大复合材料的使用比例。

3.2 空客公司大型民用飞机的复合材料用量情况

空客公司也一直注重复合材料的研究与应用,空客系列飞机复合材料所占结构重量比例也在不断上升。其主要应用部位包括中央翼、外翼、垂尾、平尾、机身、地板梁、后承压框等。空客自70年代中期开始研究复合材料,1983年生产A300、A310的复合材料方向舵,重量减轻20%;1978年开始研制A310、A320的垂尾,1995年完成,减重20%;此后在A320、A322、A330、A340等机型中复合材料用量达结构总重的15%左右,A340-500和A340-600还应用了热塑性复合材料机翼前缘。由于复合材料在A320、A340等飞机上的成功应用以及复合材料设计、制造和检查维修等技术的日渐成熟,复合材料在A380结构上的大量应用是一种必然。

4 讨论与总结

随着科技的不断进步和民航事业不断的发展,新型的复合材料将被广泛的应用到我国民航飞机中去。复合材料固有的缺点也将因技术的发展而不断消除,通过控制冷却速度等来控制金属基体的性质,从而让金属基复合材料的性能得到进一步提高,相信在不久的将来复合材料将在我国生产的打飞机上得到广泛应用。

参考文献

[1] Boeing737-600/700/800/900 AMM,Part I,SDS D633A101-BEJ. 2014-02-15.
[2] Boeing Fleet Team Digest 737NG-FTD-30-01005.
[3] Boeing Fleet Team Digest 737NG-FTD-30-06001.
[4] Boeing 737 DDG D6-32545-TBC. 2012-11-30.

(上接89页)

的时候,需要在轴颈上对键槽进行加工,构成这类轴类零件的材料有,碳钢或者是合金钢,对于那些具有高效运转速度并且拥有超重负荷的轴,对精度的要求都非常高。这类轴的工艺加工都很简单,经过一道道工序的加工之后,轴的表层就具备了很高的耐磨性,还具有一定的疲劳程度,内部也同时具有较高的强度和韧性。这些轴类零件的键槽在充分进行精磨之前,通常都是属于在次要表面进行的加工。还要按照切削工序的原则,先要在零件的表面进行加工,接着是进行次要表面的加工。由于进行次要表面的加工的工作量很小。又在主要的加工表面有一定的位置精度的要求。所以,我们的次要表面的加工工作,一般都会安排在主要表面的加工结束之后,或者会同时在表面加工这个过程中进行。

3 轴上键槽的加工方法

铣削阶台的方法:(1)用三面刃铣刀铣削,三面刃铣刀有直齿和错齿两种。直径大的错齿三面刃铣刀大多是镶齿式结构,当某一刀齿损坏后,只对一个刀齿进行更换即可。由于三面刃铣刀的生产效率较高,因此在铣削宽度B小于25 mm的阶台时,一般都采用三面刃铣刀加工,用一把三面刃铣刀铣双面阶台铣削时,可先铣出一侧的阶台,然后退出工川将工作台横向进给移动一个距离,紧固横向进给后铣出另一侧阶台。(2)用端铣刀铣削阶台,尤其是宽度较宽且深度较浅的阶台,常使用端铣刀在立式铣床上铣削。端铣刀刀杆刚度大,铣削时切屑厚度变化小,切削平稳,加工表面质量好,生产率较高。用立铣刀铣直角沟槽,封闭式的直角沟槽一般都采用立铣刀或键槽铣刀加工。立铣刀最适宜加工两端封闭、底部穿通、槽宽精度要求较低的直角沟槽,如各种压板上的穿通槽。由于立铣刀的端面切削刃不通过中心,因此,加工封闭式直角沟槽时要预钻落刀孔。影响键槽铣削精度的因素有,影响尺寸精度的因素:没有经过试铣检查铣刀尺寸,就直接铣削工件,造成尺寸误差。用键槽铣刀铣键槽,铣刀径向圆跳动过大;用盘形槽铣刀铣键槽,铣刀端面圆跳动过大,将轴槽铣宽铣削时,吃刀深度过大,进给量过大,产生"让刀"现象。

4 结语

对轴上键槽的加工只属于是一种表面上进行的加工,但是键槽却有着十分重要的作用,并且对于键槽的使用十分的广泛,因此,在对轴上键槽进行加工的工序和方法就显得很重要,而且应用的领域也十分广泛。我们要综合的考虑到各个方面的因素和特点,从而做出一个最正确的选择和决定,从而来保证轴类零件的精确加工,提高在加工生产中的劳动生产率。

参考文献

[1] 任志超.浅析模具制造中切削加工工艺[J].科技创新,2010(7):66-67.
[2] 郭徽.高速切削加工[J].机电产品开发与创新,2013(9):56-57.
[3] 安增详.关于高速切削工艺的分析[J].科技创新,2012(18):62-63.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：1002-6673（2020）01-023-03

基于 i.MX6 的智能车载多媒体系统中视频的设计与应用

霍淑珍
（天津职业大学，天津 300402）

摘 要：智能车载多媒体终端控制系统将多种娱乐媒体功能集中到嵌入式系统中并且应用到车辆上的视听娱乐系统。本系统以 i.MX6 高性能处理器为核心集成了具有倒车影像，WIFI，蓝牙，USB 接口，无线广播接收，视频显示等功能的多功能复杂的车载信息娱乐控制中心，具有多媒体控制的灵活性、多功能、高性价比等特点。视频显示模块为乘客提供良好的用户体验，是本系统的核心模块，采用 LVDS 通讯模式的模块化设计使得该系统满足车辆多种不同配置的需要，LVDS 通讯系统的稳定性为系统良好视频稳定性提供了保证。系统移植并使用了 Linux 系统作为系统软件，充分利用了 Linux 开源及可移植性好等优点，开发了适用车载系统的应用软件。

关键词：LVDS；数字视频；车载多媒体；Linux
中图分类号：TP302　　**文献标识码**：A　　doi:10.3969/j.issn.1002-6673.2020.01.008

Multi-Media System Design and Application Based on i.MX6

HUO Shu-Zhen
（Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300402，China）

Abstract：The Vehicle Multimedia Terminal Control System centralizes various entertainment media functions into embedded system. With i.MX6 high-performance processor as the core，the system integrates a multi-functional and information entertainment control center with backward driving vedio，WIFI，Bluetooth，USB interface，wireless FM/AM，video display and other functions. It has the characteristics of flexibility，multi-function and high cost-effectiveness of multimedia control. Video display module provides a good user experience for passengers. It is the core module of the system. The modular design of LVDS communication mode makes the system meet the needs of various configurations of vehicles. The stability of LVDS communication system guarantees the good video stability of the system. The system uses the Linux system as the system software，making full use of the advantages of Linux open source and good platform introduction and develops the application software suitable for the on-board system.

Key words：LVDS；Digital Video；Vehicle Multi-Media；Linux

0 引言

车载多媒体系统融合了语音识别、卫星定位、语音通话、蓝牙、WIFI 等现代技术，可以进行实时监控、人机对话、导航服务、行车记录等功能，用于对汽车的现代化的智能管理，是汽车必不可少的系统设备，为汽车驾驶人和乘坐人提供了一定的安全保障和娱乐服务等[1,2]。现代车载多媒体系统普遍采用了液晶显示技术，而且屏幕本身的尺寸越来越大，分辨率和刷新频率越来越高，为驾乘人提供了更好的视觉体验。本系统中采用先进的 i.MX6 处理器，设计了基于 LVDS 视频显示技术及 Linux 系统下的多媒体系统，LVDS 通讯方式联结使得系统与屏幕分离，可以通过软件配置以适应不同屏幕尺寸的需求，较传统系统解决了针对不同用户屏幕需要单独设计产品硬件的问题，扩展了系统应用范围。本文主要介绍该多媒体系统下的视频处理模块。

修稿日期：2019-12-07
作者简介：霍淑珍（1976-），女，硕士，教授。研究方向：自动化制造，电机控制，电子产品设计及开发。

1 车载多媒体系统的模块结构

系统主核心处理器使用了以 ARM Cortex A9 为核心的双核处理器 i.MX6，该处理器工作频率达到 800MHz，工作温度范围-40~125℃，是专用于汽车仪表以及信息娱乐的处理器，具有 2D 和 3D 引擎，拥有非常强的 2D，3D 图形加速和硬件编解码能力。i.MX6 视频处理单元（VPU）是一种高性能的多标准视频编解码器引擎，能够执行多种标准的编码和解码操作，完全支持 MJPG，MPEG-4，H.263 和 H.264 编码格式，编码的速率最高可达 30f/s[3]。IPU 单元能够连接多种接口形式的视频设备，可以进行图像处理，信号转换，图像增强等算法操作。

系统的内存系统采用四片 Micron 公司生产的DDR3L 型的 SDRAM 同步动态随机存取存储器，型号为 MT41K256M16，组成系统 2G 容量 64 位宽的内存系统，该

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

内存单元为 Linux 系统的运行提供了快速运行解决方案。系统存储介质采用 Micron 公司生产的 NAND 存储器 MT29F8G08,NAND 型存储器相比于 NOR 存储器具有存储容量大,价格便宜,擦除速度快等优点。在具有操作系统,地图导航等大容量存储需求的系统中,NAND 存储器提供了高性价比解决方案。

系统采用了 R7F7010233 系列单片机作为系统的外围管理处理器 SOC,负责与车辆其他系统进行通讯,电源管理,外设及 I/O 操作管理等功能。系统具有双 LVDS 接口,支持双屏幕操作。结构图如图 1 所示。

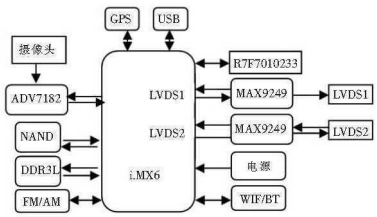


图 1 系统结构图

Fig.1 System architecture

2 LVDS 的应用

LVDS 技术采用极低的电压摆幅高速差动传输数据,可以实现点对点或一点对多点的连接,远距离传输信号。具有低功耗、低误码率、低串扰和低辐射等特点。其传输介质可以是铜质的 PCB 连线,也可以是平衡电缆[4,5]。将 LVDS 技术应用到数字视频传输系统中,通过合理的方案设计使系统能满足图像数据实时、稳定、高速传输的要求。

本系统中使用的 i.MX6 处理器具有两套 LVDS 接口,将系统的 IPU 处理单元与外部显示相连接。每套 LVDS 接口具有一个时钟接口及 4 个数据接口,i.MX6 系统内的串行化器将 24 位 RGB 数据和 4 组控制数据串行化为 4 组串行 LVDS 数据,并输出到具有 LVDS 接口的显示屏上。本车载视频应用中,系统要求显示器与视频主机分离,这使得系统即使使用了 LVDS 规范的线缆进行数据传输,依然不能够满足系统对于线缆的要求。系统采用了并转串芯片 MAX9249,该芯片允许最大串行数据载荷达到 2.5Gbps,可以使用屏蔽双绞线作为介质,通讯线缆长度可达 15m。在 4 通道 LVDS 模式下通讯时钟达到78MHz。MAX9249 与 i.MX6 的 LVDS 硬件连接如图 2 所示,图中 MAX9249 的 4 对 RXIN 数据输入端分别与 LVDS 的 TX 输出端相连接,LVDS 的时钟信号提供给 MAX9249 的数据时钟输入端 RXCLK。MAX9249 的输出端 OUT 通过系统的输出连接器,屏蔽线缆连接到具有串转并 LVDS 信号的显示器相连接,实现视频信号的输出。该芯片初始化通过 i.MX6 的 I2C 总线进行控制。

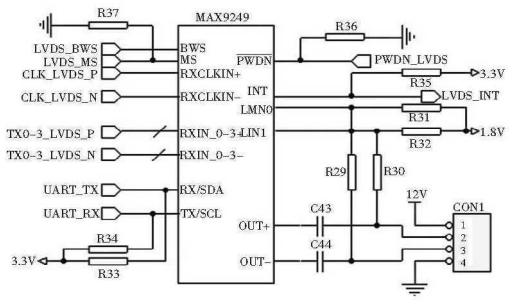


图 2 视频输出电路图

Fig.2 Video output

3 摄像头电路

本系统应用于汽车多媒体领域,系统采用模拟 CVBS 差分摄像头,相较于数字摄像头具有价格便宜,传输距离远,线路简单等优点。i.MX6 处理器提供了 CSI2/MIPI 接口,CSI(COMS Sensor Interface)接口通常从 COMS 传感器,视频编码器和其它视频输出设备收集数据,其能够支持多种制式的摄像头标准。系统采用了 ADV7182 视频模拟数字转换芯片,该芯片将模拟摄像头的模拟信号转换成适用于 CSI2 接口的数字信号交由 i.MX6 进行视频处理,CSI2 接口可接受多种模式的视频输入,如 BT.656,BT1120,YUV422,RGB888,YUV444 等。ADV7182 具有四路输入信号,可以支持 Y/C (S-Video)和 YPrPb 视频信号及差分或伪差分 CVBS 信号等多种信号模式。当采用差分信号输入时 ADV7182 与 i.MX6 的硬件电路如图 3 所示,输入端 AIN1 与 AIN2 分别与摄像头输出正负端相连接,数字视频像素数据输出端 P0-P8 与 i.MX6 的视频输入端CSI0_D[12]-CSI0D[19]相连接,行信号与场信号输出与 i.MX6 对应的输入信号相连。本系统中该芯片的输出为 8-bit ITU-R BT.656 YCrCb 4:2:2 数字视频流,i.MX6 的 CSI 视频接口配置成该模式的输入信号。

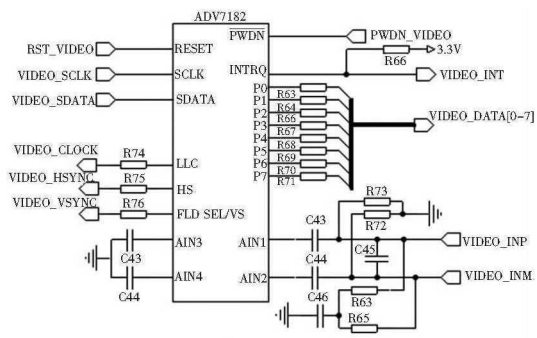


图 3 摄像头硬件电路图

Fig.3 Camera input schematic

4 系统软件

4.1 摄像头驱动

系统移植 Linux 操作系统作为其软件平台,V4L2 (Video For Linux 2) 是 Linux 2.6 内核中广泛采用的内核视频驱动模型[6]。V4L2 在 Linux 中被设计成一个字符设备,使用字符设备的操作函数对其进行操作,通过统一的接口函数该框架为视频设备提供了 Linux 标准操作框架。为了将 ADV7182 的驱动函数与 V4L2 视频驱动框架结合,需要根据本系统的使用的视频数字转换芯片提供用于该芯片的一组核心硬件驱动函数,然后在编译系统时将该芯片的

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

驱动编译到 Linux 内核中。驱动程序与 V4L2 的驱动框架如图 4 所示,驱动程序在系统启动时完成注册,应用程序通过 V4L2 调用摄像头驱动。ADV7182 摄像头驱动程序主要操作函数包括两部分,如Linux 中结构体定义:

```
static const struct v4l2_subdev_ops sensor_ops = {
    .core = &sensor_core_ops,
    .video = &sensor_video_ops,
};
```

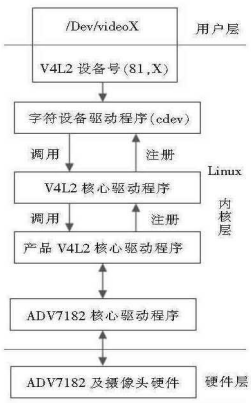


图 4 摄像头驱动框架图
Fig.4 Camera driver structure

sensor_core_ops 结构体其中包括 ADV7182 的初始化,复位,电源管理,ioctl 的具体实现等操作。

sensor_video_ops 结构体实现图像数据格式,帧频率等参数信息。

在驱动程序被调用时,首先完成 ADV7182 芯片的初始化、摄像头接口的初始化、视频数据帧内存缓冲区的申请,并将其映射到用户空间。通过 ioctl 命令 VIDIOC_STREAMON 开始视频数据的采集。

4.2 LVDS 显示驱动

Linux 中使用 Framebuffer 帧缓冲接口作为显示设备的驱动接口。这种接口使用户可以将它看成为用于显示的一段内存,映射到进程用户空间后,可以直接进行读写操作,而写操作可以立即反应在屏幕上。Framebuffer 调用由驱动源码厂家提供的 IPU FB Driver 驱动程序,该驱动程序实现图像的旋转,格式转化,图像融合等操作接口,并且将合成的最终显示数据发送给 MXC Display Driver 去相应配置的显示器实现图像显示。MXC Display Driver 驱动函数提供了一组供 IPU 调用的驱动函数,使得不同的显示接口对于 IPU 具有相同的调用接口。驱动显示的相互调用框架如图 5 所示。本系统使用了单 LVDS 显示器或双 LVDS 显示器,所以需要在系统的 uboot 中配置 LVDS 参数及匹配显示屏参数。

```
video=mxcfb0:dev=ldb,LDB-XGA,if=RGB666
video=mxcfb1:dev=ldb,LDB-XGA,if=RGB666
```

若要正确的显示图像,需要将显示器信息正确的传递给 Linux 系统,该参数的设置用到 ldb.c 中关于显示参数设置的结构体 fb_videomode,该结构体包含分辨率,像素时钟频率,行扫描脉冲宽度,帧扫描脉冲宽度,显示模式等显示模式的关键参数。在显示图像时,打开/dev/fbx 设备,将 Framebuffer 的内存空间映射到用户空间,用户向该空间写如图像数据,IPU 经过设置的图像转换等操作并将处理后数据传输到显示器实现显示。

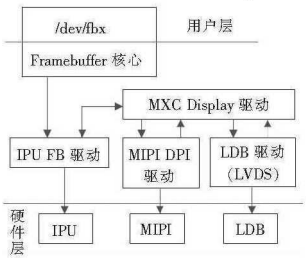


图 5 LVDS 显示驱动框架图
Fig.5 LVDS video driver structure

4.3 倒车影像用程序

QT 开发环境具有跨平台,通用的 C++编程语言,特有的信号与槽机制等优点,因此在嵌入式开发领域内得到了较为广泛的应用[7]。在本系统中使用了 QT5.5 版本,下载 QT 的源码,编译并配置 QT 支持 Imx6 平台-make libs-device imx6。通过./app -platform linuxfb 使得 QT5 支持 Linux 视频缓冲区 Framebuffer。在 QT 内使用 QPainter 类在 Qimage 窗口中绘制所要显示的图像。并通过 Updata()函数重新绘制图像。

```
QImage img;
img.loadFromData(rdc_from_Fb);
label->setPixmap(QPixmap::fromImage(img));
```

当 Linux 守候程序通过 IPC 硬件联结收到来自片上 SOC 单片机 R7F7010233 监控到的 CAN 总线倒车命令时,该倒车影像程序被唤醒执行,程序中启动定时函数,该定时函数每 33ms 被执行一次,将 Camera 的视频信息显示到屏幕上,该定时函数通过超时触发槽函数ShowFrame()定时读取摄像头驱动得到的视频数据,通过 QIamge 类更新倒车影像图像。通过槽函数定时调用如下面程序片段所示。

```
QTimer *timer = new QTimer(this);
connect(timer,SIGNAL(timeout()),this,SLOT(ShowFrame()));timer->start(33);
```

5 结论

经过产品的硬件及软件的不断优化改进,整机系统满足系统设计的各项指标,摄像及显示系统能够清楚的捕捉并且显示图像,LVDS 数据输出端波形正常,LVDS 信号及串行化芯片具有抗干扰能力强,屏幕显示清新,经过不同的软件配置,实现了对于不同规格显示屏的驱动,其中包括 1024×768 的标准七寸屏,1920×1080 的十寸高清屏等。产品模块化设计,适应不同用户的需求。

参考文献:

[1] 李顺,杨煦.嵌入式智能车载多媒体终端控制系统的设计与实现[J].沈阳航空航天大学学报,2013,3.
[2] 王群华.智能车载多媒体终端控制系统的设计及实践应用分析[J].黑河学院学报,2017,5.
[3] 杜启亮,曾东明,田联房.基于 IMX6 的手扶电梯智能视频监控系统设计[J].现代电子技术,2017,21.
[4] 高同海,宋明,丁晓明.自适应均衡器在 LVDS 总线长距离传输中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2005,11.
[5] 周欢,宋征宇.基于 BMU/LVDS 总线的闭环总检查测试技术研究[J].航天控制,2013,3.
[6] 王飞,孔聪.基于 V4L2 的 Linux 摄像头驱动的实现[J].电子科技,2012,2.
[7] 陈峰,郭爽,赵欣.基于 QT 和嵌入式的视频监控系统[J].通信技术,2011,10.
[8] 向明尚,张志华. 基于 Qt 的多线程嵌入式系统设计与实现[J].科技与创新,2017,4.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于 I²C 通信的 PCA9685 在舵机控制中的应用

李　强，霍淑珍，郑　伟
（天津职业大学，天津 300410）

摘　要：文章采用 I²C 总线通信方式，将 PCA9685LED 控制芯片应用在舵机控制中。PCA9685 接收主控芯片的指令，通过输出 PWM 脉冲信号的方式用以控制最多不超过 16 路舵机或其他输出通道，最终实现了舵机控制的功能。

关键词：I²C 总线；PCA9685；PWM；舵机控制
中图分类号：TP273　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-2945(2018)28-0173-02

Abstract: In this paper, the I²C bus communication mode is adopted, and the PCA9685LED control chip is applied to the control of the steering gear. The PCA9685 receives the instruction of the main control chip and uses the way of outputting the PWM pulse signal to control the steering gear up to 16 channels or other output channels, and finally realizes the control function of the servo gear.

Keywords: I²C bus; PCA9685; PWM; servo control

在自驾仪中，舵机是决定飞机舵面偏转角度的执行机构，一般的无人机需要四个舵机用于控制无人机的俯仰、偏航和滚转，通常由 PWM 信号进行控制[1]。PCA9685 是一款用于产生 16 路 PWM 信号的 LED 控制芯片，采用 I²C 总线与主控芯片进行通信[2]。由于 PCA9685 具有可以产生 16 路 PWM 脉冲、控制独立精准、编程简单灵活等特点，以其为基础实现的舵机控制能够有限减少硬件和软件设计的复杂度，具有高可靠性[3-4]。

1　I²C 总线协议

自驾仪的主控芯片一般具有多种资源与传感器或其他外设进行通信，包括串口、I²C、SPI、QSPI 等。I²C 总线具有简单、有效的特点，能够有效减少芯片管脚和线路连接的数量，本文介绍的 PCA9685 舵机控制器就是采用 I²C 与主控芯片进行通信的[5]。

I²C 总线是由 Philips 公司开发的，是一种简单的双向二线制同步串行总线。它只需要两根线即可在连接于总线上的器件之间传送信息。

I²C 总线一般由两根数据传输线构成：一根时钟线（SCL）、一根数据线（SDA）。I²C 总线协议一般要求每次发送字节的长度必须为 8 位，每次通信由主机、从机两端完成。整个通信过程如图 1 所示[6]。

I²C 写操作流程为：

（1）主机发起开始信号；

（2）主机发送 I²C 地址（7 位）和写操作 0（1 位），等待确认；

（3）从机发送确认；

（4）主机发送寄存器地址（8 位），等待确认；

（5）从机发送确认；

（6）主机发送数据（8 位），即要向寄存器中写入的数据，等待确认；从机发送确认；

（7）主机发起停止。

I²C 读操作流程为：

（1）主机发送 I²C 地址（7 位）和写操作 0（1 位），等待确认；

（2）从机发送确认；主机发送寄存器地址（8 位），等待确认；

（3）主机发送开始；主机发送 I²C 地址（7 位）和读操作（1 位），等待确认；

（4）从机发送确认；从机发送数据（8 位）。

（5）主机发送确认。

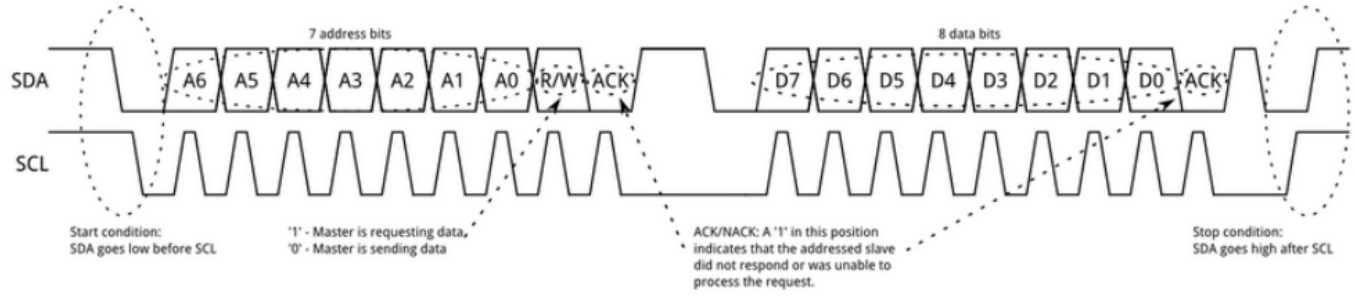


图 1　I²C 通信协议

作者简介：李强（1990-），男，汉族，天津市滨海新区，天津市职业大学机电学院助教，硕士，研究方向：嵌入式系统应用、飞行控制系统。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从以上分析可以看出，I²C 总线通信只需要两根线（SCL 和 SDA），可并联多个外设使用，通过每个外设的 I²C 地址区分不同外设。从机的 I²C 地址最低位代表读（1）或写（0）操作。

2 PCA9685 的用途及特点

PCA9685 是一款基于 I²C 总线控制的 16 路 LED 背光调节控制芯片。每一路 LED 输出端均可自由调节 PWM 波的频率（40~1000Hz）和占空比（0%~100%）。这款芯片主要通过输出不同占空比的 PWM 脉冲信号来控制舵机转动的角度，其主要特点如下[7]：

（1）PCA9685 可编程调节 16 路 PMW 脉冲的占空比以及高电平到来的时刻，分辨率为 12 位（4096）。

（2）在快速模式下 I²C 总线的速率可以达到 1MHz，此外 SDA 端口 30mA 的驱动能力可以在高总线负荷上使用。

（3）PCA9685 的 PWM 脉冲输出频率范围为 40~1000Hz，它内置的 25MHz 振荡器和外部时钟可以选择使用。

（4）PCA9685 的硬件地址被设计为 6 位，这样在同一个 I²C 总线上可以连接 62 个同一芯片，每个芯片有 4 个基于 I²C 总线的软件可编程地址，并且任一芯片可以被同时或单独寻址。

（5）PCA9685 的电压工作范围为 2.3~5.5V，使用温度为-40℃~+85℃。

3 PCA9685 舵机控制的实现

通常 PCA9685 与舵机连接需要三根线，分别是电源线、控制线和地线，其中控制线是 PWM 脉冲的输出端，电源线和地线为舵机内部的直流电机供电。舵机转动的角度和控制线 PWM 脉冲的宽度（占空比）成正比，1ms 对应 0°，2ms 对应 180°，并且脉宽在 1~2ms 之间变化时，舵机角度从 0°~180°线性增长。因此，要实现对舵机的控制，需要在 PCA9685 正确的地址设工作模式、PWM 脉冲的频率及占空比即可。

（1）芯片访问地址的确认。PCA9685 的访问地址由芯片的 6 位硬件地址引脚连接电平决定，最高位为 1 不变，最低位用于区分 I²C 通信的读写模式，主控芯片通过该地址向 PCA9685 的不同寄存器写入不同数据，就可以控制 PCA9685 向舵机发送想要的 PWM 脉冲。

（2）PMW 脉冲频率的设置。PCA9685 脉冲输出频率的范围为 40~1000Hz，一般舵机控制需要的频率为 50Hz。计算公式为：

$$prescal=\frac{EXTCLK}{4096*refresh_rate}-1$$

其中 prescal 为向频率设定寄存器（地址为 0XFEH）中写入的值，EXTCLK 为主控芯片的时钟信号，refresh_rate 为期望得到的 PWM 脉冲频率，这里为 50。实现代码为：

```
double prescale = 25000000;
prescale= (prescale/ (4096*50) -1) ;
hal_i2c_write (REG_MODE1，0X10) ;
hal_i2c_write (REG_PRESCALE，(U8) prescale) ;
hal_i2c_write (REG_MODE1，0X00) ;
```

（3）脉冲宽度的设置。

PCA9685 的任一通道均有 4 个寄存器用于设置 12 位计数器以此来实现脉宽调节，分别用于控制高电平开始到结束的时刻，一般将 LEDn_ON 设置为 0，如果脉宽为 duty，则 LEDn_OFF 的计算公式如下：

$$LEDn_OFF=duty/\left(\frac{1000000}{4096*refresh_rate}\right)$$

实现代码为：

```
LED_OFF=duty/ (1000000/ (4096*refresh_rate)) ;
hal_i2c_write (REG_LED0_ON_L，0X00) ;
hal_i2c_write (REG_LED0_ON_H，0X00) ;
hal_i2c_write (REG_LED0_OFF_L，U8 (LED_OFF)) ;
hal_i2c_write (REG_LED0_OFF_H ，U8 (LED_OFF>>8)) ;
```

4 结束语

本文在 PCA9685 LED 控制芯片的基础上，通过 I²C 总线协议，设计了一种可产生 16 路 PWM 脉冲，并可灵活设置频率及占空比的舵机控制实现途径。经过本文的分析及设计，最终从原理上实现了这一应用，有效减轻了硬件设计和软件设计的工作量，是一种行之有效的解决办法。

参考文献：

[1]梁锋，王志良，解仑，等.多舵机控制在类人机器人上的应用[J].微计算机信息，2008（2）：242-243.

[2]周英路，王志亮，朱松青，等.基于 PCA9685 的多路舵机控制器设计[J].南京工程学院学报（自然科学版），2017，15（04）：26-31.

[3]韩玉龙，赵瑾，申忠宇，等.竞赛机器人多舵机控制方法的研究与实现[J].自动化仪表，2016，37（07）：46-49.

[4]吴清，刘红周，郑建荣.分时复用 PWM 模块的多舵机控制信号的实现[J].微特电机，2016，44（08）：113-116.

[5]张军才，茹伟，赵腊才，等.I~2C 总线测试系统的设计与实现[J].仪表技术与传感器，2016（12）：118-120.

[6]林倩.I²C 协议解析及实测波形[J].数字技术与应用，2016（11）：57-58.

[7]冯月芹.4 位 RGB LED 彩灯控制器 PCA9633 的应用[J].微型机与应用，2015，34（07）：30-33.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于IEEE标准电脑鼠走迷宫控制算法研究与优化

郑 伟 张永飞
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：结合IEEE标准电脑鼠走迷宫竞赛的要求，为了进一步提高电脑鼠的性能，在对电脑鼠软硬件系统做深入研究的基础上，优化了电脑鼠走迷宫控制算法。通过10个随机迷宫实验，结果显示优化后电脑鼠迷宫冲刺时间平均减少了37.2%。

关键词：电脑鼠；迷宫搜索；自主移动机器人；向心法则
中图分类号：TP368.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1008-8415[2016]-03-0073-06

1 引言

电脑鼠（Micro-Mouse）是一种由嵌入式微控制器、传感器和机电运动部件构成的小型智能机器人，可以在“迷宫”中行驶、记忆和选择路径、寻找出口，并最终自动抵达预设目的地。电脑鼠是多学科融合的结晶，用于教学或竞赛，不仅可以提高参与者在相关领域的技术水平和应用能力，还能培养参与者的创新能力，以及发现问题、分析问题和解决问题的能力。电脑鼠竞赛也能为机器人产业化和不同地区的技术交流提供一个广阔的平台。

近年来，电脑鼠走迷宫竞赛在国内日渐兴起，参与群体也愈加庞大。竞赛一般基于IEEE标准，其中迷宫由16×16个、18cm×18cm大小的正方形单元格组成，迷宫由隔板沿单元格布置构成，随着隔板布置的变化形成不同的迷宫地图，电脑鼠起点在迷宫任意一角，终点一般在迷宫中心。为了使电脑鼠在迷宫中高效地完成搜索和冲刺，控制算法至关重要，鉴于此，本文对电脑鼠走迷宫的控制算法进行了探讨和研究，并在此基础上对原有控制算法做了优化。

2 电脑鼠及迷宫搜索

2.1 电脑鼠硬件组成及结构

本次实验所用电脑鼠是由天津启诚伟业科技有限公司设计生产的一款电脑鼠MicroMouse615-JL，主要由传感器、微处理器、执行部件、机械结构组成。

Micro-Mouse615-JL电脑鼠含有6个红外线传感器（简称红外探头），每个红外探头由红外线发射装置和红外线接收装置组成，6个红外探头相互配合用于检测左、前、右三个方向的墙壁远近信息。另外使用电脑鼠底板上的6个可调电位器控制红外信号发射强度，如图1所示。



图1 电脑鼠红外线传感器及可调电位器

Micro-Mouse615-JL微控制器为Luminary公司生产的带Cortex-M3内核的ARM处理器LM3S615。作为电脑鼠的大脑，它判断和处理电脑鼠几乎所有的输入输出信息，包括位置信息，速度信息，角度信息和电机状态信息等，而且所有的数据分析，算法实现和指令执行也都需要由微处理器来完成。LM3S615及其引脚如图2所示。

收稿日期：2016-03-21
项目来源：该文为天津职业大学教师企业实践科研项目“基于数据分析和处理的控制系统优化”和天津职业大学学生科技创新基金项目“微型机器人路径搜索控制算法设计与实践”的研究成果。
作者简介：郑 伟（1983-），男，天津市人，天津职业大学机电工程与自动化学院，讲师，硕士。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

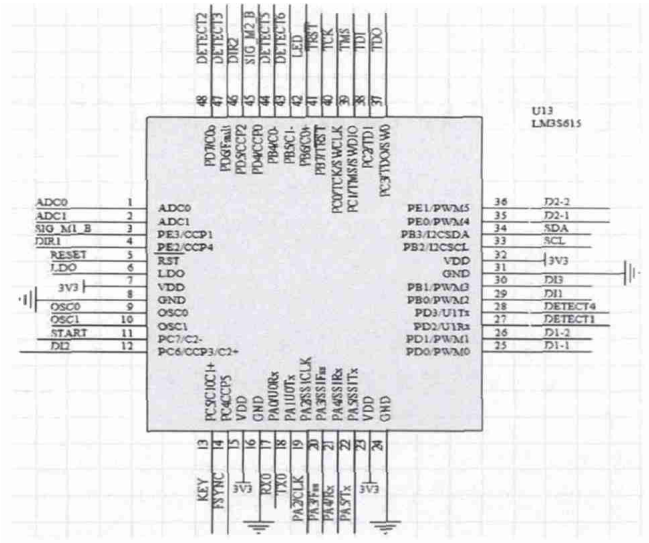


图2　LM3S615及其引脚

电机作为电脑鼠的执行部件和动力源，既要能输出足够的马力还要便于控制。由于直流电机能使电脑鼠转速控制更加灵敏，因此Micro-Mouse615-JL电脑鼠使用空心杯直流电机，输入电压7.4V，最大输出功率1.96W，最大转速14000rmps。

另外，电脑鼠的机械结构即车身，在设计或改造中要综合考虑体重、大小和底盘高低等多重因素，才能使电脑鼠发挥出最好的性能。

2.2　电脑鼠程序调试软件

本次程序调试软件选用IAR Embedded Workbench for ARM（下面简称IAR EWARM）。IAR EWARM是一个针对ARM处理器的集成开发环境，它包含项目管理器、编辑器、C/C++编译器和ARM汇编器、连接器XLINK和支持RTOS的调试工具C-SPY。在EWARM环境下可以使用C/C++和汇编语言方便地开发嵌入式应用程序。比较其他的ARM开发环境，IAR EWARM具有入门容易、使用方便和代码紧凑等特点。

2.3　迷宫搜索过程

电脑鼠在迷宫搜索过程中要经历四个状态，分别为等待状态、启动状态、搜索状态和冲刺状态。

（1）等待状态。初始状态下，电脑鼠静止在起点，等待开始命令。此时可以观察电压指示灯，判断电池电量是否充足。当启动按键按下后，电脑鼠进入启动状态。

（2）启动状态。进入启动状态后，电脑鼠需要根据第一次转弯的方向判断起点是在坐标的（0，0）点还是在（15，0）点。如果电脑鼠第一次转弯时向左转，则起点坐标为（0，0）；如果向右转，则起点坐标为（15，0）。

（3）搜索状态。搜索过程中，电脑鼠的任务除了搜索迷宫终点之外，还要记忆迷宫地图，至少找出一条从起点到终点的路径。

（4）冲刺状态。迷宫搜索完毕后，根据找出的最优路径，冲刺到终点，冲刺结束后返回起点。

3　电脑鼠程序设计与实现

3.1　电脑鼠速度控制

电脑鼠速度控制是通过控制电机转速实现的。由直流电机转速公式（1）可知，当磁通恒定时，电机转速与电压近似成正比，因此改变电机电枢电压是电脑鼠速度控制的主要思路。

$$n=\frac{U-Ir}{C_e\Phi} \tag{1}$$

式（1）中，n表示电机转速；U表示外加电压；I表示电枢回路电流；r表示电枢回路电阻；C_e表示电动势常数；Φ表示主磁极磁通。由于r极小，所以有Ir < U。

电脑鼠电机电枢电压的改变，则是通过调节微处理器脉冲宽度调制（PWM）触发信号的占空比来实现的。电机转速控制过程如图3所示，先由编码器测得电机的实际转速，并与转速设定值做比较，然后将偏差传给PI控制器，PI控制器的运算结果再去调节微处理器PWM触发信号，从而改变电机电枢的外施电压。

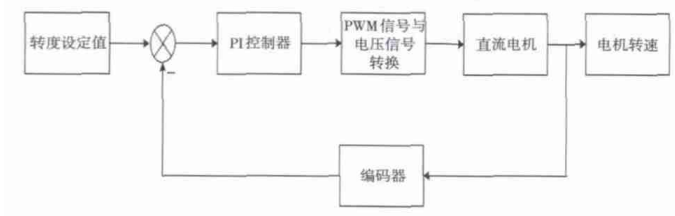


图3　电机转速控制

3.2　电脑鼠姿态控制

为了使电脑鼠在迷宫中行驶得更加稳定，需要对电脑鼠姿态进行控制，主要包括以下3种情况。

（1）正常运行时，电脑鼠保持在迷宫格中间，如图4（a）所示，左右45度红外探头均检测不到隔板，此时电脑鼠处于最佳的位置和姿态，不需要姿态修正。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（2）当电脑电脑鼠向左偏，如图 4（b）所示，左侧45°红外探头检测到左侧隔板，而右侧斜45°红外探头没有检测到隔板时，需要调整姿态，使它回到中间位置。修正方法为：调整电脑鼠左轮速度大于右轮速度使电脑鼠向右偏移回到中间位置，直到左右45°红外探头均检测不到隔板为止。电脑电脑鼠向右偏处理方法与左偏处理方法相同。

（3）当电脑鼠只有一侧存在隔板，例如只有左侧有隔板，如图 4（c）所示。此时当电脑鼠靠近右侧时，由于右边没有隔板，这时两侧斜45°红外探头都检测不到隔板信息，如果只考虑左右斜45°红外探头信息，则结果会和电脑鼠在迷宫格中间的正常姿态混淆，从而出现错误。修正方法为：增加使用左方红外探头，当左方红外探头检测到左方存在隔板，且距离隔板过远时，通过调整电脑鼠左轮速度小于右轮速度，使电脑鼠向左偏移回到中间位置，以达到修正目的。

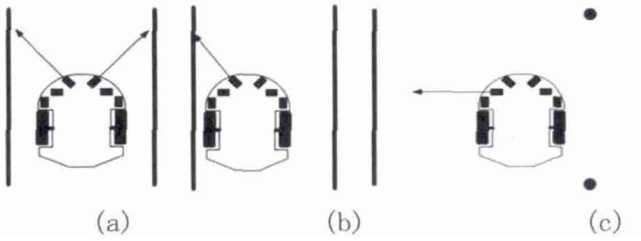


图4　电脑鼠姿态分类：

(a)正常姿态，(b)电脑鼠左偏，(c)左侧有隔板

3.3　迷宫搜索算法

电脑鼠在迷宫内行驶的方向只有 3 个，即：前、左、右，如果遇到岔口，即有 2 个或 2 个以上的方向可以选择时，迷宫搜索算法则决定方向的选择。向心法则算法是一种新型的深广结合的迷宫搜索算法，目前得到了广泛应用。向心法则是由左手法则、右手法则、中左法则和中右法则按照一定的规则有机构成，并以迷宫中心方向为前进的最优方向。各法则描述如下：

（1）左手法则。当电脑鼠遇到岔口时，首先检测左侧是否可行，可行则左转；否则检测前方是否可行，可行则直行；再否则右转。

（2）右手法则。当电脑鼠遇到岔口时，首先检测右侧是否可行，可行则右转；否则检测前方是否可行，可行则直行；再否则左转。

（3）中左法则。当电脑鼠遇到岔口时，首先检测前方是否可行，可行则直行；否则检测左侧是否可行，可行则左转；再否则右转。

（4）中右法则。当电脑鼠遇到岔口时，首先检测前方是否可行，可行则直行；否则检测右侧是否可行，可行则右转；再否则左转。

（5）向心法则。综合利用左手法则、右手法则、中左法则和中右法则，当电脑鼠遇到岔口时，做到始终向离中心点最近的方向前进。具体实现策略如图 5 所示。

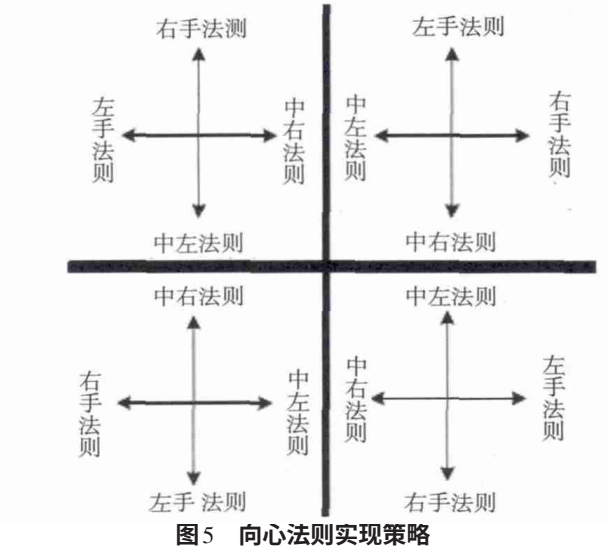


图5　向心法则实现策略

4　电脑鼠走迷宫控制算法优化

4.1　行进速度优化

电脑鼠行进速度决定了迷宫搜索以及冲刺的时间，但是如果速度过快，电脑鼠容易在转弯处碰壁，影响其稳定性。为了兼顾速度和稳定，通过反复实验，对搜索速度和直线冲刺速度做了调整。第一，将搜索速度 PID 设定值改为 40（原设定值为 36）。第二，直线冲刺则采用分级速度，共分 7 个等级，当直行距离大于 7 个格时，最大速度 PID 设定值为 100；等于 7 格为 90；等于 6 格为 80；等于 5 格为 70；等于 4 格为 60；等于 3 格为 50；小于 3 格为 40。行进速度优化后程序如下所示。

```
/*电机加速运行时的最大速度*/
#define  MAXSPEED  100
/*电机搜索迷宫时的最大速度*/
#define  SEARCHSPEED  40
/*直线冲刺则采用分级速度*/
```


(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

```
if(cNBlock>7)
{
__GiMaxSpeed=100;
}
else  if(cNBlock==7)
{
__GiMaxSpeed=90;
}
else  if(cNBlock==6)
{
__GiMaxSpeed=80;
}
elseif(cNBlock==5)
{
__GiMaxSpeed=70;
}
else  if(cNBlock==4)
{
__GiMaxSpeed=60;
}
else  if(cNBlock==3)
{
__GiMaxSpeed=50;
}
else
{
__GiMaxSpeed=40;
}
```

4.2　电脑鼠转弯算法优化

4.2.1　电脑鼠转弯方法选择

电脑鼠转弯包括原地转弯和前进中转弯2种方法。原地转弯就是电脑鼠先停在原地，然后一个电机正转另一个电机反转来实现原地转弯。前进中转弯，就是一个电机快转，另一个慢转，通过两轮速度差来实现前进中转弯。由于原地转弯在转弯前需要先停止，所以前进中转弯相对于原地转弯效率更高，本文也选择此方法用于电脑鼠在迷宫中转弯。前进中转弯部分优化程序如下所示。

```
/*电脑鼠前进中左转*/
void  mouseTurnleft(void)
{
……
/*设置电脑鼠状态为左转*/
__GucMouseState=__TURNLEFT;
/*设置电脑鼠左右电机状态为运行，即前进中左转*/
__GmRight.cState=__MOTORRUN;
__GmLeft.cState=__MOTORRUN;
/*标记电脑鼠前进方向*/
GucMouseDir=(GucMouseDir+3)%4;
/*速度PID设定值为36*/
__GmSPID.sRef=36;
/*角度PID设定值为18*/
__GmWPID.sRef=18;
……
}
/*电脑鼠前进中右转*/
void  mouseTurnright(void)
{
……
/*设置电脑鼠状态为右转*/
__GucMouseState=__TURNRIGHT;
/*设置电脑鼠左右电机状态为运行，即前进中右转*/
__GmRight.cState=__MOTORRUN;
__GmLeft.cState=__MOTORRUN;
/*标记电脑鼠前进方向*/
GucMouseDir=(GucMouseDir+1)%4;
/*速度PID设定值为36*/
__GmSPID.sRef=36;
/*角度PID设定值为-18*/
__GmWPID.sRef=-18;
……
}
```

4.2.2　转弯半径的增加

电脑鼠在迷宫行驶中，经常会出现连续转弯的情况，要求电脑鼠只能在1个迷宫方格内完成转弯动作。为了保持电脑鼠在连续转弯时具有较高的速度，本文通过增加最大转弯半径的方法来提升连续转弯速度。初始设计中，最大转弯半径R只

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有9cm，在不改变加速度上限的情况下，通过反复

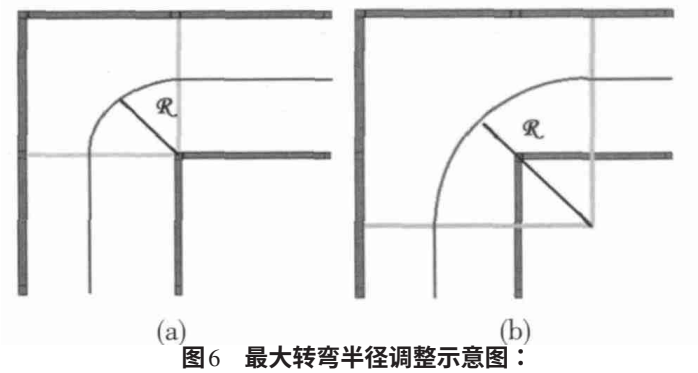


图6　最大转弯半径调整示意图：

(a)9cm**转弯半径，**(b)18cm**转弯半径**

实验，将R增至18cm，转弯效果达到最优，最大转弯半径调整如图6所示。

当最大转弯半径增大到18cm时，出弯段与入弯段的直线部分将各减少9cm，即连续转弯时，直线路段的1迷宫方格是可以忽略的，电脑鼠不再执

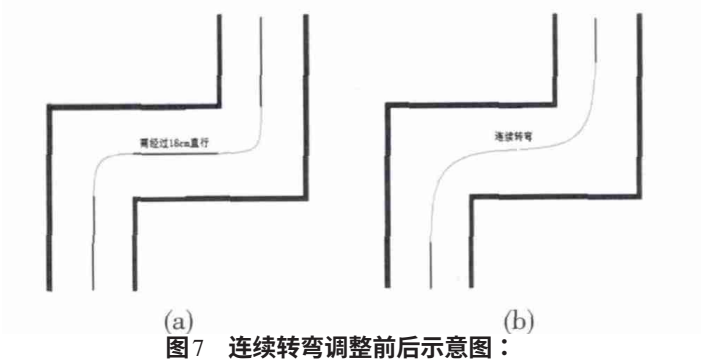


图7　连续转弯调整前后示意图：

(a)9cm**转弯半径，**(b)18cm**转弯半径**

行直行动作，增加最大转弯半径后连续转弯示意图如图7所示。

4.3　迷宫搜索算法优化

根据比赛规则，电脑鼠完成迷宫搜索后，可以根据已知的迷宫信息直接计算出一条最短路径进行冲刺。为了在迷宫搜索过程中获取更多的迷宫信息，并节约搜索时间，当电脑鼠出发时还是以(7,　7)为目标点，使用向心法则搜索。但是电脑鼠到达目标点后不再按照原路返回，而是再以起点为目标点，重新使用向心法则搜索回到起点，进而可以在有限的搜索时间内掌握更多的迷宫信息。如果当第二次搜索检测到往回搜索的路径与第一次搜索路径重合时，则直接回到起点准备冲刺。二次搜索部分程序如下所示。

```
/*定义返回搜索状态变量*/
#define　BACKSEARCH　4
/*主程序*/
main(void)
{
……
while　(1)
{
/*电脑鼠状态分类处理*/
switch　(GucMouseTask)
{
……
case　BACKSEARCH:
/*把起点设置为搜索的目标点*/
objectGoTo(GucXStart,GucYStart);
/*使用向心法则*/
centralMethod();
/*迷宫搜索*/
mazeSearch();
……
}
}
}
```

5　实验结果

随机采用10张电脑鼠竞赛地图对控制算法优化效果进行实验验证，包括迷宫搜索实验和迷宫冲刺实验。

5.1　迷宫搜索实验结果

电脑鼠控制算法优化前后每个迷宫搜索所用时间见表1。

由于控制算法优化后，采用了二次搜索策略，所以较优化前搜索时间增多，但是为更重要的迷宫冲刺奠定了基础。

5.2　迷宫冲刺实验结果

电脑鼠控制算法优化前后每个迷宫冲刺所用时间见表2。

通过表2可看出迷宫冲刺时间明显减少，而且10个迷宫平均冲刺时间减少了37.2%。

6　结论

电脑鼠作为一个多学科交叉融合的产物，越来越受到广泛的关注，而且随着电脑鼠竞赛的传

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1　优化前后的迷宫搜索时间

地图编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
优化前搜索时间(s)	107.3	115.2	91.9	88.4	106.2	141.7	108.9	96.4	117.4	69.8
优化后搜索时间(s)	158.3	171.9	125.3	126.4	138.4	175.5	149.1	124.8	157.2	99.1

表2　优化前后的迷宫冲刺时间

地图编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
优化前冲刺时间(s)	16.7	18.8	8.6	19.8	13.1	11.1	12.6	8.5	7.3	9.5
优化后冲刺时间(s)	11.9	14.4	4.6	14.2	8.7	7.3	8.2	4.4	3.6	5.4

承和发展，研究和开发电脑鼠的高校、企业和个人也越来越多。本文研究了电脑鼠走迷宫的控制算法，结合IEEE标准电脑鼠走迷宫竞赛相关规则，对控制算法进行了优化。实验表明，优化后电脑鼠性能得到了明显提升。今后会加大对电脑鼠硬件系统和通信方式的研究，对电脑鼠的功能和性能做进一步的完善。

[**责任编辑**：李茹]

参考文献：

[1]UK Micromouse Championship. UK Micromouse Championship Rules. UK Micromouse Championship, 2006. http://www.tic.ac.uk/micromouse/toh.asp

[2]周立功.IEEE电脑鼠开发指南[M].广州:广州致远电子有限公司,2008.

Research and Optimization of Control Algorithm for Micro-Mouse Solving the Maze Based on IEEE Criterion

ZHENG Wei　ZHANG Yong-fei

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: Combined with the requirements of IEEE criterion on solving the maze in micro-mouse contest, and in order to improve the performance of micro-mouse, the control algorithm of solving the maze has been optimized on the basis of researching the micro-mouse's systems of software and hardware. By conducting experiments with 10 random mazes, the results demonstrate that the average time of spurting in the maze reduces by 37.2%.

Key words: micro-mouse; maze search; autonomous mobile robot; central method

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

基于 PID 参数模糊自整定的压铸镁合金性能研究

黄 鑫[1], 严 英[2]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院, 天津 300410; 2. 天津职业技术师范大学 汽车与交通学院, 天津 300222)

摘 要:进行了 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 压铸镁合金常规压铸和基于 PID 参数模糊自整定的压铸试验对比和分析。结果表明:和常规压铸合金相比,基于 PID 参数模糊自整定的试验合金抗拉强度、屈服强度和断后伸长率分别增大了 25 MPa、19 MPa、0.1%,腐蚀电位正移了 23 mV,耐腐蚀性能和显微组织均得到改善和提升。PID 参数模糊自整定有助于提高 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 镁合金的力学性能和耐腐蚀性能。

关键词:PID(比例–微分–积分)控制;模糊自整定;压铸镁合金;力学性能;腐蚀性能;显微组织

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 20191077

中图分类号:TG249.2+8 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3814(2020)15-0048-03

Study on Performance of Die Cast Magnesium Alloy Based on Fuzzy Self–tuning of PID Parameters

HUANG Xin[1], YAN Ying[2]

(1. School of Electric-mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. School of Automobile and Transportation, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: The comparison and analysis between conventional die casting of Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti die casting magnesium alloy and experimental die casting based on fuzzy self-tuning of PID parameters were carried out. The results show that compared with those of the conventional die casting alloy, the tensile strength, yield strength and elongation after fracture of the experimental alloy based on fuzzy self-tuning of PID parameters are increased by 25 MPa, 19 MPa, 0.1%, the corrosion potential is positively shifted by 23 mV, and the corrosion resistance and microstructure of the alloy are improved. Fuzzy self-tuning of PID parameters is helpful to improve the mechanical properties and corrosion resistance of Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti magnesium alloy.

Key words: PID (proportional-integral-derivative) control; fuzzy self-tuning; die-casting magnesium alloy; mechanical properties; corrosion properties; microstructure

镁合金具有质轻、强度高,易加工、综合性能好、绿色可回收等优势,被誉为 21 世纪极具发展前景的轻质金属,在众多领域都得到了广泛的应用[1]。尤其是镁合金液体粘度低、流动性好、热导率高,因而具有优异的压铸工艺性能, 即使是复杂的型腔也易充型,可成型复杂薄壁件[2-3]。可持续发展、轻量化、节能减排等发展理念深入人心,镁合金压铸件在汽车、电子等领域得到了广泛的发展和应用。目前可采用冷室或热室对镁合金进行压铸,但是镁合金液易燃,铸造过程极其复杂,热裂倾向较大,更易受温度、时间等因素控制,容易产生一些铸造缺陷,进而影响镁合金压铸件的性能[4-5]。而且镁合金压铸件品种繁多,产品设计、模具加工均较耗时,试模过程、铸造参数的确定也极为繁琐和浪费成本, 且我国国内的压铸系统单一,自动化程度低,压铸件精度不高,因而缩短研发时间, 提高产品性能和生产率是值得研究的一个课题[6-7]。基于此,本文以 PID 控制为基础,并和模糊控制器相结合, 通过模糊控制在线自适应调整控制 PID 参数进行实时自整定,其响应速度、鲁棒性、稳定性、精确性均优于普通的 PID 控制,它能实现对镁合金压铸过程中的充型、保压等环节的温度、时间等的精确控制[8-11]。本文在 PID 参数模糊自整定的基础上,研究了新型压铸镁合金的性能,以期扩大

收稿日期:2019-04-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51307119);天津市局级预研课题(KYQD15001)

作者简介:黄鑫(1983–),女,辽宁海城人,讲师,硕士,从事人工智能算法、软件优化等方面的研究;电话:13752405563;
E-mail:huangxin3620@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

压铸镁合金的工业化生产。

1 压铸试验

1.1 试验材料

本文试验材料为 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 镁合金，分别采用常规压铸和基于 PID 参数模糊自整定的压铸工艺进行试验，铸件尺寸为 ϕ240 mm×25 mm。Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 镁合金化学成分如表 1 所示。预热坩埚、在坩埚内撒上 RJ-2 熔剂，将称量好的原料置于坩埚内精炼，达到浇注温度后静置 10 min，将合金液浇注到压铸机模腔内，在 2500kN 卧式冷室压铸机上进行压铸试验。常规压铸试验与基于 PID 参数模糊自整定的压铸试验的参数保持一致。压铸过程中，压射比压 2 MPa、模具预热温度 180℃、浇注温度 690℃、保压时间 12 s。所有铸件试样都未进行热处理，一种是常规压铸(称为常规压铸合金)，一种是基于 PID 参数模糊自整定的压铸(称为试验压铸合金)。

表 1 Mg–9Al–1Zn–0.5V–0.3Ti 镁合金的化学成分 (质量分数，%)

Tab.1 Chemical composition of Mg–9Al–1Zn–0.5V–0.3Ti magnesium alloy (wt%)

Al	Zn	V	Ti	Fe	Si	Mg
8.7~9.3	0.7~1.3	0.2~0.8	＜0.6	＜0.01	＜0.01	余量

1.2 PID 参数模糊自整定

在 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 镁合金的压铸过程中引入 PID 参数模糊自整定的控制算法，针对的是浇注温度，将线性 PID 控制和模糊控制组合成模糊 PID 控制，效仿模糊控制方式使试样在压铸的动态过程中改变 PID 参数，提高对浇注温度控制的精度和灵活度，从而更有效地对镁合金的浇注温度进行智能化控制。PID 控制器由比例、积分和微分三大部分组成，根据 PID 参数(浇注温度、偏差及偏差变化率)之间的关系，根据模糊控制规则对浇注温度进行在线修改，实现对镁合金压铸过程中浇注温度的精准控制。PID 参数模糊自整定的原理及算法流程如图 1 所示。

1.3 试验方法

在每个铸件中部位置上切取拉伸试样，尺寸为 ϕ20 mm×65 mm。拉伸试验在 Instron810 万能试验机上进行，测试温度为室温，拉伸速率大小为 2 mm/min，用 JAX-8400 型扫描电镜观察铸件的拉伸断口表面形貌。在每个压铸镁合金铸件中部位置切

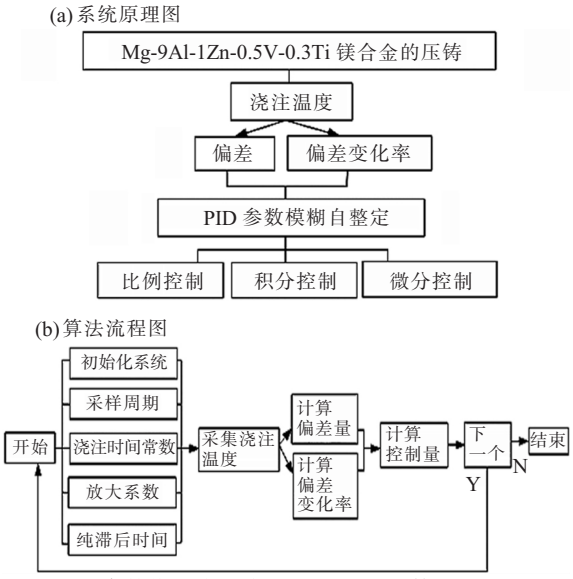


图 1 参数模糊自整定的系统原理及算法流程图

Fig.1 System principle and algorithm flow chart of fuzzy self-tuning of parameters

割腐蚀试样，大小为 15 mm×15 mm×3 mm，在三电极体系的 Land 系电化学工作站进行电化学腐蚀性能测试。将磨制、抛光好的试件洗净、吹干后，制作工作电极，电解液采用浓度为 3.5%的 NaCl 溶液，电位扫描范围–1～0.8V，扫描速度大小为 1.5 mV/s，记录与分析电化学腐蚀试验结果，用 JAX-8400 型扫描电镜观察合金铸件表面的腐蚀形貌。在铸件中部位置切取金相试样，尺寸为 15 mm×15 mm×10 mm，观察前用 10 mL 去离子水、10 mL 无水乙醇、5 mL 冰醋酸、30 g 苦味酸配置混合腐蚀液，磨平、抛光金相试块后用腐蚀液进行侵蚀处理，使用 PG18 型金相显微镜观察合金铸件的显微组织形貌。

2 试验结果

2.1 力学性能

表 2 是常规压铸合金试样和基于 PID 参数模糊自整定的试验压铸合金的力学性能测试数据。从该表能够清晰得知，经 PID 参数模糊自整定后，镁合金试样的抗拉强度为 267 MPa，屈服强度为 187 MPa，断后伸长率为 5.3%，抗拉强度、屈服强度和断后伸长率分别较常规压铸合金试样增大了 25 MPa、19 MPa、0.1%，力学性能优于常规压铸镁合金。因此可以看出，合金经过 PID 参数模糊自整定后，强度和伸长率均得到极大提高，力学性能得以提升，符合压铸镁合金的生产要求。

图 2 是常规压铸合金试样和基于 PID 参数模

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 合金试样的力学性能测试数据
Tab.2 Test data of mechanical properties of alloy specimens

合金试样	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率(%)
常规压铸	242	168	5.2
试验压铸	267	187	5.3

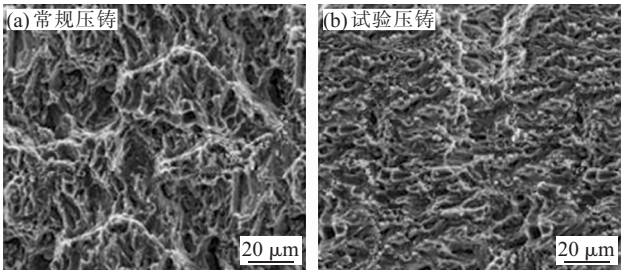


图 2 试样的拉伸断口 SEM 照片
Fig.2 SEM photos of tensile fracture of specimens

糊自整定的试验压铸合金试样的拉伸断口 SEM 照片。从图 2 可以看出,基于 PID 参数模糊自整定的试验压铸合金的拉伸断口韧窝和撕裂棱显著小于常规压铸合金,表现出更好的力学性能。总之,PID 参数模糊自整定能够有效提高合金力学性能。

2.2 腐蚀性能

表 3 是常规压铸合金试样和基于 PID 参数模糊自整定的试验压铸合金的腐蚀性能测试数据。从该表能够清晰得知,基于 PID 参数模糊自整定的试验压铸合金试样的腐蚀电位为 -0.934 V,较常规压铸合金试样正移了 23 mV,耐腐蚀性能显著优于常规压铸合金。因此可以看出,合金经过 PID 参数模糊自整定后,腐蚀电位正移,耐腐蚀性能得以提升,符合压铸镁合金的生产要求。

表 3 合金试样的腐蚀性能测试数据
Tab.3 Test data of corrosion performance of alloy specimens

试样合金	腐蚀电位 /V
常规压铸	-0.934
试验压铸	-0.911

图 3 是常规压铸合金试样和基于 PID 参数模糊自整定的压铸合金的表面腐蚀形貌 SEM 照片。从图 3 可以看出,常规压铸合金试样的表面形貌腐蚀坑较多,腐蚀严重;基于 PID 参数模糊自整定的压铸合金表面仅产生了少量的腐蚀点,腐蚀程度得到极大改善。总之,PID 参数模糊自整定能够有效地提高合金的耐腐蚀性能。

2.3 显微组织

图 4 是常规压铸合金试样和基于 PID 参数模糊自整定的试验压铸合金试样的显微组织图片。从图 4 可以得知,与常规压铸合金相比,经 PID 参数模糊自整定后的试验压铸合金试样的晶粒更细小,组织排列更整齐、均匀。因此,PID 参数模糊自整定能够显著地改善压铸镁合金的组织。

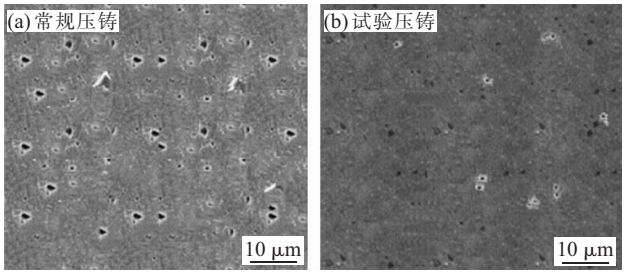


图 3 试样的表面腐蚀形貌 SEM 照片
Fig.3 SEM photos of the surface corrosion morphology of the samples

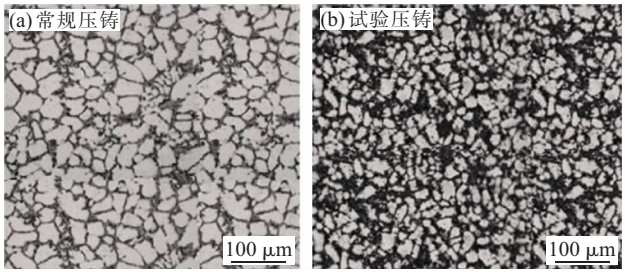


图 4 试样的显微组织照片
Fig.4 Microstructure photograph of the sample

3 结论

为了提升压铸镁合金的综合性能,对 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 压铸镁合金试样进行了常规压铸和基于 PID 参数模糊自整定的压铸试验对比与分析,结果表明:

(1)与常规压铸合金相比,基于 PID 参数模糊自整定的试验合金的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率分别增大了 25、19 MPa、0.1%,腐蚀电位正移了 23 mV。

(2)为了改善 Mg-9Al-1Zn-0.5V-0.3Ti 压铸镁合金试样的力学性能、腐蚀性能和显微组织,铸造温度控制方式优选 PID 参数模糊自整定。

参考文献:

[1] 李明. 工艺参数对 AE44 镁合金外壳压铸件组织和性能的影响[J]. 铸造工程,2018,42(5):13-17.
[2] 周桂云. 镁合金压铸工艺 [J]. 中国有色金属,2008(20):74-75.
[3] 刘马宝,雷军,高玉侠,等. 压铸镁合金腐蚀疲劳性能的研究[J]. 航空材料学报,2007,27(1):76-80.

(下转第 63 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4 结论

利用ProCast 软件对床身的铸造过程进行模拟，根据模拟结果对原铸造工艺加排气孔和压边冒口进行优化，最终的铸造工艺能够成功消除铸造缺陷。

参考文献：

[1] 李新亚．铸造手册第 5 卷，铸造工艺[M]．北京：机械工业出版社，2011.

[2] 虞华祥．铸造用自硬呋喃树脂固化剂的合成工艺研究[D]．武汉：华中科技大学，2011.

[3] 沈猛，杨海慧，章舟．铸铁生产使用手册[M]．北京：化学工业出版社，2014.

[4] 杜西灵，杜磊．铸造实用技术问答[M]．北京：机械工业出版社，2007.

[5] 张伯明．铸造手册第 1 卷，铸铁[M]．北京：机械工业出版社，2002.

[6] 李日．铸造工艺仿真 ProCAST 从入门到精通[M]．北京：中国水利水电出版社，2010.

[7] 王树成．压边浇冒口对铸件质量的影响[J]．现代铸铁，2002(3)：46-47.

(上接第 50 页)

[4] 吉泽升，李德锋，孙荣滨．镁合金压铸技术的发展现状[J]．轻合金加工技术，2001，29(12)：1-4.

[5] 卫英慧，焦少阳，侯利锋，等．铸造缺陷对镁合金压铸件性能的影响[J]．机械工程材料，2008，32(1)：84-86.

[6] 邸金南．镁合金支撑架压铸工艺设计与分析[J]．科技创新与生产力，2018(5)：80-82.

[7] 李新雷，郝启堂，蔡增辉，等．镁合金低压铸造连续化生产技术的研究[J]．稀有金属材料与工程，2011，40(4)：718-722.

[8] 陈瑛，吴立峰，杨二龙．基于参数自整定模糊 PID 控制器的 TSMC-PMSM 矢量控制[J]．南昌大学学报(工科版)，2016，38(4)：391-396.

[9] 兰艳亭，陈晓栋．模糊 PID 参数自整定控制器的设计[J]．机械工程与自动化，2012(3)：125-126.

[10] 纪友芳，林美娜．模糊 PID 复合智能控制参数自整定研究[J]．微计算机应用，2007，28(8)：828-832.

[11] 师黎，丁海．PID 控制的参数模糊自整定方法[J]．郑州工业大学学报(自然科学版)，2001，22(3)：25-27.

(上接第 53 页)

[2] 邸金南．镁合金在汽车工业中的应用[J]．科学时代，2015(1)：71-72.

[3] 付彭怀，彭立明，丁文江，等．汽车轻量化技术：铝 / 镁合金及其成型技术发展动态[J]．中国工程科学，2018，20(1)：84-90.

[4] 周桂云．挤压铸造技术在汽车镁合金零件中的应用和发展趋势[J]．铸造工程，2017，41(5)：1-4.

[5] 张耀丹．镁合金在汽车上的应用及发展前景[J]．汽车实用技术，2015(9)：165-167.

[6] 刘传宝．镁合金铸造工艺探讨 [J]．军民两用技术与产品，2016(16)：159-160.

[7] 刘绍东，彭海．铸造方法对健身器材用镁合金的组织及疲劳性能的影响[J]．西安石油大学学报(自然科学版)，2015，30(4)：107-110.

[8] 金霄，汤梓铭．车用镁合金性能对汽车轻量化发展的影响[J]．新技术新工艺，2015(11)：100-103.

[9] 田迎新．汽车差速器壳体铸造工艺的开发与优化[J]．铸造工程，2018，42(5)：18-22.

[10] 王云祥．汽车转向电机壳体的铸造和精加工[J]．铸造工程，2017，41(2)：15-18.

(上接第 57 页)

军民两用技术与产品，2016 (16)：159.

[7] 刘宗虎，乔会杰，苗晓军，等．压铸技术及压铸合金的发展及应用研究[J]．黑龙江科技信息，2017(18)：43-44.

[8] 李明．工艺参数对 AE44 镁合金外壳压铸件组织和性能的影响[J]．铸造工程，2018，42(5)：13-17.

[9] 杜健．镁合金压铸工艺改善研究[J]．科技尚品，2017(1)：10-11.

[10] 罗兄兄，刘文龙，赵永贵，等．镁合金压铸生产中常见的热裂纹缺陷及采取措施分析[J]．化工管理，2018(6)：36-38.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号:1001-2265(2015)06-0042-02 DOI:10.13462/j.cnki.mmtamt.2015.06.012

基于 Stewart 平台的并联机床静刚度分析*

张海伟[a],李建国[b]
(天津职业大学 a.机电工程与自动化学院;b.机械工程实训中心,天津 300410)

摘要: 对基于 Stewart 平台的并联机床进行了系统描述,计算了并联机床的自由度,利用 UG NX8.0 建立了并联机床的实体模型,针对并联机床复杂的机械弹性系统采用 ANSYS14.0 建立了有限元模型,对传动链中的铰链进行了适当地模拟。通过划分单元类型、施加载荷、求解与后处理得到动平台在广义工作空间下的刚度分布规律,从而为并联机床优化和结构改进提供了可靠的理论依据。

关键词: Stewart 平台;并联机床;静刚度;有限元分析
中图分类号: TH166;TG502 **文献标识码:** A

Stiffness Analysis of Parallel Machine Tool Based Stewart Platform

ZHANG Hai-wei[a], LI Jian-guo[b]
(a. School of Electromechanical and Automation; b. Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China)

Abstract: Parallel machine tool based stewart platform is systematically described, the degree of freedom parallel machine tool is calculated, a solid model of parallel machine tools is established using UG NX8.0, in view of the mechanical elastic system of parallel machine tool a finite element model is established using ANSYS14.0. the hinge of transmission chain is properly simulated. The stiffness distribution in generalized workspace is got by dividing the unit type, appling load, solving and post-processing, the result provide a reliable theoretical basis for the optimization and structural improvements of parallel machine tool.

Key words: stewart platform; parallel machine tool; static stiffness; finite element analysis

0 引言

Stewart 平台,也被称为 Stewart 虚拟轴并联平台,可以在一定范围内的空间实现六自由度运动(即俯仰、滚转、侧翻和上下、左右、前后的平动)。与常见的串型平台相比,具有机械负载重量比大,刚度性能好,运动速度加速度大和控制精度高等优点,因此其应用范围十分广泛,尤其在并联机床应用领域[1]。目前国际学术界和工程界越来越重视对并联机床的研究和开发,以 Stewart 平台为原型研制了不同结构形式的并联机床。机床的静刚度是指机床抵抗恒定载荷的能力,是机床的重要性能指标之一,刚度不足,会使机床杆件及构架产生变形,导致机床工作不稳定、精度差,甚至导致机床本身结构的破坏,因此,保证并联机床具有足够的静刚度十分重要[2]。并联机床的静刚度特性较为复杂,涉及到机床构件的弹性动力学变形和弹性变形等问题,相关的文献资料不多,目前还未建立完全成熟的研究模型,有些只是考虑将机床传动链与机架弹性变形视为一个刚体,对理论模型的可靠性有一定影响[3]。为了研究并联机床这个复杂机械系统的静刚度,本文采用有限元分析(FEA)方法和相关软件 ANSYS,建立并联机床的 FEA 模型,求解机床在几个典型位置的静刚度,得出相应的结论,从而为并联机床的结构改进设计与受力情况分析提供可靠的理论依据[4]。

1 并联机床有限元模型的建立

1.1 并联机床整机的机构分析

六自由度并联机床 Stewart 平台有 6 条腿,6 条腿与基础平台 abc 通过虎克铰连接,与动平台 ABC 通过球铰连接,改变 6 条腿的长度可使动平台到达要求的位置和姿态,以实现对各种复杂曲面零件的加工[5]。其结构如图 1 所示。

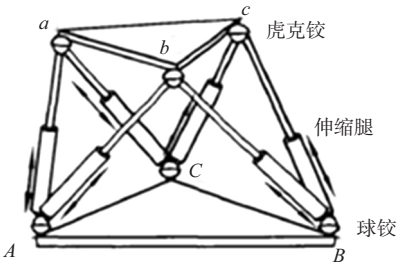


图 1 Stewart 平台的结构示意图

该平台的自

收稿日期:2014-10-09;修回日期:2014-11-24
* 基金项目:天津市自然科学基金项目(13JCYCJB18100)
作者简介:张海伟(1980—),男,天津蓟县人,天津职业大学副教授,硕士,主要从事机械设计、数控加工等领域的研究。(E-mail)zhw199937@126.com。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由度可用空间机构自由度的计算公式（Kutzbach Grubler）求得[6]。Kutzbach Grubler 公式为

$$M = d(n - g - 1) + \sum_{i=1}^{g} f_i \tag{1}$$

式中：M—表示机构自由度数；

d—表示机构的阶数；

n—表示构件总数；

g—为运动副总数；

f_i—为第 i 个运动副的相对自由度数。

在 Stewart 平台中，机构阶数 $d=6$，构件数 $n=14$，运动副数 $g=18$，运动副总的自由度数为

$$\sum_{i=1}^{18} f_i = 42 \tag{2}$$

$$M = 6 \times (14 - 18 - 1) + 42 = 12 \tag{3}$$

由于每个支链有一个局部转动自由度，因此机构的自由度为 6。若输入机构原动件的数目为 6，该机构能够实现确定的运动，这种机构可以在三维空间作任意方向的移动和绕任何方向、位置的轴线转动[7]。

1.2　有限元模型的建立

1.2.1　实体模型的建立

鉴于有限元分析软件几何建模功能的局限，本文采用 UG NX8.0 进行实体建模，如图 2 所示，将实体模型转换为*.x_t 文件格式，供 ANSYS14.0 调用，实现 UG 和 ANSYS 之间的数据传递。

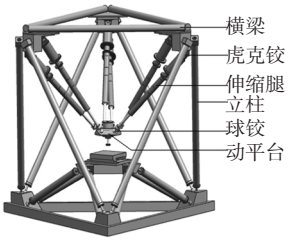


图 2　并联机床的 CAD 模型

1.2.2　网格的划分

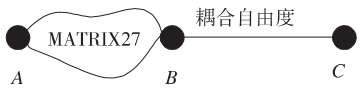
合理的划分网格，选用合适的单元类型可以使简化模型，提高运算速度和计算精度，对于并联机床的不同的零部件要选用不同的单元类型。

（1）动平台：体单元，选用三自由度 20 节点六面体实体单元 Solid95。

（2）立柱、横梁和腿：线单元，选用三维六自由度线单元 Beam4。Beam4 是个三维弹性线单元，可用于轴向拉伸、压缩、扭转和弯曲单元。

1.2.3　铰链的模拟

考虑铰链本身的变形，在模型中利用 MATRIX27 单元对其进行模拟，在铰链点位置定义关键点（key point）和硬点（hard point），这样划分网格时可以在指定的位置产生节点[8]。以球铰为例，图 3 是其模拟的示意图。



A：腿的节点 B：过渡节点 C：动平台的节点

图 3　球铰的模拟

A、B 和 C 三个节点都建立在球铰点位置上，在腿的节点 A 和过渡节点 B 之间定义 MATRIX27 单元，该单元可以定义铰链本身的刚度（包括平动刚度和转动刚度）。C 是动平台上的节点，B、C 之间定义了耦合自由度，也就是使 B 和 C 之间的平动位移相等，最终的球铰 FEA 模型如图 4 所示。

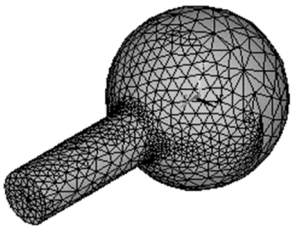


图 4　单个球铰的 FEA 模型

1.2.4　载荷的施加

ANSYS 中的载荷数据包括自由度约束、点载荷、面载荷、体载荷和惯性载荷等，在静刚度分析中，需要用到两种载荷，即立柱底部的自由度载荷和受力点的点载荷。在球铰两端分别施加载荷并求解，可以估算出其拉压刚度为

$$k_s = 130\text{N}/\mu\text{m} \tag{4}$$

1.2.5　求解和后处理

刚度的求解设置比较简单，施加两种载荷，即固结在地面的自由度载荷和在受力点的力载荷，并选用 ANSYS 中的结构静态分析（Structure Static Analysis）求解器，求解是软件的核心过程，用户不需要干预，并联机床的最终 FEA 模型如图 5 所示。

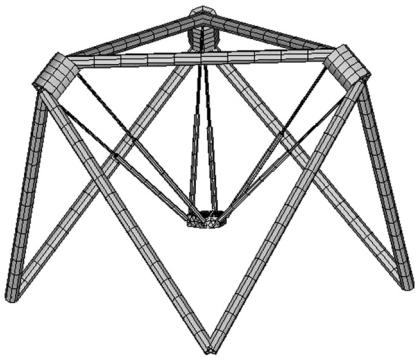


图 5　并联机床的 FEA 模型

2　并联机床的静刚度分析

2.1　并联机床的结构和几何参数

所研究并联机床的结构以 Stewart 平台为原型，每条伸缩腿的传动系统结构如图 6 所示，腿长的变化通过丝杠螺母的相对运动实现，发生弹性变形的部件主要有上腿（即丝杠）、下腿、球铰以及虎克铰，其中下腿承受载荷的部分长度不变。

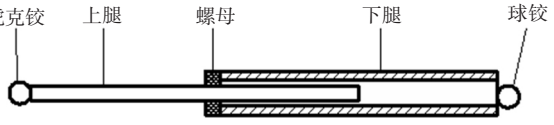


图 6　每条伸缩腿的传动系统

并联机床各部分截面均为圆环　（下转第 57 页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

研究［J］. 小型内燃机与摩托车，2003，32(3)：8－10，23.
[5] 钟沈江. 硬支承动平衡机微机化测量系统的研究［D］. 杭州：浙江大学，2003.
[4] 康成良，李慧敏，赵良梁，等. 用于中小型电机转子的全自动平衡机的设计与实现［J］. 组合机床与自动化加工技术，2007(2)：67－70.
[5] 李常品，曾胜，康成良，等. 四工位全自动转子平衡机的设计与实现［J］. 制造技术与机床，2008(12)：89－92.
[6] 程涛涛，曾胜. 用于发动机曲轴的全自动平衡修正系统的设计研究［J］. 组合机床与自动化加工技术，2012(8)：1－5.
[7] 三轮修三，下村玄. 旋转机械的平衡［M］. 1 版. 北京：机械工业出版社，1980.
[8] 李迎春，叶湘滨. 传感器原理［M］. 长沙：国防科技大学出版社，2004.
[9] 曾胜，任意，李常品，等. 一种可实现不平衡量快速测试的带通滤波器［J］. 振动与冲击，2011，30(6)：36－40，66.
[10] 于梅，于仲敏. 平衡机最小可达剩余不平衡度测试方法的研究［J］. 计量技术，2001(4)：16－18.（编辑　赵蓉）

（上接第 43 页）形，其截面的几何参数如表 1 所示。

表 1　截面的几何参数(mm)

参数	横梁	立柱	上腿	下腿
外直径(mm)	126	126	27	49
内直径(mm)	92	105	0	30

2.2　机床静刚度的分析结果

Stewart 并联机床的静刚度计算方法，施加静力载荷 F 作用在动平台坐标系原点，利用 ANSYS14.0 计算出该点的位移量 D，那么机床静刚度可通过下式计算

$$K = \frac{F}{D} \tag{5}$$

采用该方法计算了并联机床在五个位置下沿 X、Y 和 Z 三个方向的静刚度，这五个位置坐标分别为(单位是 mm)：I(0，0，800)，II(300，0，800)，III(0，300，800)，IV(－300，0，800) 和 V(0，－300，800)，并且动平台的姿态保持一致，用 RPY 角表示为(0，0，40^0)。静刚度的计算结果如图 7～图 9 所示，可以看到，机床沿 X 方向、Y 方向的静刚度分布规律相似，随静载荷呈线性分布；沿 Z 方向的静刚度特性好于 X 向和 Y 向，静刚度极值出现在中心位置。

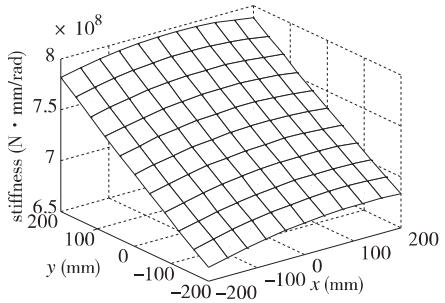


图 7　沿 X 方向的刚度

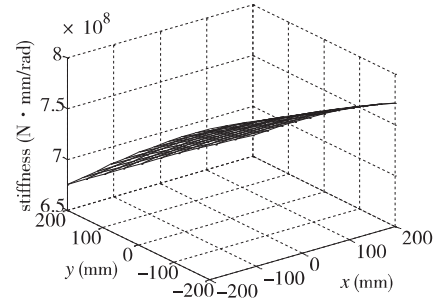


图 8　沿 Y 方向的刚度

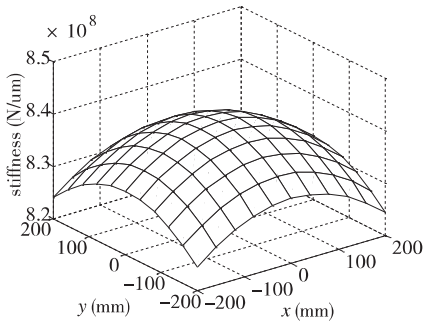


图 9　沿 Z 方向的刚度

3　结论

通过对 Stewart 并联机床的静刚度分析，得出如下结论：

(1) 利用 ANSYS 进行有限元析时忽略了机床传动链中的微小部件变形，例如锁紧螺母、滚动轴承等。假定了胡克铰和球铰是理想的铰链关节和球形接头，并进行了有限元模拟，其受力而产生的微小变形不会影响并联机床的整体刚度。

(2) 在并联机床的三个方向的刚度中，沿 z 方向的静刚度远大于另外两个水平方向(约为 3～4 倍)，从中心到边界逐渐变小；在平面内沿 x 方向和 y 方向的静刚度变化不大，刚度极值出现在边界，最大值和最小值都没有在中心位置出现。

(3) 本所提出的建模策略以及机床刚度在工作空间中的分布规律，对指导各类并联机床的运动学和刚度设计具有普遍指导意义。

［参考文献］

[1] 郑相周，罗友高，宾洪赞. 转动型 3-UPU 并联机构的刚度分析［J］. 机械设计与制造，2007(7)：52－54.
[2] 李永刚，宋轶民，冯志友. 并联机器人机构静刚度研究现状与展望［J］. 机械设计，2010，27(3)：1－3
[3] 刘玲玲，赵新华，李彬. 一种三自由度并联机构刚度分析及仿真［J］. 天津理工大学学报，2011，27(4)：37－38.
[4] 李聪. 6PUS-UPS 并联机床动力学性能分析与研究［D］. 秦皇岛：燕山大学，2011.
[5] 田东升，邹平，刘永贤，等. 基于 ANSYS 二并联螺旋面钻尖刃磨机床刚度分析［J］. 组合机床与自动化加工技术，2009(4)：25－29.
[6] 姜媛媛，李经伟，李恨. 基于 Pro/E 的并联机床动态仿真［J］. 机械设计，2010，27(5)：19－21.
[7] 赵辉. 五轴联动并联机床关键技术［M］. 北京：知识产权出版社，2008.
[8] 张曙，海啥尔. 并联运动机床［M］. 北京：机械工业出版社，2003.（编辑　赵蓉）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2018 年 第 38 卷 航 空 材 料 学 报 2018, Vol. 38
第 5 期 第 102 – 107 页 JOURNAL OF AERONAUTICAL MATERIALS No.5 pp.102 – 107

基于 Weibull 分布函数的等离子喷涂涂层接触疲劳寿命预测

费晓瑜[1]，李国禄[2]，王海斗[3]

（1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 河北工业大学 材料科学与工程学院，天津 300130；3. 装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室，北京 100072）

摘要： Weibull 分布是最常用的处理和分析疲劳寿命的统计方法之一，但在对涂层接触疲劳寿命的研究中，大多学者在未做多元统计分析的基础上建立 Weibull 分布模型，在一定程度上影响了模型的准确性。本工作采用超音速等离子喷涂技术在 45 钢基体表面制备 NiCrBSi 合金涂层，使用球盘式接触疲劳试验机，对涂层进行不同载荷条件下的抗接触疲劳实验，得到涂层的接触疲劳寿命。通过范-蒙特福特检验法验证涂层接触疲劳寿命。结果表明：接触疲劳寿命数据符合 Weibull 分布；建立的 Weibull 概率分布图可在实验数据较少的情况下，精确表征涂层的接触疲劳寿命；建立的接触疲劳特征寿命及其对数与载荷之间的指数回归模型以及接触疲劳特征寿命的对数与载荷之间的线性回归模型，可在一定范围内精确表征涂层的接触疲劳寿命。

关键词： Weibull 分布；最好线性无偏估计；范-蒙特福特检验；接触疲劳寿命

doi： 10.11868/j.issn.1005-5053.2017.000188

中图分类号： TG174 **文献标识码：** A **文章编号：** 1005-5053(2018)05-0102-06

接触疲劳失效是很多机械零部件（如轴承、齿轮、机车车轮、轮轨等）的主要失效模式，该失效起源于工件表面或次表面层的塑性变形而引起的疲劳损伤，表面工程技术能有效地提高接触区域内的抗疲劳磨损能力，延长工件使用寿命，节约制造成本[1]。等离子喷涂技术作为一种表面修复和改性技术，已被成功应用于工件表面的耐磨、耐蚀、耐疲劳等处理，为产品的再制造提供了一个有效的手段[2-5]。Ni 基合金不仅具有优良的耐热、耐磨、耐疲劳性能，而且特别适用于等离子喷涂技术，得到了广泛的研究与应用[6-9]。

在对接触疲劳寿命的研究过程中发现，由于超音速等离子喷涂方法本身的特点，涂层中不可避免地存在微孔隙、微裂纹、氧化夹杂及未融粒子等缺陷[10]，造成疲劳寿命较为离散；另外，超音速等离子喷涂 NiCrBSi 涂层具有较高的接触疲劳寿命，实验时间成本较高；所以，通过科学的数学统计方法建立接触疲劳寿命模型尤为重要。Weibull 分布和正态分布是最常用的处理和分析疲劳寿命的统计方法，张志强等[11]使用正态分布对涂层接触疲劳寿命进行了分析，并采用统计分析方法对寿命数据进行了讨论。然而，在 Weibull 分布对涂层接触疲劳寿命的研究中，众多学者只建立了 Weibull 分布模型，并未进行多元统计分析。本工作采用超音速等离子喷涂技术制备 NiCrBSi 合金涂层，对涂层性能进行分析，通过 Weibull 分布函数对不同载荷条件下涂层的接触疲劳寿命进行统计分析，并通过巴特利特检验和 F 检验对 Weibull 函数以及载荷对接触疲劳寿命的影响进行分析讨论。

1 实验

1.1 涂层制备

采用 HEPJet 高效能超音速等离子喷涂设备在 45 钢基体上制备 NiCrBSi 合金涂层，设备最大功率为 80 kW，液滴冲击速度达到 400~600 m/s[12]。喷涂基材 45 钢，加工为内径 30 mm、外径 60 mm、高度 25 mm、内外孔处倒角为 45°的圆环试样，两端面及内孔均磨光处理，表面粗糙度 R_a 值 0.8 μm。喷涂材料 NiCrBSi 合金粉末成分（质量分数/%）为：Cr 15.8，B 3.1，Si 4.5，Fe 5，C 0.8，余量 Ni。粉末形貌如图 1 所示，粉末颗粒为球状，球化程度良好，具

收稿日期：2017-11-08；修订日期：2017-12-06
基金项目：国家自然科学基金项目（51675158）
通讯作者：李国禄（1966—），男，教授，博士研究生导师，主要研究方向为材料表面工程，（E-mail）liguolu@hebut.edu.cn。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有较好的流动性, 利于喷涂。为提高涂层的结合强度, 喷涂前用丙酮清洗基体, 并用棕刚玉喷砂处理, 得到粗糙的金属表面, 之后先喷涂 Ni/Al 粉末打底, 成分(质量分数/%)为: Ni 90, Al 10。通过喷涂 Ni/Al 粉末形成的微熔池效应, 提高涂层与基体的结合强度[13], 随后进行 NiCrBSi 粉末的喷涂, 喷涂工艺参数见表 1, 其中氩气为主气, 氢气为辅气, 氮气为送粉气。喷涂厚度约为 400~500 μm。喷涂完成后, 对涂层表面进行打磨、抛光处理, 处理后涂层厚度约为 350 μm, 表面粗糙度 R_a 约为 0.2 μm。

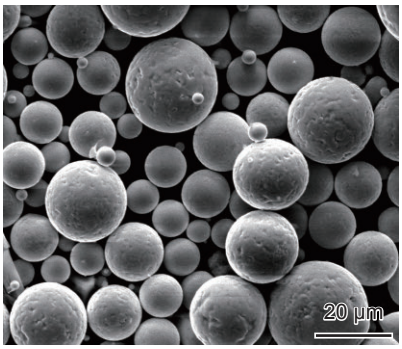


图 1　NiCrBSi 合金粉末形貌

Fig. 1　Morphology of NiCrBSi alloy powder

表 1　喷涂工艺参数

Table 1　Plasma spraying parameters

Spraying material	Spraying voltage/V	Spraying current/A	Argon gas flow/($m^3 \cdot h^{-1}$)	Hydrogen gas flow/($m^3 \cdot h^{-1}$)	Nitrogen gas flow/($m^3 \cdot h^{-1}$)	Powder feed rate/($g \cdot min^{-1}$)	Spraying distance/mm
NiCrBSi	140	360	3.6	0.25	0.6	35	120
Ni/Al	140	320	3.4	0.3	0.6	30	150

1.2　接触疲劳寿命实验

采用 YS-1 型球盘式接触疲劳试验机, 对涂层的抗接触疲劳性能进行测试, 试验机见文献[14]。实验在充分油润滑的条件下进行, 轴承球材料为 GCr15 钢, 表面粗糙度为 0.012 μm, 硬度为 60HRC。转速设定为 1500 r/min, 载荷分别为 50 N, 100 N, 150 N, 200 N, 250 N, 通过振动信号判断涂层失效, 当振幅信号连续超过临界值(5 g)时, 即判定涂层失效, 涂层失效的 SEM 照片如图 2 所示, 可以看到较为明显的涂层剥落。每次实验结束后, 更换轴承, 以保证实验精确。每种载荷条件, 进行 7 次平行实验, 实验得到不同载荷下涂层的接触疲劳寿命见表 2。

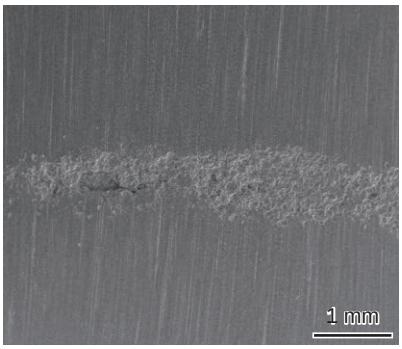


图 2　涂层表面失效形貌

Fig. 2　Surface failure morphology of coating

2　涂层性能及接触疲劳寿命表征

2.1　涂层性能表征

图 3 为涂层截面的 SEM 照片, 可以看到, 涂层整体结构致密, 存在少量孔隙和微裂纹。采用灰度法[15]对涂层的孔隙率进行测量, 得到涂层的孔隙率为 1.36%。通过 X 射线应力衍射仪测得涂层的残余应力为拉应力, 大小为+213 MPa。

2.2　接触疲劳寿命表征

采用两参数 Weibull 分布来处理接触疲劳实验数据, 并通过 Weibull 失效概率曲线图来表征涂层的寿命。Weibull 分布是最常用的疲劳寿命数据统计分布之一, 具有适用性广、覆盖性强的特点, 其分布函数为[16]:

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\eta)^{\beta}) \tag{1}$$

式中: $F(t)$为 t 次循环的失效概率, η 为位置参数, 即疲劳寿命, β 为形状参数, 即 Weibull 曲线的斜率。

2.2.1　范-蒙特福特检验

通过范-蒙特福特检验法验证寿命数据是否符合 Weibull 分布[17], 建立如下假设:

H_0: 产品的寿命分布服从 Weibull 分布 $W(\beta, \eta)$

令极值分布$x_i = \ln t_i$, 标准极值分布的次序统计量

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma},\ i = 1,2,\ldots\ldots,r \tag{2}$$

式中: $\mu = \ln\eta$; $\sigma = \dfrac{1}{\beta}$; 均为未知参数。

为检验 H_0, 范-蒙特福特提出统计量:

$$F = \frac{\sum_{i=r'+1}^{r-1} G_i/(r - r' - 1)}{\sum_{i=1}^{r'} G_i/r'},\ i = 1,2,\ldots\ldots,r-1 \tag{3}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 不同载荷下涂层的接触疲劳寿命

Table 2 RCF experimental results under five kinds of loading condition

Loading/N	Fatigue lives/10^6						
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7
50	1.042	1.22	1.501	1.687	1.878	1.881	1.901
100	0.582	0.765	0.844	0.868	0.964	0.966	1.025
150	0.287	0.308	0.311	0.348	0.407	0.414	0.421
200	0.153	0.186	0.197	0.231	0.277	0.283	0.297
250	0.055	0.073	0.091	0.121	0.153	0.157	0.159

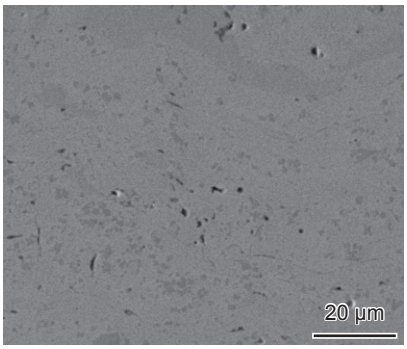


图 3 NiCrBSi 涂层截面微观结构形貌

Fig. 3 Cross-section microstructure of NiCrBSi coating

渐近服从自由度为$2(r-r'-1)$, $2r'$的 F 分布, $r'=\left[\frac{r}{2}\right]$, r 为平行实验次数。式(3)中,

$$G_i=\frac{x_{i+1}-x_i}{E(Z_{i+1})-E(Z_i)},\ i=1,2,\ldots\ldots,r-1 \tag{4}$$

对于给定的显著水平α, 若

$$F\leqslant F_{1-\alpha/2}(2(r-r'-1),2r')=\frac{1}{F_{\alpha/2}(2r',2(r-r'-1))} \tag{5}$$

或:

$$F\geqslant F_{\alpha/2}(2(r-r'-1),2r') \tag{6}$$

则认为假设不成立, 否则可以认为该样本符合 Weibull 分布。

不同载荷条件下, F 的计算值如表 3 所示, 其中$E(Z_i)$可查文献[18]。

表 3 不同载荷下 F 的计算值

Table 3 Van Montfort value (F) under five kinds of loading condition

Loading/N	Van Montfort value, F
50	0.26
100	0.62
150	1.42
200	0.87
250	0.42

取显著性水平$\alpha=0.10$, 查表得

$$F_{1-\alpha/2}(2(r-r'-1),2r')=F_{0.05}(6,6)=4.28$$

$$F_{0.95}(6,6)=\frac{1}{F_{0.05}(6,6)}=\frac{1}{4.28}=0.23$$

五种不同载荷条件下, F 的计算值均介于 $F_{0.95}(6,6)$和 $F_{0.05}(6,6)$, 所以不能拒绝假设条件 H_0, 即产品寿命服从 Weibull 分布。

2.2.2 最好线性无偏估计

用精度较高且使用简便的“最好线性无偏估计法(BLUE)”来计算 Weibull 分布的两个参数 β, η, 令$\mu=\ln\eta$, $\sigma=\frac{1}{\beta}$, 参数 μ 和 σ 的 BLUE 公式如下[15]:

$$\hat{\sigma}=\sum_{i=1}^{r}C(n,r,i)\ln(t_i) \tag{7}$$

$$\hat{\mu}=\sum_{i=1}^{r}D(n,r,i)\ln(t_i) \tag{8}$$

式中: r 和 n 为平行实验次数, $C(n,r,i)$和$D(n,r,i)$可查文献[16]。

由$\hat{\sigma}$和$\hat{\mu}$可以得到 Weibull 分布的两个参数 β、η 的估计值$\hat{\beta}$、$\hat{\eta}$分别为:

$$\hat{\beta}'=\frac{1}{\hat{\sigma}} \tag{9}$$

$$\hat{\eta}=e^{\hat{\mu}} \tag{10}$$

式中$\hat{\beta}'$是 β 的有偏估计, 因此做如下修正:

$$\hat{\beta}=g_{(r,n)}\hat{\beta}'=\frac{g_{(r,n)}}{\hat{\sigma}} \tag{11}$$

式中, $g_{(r,n)}$为修偏系数。

计算结果如表 4 所示。

根据式(1)建立 Weibull 失效概率图, 用以表征涂层的接触疲劳寿命, 如图 4 所示。通过图 4, 可以直观得到在同一工作条件下, 涂层任意循环次数的失效概率, 也可用于某一工作条件下涂层接触疲劳寿命的预测。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4　5 种载荷下参数 μ 和 σ 的 BLUE 估计值

Table 4　BLUE value of μ & σ under five kinds loading condition

Loading/N	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$g_{(r,n)}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\eta}$
50	0.165	0.546	0.8904	5.38	1.73
100	0.140	–0.079	0.8904	6.35	0.92
150	0.137	–0.963	0.8904	6.50	0.38
200	0.207	–1.364	0.8904	4.30	0.26
250	0.314	–2.030	0.8904	2.83	0.13

3　载荷条件与疲劳寿命的相关性分析

用接触疲劳特征寿命即失效概率为 63.2% 时的寿命作为涂层的疲劳寿命。根据特征寿命与载荷条件之间的散点图，假设疲劳寿命与载荷符合指数模型 $N = e^{\beta_0+\beta_1 F}$。令 Y=ln N, 得 $Y = \beta_0 + \beta_1 F$，即接触疲劳特征寿命的对数与载荷符合一元回归模型，利用 EXCLE 回归分析模块功能求解得到：

$$Y = 1.154 - 0.013F \tag{12}$$

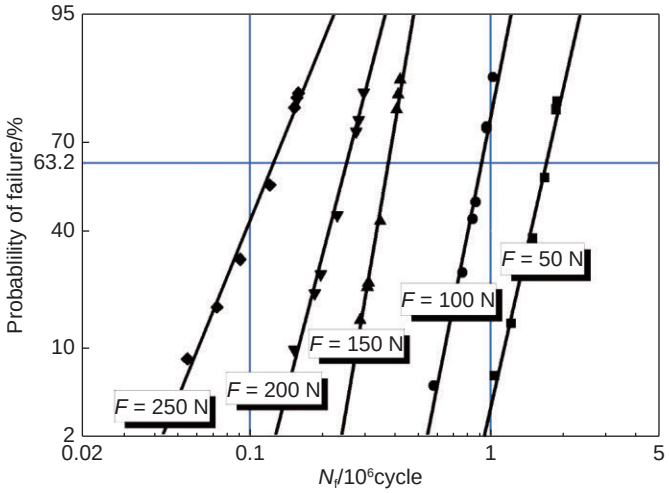


图 4　5 种载荷条件下涂层的 Weibull 失效概率曲线图

Fig. 4　Weibull failure probability curve under five kinds of loading condition

可决系数 R^2=0.989，即接触疲劳特征寿命变化的 98.9% 由载荷条件的变化所决定，拟合优度非常高，特征寿命的对数与载荷的拟合曲线如图 5 所示。得到疲劳特征寿命与载荷之间的回归模型为：$N = e^{1.154-0.013F}$，拟合曲线如图 6 所示。

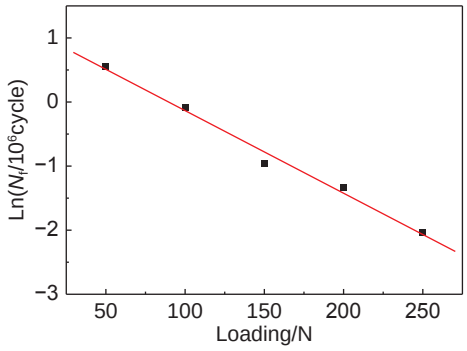


图 5　特征寿命的对数与载荷的拟合曲线

Fig. 5　Fitted curve between Ln (N_f) and loading

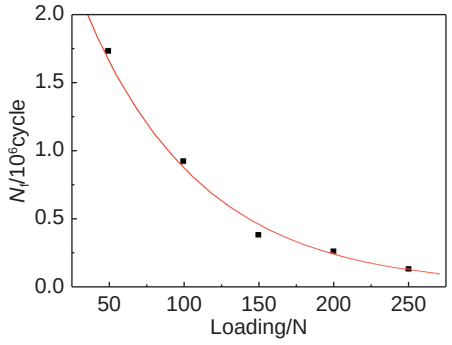


图 6　特征寿命与载荷的拟合曲线

Fig. 6　Fitted curve between N_f and Loading

4　结论

（1）采用超音速等离子喷涂技术制备的 NiCrBSi 合金涂层整体结构致密，仅存在少量孔隙和微裂纹，残余应力较小，总体性能较为优异。

（2）通过范-蒙特福特检验法验证涂层接触疲劳寿命数据符合 Weibull 分布，建立的 Weibull 概率分布图可在实验数据较少的情况下，精确表征涂层的接触疲劳寿命。

（3）建立了接触疲劳特征寿命及其对数与载荷之间的指数回归模型，以及接触疲劳特征寿命的对

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

数与载荷之间的线性回归模型，并通过可决系数法进行了验证。回归模型可对一定范围内任意载荷条件下涂层的接触疲劳寿命进行预测。

参考文献：

[1] 徐滨士, 朱绍华. 表面工程的理论与技术[M]. 第 2 版. 北京: 国防工业出版社, 2010.

[2] 柳建, 孟凡军, 殷凤良, 等. 热喷涂涂层与基体结合界面研究进展[J]. 材料工程, 2017, 45(1): 101-110.
(LIU J, MENG F J, YIN F L, *et al*. Progress in research on bonding interface between thermal spraying coating and substrate[J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(1): 101-110.)

[3] YANG Y, LI K, ZHAO Z, *et al*. Ablation resistance of HfC-SiC coating prepared by supersonic atmospheric plasma spraying for SiC-coated C/C composites[J]. Ceramics International, 2016, 42(4): 4768-4774.

[4] LI B, GAO Y, HAN M. Tribological properties of NiAl matrix composite coatings synthesized by plasma spraying method[J]. Journal of Materials Research, 2017: 1-8.

[5] LIN X P, DONG Y, WANG Z P, *et al*. Effect of supersonic fine particles bombarding on the service life of thermal barrier coating[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2011, 24(5): 911-916.

[6] 王令双, 曹国剑, 唐光泽, 等. 热障涂层的制备及热震性能[J]. 航空材料学报, 2017, 37(2): 44-48.
(WANG L S, CAO G J, TANG G Z, *et al*. Preparation and thermal shock performance of ZrO_2/NiCrAlY thermal barrier coating[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2017, 37(2): 44-48.)

[7] ZHANG X C, XU B S, XUAN F Z, *et al*. Failure mode and fatigue mechanism of laser-remelted plasma-sprayed Ni alloy coatings in rolling contact[J]. Surface and Coatings Technology, 2011, 205: 3119-3127.

[8] 张新格, 邓畅光, 邓春明, 等. NiCrAlY 涂层抗氧化性及氧化过程中的微观结构演变[J]. 航空材料学报, 2015, 35(5): 21-26.
(ZHANG X G, DENG C G, DENG C M, *et al*. Oxidation resistance of NiCrAlY coating and evolution of microstructures during oxidation[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2015, 35(5): 21-26.)

[9] 熊伟, 王永欣, 李金龙, 等. 等离子喷涂 Ni 基涂层摩擦学性能研究[J]. 润滑与密封, 2016, 41(4): 18-23.
(XIONG W, WANG Y X, LI J L, *et al*. Tribological properties of Ni-based coating deposited by plasma spraying[J]. Lubrication Engineering, 2016, 41(4): 18-23.)

[10] 王韶云, 李国禄, 王海斗, 等. 微缺陷对热喷涂涂层接触疲劳性能的影响[J]. 材料工程, 2012(2): 72-76.
(WANG S Y, LI G L, WANG H D, *et al*. Influence of microdefect on rolling contact fatigue performance of thermal spraying coating[J]. Journal of Materials Engineering, 2012(2): 72-76.)

[11] 张志强, 李国禄, 王海斗. 基于统计分析的等离子喷涂层接触疲劳寿命和失效模式[J]. 材料工程, 2015, 43(8): 77-83.
(ZHANG Z Q, LI G L, WANG H D. Contact fatigue life and failure mode of plamsa sprayed coating based on statistical analysis[J]. Journal of Materials Engineering, 2015, 43(8): 77-83.)

[12] 徐滨士, 刘世参. 中国材料工程大典（16 卷）——材料表面工程（上）[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[13] PIAO Z Y, XU B S, WANG H D, *et al*. Influence of undercoating on rolling contact fatigue performance of Fe-based coating[J]. Tribology International, 2010, 43: 252-258.

[14] WANG S Y, LI G L, WANG H D, *et al*. Accelerated fatigue life testing of Nicr-Cr_3C_2 coating at different loads under rolling contact condition[J]. Advanced Materials Research, 2012, 472-475: 13-18.

[15] ZHANG X C, XU B S, WU Y X, *et al*. Porosity, mechanical porosity, residual stresses of supersonic plasma-sprayed Ni-based alloy coatings prepared at different powder feed rate[J]. Applied Surface Science, 2008, 254: 3879-3889.

[16] 茆诗松, 王玲玲. 加速寿命试验[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[17] 官浩, 王安宇, 吴鸿涛. 谐波减速器寿命分布可靠性模型[J]. 机械设计与研究, 2016, 32(6): 46-48.
(GUAN H, WANG A Y, WU H T. Study of life distribution reliability model for harmonic driver[J]. Machine Design and Research, 2016, 32(6): 46-48.)

[18] 中国电子技术标准化研究所.可靠性试验用表[M].北京: 国防工业出版社, 1987.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Prediction for Contact Fatigue Life of Plasma Sprayed Coating Based on Weibull Distribution

FEI Xiaoyu[1], LI Guolu[2], WANG Haidou[3]

（1. School of Electrical Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China; 3. National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China）

Abstract: Weibull distribution is one of the most common statistical methods used to deal with and analyze the fatigue life, but in the study of contact fatigue life of coating, most scholars established the Weibull distribution model without multivariate statistical analysis, which affected the accuracy of the model to a certain extent. In this work, NiCrBSi alloy coating was deposited on steel (AISI 1045) substrate using supersonic plasma spraying technique. Rolling contact fatigue (RCF) life of the coating was investigated using a ball-on-disc tester under different loads. The contact fatigue life of the coating was verified by Fan-Montfort test. The results show that the RCF life of different loads accords with Weibull distribution. The map of Weibull distribution failure probability is plotted. The coating failure probability at any number of cycles under the same working conditions can be observed intuitively through the map. The regression equation of RCF life and loading is established, it shows that the logarithm of characteristic life is linear associated with the loading, and the regression model can accurately characterize the contact fatigue life of coatings in a certain range.

Key words: Weibull distribution; best linear unbiased estimate; Fan-Montfort test; contact fatigue life

（责任编辑：徐永祥）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

基于大数据和云技术的智慧制造在模具设计与制造中的应用研究

费晓瑜[1]　郑　伟[1]　秦万忠[1]　李卫强[2]
（1.天津职业大学，天津　300410；2.天津川宇田科技有限公司，天津　300402）

摘　要：通过探讨基于大数据和云技术的智慧制造技术的特征及其在模具设计与制造中的应用，构建模具智慧制造体系架构，建立模具设计智慧制造模型和模具加工智慧制造模型。旨在促进智慧制造在模具设计与制造中的有效应用，以提高生产效率、缩短研发周期、提升产品质量，以低成本、高效率、高质量满足客户个性化需求。

关键词：智慧制造；大数据；云技术；模具设计与制造
中图分类号：G712　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-8415[2018]-04-0078-04

智慧制造是一种基于大数据和云技术，面向服务和知识运用的人机物协同制造模式，在制造全生命周期过程中为客户提供低成本、高效率的定制化制造服务。模具素有“工业之母”的称号，一直以来被认为是衡量一个国家制造业水平的重要标志之一。智慧制造作为信息化与工业化高度融合的产物，给制造业带来了新一轮革命，也为模具设计与制造整体水平的提升提供了一个新的途径。

一、模具设计与制造发展现状

目前，我国已成为制造大国，但还称不上制造强国，模具行业亦然如此。我国模具产业发展迅猛，当前模具生产制造企业已达到2.5万家，从业人员超过百万，销售额突破1700亿元，总体规模庞大。但仍然存在开发周期长、制造成本高、质量不稳定、精度低、寿命差、海外和高端市场拓展能力弱等问题。互联网时代产品迭代速度之快，对制造周期长、成本高、过程复杂的模具生产传统制造模式提出了严峻挑战。基于大数据和云技术的智慧制造能够有效提升生产效率、完善管理结构、稳定产品质量，适应现代化的生产节奏。目前，智慧制造在模具设计与制造方面的应用尚处于研究探索阶段，需更多的学者投入更多的时间去研究、实践。

二、智慧制造的特征及其在模具设计与制造中的应用

1.智慧制造的特征

智慧制造是制造信息化的高级阶段，是制造技术和信息技术不断发展、融合的结果，具有丰富的内涵和外延，在大数据、云计算、互联网、人工智能等技术的支持下，集成机器智能、普适智能、社会智能以及人的经验、知识和智慧等，通过人、机、物协同决策，为客户提供个性化的制造服务，具有互联化、虚拟化、协同化、网络化、服务化、敏捷化、智能化、社会化、安全化等诸多特征。以工业大数据的智慧分析技术和基于云技术的智慧服务技术为核心的智慧制造绝不仅仅是生产装备的智能化、自动化、数字化，而是包含了整个企业的智慧化运营。即利用大数据和云技术，把各个业务端打通，实现信息共享、

收稿日期：2018-06-14
项目来源：该文为天津市教育科学规划课题项目“高职院校创新型技术技能人才培养模式研究与实践”（VE3131；主持人：秦万忠）的研究成果。
作者简介：费晓瑜（1983-），女，河北昌黎人，天津职业大学机电工程与自动化学院，讲师，硕士。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

资源高度整合、效率大幅提升。

2.模具设计与制造的关键要素

模具设计和加工分别占据模具成本的15%和25%，而且设计周期一般占整个生产周期的20%左右，制造周期占50%以上。模具设计是一个十分体现设计师水平和能力的工作，设计的合理与否直接影响模具的制造成本、加工难易以及使用寿命。模具设计主要包括确定工艺方案及模具结构、主要零部件设计、建立3D数字模型、绘制2D零部件图等流程，需要考虑成本、工序的可靠性和稳定性、使用寿命、安全性等诸多因素。主要设计参数都需要精确的计算，甚至需要通过有限元分析进行优化处理，方能保证模具的稳定使用及产品的制造精度。模具加工则体现的是企业的装备能力和生产调度能力，模具加工的优劣与否直接影响模具的质量和生产周期。模具加工的主要方式包括塑性成形、机械加工、数控加工、特种加工、铸造、焊接、热处理和表面处理等，加工设备和工人的技术、经验起到了决定性作用。合理的调度和企业的协同制造，能够有效提升效率、降低成本。提高模具设计和制造效率，对整个模具产业有着重要的意义。

3.智慧制造在模具设计与制造中的应用

大数据重在信息的汇集与分析，云技术重在信息的整合与共享。基于大数据和云技术的智慧制造作为集企业2.0（Enterprise2.0）、语义网络化制造、云制造、物联智造（Smart Manufacturing，SM）为一体的智能化制造模式，对于提高模具加工资源的利用效率、缩短设计加工制造周期、降低企业生产成本、加快模具开发进程具有重要意义。基于大数据和云技术的智慧制造通过虚拟化制造、网络化制造、区域化制造和全球化制造的生产模式，打破时间、空间的约束，通过大数据、云计算协同企业资源，共享机加设备，从传统的串、并行工作模式，转变成矩阵型网格化工作模式，能够切实提升模具企业的综合市场竞争力，尤其能够大幅提升区域型模具企业的整体水平。但模具企业的设计、生产数据一直被视为核心机密，一般不会轻易分享和公开，极大地制约了智慧制造在模具生产制造中的快速发展。因此，设计一种灵活、科学的智慧制造模型尤为重要。通过该模型，模具生产制造企业实现优势互补，生产资源共享，形成反应快速、执行高效的生产体系和反馈系统，达到提高生产效率、降低生产成本的目的。

三、模具智慧制造模型

1.模具智慧制造的体系架构

根据模具制造流程和基于大数据与云技术的智慧制造，建立模具智慧制造体系构架图，如图1所示。本体系构架把模具生产制造分为设计、加工和售后服务三个环节。设计环节，设计师与模具定制客户进行产品设计与造型的协调，并依托数据库Ⅰ（数字化模型数据库）进行模具的建模，数据库Ⅰ主要包含已完成模具产品的3D模型、数字化模型和标准件数据库等内容；加工环节，工人技师依托设计师的设计图纸和数据库Ⅱ科学合理地安排生产任务，数据库Ⅱ（加工资源与生产调度数据库）主要包含系统内企业的设备情况、生产能力以及可协调生产能力等内容；售后服务环节，需要设计与加工进行技术支持，完成安装调试，同时也需要对模具的使用情况进行跟踪和信息采集，并对数据库Ⅲ（售后服务信息数据库）进行补充完善，数据库Ⅲ主要包含安装调试情况、产品稳定性、维修情况及寿命等内容。以三个数据库为大数据和云技术核心的智慧制造体系，实现了对模具的设计、加工和售后服务的优化协同以及模具全生命周期闭环管理。数据库Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ相对独立，可以根据需要自由开放任意一个或多个，并且给不同“用户”不同的访问权限，进一

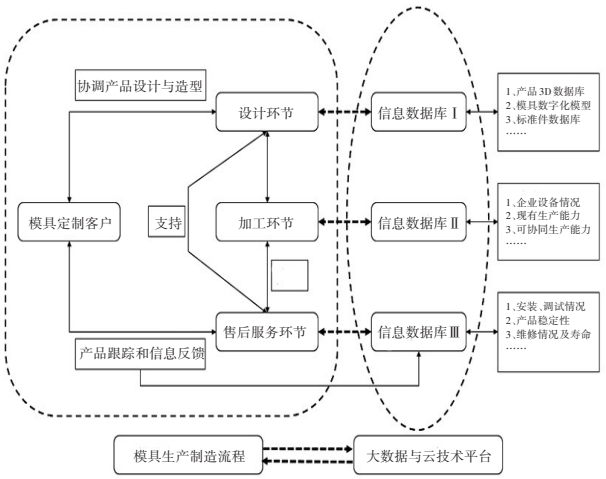


图1　模具智慧制造体系架构图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

步提高数据的保密性和操作性。

2.模具设计智慧制造模型

基于大数据和云技术的智慧制造，结合模具设计过程特点，建立模具设计智慧制造模型，如图2所示。基于“数字化模型数据库”，设计师通过关键词导入，利用云计算技术对拟设计产品与库中已有产品的相似度进行对比，按照相似度由高到低排序导出，并按＜40%、40%-60%、≥60%进行分类。设计师对导出结果进行研判并校准，研判结果一则通过人工神经网络技术反馈“数字化模型数据库”，作为调整准确度的重要依据；二则通过参考“售后服务信息数据库”存储的售后服务信息，进一步调整选择最优数字化模型。基于已选模型，利用UG、ProE等软件进行建模，之后通过必要的有限元软件进行优化，完成产品设计，并将新的产品数模储存到数字化模型数据库中。按照某公司模具设计师的实际工作经验，该模型的应用可以节约设计时间20%左右，随着数据量的不断积累和云计算技术的不断成熟，该节约比还会继续提高。

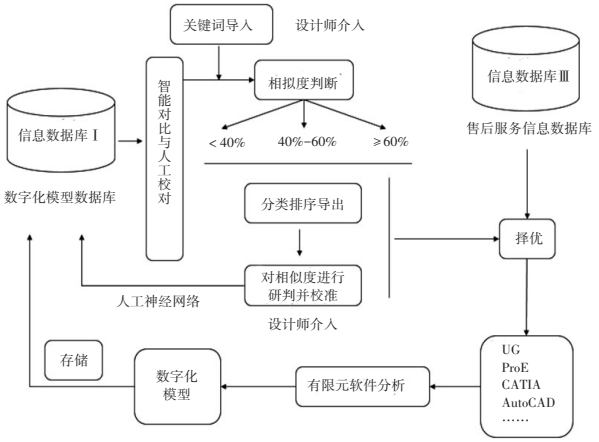


图2　模具设计智慧制造模型

3.模具加工智慧制造模型

基于大数据和云技术的智慧制造，结合模具加工过程特点，建立模具加工智慧制造模型，如图3所示。基于“加工资源与生产调度数据库”，生产调度中心向智慧制造协作平台发布生产指令信息，指令信息包括所有的加工图纸、技术指标、质量标准、验收标准，以及数量、价格、交货期、交货地点等加工合同所含的所有关键信息。数据库根据库中各加工厂的加工资源、可接订单能力和信誉度等信息，智能屏蔽不满足条件的加工厂。原则上，库内的所有满足条件的加工厂均有机会接单，但设定生产指令发布企业拥有优先接单权，并可以指定优先接单工厂，发布公司或指定的优先接单工厂在有效时间内未接单，则由其他协作工厂竞争性拍单。经订单发布公司和接单工厂双方确认无误后，签署电子协议书，加工合同正式确认。完成加工合同后，订单发布公司和接单工厂对对方进行评价，评价结果存储到“加工资源与生产调度数据库”，用于数据库的更新和完善。该模型的应用，一方面，能够有效提高模具加工制造效率，降低生产成本，缩短生产周期；另一方面，能够有效提高加工工厂的设备利用率，并通过“抢单”的方式增强工厂的市场竞争意识和服务意识，实现良性发展。

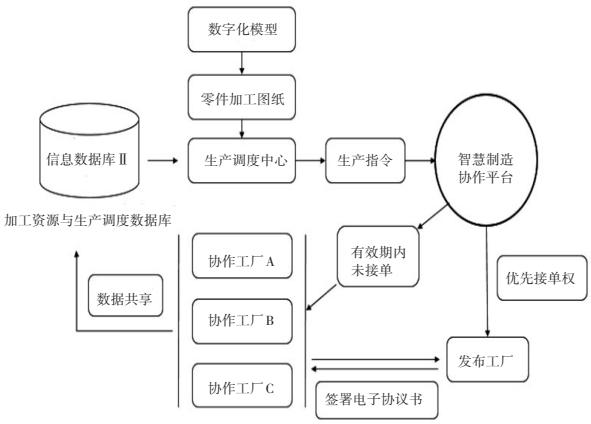


图3　模具加工智慧制造模型

四、结语

根据模具设计与制造流程，基于大数据和云技术的智慧制造，构建了模具智慧制造体系架构，建立了模具设计智慧制造模型和模具加工智慧制造模型。通过“数字化模型”“加工资源与生产调度”“售后服务信息数据库”三个数据库的科学使用，实现了对模具的设计、加工和售后服务的优化协同以及模具全生命周期闭环管理，能够有效缩短模具产品的设计周期、提升加工制造效率、提高产品质量，是模具设计与加工的智能化发展的一种新趋势。

（责任编辑：邹吉权）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献：

[1] 姚锡凡, 练肇通, 杨　屹, 等. 智慧制造——面向未来互联网的人机物协同制造模式[J]. 计算机集成制造系统, 2014(6): 1490−1498.

[2] 南长峰. 模具数字化设计与制造——模具设计与制造技术的发展趋势[J]. 航空制造技术, 2015 (9) :40−45.

[3] 赵志伟, 刘克明. 模具制造技术的发展现状与展望[J]. 热处理技术与装备, 2016 (6) :69−72.

[4] 刘　斌, 谭景焕. 现代模具设计技术的现状及发展趋势[J]. 塑料工业, 2017 (2) :1−6.

[5] 夏琴香, 胡玄通, 陈　登, 等. 精冲技术的研究现状与发展趋势[J]. 锻压技术, 2015 (7) :1−6.

[6] 刘　斌, 谭景焕. 现代模具设计技术的现状及发展趋势[J]. 塑料工业, 2017(2) :1−6.

[7] 鲁建厦,胡庆辉,董巧英. 智慧制造及其研究现状[J]. 浙江工业大学学报, 2016(6): 681−688.

[8] 张存吉, 姚锡凡, 张翼翔, 等. 从“数控一代”到“智慧一代”[J]. 计算机集成制造系统, 2015(7): 1734—1743.

[9] 杨续昌, 陈友玲. 智慧制造模式及运行架构研究[J]. 科技进步与对策, 2017 (13) :61−66.

[10]杨华林. 控制模具生产周期的方法[J]. 教育教学论坛, 2011 (35) :154−155.

[11]马铭均,王　峥. 模具云制造模式的构建研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017 (6) : 170−171.

Research on the Application of Intelligent Manufacture in Mold Design and Manufacture Based on Big Data and Cloud Technology

FEI Xiao−yu[1]　ZHENG Wei[1]　QIN Wan−zhong[1]　LI Wei−qiang[2]

(1. Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;2. Tianjin Chuan Yu Tian Technology Co., Ltd., Tianjin 300402, China)

Abstract: Through the discussion of the features of intelligent manufacturing technology based on big data and cloud technologies and its application in mold design and manufacture, the architecture of intelligent manufacturing system is constructed, and the intelligent manufacturing models of mold design and mold manufacturing are established. The purpose is to promote the effective application of intelligent manufacturing in mold design and manufacture, in order to improve production efficiency, shorten the research and development cycle, enhance product quality, and to meet the individual needs of customers with lower cost, high efficiency and quality.

Keywords: intelligent manufacture; big data; cloud technology; mold design and manufacture

（上接第 50 页）

参考文献：

[1]牛亚莉. 高职院校家政专业设置的研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.

[2]尹红莲, 梁秋生, 张本昌. 基于 AHP 的高职实践课程体系研究 [J]. 职业技术教育, 2007(16): 55−57.

[3]曾子明. 基于层次分析法的电子商务专业课程设置与评估 [J]. 中国电力教育, 2013(13): 122−123.

[4]邢红宇. 基于 AHP 法和 Delphi 法的网络课程评价体系设计研究 [J]. 中国电化教育研究, 2006(9): 78−81.

[5]张炳江. 层次分析法及其应用案例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

[6]徐剑华, 胡忠伟. 中国特色家政学理论体系与学科构架研究 [J]. 高等农业教育, 2007(5): 58−61.

[7]谭晓玉. 当代国外职业教育课程模式概述 [J]. 比较教育研究, 1993(6): 35−36.

[8]教育部职业教育与成人教育司. 高等职业学校专业教学标准(试行) [S]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 2012.

Construction of the Curriculum System of Household Service and Management Specialty in Higher Vocational Colleges Based on AHP

LIU Qian

（Heze Domestic Professional College, Heze 274300, China）

Abstract: Based on the analysis of the construction significance of the curriculum system of household service and management specialty in higher vocational colleges, the curriculum system setting model of occupation cluster and the assessment method have been put forward based on analytic hierarchy process. The results of investigation and research show that the system model and method can provide scientific decision basis for the curriculum system construction and teaching reform of the household service and management specialty in higher vocational colleges.

Key words: analytic hierarchy process; higher vocational colleges; household service; occupation cluster; curriculum system

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文章编号：1002-025X(2016)12-0090-04

基于二维 log－Gabor 小波的相位一致 PCB 芯片缺陷提取

石梅香

（天津职业大学， 天津 300402）

摘要：随着电子贴片技术的不断发展，PCB 板的焊接元件越来越趋于微小型化，这对 PCB 板焊接缺陷侦测技术提出了新的挑战，如何精确定位、识别诊断焊接故障，是经常面临的问题。本文利用相位一致性算法来提取图像的如阶跃边缘、线边缘及融合两者特征的边缘等边缘特征，通过 Hamming 距比较的方法进行特征匹配，进而完成对 PCB 板微小型元件的焊接故障识别，避免了对图像灰度级的依赖，同时具有较高的清晰度，定位的精准性也大大提高。

关键字：相位一致性；log-Gabor 小波法；焊接特征检测

中图分类号：TG441.7 文献标志码：B

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2016.12.025

0 概述

随着电子表面贴片技术的不断发展，PCB 正朝着高密度、多层数、微小型、超薄型、精细型等新一代轻捷、便利的方向改变[1]。PCB 板的焊接元件体积越来越小、焊点间距越来越小，元件越来越小型化，元件密度也不断增大，这些都对“PCB 板焊接缺陷侦测技术”提出了更多新的要求和挑战，使 PCB 板的焊接缺陷侦测变得尤为困难[2]。

目前，对 PCB 板焊接质量识别以非接触式、基于外观的检测方法最为活跃。这是基于外观的检测方法其外观参数主要涉及颜色梯度、图像明暗和图像边缘等方面，而基于焊接图像边缘检测的方法应用最为广泛。在文献［3］中，采用的是图像叠加的方式，融合小波变换模极大值法进行边缘检测；文献［4］利用 Canny 算子进行边缘检测，然后通过图像模板匹配的方法获取焊点的缺陷；文献中［5］应用改进的 Sobel 算子，采用分段积累搜索检测边缘算法，对含有噪声的焊接图像进行检测，这些方法都为基于梯度的边缘检测，对图像的灰度级有很强的依赖。

本文拟采用基于二维 log-Gabor 小波相位一致提取焊接图像，是基于傅里叶变换理论的一种局部能量模型的特征感知模型的检测方法，它通过构建相位一致模型实现边缘的检测。在 PCB 板检测中，核心功能元件体积小、引脚密度高检测最为困难，因此，本文的基本思路为以电路板图像中核心功能元件为中心，将图像分割，分割为若干个图片，然后利用 Peter Kovesi 的相位一致性算法来提取图像边缘特征，最后通过 Hamming 距比较的方法进行特征匹配。具体的操作流程如图 1 所示。

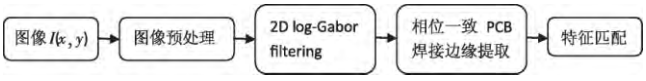


图 1 操作流程

1 基于二维 log-Gabor 的相位一致焊接图像特征提取

1.1 二维 log-Gabor 函数

因为 log-Gabor 小波滤波器和人类初级视觉反应相类似，具有空间局部性和方向选择性等理想特性，并且在空间域和频域具有最佳定位等特征[6]，这些属性、特征使他们在需要解决图像的分解和表示，以及目标的定位获得识别问题时成为一个合适的选择，所以基于 log-Gabor 小波的方法已成功地应用于许多计算机视觉问题，如指纹图像增强和纹理分割、人脸特征识别等领域。

2D 的 log-Gabor 函数的频域表达式为径向分量

收稿日期：2016-10-31

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和角度分量的乘积如式（1）：

$$G(f,\ \theta)=\exp\left[\frac{-\left(\frac{\ln f}{f_0}\right)^2}{2\ln\left(\frac{\sigma}{f_0}\right)^2}\right]*\exp\left[\frac{-(\theta-\theta_0)}{2\sigma_\theta^2}\right],\quad(1)$$

式中：f_0 为滤波器的中心频率；θ_0 为滤波器的方向角；σ/f_0 为 log-Gabor 函数的径向分量；σ_θ 为角度分量的标准偏差。

滤波器的带宽形状由 σ/f_0 决定，为使滤波器的形状恒定，对于不同的中心频率 f_0，σ/f_0 值应保持不变。当 σ/f_0 值不同时，滤波器的带宽也就不同。例如：当 σ/f_0 为 0.74 时，大致相当于滤波器为 1 倍频的带宽；当 σ/f_0 为 0.55 时，相当于滤波器为 2 倍频的带宽；当 σ/f_0 为 0.41 时，相当于滤波器为 3 倍频的带宽。滤波器带宽定义如式（2）：

$$B=2\sqrt{2/\ln 2}*\left|\ln\left(\frac{\sigma_f}{f_0}\right)\right|。\quad(2)$$

滤波器之间的方向间隔定义为：

$$\Delta\Omega=2\sigma_\theta 2\sqrt{2\ln 2}。$$

本文特征提取时，$\sigma/f_0=0.55$。

1.2 二维相位一致提取图像特征检测

相位一致性检测基于傅里叶变换，将图像中傅里叶变换相位最一致的点作为特征点[13]，它不仅能检测出图像各个方向的阶跃、线、角等特征；同时还能很好地提取图像的纹理特征，其中包含图像边缘部分，是性能非常优秀的图像特征检测算子，极其符合人类视觉感知特性；此外，它还对图像的亮度、对比度不敏感，可以很好地克服光线明暗所带来的纹理结构影响。

Reter Kovesi 在文献[7]中对相位一致性算法进行了研究，并将相位一致性算法扩展到了二维空间中。笔者首先对 log-Gabor 二维小波进行尺度和方向变换，生成 m 尺度，o 个方向的滤波器组，将图像 $I(x,\ y)$ 经过傅立叶变换后，再与生成的滤波器组进行卷积计算。具体步骤为，假如尺度为 m，方向为 o 的 log-Gabor 小波滤波器的实部和虚部分别记为 M^e_{mo}，M^o_{mo}，$I(x,\ y)$ 与 M^e_{mo}，M^o_{mo} 分别进行卷积计算，如式(3)：

$$[e_{mo}(x,\ y),\ o_{mo}(x,\ y)]=[I(x,\ y)*M^e_{mo},\ I(x,\ y)*M^o_{mo}]。\quad(3)$$

那么计算尺度 m，方向为 o 的振幅和相位如式（4）及式（5）：

$$A_{mo}=\sqrt{e_{mo}(x,\ y)^2+o_{mo}(x,\ y)^2},\quad(4)$$

$$\phi_{mo}=\arctan\ [o_{mo}(x,\ y)/E_o(x,\ y)]。\quad(5)$$

按照 Venkatesh 和 Owens 在文献 [8] 中提出的局部能量函数与相位一致的关系，通过局部能量函数进行相位一致计算，局部能量函数为：

$$E_o(x,\ y)=\sqrt{\left[\sum_n e_{no}(x,\ y)\right]^2+\left[\sum_n o_{no}(x,\ y)\right]^2},\quad(6)$$

得到的 PC 定义为：

$$PC_o(x,\ y)=\frac{E_o(x,\ y)}{\sum_s A_{mo}(x,\ y)}。\quad(7)$$

相位一致模型算法从提出到应用，经过了一系列的改进，如进行频率扩展和噪声补偿。频率扩展是为了解决频率范围较窄时信号的特征检测问题，即在滤波器响应频率窄的位置构造了一个加权函数 w。

$$w(x,\ y)=\frac{1}{1+e^{g[c-s(x,\ y)]}},\quad(8)$$

式中：c 为滤波器频率扩展的截至频率值；g 为增益因子，一般为 0.4~10；s 定义为式（9）；N 为分解的尺度数。

$$s(x,\ y)=\frac{1}{N}\left\lfloor\frac{\sum_n A_{no}(x,\ y)}{\varepsilon+A_{\max}(x,\ y)}\right\rfloor。\quad(9)$$

此外，Kovesi 还提出，滤波器对噪声响应的幅度直接正比于它们的带宽，对噪声做出补偿，补偿参数 T 为：

$$T=k\overline{A}'_0\left(\sum_{n=0}^{N-1}\frac{1}{m^n}\right)=k\overline{A}'_0\frac{1-m^{-N}}{1-1/m},\quad(10)$$

式中：$\overline{A}'_0=e^{\overline{\ln A_0(x,y)}}$ 为最小的尺度滤波对信号的平均噪声响应的估计；N 为尺度数量；k 为缩放因子，典型值为 2.5；m 为比例因子。

经过频率扩展和噪声补偿，在方向 o 上的相位一致模型定义为：

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$PC_o(x,\ y)=\frac{\sum_o w_o(x,\ y)\lfloor E_o(x,\ y)-T_0\rfloor}{\sum_o\sum_n A_{no}(x,\ y)+\varepsilon},\quad (11)$$

式中：ε是一个极小的常数，用于避免分母为 0。

对 PCB 焊接芯片图像特征进行采集，应该着重于核心功能芯片，并且要与其他边缘提取算法进行比较。

2 特征匹配

2.1 原理

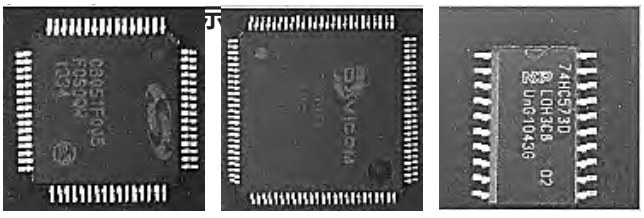
焊接故障识别系统从频率域角度出发，将图像先进行傅立叶变换，通过使用 6 方向、3 尺度的二维 log-Gabor 小波相位一致方法来提取焊接图像的特征，并采用 Hamming 距来衡量特征的相似度，定义为式（12）：

$$HD=\frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L}A_j\oplus B_j,\quad (12)$$

式中：L 为特征向量长度；A_j 和 B_j 分别为检测图像和标准图像的特征向量。

2.2 试验

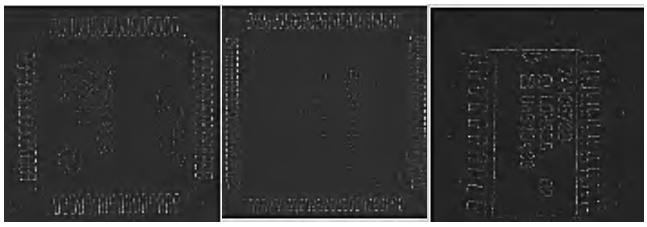
对二维 log-Gabor 小波相位一致边缘检测算法和 Candy 算子和 Gabor 小波变换检测进行对比试验，针对 PCB 板焊难以辨认的小型化贴片元件的进行边缘示



LQFP100 封装　　TQFP64 封装　　SOP20 封装

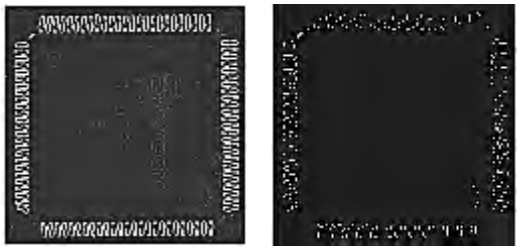
图 2 不同引脚密度的焊接芯片

在试验中，针对含有 3 种不同焊接引脚宽度的芯片图像，LQFP 封装芯片引脚间距 0.5 mm，TQFP 封装芯片引脚间距为 0.8 mm，SOP 封装引脚间距 1.27 mm，从图像边缘提取的清晰度、除噪抗扰性能以及信息量等维度进行了比较，如图 3 所示。对同为 LQFP100 进行了 Canny 算子和 Gabor 小波变换提



LQFP100 封装　　TQFP64 封装　　SOP20 封装

图 3 相位一致提取特征



LQFP100 封装 Gabor 小波变换提取　　LQFP100 封装 Canny 算子提取

图 4 分别为 Canny 算子和 Gabor 小波变换提取

在 3 种边缘特征提取方法中基于梯度信息的 Canny 算子提取算法边缘信息模糊，Gabor 小波变换和相位一致算法均对光照不敏感，能较好地提取芯片的边缘信息。Gabor 小波变换针对每一个像素点，计算多尺度、多方向的特征值计算量大，特征向量信息量大，二维 log-Gabor 小波相位一致检测，识别焊接芯片，具有明显的优势。

3 结论

PCB 焊接图像的核心芯片引脚密度大，并具有反光特性背景灰度较低。本文采用 log-Gabor 小波对焊接图像进行相位一致提取，不但对图像的边缘特征提取有很好的效果，同时该算法既不受图像对比度及亮度改变的影响，又能提取到尽可能完整的边缘特征。采用本方法提取的焊缝图像边缘特征信息量丰富，特征结果也比较清晰稳定，定位精确，表明了 log-Gabor 相位一致方法提取 PCB 焊接引脚特征用于识别的有效性。

参考文献：

[1] 张　静. PCB 表观缺陷的自动光学检测理论与技术 [D]. 四川成都：电子科技大学，2013.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：1002-025X(2016)12-0093-02

燃气除尘罐脉冲反吹压力不足问题分析

孙长久

（本钢集团北营公司炼铁厂，辽宁 本溪 117000）

摘要：六炉燃气是由8个大型除尘罐组成的，是高炉荒煤气除尘分离装置的重点设备之一。燃气除尘罐是在高温高压有振动载荷下运行工作的设备。罐内储存易燃、易爆气体介质，属于III类大型压力容器，由于在实际生产中出现反吹压力不足，压差偏大，罐内布袋不能起到除尘作用。经过对问题的分析，将原有部件进行了更换改造，取得成功。

关键词：脉冲反吹管；改造；定位焊接；焊接工艺

中图分类号：TG444.1 文献标志码：B

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2016.12.026

六炉燃气是由8个除尘罐组成的，是高炉荒煤气除尘分离煤气的重点设备之一，其内部构成是由ϕ137 mm的118孔花板，用钢丝骨架，将6 m长的布袋撑起，插入花板孔里组成布袋除尘装置。利用立式脉冲分配器，将进口压力为837 kPa氮气通过罐内的氮气管分头对罐内的布袋口反吹，将灰尘进行反吹清除作用，由于罐内氮气压力不足，从而导致罐内布袋除尘效果不到佳，影响发电厂用净煤气发电，同时也影响三四高线生产用煤气。

1 除尘罐氮气脉冲反吹管的检查

8个除尘罐内压差在不同程度上增大，经过燃气岗位员工开罐检查，发现布袋反吹不净，是影响除尘效果的一个重要因素，检查发现，每个罐体是由10根脉冲反吹管通过胶管弯头与罐体管连接，由于胶管弯头长时间处于高温高压、震动状态，造成胶管弯头老化松动而漏气。经对出现问题的原因分析，提出改用无缝冲压弯头取代胶管弯头，并按压力容器的焊接工艺进行焊接。

2 脉冲反吹管漏气的改造措施

脉冲反吹管和罐体钢管材质为Q235钢直径为89 mm。金属管弯头是采用无缝冲压弯头Q235-C钢制成，规格为ϕ89 mm×4 mm，弯头角度为90°，与脉冲分配器管连接为垂直定位焊接，与罐体连接是水平定位焊接，这2种形式定位的焊接接头都采用压力容器的焊接工艺，进行单面焊双面成形焊接。

水平位置管对接口、垂直位置管对接口的定位焊，管子中心线必须对正，以免出现中心线偏移，产生错边。为了避免焊接所造成收缩，除了留出焊

收稿日期：2016-08-22

[2] 吴梅珠，吴小龙. 精细线路PCB对AOI检测技术的挑战[J]. 印制电路信息，2009，17(12)：52-55.

[3] 郝红敏. 基于小波变换的焊点缺陷识别方法的研究[D]. 天津：河北工业大学，2013.

[4] 任 皓. 基于图像识别的PCB焊接质量检测技术的研究[D]. 天津：天津理工大学，2015.

[5] 刘 阳. 基于图像处理的PCB焊接缺陷检测技术研究[D]. 辽宁 大连：大连理工大学，2009.

[6] Hsieh C T，Hu C S and Lee Y C. A simple face aging/reverse-aging synthesis method using log-Gabor wavelet[J]. Tamkang，Journal of Applied Science and Engineering，2013，16.

[7] Peter Kovesi. Invariant Measures of Image Features From Phase Information[M]. University of Western Australia，1996.

[8] Venkatesh S，Owens R. An energy feature detection scheme[C]// The International Conference on Image Processing，Singapore，1989：553-557.

作者简介：石梅香（1976—），女，硕士，讲师，在天津职业大学机电与自动化学院从事焊接专业课教学工作.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于翻转课堂为主体的项目化教学模式研究

王丽颖[1],韩晓冬[2]
(1.天津职业大学,天津 300410;2.天津城市建设管理职业技术学院,天津 300134)

摘 要:翻转课堂在项目化教学模式中的应用能够使教师的身份由“讲台上的主人”向“学生身边的导师”转化,更加体现了以生为本,解决传统课堂教学时间紧而教学任务繁重的问题。同时,借助互联网络简化课堂实操流程,降低实操教学成本,解决了项目化教学中的实际困难,为项目化教学的积极发展奠定了良好的基础。

关键词:翻转课堂;项目化;教学模式
中图分类号:G712 文献标识码:A 文章编号:2095-8528(2016)04-027-04
DOI:10.16350/j.cnki.cn12-1442/g4.2016.04.008

伴随着信息化教学的大力推进,翻转课堂(又名“颠倒性课堂”“反转课堂”)作为国内外教育教学领域一种新的教学模式,成为了当前的热门话题,同时这也促进了我国高职院校的教育教学改革进一步深化。

一、翻转课堂的特点

翻转课堂使得传统的教学模式和教学方式发生了质的改变,其特点是:

一是增加老师与学生间的互动,让老师更深入的了解自己的学生。翻转课堂是以学生为焦点,教师对学生进行持续性的观察,及时解答他们提出的疑难问题,评估其学习过程,最终检验学习效果。此时,教师是一个引导者,课堂上有更多的时间能分配到学生小组讨论中,帮助学生一起解决学习过程中遇到的困难和问题。

二是提倡学生为主体、教师为主导,充分引导学生互动。翻转课堂教学能够将学习内容以教学视频的形式永久保存上传到网络平台上,学生能够结合自身的特点和学习能力,自主选择时间和空间进行学习。与此同时,学生还可根据自己的理解情况,自行调整学习进度和课件学习的次数,对自己感到困惑的知识点也可以先记录下来,之后在网络资源上查找答案,仍未解决的问题再当面与老师和其他同学进行沟通研究。在此过程中,学生可以提出问题,并与教师、同学进行分享探究,由此成为了真正意义上的学习者。

三是课堂时间被重新分配,得到高效利用。在翻转课堂的教学模式下,教师用更多的时间指引学生学习学生们在交流研讨中完成学习。教师可以观察、引导和帮助他们进行学习。

二、翻转课堂在项目化教学模式中的应用

高职院校的教学做一体化教学模式通常采用项目化教学法,先将项目引入和分析,再把项目分解并作适当示范,然后在规定的时间内由学生自行分工协作并完成教师布置的项目任务。项目教学中的项目来源应该是企业、工程中的实际过程,而每一个小的教学项目都有其差异化的教学任务和教学目标,对于那些相互联系和影响的知识点能够借助于系统化处理将其融合成一个项目进行教学。学生亲自参与到项目实施的每一个过程和环节中,这样他

收稿日期:2016-01-29
作者简介:王丽颖(1985),女,天津市人,硕士,讲师,研究方向为职业教育、包装材料与技术;韩晓冬(1985),男,天津市人,硕士,讲师,研究方向为职业教育,建筑材料。
此文为天津市高等职业技术教育研究会项目“基于翻转课堂的教学实施与教学内容重组研究”(课题编号:XIV500)的研究成果。

中国知网 https://www.cnki.net

们就会从主观上更好地理解和掌握整个项目实施过程中的难点和重点，真正诠释“做中学，学中做”的意义。项目化教学法的特点是具有体验性和实践性，它看重使学生通过参与项目来获取知识和操作技能，以及学会发现问题、分析问题和解决问题的能力。在此过程中，还要不断培养和完善学生的团队协作意识、创新意识、责任意识，更要加强学生对知识进行自主深化与拓展的能力。在教学设计的整个过程中，教师必须改变一台电脑、一支粉笔的传统教学模式，规划好教学思路来教学，而是采用以学生为中心的教学方法。因此，项目化教学法不仅要求学生对基本理论知识的掌握，而且更注重理论与实际间的结合。教师若在规定的教学周内完成项目化教学任务，将翻转课堂的教学理念融入其中是一个非常不错的选择。

首先，翻转课堂是一种很适用和很有效的教学方法，为增强教学上的效果，它可以采用多种信息化技术工具，特别是移动互联网的普及和计算机技术在教育领域的应用，使翻转课堂成为一种可实现的教学方法。比如在向学生讲解比较容易理解的知识点时，教师可以依靠信息化的教学课件来向学生讲授知识；当讲授到一些抽象的、用叙述性语言无法准确表达、难以描述的知识点时，教师可以使用图片或者三维立体动画技术将那些难点形象地表现出来，尤其是在项目化教学过程中，一些实操成本较高的教学内容，或者不宜仿真的实际工程场景，更可以借助摄像机拍摄短片汲取素材，并且通过多媒体或者移动多媒体等途径进行展现，大大激发了学生的学习积极性。

其次，在项目化教学过程中，课程容量较大且教学内容多，如果教师对每个项目所涉及的知识点都讲解，显然不够用，这就给教师带来了一定的挑战，教师在上课前必须要做好充分的准备工作，要把教学内容精简再精简，才能勉强确保学生的实操时间。而将翻转课堂融入项目化教学模式，一方面延长了课堂的实训时间，另一方面移动互联网络资源的共享更是为学生提供了大量的知识来源，比如通过电子书、教学视频等，学生可以在移动互联网络上依据对知识点的掌握情况选择性地阅读相关资料。在课堂上，教师不再考虑某个学生对某个知识点是否已经熟悉或者说对某个概念不了解、不清楚，而是可以有更多的时间来指导学生进行实训操作和解答学生的疑难问题。这样，教师在课堂上可以将时间充分而有效地利用，学生对知识点的掌握也可以更加牢固。

第三，翻转课堂使教学主体也发生了很大变化，教师的身份由“讲台上的主人”向“学生身边的导师”转化，更加体现了以生为本。移动互联网络的资源的丰富性决定了教学工作者可以为不同学生定制学习服务，其教学内容能够借助于数字化的多媒体技术，辅以音乐、动画增加学生学习过程中的画面感、冲击力和感染力。因此，翻转后的教学模式就出现了学生学习、探索、发现知识的重要认知工具，彰显了个性化的教学方法。另外，学生们还可以根据自身需求，从其他兄弟院校、科研机构等网站上下载与所学知识相关的学习视频：互联网平台上资源的快速整合功能可以方便快捷地实现教学资源和教学信息的互融互通、高度共享。这些都充分体现了以学生为中心，为学生提供个性化的服务与指导。

第四，在理论基础研究上并结合实际情况，笔者尝试构建了基于翻转课堂为主体的项目化教学模式模型（见图 1），该模型充分体现了以学生为中心和学生自我管理的教学模式，共分为课前、课中和课后三部分，如下图所示：

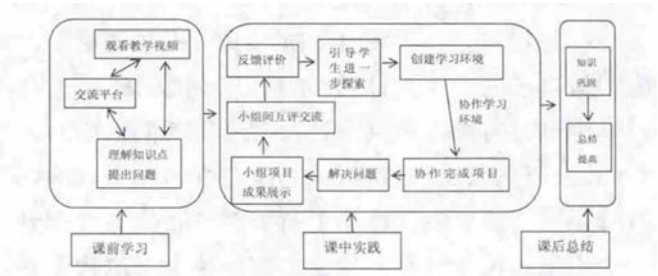


图 1　基于翻转课堂为主体的项目化教学模式模型

1.课前的教学活动设计。专业教师需要在上课前完成对课程内容的项目化教学设计，因此一方面需要在网络平台上发布项目学习的相关任务单，包括教学目标、项目要求和项目内容等，另一方面要制作完成网络资料以供学生自主学习，比如教学微视频、教学课件、测验试题等。同时教师还要及时关注交流平台，回答学生在学习过程中遇到的一些疑难问题。每个学生在上课前需要通过网络平台或者其他移动互联网络资源上提供的学习资料，并且要根据项目要求和项目任务，来自主完成学习，掌握相关

中国知网　https://www.cnki.net

的知识点，并完成知识测评以检测自学的效果，还可以在网络交流平台上提出自己在学习过程中不明白的问题。相比于传统教学课堂的课前预习即要求学生只是能够简单了解教学内容，翻转课堂教学模式则要在课前要求学生必须能够理解甚至掌握项目相关的知识点，这样才能保证学生在上课时顺利完成教学进度。因此，翻转课堂教学模式中学生的课前自主学习的效果对课上教学活动能否顺利开展有着十分重要的影响。

2.课中的教学活动实践。课中的教学作为学生进行知识内化的过程十分的重要。课堂上，教师首先通过答疑、讨论等方式来帮助学生完成要求的项目任务，其次作为项目学习的指导者，要对学生完成任务的实际情况进行点评和反馈，最后对项目任务中涉及到的相关知识点进行总结。学生是项目的实施者，课上要以小组为单位与其他学生协作共同完成项目任务，整个过程中遇到问题可以与老师、同学之间共同研讨或者向教师提问，最后每个小组要进行项目成果展示，小组间还要完成互评交流，教师可以通过这种方式来检查项目完成情况，检验学生对所要求的知识点是否真正掌握。

3.课后的教学活动总结。课后的教学活动是项目知识的深化巩固和拓展延伸阶段。根据提出的项目拓展任务，教师在课下要对相关的网络学习资料进行补充，而且还要通过网上答疑等方式来帮助学生完成任务，然后根据每个学生完成任务情况进行逐一评价，最后教师还要对项目拓展任务中的知识要点进行总结。学生在课后通过在线学习和向交流平台提问等方式完成指定的项目拓展任务，以此进一步深化学习，完成对项目要求的知识点的巩固和提高。

当今丰富的信息化网络资源，可以充分被基于翻转课堂为主体的项目化教学模式采用，使学生在课前就能借助于相关教学视频资源了解课程重点，初步接受所学知识和技能，为课堂教学过程中亲自参与到项目实践中留够充足的时间，以解决传统教学课堂上教学时间紧迫而教学任务繁重的问题。同时，还能够充分借助于移动互联网络资源为学习者提供现实工作过程中的操作短片，在某种意义上大大简化了课堂实操流程，降低了实操教学成本，保证了学习者学习过程的安全问题，可以说以上几点较好解决了项目化教学中的实际困难。这种学习过程的变迁为项目化教学的积极发展奠定了良好的基础，产生了积极的影响。当然这种新的教学模式也存在一些难题：比如，对教师的专业能力和教学视频的录制质量要求会更高，在教学课件中需要构建清晰明了的学习导航体系以及课堂实践的交流指导和个性化的学习辅导，这些都给专业教师增加了不少的教学难度。其次，相比于现在的教学模式，要求学生需要投入更多的时间和精力，而且这些对学生的自主学习能力要求更高，这样才能在课堂前完成对教学视频的学习。因此，还需要学校、专业教师以及学生三方面一起做出更多的努力与探索，才能全面地将翻转课堂融入当前项目化教学模式中。

参考文献：

[1]徐岩.“教学做”一体化高职教学模式的构建[J].辽宁高职学报，2011（10）：35-38.

[2]张金磊，王颖，张宝辉.翻转课堂教学模式研究[J].远程教育杂志，2012（4）：46-51.

[3]宋朝霞，俞启定.基于翻转课堂的项目式教学模式研究[J].远程教育杂志，2014（1）：96-104.

[4]陈晓菲.翻转课堂教学模式的研究[D].武汉：华中师范大学，2014.

中国知网 https://www.cnki.net

Research on Project Oriented Teaching Mode Based On the Flipped Classroom

WANG Li-ying[1], HAN Xiao-dong[2]

(1. Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. Tianjin Urban Construction Management &Vocation Technology College, Tianjin 300134, China)

Abstract: Flipped Classroom applied in the project oriented teaching mode can change the role of teachers in the class from leaders to mentors, with the focus of student oriented the solution to limited time and heavy task in traditional class. Meanwhile, simplifying the process of class practice by internet, and lowering the cost of practice, flipped classroom is to solve the practical problems and lay the sound foundation for the development of project oriented teaching mode.

Key words: Flipped classroom; Project oriented; Teaching mode

编辑　朱荣华

中国知网　https://www.cnki.net

基于改进 FP-Growth 算法的无人机飞行故障诊断 *

郑 伟,李 强,张永飞
(天津职业大学 机电工程与自动化学院,天津 300410)

摘 要 为了探究无人机飞行数据中征兆与故障的内在联系,提出了一种改进 FP-Growth 算法。该算法首先在数据挖掘中设计了符合无人机飞行故障特点的约束条件,作为对 FP-Growth 算法的改进重点,然后对飞行数据特征库进行筛选并建立 FP-tree,进而挖掘出有效的关联规则,最后生成规则库,为无人机飞行故障的定位提供依据。应用实验表明,提出的改进 FP-Growth 算法能够快速、准确地为无人机飞行故障做出诊断,并且规则库具有良好的规模增长性。

关键词 数据挖掘;关联规则;FP-Growth;无人机;故障诊断
中图分类号:TP182 文献标志码:A 文章编号:2095-2945(2019)13-0016-04

Abstract: In order to explore the internal relationship between symptoms and faults in UAV flight data, an improved FP-Growth algorithm is proposed. In this algorithm, the constraints in accordance with the flight fault characteristics of UAV are designed in data mining, which is the focus of the improvement of FP-Growth algorithm. Then, the flight data feature database is screened, FP-tree is established, and valid association rules are mined. Finally, the rule base is generated, which provides the basis for the location of UAV flight faults. The application experiments show that the improved FP-Growth algorithm can diagnose the flight fault of UAV quickly and accurately, and the rule base proves to have growth in scale.

Keywords: data mining; association rules; FP-Growth; UAV; fault diagnosis

引言

随着无人机技术的不断发展和广泛应用,无人机的系统构成及控制算法越来越复杂,使得无人机出现故障的概率升高,故障的定位以及征兆与故障之间的关联变得越来越难以查找。虽然无人机在测试及使用过程中会产生海量的飞行数据,但是数据之间不能形成可识别的故障信息,无法为无人机的故障诊断提供有效帮助。因此,如何利用飞行数据发现无人机征兆与故障之间的联系,进而诊断出无人机故障,已成为一个亟待解决的问题。

基于无人机飞行数据的故障诊断已受到了广泛的关注,文献[1]中提出了基于专家系统的无人机故障诊断。文献[2]中利用专家系统与人工智能的融合算法,诊断无人机故障。文献[3]基于 BP 神经网络,建立了无人机故障诊断专家系统。上述方法虽然实现了对无人机故障的定位,但仅是找到了征兆与故障间一一对应的关系,并没有挖掘出征兆与故障间的深层联系。

随着对大数据研究的不断深入,越来越多的数据挖掘技术被应用到各种领域的故障诊断中。数据挖掘技术可以找到数据之间的深层联系,进而预测未来的发展趋势,更好的做出决策[4]。为了减少冗余规则,使挖掘出的规则真实有效,众多学者提出了诸多基于约束的关联规则挖掘算法。文献[5]中提出了基于数据垂直分布的关联规则挖掘算法;文献[6]中提出了基于 FP-tree 的约束关联规则挖掘算法;文献[7]中提出了基于时态约束的关联规则挖掘算法。上述方法是通过筛选用户兴趣度的方法来降低运算量,但并未考虑规则中先导和后继的约束条件。而在无人机的故障诊断中,正是要考虑先导和后继的约束条件,即征兆与故障的约束条件。为此,本文提出了一种改进 FP-Growth 算法,通过添加征兆与故障的约束,找到无人机征兆与故障之间的关联规则,从而快速定位故障,完成故障诊断。

1 总体思路

FP-Growth 算法旨在发现项之间的关联规则,而不会去区分所发现规则是否有意义。挖掘无人机飞行数据是为了寻找征兆与故障之间的关联规则,若发现的规则只包含征兆或只包含故障,则违背了问题提出的初衷。因此,在使用 FP-Growth 算法时,如果能根据挖掘对象设计出合理的约束条件,将大大提高数据挖掘的效率和效果,约束条件的设定也是本文对 FP-Growth 算法改进的主要内容。

本文设定的约束条件为:在形如 X→Y 的关联规则中,征兆必须出现在先导的位置(即 X),故障必须出现在后继的位置(即 Y)。不符合这一约束的规则认为无效。无人机飞行故障诊断的数据挖掘主要包括以下 3 个环节:

第一,收集飞行数据,建立飞行数据特征库并设定约束条件。

第二,在标准 FP-Growth 算法的基础上,添加约束条件,按照选取的最小支持度与最小置信度挖掘关联规则,形成故障诊断规则库。

第三,将出现异常的飞行数据与规则库中的规则进行

* 基金项目:天津市企业科技特派员项目(编号:18JCTPJC55000)
作者简介:郑伟(1983-),男,汉族,硕士,副教授,研究方向:数据挖掘,嵌入式系统。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

匹配，得到故障诊断结果。

2 基本定义及飞行数据筛选

2.1 基本定义

无人机在正式投产之前需要进行上千次的拷机测试、仿真测试、半实物仿真测试、实飞测试等多重考验。测试中，需要记录飞行数据的类别非常多，如传感器参数、飞控程序中间变量、被控量等等[8]。这些值都会有取值范围或满足一定的指标，每次测试产生的飞行数据中不符合条件的异常值就会记录在飞行数据特征库中，可以通过数据挖掘用于故障诊断。在数据挖掘之前，还需要对飞行数据特征库进行规范，使之符合关联规则数据挖掘的基本定义，基本定义如下[9,10]：

设 $I=\{i_1,i_2,\cdots,i_k\}$ 是飞行数据特征库 D 中的所有的征兆与故障的集合，D 中每条故障数据 T 是这些项的集合，满足 $T\subset I$。

定义 1 征兆项集 $S=\{s_1,s_2,\cdots,s_m\}$，该集合描述待挖掘关联规则中无人机系统有意义的征兆集合，满足 $S\subset I$ 且 $S\neq\Phi$。

定义 2 故障项集 $F=\{f_1,f_2,\cdots,f_n\}$，该集合描述待挖掘关联规则中无人机系统有意义的故障集合，满足 $F\subset I$ 且 $F\neq\Phi$。

条件 1 $S\cap F=\Phi$，即征兆项集和故障项集不能有交集。

定义 3 给定关联规则 $X\rightarrow Y$，若 $X\subseteq S$，且 $Y\subseteq F$，则 $X\rightarrow Y$ 为符合约束条件的关联规则，且 $X\cap Y=\Phi$。

定义 4 若给定的某个项集 L_{SFi} 同时包含征兆项集和故障项集，即 $L_{SFi}\subseteq(S\cup F)$，$L_{SFi}\cap S\neq\Phi$，$L_{SFi}\cap F\neq\Phi$，且大于等于最小支持度 minsup，则称 L_{SFi} 为征兆-故障频繁项集。包含 L_{SFi} 的集合记为 L_{SF}。

定义 5 若给定某个项集 L_{Sj} 只包含征兆项集，即 $L_{Sj}\subseteq S$，且大于等于最小支持度 minsup，则称 L_{Sj} 为征兆频繁项集。包含 L_{Sj} 的集合记为 L_S。

2.2 飞行数据筛选

在建立 FP-tree 之前，需要对飞行数据特征库的飞行数据进行筛选，筛选依据如下：

依据 1 给定数据 T，$\exists i$，$i_i\in T$，若 $I_i\notin S$ 且 $I_i\notin F$，则从数据 T 中删除此项。据此可删除数据中的冗余项。

依据 2 给定数据 T，若 $(T\cap S)\parallel(T\cap F)=\Phi$，则删除此条数据。据此可删除冗余数据。

由置信度定义：

$$\text{Confidence}(X\rightarrow Y)=\frac{\text{support}(X\cup Y)}{\text{support}(X)} \tag{1}$$

可知，若要求取征兆-故障关联规则 $X\rightarrow Y$，则需要求取 $(X\cup Y)$、(X) 两种频繁项集的支持度。而 X、Y 符合本文的约束条件，则 $(X\cup Y)$ 表示同时具有征兆和故障的频繁项集，对应定义 4 中的 L_{SFi}，(X) 表示只具有征兆的频繁项集，对应定义 5 中的 L_{Sj}。从置信度公式 (1) 可以看出：任意一个 L_{SFi} 只能对应一个 L_{Sj}，因此只能产生一条关联规则，通过这种方式，可以能够显著地减少冗余规则的产生。

3 改进 FP-Growth 算法及算法示例

3.1 改进 FP-Growth 算法

本文根据无人机飞行数据特点，提出的改进 FP-Growth 算法，包括 5 个步骤，其流程如图 1 所示。



图 1 改进 FP-Growth 算法流程图

3.2 算法示例

为更好地理解改进 FP-Growth 算法，现以包含 10 条数据的飞行数据特征库 D 为例进行说明：如表 1 所示，设征兆项集为 $S=\{i_1,i_2\}$，故障项集为 $F=\{i_3,i_5\}$，minsup=0.15，TID 为每条数据的编号，每条数据为若干项组成的项集。

表 1 飞行数据特征库

TID	数据 T
T000	I_1,I_3
T100	I_1,I_2
T200	I_2,I_4
T300	I_1,I_5
T400	I_1,I_4
T500	I_1,I_3
T600	I_1,I_2
T700	I_1,I_2,I_3,I_5
T800	I_2,I_5
T900	I_1,I_2,I_3

步骤 1 构建 F-list 表。输入飞行数据特征库，进行第

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一次扫描，得到频繁 1-项集和它们的支持度，并按降序排列构建 F-list 表，如表 2 所示。表 F-list 包含以下 4 个域：item、sup-count、label 和 link。每一项按照 sup-count 由大到小排序，label 用 s 或 f 区分该项属于征兆项集还是故障项集，属于征兆项集用 s 表，属于故障项集用 f 表示，link 指向该项的首位置（项头），方便后续算法的递归调用。

表 2 F-list

item	sup-count	label	link
I_1	8	s	link-i1
I_2	6	s	link-i2
I_3	4	f	link-i3
I_4	2		link-i4
I_5	3	f	link-i5

步骤 2 缩减数据规模。分三种情况进行筛：一是删除一次扫描结果中支持度小于 minsup 的项；二是根据依据 1，删除没有标记为 s 或 f 的项；三是根据依据 2，删除只标记有 s 或 f 的数据。删除后生成新的 F-list 表，删除情况如图 2 所示。

步骤 3 建立 FP-tree。对飞行数据特征库进行第二次扫描，把每一条筛选后数据的项按降序依次插入到一棵以 null 为根节点的树中，同时在每个节点处，记录该节点出现的支持度，直至整棵树建立完成。最后以 F-list 作为项头表，指向其在 FP-tree 中的位置。最终建立的 FP-tree 如图 3 所示。

TID	数据 T
T000	I_1, I_3
T100	I_1, I_2
T200	I_2, I_4
× T300	I_1, I_5
T400	I_1, I_4
× T500	I_1, I_3
T600	I_1, I_2
× T700	I_1, I_2, I_3, I_5
T800	I_2, I_5
T900	I_1, I_2, I_3

F-list

item	sup-count	label	link
I_1	6	s	link-i1
I_2	4	s	link-i2
I_3	4	f	link-i3
I_5	3	f	link-i5

图 2 删除冗余数据

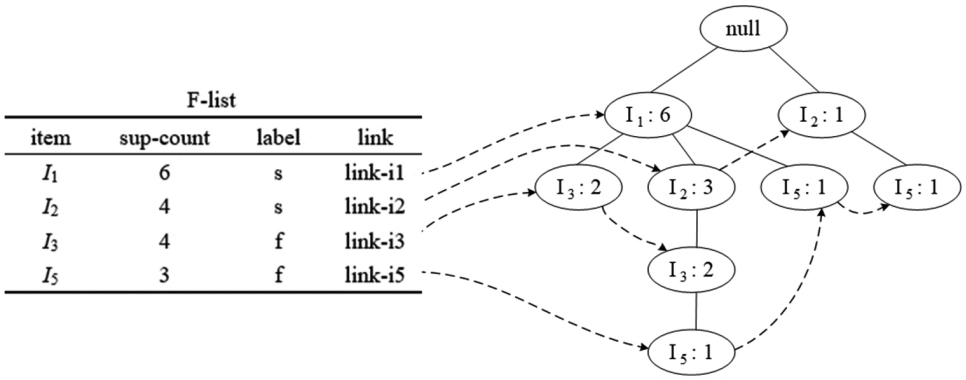


图 3 建立 FP-tree

表 3 规则库

规则编号	征兆	故障
⋮	⋮	⋮
021	adc_6	PAC9685
022	adc_7	GPS_temp
023	accel_x accel_y accel_z	adxl355
024	mag_x mag_y mag_z	hmc5983
⋮	⋮	⋮

步骤 4 挖掘 FP-tree。在已建立 FP-tree 的基础上，使用递归算法挖掘出所有的征兆-故障频繁项集 L_{SF} 和征兆频繁项集 L_S。当挖掘标记为 s 项的分枝时，可生成同时标记有 s 和 f 的频繁项集，归为 L_{SF}，也可生成只标记有 s 的频繁项集，归为 L_S。当挖掘标记为 f 项的分枝时，先序遍历整个分枝，将所有节点归入征兆项集 S 和故障项集 F，故障项集只保留包含本项的项集并与征兆项集两两结合，归为 L_{SF}。

步骤 5 输出关联规则。对于每一个得到的征兆-故障频繁项集 L_{SFi}，如果不存在对应的征兆频繁项集 L_{Sj}，则忽略此规则；如果存在对应的征兆频繁项集 L_{Sj}，则计算其置信度：

$$\text{Confidence}=\frac{\text{support}(L_{SF})}{\text{support}(L_S)} \quad (2)$$

若结果不小于设置的最小置信度，则输出此强关联规则。

4 实验讨论

4.1 应用实验

为验证提出的改进 FP-Growth 算法在无人机飞行故障数据挖掘中的有效性，以近两年某无人机公司在无人机研发测试过程中积累的飞行数据特征库为基础，进行实验分析。本算例选取了其中 1000 条故障数据，用上文描述的算法进行验证与分析。

选定最小支持度为 15%，最小置信度为 80%。用改进 FP-Growth 算法生成的规则库，如表 3 所示。

在后续的测试过程中，当无人机出现异常数据时，可将征兆输入规则库进行匹配，得到相应的诊断结果，定位故障所在位置，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

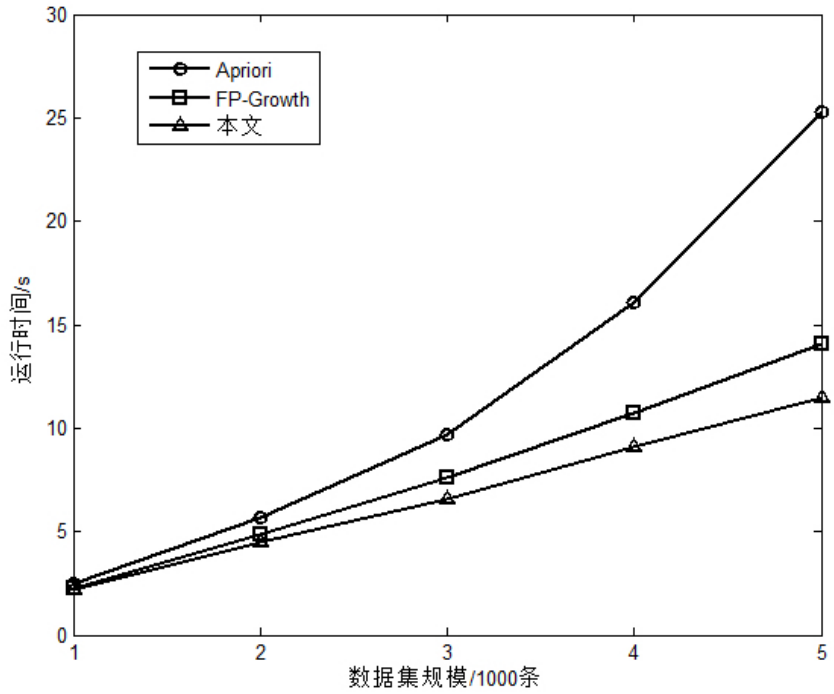


图 4 运行时间对比

为无人机的研发及维护提供帮助。

4.2 对比讨论

为了进一步验证本文所提改进 FP-Growth 算法的优越性，将本文算法与经典 Apriori 算法、经典 FP-Growth 算法进行对比，在相同飞行数据特征库以及相同最小支持度和最小置信度的条件下，运行时间对比如图 4 所示，生成关联规则数对比如图 5 所示。

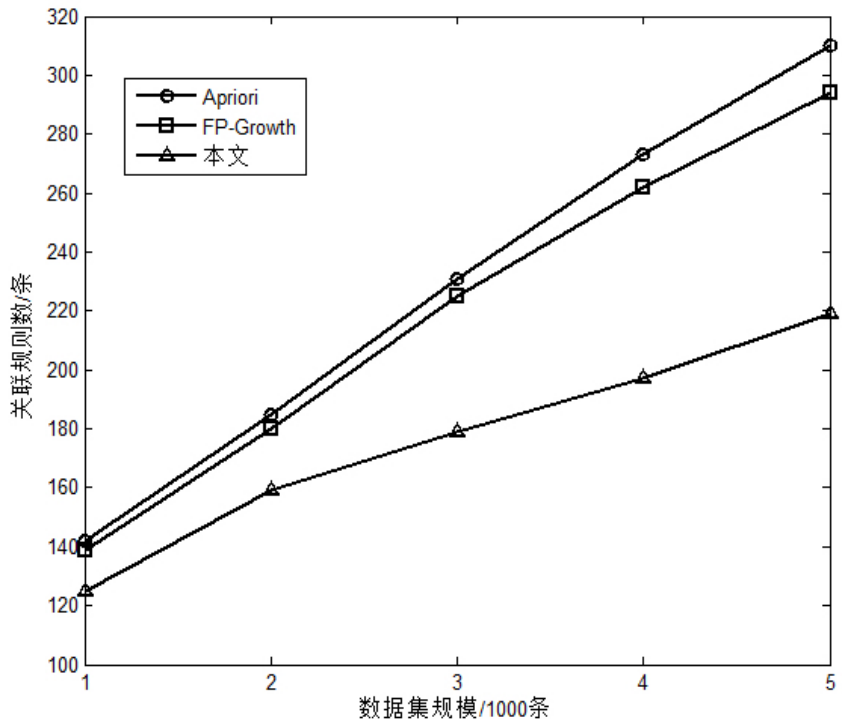


图 5 生成关联规则数对比

由图 4 可以看出，在运行相同数据集的情况下，本文算法快于 FP-Growth 算法，两者又均快于 Apriori 算法，且随着数据集增大，说明本文算法所花费时间仅略有上升，基本呈线性增长。

由图 5 可以看出，由于 Apriori 算法和 FP-Growth 算法没有加入约束条件，在相同数据集的情况下，生成的关联规则数明显多于本文算法。而多出的关联规则也不符合无人机故障诊断的要求，为冗余规则。

5 结论

为了探究无人机飞行故障中征兆与故障的深层联系，本文提出了一种改进 FP-Growth 算法，对规则的范围及方式做了进一步的约束，从而生成了具有实用价值的关联规则，也提高了算法运行的效率。但随着飞行测试的继续进行，飞行数据特征库进一步增大时，如何实时对规则库进行扩充，则是今后研究的一个重点。

参考文献：

[1]Y Park，B Kim，S Chun. New knowledge extraction technique using probability for case -based reasoning：application to medical diagnosis [J]. Expert Systems，2010，23 (1)：2-20.

[2]Davis L，Gamble R F，Kimsen S. A patterned approach for linking knowledge-based systems to external resources [J]. IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern，2004，34 (1)：222-233.

[3]马岩，曹金成，黄勇，等.基于 BP 神经网络的无人机故障诊断专家系统研究[J].长春理工大学学报 (自然科学版)，2011，34 (04)：137-139.

[4]孟魁杰，董莹，赵宗涛.一种基于数据挖掘的无人飞行器故障分析方法[J].计算机技术与发展，2010，20 (06)：225-227+232.

[5]李海磊，王晗，孔令富，等.一种基于数据两方垂直分布的多维关联规则挖掘算法[J].计算机应用与软件，2014，31 (01)：18-21+80.

[6]陈义明，李舟军，傅自纲.基于 FP-Tree 的约束关联规则挖掘算法[J].计算机工程与设计，2007，28 (18)：4450-4453.

[7]张令杰，徐维祥.基于时态约束的关联规则挖掘算法[J].计算机工程，2012，38 (5)：50-52.

[8]王潘，劉魁.大数据技术在航空发动机中的应用[J].航空动力，2018 (01)：48-51.

[9]赵佳璐，杨俊，韩晶，等.基于事务 ID 集合的带约束的关联规则挖掘算法[J].计算机工程与设计，2013，34 (05)：1663-1667.

[10]孟月昊，王朝霞，郭宇栋.基于规则前后部约束的关联规则挖掘算法[J].后勤工程学院学报，2017，33 (01)：79-84.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

doi: 10.3969/j.ISSN.1007-2691.2014.04.07

基于改进小生境帝国竞争算法的多目标电力系统无功优化

张金环[1]，安海霞[1]，王永春[2]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 长春市热力集团，吉林 长春 130022)

摘要： 电力系统无功优化可以提高电能质量、降低网损，预防事故发生和扩大，而现有的无功优化算法容易陷入早熟和局部收敛的不足。采用改进小生境帝国竞争算法对多目标无功优化问题进行求解，使用动态聚类分析法划分国家联盟，采用竞争度共享技术对联盟国家内各个国家的竞争度进行调整，以提高全局寻优能力，有效避免算法早熟现象。选取IEEE-30和IEEE-57节点系统进行测试仿真，并将优化结果与遗传算法和传统帝国竞争算法进行对比分析，结果表明改进小生境帝国竞争算法在解决无功优化问题中具有更强的全局搜索能力，能得到更好的收敛效果。

关键词： 无功优化；电力系统；帝国竞争算法；小生境；竞争度共享

中图分类号： TM761 **文献标识码：** A **文章编号：** 1007-2691(2014)04-0041-07

Reactive power optimization of power system based on improved niche imperialistic competition algorithm

ZHANG Jin-huan[1], AN Hai-xia[1], WANG Yong-chun[2]

(1. School of Electric-Mechanical Engineering & Automation, Tianjin Vocational institute, Tianjin 300410, China;
2. Changchun Heating Supply Group Co. Ltd, Changchun 130022, Jilin)

Abstract: Reactive power optimization of power system can improve power quality, reduce network loss, prevent accident and its expansion, while the existing reactive power optimization algorithm is easy to fall into the shortcomings of premature and local convergence. This paper proposes an improved niche imperialistic competition algorithm (INICA) to solve the reactive power multi-objective optimization problem. Empire group is divided by the fuzzy dynamic cluster analysis method. The competition of each country within the coalition is adjusted by competition sharing technology to improve the global optimization ability and avoid algorithm precocious phenomena effectively. IEEE-30 and IEEE-57 nodes systems are selected to make a simulation test. The optimized results are compared and analyzed with algorithms based on the genetic algorithm and traditional imperialistic competition algorithm. Test results show that the improved niche imperialistic competition algorithm can get better convergence effects and stronger global searching ability in solving the problem of reactive power optimization.

Key words: reactive power optimization; power system; imperialistic competition algorithm; niche; competition sharing

0 引 言

电力系统无功优化就是应用数学优化的方法，科学、合理地对电力系统无功进行调配以满足电力系统运行的各项安全、经济指标。对电力系统进行无功优化是提高电压质量、降低网损的有效手段。调节发电机和调相机的无功出力、控制已装设的并联电容器和电抗器的投切组数、调节有载调压变压器的分接头档位等措施可以在已有的负荷水平下，优化调节电力系统无功资源，从而尽可能在保证电力系统运行电压质量的条件下，

收稿日期：2013-12-20.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

达到运行网损最小的目标。尤其是近年来引入的电力经济市场机制，使得电力公司的经济效益问题日益凸显，这就对电网运行的稳定性和可靠性、用户侧的电能质量和预防电网事故发生和扩大等提出严格要求，而这些措施都以电力系统的无功优化为前提，无功优化使得电力系统的运行更加安全、稳定和经济[1~3]。

常用的无功优化求解算法主要有两大分类，分别是常规的优化算法和具有现代启发式的优化算法。常规的数学优化算法(如内点法[4]、梯度法[5]、线性规划[6]和二次规划[7]等)存在对初值要求高、要求目标可微、容易产生维数灾和求解时间长等不足[8]。具有现代启发式的优化算法(如遗传算法[9,10]、免疫算法[11,12]和粒子群算法[13,14])虽然可移植性好、原理简单、搜索能力强，但仍容易出现陷入局部收敛和早熟现象等。文献[15]中引入一种自适应的遗传优化算法，结合基于实数进行编码的混合优化算法来处理离散-连续的数学优化问题；文献[16]提出一种求解控制策略，把内点法和遗传算法进行交替使用，求解离散子优化问题和连续子优化问题，该方法的优点是能够提高计算效率；文献[17]引入一种预先设定个体间距离和可调适应度的进化小生境，但该方法是建立在先验知识的基础上，导致其利用效率不高；文献[18]采用帝国竞争算法(imperialistic competition algorithm，ICA)对电力系统供需侧联合随机调度模型进行求解，但该算法需要依赖先验知识，收敛速度较慢，搜索能力较弱。

本文提出一种改进小生境帝国竞争算法(improved niche imperialistic competition algorithm，INICA)，在该算法的迭代过程中，小生境内的国家通过动态聚类方法结成联盟，以实现联盟内部竞争度共享，而不再依赖单个国家的先验知识；引入最优个体相邻搜索和区域小生境国家联盟共享机制等提高算法收敛速度和计算速度；构建了多目标电力系统无功优化模型，通过改进小生境帝国竞争算法对模型进行求解。仿真算例中与现有求解算法相比，所提方法能够有效地避免普遍存在的全局收敛问题，从而对算法的搜素效率有所提高，以期对无功优化问题提出一种新的解决思路。

1 多目标无功优化模型

多变量多约束的非线性问题在解决电力系统无功优化问题中是不可避免的。在电力系统有功负荷、电源及系统网架条件给定的情况下，以容性或感性的无功补偿容量、变压器变比和发电机的机端电压作为控制变量，状态变量则选取 PQ 节点电压幅值和发电机的无功出力，在满足电力系统无功负荷需求的情况下，综合考虑全网网损和状态变量的越限情况，分别选用电压安全稳定裕度指标最高，有功网损指标最低和电压偏移量指标最小为主要的技术性指标。建立无功优化的多目标函数如式(1)：

$$\begin{cases} \min F = \min(f_1, f_2, f_3) \\ f_1 = \sum_{k=1}^{N_L} g_k \left[V_i + V_j - 2V_iV_j\cos(\delta_i - \delta_j) \right] \\ f_2 = \sum_{i \in N_L} |V_i - 1.0| \\ f_3 = \max(\lambda_{\min}) \\ U_{i1} = \begin{cases} U_{i\max} & U_i > U_{i\max} \\ U_i & U_{i\min} \leqslant U_i \leqslant U_{i\max} \\ U_{i\min} & U_i < U_{i\min} \end{cases} \\ Q_{gi1} = \begin{cases} Q_{gi\max} & Q_{gi} > Q_{gi\max} \\ Q_{gi} & Q_{gi\min} \leqslant Q_{gi} \leqslant Q_{gi\max} \\ Q_{gi\min} & Q_{gi} < Q_{gi\min} \end{cases} \end{cases} \tag{1}$$

式中：f_1 表示系统网损；f_2 表示电压偏差；f_3 表示电压稳定裕度；N_L 表示负荷节点数；$\lambda_{\min}$ 表示系统电压稳定裕度指标；g_k 表示支路 k 的电导；δ_i，δ_j 分别表示对应节点的电压相角；V_i，V_j 为支路 k 两端节点电压；$U_{i\max}$，$U_{i\min}$ 和 $Q_{gi\max}$，$Q_{gi\min}$ 分别为对应变量的上下限；Q_{gi}，U_i 分别为发电机无功功率和负荷节点电压。

电压稳定裕度指标由文献[19]给定，该指标由潮流方程即负荷节点的功率特性和网络特性决定，反映了节点电压波动的相对大小，反映所研究节点的无功储备能力，本文取所有节点中的最大值作为指标，单个节点的表达式为

$$\lambda_V = \frac{V_0 - V_{cr}}{V_0} \times 100\% \tag{2}$$

式中：V_0 和 V_{cr} 分别为负荷节点在当前状态和临界状态下的电压；λ_V 为单个节点的电压稳定裕度指标。

等式约束条件和不等式约束条件共同组成电力系统无功优化的两个约束条件。大量文献资料中常用的等式约束条件为

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases} P_{gi} - P_{li} - U_i \sum_{j=1}^{N} U_j \left(G_{ij}\cos\theta_{ij} + B_{ij}\sin\theta_{ij} \right) = 0 \\ Q_{gi} - Q_{li} + Q_{ci} - U_i \sum_{j=1}^{N} U_j \left(G_{ij}\sin\theta_{ij} - B_{ij}\cos\theta_{ij} \right) = 0 \end{cases} \tag{3}$$

式中: N 为系统节点数; θ_{ij}，G_{ij} 和 B_{ij} 分别为节点 i，j 之间的电压相角差、电纳和电导; Q_{ci} 为无功补偿功率; Q_{li}，P_{li} 分别为负荷的无功功率和有功; P_{gi} 为发电机的有功功率。

常用的不等式约束为

$$\begin{cases} U_{gi\min} \leqslant U_{gi} \leqslant U_{gi\max}, & i \in N_g \\ Q_{Ci\min} \leqslant Q_{Ci} \leqslant Q_{Ci\max}, & i \in N_C \\ K_{i\min} \leqslant K_i \leqslant K_{i\max}, & i \in N_k \\ U_{i\min} \leqslant U_i \leqslant U_{i\max}, & i \in N_d \\ Q_{gi\min} \leqslant Q_{gi} \leqslant Q_{gi\max}, & i \in N_g \end{cases} \tag{4}$$

式中: N_d，N_k，N_C 和 N_g 分别为负荷节点数、有载变压器数、无功补偿装置数和系统发电机节点数; $U_{gi\min}$，$U_{gi\max}$，$Q_{Ci\min}$，$Q_{Ci\max}$ 和 $K_{i\min}$，$K_{i\max}$ 分别为对应量的上下限; Q_{gi}，U_i 分别表示两个状态变量，即发电机无功功率和负荷节点电压; K_i，Q_{Ci} 和 U_{gi} 分别表示 3 个控制变量，即给定的有载变压器特定变比、电力无功补偿装置的实际配置容量以及并网发电机的机端电压。

2　改进小生境帝国竞争算法

2.1　小生境帝国竞争算法

与其他进化算法具有一定的相似性，小生境帝国竞争算法定义的初始种群个体被称为国家，国家又被分为帝国和殖民地两类，它们的权利大小不同。迭代过程中，首先形成一系列的小生境国家联盟，使用小生境形成技术得到不同国家的竞争程度; 其次建立国家共享机制，调整每个国家联盟中不同国家的竞争力; 最终形成联盟内部和联盟与联盟之间的竞争环境。

该算法是一种全局性优化的进化算法，借鉴了人类政治社会殖民阶段国家之间竞争并最终占领殖民地的过程。

第 1 阶段: 帝国形成。国家由 h 维决策变量组成 $\text{country} = [x_1, x_2, \cdots, x_h]$，国家的函数值用 f_{country} 表示，第 n 个国家的标准化权利定义为

$$P_n = \left| \frac{f_n - \max\limits_h \{f_i\}}{\sum\limits_{i=1}^{h} \left(f_i - \max\limits_h \{f_i\} \right)} \right| \tag{5}$$

式中: i 表示第 i 个国家。

第 2 阶段: 吸收殖民地。假设每块殖民地移动的距离 l 服从均匀分布 $l \sim U(0, \delta \times l_D)$，帝国周围的殖民地逐渐向帝国靠近。其中，$\delta > 1$，$l_D$ 为殖民地与帝国之间的距离; 帝国与殖民地移动方向之间的连线偏移夹角为 θ，服从分布 $\theta \sim U(-\psi, \psi)$，其中，$\psi$ 为偏移夹角调整系数。

第 3 阶段: 帝国竞争。帝国的总权利值定义为

$$C_{Ak} = \left| \left(f_k + \sigma \times \bar{f}_{k\text{col}} \right) - \max_{k_C} \{ f_i + \sigma \times \bar{f}_{k\text{col}} \} \right| \tag{6}$$

式中: $\bar{f}_{k\text{col}}$ 为帝国 k 占有殖民地的目标函数平均值; σ 为权重系数; f_k 为帝国 k 的目标函数值。从总权利最弱的帝国中挑选出一个弱小的殖民地，按照一定概率分配给其他 $k_C - 1$ 个帝国，第 j 个帝国的占有概率如式(7):

$$P_j = \left| \frac{C_{Aj}}{\sum\limits_{i=1}^{k_C - 1} C_{Ai}} \right| \tag{7}$$

第 4 阶段: 帝国消亡。经过帝国之间的相互竞争之后，权利较小的帝国所拥有的殖民地会被权利比其强大的帝国侵占，当殖民地全部被占领后则该帝国就会自动灭亡，在算法中消除其位置。当各个帝国之间的竞争结束时，有且仅有一个帝国建国，且其余所有殖民地均被该帝国侵占，此时算法迭代停止并得到最优解; 否则，返回 2)。

2.2　国家联盟的动态聚类与竞争度共享技术

为了实现国家联盟的形成，采用模糊动态聚类方法实现。将 1 个包括 M 个 n 维个体的国家联盟记为 $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{in}]$ $(i = 1, 2, \cdots, M)$。模糊动态聚类形成国家联盟遵循以下步骤:

(1) 归一化处理各个国家个体不同量纲的变化范围;

(2) 采用最值法确定关系矩阵，基于个体 X_i 和个体 X_j 的模糊相似关系，进而得到相似系数 R_{ij}，其表达式如式(8):

$$R_{ij} = \frac{\sum\limits_{k=1}^{n} \min(x'_{ik}, x'_{jk})}{\sum\limits_{k=1}^{n} \max(x'_{ik}, x'_{jk})} \tag{8}$$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(3) 动态聚类国家群体,对相似度系数 $\lambda(0 < \lambda \leqslant 1)$ 进行调整。相似度系数由式(8)确定:

$$\lambda = \sum_{j=1}^{M} \frac{F_{\max,j}}{M} \tag{9}$$

此步骤遵循以下过程:

从 $i = 1$ 时开始动态聚类分析国家联盟中的第 1 个国家;当 $\lambda \leqslant R_{ij}(j = i+1, i+2, \cdots, M)$ 时,X_i 与 X_j 被认为是同一类型的国家个体;依次选取 $i = i+1$,当已经对 X_i 进行了归类后,则将迭代计算转至下一步,当没有归类 X_i 后,则所做的聚类分析需要按照上上一步中的方法;重复上一步,直到聚类分析完最后一个国家个体。最终动态调整每次迭代中的相似度,从而聚类划分成若干国家联盟。

通过反映个体间相似程度的共享度来调整群体中个体的竞争度,该技术可以很好的维护群体的多样性。群体个体之间的密切程度用共享函数表示,它们之间的关系属于正向型。共享度 S_i 表示国家个体与国家联盟内其他各个体之间共享函数的和。

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} S(d_{ij}), i = 1, 2, \cdots, m \tag{10}$$

式中:$S(d_{ij})$ 表示共享函数。

在得到群体中各个体的共享度后,还需要调整各个体的竞争度。

$$f'(X_i) = \frac{f(X_i)}{S_i}, i = 1, 2, \cdots, m \tag{11}$$

式中:$f(X_i)$ 为个体 X_i 共享前的竞争度函数;$f'(X_i)$ 为个体 X_i 共享后的使用度函数。

联盟中的相似国家个体通过以上技术就可以很大程度上提高自身的竞争力度,从而避免了在迭代计算过程中若干相似个体被重复选择的可能性,算法的局部收敛和早熟问题得以解决。

2.3 改进算法的步骤

本文所提改进算法主要结合了当前主流的竞争度共享技术和聚类分析方法,整个算法的改进计算过程如下:

(1) 初始化程序参数,生产初始随机国家联盟,并计算各国家个体的竞争度。初始群体记为

$$X = [X_1, X_2, \cdots, X_M]^{\mathrm{T}} \tag{12}$$

(2) 对群体 X 进行帝国形成、吸收殖民地、帝国竞争度运算,在此基础上,形成新的国家联盟 X' 并计算其国家个体的竞争度。

(3) 当国家联盟中出现竞争力最大的国家时,将其作为超级大国保留至到下一步迭代计算;

(4) 竞争度共享运算,调整各国家个体的竞争度;

(5) 判断终止条件。若满足终止条件,则计算结束并输出计算结果;若不满足终止条件,则跳转至步骤(2),重新迭代计算。

改进小生境帝国竞争算法在无功优化问题的求解过程中,按照如图 1 的步骤进行。

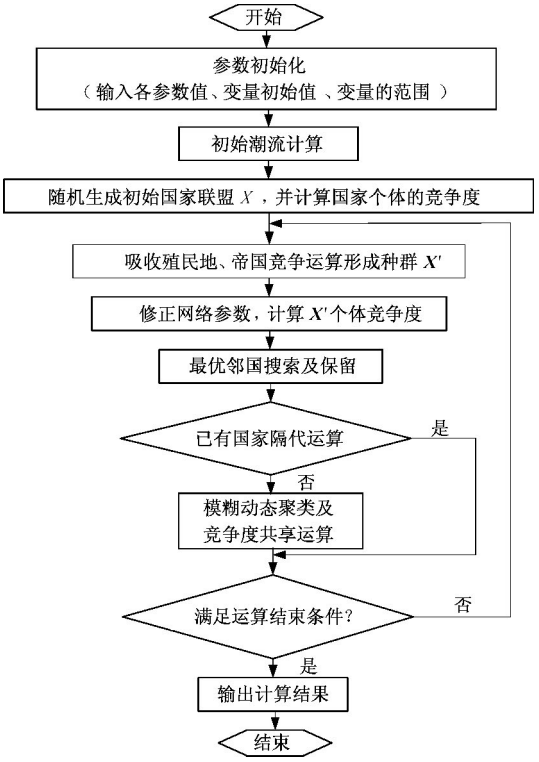


图 1 基于 INICA 的算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart based on INICA

3 算例分析

为了验证本文所提算法和无功优化方法的有效性,对 IEEE-30 和 IEEE-57 节点测试系统进行编程仿真,仿真软件采用 Matlab7.0。

3.1 IEEE-30 节点系统

测试系统的节点和支路数据及拓扑结构图详见文献[20]。该测试系统中有负荷节点 21 个,发电机节点 6 个,支路共有 4 条。其中,节点 1 设定为优化计算中的平衡节点,PV 节点设定为 4,7,14,16 和 19 节点,剩余节点为平衡节点[21]。取系统的基准容量为 100 MVA,初始国家数为 150,初始帝国数为 20 个,$\delta = 1.75$,$\sigma = 0.2$,$\psi = \pi/2$。网络中各变量的选取范围参见文献[22]。网络初

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

始系统总有功负荷 P_l = 2.846 p.u.，无功负荷 Q_l = 1.273 p.u.；初始有功网损 P_{loss} = 0.048 768 p.u.。

选用遗传算法(genetic algorithm，GA)、帝国竞争算法(ICA)和本文改进小生境帝国竞争算法(INICA)进行比较，对所提算法进行有效性验证。优化计算 50 次，取其收敛结果最优值作为最终的计算结果，如表 1 和表 2 所示，各变量单位为标幺值单位(p.u.)。

表 1　3 种算法的变量优化结果对比

Tab. 1　Variable optimization results comparison of three kinds of algorithms

变量	优化前/p.u.	GA/p.u.	ICA/p.u.	INICA/p.u.
U_{g1}	1.059	1.084	1.086	1.089
U_{g2}	1.044	1.057	1.070	1.074
U_{g3}	1.009	1.039	1.024	1.017
U_{g6}	1.069	1.039	1.020	1.012
U_{g8}	1.089	1.069	1.045	1.028
K_{4-7}	0.947	0.971	0.971	0.971
K_{4-9}	0.952	1.031	1.031	1.041
K_{5-6}	0.909	1.012	1.038	1.041
Q_{C9}	0.181	0.090	0.097	0.101
Q_{C14}	0.182	0.051	0.008	0.011
f_1	0.1348	0.1240	0.1192	0.1186
f_2	0.7634	0.6031	0.4931	0.4903
f_3	0.6523	0.3920	0.3899	0.3892

由表 1 可知，ICA 和 INICA 的变量优化结果比较接近，且均比 GA 效果好，但 INICA 的优化效果更为理想。GA 优化后系统的网损降低 8.01 %，而 ICA 优化后网损降低为 11.57 %，INICA 优化后系统的网损降低 12.02 %；电压偏差越接近于 0 表明电能质量越好，由 f_2 的数据可知，INICA 的优化结果较其他两种方法占优；电压裕度指标越小系统越稳定[23]，由 f_3 的数据可知，INICA 的优化结果较其他两种方法也是占优的。

表 2　3 种算法的优化结果对比

Tab. 2　Optimization results comparison of three kinds of algorithms

优化算法	P_{sum} /p.u.	Q_{sum} /p.u.	P_{loss} /p.u.	R_{save} /%
GA	2.878 36	1.008 01	0.044 36	6.25
ICA	2.875 03	0.820 16	0.041 03	12.08
INICA	2.870 07	0.720 07	0.036 07	20.26

表中：P_{sum}，Q_{sum} 为节点注入功率，R_{save} 为网损下降率。从表 1 中可以看出，采用 GA 和 ICA 算法得到的系统网损分别为 0.044 和 0.041，而采用本文 INICA 算法的网损下降为 0.036；采用 GA 和 ICA 算法得到的网损下降率分别为 6.25 % 和 12.08 %，而采用本文 INICA 算法的网损下降率为 20.26 %，优化结果比其他两种算法更有优势。

为了验证 INICA 算法的性能，选取 3 种算法分别对目标函数各优化计算 80 次，优化的结果如表 3 所示。其中，平均网损指标指的是 80 次迭代中所有收敛迭代结果的平均值，单位为标幺值单位(p.u.)。3 种算法系统网损变化曲线如图 2 所示。

表 3　3 种算法的性能比较

Tab. 3　Performance comparison of three kinds of algorithms

优化算法	平均网损/p.u.	收敛次数	平均步数	耗时/s
GA	0.2364	46	77	91
ICA	0.2321	44	81	56
INICA	0.2221	35	50	23

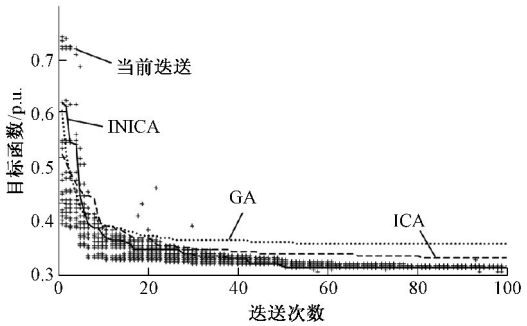


图 2　IEEE－30 节点系统的无功优化收敛曲线

Fig. 2　Reactive power optimization convergence curve of IEEE－30 nodes system

从表 3 和图 2 可以看出，3 种优化算法最终都能收敛到一个最优解。尤其是在 15 次之前的迭代过程中，收敛速度都较快，其中 INICA 算法收敛速度最快；在随后的深入寻优过程中，GA 算法和 ICA 算法的稳定迭代次数分别为 80 次和 70 次，而本文 INICA 算法约在 50 次左右就已经迭代到了稳态值，说明其具有更快的全局寻优能力。从计算耗时上来看，INICA 算法比其他两种算法分别节省了约 68 s 和 33 s，搜索速度最快。因此，相比其他两种算法，本文算法的全局寻优能力和搜索速度都得到了较好验证。

3.2　IEEE－57 节点系统

选取经典 IEEE－57 节点系统进行仿真，对比

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

仿真前后各个指标的计算结果，表 4 中优化后系统网损和电压越限个数均有较大幅度的减少。

表 4 IEEE－57 节点系统计算结果

Tab. 4 Calculation results of IEEE－57 nodes system

优化算法	P_{sum} /p. u.	Q_{sum} /p. u.	P_{loss} /p. u.	R_{save} /%
GA	3. 978 4	2. 589 3	1. 145 4	7. 38
ICA	3. 976 2	2. 820 6	1. 081 1	14. 57
INICA	3. 875 1	2. 721 1	1. 036 1	22. 39

从表 4 中可以看出，采用 GA 和 ICA 算法得到的系统网损分别为 1. 145 4 和 1. 081 1，而采用本文 INICA 算法的网损下降为 1. 036 1；采用 GA 和 ICA 算法得到的网损下降率分别为 7. 38 % 和 14. 57 %，而采用本文 INICA 算法的网损下降率为 22. 39 %，优化结果比其他两种算法更有优势。

图 3 为 IEEE－57 节点系统 3 种算法在收敛速度上的比较。可以看出，简单遗传算法进化到 150 代左右时陷入了局部最优解，而改进小生境帝国竞争算法有效地避免了早熟，最终在 100 次迭代后收敛到全局最优解。

对两个测试系统进行 20 次独立计算，结果如表 5 所示。可以看出，该算法每次基本都可以收敛到最优解，系统节点越多相应的迭代次数也会增多，但最终均能满足求解的范围。

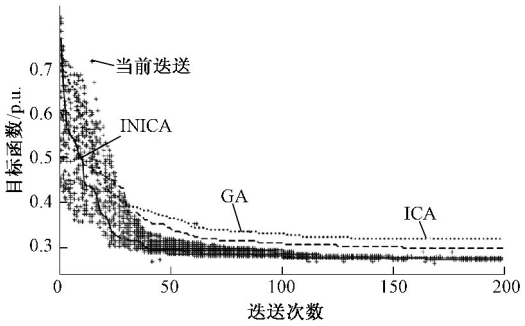


图 3 IEEE－57 节点系统的无功优化收敛曲线

Fig. 3 Reactive power optimization convergence curve in IEEE－57 nodes system

表 5 20 次独立运行的仿真结果

Tab. 5 Simulation results of the independent operation within 20 times

次数	IEEE－30		IEEE－57		次数	IEEE－30		IEEE－57	
	F/p. u.	迭代次数	F/p. u.	迭代次数		F/p. u.	迭代次数	F/p. u.	迭代次数
1	0. 2856	125	0. 1473	537	11	0. 2856	122	0. 1473	534
2	0. 2856	122	0. 1473	518	12	0. 2856	119	0. 1473	542
3	0. 2856	119	0. 1473	540	13	0. 2856	130	0. 1473	537
4	0. 2856	130	0. 1473	529	14	0. 2856	128	0. 1473	539
5	0. 2856	128	0. 1473	534	15	0. 2856	126	0. 1473	528
6	0. 2856	126	0. 1473	542	16	0. 2856	130	0. 1473	531
7	0. 2856	130	0. 1473	537	17	0. 2856	124	0. 1473	537
8	0. 2856	124	0. 1473	539	18	0. 2856	125	0. 1473	518
9	0. 2856	122	0. 1473	528	19	0. 2856	122	0. 1473	540
10	0. 2856	119	0. 1473	531	20	0. 2856	119	0. 1473	529

4 结 论

本文提出了一种基于改进小生境帝国竞争算法的电力系统无功优化方法。算法首先需要对所有国家进行结盟，采用动态聚类分析法进行划分，进而得到国家个体的竞争度，在此基础上，采用竞争度共享技术对联盟内的国家进行竞争度共享，最终实现提高全局搜索能力的目标。选用了两个经典无功优化模型进行优化仿真计算，验证了本文所提方法的优越性，以期对电力系统无功优化问题解决方法提供一定的借鉴价值。

参考文献:

[1] 崔挺，孙元章，徐箭，等. 基于改进小生境遗传算法的电力系统无功优化 [J]. 中国电机工程学报，2011，31 (19)：43－50.

[2] 邱晓燕，张子健，李兴源. 基于改进遗传内点算法的电网多目标无功优化 [J]. 电网技术，2009，33 (13)：27－31.

[3] 张晓辉，卢志刚，秦四娟. 基于改进细菌群体趋药性算法的电力系统无功优化 [J]. 电网技术，2012，36 (2)：109－114.

[4] 柳进，常修猛，柳焯. 内点法在偶对潮流优化中的应用 [J]. 电力系统自动化，2007，31 (5)：29－33.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[5] 丁明，张晋波，汪兴强. 提高预处理共轭梯度法计算大型电网潮流时并行性能的方法 [J]. 电网技术，2008，32 (13)：15 - 19.

[6] Delson J K，Shahidehpour S M. Linear programming applications to power system economics [J]. Planning and operations，IEEE Transactions on Power systems，1992，7 (3)：1155 - 1163.

[7] 徐建亭，王秀英，李兴源. 电力系统电压无功的序列二次规划算法 [J]. 电力系统自动化，2001，25 (23)：4 - 7.

[8] 刘佳，李丹，高立群，等. 多目标无功优化的向量评价自适应粒子群算法 [J]. 中国电机工程学报，2008，28 (31)：22 - 28.

[9] Lee Kwang Y，Bai Xiaomin，Park Y M. Optimization method for reactive power planning by using a modified simple genetic algorithm [J]. IEEE Transactions on Power Systems，1995，10 (4)：1843 - 1850.

[10] Ma Xin，Liu Ruilan. Reactive power optimization in power system based on improved niche genetic algorithm [C]. International Conference on Computer Design and Applications. Qinhuangdao：IEEE，2010. 413 - 416.

[11] 王秀云，邹磊，张迎新，等. 基于改进免疫遗传算法的电力系统无功优化 [J]. 电力系统保护与控制，2010，38 (1)：1 - 5.

[12] 熊虎岗，程浩忠，李宏仲. 基于免疫算法的多目标无功优化 [J]. 中国电机工程学报，2006，26 (11)：102 - 108.

[13] 周鑫，诸弘安，马爱军. 基于多种群蚁群算法的多目标动态无功优化 [J]. 电网技术，2012，36 (7)：231 - 236.

[14] 王韶，周鑫. 应用层次聚类法和蚁群算法的配电网无功优化 [J]. 电网技术，2011，35 (8)：161 - 167.

[15] Subbaraj P，Rajnarayanan P N. Optimal reactive power dispatch using self - adaptive real coded genetic algorithm [J]. Electric Power Systems Research，2009，79 (2)：374 - 381.

[16] Yan Wei，Liu Fang，Chung C Y，et，al. A hybrid genetic algorithm：interior point method for optimal reactive power flow [J]. IEEE Transactions on Power Systems，2006，21 (3)：1163 - 1168.

[17] 向铁元，周青山，李富鹏，等. 小生境遗传算法在无功优化中的应用研究 [J]. 中国电机工程学报，2005，25 (17)：48 - 51.

[18] 杨楠，王波，刘涤尘，等. 计及大规模风电和柔性负荷的电力系统供需侧联合随机调度方法 [J]. 中国电机工程学报，2013，33 (16)：63 - 69.

[19] 张国华，张建华，彭谦，等. 电网安全评价的指标体系与方法 [J]. 电网技术，2009，33 (8)：30 - 34.

[20] 张勇军，任震，钟红梅，等. 基于灾变遗传算法的无功规划优化 [J]. 电力系统自动化，2002，26 (23)：29 - 32.

[21] 马玲，于青，刘刚，等. 基于量子差分进化算法的电力系统无功优化 [J]. 电力系统保护与控制，2013，41 (17)：39 - 43.

[22] Wu Q H，Cao Y J，Wen J Y. Optimal reactive power dispatch using an adaptive genetic algorithm [J]. Electric Power Energy Systems，1998，20 (8)：563 - 569.

[23] 李如琦，李芝荣，王维志，等. 基于差分策略的多目标电力系统无功优化 [J]. 电网技术，2012，36 (12)：170 - 175.

作者简介：张金环 (1973 -)，女，副教授，研究方向为电力系统运行与控制。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

黄鑫，王婕，邢侃. 基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法[J]. 水利水电技术，2020，51(12)：141-149.
HUANG Xin，WANG Jie，XING Kan. Sliding mode control based-method for control of hydropower unit in new energy power grid environment[J]. Water Resources and Hydropower Engineering，2020，51(12)：141-149.

基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法

黄 鑫[1]，王 婕[2]，邢 侃[3]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 河北工业大学 工程人工智能与数据科学学院，天津 300130；3. 中国长江电力股份有限公司 葛洲坝水力发电厂，湖北 宜昌 443000)

摘 要： 为提升新能源电网环境下水力发电机组的整体运行平稳性，提出基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法。构建新能源电网环境下水力发电机组数学模型，通过定义滑模动态并设计滑模控制器，实现了对所构建发电机组数学模型的滑模变结构控制。为提升控制的稳定性，将模糊控制引入到滑模变结构控制中，设计模糊滑模控制器，通过运用模糊控制规则有效削弱滑模变结构控制过程中产生的抖振问题，降低抖振对新能源电网环境下水力发电机组造成的危害。结果表明：该方法实施控制时，试验发电机组仅在启动之后的0.3 s左右，其转速便可到达给定的稳定转速；并经过0.25 s左右的时间便能够令试验发电机组恢复到给定转速；当第0.9 s施加扰动信号时，在该方法控制下试验发电机组的转矩波动不明显，且能够快速恢复平稳。该方法能够实现对新能源电网环境下水力发电机组启动与负载扰动下的转速平稳控制，具有较好的启动性能与鲁棒性，可有效控制存在扰动信号下发电机组的电流与转矩，且控制响应速度高，能够有效削弱抖振幅度，整体控制效果理想，控制中未出现超调现象，能够实现对负载扰动的优越控制，控制性能稳定。

关键词： 滑模控制；新能源；水力发电机组；数学模型；滑模动态；滑模控制器；模糊控制；抖振

doi： 10.13928/j.cnki.wrahe.2020.12.018 **开放科学(资源服务)标识码(OSID)：**

中图分类号： TM312 **文献标识码：** A **文章编号：** 1000-0860(2020)12-0141-09



Sliding mode control based-method for control of hydropower unit in new energy power grid environment

HUANG Xin[1]，WANG Jie[2]，XING Kan[3]

(1. School of Electric-mechanical Engineering and Automation，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China；2. School of Engineering Artificial Intelligence and Data Science，Hebei University of Technology，Tianjin 300130，China；3. Gezhouba Hydropower Plant，China Yangtze Power Co.，Ltd.，Yichang 443000，Hubei，China)

Abstract: In order to improve the overall operation smoothness of hydropower unit in the new energy power grid environment，a

收稿日期： 2020-08-20

基金项目： 国家自然科学基金项目(61703134)；河北省高等学校科学技术研究项目(QN2015068)；河北省自然科学基金项目(F2019202369)；河北省教育厅重点项目(ZD2016071)

作者简介： 黄 鑫(1983—)，女，讲师，硕士，主要研究方向为新能源动力系统控制技术。E-mail：huangxin_ hx@tom.com

sliding mode-based control method for hydropower unit in the new energy grid environment is proposed, for which the mathematical model of hydropower unit in the new energy power grid environment is established, and then the sliding mode variable structure control of the established mathematical model is realized through defining the sliding mode dynamics and designing the relevant sliding mode controller. For improving the stability of the control, the relevant fuzzy control is introduced into the sliding mode variable structure control for designing the fuzzy sliding mode controller, and then the problem of chattering from the process of the sliding mode variable structure control is effectively weakened through the application of the fuzzy control rule, thus the chattering harm on the hydropower unit in the new energy grid environment is to be lowered. The result shows that the rotation speed of the testing hydropower unit can reach to the given stable rotation speed only after 0.3 s of the starting and can be recovered to the given rotation speed after 0.25 s when the control is conducted with this method, while the torque fluctuation of the testing hydropower unit is not significant and can be quickly recovered to be stable when the disturbance signal is applied at the 0.9 s under the control of this method. This method can realize the stable control of the rotation speed of the hydropower unit under the conditions start-up and load disturbance in the new energy power grid environment with better start-up performance and robustness, thus can effectively control the electric current and torque of the hydropower unit under the condition with disturbance signals by high control response speed, while it can effectively reduce the chattering amplitude with an ideal overall control effect and without any over-control phenomena and then can realize a superior control of load disturbance with stable control performance.

Keywords: sliding mode control; new energy sources; hydropower unit; mathematical model; sliding mode dynamics; sliding mode controller; fuzzy control; chattering

0　引　言

水力发电作为第一大清洁能源，为全世界提供了近五分之一的电力[1]。据统计，截至2019年底，全国水电装机容量3.56亿kW，年发电量1.3亿kWh，占全国发电量的17.8%。我国水电事业近些年发展迅速，比如三峡、白鹤滩等水电站的装机总容量均已高出1 000万kW，拉西瓦与龙滩等水电站的单机容量都在710 MW左右。在电力系统内此类水力发电机组与水电站非常重要[2-3]。在我国电网中光伏、风力发电的占比持续上升的同时，水力发电机组运行环境的复杂程度也随之不断提升，对水力发电机组安全稳定运行的控制成为当下众多学者的研究重点[4]。

文献[5]提出了基于神经网络的双馈感应发电机滑模控制方法，神经网络控制和二阶滑模控制相结合构成的神经网络滑模控制器运用到双馈风力发电机的直接功率控制中，设计了二阶滑模控制器，二阶滑模能够有效地削弱传统滑模控制的抖振，接着，设计了径向基神经网络对系统的不确定部分进行逼近，最后，基于李雅普诺夫稳定性定理推导了神经网络权值更新律，证明了控制系统的稳定性，仿真结果表明所设计控制策略能对有功、无功功率及其定子电流进行有效控制，削弱了传统滑模控制中的抖振。但是该方法的机组启动过程调节控制性能和鲁棒性能不佳，抖振削弱效果不好，导致控制效果较差。文献[6]提出了基于新型TMD的水电站厂房结构振动控制方法，并设计了一种新型高频TMD控制器，开展了2层钢框架减振试验，研究其在高频简谐激励和窄带扫频激励下的减振效果，认为新型TMD控制器能有效控制结构较高阶模态，其中附加TMD-3作用下的振动控制效果最好，结构顶层峰值加速度衰减率达到94.12%，一层峰值加速度衰减率达到95.55%，当TMD调谐频率偏离结构较高阶模态时，减振效果逐渐减小，但仍呈现出较好的减振效果，说明新型TMD调谐频率更宽，具有一定鲁棒性，当激励频率变宽时，随着调谐频率接近受控频率，减振效果最佳，但偏离受控频率时，鲁棒性变差，但是该方法的发电机电流与转矩控制效果较差。

所谓新能源电网是通过太阳能、生物质能、风能、地热能等新型可再生能源，利用现有的技术，实现发电。新能源电网环境下水力发电机组属于一个多状态运行系统，此系统可在各种状态间实施切换，发电机组系统在各种状态下的模型构成不同，属于一种具有代表性的复合动态系统[7-9]。目前新能源电网环境下水力发电机组面临的挑战较大，传统方法中，利用神经网络技术和新型TMD技术，对水力发电机组控制，但因其机组启动过程调节控制性能和鲁棒性能不佳，导致抖振削弱效果不好，降低了控制效果。

而滑模变结构控制(VSC)的本质属于一类较为特殊的非线性控制，重点凸显在其间断性的控制[10]。与其它控制方法相比，该种控制方法具有处于动态过程内的不固定结构，能够以所控制系统的实际状态为

依据持续改变，令所控制系统以特定滑动模态的轨迹为依据实施运动，故通常称变结构控制为滑动模态控制，即滑模变结构控制[11]。因滑动模态能够实施设计并且同对象参数和扰动没有关联，故变结构控制的特点为：物理实现简便、不需要在线识别、参数改变与扰动对其影响不高以及响应迅速等。但此方法的不足之处在于，在状态轨迹抵达滑模面时，难以顺着滑模面严格地滑动到平衡点，易出现在滑模面两侧持续往返穿越而造成的抖振问题[12]。模糊控制是以模糊集理论、模糊语言变量和模糊逻辑推理为基础的一种智能控制方法。模糊控制的过程是以操作人员或专家的经验为依据将模糊规则编写出，模糊化输入信号后，以模糊化之后的信息当作模糊规则输入，通过模糊推理之后可获得模糊控制量，然后通过反模糊化后便能够获得输出控制量，如此实现模糊推理[13]。利用模糊控制的特点将模糊控制引入到滑模控制中，能够对滑模控制过程中产生的抖振问题实现有效削弱，降低滑模控制抖振对发电机组造成的损害，促进发电机组的安全稳定运行[14]。

综合以上分析，本文提出一种基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法，通过将模糊控制融入到此控制方法中，实现对新能源电网环境下水力发电机组的有效控制，同时在很大程度上削弱了抖振问题，提升新能源电网环境下水力发电机组的运行平稳性，为延长水力发电机组的使用寿命、提高发电量提供有效保障。

1　基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制

1.1　新能源电网环境下水力发电机组数学模型

由于常规水力发电机组数学模型运算较为复杂，导致控制响应速度缓慢，不能有效削弱抖振幅度，因此在新能源电网环境下本文运用刚性水击模型有压引水系统的传递函数、PID 调速器的传递函数及机液传动系统的传递函数，构建水力发电机组数学模型，缩短了运算时间，提升了控制响应速度，并有效削弱抖振幅度。

新能源电网环境下水力发电机组力矩 M_t 和流量 Q 方程的相对值表示式为

$$\begin{cases} M_t = f_x x + f_g g + f_y y \\ q = f_{px} x + f_{pg} g + f_{py} y \end{cases} \tag{1}$$

式中，f_x 和 f_g 分别为水轮机力矩对导叶开度传递函数和水轮机力矩对水头传递函数；f_y 和 f_{py} 分别为水轮机力矩对转速传递函数和水轮机流量对转速传递函数；f_{px} 和 f_{pg} 分别为水轮机流量对导叶开度传递函数和水轮机流量对水头传递函数。该六个传递系数属于六个偏导数，可采用限差值法通过水轮机综合特征曲线近似得出。

通过六个传递系数构建水轮机数学模型，其表达式为

$$\sigma_c \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = M_t - n_h \tag{2}$$

式中，σ_c 为新能源电网环境下水力发电机组惯性时间常数；h 为工作水头相对值。

将初始条件为 0 考虑在内，同时采取拉氏变换能够得出调速系统数学模型的表达式为

$$\sigma_c y s = M_t - n_h - f_m y \tag{3}$$

式中，n_h 和 f_m 分别为新能源高压水力发电机阻力矩和综合调节系数；s 为拉普拉斯算子。

新能源高压水力发电机负载的传递函数可表示为

$$H_h(s) = \frac{y(s)}{M_t(s) - n_h(s)} = \frac{1}{\sigma_c s + f_m} \tag{4}$$

同时 $f_m = f_h - f_y$，其中 f_h 为新能源电网环境下水力发电机组负荷力矩对转速传递函数。

运用刚性水击模型有压引水系统的传递函数、PID 调速器的传递函数及机液传动系统的传递函数依次可表示为

$$\begin{cases} H_t(s) = -\sigma_v s \\ H_k(s) = (K_B s^2 + K_q s + K_J)/s \\ H_x(s) = 1/(1 + \sigma_x s) \end{cases} \tag{5}$$

式中，K_q、K_B 与 K_J 分别为调速器的比例增益、微分增益与积分增益；σ_x 和 σ_v 分别为接力器反映时间常数和水流惯性时间常数。通过上述获取到的三种函数，构建新能源高压水力发电机系统数学模型

$$Q(s) = H_t(s) + H_k(s)/H_x(s) \tag{6}$$

1.2　滑模变结构控制

针对以上新能源电网环境下水力发电机组数学模型实施滑模变结构控制。滑模变结构控制是一种滑动模态运动，其具有间断性，即一种随新能源电网环境下水力发电机组结构改变而变化的开关特性，令新能源电网环境下水力发电机组顺着特定状态轨迹实施小幅度且高频率上下运动的一种运动模态[15]。此种滑动模态同新能源电网环境下水力发电机组的扰动与参数不存在关联，故当新能源电网环境下水力发电机组处于滑动模态运动时便能够拥有非常好的鲁棒性。

1.2.1　滑动模态定义

通常而言新能源电网环境下水力发电机组 $\dot{z} = f(z)$ 且 z 的状态空间存在一个切换面 $a(z) = a(z_1)$，

z_2，…，z_m) = 0，此切换面能够划分状态空间为上下两个部分，且两个部分分别满足 $a > 0$ 与 $a < 0$，由此运动于切换面上的点存在三种状况，分别为：(1) 当初始点 — 新能源电网环境下水力发电机组运动点到达切换面 $a = 0$ 周边时，由此点发散到切换面的两边；(2) 当终点 — 新能源电网环境下水力发电机组运动点到达切换面 $a = 0$ 周边时，由切换面的两边向此点收敛；(3) 当普通点 — 新能源电网环境下水力发电机组运动点到达切换面 $a = 0$ 周边时，即由该点穿越。

其中初始点与普通点在滑模变结构控制内的意义并不高，拥有独特意义的为终点。如果切换面上某个特定区间的全部运动点均为终点，则当运动点向此区间逼近时，便会进到此区间中运动。这个时候，所谓的滑动模态区即为切换面 $a=0$ 上全部运动点均为终点的区间，同时滑模运动是指新能源电网环境下水力发电机组在滑动模态区间内的运动。

因滑动模态上的全部运动点均需为终点，故在运动点到达切换面 $a(z) = 0$ 周边时，应满足的条件为

$$\begin{cases}\lim\limits_{a\to 0^+}\dot{a} \leqslant 0\\ \lim\limits_{a\to 0^-}\dot{a} \geqslant 0\end{cases} \tag{7}$$

或者将式(6)改写为

$$\lim_{a\to 0} a\dot{a} \leqslant 0 \tag{8}$$

式(7)对新能源电网环境下水力发电机组提出一个李亚普诺夫函数成立的必要条件，可表示为

$$w(z_1, z_2, \cdots, z_m) = [a(z_1, z_2, \cdots, z_m)]^2 \tag{9}$$

由于在切换面的某个邻近区间中函数式(8)属于正定的，以式(7)为依据，a^2 的导数属于负半定的，也就是在 $a=0$ 周边 w 属于非增函数。故如果满足式(7)，则式(8)即为新能源电网环境下水力发电机组的李亚普诺夫函数必要条件，此新能源电网环境下水力发电机组便稳定在 $a=0$。

1.2.2　滑模控制器设计

降低误差至零上下同时维持稳定收敛状态是滑模控制器的设计思想[16]。具有强耦合、非线性及高阶等特点的新能源电网环境下水力发电机组动态数学模型，通过矢量控制的坐标转换后，能够分解发电机组的定子电流为励磁分量和转矩分量，依次对发电机组的励磁与转矩实施控制，也就是能够直接仿真发电机组。先以新能源电网环境下水力发电机组的调速方程为依据，进行电压和转速的微分方程推导，然后基于误差渐进收敛为零的原则对滑模算法内的切换面实施设计，最终运用 Lyapunov 稳定性条件对速度误差和滑模切换面表示的滑模切换函数实施设计。

新能源电网环境下水力发电机组的电枢回路方程可表示为

$$U_b = RI_d + L_b\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} + F \tag{10}$$

式中，U_b 与 R 分别为输入电压与发电机组电枢电阻；L_b 与 I_d 分别为电枢漏磁电感与电枢回路电流；F 为反电动势。

转矩与电动势方程可表示为

$$\begin{cases}T_e = B_m I_d\\ F = B_e l\end{cases} \tag{11}$$

式中，B_m 与 l 分别为额定励磁下的转矩系数与发电机组的现实转速。

新能源电网环境下水力发电机组的运动方程表达式为

$$T_e - T_L = \frac{GD^2}{370}\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} \tag{12}$$

式中，GD^2 与 T_L 分别为飞轮惯量与负载转矩。

以电枢电压和转速分别作为输入量与输出量，依据式(9)—(11)进行发电机组微分方程推导，推导公式可表示为

$$T_m\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} + l = \frac{1}{B_e}U_b - \frac{R_b}{B_eB_m}T_L - \frac{L_b}{B_eB_m}\times\frac{\mathrm{d}T_L}{\mathrm{d}t} \tag{13}$$

式中，T_m 为发电机组机电时间常数。若设定 $\frac{1}{T_m} = \delta$，$\frac{1}{B_eT_m} = \theta$，$\frac{1}{T_m}\left(\frac{R}{B_eB_m}T_L + \frac{L_b}{B_eB_m}\times\frac{\mathrm{d}T_L}{\mathrm{d}t}\right) = \vartheta$，那么式(12)能够改写成

$$\dot{l}(t) + \delta l(t) = -\vartheta + \theta U_b \tag{14}$$

将新能源高压水力发电过程内所存在的不稳定现象考虑在内，可将式(13)改写成

$$\dot{l}(t) = -(\delta + \Delta\delta)l(t) - (\vartheta + \Delta\vartheta) + (\theta + \Delta\theta)U_b \tag{15}$$

式中，$\Delta\delta$、$\Delta\theta$ 和 $\Delta\vartheta$ 分别为水力发电过程内的 δ、θ、ϑ 分摄动值。对转速跟踪误差可定义为

$$e(t) = l(t) - l(t)^* \tag{16}$$

那么有

$$\dot{e}(t) = \dot{l}(t) - \dot{l}(t)^* = -\delta e(t) + o(t) + r(t) \tag{17}$$

式中，$o(t) = -\delta l(t)^* - \dot{l}(t)^* - \vartheta(t) - \theta U_b$，不确定项 $r(t)$ 可表示为

$$r(t) = -\Delta\delta l - \Delta\vartheta(t) + \Delta\theta U_b \tag{18}$$

以一般趋近律方式收敛设计期望误差 $e(t)$，滑模切面微分能够设定成

$$D(t) = -\omega \mathrm{sgn}(a) - r(a) \tag{19}$$

式中，ω 为直线逼近系数。设计滑模控制器模型时，Lyapunov 函数可定义成

$$W(t) = \frac{1}{2} D_{(t)}^2(t) \tag{20}$$

式(20)的导数可表示为

$$\dot{W}(t) = D(t)\dot{D}(t) = \dot{D}(t)[-\omega \mathrm{sgn}(a) - r(a)] \tag{21}$$

为了令 $\dot{W}(t) \leqslant 0$ 能够成立，应符合 $r(0) = 0$，在 $a \neq 0$、$ar(a) > 0$ 时，以上条件符合 $\dot{W}(t) = D(t)\dot{D}(t) \leqslant 0$。通过 Lyapunov 第二方法可知，$W(t)$ 与 $\dot{W}(t)$ 分别为正定和负定，在 $D(t)$ 接近无穷时，$W(t)$ 也接近无穷，也就是控制器所在平衡原点 $D(t) = 0$ 属于大区域渐进稳定平衡点。

1.3　模糊滑模变结构控制

1.3.1　滑模变结构控制的抖振问题分析

滑动模态从理论上而言可依据现实需要而实施设计，同时所控制对象的参数改变与控制器的滑模运动不受外界干扰，故滑模变结构控制的鲁棒性较高，但由于滑模变结构自身的间断性将导致控制器产生抖振问题[17]。当滑模变结构控制器处于理想状况下时，假设切换过程属于理想状况下的开关特性，且测量系统状态不存在误差、控制量无限制等情况，那么在有限时间内控制器的运动点均会逐渐向切换面运动，不会产生抖振现象。然而此种状况仅为理想中的状况，通常而言，抖振是固定存在的，尤其对于离散控制器而言，如果想要消掉抖振，则滑模变结构控制对于摄动与扰动的抵抗性能同时也会随着消掉[18]。故而，无法将抖振全部消掉，仅可依据需要将抖振削弱。

通常情况下，抖振形成的原因重点包括：离散控制器自身导致的抖振、时间滞后开关、空间滞后开关以及控制器惯性影响等。为了对控制器的动态性能实施有效保障，在轨迹运动到达切换面时，存在一定的运动速度，由于存在惯性可令控制器穿越切换面，如此往返穿梭便产生抖振现象[19]。因计算机具备高速处理数据与高精度运算能力，控制器自身不会具备滞后问题，但物理系统势必存在滞后。故抖振产生的基本因素为开关切换造成的间断性控制，而在现实中重点需解决的问题即为变结构控制消掉抖振现象。

1.3.2　模糊滑模变结构控制原理

因新能源电网环境下水力发电机组存在非线性、外部干扰大、摩擦阻力以及参数多变等特点，故应选取恰当的控制方法提升实际控制效果。属于人为设计的滑模变结构控制的滑模动态，不易被发电机组参数变化与外部干扰所影响，故控制器具备较高的响应速度与鲁棒性[20]。然而滑模控制的稳定性易受到其本身的抖振问题所影响，针对上述对滑模变结构抖振问题的分析，提出将模糊控制方法融入到滑模变结构控制中，运用模糊控制的规则对控制信号实施柔滑处理，有效削弱滑模控制内产生的抖振现象，将抖振对发电机组的危害有效降低。

1.3.3　模糊滑模变结构控制器设计

模糊滑模变结构控制器的结构如图 1 所示。

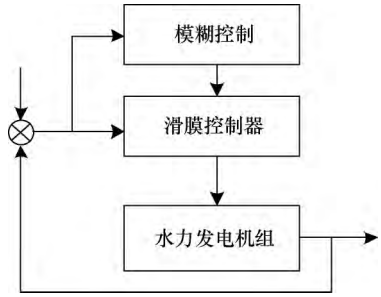


图 1　模糊滑模变结构控制器结构

为了对干扰的影响与参数不确准予以克服，令滑模运动具备的条件能够得到满足，同时对滑模控制产生的抖振实施一定程度上的削弱，可采用模糊控制规则对变量 u 实施控制，以此保证条件 $a\dot{a}<0$ 成立。设定采样时间为 t，则有

$$a(s^*) = i(s^*) - j(s^*) = \frac{\gamma(s^*) - \gamma(s^* - 1)}{t} \tag{22}$$

式中，s^* 为模糊控制系数，取值范围为 [0，1]，本文模型的取值范围根据模糊控制系数范围所决定。

切换函数可表示为

$$\begin{cases} a(s^*) = c\gamma(s^*) + \mu\gamma(s^*) = CZ(s^*) \\ \mu\gamma(s^*) = a(s^*) - a(s^* - 1) \end{cases} \tag{23}$$

式中，C = [2，1]；γ 为输入变量；i 和 j 均为削弱程度。可运用模糊控制规则通过二维的模糊控制器对控制量 u 实施设计。如果设 $a(s^*)$ 与 $\mu a(s^*)$ 的模糊化变量分别是模糊控制器的输入 a 与 $\dot{a}$，控制器输出控制的变换量 Δu 的模糊化变量为输出 ΔU^*，其中，控制对象集合以 U^* 表示，它可为连续的或间断的，它的元素为 u，可将其记为 $U^* = \{u\}$。那么定义模糊集为：{PB，PM，PS，ZO，NS，NM，NB} = {正大，正中，正小，零，负小，负中，负大}。

对模糊控制器输入 a 与 $\dot{a}$、输出 ΔU^* 分别实施定义为

$$\begin{cases} a = \{\mathrm{NB}，\mathrm{NM}，\mathrm{NS}，\mathrm{ZO}，\mathrm{PS}，\mathrm{PM}，\mathrm{PB}\} \\ \dot{a} = \{\mathrm{NB}，\mathrm{NM}，\mathrm{NS}，\mathrm{ZO}，\mathrm{PS}，\mathrm{PM}，\mathrm{PB}\} \\ \Delta U^* = \{\mathrm{NB}，\mathrm{NM}，\mathrm{NS}，\mathrm{ZO}，\mathrm{PS}，\mathrm{PM}，\mathrm{PB}\} \end{cases} \tag{24}$$

其中，输入与输出的论域可表示为

$$\begin{cases} a = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\} \\ \dot{a} = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\} \\ \Delta U^* = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\} \end{cases} \tag{25}$$

上述模糊化变量均采用正态分布隶属函数。模糊滑模控制器的模糊控制规则可确准为：当 $a\dot{a} < 0$ 成立时，对控制量 u 实施设计所获取的控制规则如表 1 所列。在此所运用的模糊规则为：如果 a 与 $\dot{a}$ 分别是 A 与 E，同时 ΔU^* 是 C。

表 1　模糊滑模控制规则

$\dot{a}$	a						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NB	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB
NM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	NB
NS	PM	PS	ZO	ND	NM	NB	NB
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS	PB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM
PM	PB	PB	PB	PM	PS	ZO	NS
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO

由模糊滑模控制规则表能够得出，在 a 与 $\dot{a}$ 均属于正大时，即 $a\dot{a}$ 为正大，那么控制输入也应该为一个正大的变化，如此 $a\dot{a}$ 能够迅速降低；在 $a\dot{a}<0$ 时，则处于期望状态，此时控制变量是 0；在 a 与 $\dot{a}$ 均属于负大时，即 $a\dot{a}$ 为负大，那么控制输入应该属于一个负大的变化，如此 $a\dot{a}$ 能够迅速降低。因该模糊滑模控制规则表的设计是以 $a\dot{a}<0$ 成立的条件为依据，故依据此规则设计的模糊滑模控制器是稳定的。

反模糊化中采用重心法对模糊输出实施精准化，具体可表示为

$$uf(s^*) = \frac{\sum_{i=1}^{m} z_i u(i)}{\sum_{i=1}^{m} u(i)} \tag{26}$$

2　仿真试验结果分析

以某水力发电站中的一组新能源电网环境下水力发电机组为例实施仿真分析，依据此发电机组的传递函数设置水轮机机组传递函数内的各个参数，同时通过 Matlab 内的 Simulink 实施仿真。所设置的试验发电机组具体参数如表 2 所列。

分别选用神经网络的发电机控制方法(文献[5]方法)与新型 TMD 的发电机控制方法(文献[6]方法)作为本文方法的对比方法，对试验发电机组实施控制，对比各方法的控制性能。

2.1　启动性能对比分析

试验发电机组的给定转速为 780 r/min，对比各方法控制过程中试验发电机组由启动到达给定转速的时间并实施记录，所得各方法的启动性能对比结果如表 3 所列。

表 2　试验发电机组具体参数

参数名称	参数值
水轮机力矩对导叶开度传递函数	0.81
水轮机力矩对转速传递函数	−0.86
水轮机力矩对水头传递函数	1.36
水轮机流量对导叶开度传递函数	0.82
水轮机流量对转速传递函数	−0.09
水轮机流量对水头传递函数	0.48
水流惯性时间常数/s	3.43
惯性时间常数/s	10.34
负荷力矩对转速传递函数	0.51
接力器反映时间常数/s	0.11
额定电压/V	220
额定电流/A	45
额定转速/r·min^{-1}	780

表 3　各方法的启动性能对比结果

时间/s	试验发电机组转速/r·min^{-1}		
	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
0.1	480	10	50
0.3	780	190	210
0.5	780	460	500
0.7	780	660	710
0.9	780	760	780
1.1	780	780	780
1.3	780	780	780
1.5	780	780	780
1.7	780	780	780
1.9	780	780	780
2.1	780	780	780

通过表 3 能够得出，三种方法中，在文献[5]方法控制时，试验发电机组在启动之后的 1.1 s 左右其转速才到达给定的稳定转速；文献[6]方法控制时，试验发电机组在启动之后的 0.9 s 左右其转速到达给定的稳定转速；而在本文方法实施控制时，试验发电机组仅在启动之后的 0.3 s 左右其转速便可到达给定的稳定转速。

对本文方法、文献[5]方法和文献[6]方法实施发电机组控制时的电压进行对比分析，对比的电压波形图如图 2 所示。

根据图 2 可知，本文方法的发电机组控制电压比文献[5]方法和文献[6]方法的发电机组控制电压较稳定，说明本文方法的机组启动过程调节控制性能较好。由此可见，本文方法的控制效果明显，具有更加优越的启动性能。

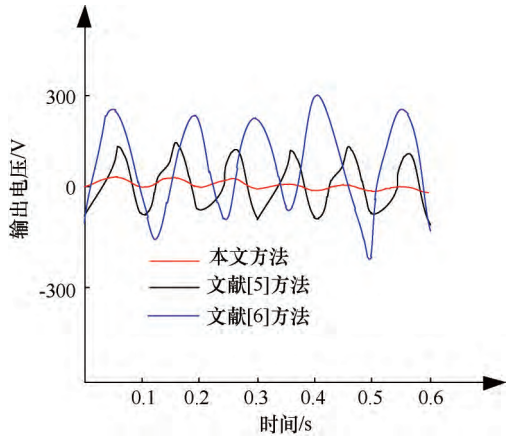


图 2　电压波形图对比结果

2.2　鲁棒性对比分析

在各方法控制的第 5 s 时分别增添相同的阶跃函数，以此对负载波动实施模拟，通过对比各方法在第 5 s 时对扰动的抑制情况，能够获取各方法控制过程中的鲁棒性，对比结果如表 4 所列。

表 4　各方法扰动控制情况对比

时间/s	试验发电机组转速/r·min^{-1}		
	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
3.0	780	780	780
3.5	780	780	780
4.0	780	780	780
4.5	780	780	780
5.0	650	620	600
5.5	780	870	890
6.0	780	810	850
6.5	780	780	800
7.0	780	780	780
7.5	780	780	780
8.0	780	780	780

分析表 4 能够得知，试验发电机组在文献[5]方法与文献[6]方法的控制下，当面对干扰时其转速呈现出显著的波动情况，需分别经过 1.5 s 与 2.0 s 左右的时间方可令试验发电机组逐渐恢复到给定转速，两种对比方法的控制效果不够理想；本文方法在对试验发电机组实施控制过程中，仅在干扰刚出现时试验发电机组的转速呈现出小幅度的波动，经过 0.25 s 左右的时间便能够令试验发电机组恢复到给定转速。由此可说明，本文方法的扰动影响较低，控制效果较为理想，鲁棒性较其它两种方法更高。

2.3　电流与转矩控制效果分析

因水力发电机组在实际应用中负载随时可能遭受到来自外界的干扰，故试验中通过一个阶跃信号代替试验发电机组所遭受的扰动，对比三种方法控制下试验发电机组的运行性能。试验中为试验发电机组带 50 N·m 的负载启动，同时在启动后 0.9 s 时施加一个 7 N·m 的扰动信号。分别从三种方法控制下试验发电机组的电流与转矩两方面实施对比，具体对比情况如下。

三种方法控制下试验发电机组的电流情况对比结果如图 3 所示。

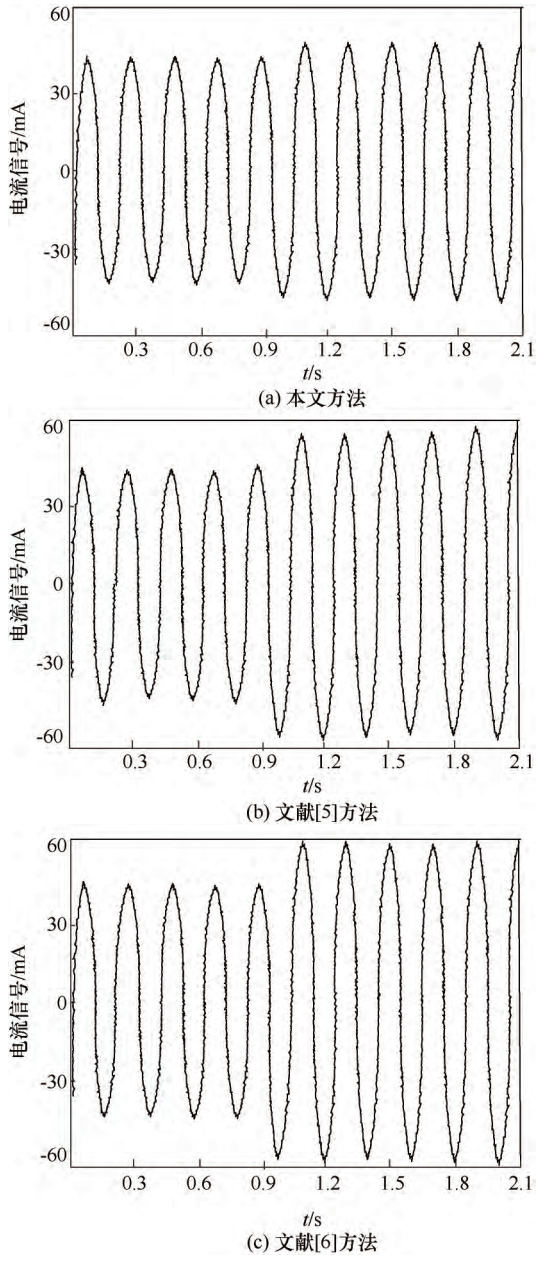


图3　三种方法控制下试验发电机组电流对比

通过图 3 能够看出，在电流控制方面，当第 0.9 s 施加扰动信号时，在本文方法控制下试验发电机组的电流波动幅度不明显，说明本文方法控制效果显著；而在其它两种方法控制下，试验发电机组的电流在施加扰动信号时所呈现出的波动趋势均较本文方

法明显，可见文献[5]方法与文献[6]方法对电流的控制效果不够理想。

三种方法控制下试验发电机组的转矩情况对比结果如表5所列。

表5　三种方法控制下试验发电机组转矩对比　N·m

时间/s	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
0.1	40	40	40
0.3	40	40	40
0.6	40	40	40
0.9	45	50	62
1.2	41	47	58
1.5	40	43	55
1.8	40	40	51
2.1	40	40	44
2.4	40	40	40
2.7	40	40	40
3.0	40	40	40

由表5能够分析出，在转矩控制方面，当第0.9 s施加扰动信号时，在本文方法控制下试验发电机组的转矩波动不明显，且能够快速恢复平稳；在文献[5]方法控制下，试验发电机组的转矩出现了小幅度的波动，且恢复平稳转矩时间较本文方法稍长；在文献[6]方法控制下，试验发电机组的转矩波动情况较明显，恢复平稳转矩的时间较文献[5]方法要长。

综合图3和表5结果可得出，在施加扰动信号的情况下，本文方法与文献[5]方法、文献[6]方法相比较，在对试验发电机组的电流与转矩的控制中，具有更加优越的控制效果，同时控制响应速度更快，未出现超调现象，对负载扰动具有更高的控制性能。

2.4　抖振削弱效果对比分析

由于在控制新能源电网环境下水力发电机组过程中会产生一定的抖振现象，故对于三种方法控制过程中对抖振现象削弱效果的对比变得尤为重要。以下分别从无外界扰动与有外界扰动两种情况下，对比分析三种方法对抖振的削弱效果。其中在无外界扰动的情况下，三种方法对抖振的削弱效果对比情况如表6所列。

分析表6中三种方法的抖振削弱结果能够得出，在不存在外界扰动的情况下，在文献[5]方法控制下试验发电机组的抖振振幅是三种方法中最高的，此方法削弱后试验发电机组的平稳振幅范围为6.3～6.5 cm，同时在时间到达1.8 s时才将振幅削弱到此方法的平稳振幅范围内；在文献[6]方法控制下试验发电机组的抖振振幅在三种方法中处于居中位置，此方法削弱后试验发电机组的平稳振幅范围为3.6～3.9 cm，同时在时间到达1.2 s时能够将振幅削弱到此方法的平稳振幅范围内；而在本文方法控制下试验发电机组的抖振振幅是三种方法中最低的，本文方法削弱后试验发电机组的平稳振幅范围为1.3～1.5 cm，同时仅在时间到达0.9 s时便可将振幅削弱到本文方法的平稳振幅范围内。综合以上分析可知，在三种控制方法下，本文方法对试验发电机组的抖振削弱效果更加明显，削弱后振幅范围更低，同时能够快速将振幅稳定控制于平稳范围内，控制效果显著优越。

表6　无扰动时三种方法的抖振削弱效果对比

时间/s	振幅/cm		
	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
0.1	2.6	7.8	5.3
0.3	2.4	8.2	4.8
0.6	2.1	7.5	4.5
0.9	1.5	7.1	4.3
1.2	1.3	6.8	3.9
1.5	1.5	7.5	3.6
1.8	1.4	6.5	3.8
2.1	1.5	6.3	3.7
2.4	1.4	6.4	3.9
2.7	1.3	6.6	3.6
3.0	1.5	6.5	3.8

继续对三种方法的抖振削弱效果实施对比分析，在试验发电机组启动后第0.9 s时施加扰动信号，其中扰动信号属于频率为1.2 Hz、振幅为0.15 cm的正弦信号。三种方法的抖振削弱结果对比情况如表7所列。

表7　加入扰动时三种方法的抖振削弱结果对比

时间/s	振幅/cm		
	本文方法	文献[5]方法	文献[6]方法
0.1	2.6	7.8	5.3
0.3	2.4	8.2	4.8
0.6	2.1	7.5	4.5
0.9	1.6	7.5	4.7
1.2	1.5	7.1	4.3
1.5	1.5	7.6	3.9
1.8	1.4	7.1	3.8
2.1	1.3	6.7	3.7
2.4	1.5	6.4	3.8
2.7	1.3	6.6	3.6
3.0	1.4	6.5	3.9

通过表7中数据能够得出，当加入相同的正弦信号扰动时，文献[5]方法与文献[6]方法对抖振的削弱效果较无外界扰动时均呈现出降低趋势，两种方法将振幅削弱到各自方法的平稳振幅范围内所需的时间均有所延长，并且两种方法在第0.9 s加入外界扰动信号时，振幅均较无外界扰动时上升显著；而本文方

法在第 0.9 s 加入外界扰动信号时，振幅较无外界扰动时仅出现小幅度上升，且整体削弱效果呈现下降趋势，将振幅削弱到其平稳振幅范围内所需的时间稍有延长，原因是本文方法在无外界扰动时，在第 0.9 s 时实现振幅平稳，而在加入扰动试验中，扰动时间也是在第 0.9 s 时，故也可认为本文方法实际上实现振幅平稳所需时间未出现明显延长情况。

综合以上两组抖振削弱试验对比分析结果能够得知，本文方法具有更优越的抖振削弱效果，同时抖振削弱效果受外界扰动信号的影响程度较低，控制性能稳定优越。

3　结　论

在新能源电网环境下由于传统的水力发电机组控制方法存在机组启动过程调节控制性能和鲁棒性能不佳，抖振削弱效果不好，发电机电流与转矩控制效果较差等问题，本文提出了一种基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法。

(1) 通过鲁棒性较强、算法简洁且对扰动敏感度低的滑模变结构控制，针对非线性、时变性且结构较为繁琐的新能源电网环境下水力发电机组实施控制，作为当前控制理论内一个关键分支的变结构控制，近些年备受各领域学者的关注。

(2) 基于滑模控制的新能源电网环境下水力发电机组控制方法的主要特点是对扰动和摄动具备非常高的鲁棒性，并且能够适用于各种繁琐的未确准、非线性系统中，常被应用于化工、机器人、航天航空等众多工业领域内。但因在滑动模态下的变结构控制需迅速切换，故通常会产生高频振荡，也就是抖振现象，将对所控制系统造成一定程度的危害。针对滑模控制本身所存在的抖振问题，提出向滑模控制内引入模糊控制，通过运用模糊控制规则实现对信号的柔滑，有效将滑模控制的抖振削弱。通过仿真试验验证了本文方法具有非常高的控制性能，能够有效控制扰动情况下发电机组运行中的转速、电流、转矩以及削弱抖振振幅，同时针对发电机组启动转速也有较好的平稳控制效果，稳态性能与动态性能均表现较好。

本文对新能源电网环境下水力发电机组各方面稳定性实施了有效控制，并对控制效果展开了详细分析，但对于本文方法控制后新能源电网环境下水力发电机组的节能效果、发电量及使用寿命等方面并未展开分析，在之后的研究中，应进一步针对这些方面实施试验讨论分析，提升本文方法的实际应用性能，为推行本文方法奠定科学基础。

参考文献:

[1] 付文龙，李雄，邹祖冰，等. 基于增强 VMD 相关分析的水电机组摆度信号降噪[J]. 水力发电学报，2018，37(12)：114-122.

[2] 程江洲，朱偲，付文龙，等. 基于贝叶斯网络的水力发电系统动态风险评估方法[J]. 水利学报，2019，50(5)：631-640.

[3] 张其松，黄守道，罗德荣，等. 基于滑模策略的对转电机直接转矩控制[J]. 电力电子技术，2018，52(12)：17-19.

[4] 李文武，胡一鸣，游文霞. 水轮发电机组调速系统的串级鲁棒控制研究[J]. 水力发电，2019，45(7)：90-93.

[5] 王一博，管萍. 基于神经网络的双馈感应发电机滑模控制[J]. 电机与控制应用，2019，46(7)：31-38.

[6] 钟腾飞，冯新，周晶. 基于新型 TMD 的水电站厂房结构振动控制研究[J]. 水力发电学报，2019，38(9)：18-28.

[7] CHENG J，WANG L，XIONG Y. Cuckoo search algorithm with memory and the vibrant fault diagnosis for hydroelectric generating unit[J]. Engineering with Computers，2019，35(2)：687-702.

[8] LIAO G P，GAO W，YANG G J，et al. Hydroelectric generating unit fault diagnosis using 1-D convolutional neural network and gated recurrent unit in small hydro[J]. IEEE Sensors Journal，2019，19(20)：9352-9363.

[9] 余向阳，朱咏，高春阳. 双馈水轮发电机快速功率响应的控制策略研究[J]. 水力发电学报，2019，38(5)：91-98.

[10] 唐捷，张泽宇，程乐峰，等. 基于 CEQ(λ) 强化学习算法的微电网智能发电控制[J]. 电测与仪表，2017，54(1)：39-45.

[11] 苗敬利，郑大伟，周重霞. 基于新型趋近律的永磁同步电机模糊滑模控制[J]. 电气传动，2019，49(3)：5-9.

[12] YAN D，CHEN Q，ZHENG Y，et al. Dynamic evolution of a bulb hydroelectric generating unit considering effects of the blades[J]. Energy Conversion & Management，2019，185：183-201.

[13] 林巧梅，杨俊华，蔡浩然，等. 基于滑模控制的直驱式波浪发电系统 MPPT 控制策略[J]. 电测与仪表，2018，55(10)：90-95.

[14] 严彬彬，王宝华. 基于自适应 Terminal 滑模控制方法的 VSG 控制[J]. 电力自动化设备，2018，38(10)：140-146.

[15] 王艾萌，张佳，郗文远. 不对称电网故障下双馈风力发电机的比例-积分-谐振滑模控制器设计[J]. 电机与控制应用，2017，44(9)：110-117.

[16] 刁亮，王丹，郭磊，等. 双馈发电机空载并网的神经网络积分滑模控制[J]. 太阳能学报，2017，38(12)：3385-3391.

[17] 张高高，姜海军，徐青，等. 基于机组运行特性曲线的变速抽水蓄能机组自适应协调控制方法[J]. 水力发电，2019，45(8)：80-84.

[18] 刘国宏，丁喜波，陈昭，等. 基于超螺旋二阶滑模的双馈风力发电机控制策略[J]. 电机与控制应用，2019，46(4)：121-125.

[19] 杨博，束洪春，朱德娜，等. 基于扰动观测器的永磁同步发电机最大功率跟踪滑模控制[J]. 控制理论与应用，2019，36(2)：207-219.

[20] 张海燕，王杰. 不平衡电网电压下双馈风力发电机高阶滑模控制方法[J]. 电机与控制学报，2019，23(4)：37-48.

(责任编辑　王海锋)



第49卷 第1期
2016年1月

中国电力
ELECTRIC POWER

Vol. 49, No. 1
Jan. 2016

基于煤粉流速测量的燃烧控制系统分析和优化设计

郑伟[1,2]，王超[1]，赵猛[3]，张伟伟[3]

（1. 天津大学 电气与自动化工程学院 天津市过程检测与控制重点实验室，天津 300072；
2. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；3. 天津华能杨柳青热电有限责任公司，天津 300380）

摘 要：目前诸多燃煤电站锅炉运行均存在燃烧不稳、燃烧效率低甚至锅炉泄漏等现象，这些现象均与煤粉管道中煤粉流速有直接关系。为了准确测量煤粉流速，探明煤粉流速对锅炉燃烧的影响规律，以某燃煤电厂中一台磨煤机为实验平台，在其2号和3号煤粉管道上安装了基于静电法和相关测速原理的静电传感器，来测量煤粉流速。通过对测量数据的分析，以及与DCS火检监视系统相关参数的对比，验证了各煤粉管道间煤粉流速的失衡，也说明了不同煤粉流速对锅炉燃烧的影响。最后，提出了基于煤粉流速的燃烧控制和优化方案。

关键词：火力发电；气固两相流；静电传感器；相关测速；燃烧优化

中图分类号：TM621；TM611　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.11930/j.issn.1004-9649.2016.01.028.05

0 引言

当今国内大型燃煤发电机组制粉系统通常采用正压直吹式，其煤粉管道中煤粉的流速直接关系着锅炉燃烧的安全性、稳定性、效率以及环保参数[1-2]。尤其是四角布置直流燃烧器的切圆燃烧锅炉，如果各煤粉管道煤粉流速存在差异，将使得炉膛热负荷分布不均，火焰中心偏斜，从而导致燃烧不稳定，污染物（SO_x、NO_x、CO_x）排放量增加等一系列问题[3]。美国Armstrong燃煤电站从2000年就开始实验，通过测量并平衡各煤粉管道内煤粉流速，来优化锅炉燃烧[4]。但是，目前国内燃煤电厂不仅缺乏测量煤粉流速的有力手段，而且也缺少测量煤粉流速的应用研究。

本文利用高可靠性静电传感器，实验测量某燃煤电厂单台磨煤机2个煤粉管道内煤粉流速，并把静电传感器的测量数据与DCS火检监视系统中的监测数据进行实时比对，验证了煤粉流速测量的实际价值，并在此基础上，讨论提出了基于煤粉流速测量的锅炉燃烧控制优化方案。

1 相关测速原理

用于测量煤粉流速的静电传感器是基于相关速度原理，相关测速是一种时域信息的检测方法，主要对信号和噪声进行相关性分析，该分析能够从噪声和其他无关信号中找到2个所需信号间的相关性，并根据相关性进行检测和提取[5]。

如图1所示在被测流体管道放置2个相同特性的静电传感器电极（上游电极和下游电极），设两电极间相距L。当被测流体经过管道上下游电极时，上游电极和下游电极会分别产生随机流动噪声信号$m(t)$和$n(t)$，t表示信号所对应的时间。当L在足够短的情况下（不大于50 mm），信号$m(t)$和$n(t)$只是在时间上相差了δ_0（δ_0一般称为渡越时

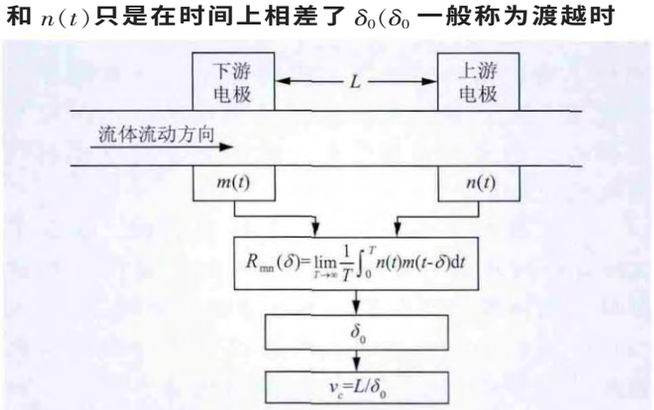


图1 相关测速基本原理

Fig.1 Basic principle of correlation velocity measurement

收稿日期：2015-11-25

基金项目：天津职业大学培养项目（20141102）

作者简介：郑伟（1983—），男，天津人，博士研究生，从事多相流测量、系统辨识、数据挖掘和计算机控制系统的研究。
E-mail: da_zhengwei@126.com

中国知网 https://www.cnki.net



间），即：

$$m(t)=n(t+\delta_0) \tag{1}$$

再由 $m(t)$ 和 $n(t)$ 的互相关函数 $R_{mn}(\delta)$（如式(2)所示），可求得渡越时间 δ_0。

$$R_{mn}(\delta)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T n(t)m(t-\delta)\mathrm{d}t \tag{2}$$

因此被测流体的速度 v_c 可以表示为

$$v_c=\frac{L}{\delta_0} \tag{3}$$

2　静电传感器的应用

2.1　静电传感器

近些年来，基于静电法的气固两相流测量技术得到了长足的发展，静电法作为被动检测方法，没有向流体引入新的电荷，只是检测流体本身带电颗粒的电荷，因此较其他测速方法（如电容法等）更安全可靠。静电传感器就是利用气固两相流颗粒电荷特性和相关测速原理，来检测颗粒流动参数[6-7]。它可以实现气固两相流颗粒的速度测量，具有系统结构简单、灵敏度高、价格低廉、适用于恶劣工业气力输送现场环境等优点[8]。其中，环形电极静电传感器（如图 2 a）所示）和弧形电极静电传感器（如图 2 b）所示）不仅实现了非接触式测量，而且空间灵敏度分布相对均匀[9]。

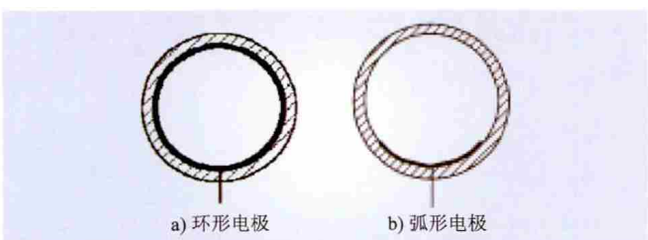


图 2　静电传感器电极

Fig.2　Electrode of electrostatic sensor

2.2　机组燃烧系统简介

某燃煤电厂单元机组装机容量为 300 MW，锅炉为上海锅炉厂生产的 SG-1025/17.5-M897 亚临界自然循环汽包炉，单炉膛，四角切圆燃烧。制粉系统为正压直吹式，配备了 5 台辊盘磨煤机，每台磨煤机有 4 条煤粉管道向锅炉炉膛输送煤粉。DCS 采用北京国电智深控制技术有限公司的 EDPF-NT 分散控制系统。

2.3　静电传感器的应用

考虑到煤粉流速的精确测量，静电传感器均安装在相近位置无阀门节流且煤粉管道直管路距离较长的位置上。另外，为了进一步适应燃煤电站工况并提高测量可靠性，选择在燃煤电厂应用非接触式的静电传感器来测量煤粉流速，并且每个静电传感器包含 1 组环形电极和 4 组均匀对称布置的弧形电极，每组电极均由上游电极和下游电极构成，并利用相关测速原理同时测量煤粉流速，再通过式(4)计算综合平均值得到最终的煤粉流速 v。

$$v=\frac{v_{c\text{-ring}}+(v_{c\text{-arc1}}+v_{c\text{-arc2}}+v_{c\text{-arc3}}+v_{c\text{-arc4}})/4}{2} \tag{4}$$

式中：$v_{c\text{-ring}}$ 表示环形电极组速度；$v_{c\text{-arc1}}$ 至 $v_{c\text{-arc4}}$ 分别表示 4 组弧形电极速度。静电传感器的结构如图 3 所示。

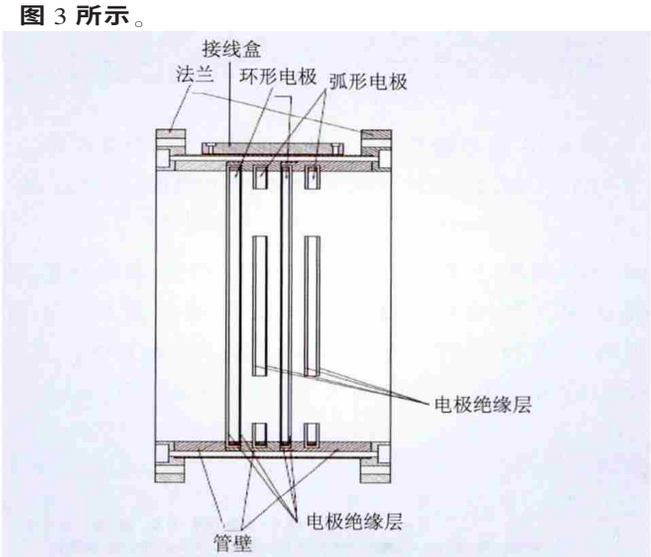


图 3　静电传感器结构

Fig.3　Electrostatic sensor

3　煤粉流速测量结果分析

3.1　煤粉流速测量

本次实验在机组 B 磨煤机 2 号和 3 号煤粉管道上分别安装了静电传感器 A 和 B。在机组以下工况中：机组负荷为 260 MW，B 磨煤机的给煤量为 23.2 t/h，一次混合风流量为 46 km³/h，一次混合风压力为 8.3 kPa，出口风煤混合物平均温度为 76.5 ℃。测得 A 静电传感器和 B 静电传感器环形电极之间的煤粉流速值，如图 4 所示。

测得 A 静电传感器和 B 静电传感器 4 组弧形电极（从上游方向看，按逆时针方向将弧形电极分为右、下、左、上）之间的煤粉流速值如图 5 a)、b)、c)、d)所示。

根据环形电极和弧形电极的测量结果，利用式(4)计算出同一段时间内 A 静电传感器所在的 2 号煤粉管道煤粉平均流速为 30.60 m/s，B 静电传感器所在的 3 号煤粉管道煤粉平均流速为 25.43 m/s。

3.2　测量结果分析

在得到 B 磨煤机 2 号和 3 号煤粉管道煤粉流速的基础上，通过 DCS 火检监视系统画面，观察

中国知网　https://www.cnki.net

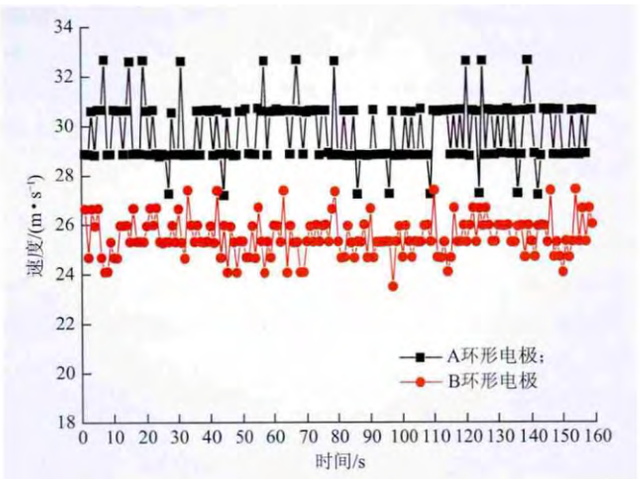


图 4 A 和 B 静电传感器环形电极之间煤粉流速值

Fig.4 Coal particle speed between ring electrodes of electrostatic sensors A and B

同一时间段 2 个煤粉管道所对应燃烧器的火焰燃烧状况，如图 6 所示。从画面中可以看出，2 号煤粉管道对应的燃烧器火焰强度为 76.77%，3 号煤粉管道对应的燃烧器火焰强度为 88.37%。

因此，通过对比可得出：2 号煤粉管道煤粉进入炉膛初始燃烧区的速度较高，但燃烧效果却较差；3 号煤粉管道所对应的燃烧器虽然燃烧效果较好(88.37%)，但是还有很大提升空间，可以通过调整煤粉流速，来接近最佳燃烧效果(100%)。日后可以进一步实验分析，确定不同工况下最佳的煤粉流速值，将其应用到锅炉燃烧控制的运算中，均衡调节各煤粉管道内煤粉流速，最终达到优化锅炉燃烧的目的。

4 煤粉流速均衡控制设计

如前所述，锅炉燃烧过程中各煤粉管道煤粉流速的均衡直接关系着燃煤电站经济与清洁的运行。因此，以下给出每台磨煤机所有煤粉管道和个别煤粉管道煤流均衡控制的设计方案。

4.1 磨煤机一次热风调门控制优化

如果某台磨煤机所有煤粉管道煤粉的流速均偏离设定值，可以通过控制该磨煤机一次热风调门，来调节一次混合风压力，从而改变该磨煤机

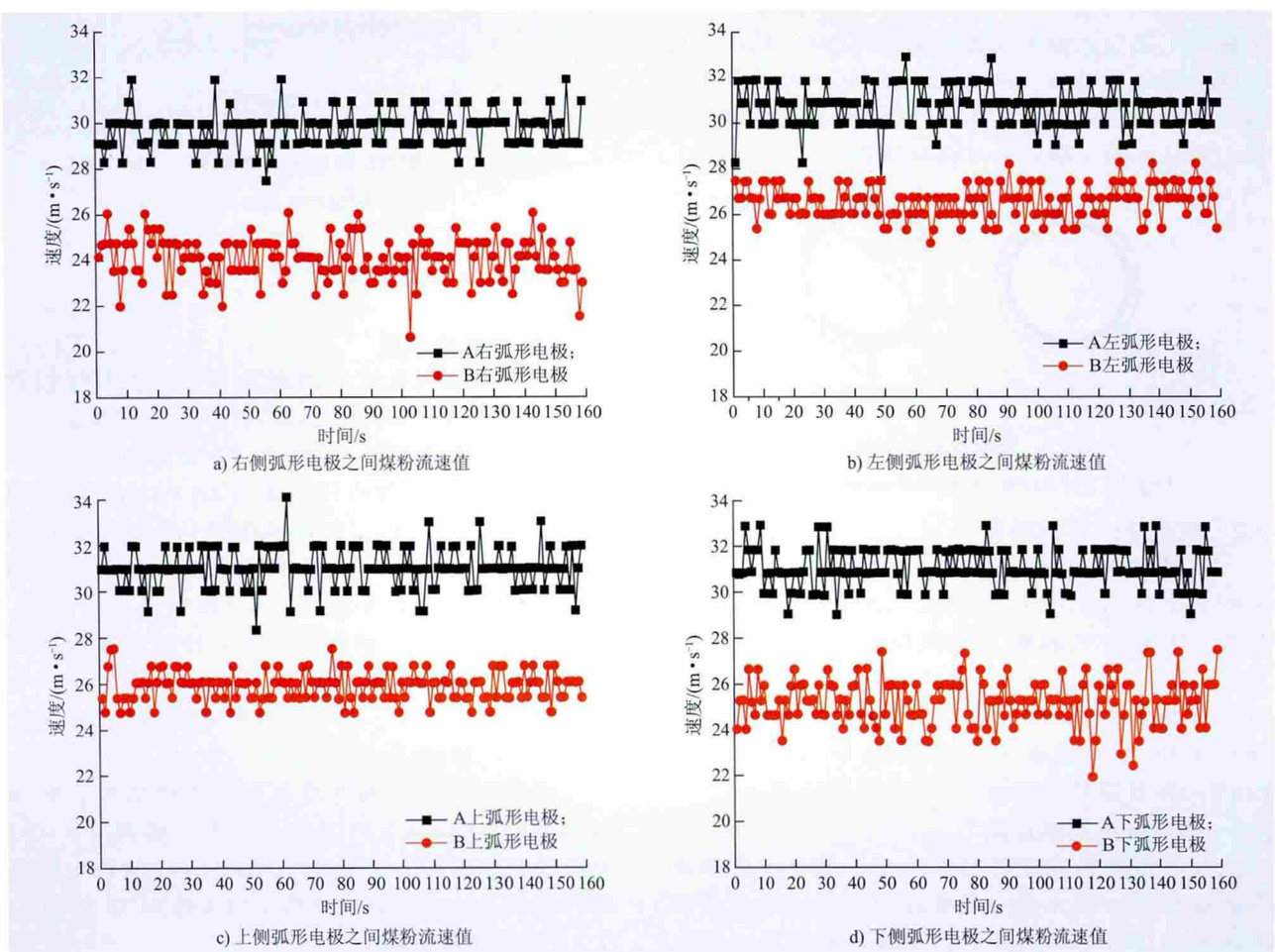


图 5 A 和 B 静电传感器弧形电极之间煤粉流速值

Fig.5 Coal particle speed between arc electrodes of electrostatic sensors A and B

中国知网 https://www.cnki.net

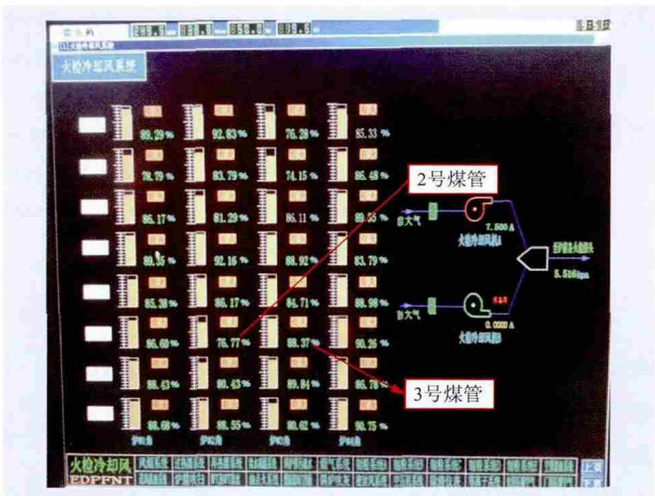


图 6　火检监视系统 DCS 画面

Fig.6　DCS screen of fire monitoring system

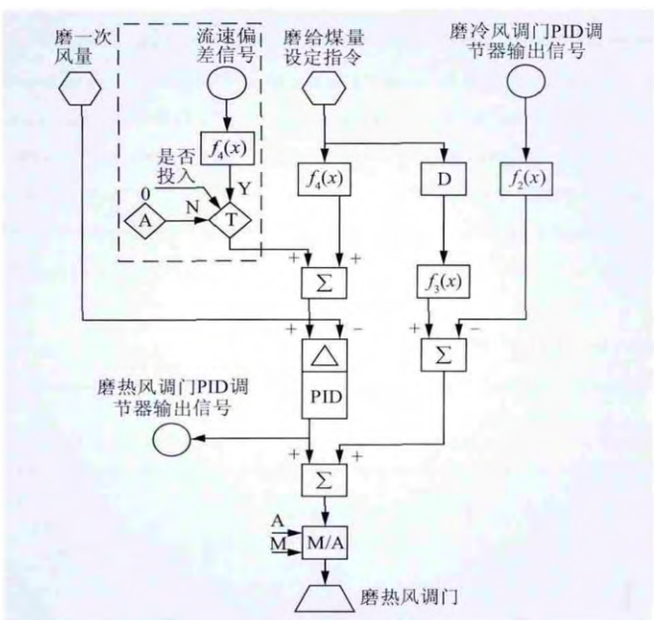


图 7　一次热风调门控制逻辑

Fig.7　Control logic of primary hot air

各煤粉管道的煤粉流速。改进后的单台磨煤机一次热风调门控制逻辑如图 7 所示，其中虚线框部分为添加煤粉流速偏差信号的位置，D 表示微分环节，$f_i(x)$表示线性处理(i=1，2，3，4)。

又由于原始煤粉流速信号存在跳点，因此在把信号送入 DCS 进行运算之前，还要做滤波处理，包括限值(上限为 35 m/s，下限为 20 m/s)和平滑(多项式移动平滑七点二次式)2 个部分。

4.2　煤粉管道煤粉流速调节

为了能够调节各个煤粉管道中的煤粉流速，需要在煤粉管道上安装挡板和电动执行机构(电动执行机构要选用可调性高的产品，如：德国的 EMG 或英国的 ROTORK 等)，安装位置应选在磨煤机出口附近，方便设备的安装和接线。

如果在单台磨煤机中有个别煤粉管道煤粉流速偏离设定值，可以通过微调煤粉管道挡板的开度，进而改变煤粉流速。相应的挡板控制逻辑如图 8 所示。

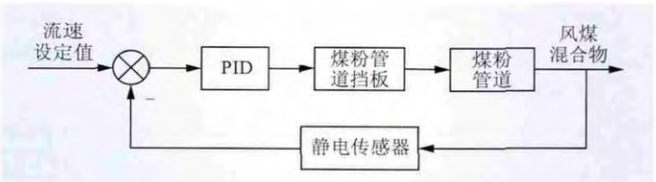


图 8　煤粉管道挡板控制框图

Fig.8　Control block diagram of coal pipe damper

5　结论

在国内新一轮电力改革和节能环保的大背景下，燃煤电厂只有不断提高电力生产过程的检测和控制水平，才能拥有核心竞争力。煤粉流速的准确测量可以使燃煤电站更全面地掌握锅炉燃烧情况，而且基于煤粉流速检测的控制与优化，以及包含煤流信息的燃烧模型，也将是燃烧控制系统发展的趋势。

日后随着煤粉流速测量数据在 DCS 数据库中的大量存储，还可以应用聚类分析、关联规则、粗糙集等数据挖掘方法，进一步统计分析煤粉流速对锅炉效率和 NO_x 排放量的影响，最终使锅炉燃烧更加的经济、清洁。

参考文献：

[1] 王超，王玉琳，张文彪. 基于静电传感的气固两相流测量及研究装置[J]. 电子测量与仪器学报，2011，25(1)：1-9.
WANG Chao, WANG Yulin, ZHANG Wenbiao. Gas-solid two-phase flow measurement and research apparatus based on electrostatic sensing [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2011, 25(1): 1-9.

[2] ZHANG J, COULTHARD J, CHENG R, *et al*. Measuring pulverised fuel: using electrostatic meters [J]. Measurement and Control, 2009, 42(3): 87-90.

[3] 许传龙，宋志英，王式民，等. 静电传感技术在燃煤电站煤粉测量中的应用[J]. 锅炉技术，2008，39(1)：32-37.
XU Chuanlong, SONG Zhiying, WANG Shimin, *et al*. Application of electrostatic sensing technique in coal powder measurement in power station [J]. Boiler Technology, 2008, 39(1): 32-37.

[4] Allegheny energy. Combustion optimization at allegheny energy's armstrong power station [R]. 2000.

[5] BECK M S. Correlation in instruments: cross correlation flowmeters [J]. Journal Physical E: Science and Instrumentation, 1981, 14(1): 7-19.

中国知网　https://www.cnki.net



[6] MATHUR M P, KLINZING G E. Flow measurement in pneumatic transport of pulverized coal [J]. Powder Technology, 1984, 40: 309-321.

[7] WOODHEAD S R, AMADI-ECHENDU J E. Solid phase velocity measurements utilizing electrostatic sensors and cross correlation signal processing [C]//Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference. 1995.

[8] YAN Y, BYRNE B, WOODHEAD S. R, *et al*. Velocity measurement of pneumatically conveyed solids using electrodynamic sensors [J]. Measurement Science and Technology, 1995, 6: 515-537.

[9] YAN Y. A global review of measurement techniques for online mass flow metering and particle sizing of pulverized fuel [C]// Proceeding of the 4th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows. Hangzhou, 2004.

（责任编辑 秦志明）

Analysis and Optimization Design of Combustion Control System Based on Coal Particle Velocity Measurement

ZHENG Wei[1,2], WANG Chao[1], ZHAO Meng[3], ZHANG Weiwei[3]

(1. Tianjin Key Laboratory of Process Measurement and Control, School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. School of Mechatronical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 3. Tianjin Huaneng Yangliuqing Thermo Power Co., Ltd., Tianjin 300380, China)

Abstract: Currently in the boiler operation of coal-fired power plants, there exist some common problems such as unstable combustion, low combustion efficiency and even boiler leakage, which are all directly related to the coal particle velocity in the pipeline. In order to measure the coal particle velocity accurately and explore the relationship between the velocity and boiler combustion, taking the coal mill in a power plant as the test platform, two electrostatic sensors based on electrostatic method and correlation velocity measurement theory are installed on Pipes 2 and 3 to measure the velocity. Through the analysis on the measurement data and the comparison with those from the boiler combustion monitoring system in DCS, the imbalance between the particle velocities in the coal pipes is observed and the impact of coal particle velocities on boiler combustion is also verified. At last, the combustion control and optimization scheme based on coal particle velocity measurement is proposed.

This work is supported by Cultivation Project of Tianjin Vocational Institute (No. 20141102).

Keywords: thermal power generation; gas-solid two-phase flow; electrostatic sensor; correlation velocity measurement; combustion optimization

（上接第 27 页）

[13] 吴乐，徐明厚，等. O_2/N_2 和 O_2/CO_2 燃烧方式下煤粉着火特性研究[D]. 武汉：华中科技大学，2011.

（责任编辑 李冰）

Study on Mill and Pulverizing System Parameters of Large Oxy-Fuel Power Plant

LIAO Haiyan[1], ZHANG Wei[2], YU Xuehai[1], WU Dongmei[2]

(1. Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100025, China; 2. China Power Engineering Consulting Group Southwest Electric Power Design Institute, Chengdu 610021, China)

Abstract: In this paper, the research and analysis on pulverizing system parameter determination and coal mill type selection is conducted for the large oxy-fuel power plant compatible with air combustion. By taking the approach of combining design calculation and theoretical analysis, the effect of high CO_2 atmosphere on the parameters of the mill and coal pulverizing system is studied so as to obtain the parameters of typical coal such as the mill outlet temperature, coal powder fineness, ventilation volume, pulverized coal pipeline flow rate and so on under 200-MW compatible air and oxy combustion conditions. Considering the pulverized coal jam, corrosion and explosion, etc., the oxygen partial pressure of primary air should be maintained at 18% and the water contents at flue gas condenser outlet should be limited below 5%, while the optimal pulverizer outlet temperature of oxygen enriched dry cycle should stay between 77 ℃ and 80 ℃, and that of wet cycle should be kept between 95 ℃ and 100 ℃. Through parameter comparisons, preventive measures against wearing, leakage and corrosion are put forward. Consequently, the key parameters of coal mill and pulverizing system are tuned well to match each other in compatible air-oxygen combustion operation.

This work is supported by Shenhua Grop Technolog Innoration Project (No.[2011]368).

Keywords: oxy-fuel combustion; compatibility; mill; parameter; corrosion prevention

中国知网 https://www.cnki.net

基于排队论的地铁站自动检票机配置研究

郭湘君
（天津职业大学机电工程与自动化学院，天津，300410）

摘要：分析了地铁站乘客到达自动检票机处等待检票的排队过程，建立了地铁站自动检票机数量合理性的评价指标，并对实际案例进行了研究，记录地铁站高峰时段乘客的排队过程，统计乘客到达自动检票机处排队接受服务的时间间隔，验证地铁站乘客到达分布服从负指数分布，基于排队理论，求得乘客的平均排队长度和平均等待时间，从而对自动检票机的数量进行了评价与优化。该方法可以降低地铁站检票机的配置成本和乘客的等待时间，提高经济性与服务质量。

关键词：地铁站；排队论；自动检票机
DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2016.13.017

Configuration Research to Automatic Ticket Machine in Subway Station Based on Queuing Theory

Guo Xiangjun
（Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China）

Abstract: This paper has analysed the queuing process that the passengers arrive at automatic ticket machines in the subway station, established the rational evaluation index about of the number of the automatic ticket machines, and studied actual case, recorded the process of the passengers queuing during rush hour, counted the intervals of the passengers, verified it obeys negative exponential distribution, the average passenger waiting time and queuing length are calculated based on queuing theory, Thus the number of automatic ticket machines was evaluated and optimized, This method can be used to reduce the costs of ticket machine configuration and waiting time for passengers, and improve the economy and quality of service.

Keywords: subway station; queuing theory; automatic ticket machines

地铁站运营中，乘客通过自动检票机进行检票的过程非常关键，而自动检票机数量配置的合理性，既影响乘客排队等待的时间，又影响地铁站运营商配置设备的费用，数量过多会导致配置费用高与资源浪费，数量少又会使大量乘客滞留在检票机处排队等候检票，影响地铁站的秩序，同时造成乘客时间浪费。因此，本论文提出一种用于研究检票机配置数量的方法，该方法是基于排队理论，通过统计并分析乘客到达检票机处的时间间隔分布，拟合分布参数，建立单位时间内乘客平均到达数量、检票时间、检票机数量与排队长、排队等候时间等评价指标的关系，通过评价指标来合理配置检票机数量，从而降低地铁站运营费用，改善地铁站服务水平。

1 地铁站检票机处排队分析

地铁站检票过程中，乘客到达自动检票机处接受检票，如果客流量较大，乘客需要先在站厅层等待检票，就出现乘客滞留现象，乘客在经过检票机的时候出现队列，产生排队。此时，乘客会倾向选择更空闲的设备接受检票。所以，乘客通过检票机过程是随机服务过程，该系统是典型的排队系统，排队过程为：乘客到达→排队→接受服务→乘客离去，系统由输入过程、排队规则、服务机构三部分组成，且属于 M/M/C 的多服务台排队模型。

1.1 输入过程

输入过程是乘客按一定的规律到达排队系统的过程，地铁自动检票机处排队的乘客总数可以认为是无限的，乘客到达自动检票机的过程是单个到达，乘客相继到达的时间间隔分布一般服从泊松或负指数的概率分布。

1.2 排队规则

排队可分为有限的和无限的，有限排队指系统的空间是有限的，如果系统已满，再来的乘客不能再进入。无限排队指系统中的乘客数是无限的，队列可以排到无限长，地铁站乘客排队属于无限排队，乘客到达后均可进入系统等待服务，且服务规则可分为先到先服务（FCFS）；后到先服务（LCFS）；随机服务（SIRO）；有优先权的服务（PR）。而地铁站检票机按乘客到达的先后顺序对乘客进行服务，因此遵循先到先服务。

1.3 服务台

把地铁站检票机看作是服务台，则服务台从结构形式上可以分为单队单服务台式、单队多服务台并联式（如图 1 所示）、多队多服务台并联式（如图 2 所示）等，地铁站的检票机属于多队多服务台并联式，从服务时间的分布类型可以分为负指数分布、爱尔朗分布等

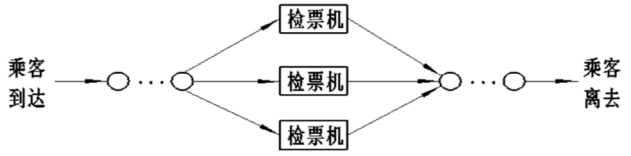


图 1 多服务台单队系统图

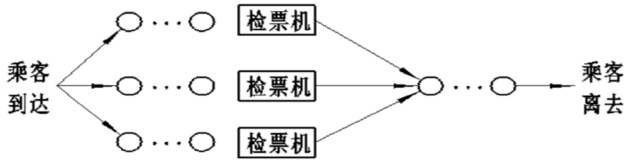


图 2 多服务台多队系统

2 检票机配置评价模型建立

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1 乘客到达时间间隔分布分析

乘客到达时间间隔分布可以是负指数分布、泊松分布、爱尔朗分布等连续型概率分布。当收集到一组随机客流数据时，起初我们并不知道其服从什么分布，这时我们先进行数据统计，根据时间间隔曲线图走势，假设数据分布类型，再对其进行检验。

2.2 检票机服务时间分布分析

服务时间分布有爱尔朗分布、负指数分布、一般分布等，如果服务时间的分布对系统的通行能力影响不是很大，我们就可将其假设为服从负指数分布。检票机检票时间受乘客使用车票的熟练程度、机器读票顺利与否等因素影响，并且排队顺序不影响乘客接受检票机服务的时间。因此，可以假设检票机的服务时间为服从负指数分布。设检票机在单位时间内能够服务λ个乘客，当服务时间服从负指数分布时，累计概率分布函数$G(t)$为：

$$G(t)=1-e^{-\lambda t} \quad (1)$$

2.3 建立评价指标

根据乘客到达时间间隔与检票机服务时间的分析，可知单位时间内乘客平均到达数量、检票机检票时间，从而建立系统中的乘客的平均队列长、队长、等待时间、逗留时间等自动检票机排队系统评价指标：

2.3.1 乘客排队平均队列长与队长：

$$\begin{cases} L_q=\sum_{n=c+1}^{\infty}(n-c)P_n=\frac{(c\rho)^c\rho}{c!(1-\rho)^2}P_0 \\ L_s=L_q+\frac{\lambda}{\mu} \end{cases} \quad (2)$$

其中：

$$\begin{cases} P_0=[\sum_{k=0}^{c-1}\frac{\lambda^k}{\mu^k k!}+\frac{1}{c!}\frac{1}{1-\rho}\cdot(\frac{\lambda}{\mu})^c]^{-1} \\ P_n=\begin{cases}\frac{1}{n!}(\frac{\lambda}{\mu})^n P_0 (1\le n\le c)\\ \frac{1}{c!c^{n-c}}(\frac{\lambda}{\mu})^n P_0 (n>c)\end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

式中：

L_q：队列长，指正在排队等待服务乘客数，人；

L_s：平均队长，指排队系统中总乘客数，人；

λ：乘客到达速率，指单位时间内平均到达的乘客数，人/秒；

μ：服务速率，即单位时间内检票机服务的乘客数，人/秒；

ρ：服务强度，即每台检票机单位时间内的平均服务时间，$\rho=\lambda/(c\mu)$；

c：系统中检票机的台数，台；

P_0：系统中所有检票机全部空闲的概率，%；

P_n：系统状态为n的概率，即n台检票机同时工作的概率，%。

2.3.2 乘客平均等待时间和逗留时间：

$$W_q=L_q/\lambda \quad (4)$$

$$W_s=L_s/\lambda \quad (5)$$

式中：

W_q：平均等待时间，从乘客到达时刻起到开始接受服务的这段时间，秒；

W_s：平均逗留时间，从乘客到达时刻起到接受完服务的这段时间，秒。

3 案例分析

天津地铁1号线，是天津地铁线路之一，连接天津市北辰区刘园站和天津市津南区双林站，地铁财经大学站作为天津地铁1号线线路站点之一，地铁站设有10台自动检票机，且每台检票机可供乘客进出站双向使用，现以天津地铁一号线财经大学站为例，对其检票机的配置情况进行分析。

3.1 乘客到达时间间隔分布分析

选择某一高峰时段对财经大学地铁站检票机处的乘客流进行录像，采集乘客到达检票机处的时间间隔数据。经数据统计分析，最后绘制出474个进、出站的乘客到达时间间隔散点图，如图3所示。

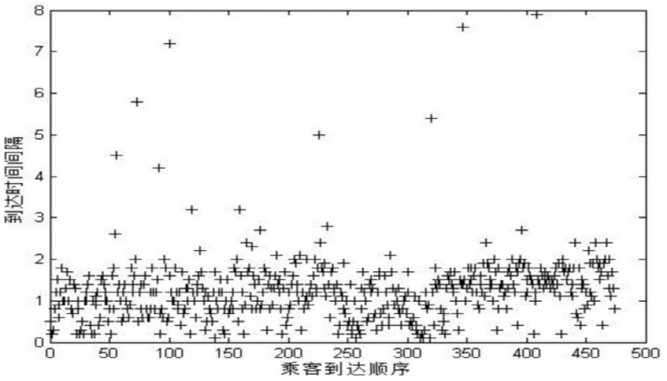


图3 乘客到达时间间隔散点图

由图3可知，该时段地铁站人流是比较密集的，除10个到达间隔时间超过3秒外，其余都分布在0-3秒内。按从大到小的顺序绘制乘客到达时间间隔曲线，如图4所示。

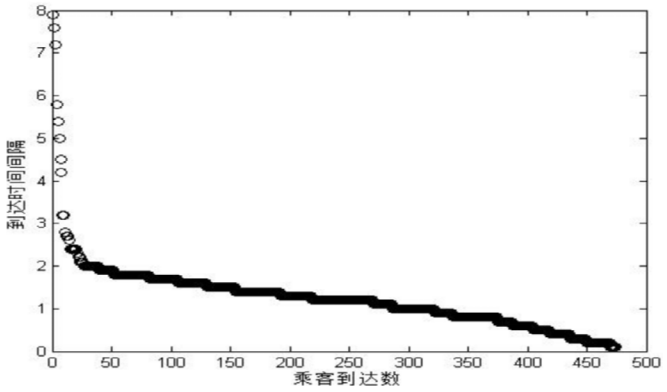


图4 乘客到达时间间隔曲线图

由图4可知，曲线趋势近似于负指数函数，因此假设其服从负指数分布，下面进行分布的参数估计并检验。

3.1.1 乘客到达时间间隔分布的参数估计

H_0：T的概率密度为：

$$g_T(t)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda t}, t\ge 0\\ 0, t<0\end{cases} \quad (6)$$

先估计λ的大小，通过最大似然估计法进行计算如下：

$$M(\lambda)=\prod_{i=1}^{m}\lambda e^{-\lambda t_i}=\lambda^m e^{-\lambda\sum_{i=1}^{m}t_i} \quad (7)$$

$$\ln M=m\ln\lambda-\lambda\sum_{i=1}^{m}t_i$$

$$\frac{\partial}{\partial\lambda}\ln M=\frac{m}{\lambda}-\sum_{i=1}^{m}t_i=0$$

$$\hat{\lambda}=m/\sum_{i=1}^{m}t_i=474/543=0.827$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.1.2 假设检验

从数据中提取最小间隔时间为0.1s，最大为7.9s，在H_0下，T可能取值的全体区间为(0.1,7.9]。这里将其等分为u=6的六个连续的小区间：S_1=(0.1,1.4]，S_2=(1.4,2.7]，S_3=(2.7,4]，S_4=(4,5.3]，S_5=(5.3,6.6]，S_6=(6.6,7.9]。当H_0为真时，可估计T的分布函数为：

$$\hat{G}(t)=\begin{cases}1-e^{-0.827t}, t\geq 0\\ 0, t<0\end{cases} \quad (8)$$

所以概率$f_i=G(S_i)$为：

$$\hat{f}_i=\hat{f}(S_i)=\hat{f}\{s_i<T\leq s_{i+1}\}=\hat{G}(s_{i+1})-\hat{G}(s_i) \quad (9)$$

代入具体的区间端点值得：

$$\hat{f}_1=\hat{f}(S_1)=\hat{f}\{0.1<T\leq 1.4\}=\hat{G}(1.4)-\hat{G}(0.1)=0.6064$$

$$\hat{f}_2=\hat{f}(S_2)=\hat{f}\{1.4<T\leq 2.7\}=\hat{G}(2.7)-\hat{G}(1.4)=0.2070$$

$$\hat{f}_3=\hat{f}(S_3)=\hat{f}\{2.7<T\leq 4\}=\hat{G}(4)-\hat{G}(2.7)=0.0706$$

$$\hat{f}_4=\hat{f}(S_4)=\hat{f}\{4<T\leq 5.3\}=\hat{G}(5.3)-\hat{G}(4)=0.0241$$

$$\hat{f}_5=\hat{f}(S_5)=\hat{f}\{5.3<T\leq 6.6\}=\hat{G}(6.6)-\hat{G}(5.3)=0.0082$$

$\hat{f}_6=\hat{f}(S_6)=\hat{f}\{6.6<T\leq 7.9\}=\hat{G}(7.9)-\hat{G}(6.6)=0.0028$具体计算结果如表1所示：

由表可知，S_5与S_6两行的得出的$m\times\hat{f}_i$都小于5，将其与S_4行进行合并，此时u=4，$\chi^2=\sum_{i=1}^{u}(g_i^2/m\hat{f})-m=480.06-474=6.06$，过程中只对参数$\lambda$进行了估计，故$r=1$，$\chi_{0.025}^2(u-r-1)=\chi_{0.025}^2(4-1-1)=\chi_{0.025}^2(2)=7.38>6.06$，所以在显著性水平$\alpha=0.05$下接受$H_0$，因此$T$服从$\lambda=0.827$的负指数分布，即乘客平均到达间隔时间为1.209秒。

3.2 确定检票机平均服务时间

其实，设备的使用能力就是排队系统的服务时间。在理想的情况下，地铁站检票机使用能力能达到25人/分钟，但在检票机的实际使用中，乘客通过检票机的时间会因为检票不顺利以及乘客使用不熟练等因素而变长，这里，设检票机的实际使用能力为15人/分钟，即每个乘客接受检票机的平均服务时间为4秒，即$u=0.25$。

3.3 系统计算结果与评价

下面根据λ、u的取值进行计算，由于$c=3$时，$\rho=\lambda/cu$=1.103>1，所以，从$c=4$开始，计算如表2：

由表2可知，当设置4台检票机的时候，系统中会有6人以上的乘客，且乘客的平均逗留时间为7.35秒，当设置5台检票机时，系统中有3人以上的乘客，且乘客的平均逗留时间为4.51秒，系统中的平均队长、平均逗留时间、等待时间都有显著改善，而当设置6台时，乘客队长、等待时间等指标仅有一点改善，但需开销较高的设施配置费用，因此设置5台自动检票机是较为合理的选择。

4 结论

通过对地铁站自动检票机处乘客排队过程的分析，建立了地铁站自动检票机数量合理性的评价指标，基于实测数据拟合，验证车站验证检票旅客到达分布为负指数分布，进一步求得乘客的平均排队长度和平均等待时间，从而对自动检票机的数量进行了评价与优化。经过实际案例的计算，结果表明此模型是有效的，

表1 检验计算表

S_i	g_i		$\hat{f}_i$		$m\times\hat{f}_i$		$g_i^2/m\hat{f}_i$
S_1：(0.1,1.4]	143		0.6064		287.4		71.15
S_2：(1.4,2.7]	320		0.2070		98.12		404.8
S_3：(2.7,4]	3		0.0706		33.46		0.2689
S_4：(4,5.3]	3	8	0.0241	0.0351	11.42	16.63	3.848
S_5：(5.3,6.6]	2		0.0082		3.887		
S_6：(6.6,7.9]	3		0.0028		1.327		
合计	474		1.0000		435.6		480.06

表2 不同台数的检票机评价表

c（台）	$\rho=\lambda/cu$	P_0	L_q	L_s	$W_q=L_q/\lambda$	$W_s=L_s/\lambda$
4	0.827	0.0223	3.1017	6.4117	3.5570	7.3529
5	0.662	0.0326	0.6255	3.9355	0.7173	4.5132
6	0.551	0.0354	0.1775	3.4875	0.2036	3.9994
7	0.473	0.0362	0.0532	3.3632	0.0610	3.8569
8	0.414	0.0364	0.0157	3.3257	0.0180	3.8139
9	0.368	0.0365	0.0044	3.3144	0.0050	3.8009
10	0.331	0.0365	0.0012	3.3112	0.0014	3.7972

（下转66页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的计税方法，使纳税申报的勾稽关系、计算公式更为复杂。在汇总纳税的情况下，纳税申报工作涉及多层级机构数据汇总和核对；税务风险更高相对于营业税来说，增值税的税务风险更多，包括进项认证、视同销售、销项税调整、进项税转出、增值税专用发票管理等不同内容。增值税的违规成本更高，因此对于每一个风险点，公司均利用信息系统、流程规范以及人工分析进行三重管理，以避免由于风险管理不善而导致的税款滞纳金或行政处罚甚至刑事处罚；税务筹划空间更多相对于营业税来说，增值税“销项－进项”的计税方法，使增值税的应交税金存在更多变量，因而具有更多税务筹划空间。公司可以通过合法、合理的业务设计，减少销项税或者增加进项税，已到达降低增值税的应交税金；税务监管更严格相对于营业税来说，增值税的征管机关是国家税务局，监管更加严格，税务机关系统会监控公司增值税税负率的变化。此外，增值税关系到公司上游供应商和下游客户的计税情况，税务机关会借助公司的桥梁作用，检查处于公司上下游的增值税情况，需要公司提供积极协助。

4 完善电信行业应对营改增的措施

4.1 加强经营模式的改进

要不断加强经营模式的改进，并严格管理应收账款。营改增之后的票管税十分关键，电信行业要不断打破传统促销模式，比如目前常用的产品折扣促销模式，这时于增值税发票上详细记录各个折扣。电信营业商要严格管理应收账款，营改增之后，许多坏账收入都会严重影响公司的税负，这时就应加强套餐业务的调整，帮助企业快速缓解税收负担。

4.2 税率和计算税负分别归类

电信行业种类繁多，应分别归类税率和计算税负。具体而言，电信行业的业务可分为基础电信业务于增值电信业务，其间不同业务的差异化非常显著，这时对业务税率的区分则非常关键。比如，电信行业的互联网服务及信息服务均是现代化服务业务，这是信息技术服务，其对应的增值税税率应是 6%，这比普通增值税率低，可更好的缓解电信行业税收负担。电信运营商应着眼于实际情况，把新增的设备投资进度合理调整。

4.3 对财税人员进行业务培训 ,快速适应增值税工作模式

营改增全面实施以后，无论是增值税发票的开具、入账管理还是后期的税务申报都比营业税时期要繁杂的多。长期以来，财务人员办理营业税涉及的各项手续已经十分熟练，而对于增值税各项流程和手续还不是很熟悉，所以电信企业需组织财务人员进行增值税业务办理培训，以使他们尽快适应增值税工作环境，确保在过渡时间不出现问题。同时还要对相关财务制度进行改进，以规范财务管理。

4.4 采购管理要求精细化

首先，我们必须重新认证的供应商事业部的管理，审查定价调整模式。为了增加进项税抵扣额，降低采购成本，要求运营商必须供应商分类管理的重新认证，并按照抵扣进项税额可以通过调整报价和评价不同类型的供应商，以获得纳税人申办时的方式来区分他们的项目提供的会计。其次，现有的集中采购模式需要必须进行优化，以避免可能出现的“留抵”的局面。根据增值税的环境，要求“票、款、货”三流一致，即付款单位，发票开具单位，提供服务的单位一致，才能申报抵扣进项税，否则不能抵扣。在集约化管理的背景下，运营商正在使用的大多数的购买群体或省级“统一谈判，统一签合同，统一支付。”

5 结束语

随着社会经济的快速发展，推动了电信行业的进一步发展，电信行业深深的嵌入社会经济运转中，营改增可加快税制改革，且营改增对电信企业有着很大的影响，包括电信企业的公司业绩和采购管理与市场营销，更会影响到发票管理和税务管理等方面工作。电信公司可按照新税制，并以自身公司的经营情况进行调整，且对此全面规划，从而提出适宜的抵扣方式，以便尽可能的享受税收优惠政策。

参考文献

[1] 曾璐，刘曜．电信行业“营改增”对电信企业税负的影响 [J]. 开发研究 ,2014,01:112-115.
[2] 李文琪，李小波．营改增对电信行业财务管理的影响及相关对策 [J]. 商业会计 ,2014,21:106-107.
[3] 刘泽坤．营改增对电信业的影响 [D]. 西南财经大学 ,2014.

（上接 40 页）

应用该方法进行地铁站自动检票机数量优化配置分析，可以有效降低检票服务成本和乘客排队等待费用，提高经济性。本论文提出的地铁站自动检票机数量优化方法，可以协助地铁站根据客流量实际情况合理设置自动检票机数量，降低运营商服务成本的同时，为乘客提供更加优质的服务。

参考文献

[1] 熊伟．运筹学 [M]. 北京：机械工业出版社，2009：211~239.
[2] 刘明姝，张国宝．基于排队系统的城市轨道交通进站检票机配置 [J]. 城市轨道交通研究 ,2004(5):34~37.
[3] 曹守华，袁振洲，赵丹．城市轨道交通乘客上车时间特性分析及建模 [J]. 铁道学报 ,2009(3):89~93.
[4] 丛国超．批量到达的多服务台排队模型及其仿真研究 [D]. 江苏：江苏大学 2006.12.
[5] 姚红云，韩玲，付玉元．基于排队论的高峰期汽车加油站优化研究 [J]. 交通信息与安全 ,2010(5):28~30.
[6] Baofeng Li,Donghua Wang. Configuration Issues of Cashier Staff in Supermarket Based on Queuing Theory[J], Information Computing and Applications, 2010.10:334~340.
[7] 蒋启文．城市轨道交通车站进出站设施优化配置问题研究 [D]. 北京：北京交通大学 2009.06

作者简介

郭湘君，女，1982 年 3 月出生，汉族，天津人，硕士研究生，讲师。主要从事机械及自动控制领域教研工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：1002-025X(2015)11-0050-03

基于嵌入式 CCD 和超声波的锅炉焊缝疲劳损伤检测

石梅香，闫 红

（天津职业大学，天津 300410）

摘要：选择 TI Keystone 架构的高性能多核 DSP TMS320C6678 作为锅炉焊接缺陷检测系统的 CCD 图像处理硬件核心，设计了嵌入式 CCD 自动检测系统用于焊道的疲劳损伤检测。系统采用多核 DSP 控制器设计嵌入式 CCD 采集图像进行预处理、边缘检测进而提取轮廓，计算焊缝图像位置，调整执行机构和超声波探头的位置，实现焊道自动检测。

关键词：多核 DSP；嵌入式 CCD；焊道检测

中图分类号：TG441.7 **文献标志码**：B

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2015.11.018

0 引言

锅炉制造中多用焊接部件，这些焊接部件多数工作在高温、高压、汽水等环境条件。焊接部位的质量直接影响着锅炉安全运行和使用寿命。因此，在锅炉安装运行后，必须定时对其焊缝进行严格的检测。在运行中，锅炉的升降压会使其产生塑性形变，再加上高温高压及腐蚀等环境条件，使其易发生表面疲劳裂纹损伤，其危害性比内部的埋藏裂纹更大，尖锐的裂纹尖端会引起应力集中，促使裂纹快速扩展造成严重事故[1-2]。因此，焊缝上的裂纹查找及开裂深度的测量相当重要。 由于超声波探伤具有探测距离大、深度深、体积小等特点，成为重要的无损检测手段之一[3-5]。大量的工程实践已证明采用超声波反射回波的方法可检测、定位焊缝中的缺陷。但是，超声波检测在检测时要求探头在与焊缝中心线成一定的角度作正反两个方向的斜平行扫描，在人工检测扫描操作过程中，信号不能很好地贴近检测部位，经常会出现漏检或误报等情况。

本文基于多核 DSP TMS320C6678[6]来设计自动检测扫描系统，实现对焊缝的自动跟踪，实时调整超声波探头的角度、方向，在定期锅炉检测中检测焊缝疲劳损伤。

1 超声波检测方法

锅炉运行期间的定期检测中，焊缝经常检出裂纹。主要有两种，一种是由于锅炉的温度、水流速和压力反复变化，水汽的作用、锅炉的启停等会引起应力交变，使其产生塑性形变，在锅炉的长期运行中，交变应力促使其金属材料及焊缝疲劳裂纹产生；另一种为冷裂纹，在温度相当低及焊接结束后较长一段时间内产生，而由氢裂痕转变为裂纹又需要经历一段孕育时间，即延迟裂纹。锅炉裂纹的多发生在表面不规则、应力较大的区域，如角焊缝等。

超声波无损检测是检测无损缺陷的重要手段[7-9]。超声波在两种不同介质中传播会发生反射，反射回波大小不同。锅炉裂纹的超声波探测中探头水平移动时，反射波连续出现波动。裂纹的反射率高，波形有一定的宽度，有多个波峰产生，图 1 所示为典型的回波波形。检测到回波信号，对信号进行时域、频域或时频域的特征提取[10]，实现缺陷的定位检测。

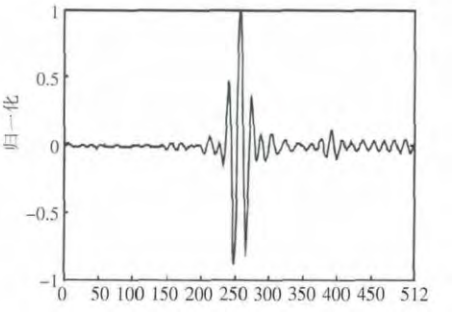


图 1 典型超声波回波波形

收稿日期：2015-08-02

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 嵌入式 CCD 焊缝检测定位系统组成

本系统基于多核 DSP TMS320C6678[11]来完成，TMS320C6678 是 TI 公司开发的一款高性能站于Key-Stone 架构的 8 核 DSP。由于其具有快的运算速度和丰富的外部设备，尤其适用于机器视觉领域。

本系统的组成如图 2 所示，由图像采集模块(光源、CCD 传感器)、图像预处理模块、图像处理模块、执行机构、超声波检测等模块组成。其工作流程是：首先 CCD 传感器采集到的模拟信号经过模数转换过后，存储到 FPGA 的外部存储器中，对数字图像进行预处理，然后通过 FPGA 与 DSP 的 SRIO 进行数据通信，把图像数据传输到多核 DSP TMS320C6678 中进行算法处理，提取其轮廓信息，并进行坐标标定，再控制执行机构调整超声波检测探头的位置进行超声波检测，超声波检测信号最终在 DSP 中存储及处理。

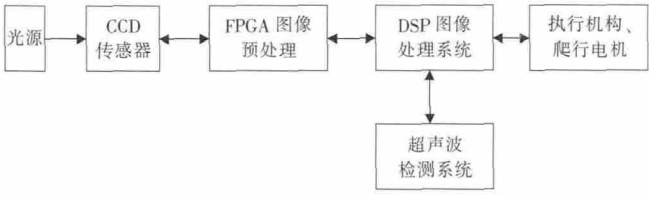


图 2 系统的组成

焊缝检测定位系统运用数字图像处理，模式识别和数字控制的处理方法。采用高清 CCD 对锅炉焊接部件的焊缝进行实时成像及检测，检测焊缝的边缘，提取焊缝的轮廓，对其进行位置标定。执行机构跟踪焊道位置，调整超声波探头机构对焊缝进行从左到右依次扫描检测。

3 焊缝区域提取

在超声波检测之前，本系统采用了一种焊缝区域提取方法，将焊缝轮廓线标定位置，对超声波探头扫描区域进行定位，防止漏检或探头偏离焊缝检测范围，使检测出现误差。

在锅炉焊接部件中，焊缝和管壁等区域的 CCD 图像有较强的空间对比度，经过边缘检测，进行轮廓提取，流程如图 3 所示。比较常见的边缘检测方法有[12]：Canny 算子、Roberts 算子、Prewitt 算子和 Sobel 算子。Roberts 算子是利用局部差分算子寻找边缘的算子，经 Roberts 算子检测的边缘不是很平滑，边缘的定位精度不是很高。Prewitt 算子为一阶微分算子的边缘检测，利用像素点上下左右的邻点灰度差，在边缘处达到极值来检测边缘，去掉部分伪边缘，对噪声具有平滑作用，这种检测算法对图像噪声较大时，会造成边缘点的误判，它对检测陡峭的低噪声图像效果比较好。Sobel 算子一个离散的一阶差分算子，用来计算图像亮度函数的一阶梯度之近似值。Sobel 算子不能将图像的主体与背景严格地区分开来。Canny 算子不易受噪声的干扰，检测到的边缘比较连续清楚。因此，Canny 算子是这几种典型边缘检测算法中检测效果最好的。



图 3 焊缝提取流程图

对一焊道 CCD 图像边缘进行提取，从图 4 所示的各种算法的处理效果来看，Canny 算子检测的细节较多，边缘定位比较精确，Sobel 算子和 Prewitt 算子检测的结果边界的轮廓基本识别，但出现了明显的噪声，Roberts 算子检测的边界模糊。

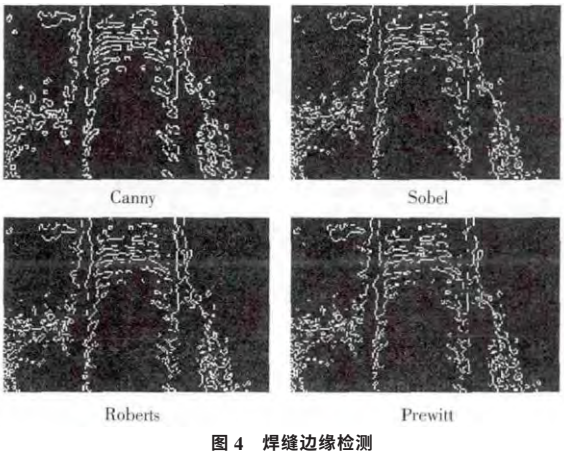


图 4 焊缝边缘检测

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4 轮廓提取

采用 Canny 算子进行图像边缘检测后，采用边界搜索的方法进行焊缝的轮廓提取，在图像的左下角开始，通过梯度非极大值的抑制，结合全局灰度和局部梯度[9]，逐渐地寻找每一个边界点。

本算法的具体实现为：根据边缘检测，开始按照从左到右，自下到上的查找原则进行搜索，查到第一个为 1 的点，以该点为基准作为基点，并标记改点的坐标。按照每一个点都有 8 个相邻点[13]（图 5），进行梯度运算，选择梯度最大值方向的切线方向为准；在梯度垂直方向上的相邻 3 个像素点中寻找边界方向和边界点的最优值，作为下一个目标点，以该目标点为继续扫描查找，依次循环，直到查找到右边界结束。

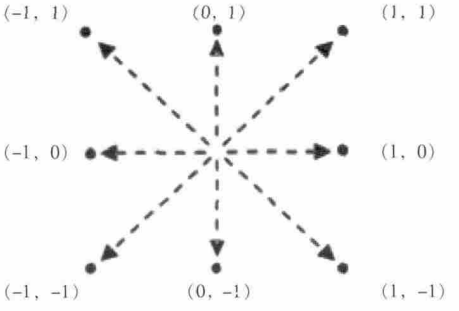


图 5 8 邻域检测位置

按照轮廓提取提供的图像信息，按坐标值，调整执行机构和超声波探头的扫描位置，实现锅炉焊缝的自动检测。

多核 DSP 处理流程，为了能够实时快速地完成焊道的提取，机构控制和探头的及时调整，并且使 C6678 的每个 C66x 核都能得到有效利用。本系统在多核 DSP 模块包括执行机构控制模块，多核并行控制模块和超声波检测模块，分别由核 0~7 完成。由 0 核负责执行机构的控制和超声波检测模块控制，剩余的 7 个核的 C6678，组成一个流水线控制算法如图 6 所示。

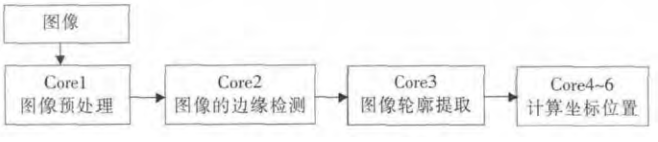


图 6 多核 DSP 处理流程

5 结论

采用嵌入式 CCD 实现对锅炉焊缝的自动超声波检测。通过对 CCD 采集图像进行分析、处理、采用 Canny 算子进行边缘检测并进行轮廓的提取，实现超声波检测自动进行。采用多核 DSP 的系统，摆脱了 PC 机对采集系统的束缚，实现了实时的图像采集与处理。嵌入式 CCD 系统为超声波探头准确定位及探伤提供重要可行的手段。

参考文献：

[1] 邱葭菲. 锅炉压力容器焊接质量控制[J]. 电焊机，2004，34(5)：1-6.

[2] 刘彩梅. 压力容器焊接质量控制[J]. 化学工程与装备，2010(8)：77-80.

[3] 曾华清. 超声波检测在剥皮鼓焊接质量中的控制[J]. 机电技术，2014(8)：137-145.

[4] 尹天罡，曹 彪. 超声波金属焊接信号采集与分析系统[J]. 电焊机，2013，43(3)：36-39.

[5] 唐忠国. 超声波无损探伤检测钢结构焊接质量分析[J]. 机械工程师，2013(7)：233-234.

[6] 刘志远，裴 润，王 玲，等. 一种焊缝缺陷自动超声检测系统[J]. 焊接学报，2002，23(3)：71-74.

[7] 曾 伟，王海涛，田贵云，等. 基于能量分析的激光超声波缺陷检测研究[J]. 仪器仪表学报，2014，35(3)：650-655.

[8] 王 彬. 焊接缺陷超声检测信号的小波分析与处理[D]. 陕西 西安：西安科技大学，2003.

[9] 张海涛. 天然气集输系统压力容器角焊缝裂纹检测技术研究[D]. 黑龙江 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2012.

[10] 李 佳. 超声波探伤检测焊接质量[J]. 有色设备，2012(3)：4-5.

[11] 苏保禹. 基于 TI-C6678 的多核 DSP 图像处理系统研究[D]. 北京：中国科学院研究生院（光电技术研究所），2014.

[12] 卢 洋，张旭秀. 图像边缘检测算法的对比分析与研究[M]. 山西 太原：太原科学技术出版社，2009.

[13] 陆承恩，朱光喜，孙 俊. 基于边界搜索图像闭合轮廓提取算法[C]//第十四届全国图像图形学学术会议论文集，2008：238-241.

作者简介：石梅香（1976—），女，硕士，讲师，在天津职业大学机电与自动化学院从事焊接专业的科研与教学工作.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于全工况数据挖掘的多目标燃烧优化

郑 伟[1]，刘 达[2]
（1.天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410；
2.天津国电津能热电有限公司，天津 300300）

［摘 要］为了使燃煤电站锅炉燃烧达到高效低污染的目的，提出了锅炉燃烧优化的约束模糊加权规则提取算法，该算法可以快速确定燃烧过程中各变量的定量关系，并给出相应的数据挖掘方法，从锅炉全工况海量历史运行数据中提取燃烧优化规则，并构建燃烧优化知识库，实现多目标燃烧优化。通过在发电机组上的实际实验，验证了在同等工况下，利用锅炉燃烧优化规则，NO_x 排放质量浓度平均值下降 69.47 mg/m^3，飞灰含碳量平均值下降 0.05%，锅炉效率平均值提升 0.11%。因此，基于全工况数据挖掘的多目标燃烧优化，能够有效缓解燃煤电站节能减排的压力，也便于实施和在线应用。

［关 键 词］燃煤电站；燃烧优化；数据挖掘；NO_x 排放；飞灰含碳量；锅炉效率
［中图分类号］TM611 ［文献标识码］A ［文章编号］1002-3364(2017)06-0069-06
［DOI 编 号］10.3969/j.issn.1002-3364.2017.06.069

Multi-objective combustion optimization based on data mining with full-scale working condition

ZHENG Wei[1], LIU Da[2]
(1. School of Mechatronical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
2. Tianjin Guodian Jinneng Co-generation Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

Abstract: To realize high combustion efficiency and low pollution emission for coal-fired utility boilers, the constrained fuzzy weighted extracting rules algorithm was proposed for boiler combustion optimization, which can quickly determine the quantitative relationship among different combustion variables. Moreover, with the algorithm at the core, a data mining approach was presented to extract the optimal rules of boiler combustion from massive historical operation data covering full-scale working condition. A knowledge base for multi-objective combustion optimization could be developed by all the optimal rules. Experiments on the generator units proved that, by using this boiler combustion optimization rule, the NO_x emission decreased by 69.47 mg/m^3 on average, the carbon content in fly ash reduced by 0.05% on average and the boiler efficiency increased by 0.11% on average, comparing with the operation results without optimal rules. Therefore, the data mining approach can be effective in relieving pressure on energy conservation and pollution reduction and is convenient to be implemented in practice.
Key words: coal-fired power plant, combustion optimization, data mining, NO_x emission, carbon content in fly ash, boiler efficiency

根据国家统计局《2015-2020 年中国火力发电量市场研究及发展趋势研究报告》，2014 年中国火力发电装机容量 13.60 亿 kW，发电量 55 459 亿 kW·h，燃煤发电量占总发电量的 75.20%，在可预见的时间里，中国电能最主要来源仍是燃煤发电[1]。然而，随着日益严峻的环保形势和更具有竞争性的电力制度调整，燃煤电站不仅要继续寻找提高煤炭利用率的方法，而且要降低发电过程中对环境的污染。尤其是燃煤电站 NO_x 的排放越来越受到广泛的关注，近年来中国出台了严格限制燃煤电站 NO_x 排放的政策文件，文件中均提到燃煤锅炉 NO_x 排放质量浓度限值在氧体积分数 6%条件下为 200 mg/m^3 的规定[2-3]。因此，目前燃煤电站急需可在线应用且安全可靠的方案，来解决降低 NO_x 排放质量浓度和提高煤炭利用率的多目标优化问题。

基于操作变量调整的锅炉燃烧优化是一种被

收 稿 日 期：2016-10-12
第一作者简介：郑伟(1983—)，男，硕士，讲师，主要研究方向为热工自动化和数据挖掘，zhengwei@th.tjtc.edu.cn。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

广泛认可的方案[4-5]。因为数据挖掘可以借助海量历史运行数据，发现锅炉操作变量和性能变量之间的关联，所以数据挖掘是实现锅炉燃烧优化的一种有效途径[6-13]。Li等人根据燃煤电站历史运行数据的特点，介绍了挖掘燃煤电站历史运行数据的一般过程[6]。Kusiak等人以聚类分析为基础，建立了锅炉可控变量、非可控变量和响应变量之间的关系，通过调整可控变量，达到优化锅炉效率的目的[7-9]。近年来，模糊关联规则算法被用于挖掘锅炉数值型变量之间的关系，生成基于变量调整的燃烧优化规则[10-12]。王东风等利用数据挖掘，建立了基于工况的燃烧案例库，通过工况匹配，给出了燃烧过程中最优的操作变量设定值，达到降低NO_x排放质量浓度，提高锅炉效率的目的[13]。

本文提出一种数据挖掘方法，在对锅炉全工况海量历史运行数据进行预处理的基础上，应用约束模糊加权规则提取算法，从处理后的数据集中提取燃烧优化规则，并构建燃烧优化知识库，实现多目标燃烧优化。该方法不仅有效解决了传统数据挖掘方法（如关联规则）和人工智能方法计算复杂、对海量高维数据适应性差的问题，同时也能满足锅炉燃烧优化在线应用的实际需求。

1 数据预处理

1.1 数据再采样

目前分散控制系统（DCS）和监管信息系统（SIS）已在燃煤电站广泛应用，海量的历史运行数据被保存和积累下来。通常，SIS 除存储历史运行数据外，还实时计算和保存锅炉的性能指标参数（如锅炉效率等）。因此，本文选用 SIS 数据库作为燃烧优化的数据源。

在 SIS 中，每个测点的运行数据通常每秒保存一次，数据过于冗余，不利于数据的分析、处理和挖掘。因此，一般以 1 min 为周期对历史运行数据进行再采样[14]。本文也采取该再采样周期。

1.2 稳态区间检测

燃煤电站锅炉的运行状态经常发生变化，为了准确获得锅炉各变量间的关系，需要从再采样数据中选择锅炉稳态运行数据。机组负荷和煤质是影响锅炉稳态运行的主导因素，反映了锅炉运行的工况，因此，把机组负荷和煤质定为工况变量。

由于煤质的检验结果不能实时反映入炉燃烧的煤质情况，为了判断实时煤质，定义煤质系数C_{qc}，

$$C_{qc}=W/Q \tag{1}$$

Q 为总给煤量，机组负荷 W 和煤质系数稳态区间检测采用滑动窗口法[15]，

$$\sigma_\lambda=\sqrt{\frac{1}{M-1}\sum_{\tau=t}^{t+M-1}(x_\lambda^\tau-\overline{x_\lambda})^2}<\sigma_\lambda^{\mathrm{th}} \tag{2}$$

式中：t 表示开始时间，min；M 表示滑动窗口的宽度，本文设 M=120；x_λ^τ 表示第λ个工况变量在τ时刻的值；$\overline{x_\lambda}$ 表示从 t 到 t+M−1 之间的均值；$\sigma_\lambda^{\mathrm{th}}$ 表示判别阈值，本文设 $\sigma_\lambda^{\mathrm{th}}$ 为每个工况变量量程范围的 2%。

如果窗口中的数据满足式(2)，则记录此时间区间和 $\overline{x_\lambda}$。否则，窗口向后移动一个数据继续检测，直到检测完所有数据为止。图 1 为稳态检测过程的示例。

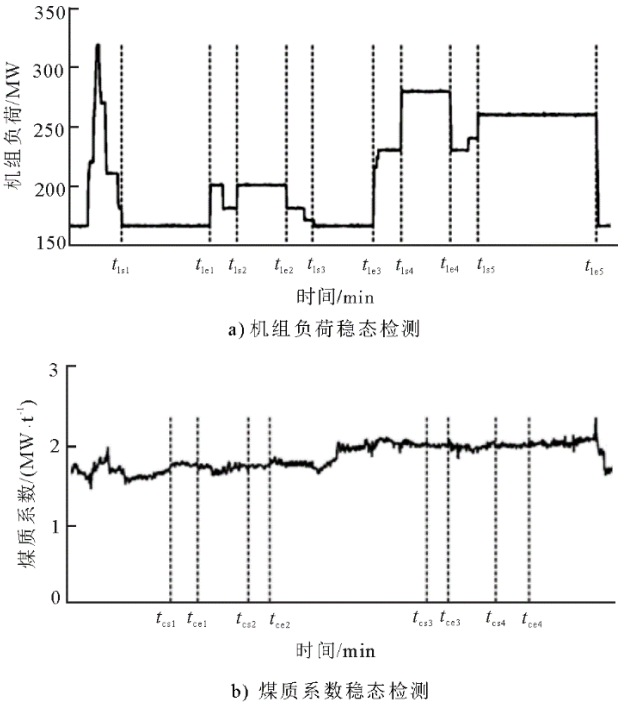


图 1 稳态检测过程示例
Fig.1 The steady state detecting process

图1中：虚线标示的区域为机组负荷和煤质系数的稳态区间；t_{ls}表示机组负荷稳态数据的开始时间；t_{le}表示机组负荷稳态数据的结束时间；t_{cs}表示煤质系数稳态数据的开始时间；t_{ce}表示煤质系数稳态数据的结束时间。将机组负荷和煤质系数均保持在稳态的区间作为工况的稳态区间，即图1中的区间[t_{cs1}, t_{ce1}]，[t_{cs2}, t_{ce2}]，[t_{cs3}, t_{ce3}]和[t_{cs4}, t_{ce4}]，稳态区间检测结果见表1。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 稳态区间检测结果
Table 1　Results of steady state interval detection

起止时间		时间长度/min	机组负荷均值/MW	煤质系数均值/(MW t^{-1})
2015-08-02 01:30:00	2015-08-02 06:13:00	293	165	1.77
2015-08-02 15:20:00	2015-08-02 19:09:00	229	200	1.74
2015-08-03 23:08:00	2015-08-04 03:01:00	233	280	2.01
2015-08-04 11:30:00	2015-08-04 17:22:00	352	260	2.02

1.3 变量数据提取

以330 MW燃煤发电机组的四角切圆燃烧锅炉为例。该锅炉制粉系统包括5台正压直吹式磨煤机，分别用MA、MB、MC、MD和ME表示，一次风携带煤粉由燃烧器的A、B、C、D、E层送入炉膛燃烧。二次风系统含有5层周界风（A层至E层）、6层辅助风（AA层、AB层、BC层、CD层、DE层、EE层）和5层燃尽风，燃尽风又由1层紧凑燃尽风（CCOFA）和4层分离燃尽风（SOFA）组成。周界风与一次风分层相同，作用是增加一次风的刚性，防止煤粉离析和散射，并补充空气量，减少碳未完全燃烧损失。辅助风提供煤粉燃烧所需的主要空气。CCOFA作用是降低NO_x排放质量浓度；SOFA作用是消除炉膛出口的残余旋转，减少烟温偏差，同时使剩余煤粉充分燃烧。锅炉二次风各层均包括4个挡板，开度一般统一操作，每层挡板开度可以认为是1个操作变量，因此共有16个操作变量（表2）。二次风操作变量主要影响的性能变量一般包括NO_x排放质量浓度、飞灰含碳量和锅炉效率（表3），其中，NO_x排放质量浓度是烟气脱硝前的测量值。

表 2 二次风操作变量
Table 2　The operating variables of the secondary air

变量类别	变量	挡板开度/%
周界风	A 层	0~100
	B 层	0~100
	C 层	0~100
	D 层	0~100
	E 层	0~100
辅助风	AA 层	0~100
	AB 层	0~100
	BC 层	0~100
	CD 层	0~100
	DE 层	0~100
	EE 层	0~100
燃尽风	CCOFA 层	0~100
	SOFA1 层	0~100
	SOFA2 层	0~100
	SOFA3 层	0~100
	SOFA4 层	0~100

表 3 性能变量
Table 3　The performance variables

变量类别	变量	运行范围
性能指标	NO_x 排放质量浓度/(mg m^{-3})	[0, 1 000]
	飞灰含碳量/%	[0, 10]
	锅炉效率/%	[0, 100]

另外，机组运行中的同一个稳态区间有可能对应着不同的磨煤机组合方式（磨组合）。如当机组负荷为310 MW，煤质系数为1.94 MW/t时，磨组合可能包含4种方式：MA&MB&MC&MD&ME、MA&MB&MC&MD、MA&MB&MC&ME、MA&MB&MD&ME。不同的磨组合会对NO_x排放质量浓度和二次风挡板操作产生不同的影响。因此，锅炉燃烧优化过程中必须考虑磨组合的方式，本文把磨组合作为工况变量之一，工况变量汇总见表4。

表 4 工况变量
Table 4　The working conditions

变量类别	变量	运行范围
工况条件	机组负荷/MW	[145, 330]
	煤质系数/(MW t^{-1})	[1.4, 2.4]
	磨组合	MA&MB 至 MA&MB&MC&MD&ME

根据稳态检测得到的所有稳态区间，在每个稳态区间中提取上述锅炉燃烧过程重要变量的历史运行数据。由于传感器故障或电磁干扰等原因，在提取的各变量历史运行数据中可能存在异常数据（野值）。对野值的识别与重构，有助于提高数据挖掘的质量[15-16]。本文计算稳态区间中各个变量的平均值，如果某时刻变量值与平均值的差异 e 超过20%（式(3)），则判定该值为野值，并用平均值替代，从而达到数据清洗的目的。

$$e=\left|y_j-\bar{y}\right|/\bar{y}\times 100\% \tag{3}$$

式中，y_j表示稳态区间中j时刻的变量值，$\bar{y}$ 表示稳态区间中某个变量的平均值。

2 优化规则提取

2.1 工况聚类分析

不同工况下，锅炉燃烧过程会表现出不同的特性，所以在提取优化规则之前，需要对锅炉工况做符合实际运行规律的划分。如前所述，机组负荷和煤质是锅炉工况的主导因素，因此，本文利用聚类方法对提取出的工况变量结果进行划分。将机组负荷划分为 6 个区间，用数据集 LD={ld_1, ld_2, ld_3, ld_4, ld_5, ld_6}表示。煤质系数划分为差、中、好 3 个区间，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

用数据集 C_{qc}^{R}={bq, nq, gq}表示。K 均值聚类结果见表 5 和表 6。

表 5 机组负荷划分结果
Table 5 Partitions of unit load

负荷区间	ld_1	ld_2	ld_3
取值范围/MW	[145, 177]	[178, 206]	[207, 232]
负荷区间	ld_4	ld_5	ld_6
取值范围/MW	[233, 265]	[266, 292]	[293, 330]

表 6 煤质系数划分结果
Table 6 Partitions of coal quality coefficient

煤质系数区间	bq	nq	gq
取值范围/(MW t^{-1})	[1.40,1.80]	[1.81,2.20]	[2.21,2.40]

因此，本文定义的锅炉工况由机组负荷、煤质系数以及磨组合方式组成。

2.2 约束模糊加权规则提取算法

数据挖掘方法在许多现实应用中没有区分各性能指标的重要程度，也缺乏约束条件的限制，导致在数据挖掘过程中目标不明确，甚至无法在挖掘后发现真正有价值的规则，而且当数据量较大时，计算效率极低。鉴于此，本文提出针对锅炉燃烧优化的约束模糊加权规则提取算法。由于不同工况下锅炉燃烧过程会表现出不同特性，首先通过由机组负荷区间、煤质系数区间和磨组合构成的约束，使挖掘过程能够反映出特定的工况；然后利用模糊聚类将每个性能变量的数据集划分为不同的分区；为了体现对燃烧过程各个性能变量不同的关注程度，再引入加权的概念，为各个性能变量赋予不同的权重等级，挖掘过程中根据权重等级依次处理各个性能变量，使挖掘过程中各个阶段的目标明确，减少无用规则的产生，并提高算法的计算效率。本文设 NO_x 排放质量浓度权重为 1 级（最高），飞灰含碳量权重为 2 级，锅炉效率权重为 3 级（最低）。约束模糊加权规则提取算法具体描述如下。

输入：约束条件（机组负荷区间、煤质系数区间和磨组合）；在约束条件下，n 个数据项 $Z_i(1\leqslant i\leqslant n)$ 组成的数据集 D，其中，每个数据项包含 m（m=16）个可控变量和 t（t=3）个性能变量，以及每个性能变量的权重等级。

输出：一条燃烧优化规则。

第 1 步：采用模糊 C 均值（FCM）聚类算法，对数据集 D 中权重等级最高的性能变量进行聚类，得到该性能变量的所有模糊分区 A_1^k。A_1^k 表示权重等级最高性能变量的第 k 个模糊分区，其中 $1\leqslant k\leqslant 3$，模糊分区包括低、中、高 3 个部分，分别用 L_s、M_s、H_s 表示。聚类后，每条数据项的性能变量可用它的模糊分区来描述。

第 2 步：根据 FCM 聚类结果，针对权重等级最高的性能变量，从数据集 D 中选出其隶属于最优模糊分区中的数据项，做第一次剪枝处理，形成数据集 D_1，D_1 中含有 n_1 个数据项，且 $n_1<n$；接着对权重等级次高的性能变量做模糊聚类处理，再从数据集 D_1 中选出其隶属于最优模糊分区中的数据项，做第二次剪枝处理，形成数据集 D_2，D_2 中含有 n_2 个数据项，且 $n_2<n_1$；以此类推，直至处理完权重等级在前 $t-1$ 个的性能变量，形成含有 n_{t-1} 个数据项的数据集 D_{t-1}。

第 3 步：在 D_{t-1} 中，选出第 t 个性能变量为最优值的数据项，定义为 Z_o，Z_o 即为一条燃烧优化规则（表 8）。

2.3 锅炉燃烧优化知识库构建

通过约束模糊加权规则提取算法挖掘出每个工况下锅炉燃烧过程的优化规则，再合并各个工况下的优化规则，得到全工况下燃烧优化知识库。综上所述，锅炉燃烧优化知识库构建过程如图 2 所示。



图 2 锅炉燃烧优化知识库构建过程
Fig.2 Process of developing the knowledgebase for boiler combustion optimization

3 应用结果

3.1 算法应用示例

本文以机组负荷区间[293,330]、煤质系数区间[1.81,2.20]及磨组合方式 MA&MB&MC&MD&ME 为例，部分历史运行数据见表 7。由于示例工况中磨组合确定，所以工况变量仅列出机组负荷和煤质系数，操作变量也仅列出周界风 A 层挡板开度和燃尽风 CCOFA 层挡板开度。应用结果见表 8。

为了使得到的优化规则能在实际锅炉燃烧过程中被更好地理解和应用，再用取中值的方法把性能变量的模糊区间转变成具体的数值，实际优化规则见表 9。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 7 部分历史运行数据
Table 7　Partial historical operation data

机组负荷/MW	煤质系数/(MW t^{-1})	NO_x 排放质量浓度/(mg m^{-3})	飞灰含碳量/%	锅炉效率/%	A 层挡板开度/%	CCOFA 层挡板开度/%
300.016	1.922	323.169	1.409	92.809	59.801	65.189
300.123	1.926	314.447	1.391	92.671	59.568	91.104
300.246	1.921	362.228	1.403	93.303	59.736	49.800
300.028	1.926	346.722	1.409	92.571	59.863	30.341
299.772	1.924	357.913	1.401	92.973	59.812	33.200
299.776	1.922	355.712	1.409	93.284	59.632	50.568
299.853	1.924	349.563	1.408	92.905	59.629	46.979
299.813	1.921	297.405	1.409	92.602	60.029	85.334
299.756	1.918	305.077	1.412	92.595	59.629	84.759
300.109	1.917	341.563	1.409	93.086	59.626	52.885
309.891	1.949	320.199	1.389	92.828	61.629	44.683
310.082	1.941	331.069	1.391	92.819	61.629	53.150
310.592	1.941	276.447	1.391	92.907	61.563	89.757
310.661	1.939	279.228	1.390	93.093	62.071	90.370
310.421	1.942	284.722	1.399	93.012	61.257	66.400
310.842	1.935	288.913	1.381	92.946	61.964	71.685
309.891	1.942	285.712	1.385	93.072	61.493	80.909
310.459	1.941	277.637	1.398	92.887	61.806	90.989
310.693	1.937	270.972	1.396	92.881	61.762	91.000
310.739	1.943	275.431	1.403	92.638	61.580	90.989

表 8 优化规则结果
Table 8　Results of the optimization rule

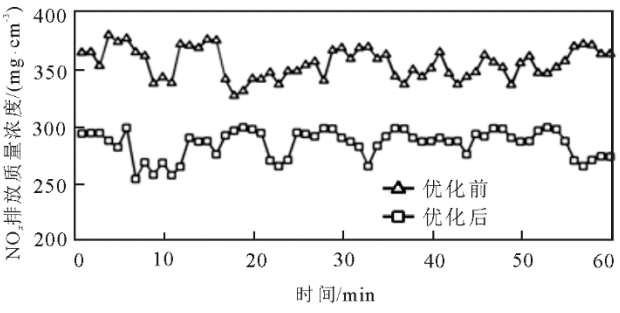
工况变量		性能变量			操作变量	
机组负荷区间/MW	煤质系数区间/(MW t^{-1})	NO_x 排放质量浓度	飞灰含碳量	锅炉效率/%	A 层挡板开度/%	CCOFA 层挡板开度/%
[293, 330]	[1.81, 2.20]	L_s	L_s	93.093	62.071	90.370

表 9 实际优化规则
Table 9　The actual optimization rule

工况变量		性能变量			操作变量	
机组负荷区间/MW	煤质系数区间/(MW t^{-1})	NO_x 排放质量浓度/(mg m^{-3})	飞灰含碳量/%	锅炉效率/%	A 层挡板开度/%	CCOFA 层挡板开度/%
[293, 330]	[1.81, 2.20]	279.228	1.385	93.093	62.071	90.370

3.2 实验结果

在单元机组上进行针对燃烧优化规则的实际实验，在机组负荷为 310 MW、煤质系数平均值为 1.94 MW/t 以及磨组合为 MA&MB&MC&MD&ME 的工况条件下，机组应用优化规则运行 1 h 后，得到 NO_x 排放质量浓度、飞灰含碳量和锅炉效率的运行数据，并且与同工况条件下没有应用优化规则的运行数据做比较（图 3），NO_x 排放质量浓度平均值下降 69.47 mg/m³，飞灰含碳量平均值下降 0.05%，锅炉效率平均值提升 0.11%。



a) NO_x排放质量浓度

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

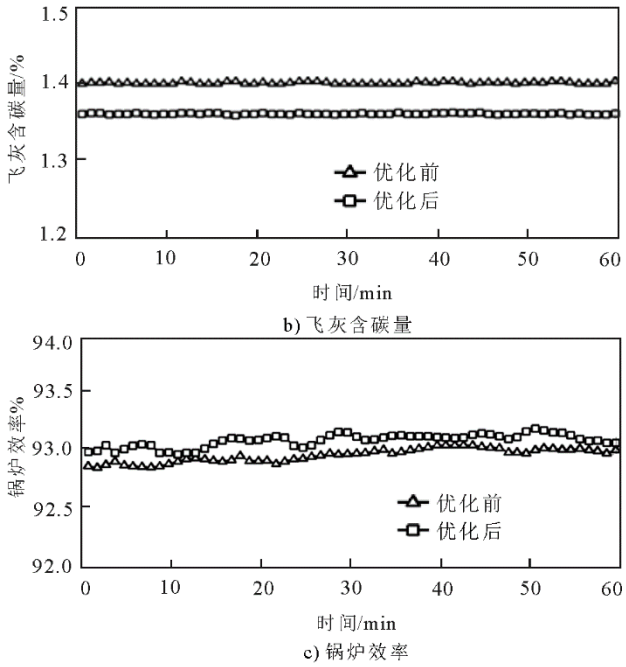


图 3 锅炉燃烧优化前后对比

Fig.3 The pollutant emission and boiler efficiency before and after the combustion optimization

4 结 语

对于燃煤电站来说，锅炉燃烧优化是提高煤炭利用率和降低 NO_x 排放质量浓度的一种可行且经济的途径。本文提出了一种数据挖掘方法，从锅炉全工况历史运行数据中，提取各工况优化规则，并构建燃烧优化知识库，实现多目标燃烧优化。随着日后进一步的实验和研究，将深入考虑燃烧优化知识库更新，以及和 DCS 相融合的方案，最终实现锅炉燃烧优化的闭环自动控制。

［参 考 文 献］

［1］ 中华人民共和国国家统计局. 2015-2020 年中国火力发电量市场研究及发展趋势研究报告[R]. 2015:15-20.
National Statistics Office of the People's Republic of China. Research report of Chinese thermal power generation market study and development trend in 2015-2020[R]. 2015:15-20.

［2］ 锅炉大气污染物排放标准: GB 13271—2014[S].
Emission standard of air pollutants for coal-fired boilers: GB 13271—2014[S].

［3］ 火电厂大气污染物排放标准: GB 13223—2011[S].
Emission standard of air pollutants for thermal power plants: GB 13223—2011[S].

［4］ 王禹朋, 阎维平, 祝云飞, 等. 支持向量机理论与遗传算法相结合的 300 MW 机组锅炉多目标燃烧优化[J]. 热力发电, 2015, 44(10): 91-96.
WANG Yupeng, YAN Weiping, ZHU Yunfei, et al. Multi-objective combustion optimization for a 300 MW unit using support vector machine theory combining with genetic algorithm[J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(10): 91-96.

［5］ 张文广, 张越, 孙亚洲, 等. 最小二乘支持向量机联合改进果蝇优化算法的 CFB 锅炉燃烧优化[J]. 热力发电, 2016, 45(7): 44-49.
ZHANG Wenguang, ZHANG Yue, SUN Yazhou, et al. Combustion optimization for CFB boiler based on least square support vector machine and modified fruit fly optimization algorithm[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(7): 44-49.

［6］ LI J Q, WANG S L, NIU C L, et al. Research and application of data mining technique in power plant[C]. International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2008. 2008, 2: 250-253.

［7］ KUSIAK A, SONG Z. Combustion efficiency optimization and virtual testing: a data-mining approach[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2006, 2(3): 176-184.

［8］ SONG Z, KUSIAK A. Constraint-based control of boiler efficiency: a data-mining approach[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2007, 3(1): 73-83.

［9］ KUSIAK A, SONG Z. Clustering-based performance optimization of the boiler-turbine system[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(2): 651-658.

［10］ YANG T, LIU J, ZENG D, et al. Application of data mining in boiler combustion optimization [C]. IEEE 2010 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE). 2010, 2: 225-228.

［11］ WENJIE Z, CHEN L. The optimizing for boiler combustion based on fuzzy association rules[C]. IEEE 2011 International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR). 2011: 306-311.

［12］ PARAS M, KAMYAD A V, SISTANI M B N. Combustion efficiency optimization by adjusting the amount of excess air[C]. IEEE 2014 5th Conference on Thermal Power Plants (CTPP). 2014: 103-108.

［13］ 王东风, 刘千, 韩璞, 等. 基于大数据驱动案例匹配的电站锅炉燃烧优化[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 420-428.
WANG Dongfeng, LIU Qian, HAN Pu, et al. Combustion optimization in power station based on big data-driven case-matching[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(2): 420-428.

［14］ SMREKAR J, POTOCNIK P, SENEGACNIK A. Multi-step-ahead prediction of NO_x emissions for a coal-based boiler[J]. Applied Energy, 2013, 106: 89-99.

［15］ GU Y, ZHAO W, WU Z. Online adaptive least squares support vector machine and its application in utility boiler combustion optimization systems[J]. Journal of Process Control, 2011, 21(7): 1040-1048.

［16］ 朱倩雯, 叶林, 赵永宁, 等.风电场输出功率异常数据识别与重构方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3):38-45.
ZHU Qianwen, YE Lin, ZHAO Yongning, et al. Methods for elimination and reconstruction of abnormal power data in wind farms[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 38-45.

［17］ ANTHONY J, LEE T, LIN W C, et al. Mining association rules with multi-dimensional constraints[J]. Journal of Systems & Software, 2006, 79(1): 79-92.

［18］ PEARS R, KOH Y S. Weighted association rule mining using particle swarm optimization[C]. Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 327-338.

（责任编辑 杜亚勤）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于社会培训适应性、有效性问题研究

李茹

[摘要]文章以天津社会培训情况分析为背景,提出提升社会培训适应性、有效性要关注培训项目设计(包括培训内容、培训方法、培训资源等方面)与培训对象之间的融合度与适应度理论,并在天津市"职业培训包"项目设计和实践中加以验证。

[关键词]社会培训　适应性　有效性　职业培训包

[作者简介]李茹(1961-),女,天津人,天津职业大学职业技能鉴定所所长,教授,研究方向为高等职业教育与职业技能鉴定。(天津　300410)

[课题项目]本文系中国高等职业技术教育研究会"十二五"规划课题"高职院校社会服务职能与创新实践研究"(项目编号:GZYLX2011139,项目主持人:李茹)和天津市教育科学"十二五"规划课题资助项目"职业教育的社会培训效能研究"(项目编号:VE3013,项目主持人:李茹)的部分研究成果。

[中图分类号]G712　　[文献标识码]A　　[文章编号]1004-3985(2014)06-0168-02

DOI:10.13615/j.cnki.1004-3985.2014.06.079

一、社会培训的现状

目前社会培训已形成一个巨大的产业,全国已拥有大量的民办培训机构、就业训练中心以及技工学校等机构,此外还有很多集培训、技能鉴定、推荐就业一体化服务的综合性职业培训基地,高职院校带着天然的品牌优势,也积极投入了到这一市场。就天津来说,以天津职业院校和专业技能培训学校为主开展的多层次、多形式社会培训工作,密切结合社会劳动力市场、用人单位和个人的实际需要,培养了大量的有市场意识、有较高生产技能、有较好管理能力的现代生产者、经营者以及技能型人才,既有效缓解了农村剩余劳动力的就业问题,又为滨海新区企事业单位提供了技能型人才,解决了用工难的问题,为促进天津社会经济的快速发展,产生了良好的社会效益和经济效益。

但是,从近几年天津市职业院校和培训机构对缺工企业紧缺人才职业培训和培训跟踪分析来看,培训教育仍存在一些问题。

(一)培训内容与岗位工作需求有偏离

一直以来,1992年和1999年以来颁布的《中华人民共和国职业分类大典》及相应的国家职业标准是我国推行职业资格制度的基本依据。由于我国各省市、各地区工业产业发展状况不均衡,经济发达省市、地区职业标准基点较高,水准要求有其特殊性,不仅沿海地区与西部地区相比存有落差,各发达城市工业也存在区域差别,而我国《国家职业标准》是基于全国经济均衡水平和状况制定,其内容(包括"职业功能、工作内容、技术技能要求及相关知识等)不可能完全与各地区工业产业实际相对应。就天津来说,天津市是高技术产业快速发展的城市,许多职业(工种)的现行国家职业标准远不能满足天津经济发展的需求,职业能力要求水准偏低,工作内容和技能要求落后于天津企业实际生产要求,职业培训内容远离当前新技术、新工艺、新材料的应用,以致社会培训内容与实际岗位工作需求存有偏离,培训项目与岗位能力需求不能紧密对接,进而造成培训质量跟不上,培训资源和培训投入的浪费。

(二)培训项目没有选择性,按岗位工作的个性需求难以满足

目前各职业(工种)对应多种岗位(岗位群)工作,职业培训实行的是按职业等级设置培训课程和培训项目,受训者要从事这个职业,无论是哪个岗位都要接受规定的培训课程和培训项目,接受规定的考核内容。就受训者本人可能从事此职业领域中某个或某几个岗位工作,他希望接受本职业本岗位的职业培训,以提升岗位需要的职业技能和职业素质,获取职业资格证书。但目前职业培训项目没有个性选择的灵活性,按职业岗位培训的个性需求难以满足,以致出现受训者接受正规的培训,取得正当渠道的职业资格证书,还不能上岗的弊端,同时也造成培训成本的浪费。

(三)培训过程缺乏规范标准和规范管理

目前职业培训实行的是结果管理。培训学校一般依据国家职业标准和岗位技能要求自行准备培训内容进行培训,以鉴定考核作为培训最终结果的考证。但其培训教育过程如何,是否偏离过培训策划方案,均没有相应的监控和规范。培训质量受自身培训条件和教师水平能力影响较大,不同学校之间培训质量差异也较大,由偏离培训策划方案引起的一系列培训质量问题等难以掌控,出现的问题难以发现、反馈和纠正。培训过程没有规范标准和规范管理机制,也是制约着培训水平和效果的提升,出现培训市场混乱的客观因素。

《国务院关于加强职业培训促进就业的意见》(国发[2010]36号文件)明确指出当前和今后一个时期,职业培训教育面临的主要任务就是适应扩大就业规模、提高就业质量和增强企业竞争力的需要,完善制度、创新机制、加大投入,大规模开展就业技能培训、岗位技能提升培训和创业培训,切实提高职业培训的针对性和有效性。为达到高质量培训和高质量就业要求,当前潜心研究职业培训针对性、适应性提升问题意义重大。

二、提升社会培训适应性、有效性的策略和方法

(一)社会培训适应性、有效性的概念

1.社会培训。培训通常是指培训主体在特定的时间和地点借助一定的形式,将知识和技能或其他信息传授给特定对象,提高他们技能和能力的活动。所谓社会培训是指职业院校、培训机构等利用学校或社会资源面向社会人员的培训。如职业培

中国知网　https://www.cnki.net

训、劳动预备制度培训、再就业培训和创业培训等培训活动。

职业培训是社会培训的一种形式,它是直接为适应经济和社会发展的需要,对要求就业和在职劳动者(培训对象)以培养和提高素质及职业能力为目的的教育和训练活动。其含义:⑴是一种以劳动者为特定对象的劳动力资源开发活动;⑵是一种以直接满足社会、经济发展的某种特定需要为目的的定向性培训;⑶它通常是按照国家职业分类和职业技能标准进行的规范性培训。

2.社会培训效能。效能释义为功效、效果,指目标的达成程度,着重质量层面,强调效果。所谓社会培训效能是指社会培训活动达成预期结果或影响的程度,具体为向社会人员提供培训服务的水平和能力,包括数量、质量、效果、影响、能力、公众满意度等多方面的要求。社会培训效能理念内涵是:提高服务水平和能力,把培训功效作为追求目标,以服务能力为保证,全面优化培训服务效果。

3.社会培训适应性、有效性。适应性是指生物体与生物环境表现相适合的现象或相适应能力。社会培训适应性强调的是培训环境(包括资源、培训方法、培训内容等)与培训对象相适应性。有效性是指完成的策划活动和达到策划结果的程度。社会培训有效性强调的是培训活动达到预期成果或目的的程度。

(二)提升社会培训适应性、有效性策略和方法

无论从社会培训适应性、有效性基本内涵出发,还是以实用主义哲学为指导思想,遵循"按需施教,学用一致"的原则,把握社会培训适应性、有效性就是要关注培训项目设计(包括培训内容、培训方法、培训资源等方面)与培训对象之间的融合度及相适应程度,关注培训项目实施达到增值变化程度及培训目标实现程度。其提升策略可从如下几点考虑:

1.坚持培训目标与培训内容相一致。此策略就是针对培训目标所确立的方向来确定培训内容,设计培训项目。如维修电工中级资格培训,其目标是学习者获取中级职业资格证书,达到中级职业资格相关知识、技能和综合能力水平,能从事岗位工作,以此为目的开发培训内容和培训课程。

策略实施方法:一是确立培训目标。培训需求分析是确定培训目标的前提,对培训效果具有至关重要的作用。从需求对象上来看,可以分为企业战略发展的需求和员工的个人能力发展需求两个层面。在企业层面上,需要从战略的高度着眼,研究企业的发展方向对培训需求的要求,研究企业的经济基础对培训需求的制约,研究企业的人才结构对培训需求的影响,从而使职业培训工作符合企业的战略要求,进而有效的促进企业发展。需求信息必须深入到社会、培训企业直接了解、调查,进而明确培训目的,确立培训目标。二是构建课程设计思路。培训课程设计要体现项目化培训特色,由真实的生产项目导入学习和训练内容,从"用"入手"学",强化技能操作,使学习内容与训练项目紧密结合,理论与实操紧密结合。培训课程设计要体现职业化培训特色,营造具有企业氛围的训练环境,学习训练中体现职业属性,训练过程视为生产过程,培训过程视为能力提升过程。培训课程设计要体现模块化(菜单式)培训特色,方便不同层次人员和从事本职业不同岗位人员选择适宜的模块或学习单元。三是开发培训项目。培训项目开发就是要是保证内容与标准对接,考核与目标对接。培训项目开发任务之一是依据岗位职责内所要完成的工作任务所涉及的全部工作内容、工作标准、工作规范等设计培训内容,开发培训课程。其标准是课程内容与职业标准紧密对接;任务之二是依据职业标准等级要求确立考核内容、考核评价标准,保证其客观、公平、公正,其标准是考核结果与培训目标紧密对接。

2.把握培训对象与培训方案相适应。此策略就是针对培训对象设计培训方案,即以培训对象为中心,针对培训对象不同来源,不同基础状况和就业、从业岗位需求特点,以及技能认知、形成的规律设计培训方案的策略。

策略实施方法:其一是分析培训对象。同样的培训目标针对不同的培训对象其培训方案有所不同。全面认识、了解培训对象,掌握培训对象基本信息,是构建职业培训课程体系的基础。培训体系形似培训菜单,按不同层次培训对象分类,建立菜系口味,再按照各类培训对象的"口味"设菜、拼菜。其二是开发培训课程体系。培训体系搭建要遵循技能认知、形成的规律,可持续发展规律开发培训框架。开发任务一是为一般培训对象按浅显任务系列、复杂任务系列、综合任务系列设计实训模块,以适应一般受训对象"点菜"。二是按岗位(岗位群)工作系列设计实训模块,以适应不同岗位受训对象"拼菜"。三是针对职场动态变化按特殊任务系列设计实训模块,以满足特殊需要设"招牌菜"。此外对各系列培训"菜谱"所需的培训环境、师资设备条件及培训要求做明确规定。其三是确立培训方法。方法是为目的服务的。要达到培训目的,必须选用正确的方法,要认识差异、重视差异、做到从实际出发,有所区别,有的放矢,这是取得良好的培训效果的前提条件之一。培训方法的确定主要考虑员工自身特点,考虑员工兴趣、能力、性格、自我意识、个性心理等方面的需求特征,做到因材施教。对来源不同、年龄不同、素质不同、学习能力不同、身体条件不同、生活环境不同的培训对象进行分类,对不同类别培训对象确立不同的培训方法,供其选择。如:面授课程、网络课程、录像课程、自修课程、入户授课等。

3.保证培训资源的系统性、先进性和实用性。此策略就是完善能保证培训目标顺利实现,培训项目可靠实施的资源。包含服务于教师的教学资源,服务于学员的学习资源,服务于培训组织者的管理资源,并保证这些资源能够满足系统教学、系统学习和系统管理,具有先进性、系统性和可靠性的使用价值。

策略实施方法:其一是整合资源。充分发挥社会财力、物力、人力和环境资源优势,多方投入,多方合作,多方协调,整合利用已有资源。其二是校企合作开发"一体化"培训课程资源库。其三是校企合作开发"一体化"培训教材。

三、以"融合度与适应度"理论引导"职业培训包"开发

针对培训教育出现的问题,天津市从去年开始推进"职业培训包"的开发。本人作为天津市"职业培训包"领导小组成员直接参与项目开发的顶层设计和开发指导,创新性地提出"职业培训包"框架体系,并以"社会培训适应性、有效性提升策略"理论研究引导"职业培训包"项目开发,选择天津职业大学培训包试点项目中先行先试。

天津市"职业培训包"是依据国家职业标准,针对某一职业各层次的培训对象进行职业技能培训的资源总和。它以职业冠

中国知网 https://www.cnki.net

基于哈贝马斯认识兴趣理论的高职院校学生主体地位研究

赵良梅

[摘要]哈贝马斯的认识兴趣理论强调人在知识面前应该起到主体性作用,并将人类的认识兴趣划分为技术兴趣、实践兴趣和解放兴趣。文章将基于这一理论,分析现阶段高职院校学生主体地位缺失的情况及影响性因素,探讨认识兴趣理论对改变这一现状的启示和作用。

[关键词]认识兴趣理论　学生主体地位

[作者简介]赵良梅(1972-),女,满族,吉林吉林人,广州番禺职业技术学院,经济师,研究方向为高等职业教育。(广东　广州　511483)

[中图分类号]G717　　[文献标识码]A　　[文章编号]1004-3985(2014)06-0170-03
DOI:10.13615/j.cnki.1004-3985.2014.06.080

哈贝马斯是20世纪德国最有影响、广受赞誉的哲学家和社会理论家,是法兰克福学派第二代最重要的代表人物。哈贝马斯在20世纪60年代阐述了他的认识兴趣理论,这个理论是他在法兰克福大学的就职演讲中提出的,并在其《认识与兴趣》书中给出最完满的阐述。认识兴趣理论是哈贝马斯对那个时期的科学哲学和知识论或认识论的最主要贡献。哈贝马斯提出在主体的认识活动中,价值和兴趣等对于整个科学知识的形成和发展极为重要,并倡导以解放知识为导向的知识观和以个性解放为目标的后现代教育观来塑造完整的人。

一、哈贝马斯认识兴趣理论及其内涵

哈贝马斯认为,兴趣是人类认识不可缺少的条件,并将人类的认识兴趣划分为技术兴趣、实践兴趣和解放兴趣。技术兴趣把人类从自然界的强制中解放出来,促成并决定着自然科学的思想和研究;实践兴趣把人从僵死的意识形态的依附关系中解放出来;解放兴趣把主体从依附于对象化的力量中解放出来。

三种兴趣中,哈贝马斯指出技术兴趣作为人类基本的认识兴趣,肯定了科学技术在社会发展中的合法地位和作用。而当代资本主义社会出现的科技理性和人文价值失衡的问题,不在

名,以职业资格技能等级分包,每个培训包由标准包、指南包、资源包三部分组成,将培训标准规范、培训操作指导、培训使用资源集中打包、捆绑包装,形成职业培训实施的纲领性和技术性文件,搭建学员即时学习训练的平台。

“职业培训包”框架中特别关注培训项目设计(包括培训内容、培训方法、培训资源等方面)与培训对象之间的融合度及相适应程度。它依据‘标准包’对培训模式、培训内容、培训方法、师资队伍、设备与环境、培训考核等方面进行严格规范,拟解决职业技能培训与职业标准、国家职业资格证书紧密对接问题,其本身已将过去的培训结果管理提升为过程管理,无论哪个学校、哪个教师都必须按照标准包进行培训和考核,实现对培训过程各环节的规范监控;它还依据‘指南包’将以职业等级进行系统培训的模式转变为单元培训模式,即把职业等级培训内容拆分为若干个培训单元,紧密结合岗位工作任务,按培训单元设置培训内容,建立柔性化、模块化培训课程体系,形成职业培训超市,方便培训对象根据自身需要到培训超市选择培训模块。同时也为培训教师、培训机构、相关人员提供了选择的空间,拟解决职业培训的针对性、规范性和有效性;此外,它还依据‘资源包’跟进新技术、新工艺、新材料应用,建立丰富的培训资源,设有版本升级,根据职业发展情况,定期调整更新‘职业培训包’的内容,以保障职业培训的可持续性、技术应用的先进性。

四、小结

培训包先行先试的结果证明社会培训适应性、有效性策略和方法研究,已对‘职业培训包’开发产生指导作用。目前‘职业培训包’对培训水平的提升作用已初显成效,相信经过更多的研究和尝试,“职业培训包”这样的解决方案一定能大大地提升社会培训的效能和价值。

[参考文献]

[1]黄曙光.高职院校面向区域经济开展社会培训的探讨[J].湖北成人教育学院学报,2010(1).

[2]姜雪.整合国际社会培训经验建立有中国特色的培训体系[J].成人教育,2010(5).

[3]罗玲,周望高.高职院校开展社会培训的必要性探讨[J].教育,2010(12).

[4]李茹.“职业培训包”功能分析与基本框架搭建[J].天津职业大学学报,2012(6).

[5]王松壮,曲京民.关于开展社会培训的实践与思考[J].中国成人教育,2010(15).

[6]张俊亮.职业院校社会培训对区域经济发展的影响分析——以椒江地区为例[J].职业与教育,2009(11).

[7]张忠伟.西部地区高技能人才的紧缺现状及对策[J].中国成人教育,2009(11).

中国知网　https://www.cnki.net

DOI:10.14147/j.cnki.51-1396/tg.2020.05.019

基于深度学习的锻造裂纹检测研究

刘建红
(天津职业大学,天津 300410)

摘要: 本文以 Easydl 深度学习平台为基础,对大型锻件热锻过程中的锻造裂纹检测问题进行研究,结果表明采用 Faster_R-CNN-ResNet50-FPN 深度学习模型能够获得较好的识别结果,对于一般性锻造裂纹的检测准确率可以达到 77% 以上,而对于热锻典型环境的裂纹检测准确率能够达到约 90%。

关键词: 深度学习; 锻造裂纹; 裂纹检测; 物体检测
中图分类号: TG316.1⁺93　　**文献标志码:** B

Forging Crack Detection Research Based on Deep Learning

Liu Jianhong

Abstract: In this paper, based on the Easydl depth learning platform, the forging crack detection problem in the hot forging process of large forgings have been studied. The results show that the Faster_R-CNN-ResNet50-FPN depth learning model can obtain better recognition results, and the detection accuracy for general forging cracks can reach more than 77%, while for typical hot forging environment, the detection accuracy can reach about 90%.

Key words: deep learning; forging cracks; crack detection; object detection

锻造裂纹的识别与检测是大型锻件热锻过程中质量控制的一个重要环节。传统条件下,大型锻件锻造裂纹的检测主要依靠人工在线识别、记录,由于锻造现场的特殊性,只能通过远距离观察,记录工序环节和出现的位置,估算裂纹的尺度,用于后续产品质量跟踪。目前虽然可以通过摄像头、数码相机等影像设备来比较容易的实现锻造图像采集,但是还无法依靠计算机来准确地判断出特定时刻锻件是否存在锻造裂纹,以及自动确定裂纹的位置和尺度等信息,而实现这个流程的自动化关键在于图像的智能识别与分析。

当前,深度学习领域特别是在计算机视觉方面发展迅速[1],已经能够在复杂的环境工况下,进行准确、高效的特征识别,并在此基础上实现智能决策。同时,现在已经存在很多针对一般性数据集的预训练模型,在此基础上,针对具体的问题,采用迁移学习,可以以很少的数据量和计算量针对特征相对具体的数据集获得非常高的特征识别效果。

本文以热锻过程中锻造裂纹的检测为研究对象,依托百度 AI 的 Easydl Pro 深度学习平台,针对采用手机及卡片机拍摄的约 100 张包含锻造裂纹的热锻现场照片小型数据集进行了矩形框检测识别训练,并采用平台目前所提供的 SSD-MobileNet、YOLOv3-DarkNet 以及 Faster_R-CNN-ResNet50-FPN(以下分别简记为 SSD、YOLO、FRCNN)三种深度网络模型进行了识别效果对比和讨论。

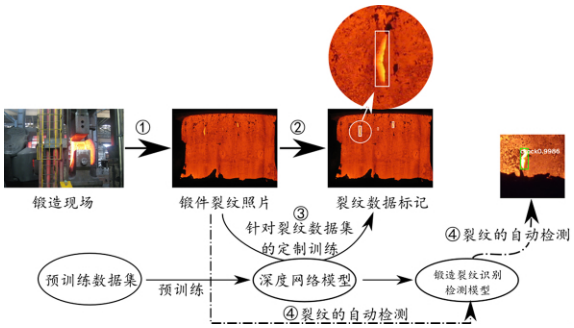


图 1　基于深度学习网络的锻造裂纹自动检测流程
Figure 1　Automatic detection process for forging crack based on deep learning network

1　锻造裂纹自动检测模型训练流程

基于深度学习的锻造裂纹的检测识别过程属于图像深度学习问题中物体检测类问题,可以按照物体检测的流程来进行实施。如图 1 所示,首先,需要搜集整理一定量的能够反映锻造现场图像采集环境的、存在锻造裂纹的照片。在此基础上,需要人为的对图像中的锻造裂纹区域进行标记,从而形成具有标记信息的锻造裂纹图片数据集。之后,还需要选取具有图像检测能力的深度学习模型。本文所采用的 SSD、YOLO 以及 Faster-RCNN 模型均为当前识别效果较好的深度网络模型,其中前两者相对较快,后者识别精度较高。在准备好数据集以及深度学习模型后,就可以依托深度学习框架对模型进行训练,当前比较主流的

收稿日期: 2020-03-27
作者简介: 刘建红(1983-),男,硕士,高级工程师,从事大型锻件材料与工艺研究及先进制造方面的教学与研究工作。

深度学习框架包括 Tenserflow、Caffe、PyTorch 等，其中国内以百度的 PaddlePaddle 比较典型，而本文采用的 Easydl 平台是基于 PaddelPaddel 框架的定制化平台，能够比较方便的进行图像标记、创建训练任务以及模型部署，比较适合工程问题的快速实现。

此外，对于一般性的深度学习问题，如果模型的内部参数是随机的，那么这个训练过程会非常耗时，而且效果也不太好，因此一般的训练都是采用经过预训练的模型。对于图像相关的问题，这种预训练的模型通常是建立在对大量一般性图片数据集的特征识别基础上的，其所提供的预训练模型内部参数已经针对图像的特征识别问题进行过训练与优化，在此基础上针对特定的图像数据集进行定制化训练能够在较短的时间内获得较好的训练效果。本文所采用的三类预训练模型均为 Easydl 平台内置的预训练模型。

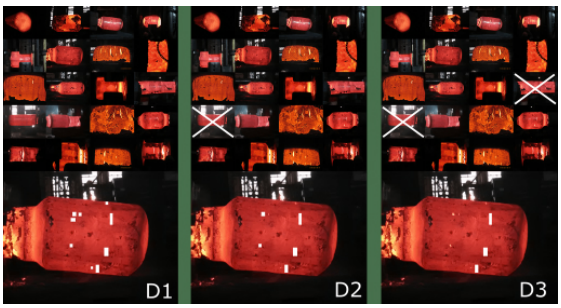


图 2　训练用的 D1-D3 数据集示例

Figure 2　Examples of D1-D3 datasets for training

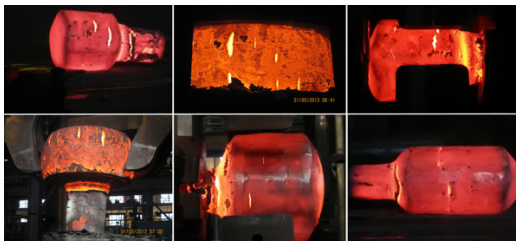


图 3　测试数据集 D4 典型照片

Figure 3　Typical photographs of the test datasets D4

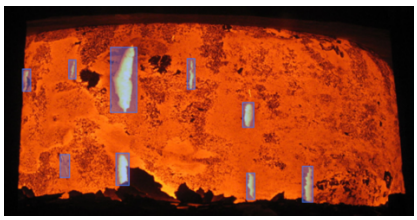


图 4　对裂纹进行矩形框标注后的典型照片

Figure 4　Typical photographs of cracks marked with rectangular frames

2　锻造裂纹数据集

本文所采用的数据集包含三个版本 D1、D2 和 D3，如图 2 所示，其中下部大图为数据集典型照片，白色矩形框为标记位置。

(1) D1 为原始的数据集，包含 108 张照片。在对该数据集标注的过程中，以尽可能多的囊括全部锻造裂纹的区域作为标注原则，因此一些疑似区域、一些非常小的裂纹区域均作了标注。

(2) D2 数据集包含 102 张照片，在 D1 基础上，剔除了 6 张非锻造过程中以及比较模糊的锻件照片，剔除了一些小尺度的、疑似的裂纹标记。由于当前数据集比较小，对于锻前大量覆盖氧化皮的情形，即便是在锻造现场也很难区分裂纹与氧化碎裂缝隙，因此这里将这些照片也进行了剔除。同时小的裂纹，以及一些具有裂纹特征但是尺寸圆滑的锻件表面凹陷，如果不进一步发展，对于锻造质量的影响非常有限，因此识别这些特征增加了计算难度，但是实际意义不大，在 D2 数据集中不再对这种区域进行标注。

(3) D3 数据集包含 100 张照片，是在 D2 数据集基础上进一步剔除了两张模糊照片，并仅保留了对特征非常清晰的裂纹的标注。D2 虽然剔除了一部分小裂纹及疑似裂纹，但是剔除的非常有限，相对而言，D3 剔除的更为激进。这样处理主要是检验数据的筛选甄别对模型效果的影响。

除了训练数据集，这里准备了由 30 张照片组成的测试数据集 D4。前述的训练数据既有锻造过程的，也有锻件翻转、转运等阶段的照片，以及一些拍摄角度比较偏和拍摄效果不太理想的照片，比如从锻件侧面拍摄的，以及拍摄存在模糊，从而最大程度地与锻造环境中一般检测者的视角保持一致，但是对于关键阶段的锻造裂纹检测与记录，图像的采集一般是有所选择性的，比如专门针对镦粗阶段采集图像，或者针对成品阶段采集图像，在这种情形下所拍摄的照片会比较典型，而测试数据集 D4 就是针对这种情形进行遴选的，用来考察训练出的模型针对典型环境下的裂纹识别的效果。

3　数据集训练与结果对比

在准备好上述数据集的基础上，基于 Easydl Pro 平台，对数据集进行了矩形框标注，即对裂纹位置采用尽可能紧致的矩形框进行了标记并在平台中保存标记信息，典型照片如图 4 所示。由于本文只研究锻造裂纹，因此只创建了“crack”这一种标记标签。

数据标注完毕后，就可以创建深度学习任务。

表 1　训练任务基本参数及训练效果对比

Table 1　Comparison of basic parameters and training effects of the training tasks

训练任务版本	数据集	模型	aspect_ratios	mAP (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	阈值
V1	D1	FRCNN	0.5/1.0/2.0	67.3	78.3	67.7	0.7
V2	D1	SSD	–	34.2	67.6	24.0	0.3
V3	D1	YOLO	–	62.4	61.2	69.8	0.65
V4	D1	FRCNN	0.1/0.2/0.5/1.0/2.0/6.0/12.0/20.0	68.4	76.0	70.8	0.9
V5	D2	FRCNN	0.5/1.0/2.0/10.0/20.0	77.9	77.4	83.1	0.8
V6	D2	FRCNN	0.5/1.0/2.0	77.5	82.3	75.0	0.9
V7	D3	YOLO	–	68.9	66.2	75.8	0.1
V8	D3	SSD	–	42.9	71.7	26.6	0.3
V9	D3	FRCNN	0.5/1.0/2.0	64.8	65.3	77.9	0.3
V10	D3	FRCNN	0.5/1.0/2.0/10.0/20.0	69.0	63.6	72.1	0.7

表 2　基于 V5 的第二次训练效果

Table 2　The second training effect based on V5 training task

训练任务版本	数据集	mAP (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	阈值
V5	D2	77.9	77.4	83.1	0.8
V5(第二次)	D2	78.1	80.0	77.4	0.9
	D4	89.5	88.3	92.9	0.5

采用 FRCNN 模型进行模型训练的过程中，需要用到锚框，通过不同长宽比、不同大小的锚框来对需要检测的裂纹进行筛选识别。默认设置下锚框的长宽比有 0.5、1.0、2.0 三种。锚框的选取对于识别的效果会产生影响。锻造裂纹常规条件下一般表现为细长状，即具有较大的长宽比，因此，这里在默认的基础上，对部分训练任务增加了多个锚框的长宽比，如表 1 所示 V4、V5、V10 几个训练版本。除此之外，包括 SSD、YOLO 模型在内的其他训练任务均采用平台的默认参数设置。最终创建的 10 个训练任务的训练结果如表 1 所示，其中阈值为平台根据计算给出的能够获得最好的评价效果的门槛值，mAP 表示在当前阈值下正确识别并标记裂纹的准确率。精确率指的是预测为裂纹的位置有多少比率是正确的，而召回率指的是标记的裂纹有多少被正确识别。对于锻造裂纹而言，在无法正确识别的前提下，从保守的角度来考虑，一些疑似位置被识别为裂纹是允许的，但是裂纹位置没有被识别则存在潜在的危害性，因此在 mAP 相同水平下，训练的模型应尽可能保持低精确率和高召回率。

(1) 数据集的对比

从表 1 可见，通过适当剔除干扰数据的 D2 数据集可以获得最优的裂纹识别结果，对于已标记数据能够达到 77% 以上的准确率。但是进一步剔除数据的 D3 数据集的实际训练效果并不佳，反而劣于 D2 数据集的训练效果，准确率整体在 70% 以下。

(2) 深度学习模型的对比

从所采用的三类深度学习模型来看，SSD 模型的训练结果最差，YOLO 模型的训练结果虽然优于 SSD 模型，但是较 FRCNN 模型存在明显的差别。虽然理论上 SSD、YOLO 模型的计算效率较高，但是对于当前数据集而言与 FRCNN 的识别精度差别过于明显。由于数据集有限，无法检验增大数据集量后是否能够缩小模型间的识别精度差别。

(3) 锚框的长宽比

根据表 1 的训练结果，通过 V1、V4 的对比以及 V5、V6 的对比可以看出增加锚框的长宽比，使锚框尺度与锻造裂纹的尺度匹配性更好，能够适度改进模型的识别效果，准确率略有提升，可以获得更高的召回率。

综合评价上述结果，V5 模型的表现最为优异。因此，在上述训练对比的基础上，针对 V5 模型进行了进一步的测试数据集检验以及识别效果验证。

4　识别效果验证

在模型训练基础上，采用 V5 训练任务相同的设定条件对 D2 数据集进行了第二次训练，同时将 D4 设为测试数据集验证训练效果，训练结果如表 2 所示。

由于深度学习的特性，即便在相同的数据集以及相同的预训练模型条件下，所获得的训练结果也会存在一定的差异，可以看出第二次训练的 mAP 等指标相比 V5 模型略有浮动，但是基本相同，准确率约 78%，接近 80%。相对而言，针对测试数据集，模型的检验效果很好，准确率接近 90%，精确率和召回率均在 90% 左右。由此可见，当前训练的模型虽然受数据集规模的影响，对于

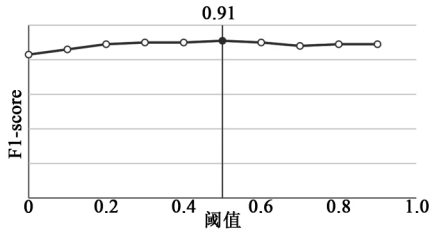


图 5　由 Easydl 平台给出的针对 D2 数据集第二次训练获得的 F1-score 与阈值的关系

Figure 5　Relation between F1-score and threshold of the 2nd training of D2 datasets offered by Easydl platform



图 6　采用训练好的模型对锻造裂纹的检测效果

Figure 6　Forging crack detection effects examined by the trained model

一般性场景的检测准确率不到 80%，但是如果以裂纹检测为目的有意识的获取图像，确保图像不至于太模糊，光线适中，则检测效果非常良好。需要说明的是，表 2 的测试数据是建立在平台根据训练结果确定的不同阈值水平上的，图 5 为 Easydl 平台给出 F1-score 与阈值的关系，而 F1-score 为精确率与召回率的调和平均数，可见对于当前模型，阈值对 mAP 等指标的影响很小，对 mAP 等指标的对比是可靠的。

图 6 是采用训练好的模型分别对镦粗和拔长压实阶段的锻造裂纹的识别与检测结果。可以看出，当前训练好的模型能够对锻造裂纹进行准确标记、识别，并可以返回裂纹在图像中的位置以及尺度信息，经过尺寸标定后可以用于工艺研究与质量跟踪。

5　总结

本文基于 Easydl Pro 深度学习平台，在较小的数据量（100 张普通质量照片）条件下，采用 FRC-NN 深度学习模型，针对一般锻件场景实现了 78% 的锻造裂纹识别准确度，针对锻造实施过程中典型检测场景实现了 90% 的锻造裂纹识别准确度。

本文受数据量限制，模型精度还存在进一步改善空间，在此基础上，如果能进一步加大训练数据量，应能获得可以代替人工质检的锻造裂纹识别及检测能力。

参考文献

[1]　张慧，王坤峰，王飞跃. 深度学习在目标视觉检测中的应用进展与展望 [J]. 自动化学报，2017，43(8)：1289－1305.

（上接第 46 页）

未发现其它缺陷。

3　结论

（1）冒口端断口夹杂物主要是 Ca、Si 为主，含少量 Mg、Al 等夹杂，夹杂物成分以硅酸盐为主。

（2）水口端断口夹杂物比较复杂，主要是 Ca、Al、Si 的氧化物，同时含有少量 Mg、F 等夹杂物，部分视场可见纯的 Mg 氧化物。

（3）根据以上分析认为，夹杂物为钢水内部精炼渣浇注后未能充分上浮所致。

参考文献

[1]　朱中杰，闫森. 300M 汽轮机供热改造中双低压转子技术的应用实施 [C]. 中国电机工程学会. 大机组供热改造与优化运行技术，2013：153－159.

[2]　印旭洋，郭海峰. 1000MW 机组汽轮机低压转子现场车削技术研究应用 [C]. 中国动力工程学会. 中国动力工程学会超超临界机组技术交流，2013：215－218.

[3]　戈志华，马立群，李亚华，等. 高背压供热汽轮机低压转子模态分析 [J]. 汽轮机技术，2019，61（3）：167－170.

[4]　闵洁. 600MW 汽轮机低压转子锻造工艺分析 [D]. 燕山大学，2010.

[5]　葛春新. 1000MW 汽轮机低压转子轮槽加工表面质量与工艺研究 [D]. 上海：上海交通大学，2008.

欢迎投稿！欢迎订阅！欢迎刊登广告！

DOI:10.14147/j.cnki.51-1396/tg.2020.05.019

基于深度学习的锻造裂纹检测研究

刘建红
(天津职业大学,天津 300410)

摘要: 本文以 Easydl 深度学习平台为基础,对大型锻件热锻过程中的锻造裂纹检测问题进行研究,结果表明采用 Faster_R-CNN-ResNet50-FPN 深度学习模型能够获得较好的识别结果,对于一般性锻造裂纹的检测准确率可以达到 77% 以上,而对于热锻典型环境的裂纹检测准确率能够达到约 90%。

关键词: 深度学习; 锻造裂纹; 裂纹检测; 物体检测
中图分类号: TG316.1⁺93　　**文献标志码:** B

Forging Crack Detection Research Based on Deep Learning

Liu Jianhong

Abstract: In this paper, based on the Easydl depth learning platform, the forging crack detection problem in the hot forging process of large forgings have been studied. The results show that the Faster_R-CNN-ResNet50-FPN depth learning model can obtain better recognition results, and the detection accuracy for general forging cracks can reach more than 77%, while for typical hot forging environment, the detection accuracy can reach about 90%.

Key words: deep learning; forging cracks; crack detection; object detection

锻造裂纹的识别与检测是大型锻件热锻过程中质量控制的一个重要环节。传统条件下,大型锻件锻造裂纹的检测主要依靠人工在线识别、记录,由于锻造现场的特殊性,只能通过远距离观察,记录工序环节和出现的位置,估算裂纹的尺度,用于后续产品质量跟踪。目前虽然可以通过摄像头、数码相机等影像设备来比较容易的实现锻造图像采集,但是还无法依靠计算机来准确地判断出特定时刻锻件是否存在锻造裂纹,以及自动确定裂纹的位置和尺度等信息,而实现这个流程的自动化关键在于图像的智能识别与分析。

当前,深度学习领域特别是在计算机视觉方面发展迅速[1],已经能够在复杂的环境工况下,进行准确、高效的特征识别,并在此基础上实现智能决策。同时,现在已经存在很多针对一般性数据集的预训练模型,在此基础上,针对具体的问题,采用迁移学习,可以以很少的数据量和计算量针对特征相对具体的数据集获得非常高的特征识别效果。

本文以热锻过程中锻造裂纹的检测为研究对象,依托百度 AI 的 Easydl Pro 深度学习平台,针对采用手机及卡片机拍摄的约 100 张包含锻造裂纹的热锻现场照片小型数据集进行了矩形框检测识别训练,并采用平台目前所提供的 SSD-MobileNet、YOLOv3-DarkNet 以及 Faster_R-CNN-ResNet50-FPN(以下分别简记为 SSD、YOLO、FRCNN)三种深度网络模型进行了识别效果对比和讨论。

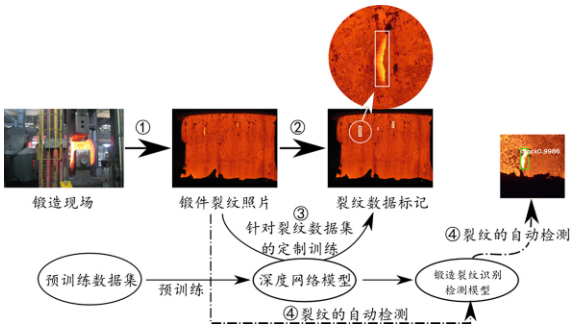


图 1　基于深度学习网络的锻造裂纹自动检测流程
Figure 1　Automatic detection process for forging crack based on deep learning network

1　锻造裂纹自动检测模型训练流程

基于深度学习的锻造裂纹的检测识别过程属于图像深度学习问题中物体检测类问题,可以按照物体检测的流程来进行实施。如图 1 所示,首先,需要搜集整理一定量的能够反映锻造现场图像采集环境的、存在锻造裂纹的照片。在此基础上,需要人为的对图像中的锻造裂纹区域进行标记,从而形成具有标记信息的锻造裂纹图片数据集。之后,还需要选取具有图像检测能力的深度学习模型。本文所采用的 SSD、YOLO 以及 Faster-RCNN 模型均为当前识别效果较好的深度网络模型,其中前两者相对较快,后者识别精度较高。在准备好数据集以及深度学习模型后,就可以依托深度学习框架对模型进行训练,当前比较主流的

收稿日期: 2020-03-27
作者简介: 刘建红(1983-),男,硕士,高级工程师,从事大型锻件材料与工艺研究及先进制造方面的教学与研究工作。

深度学习框架包括 Tenserflow、Caffe、PyTorch 等，其中国内以百度的 PaddlePaddle 比较典型，而本文采用的 Easydl 平台是基于 PaddelPaddel 框架的定制化平台，能够比较方便的进行图像标记、创建训练任务以及模型部署，比较适合工程问题的快速实现。

此外，对于一般性的深度学习问题，如果模型的内部参数是随机的，那么这个训练过程会非常耗时，而且效果也不太好，因此一般的训练都是采用经过预训练的模型。对于图像相关的问题，这种预训练的模型通常是建立在对大量一般性图片数据集的特征识别基础上的，其所提供的预训练模型内部参数已经针对图像的特征识别问题进行过训练与优化，在此基础上针对特定的图像数据集进行定制化训练能够在较短的时间内获得较好的训练效果。本文所采用的三类预训练模型均为 Easydl 平台内置的预训练模型。

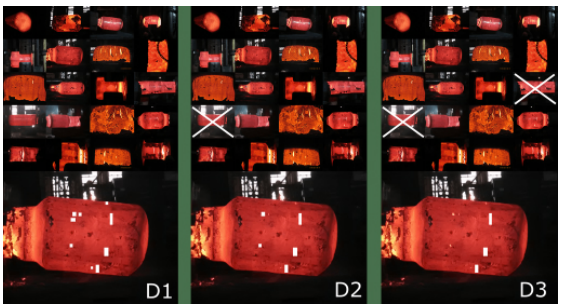


图 2　训练用的 D1-D3 数据集示例

Figure 2　Examples of D1-D3 datasets for training

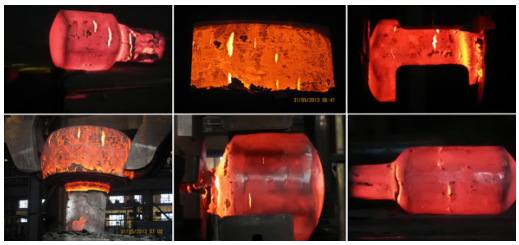


图 3　测试数据集 D4 典型照片

Figure 3　Typical photographs of the test datasets D4

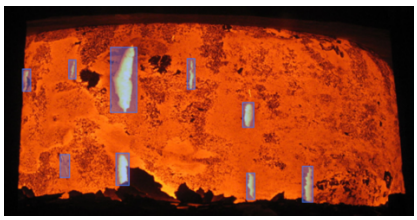


图 4　对裂纹进行矩形框标注后的典型照片

Figure 4　Typical photographs of cracks marked with rectangular frames

2　锻造裂纹数据集

本文所采用的数据集包含三个版本 D1、D2 和 D3，如图 2 所示，其中下部大图为数据集典型照片，白色矩形框为标记位置。

(1) D1 为原始的数据集，包含 108 张照片。在对该数据集标注的过程中，以尽可能多的囊括全部锻造裂纹的区域作为标注原则，因此一些疑似区域、一些非常小的裂纹区域均作了标注。

(2) D2 数据集包含 102 张照片，在 D1 基础上，剔除了 6 张非锻造过程中以及比较模糊的锻件照片，剔除了一些小尺度的、疑似的裂纹标记。由于当前数据集比较小，对于锻前大量覆盖氧化皮的情形，即便是在锻造现场也很难区分裂纹与氧化碎裂缝隙，因此这里将这些照片也进行了剔除。同时小的裂纹，以及一些具有裂纹特征但是尺寸圆滑的锻件表面凹陷，如果不进一步发展，对于锻造质量的影响非常有限，因此识别这些特征增加了计算难度，但是实际意义不大，在 D2 数据集中不再对这种区域进行标注。

(3) D3 数据集包含 100 张照片，是在 D2 数据集基础上进一步剔除了两张模糊照片，并仅保留了对特征非常清晰的裂纹的标注。D2 虽然剔除了一部分小裂纹及疑似裂纹，但是剔除的非常有限，相对而言，D3 剔除的更为激进。这样处理主要是检验数据的筛选甄别对模型效果的影响。

除了训练数据集，这里准备了由 30 张照片组成的测试数据集 D4。前述的训练数据既有锻造过程的，也有锻件翻转、转运等阶段的照片，以及一些拍摄角度比较偏和拍摄效果不太理想的照片，比如从锻件侧面拍摄的，以及拍摄存在模糊，从而最大程度地与锻造环境中一般检测者的视角保持一致，但是对于关键阶段的锻造裂纹检测与记录，图像的采集一般是有所选择性的，比如专门针对镦粗阶段采集图像，或者针对成品阶段采集图像，在这种情形下所拍摄的照片会比较典型，而测试数据集 D4 就是针对这种情形进行遴选的，用来考察训练出的模型针对典型环境下的裂纹识别的效果。

3　数据集训练与结果对比

在准备好上述数据集的基础上，基于 Easydl Pro 平台，对数据集进行了矩形框标注，即对裂纹位置采用尽可能紧致的矩形框进行了标记并在平台中保存标记信息，典型照片如图 4 所示。由于本文只研究锻造裂纹，因此只创建了“crack”这一种标记标签。

数据标注完毕后，就可以创建深度学习任务。

表 1　训练任务基本参数及训练效果对比

Table 1　Comparison of basic parameters and training effects of the training tasks

训练任务版本	数据集	模型	aspect_ratios	mAP (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	阈值
V1	D1	FRCNN	0.5/1.0/2.0	67.3	78.3	67.7	0.7
V2	D1	SSD	–	34.2	67.6	24.0	0.3
V3	D1	YOLO	–	62.4	61.2	69.8	0.65
V4	D1	FRCNN	0.1/0.2/0.5/1.0/2.0/6.0/12.0/20.0	68.4	76.0	70.8	0.9
V5	D2	FRCNN	0.5/1.0/2.0/10.0/20.0	77.9	77.4	83.1	0.8
V6	D2	FRCNN	0.5/1.0/2.0	77.5	82.3	75.0	0.9
V7	D3	YOLO	–	68.9	66.2	75.8	0.1
V8	D3	SSD	–	42.9	71.7	26.6	0.3
V9	D3	FRCNN	0.5/1.0/2.0	64.8	65.3	77.9	0.3
V10	D3	FRCNN	0.5/1.0/2.0/10.0/20.0	69.0	63.6	72.1	0.7

表 2　基于 V5 的第二次训练效果

Table 2　The second training effect based on V5 training task

训练任务版本	数据集	mAP (%)	精确率 (%)	召回率 (%)	阈值
V5	D2	77.9	77.4	83.1	0.8
V5(第二次)	D2	78.1	80.0	77.4	0.9
	D4	89.5	88.3	92.9	0.5

采用 FRCNN 模型进行模型训练的过程中，需要用到锚框，通过不同长宽比、不同大小的锚框来对需要检测的裂纹进行筛选识别。默认设置下锚框的长宽比有 0.5、1.0、2.0 三种。锚框的选取对于识别的效果会产生影响。锻造裂纹常规条件下一般表现为细长状，即具有较大的长宽比，因此，这里在默认的基础上，对部分训练任务增加了多个锚框的长宽比，如表 1 所示 V4、V5、V10 几个训练版本。除此之外，包括 SSD、YOLO 模型在内的其他训练任务均采用平台的默认参数设置。最终创建的 10 个训练任务的训练结果如表 1 所示，其中阈值为平台根据计算给出的能够获得最好的评价效果的门槛值，mAP 表示在当前阈值下正确识别并标记裂纹的准确率。精确率指的是预测为裂纹的位置有多少比率是正确的，而召回率指的是标记的裂纹有多少被正确识别。对于锻造裂纹而言，在无法正确识别的前提下，从保守的角度来考虑，一些疑似位置被识别为裂纹是允许的，但是裂纹位置没有被识别则存在潜在的危害性，因此在 mAP 相同水平下，训练的模型应尽可能保持低精确率和高召回率。

(1) 数据集的对比

从表 1 可见，通过适当剔除干扰数据的 D2 数据集可以获得最优的裂纹识别结果，对于已标记数据能够达到 77% 以上的准确率。但是进一步剔除数据的 D3 数据集的实际训练效果并不佳，反而劣于 D2 数据集的训练效果，准确率整体在 70% 以下。

(2) 深度学习模型的对比

从所采用的三类深度学习模型来看，SSD 模型的训练结果最差，YOLO 模型的训练结果虽然优于 SSD 模型，但是较 FRCNN 模型存在明显的差别。虽然理论上 SSD、YOLO 模型的计算效率较高，但是对于当前数据集而言与 FRCNN 的识别精度差别过于明显。由于数据集有限，无法检验增大数据集量后是否能够缩小模型间的识别精度差别。

(3) 锚框的长宽比

根据表 1 的训练结果，通过 V1、V4 的对比以及 V5、V6 的对比可以看出增加锚框的长宽比，使锚框尺度与锻造裂纹的尺度匹配性更好，能够适度改进模型的识别效果，准确率略有提升，可以获得更高的召回率。

综合评价上述结果，V5 模型的表现最为优异。因此，在上述训练对比的基础上，针对 V5 模型进行了进一步的测试数据集检验以及识别效果验证。

4　识别效果验证

在模型训练基础上，采用 V5 训练任务相同的设定条件对 D2 数据集进行了第二次训练，同时将 D4 设为测试数据集验证训练效果，训练结果如表 2 所示。

由于深度学习的特性，即便在相同的数据集以及相同的预训练模型条件下，所获得的训练结果也会存在一定的差异，可以看出第二次训练的 mAP 等指标相比 V5 模型略有浮动，但是基本相同，准确率约 78%，接近 80%。相对而言，针对测试数据集，模型的检验效果很好，准确率接近 90%，精确率和召回率均在 90% 左右。由此可见，当前训练的模型虽然受数据集规模的影响，对于

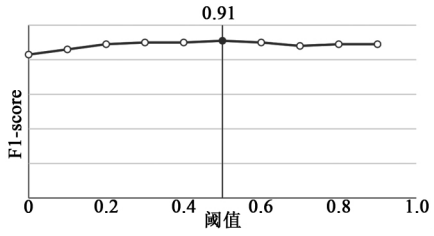


图 5　由 Easydl 平台给出的针对 D2 数据集第二次训练获得的 F1-score 与阈值的关系

Figure 5　Relation between F1-score and threshold of the 2nd training of D2 datasets offered by Easydl platform



图 6　采用训练好的模型对锻造裂纹的检测效果

Figure 6　Forging crack detection effects examined by the trained model

一般性场景的检测准确率不到 80%，但是如果以裂纹检测为目的有意识的获取图像，确保图像不至于太模糊，光线适中，则检测效果非常良好。需要说明的是，表 2 的测试数据是建立在平台根据训练结果确定的不同阈值水平上的，图 5 为 Easydl 平台给出 F1-score 与阈值的关系，而 F1-score 为精确率与召回率的调和平均数，可见对于当前模型，阈值对 mAP 等指标的影响很小，对 mAP 等指标的对比是可靠的。

图 6 是采用训练好的模型分别对镦粗和拔长压实阶段的锻造裂纹的识别与检测结果。可以看出，当前训练好的模型能够对锻造裂纹进行准确标记、识别，并可以返回裂纹在图像中的位置以及尺度信息，经过尺寸标定后可以用于工艺研究与质量跟踪。

5　总结

本文基于 Easydl Pro 深度学习平台，在较小的数据量（100 张普通质量照片）条件下，采用 FRC-NN 深度学习模型，针对一般锻件场景实现了 78% 的锻造裂纹识别准确度，针对锻造实施过程中典型检测场景实现了 90% 的锻造裂纹识别准确度。

本文受数据量限制，模型精度还存在进一步改善空间，在此基础上，如果能进一步加大训练数据量，应能获得可以代替人工质检的锻造裂纹识别及检测能力。

参考文献

[1]　张慧，王坤峰，王飞跃. 深度学习在目标视觉检测中的应用进展与展望 [J]. 自动化学报，2017，43(8)：1289－1305.

（上接第 46 页）

未发现其它缺陷。

3　结论

（1）冒口端断口夹杂物主要是 Ca、Si 为主，含少量 Mg、Al 等夹杂，夹杂物成分以硅酸盐为主。

（2）水口端断口夹杂物比较复杂，主要是 Ca、Al、Si 的氧化物，同时含有少量 Mg、F 等夹杂物，部分视场可见纯的 Mg 氧化物。

（3）根据以上分析认为，夹杂物为钢水内部精炼渣浇注后未能充分上浮所致。

参考文献

[1]　朱中杰，闫森. 300M 汽轮机供热改造中双低压转子技术的应用实施 [C]. 中国电机工程学会. 大机组供热改造与优化运行技术，2013：153－159.

[2]　印旭洋，郭海峰. 1000MW 机组汽轮机低压转子现场车削技术研究应用 [C]. 中国动力工程学会. 中国动力工程学会超超临界机组技术交流，2013：215－218.

[3]　戈志华，马立群，李亚华，等. 高背压供热汽轮机低压转子模态分析 [J]. 汽轮机技术，2019，61（3）：167－170.

[4]　闵洁. 600MW 汽轮机低压转子锻造工艺分析 [D]. 燕山大学，2010.

[5]　葛春新. 1000MW 汽轮机低压转子轮槽加工表面质量与工艺研究 [D]. 上海：上海交通大学，2008.

欢迎投稿！欢迎订阅！欢迎刊登广告！

DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2017.32.081

基于数控加工的工艺设计原则和方法分析①

张敬[1] 张杰[2]
(1.天津职业大学 天津 300410;2.天津市汇通仪器设备公司 天津 300402)

摘 要:近年来,数控加工技术有了很大地提升,对机械制造业发展起到了极大地促进作用。数控加工技术的基础是工艺设计,要想提升数控机床的加工效率,保障其加工质量,必须要在工艺设计原则和方法上下工夫,提升工艺设计原则和方法的科学性、合理性。本文中,笔者首先阐述了数控加工工艺的特点,然后分析了数控加工工艺的设计原则,最后又分析了数控加工工艺的设计方法,希望为今后相关内容的研究提供一定的参考。

关键词:数控加工 工艺设计 原则和方法 探析
中图分类号:TG659 文献标识码:A 文章编号:1672-3791(2017)11(b)-0081-02

何为数控加工?数控加工的对象是数控机床及其零件,是一种建立在计算机技术基础上的加工数控机床的高科技工艺。随着社会经济的快速发展,科学技术水平的不断提高,数控加工水平也获得了显著的提高。但是,在实际的数控机床加工过程中,仍旧存在一定不合理因素,如工序不集中、走刀不合理、切削用量不科学等,导致数控加工的效率和质量受到很大程度的影响。为了保证数控加工的效率和质量,必须坚持一定的工艺设计原则和方法,改善以往数控加工中存在的问题。

1 数控加工工艺的特点分析

大量数控加工实践表明,数控加工中容易出现失误,其主要原因有两个方面,一是工艺方面考虑不周全,二是计算与编程时不仔细[1]。数控加工中,其工艺设计非常关键,对于数控加工有着直接的影响,所以必须要对数控加工工艺的特点有所掌握,这样能够减少数控加工实践中发生失误的概率。纵观当前数控加工工艺的发展情况,其特点包括以下几点。

1.1 内容具体,设计严密

数控加工工艺的内容十分详细,设计工作也非常严密,这是数控加工工艺的第一大特点。相比于普通机床加工工艺,数控加工工艺加工工序较少,使用到的工装数量也较少,但是在加工的工序以及设计工作方面,数控加工工艺的内容更加复杂,操作的难度更大[2]。

1.2 数控加工的“复合性”

关于数控加工“复合性”的特点,主要是因为采用数控加工之后,工件可以在一次装夹下完成多种加工,如镗加工、铣加工、铰加工等。从另一个角度而言,数控加工“复合性”的特点又可以理解为将传统工艺的工序集中起来,从而使得零件加工精度大大提升[3]。

1.3 数控加工的“程序性”

数控加工过程中,程序性指的是每一环节都需要根据一定的程序进行,遵循一定的原则,不能够随意进行更改。数控加工程序性的特点其实也是数控加工具体、设计严密的反映。

2 数控加工工艺的设计原则

数控加工工艺的设计原则很多,如工序集中、一次成型的原则;先粗后精的原则;先近后远的原则,等等。采用数控加工时,坚持下述工艺设计原则,对于数控加工的进度和质量而言,是一个极大的保证。

2.1 一次成型的原则

必须承认的是,对于一些零件内的加工,允许存在合理误差。同样的,采用数控加工的时候,在零件加工的过程中,也会存在误差。通常情况下,装夹的次数越多,误差的概率就越高。需要注意的是,零件加工的误差如果超出了规定范围,将会成为质量不合格的零件,也就是所谓的“无用零件”。为了减少零件加工的误差,应当尽可能地将工序集中,减少装夹的次数。所以,在数控加工时必须要坚持工序集中、一次成型的原则,这样既可以实现减少装夹次数的目的,又可以达到减少后期精加工成本的目标[4]。

2.2 先粗后精的原则

先粗后精原则是数控加工工艺设计原则的重要构成之一,指的是在加工零件的时候,先进行粗略的加工,将零件的大致轮廓和规模确定下来,然后再进行精细加工,对粗加工进一步完善[5]。在粗加工阶段,要减少切削的次数,尽快将零件的轮廓确定下来,这样能够为精加工保留优势成本。坚持先粗后精的原则,其主要的作用在于,可以保证零件(产品)的尺寸,减少尺寸上的不合格,同时还能够降低操作时发生误差的概率,最大限度地保证零件加工的合格率,从而提升数控加工的质量。

2.3 先近后远的原则

在实际生活中,先近后远的原则随处可见,采用数控加工时同样需要坚持先近后远的原则。先近后远的原则已经在数控加工领域达成共识,在数控加工过程中几乎无一例外都贯彻落实先近后远的原则。先近后远的原则要求数控加工过程中,先加工刀具周围,之后再加工离刀具较远的部位[6]。坚持先近后远的原则,可以减少刀具的移动距离,使得走刀路线为最短的路线,这就使得数控加工的精度得到大幅度提升,对于数控机床的加工效率和加工质量也有着非常大的保障。

①作者简介:张敬(1976,6—),男,汉族,天津人,硕士,实验师,研究方向:产教融合数控实训教学。
张杰(1987,2—),男,汉族,天津人,本科,助理工程师,研究方向:数控加工技术与管理。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.4 最少调试刀具的原则

事半功倍指的是做最少的事情实现最好的效果，最少调试刀具的原则就是事半功倍最好的体现。采用数控加工的时候，工作人员应当尽可能减少刀具的使用次数。通常情况下，数控加工期间，工作人员进行刀具操作的时候，不可避免地会出现刀具磨损的情况，如果频繁地调试刀具不仅增加了刀具本身受损的可能性，减少了刀具的使用寿命，还增加了刀具的置换资金，增加了零件划伤的概率。因此，工作人员在数控加工的过程中，一定要坚持最少调试刀具的原则，保证零件加工的有效进行。

2.5 程序段最少原则

在对加工程序进行编制的时候，对于任何程序员而言，都希望能够利用最少的程序段完成全部的加工程序，虽然实施起来难度很大，但是必须要尽力去尝试。如果能够将程序段最少的原则贯彻下去，那么将会极大地减少计算机内存容量的占有数，使得程序段输入的时间极大缩短，这样便能够降低程序的出错概率，实现程序的简洁以及提高编程工作的效率。

3 数控加工工艺的设计方法

采用数控加工的时候，对于工艺的设计还应当采取正确的方法。从当前数控加工的实际情况来看，数控加工工艺的设计方法有：确定走刀路线、完善工序安排、合理选择刀具、确定好夹具、确定对刀点与换刀点、确定切削用量。

3.1 确定走刀路线

数控加工时，刀具的使用非常重要，刀具使用恰到好处，数控加工的质量也将得到保证。在进行数控加工工艺设计时，要坚持最短走刀路线的原则，要求在选择走刀路线的时候，选择最短的路线。与此同时，上文笔者提及到，要坚持最少调试刀具的原则，要求工作人员操作时，尽可能少地更换刀具。另外，在选择刀具的时候，应当考虑到可能带来的对零件的磨损，还有就是下刀的位置和切入的方向，减少不必要的下刀，确保下刀的切入方向一致[7]。

3.2 完善工序安排

完善工序安排，其实要求的是贯彻落实工序集中、一次性成型的原则。在具体的操作过程中，工作人员应当从工序最为集中的部位入手，保证零件成型的成功率，尽最大努力做到一次性成型，防止装夹次数太多引发的零件磨损问题。要想做好工序安排的完善，一定要有相应的管理制度作为保证，缺乏管理制度的保证，完善工序安排真正落实到具体操作中是非常困难的。此外，一切准备就绪之后，设计人员及程序员不可缺少，对于操作人员的要求是专业扎实、技巧娴熟、经验丰富。

3.3 合理选择刀具

有关刀具的选择，涉及刀具的使用以及最少调试刀具的原则。在进行数控加工的过程中，在选择刀具上一定要认真对待，具体需要注意以下几个方面：首先，刀具的类型。刀具的类型需要与加工的表面相适应，并且数控机床、刀具以及刀柄、刀套等辅具要相配套。其次，刀具的几何参数要求要合理。刀具的耐用度在较高的基础上，尽量在一致性上加以保证，刚性度也要保持一定的水平。最后，记录下刀具详细信息。详细信息包括刀具的规格、专用刀具的代号、该刀具所要加工的内容等，便于后续编程的使用。

3.4 合理选择夹具

夹具的选择要求做到以下几点：第一，夹具设计、工艺以及编程计算的基准统一，以此提升工艺方案的执行效率。第二，夹具选择考虑后续装夹的次数，寻求最短的装夹次数。第三，夹具的坐标方向和机床坐标方向相对固定，防止因坐标方向的移动引发不必要的误差[8]。第四，夹具必须开敞，不与刀具的运动轨迹相互影响。第五，对于批量小的零件加工，选择组合夹具，减少专用夹具的使用；反之，采用专用夹具。

3.5 确定对刀点和换刀点

对刀点，指的是刀具相对工件运动的起点。通常情况下，业内将对刀点称为程序原点。在选择对刀点的时候，必须要谨慎选择，选好对刀点对后续刀具的使用影响很大。在选择对刀点的时候，对刀点必须找正容易，编程起来方便，对刀误差较小，另外加工时检查起来还要方便、可靠。需要注意的是，换刀时可能会碰上零件或者夹具，因此可以考虑将换刀点设置在被加工零件的外面，并且有一定的安全量。

3.6 确定切削用量

关于切削用量的确定，对于数控加工的进行会产生重要的影响。数控加工的工艺设计是进行数控加工的前期准备工作，在确定切削用量的时候，必须要严格按照工艺设计的要求进行。所以，这就要求必须要建立起一套明确的切削方案，切削方案中应当将下刀的位置、切入的方向、切削量以及最短走刀路线等明确下来。对于粗加工及细加工而言，都必须要以切削方案为标准，下刀位置、切入方向必须要保持一致，落实最短行刀路线的原则，减少对零件造成的不必要损害，以此提高数控加工的质量。

4 结语

总而言之，数控加工是现代科学技术发展的产物，与传统加工技术相比有着无与伦比的优势。在社会经济快速发展，产业结构不断优化的大背景下，数控加工的应用是一种必然。在采用数控加工的时候，应当坚持适当的原则，以此保证机床零件加工的质量，降低不合理操作带来的误差。另外，还要做好数控加工工艺的设计工作，合理选择走刀路线，完善工序安排，确定切削用量，正确选择对刀点与换刀点的位置，实现零件加工的质量优化，提高数控加工程序编制质量的提高。

参考文献

[1] 彭文静.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].电子制作,2014,27(9):253.
[2] 郑红.试论数控机床对机械加工工艺规程的影响[J].科技展望,2016,26(32):145-146.
[3] 邹伟全.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].中国科技纵横,2015,24(19):57.
[4] 孙永革.影响数控机床加工精度因素分析[J].工业设计,2012,36(A02):174.
[5] 秦伟,刘宇.零件数控加工的工艺设计[J].中国机械,2015,36(9):21-22.
[6] 梁法纲.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].工程技术:引文版,2016,12(5):281.
[7] 牛巧芬.影响数控机床机械加工效率的因素及方法分析[J].科技创新与应用,2012,24(15):84.
[8] 赵焕武,赵博锌.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].通讯世界,2016,75(12):218-219.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于数控加工的工艺设计原则及方法研究

李文军
天津职业大学机械工程实训中心

摘要:本文主要以数控加工工艺的特点作为切入点,研究和分析零件加工工序的划分方法和加工工序划分的原则,同时简单阐述工艺加工的注意事项。

关键词:数控机床;工艺设计;数控加工工艺;特点

引言

数控加工工艺是零件加工过程中的重要内容,是在数控编程的作用下完成的,按照一定的模型进行工艺生产,从而满足市场需求。在数控加工加工过程中,普通加工工艺一般来说是数控加工工艺的基础所在,是实施数控加工工艺的关键。在计算机编程的基础上,数控加工工艺依据一定的模型进行产品生产的,注重生产的自动化、智能化。

1数控加工工艺的特点

1.1数控加工工艺的复杂特点

数控加工工艺作为工件加工的重要技术,既注重加工零件的工艺性,也要注重加工零件的实用性。要做好加工零件,就要注重零件的定位基准,选取适当的刀具,依据现代化的加工工艺技术和切削方式,有效地保证加工工件的质量和效益。与普通加工工艺相比,数控加工工艺相对比较复杂,涉及到各个方面。所以,在数控加工过程中,要保证加工工艺的质量,就应该注重数控编程的分析和研究,并加以完善和简化。对一个相同的加工工件,往往可以运用多种数控加工方案进行生产,例如在工件加工中可以以加工部位设计相应的数控加工工艺,也可以根据加工刀具设计相应的数控加工工艺。

1.2数控加工工艺条理性特点

数控加工作为一项复杂性的工艺,需要考虑各种因素,因其自动化的特点,数控加工的适应能力就相对比较弱,需要充分考虑各项因素和各种程序,如此才能有效地保证数控工艺设计有序的进行,保证数控加工工艺的有效进行。

1.3数控加工工艺的继承性特点

在数控加工产品过程中,加工产品经过调试、校验和试切削的一系列的工艺操作后,产生的高质量产品,一般可以作为实际加工的模型。其生产的实际工艺可以作为生产模板使用,能够很好地为后续加工相类似零件调用,采用这种生产模式可以有效地节约时间,保证生产产品的质量和效率。同时,作为模板本身在工艺生产中也在不断地完善,从而保证模板的标准化、系统化,便于规模生产、标准生产。

1.4实践检验是数控生产的重要指导

数控技术作为现代化的技术,自动化的程度比较高,在产品生产过程中,数控加工工艺必须经过实际验证才能指导生产,如此才能保证生产产品的质量和效率。在普通机械加工过程中,操作人员注重以编程作为依据,使用电脑编程指导普通机械生产,保证生产产品与产品设计的一致性。

2零件加工工序的划分方法

2.1按照粗、精交工来划分工序

以粗、精加工分序法 对于易发生加工变形的零件,由于粗加工后可能发生的变形而需要进行校形,故一般来说凡要进行粗、精加工的都要将工序分开。这种划分的方式是充分考虑加工工件的加工精度、变形情况、加工刚度等情况,按照先进行粗加工,后进行精加工的一种加工工序。要实施粗精加工工序,就要使用到不同的机床、不同的道具,采用不同的操作手法,从而保证加工工件的加工质量。在进行这道工序进行加工的时候,应该注意在加工安装的过程中,不应该加工完零件的某一个表面是,便对零件的其他表面进行加工,而是要先将整个零件的部分余量进行相应的切除,而后将该表面进行精加工,以便保证整个零件的协调度,即表面粗糙程度的统一。

2.2刀具集中分序法

刀具作为零件工程加工的重要工具,是保证零件质量的关键所在。使用刀具进行工艺划分,主要是为了减少换刀次数,减少工程实践,避免不必要的定位误差。刀具集中分序法 主要是指利用同一把刀具对相应的零件进行全方位的加工,避免因为不同的刀具导致加工零件出现相应的问题。加工完零件上所有可以完成的部位。换一句话来说,便是利用同一把刀具代替第二把刀具、第三把刀具所要完成的其它部位。

2.3以加工部位分序法

对于加工内容很多的零件,可按其结构特点将加工部分分成几个部分,如内形、外形、曲面或平面等。由于每个零件结构形状不同,各加工表面的技术要求也有所不同,故加工时,其定位方式则各有差异。一般加工外形时,以内形定位;加工内形时又以外形定位。因而可根据定位方式的不同来划分工序。一般先加工平面、定位面,后加工孔;先加工简单的几何形状,再加工复杂的几何形状;先加工精度较低的部位,再加工精度要求较高的部位。

2.4工步的划分

工序是产品制造过程中的基本环节,也是构成生产的基本单位,即一个或一组工人,在一个工作地点对同一个或同时对几个工件进行加工所连续完成的那部分工艺过程。工序又可分成若干工步。加工表面不变、切削刀具不变、切削用量中的进给量和切削速度基本保持不变的情况下所连续完成的那部分工序内容,称为工步。可见,工步是零件加工过程中的重要组成部分,是保证零件加工完成的关键所在。工步的划分是由工步的加工精度和效率作为切入点,要求加工的每个环节都紧密相连,避免加工程序中出现纰漏,保证加工零件的质量。加工精度是指在加工零件的过程中,要始终保证加工零件表面的实际尺寸、形状、位置都与图纸相吻合。加工精度主要用于生产产品程度,加工精度与加工误差都是评价加工表面几何参数的术语。加工精度用公差等级衡量,等级值越小,其精度越高;加工误差用数值表示,数值越大,其误差越大。加工精度高,就是加工误差小,反之亦然。加工精度包含四个方面的内容,分别是尺寸精度、形状精度、位置精度、相互关系。尺寸精度是指在加工之后所产生的加工零件的实际尺寸在设计时所规定的合理误差范围之内,符合实际需求。形状精度是指加工零件的实际形状与图纸设计的零件形状相符合,能够在实践中加以运用。位置精度是指加工零件的表面位置是与实践所要加工的相一致,差别并不是很大。相互关系是指实际零件与设计要求的零件之间的关系,即要求实际零件的尺寸精度在设计零件的合理范围,实际零件的形状误差也处于设计零件可以接受的范围,实际零件的位置精度也处于合理范畴。同时,尺寸精度、形状精度和位置精度之

中国知网 https://www.cnki.net

间还存在一定的联系，具体而言，便是在规定的加工零件中，形状的误差控制在位置公差内，位置误差又应小于尺寸公差。即精密零件或零件重要表面，其形状精度要求应高于位置精度要求，位置精度要求应高于尺寸精度要求。在一个工序内往往需要采用不同的刀具和切削用量，对不同的表面进行加工。

3加工工序划分的原则

在加工工序中，要加工相应的零件，既需要加工机具，也需要遵循一定的加工原则。在零件加工的过程中，主要是要保证整个零件的表面的精度。因为零件是由多个表面组成而成的，做好各个表面的精度工作，才能以小见大，保证整个零件的精度。因而，零件每个表面都有独立的精度要求，各表面之间也有一定的的精度要求。要保证整个零件的精度，就要保证各个表面的精度。要保证各个表面的精度，加工过程中就要遵循相应的原则。这些原则如下：

3.1先粗后精的原则

在零件加工的过程中，为了保证零件的质量，应该充分考虑零件所存在刚度、变形、精度等因素，应该紧密遵循先粗后精的原则，对零件进行工序划分，将工件的加工按照数控加工的顺序进行，保证数控加工的质量和效率。在工件的加工过程中，主要是按由粗加工到精加工的过程中，因为先粗加工可以保证加工速度，后精技工可以保证加工精度。先粗后细是主要是根据实际情况，最先做出一个大概的形状，这就需要粗加工，速度较快，然后精加工做好，进度较慢。同时，在进行现金后粗的加工程序中，必须要注重基准的作用和效果。因为基准是因为基准是前提，如果没有做好基准，后面的一切都是空谈。先粗后精作为一项数控技工必须要遵循的技术手段，在工件加工的过程中有着重要作用和意义。这种原则对于生产精度比较的产品具有很高的实用价值，因为这种方式可以设计出符合市场需求的工件。工件的刚度、变形及尺寸精度为工件的真实性能奠定结实的基础。一般而言，为了保证工件的质量，在进行粗加工之后，工件一般要适当地进行搁置，减少工件的粗加工表面应力，避免工件在应力的作用下发生变形，从而保证加工的精度。

3.2基准面先加工原则

基准面先加工原则是指先加工基准面，再加工其他表面。主要是因为基准面做为其它表面的参照面，其精度直接或间接影响其它表面的加工精度以及测量精度，先加工基准面，以基准面定位，再加工其它表面，可以保证各加工表面间的位置精度与尺寸稳定性。工艺路线开始安排的加工面应该是选作定位基准的精基准面，然后再以精基准定位，加工其他表面。加工一开始，总是把用作精加工基准的表面加工出来，因为定位基准的表面精确，装夹误差就小，所以任何零件的加工过程，总是先对定位基准面进行粗加工和半精加工，必要时还要进行精加工，例如，轴类零件总是对定位基准面进行粗加工和半精加工，再进行精加工。例如轴类零件总是先加工中心孔，再以中心孔面和定位孔为精基准加工孔系和其他表面。如果精基准面不止一个，则应该按照基准转换的顺序和逐步提高加工精度的原则来安排基准面的加工。

3.3先面后孔原则

先面后孔原则主要是针对基准的问题，对相应的工件先进行面的加工，使工件的面平整的，才好进行孔的定位来进行孔加工，保证孔的加工位置精度。否则，以一个不平整的面作为定位基准，去加工一个孔，无法保证工件的质量。这种工件加工的方式主要针对箱体、连杆等加工零件，既能保证工件加工的凭证还能保证平面和孔的位置精度，以便有效地进行孔的加工。可见，先面后孔的原则是以基准作为切入点，在平整的表面上实施孔的加工，从而生产出符合市场需求的工件。

3.4先内后外原则

是指在工件加工的过程中，先对工件的内部进行相应加工，保证工件内部的完整成型，而后运用相应的数控技术，对工件的外部进行加工，便于保证加工工件内外的质量。在进行先内后外的加工过程中，应该始终注重刀具实施的顺序和位置，避免因为刀具的不适当影响加工质量和加工效果。

3.5工序集中原则

在工件加工过程中，工序集中是生产中的重要方式，主要是针对生产的批量而言的，一般生产批量较少的话，若是生产批量较多则应该使用工序分散进行，从而保证生产的质量和声场的数量。采用工序集中的方式，能够减少工序生产过程，提升机械设备的利用概率。同时，采用这种的方式，能够很好地集中员工，简化生产计划，缩短生产工艺，减少工件装夹次数，如此才能有效地保证工件加工的质量和效益，避免加工工件出现相应的误差问题。在进行工件加工的过程中，要实施工序集中，既要有统一的机械设备，还要有规范化的生产模式，完整的生产、维修、保养的生产链，从而保证加工工件的质量和使用年限。

3.6工序分散原则

工件的各个部件的加工安排在相应的加工程序中完成，使得每道加工工序具有一定的针对性，保证各个工序操作有效的进行，便是工序分散原则。采用这种原则的优势是加工设备和工艺装备结构简单，调整和维修方便，操作简单，转产容易有利于选择合理的切削_Hj量，减少机动时间。但工艺路线较长.所需设备及工人人数多，占地面积大。

4工艺加工的注意事项

在对加工工件进行加工时，一般先进行粗加工，而后进行精加工。粗加工主要是针对加工工件的表面的余量，对于加工精度的要求并不是很高，所以可以在功率比较大、精度比较低的机床上进行。精加工与粗加工相比，比较注重加工工件的质量，要求加工的精度，所以需要精度比较高的机床。在工件加工的过程中，工件的粗加工和精加工都是在不同的机床中进行的，这既能提升加工工件的质量，还能提升加工机床的利用率，有效地提高生产产品的质量。所以，在工件加工的过程中，应该注意加工机床的选取，以实际需求进行选取。此外，在工件加工的过程中，常常会使用热处理工序，这项工序主要是运用退火、正火等方式提升金属刀具的切削性能，运用回火、淬火等方式提升加工工件的机械性能。若是在热处理的过程中，产生变形情况，还应该安排相应的工序加以纠正。

5结语

要保证数控加工零件的质量，在加工的过程中应该始终遵循数控加工工艺中的加工原则，采取合适的方式，一步一个脚印，将加工产品高质量、高效率地生产出来，满足市场需求。

参考文献：

[1]陈光明.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].制造业自动化,2005,09:54-59+72.

[2]陈光明.数控加工中工艺路线设计原则及方法[J].组合机床与自动化加工技术,2005,11:73-76.

[3]彭晓玲,张秀娟.数控加工工艺设计的原则及方法研究[J].科技传播,2015,21:92-93.

[4]赵焕武,赵博锌.基于数控加工的工艺设计原则及方法研究[J].通讯世界,2016,12:218-219.

[5]赵留杰,张英杰.一种基于加工特征的数控工艺设计方法[J].机械工程师,2009,06:31-34.

作者简介：李文军（1987-），男，天津人，本科，天津职业大学机械工程实训中心，工程师，研究方向：产学结合数控技能实训教学。

中国知网 https://www.cnki.net

基于协同学序参量的京津冀职业教育协同发展实证研究

——以高等职业教育为例

周晶晶,刘 斌,邹吉权

[摘 要]职业教育协同发展是京津冀协同发展的重要组成部分,三地职业教育虽不断探索协同的有效路径,但仍存在较大差距。哪些关键因素制约了职业教育的协同发展?如何降低职业教育协同的复杂性?基于协同学序参量的概念,明晰京津冀职业教育协同发展序参量的内涵,构建影响京津冀高等职业教育协同的状态参量体系,利用必要条件分析法(NCA),从实证视角甄别京津冀三地职业教育协同发展序参量,通过控制序参量以达到简化职业教育协同发展复杂性的目的。研究发现:人力投入水平是京津冀三地职业教育共同的序参量,且处于极高影响水平。北京市与天津市更需要注重政策制定和职业教育协同网络的构建。不同省市、不同水平高职院校的主导序参量不同,北京市需加强中部职业院校发展能力提升,强化师资建设;天津市需加强顶部职业院校发展能力提升,强化职业教育协同网络构建;河北省需加强底部职业院校发展能力提升,着重提高财政投入。研究结论不仅有助于理解如何通过控制序参量有效提升职业教育协同效率,而且可为京津冀三地政府及职业院校提供决策依据。

[关键词]京津冀协同发展;职业教育协同发展;序参量;必要条件分析法(NCA);实证研究

[基金项目]2023年度天津市教委科研计划项目"政策冲击视角下京津冀职业教育协同发展实证研究"(项目编号:2023SK164,主持人:周晶晶)

[作者简介]周晶晶,硕士,天津职业大学职业教育研究所,助理研究员;刘斌,博士,天津职业大学原校长,教授;邹吉权,博士,天津职业大学职业教育研究所所长,教授。

中图分类号:G710 文献标识码:A 文章编号:1004-9290(2024)0001-0048-11

一、问题提出

区域协同发展是我国经济与社会发展的总态势,党的二十大报告指出,"深入实施区域协调发展战略""推进京津冀协同发展"。教育作为一项基本的社会公共服务,是京津冀协同发展的重要基础,为京津冀区域协同发展提供保障和增力。职业教育是京津冀教育协同发展的重要组成部分,职业教育因其职业性和教育性的双重属性,使其在教育资源和人力资源积累两个方面发挥独特作用。区域职业教育协同是通过建立不同行政区域之间的要素流转与信息沟通渠道,使区域内职业教育组织及相关部门实现全面合作,从而生成区域聚合体并形成竞争优势的过程。[1]三地高等职业教育各有特色、互补性强,应克服职业教育发展过程中空间异质性造成的差异,促进教育从独立走向融合。

目前关于京津冀职业教育协同发展的研究主要集中在以下几个方面:一是基于经济学视

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

阈分析区域职业教育一体化理论的形成过程，依托“十二五”期间相关数据分析了京津冀三地职业教育发展的特点，提出建立职业教育多元供给机制，推进京津冀区域职业教育资源的共建与共享。[2]二是基于政策执行视角，分析京津冀职业教育协同发展政策工具的运用情况，三地政策工具运用不协调，政策规模、涵盖范围及政策关注点等的协同性不足，需求型政策工具拉力不足，[3][4]其中，校企合作政策中经费投入差异大、职业教育资源分配不均、发展侧重点不同[5]。三是基于职业教育协同的某一参量分析，如资源共享[6]、院校协同[7]、人才培养[8]、治理机制[9]、产教融合[10]等，提出职业教育协同发展的策略和建议。四是基于三地职业教育实践层面分析，京津冀职业教育协同发展相对集中于京冀和津冀间的双向合作，协同发展主体关系主要包括政—政、校—校、校—机构、机构—机构、职教集团—职教集团等，协同发展内容主要包括技能人才培养培训、教师队伍能力提升、教学资源共享共建、社会服务、交流研讨等方面。[11]

上述研究虽然为京津冀职业教育协同实践提供了参考，但仍未能解决职业教育协同实践中的基本问题：如何提高职业教育协同效率？哪些关键因素制约了职业教育的协同发展？如何降低职业教育协同的复杂性？基于此，本文依托协同学理论，将序参量应用于职业教育领域，以高等职业教育为例，通过分析京津冀高等职业教育协同的状态参量，利用必要条件分析法（NCA），找出序参量，进而通过控制序参量提出改善京津冀职业教育协同效率的策略，研究成果能够有效解决职业教育协同实践中的基本问题，旨在为京津冀职业教育协同发展提供学理依据。

二、京津冀高等职业教育协同分析

（一）国内外职业教育协同发展的建设经验

“协同”具有和谐、统筹、均衡等哲学含义，即通过优化配置“存量和增量”教育资源，使区域系统内部“配合得当”发挥最大效益，进而促进区域经济社会的整体发展。[12]教育协同发展的表现形式还包括教育集群化发展、教育一体化发展等。在职业教育协同发展领域，国外较早实行区域职业教育合作与一体化发展，欧盟职业教育合作从《罗马条约》到《哥本哈根宣言》《布鲁日公报》（终身学习计划），再到终身学习计划的后续计划：伊拉斯谟+计划（2014—2020教育、培训、青年和体育计划），职业教育合作优先事项始终围绕着增长竞争力和就业，合作重点聚焦提高职业教育和培训透明度、开发各类通用工具、强调关键能力和技能水平的提升、增加职业培训的吸引力、促进就业能力和创业精神培育、保障职业培训质量等。[13]法国通过实施“大巴黎计划”，将巴黎城区与周边郊区的教育资源进行有效整合，通过调整区域教育布局、增加政府对教育资源的政策支持、提高周边郊区教学基础条件、加强师资等要素的区域流动等一系列措施，缩小区域教育发展差距，促进教育均衡发展。[14]美国职业教育跨区域合作模式包括区域职业技术中心模式、职教集团办学模式以及校校合作、专业合作、国际交流等多种模式。无论何种模式，其核心均为人、财、物等教育资源的整合与利用，实现了资源共享和优势互补，美国依托其完善的职业教育法律体系支持，通过制订财政资金、减免税收、低息贷款、设立专项基金等激励配套措施，支持各方进行跨区域合作，企业提供合作项目和相关资源，学校从专业、课程、教学等方面积极落实，形成合作各方各负其责，互相支持、互相配合、紧密联系、全程参与的合作项目运行机制，推动跨区域合作不断深入。[15]

在我国，长三角城市群职业教育集群资源集聚优势明显，其通过顶层设计联动，实施校企多边合作、教育资源共享、专业统筹布局、师资队伍共建、人才培养模式共创、职教标准统一等，实现职业教育办学要素跨区域自由流动，提高资源效益，进而促进职业教育高质量发展。[16]自京津冀协同发展上升为国家战略以来，京津冀职业教育协同发展呈良好态势，区域优质职业教育资源发展差距逐渐缩小，高等职业教育失衡状态有所缓和，协同模式丰富多样，如实践层面，通过成立职

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

教联盟、建立分校、专业“结对”等方式搭建平台，推动资源共建共享，但教学资源共享数量和内容有限，合作深度和效果还有待提升。

（二）京津冀职业教育协同序参量概念界定

协同学是研究各个学科领域中关于合作、协作或协同的学说，在自然科学领域和社会科学领域得以广泛应用。协同学由联邦德国理论物理学家赫尔曼·哈肯于1971年创立，主要研究系统在外参量的驱动下和在子系统之间的相互作用下，是如何以自组织的方式在宏观尺度上产生空间、时间或功能结构，并揭示与子系统性质无关的支配着自组织过程的一般原理。[17]哈肯认为一个复杂系统的演化过程中，存在多个状态参量，这些状态参量随时间变化的快慢程度不同，影响系统有序的关键状态参量为序参量，非关键状态参量称为控制参量。序参量主宰着系统整体演化的过程，它支配着各子系统的行为，控制参量对序参量的协同竞争具有导向作用。因此，只要控制了序参量，就可以把握整个系统的发展。

根据协同学理论，系统序参量具备如下特征：

（1）序参量首先是宏观参量，是大量子系统的集体运动的宏观整体模式；

（2）序参量是系统内部大量子系统集体运动（相互竞争和协同）的产物，不是外部强加于系统的；

（3）序参量起着支配或役使系统子系统的作用，主宰着系统整体演化过程；[18]

（4）序参量具备相对稳定性。

京津冀高等职业教育协同从无序到有序的关键在于系统内部序参量的协同作用，职业教育的协同发展可能受到多个序参量的支配，从经济学投入产出视角，只有找到这些序参量并有针对性地进行控制，才能减少京津冀职业教育协同发展进程中的内耗，提高协同效率。本文认为，职业教育协同是职业教育发展过程中，参与职业教育的各主体为提高职业教育效率，通过相互协作、教育教学资源共享等以实现职业教育从专业设置、招生、教育教学到学生就业等各个教育环节的无缝对接，进而达到提高人才培养质量和服务区域发展能力、降低教育投入成本的过程。京津冀职业教育协同序参量即为决定京津冀职业教育质量从低到高的关键因素，特别需要指出的是，虽然可能存在多个序参量，他们之间相互竞争、相互合作，但在某一时刻只存在一个序参量居于主导地位。因此，通过控制序参量即可有效降低京津冀高等职业教育协同过程的复杂性。

（三）京津冀高等职业教育协同状态参量体系

区域职业教育协同发展本质上是为了实现教育资源优化配置、保障资源利用最大效益、促进区域职业教育高质量发展。[19]因此，本文依据经济学投入产出模型建立京津冀高等职业教育协同状态参量体系。教育投入指标一般集中于人力、物力、财力等，产出指标主要包括人才培养、科技研发、社会服务等，由此构建京津冀高等职业教育协同系统投入产出模型（图1）。京津冀高等职业教育人、物、财的投入经过政策、网络、要素等三个维度的协同，使得资源得以有效利用，实现最优配置效率，促进三地高职院校整体发展。政策维协同主要指通过国家层面、京津冀三地地方层面以及职业教育实施主体微观层面制定完善的政策体系，打破行政壁垒、提高内部驱动力、健全协同机制等，为职业教育协同提供政策保障。网络维协同主要指参与职业教育的行动者——教育行政部门、其他政府机构、学校、行业企业、职教集团、教师以及家庭、学生等，构建多元主体共同参与的多层次、多部门复杂互动的教育网络，使各行动者之间形成稳定的协作模式。通过构筑京津冀高等职业教育网络治理主体系统，实现能量、物质、信息等要素的交换，即实现要素维协同。要素维协同即教育教学资源、学生等要素的区域合理流动。根据模型可知，京津冀高等职业教育协同发展受投入和转换系统的影响。

三、研究方法

（一）研究设计

根据京津冀职业教育协同序参量内涵可知，

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

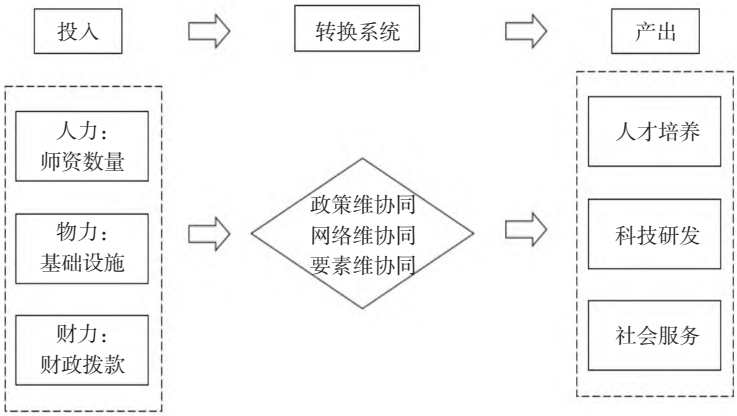


图1　京津冀高等职业教育协同系统投入产出模型

序参量是制约京津冀职业教育协同的关键参量，即基于序参量研究京津冀职业教育协同符合必要性逻辑，可通过必要条件分析法（NCA）对京津冀职业教育协同系统投入产出状态参量进行分析，进而识别系统的序参量。

NCA方法是一门新兴的研究方法，由荷兰管理学学者扬·杜尔（Jan Dul）开发，该方法使用必要性逻辑来确定在实践中必须满足的单个条件，即必要条件缺失，预期的结果就不会产生。NCA可以进行“类别型”“程度型”必要条件分析，即分析条件X是否为结果Y的必要条件、以及分析X某水平可以限制Y某水平。NCA使用散点图中的空白区和效应量（d）测量必要条件，横轴X表示必要条件，纵轴Y表示结果，如果X的增加是Y增加的必要条件，说明X可以限制Y，表现为散点图左上方存在空白区，是否存在空白区以及空白区所占的面积，可以测量X对Y的限制程度。NCA用效应量（d）表示必要条件对结果的限制能力，杜尔给出了d的经验基准，0<d<0.1属于较低效应，0.1≤d<0.3属于中等效应，0.3≤d<0.5属于较高效应，d≥0.5属于极高效应，一些研究人员使用d=0.1这一阈值作为接受或拒绝必要条件假设的标准。[20]在计算出效应值后，还需要对必要条件进行假设检验，评估效应量的统计显著性（p）。[21]只有同时满足以下三个条件，才能宣称存在必要条件：

（1）假设所表达的必要条件有理论支持；

（2）d大于选定的阈值（0.1）；

（3）检验效应量不是由不相关变量随机产生的，即效应量的p值小于选定的阈值（0.05）。[22]

（二）状态参量选取与数据来源

根据京津冀高等职业教育协同系统投入产出模型，选取投入指标：人力、物力、财力；产出指标：人才培养、科技研发、社会服务；转换系统指标：政策维协同、网络维协同、要素维协同。本文综合参照何景师[23]及宋亚峰等[24]关于高等职业教育投入及产出指标测度指标，设定相关指标测度；参照李雪伟等[25]京津冀政策协同评估体系，综合考虑京津冀高等职业教育政策指标评价数据的可获取性及影响权重，选取政策主体协同及政策措施协同两个指标进行测度，即考察各级政府、主体等对政策协同的重视程度及其制定的具体措施是否具体、得当；参照社会网络分析概念，使用网络规模和网络密度衡量三地职业教育合作网络结构。网络规模指以某一主体为主导构筑的职业教育网络中包含的所有行动者的数目，[26]网络规模在一定程度上反映了网络中存在的各种资源和资源交换频次的程度。一般而言，网络规模越大表明该网络中行动者数量越多，存在的各种教育资源就越丰富，资源的交换的频率就越密集。要素协同主要通过专业建设、学生培养及资源三个方面的协同程度进行测度。由此建构京津冀职业教育协同系统测度指标。利用德尔菲法（Delphi）确定每个指标具体测度的权重，并通过spss27分别计算各指标测度权重专家打分的肯德尔协调系数W，并对其进行卡方检验。

1.京津冀职业教育协同系统测度指标权重确定

本研究向京津冀部分高职院校负责服务国家战略部门主要负责人发放调查问卷，发出问卷30份，收回有效问卷24份。每个指标权重总分为1，经过三轮专家打分，对各指标测度权重进行赋分，三轮专家打分的肯德尔协调系数分别为0.806，0.894和0.951，表明第三轮专家结果

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1　京津冀职业教育协同系统测度指标

	指标与编码	指标测度	数据来源	权重
投入指标	人力	生师比	各院校《高等职业教育质量年度报告》相关指标数据	0.57
		双师素质专任教师比例(%)		0.22
		高级专业技术职务专任教师比例(%)		0.21
	物力	生均教学科研仪器设备值(元/生)		1
	财力	年生均财政拨款水平(元)		1
转换指标	政策协同	政策主体协同:政策文本数量×政策主体标准加权值(详见量化标准)	教育部、三地政府、教育局(教委)发布的文件;各院校《高等职业教育质量年度报告》中关于学校制定的相关文件描述	0.52
		政策措施协同:项目数量×政策措施标准加权值(详见量化标准)		0.48
	网络协同	网络规模	各院校《高等职业教育质量年度报告》中关于协作主体的描述	1
	要素协同	专业建设协同(详见量化标准)	各院校《高等职业教育质量年度报告》中相关表述	0.38
		学生培养协同(详见量化标准)		0.17
		教育资源协同:师资、设备及课程资源		0.45
产出指标	人才培养	毕业生人数(人)	各院校《高等职业教育质量年度报告》相关指标数据	0.23
	科技研发	横向技术服务到款额(万元)		0.26
		知识产权项目数(个)		0.12
	社会服务	非学历培训到账金额(万元)		0.28
		技术转让合同金额(万元)		0.11

具有较大的一致性。对三轮专家结果分别进行卡方检验,p值均小于0.01,具有统计学意义,最终权重见表1。

2.数据来源及量化

NCA对样本规模要求不高,可对少量案例(10~20个样本)以及大规模案例进行计算。由于本研究所聚焦的问题在职业教育协同,状态参量投入及产出测度指标数据主要源于高等职业教育质量年度报告。依据京津冀职业教育协同定义,本研究以近五年(2018—2022年)职业教育发展指标作为计算依据,以各省市公办高职院校个体为样本(共73所院校,其中,北京市13所,天津市19所,河北省41所),以产出指标增值作为协同的判定标准,即产出增值代表职业教育达到提高人才培养质量和服务区域发展能力的目标。因此,研究通过计算对比2018年与2022年产出指标数值,剔除负增长的院校数据,最终选取北京财贸职业学院等54所公办院校为研究对象。

投入指标分别考察人力投入水平、物力投入水平、财力投入水平对职业教育产出的限制作用,以2022年职业教育数据进行计算。转换指标为非量化指标,为了便于量化计算,根据李雪伟等主要观点以及各院校质量年报中相关措施和做法,整理研制了量化标准,见表2。研究通过收集近五年各院校质量年度报告中对政策制定、合作办学、学生联合培养、服务京津冀发展、资源建设、平台搭建等定性描述内容,以及近五年教育部、三地政府、教育局(教委)发布的有关京津冀职业教育协同文件,依据指标量化标准进行打分。研究共收集政策定性描述135条,资源定性描述131条,专业建设定性描述78条,人才培养定性描述197条,平台搭建定性描述354条。

四、实证分析

(一)必要条件分析

采用RStudio软件的NCA包对人力投入水平、物力投入水平、财力投入水平、政策维协同程度、网络维协同程度以及要素维协同程度等6个状态参量与职业教育产出的关系进行必要条件分析,采用上限包络—自由处置式(CE-FDH)技术进行计算。研究对京津冀54所院校的6个

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2　相关指标量化标准

指标测度	指标得分	评分标准
政策主体	5	省(市)级人民政府
	4	省(市)级教育主管部门及各厅(局)
	3	县(区)级人民政府
	2	县(区)级教育主管部门及各处室
	1	校级
政策措施	5	设有专门针对职业教育协同发展的建设任务或项目,内容具体实际,有操作性;建设内容涉及同其他省市职业教育主体开展合作及具体的建设内容;有具体的实施路径和保障措施,包括体制机制建设、政策支持、人才支撑、资金支持、任务考核支持等;相关内容单设章节,论述清晰
	3	制定了促进职业教育协同发展的重点任务和建设项目,但未展开具体论述;以对自身发展任务的规划为主,较少提及同其他省市职业教育主体的合作;鲜有专门的保障措施;相关内容分散于各个章节之中
	1	仅有“要实施京津冀协同发展任务”或“以京津冀协同发展为指导,开展某项活动”等表面性表述,无实质项目;重点任务多为平台建设、机制建设等;没有专门的保障措施
专业建设协同	5	建立专业协同机制,实施专业“结对子”、专业共建等协同形式,共同制定专业人才培养方案,共同制定培养标准、课程标准等;连续举办专业建设研讨会等活动
	3	制定了专业协同机制,但专业协同形式不明确;举办学术交流、专业研讨会等活动,但规模、影响力、辐射范围较小
	1	仅以参加学术交流、专业研讨会等活动作为专业建设协同的主要形式
学生培养协同	5	实施教育部、三地教育主管部门等制定的人才培养项目,与其他省市职业教育主体合作开展办学,实施学生分段培养、一贯制培养、学徒制等模式,探索学分互认;实施京津冀协同招生改革
	3	签订了学生培养等合作项目协议,或上级文件中明确指出了学生协同培养项目,推进了学生培养项目,但执行成效和进度较慢
	1	上级文件中明确指出了学生协同培养项目,但未具体落实;仅以交换生、联合技能竞赛等模式探索实施学生协同培养
教育资源协同	5	跨省市建立教师团队协作共同体,协同开展教学研究和科学研究;建立师资培训基地,面向京津冀院校开展师资培训等;整合不同主体资源,建设教学资源库,面向京津冀职业院校开放共享,资源量和辐射面较大;京津冀职业院校专业实训设施设备共建共享
	3	建立教师团队协作共同体,但以本省市职业院校协同为主;面向京津冀院校开展师资培训规模较小;教学资源库的资源量和京津冀辐射面较小;专业实训设施设备主要面向本省市职业院校共建共享
	1	教育资源协同主要以师资交流及培训的形式体现

注:从政策措施开始,未给出的4分和2分的量化标准介于5分、3分和1分量化标准中间值,如一项也未涉及的赋0分,多项目累加计算。

状态参量分别进行计算,计算结果如图2所示,各散点图中上限包络线外左上角均存在空白空间,但除人力投入水平外,其余空白空间面积均不大。这是由于京津冀职业教育存在发展基础上的地域差异,如北京市高职院校普遍存在生均财政拨款6万元以上,而人才培养产出普遍在1 000人左右;河北省高职院校普遍存在生均财政拨款1万元左右,而人才培养产出普遍在3 000人以上。因此,为消除职业教育发展基础对职业教育协同程度的影响,研究采用省市间横向数据分析,对北京市、天津市以及河北省的相关数据分别进行NCA分析,同样采用CE-FDH计算,得出的结果见表3。

分省市进行必要条件计算可知,北京市6个状态参量的效应量(d)均大于0.1,天津市要素维协同参量必要性效应不显著(d<0.1),河北省政策维协同以及网络维协同必要性效应不显著(d<0.1)。为检验效应量的统计显著性(p),研究使用近似置换创建10 000次随机重复采样进行必要性计算检验。经过计算,北京市物力投入水平、天津市财力投入水平p值大于0.05,不具有统计显著性。由此可知,在京津冀职业教育协同发展进程中,人力投入水平是其必要条件,且人力投入水平对天津市及河北省职业教育质

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

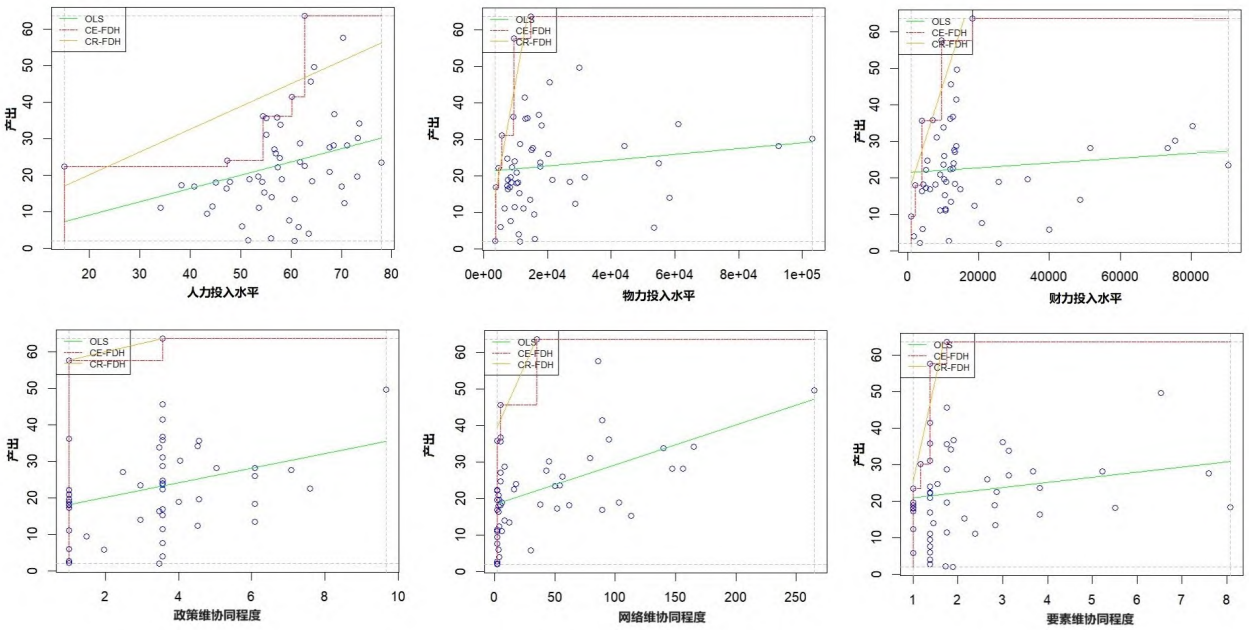


图2　京津冀职业教育协同必要性分析散点图

表3　分省市必要条件计算结果(CE-FDH算法)

	符号	北京		天津		河北	
		d	p	d	p	d	p
人力投入水平	HR	0.37	0.043	0.58	0.017	0.54	0.007
物力投入水平	MR	0.19	0.151	0.45	0.003	0.24	0.057
财力投入水平	FR	0.34	0.008	0.28	0.089	0.30	0.027
政策维协同	PC	0.29	0.031	0.40	0.022	0.07	——
网络维协同	NC	0.24	0.008	0.41	0.001	0.09	——
要素维协同	EC	0.14	0.019	0.05	——	0.16	0.009

量影响极高(d>0.5);物力投入水平仅限制天津市及河北省的职业教育发展,并对天津市影响较大;财力投入水平仅对北京市及河北省具有中等水平影响;政策维协同及网络维协同对北京市和天津市职业教育发展具有限制作用,且对天津市的影响更大;要素维协同是北京市和河北省职业教育协同发展的必要条件。根据结果可知,当前,北京市职业教育协同发展的序参量为人力、财力、政策、网络、要素;天津市职业教育协同发展的序参量为人力、物力、政策、网络;河北省职业教育协同发展的序参量为人力、物力、财力、要素。

(二)瓶颈分析

为了进一步分析上述序参量对职业教育协同发展影响的程度,本研究采用CE-FDH计算,得出序参量控制和结果控制的必要条件瓶颈表,见表4所示。表4的瓶颈表展示了X水平的序参量对Y水平的职业教育质量(产出)是必要的。通过数据可知,当职业教育产出水平低于20%时,只有河北省需要控制财力投入水平不低于15.3%。要想实现40%的职业教育产出水平,北京市需要满足人力投入水平达到28.6%,天津市需要同时满足人力投入达到67.3%、物力投入达到32.9%、政策维协同达到17.1%、网络维协同程度达到1.1%;而河北省则需要同时满足人力投入达到71.3%、物力投入达到11.9%、财力投入达到15.3%、要素维协同程度达到19%。纵向对比看,对于投入要素而言,同样达到40%的产出,河北省比天津市和北京市在人力水平中要投入更多,天津市比河北省在物力水平中要投入更多;此外,河北省还需要在财力水平中加大投入。对于转换过程而言,天津市则需要更加关注政策制定、网络构建,河北省则需要更加关注与其他省市之间的教育资源要素协同。

然而,京津冀职业教育产出水平并不均衡(图3),尤其河北省职业院校"贫富"差距极大;北京市及天津市高职院校产出基本呈正态分布,大部分高职院校产出在30%~50%之间。由此,依托瓶颈表可以得出,现阶段北京应重点关

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4　瓶颈表

产出%	人力投入水平%	物力投入水平%	财力投入水平%	政策维协同%	网络维协同%	要素维协同%	省份
0	NN	——	NN	NN	NN	NN	北京
	NN	NN	——	NN	NN	——	天津
	NN	NN	NN	——	——	NN	河北
10	NN	——	NN	NN	NN	NN	北京
	NN	NN	——	NN	——	——	天津
	NN	NN	NN	——	——	NN	河北
20	NN	——	NN	NN	NN	NN	北京
	NN	NN	——	NN	NN	——	天津
	NN	NN	15.3	——	——	NN	河北
30	9.4	——	NN	NN	NN	NN	北京
	33.0	NN	——	NN	0.4	——	天津
	NN	6.7	NN	——	——	19.0	河北
40	28.6	——	NN	NN	NN	NN	北京
	67.3	32.9	——	17.1	1.1	——	天津
	71.3	11.9	15.3	——	——	19.0	河北
50	56.6	——	45.8	38.6	25.5	NN	北京
	67.3	32.9	——	17.1	31.3	——	天津
	71.3	33.8	15.3	——	——	19.0	河北
60	56.6	——	45.8	38.6	38.6	NN	北京
	71.1	32.9	——	17.1	31.3	——	天津
	81.8	34.4	43.0	——	——	19.0	河北
70	56.6	——	45.8	59.8	45.7	4.0	北京
	91.0	56.5	——	40.3	56.9	——	天津
	86.4	34.4	43.0	——	——	19.0	河北
80	78.6	——	79.0	59.8	45.7	4.0	北京
	91.0	70.2	——	100.0	100.0	——	天津
	86.4	34.4	43.0	——	——	19.0	河北
90	79.4	——	85.8	69.3	100.0	20.1	北京
	91.0	79.5	——	100.0	100.0	——	天津
	86.4	34.4	43.0	——	——	19.0	河北
100	79.4	——	85.8	69.3	100.0	20.1	北京
	91.0	100.0	——	100.0	100.0	——	天津
	86.4	65.5	87.1	——	——	38.0	河北

注：NN=不必要，表中的数值均为百分比。

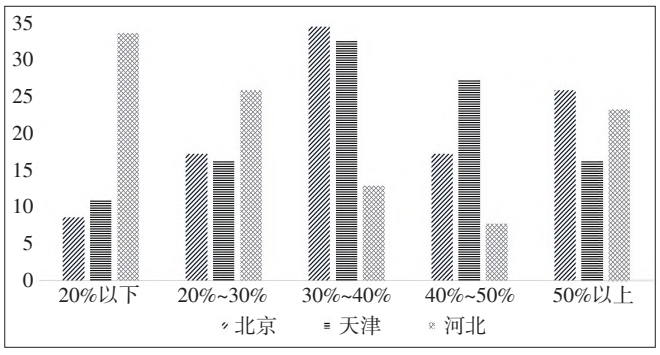


图3　京津冀职业院校产出程度分布比例

注：数据源自各省市公办院校2023质量年度报告。

注提升30%产出水平院校师资发展能力，如北京社会管理职业学院、北京卫生职业学院等，此类高职院校应重点改善生师比、提高教师职业能力水平，以期实现北京市职业教育“正态分布”布局整体右移；天津应重点培育高水平职业院校，如天津海运职业学院、天津机电职业技术学院等，提高高水平职业院校比例，在政策层面，从宏观设计中增加院校协同的项目支持，构筑三地职业教育协同网络，强化师资能力建设及教学硬件设施建设，此类高职院校应重点关注师资发展水平，并适时建立与其他省市职业院校的协同机制，在专业建设、资源共建共享、师资培养等方面开展交流与合作。河北省应加大对产出水平低于30%的院校予以财政资金支持，如保定电力职业技术学院、河北劳动关系职业学院等，此类高职院校应重点建设教学科研仪器设备以及优质教育教学资源，以期提升河北省整体职业教育水平。

五、研究结论与讨论

（一）研究结论

本研究基于协同学序参量概念，以京津冀近五年职业教育产出提升的高职院校作为研究对象，依据投入产出模型，采用必要条件分析（NCA）的方法，探讨了人、物、财等投入与政策、网络、要素等转换过程对职业教育协同发展的复杂影响，本研究可得出如下结论。

第一，投入指标中，仅人力投入水平是京津冀三地职业教育共同的序参量，且处于较高影响水平。必要条件分析结果表明，人力投入水平对三省市职业教育发展的影响程度均属于较高水平，对天津市和河北省的影响更是达到了极高水平。从三地现有职业教育师资水平看（表5），目前天津市亟需在教师数量上予以重点投入，河北省亟需在教师能力上予以重点投入。依据瓶颈表可以推算出，40%职业教育产出水平下，北京市现有生师数量及水平可容许增加生源15 440人；天津在现有师资能力不变的情况下，需满足生师比

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表5　京津冀职业教育师资关键指标

	生师比	双师素质专任教师比例(%)	高级专业技术职务专任教师比例(%)
北京	15.9∶1	68.7	41.7
天津	20.69∶1	58.52	37.34
河北	17.88∶1	53.66	32.25

注:数据源自北京、天津、河北省(市)级2023高等职业教育质量年度报告。

14.3∶1;河北省在现有师资数量不变情况下,需满足双师素质专任教师比例75%,高级专业技术职务专任教师比例48%。物力投入水平仅为天津市和河北省的序参量,且对天津市的影响更高。财力投入水平仅为北京市和河北省的序参量,且均属于较高水平。

第二,北京市与天津市更需要注重转换指标的投入。政策制定、网络构建均为北京市及天津市的序参量,且对天津市的影响处于较高水平;河北省则仅受要素协同的影响,且其影响属于中等水平。

其一,政策制定方面,该指标不是河北省的必要条件,说明在该方面北京市和天津市还需持续完善政策工具运用。结合韩琼玉等有关京津冀政策文本的分析结论,北京市对人才培养、资源整合等方面的政策工具运用较多,但在资金投入、金融支持等方面的政策工具稍显不足;天津市现有政策更注重对职业教育环境稳定性的创设,对资源整合、优化结构、资金投入等方面政策工具运用较少。[27]而资金投入、金融支持与财政投入密不可分,资源整合与网络的构建密不可分。必要条件分析结果显示,财政投入是北京职业教育的序参量,网络构建对天津职业教育影响较大,因此,北京市和天津市应分别注重相应的政策供给。

其二,网络构建仅影响北京、天津两地,本文通过实证数据分析发现,京津冀三地职业教育网络的构建以北京和天津发起京津冀职业教育联盟、集团、协作共同体为主,河北省职业院校以参与跨省网络构建为主,而其作为主体发起构建的网络集中在本省内。如北京财贸发起成立了京津冀会计职业教育协同发展中心,构筑了京津冀54家高职院校组成的会计职业教育协同发展网络;天津职业大学发起成立了京津冀双高建设联盟,组建了京津冀24家“双高”院校编织的职业教育协同发展网络;石家庄信息工程职业学院组建了河北省数字经济职业教育集团、石家庄邮电职业技术学院组建了河北省电子商务职业教育集团等。必要条件分析表明,网络协同并不是河北省高职院校职业教育发展的必要条件,这说明了,河北省职业院校仅需积极参加由北京、天津高职院校发起的网络即可,无需在组建各类联盟、集团等跨省市职业教育网络中过多投入。这也说明河北省职业教育发展得益于北京、天津政策制定和网络构建,使得北京、天津的优质职业教育资源能够有效转换为提升自身发展的“营养”。

其三,要素协同方面,异于平常认知,师资、优质教学资源、实训资源等除了对河北省职业教育有中等水平影响外,亦对北京职业教育有着同样的影响。依据实证数据,要素协同对北京职业教育的影响主要体现在人才培养产出方面,这得益于跨省市优质生源资源的转换,如北京财贸职业学院与河北省大厂县职业技术教育中心开展的跨省市“3+2”联合培养,北京工业职业技术学院的京津冀跨省市高职单独招生改革等。

其四,不同水平高职院校的主导序参量不同,需要三地职业教育予以分类统筹。鉴于各省职业教育发展基础,一味地增加财政投入并不能有效提高职业教育水平。瓶颈分析结果表明,北京市需加强中部职业院校发展能力提升,此类院校主导序参量为人力投入,即加强师资水平建设;天津市需加强顶部职业院校发展能力提升,对比瓶颈表中40%及50%产出水平数据可见,此类型职业院校主导序参量为网络维协同,即广泛构建职业教育协作网络,扩大网络规模,提高网络密度,依托网络构建,整合优质教育教学资源;河北省需加强底部职业院校发

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

展能力提升，对于发展水平较为缓慢的职业院校，其主导序参量为财政投入，此类院校仅需以15.3%的财政投入水平即可得到明显提升，按比例折合年生均财政拨款水平约为18 360元。

（二）研究贡献

本文以寻求降低京津冀职业教育协同发展实践中的复杂性、提高职业教育协同效率为使命，可能的贡献如下：第一，将协同学序参量概念应用到职业教育研究中，为职业教育协同发展开辟了新的研究视角。界定了京津冀职业教育协同发展的概念内涵，明晰了影响京津冀职业教育协同发展的状态参量，并通过实证研究进一步判定了影响京津冀职业教育协同发展的关键状态参量——序参量。第二，利用必要条件分析法（NCA）判定序参量，已有研究通过信息论中信息熵理论进行模型构建及计算，模型较为复杂，且信息熵对数据噪声的敏感性影响较大。本文基于序参量的内涵剖析，其判定逻辑符合必要性逻辑，探索利用NCA方法甄别序参量，丰富和完善了序参量的计算方法。第三，推进了京津冀职业教育的实证研究，已有研究对京津冀高等职业教育协同发展的宏观政策层面较多，基于院校间微观层面的实证研究较少，本文基于实证研究，提出了降低复杂性的可行性路径。

（三）不足与展望

第一，本研究判定职业教育协同发展的依据是，通过对比各院校2022年与2018年职业教育产出水平，如产出有增值即判定为协同。研究采用2018年与2022年的面板数据，数据来源于各院校2019、2023质量年度报告，但由于2023质量年度报告中指标统计口径与2019质量年报发生部分改变，如生师比由原来的学校填报改为平台引用，年财政专项拨款从原年生均财政拨款水平剥离并单独统计，数据统计口径的不一致可能会带来计算误差。未来质量年报数据指标统计口径稳定后，可进一步计算验证。第二，本文构建的京津冀职业教育协同系统测度指标体系以及量化标准主要基于已有学者的研究观点，其精细化程度还有提升空间。第三，本文对近五年各高职院校质量年报中相关定性描述进行收集和统计，一是由于政策和网络构建的长期有效性，可能存在五年前的政策持续发挥作用而未写在质量年度报告中，而造成的数据遗漏；二是在数据从收集、整理、汇总、赋分的诸多环节中，无法完全避免可能出现的误差和主观赋分偏差，后续研究中可在量化赋分环节予以改善。第四，影响京津冀职业教育协同发展的各状态参量间具有相关性，如财力投入可能用于设备设施改善、师资建设、网络构建等，本文仅判定了序参量，并未考虑不同状态参量之间的互动关系，未能揭示多种状态参量之间可能产生的联合效应，后续研究中可以基于组态思维进行进一步分析与讨论。

参考文献：

[1]荣利颖.京津冀一体化背景下职业教育的协同发展研究[J].首都师范大学学报（社会科学版），2016(2)：121-126.

[2]吴洪成.京津冀职业教育一体化发展的理论及实践探讨——《京津冀职业教育一体化研究》评介[J].河北大学成人教育学院学报，2020，22(4)：53-58.

[3][27]韩琼玉，李孔珍，高向杰.京津冀职业教育协同发展政策文本研究[J].职业技术教育，2021，42(18)：53-60.

[4]刘超洋.政策工具视角下京津冀职业教育协同发展政策分析[J].职业技术教育，2019，40(4)：31-37.

[5]张志新，原博，赵浩宇.京津冀职业教育校企合作政策内容分析及协同策略研究[J/OL].[2023-03-23].首都师范大学学报（社会科学版）：1-19.

[6]荣利颖，孟静怡.准公共产品区域间共享的政策基础、供需互动与机制构想——以京津冀职业教育资源共享为例[J].中国行政管理，2021(1)：91-97.

[7]马成东，刘鑫军.京津冀协同发展背景下高等职业教育微观协同范式研究[J].职业技术教育，2020，41(36)：61-66.

[8]狄建明，郭荔，张丹阳.持续推进京津冀职业教育人才培养协同发展[J].中国职业技术教育，2018(16)：45-49.

[9]曹星星.京津冀区域职业教育协调发展治理机制形成的困境及解决途径[J].天津中德应用技术大学学报，2021(3)：35-40.

[10]夏磊，张力.京津冀协同发展产教融合的职业教育探索[J].中国职业技术教育，2018(9)：17-21.

[11]侯兴蜀.京津冀职业教育协同发展实践特征与2035战略[J].职业技术教育，2021，42(6)：57-61.

[12][19]郭健，顾岩峰.我国区域高等教育协同发展：结构矛盾、肇因分析及策略选择[J].中国高教研究，2020(6)：72-78.

[13]高耀明，张继龙，王丽平.欧盟教育合作的演进及其启示

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[J].外国中小学教育，2019(11)：10-19.

[14]闫志利，王伟哲.国内外区域职业教育一体化对京津冀的启示[J].教育与职业，2015(8)：14-18.

[15]田相林.聚焦美国职业教育跨区域合作[J].教育与职业，2014(7)：106-107.

[16]刘衍，段进军，陆彩兰."十四五"时期长三角高等职业教育一体化发展的内涵、现状与路径[J].教育与职业，2022(7)：13-20.

[17]李汉卿.协同治理理论探析[J].理论月刊，2014(1)：138-142.

[18]吴彤.论协同学理论方法——自组织动力学方法及其应用[J].内蒙古社会科学(汉文版)，2000(6)：19-26.

[20][23]何景师.我国高等职业教育投入产出效率及影响因素研究[J].黑龙江高教研究，2022，40(11)：129-136.

[21]DUL J. Problematic applications of necessary condition analysis (NCA) in tourism and hospitality research[J]. Tourism Management, 2022(93): 104-116.

[22]扬·杜尔. 必要条件分析法[M].上海：格致出版社，2022：86.

[24]宋亚峰，王世斌，潘海生.高等职业教育资源区域配置效率的空间计量研究[J].高等工程教育研究，2019(1)：144-151.

[25]李雪伟，唐杰，杨胜慧.京津冀协同发展背景下的政策协同评估研究——基于省级"十三五"专项规划文本的分析[J].北京行政学院学报，2019(3)：53-59.

[26]刘盛博，刘苗苗，姜华.社会网络分析在高等教育领域研究中的应用[J].教育学术月刊，2018(12)：30-37.

An Empirical Study on the Coordinated Development of Vocational Education in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Collaborative Learning Order Parameters

——Taking Higher Vocational Education as an Example

Zhou Jingjing, Liu Bin, Zou Jiquan

[**Abstract**] The coordinated development of vocational education is an important component of the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei. Although vocational education in the three regions continues to explore effective paths for collaboration, there is still a significant gap. What key factors constrain the coordinated development of vocational education? How to reduce the complexity of vocational education collaboration? Based on the concept of collaborative learning order parameters, this paper clarifies the connotation of the collaborative development order parameters of vocational education in the Beijing-Tianjin-Hebei region, constructs a state parameter system that affects the collaboration of higher vocational education in the region, and uses the necessary condition analysis method (NCA) to empirically identify the collaborative development order parameters of vocational education in the three regions of Beijing Tianjin Hebei. By controlling the order parameters, the complexity of collaborative development of vocational education can be simplified. Research has found that the level of human resource investment is a common sequential parameter in vocational education in the Beijing-Tianjin-Hebei region, and it is at a very high level of influence. Beijing and Tianjin need to pay more attention to policy formulation and the construction of a collaborative network for vocational education. The dominant order parameters of vocational colleges vary in different provinces, cities, and levels. Beijing needs to strengthen the development capacity of vocational colleges in central China and strengthen the construction of teaching staff; Tianjin needs to enhance the development capacity of top vocational colleges and strengthen the construction of a collaborative network for vocational education; Hebei Province needs to strengthen the development capacity of vocational colleges at the bottom, with a focus on increasing financial investment. The research conclusion not only helps to understand how to effectively improve the collaborative efficiency of vocational education by controlling order parameters, but also provides decision-making basis for the governments and vocational colleges in the Beijing-Tianjin-Hebei region.

[**Keywords**] coordinated development of the Beijing-Tianjin-Hebei region; collaborative development of vocational education; order parameter; Necessary Condition Analysis (NCA); empirical research

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于学生创新实践活动的机械创新设计教学

从现实维度出发，机械设计、机械制造、机械工程等构成了一个国家的工业基础，为社会培养更富有创新意识及能力的机械专业人才，是时代赋予中国教育的重大使命。从教育实践出发，《机械创新设计与实践》既是一门高校（含普通高校与职业高校）课程，主要面向机械制造类专业大学生开设，同时也是一项“知行合一”的机械制造类专业人才培养计划，可以完全不受常规教学活动模式的限制，以灵活多样的形式展开，如“技能大赛”。高校培养人才的意义，在于为国家战略产业提供源源不断的有生力量，结合新时期国际竞争力的本质分析，机械领域的竞争本质上是创新水平，因此基于学生创新实践活动展开机械创新设计教学，是高校机械制造类专业教学发展的必经之路、教学改革的应有之义。在孙亮波、黄美发主编，孔建益主审的《机械创新设计与实践》（西安电子科技大学出版社，2020年4月第2版）一书中，作者将“技能大赛”作为机械制造类专业大学生创新实践活动的出发点和落脚点，阐明了机械创新设计教学的新方向。总览全书，具有三个显著特色。

一、注重“知行合一”，建构多维层次课程体系

《机械创新设计与实践》在第一版的基础上进行了较大改动，一方面是在结构上进行了调整，删除了相对落后的教育理念及方法，并对机械制造类专业知识进行了整合简化，从整体上更突出“机械创新设计”的主题；另一方面是增加了机械设计、机械制造、机械工程等项目案例数量，特别是收录了近年来国内机械创新设计大赛的优秀作品。但始终不变的，则是该书“知行合一”的编著思想，于开篇之际就强调学生在创新实践活动中的“主导者地位”，在“知行合一”的指导思想下，建构出多层次课程体系。

该体系由四个部分构成：首先是面向机械专业大学生的创新实践活动教学体系，包括全国大学生机器人大赛、全国工程综合能力训练赛、全国大学生“创新创业挑战赛”等一系列赛事；其次是机械专业大学生创新思维教学体系，该书基于理论知识设计了授课流程、合理安排了课时；再次是机械专业大学生创新实践实操模块课程体系，包括机械动力学、机械优化与仿真、机电控制系统等；最后则是机械创新设计事例教学体系，书中筛选了多个具有带包性的机械创新设计作品，通过解构手段理顺设计及制造思路，具有很好的借鉴性；整体上，多维层次课程体系的建立，赋予该书良好的可读性与可用性。

二、强化课外实践，建构学科竞赛培养模式

观察《机械创新设计与实践》一书的结构设计，不难发现作者非常注重课外实践教学活动。全书一共有九个章节（不含附录），其中符合“机械创新设计与实践”主题的就占六个章节，仅有前三个部分用来阐述机械创新设计理念、知识体系、专业群建设及必要的知识内容等。在六个课外实践教学部分中，最具有代表性的就是第九章“机械创新作品案例”，书中所选用的案例都来自于不同竞赛场景，这是该书所建构学科竞赛培养模式的重要表征之一。一方面，以“技能竞赛”为出发点，书中完整地阐述了如何分析设计主题、如何调查市场需求、如何整合机械技术等内容，为机械类专业大学生提供了完整的思考模式。另一方面，以“技能竞赛”为落脚点，书中详细地介绍了代表作品的设计理念、设计过程、优势与劣势、制造实现手段等，避免了学生在课外实践中眼高手低、纸上谈兵的现象；整体来看，该书通过构建学科竞赛培养模式，有力地保障了人才“手脑协同”方面的优势。

三、侧重实例解读，构建立体考核评价机制

该书侧重实例解读的特点非常明显，但解读方式存在显性解读、隐性解读两种。所谓显性解读，就是书中第九章“机械创新作品案例”部分的内容，一共为机械类专业大学生提供十个机械设计创新作品，且适用场景非常多元化，如“可变结构运输车”适用于物流场景，“智能魔方车库”适用于物业管理场景，有助于学生从中直接汲取经验、获得启迪。而隐性解读是通过第四章至第八章的一系列内容实现的，其中包括了机械系统方案创新设计理论、功能实现途径、机电控制方式、加工制作与装配，以及如何参与一场机械创新设计比赛的准备工作。隐性解读利用大量考核、评价性语言，穿插到不同的章节中，以突出不同理论、技术、经验等对创新实践活动的价值；同时，书中对如何展开日常教学评价，设计了一套合理的实施机制，包括平时进行的理论模块考核、聚焦专业知识的课内考核、开放性的课外实践考核、基于机械设计作品的项目答辩考核，与多维层次课程体系遥相呼应，具有很高的实用性。

（李建国，刘洋，天津职业大学机械工程实训中心；徐国胜，天津职业技术师范大学，工程实训中心。基金项目：教育部第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目（教师厅函[2021]29号）（编号：ZH2021020201），项目名称：新时代职业院校高端装备专业领域团队教师教育教学改革创新与实践。）

基于有限元分析耐高压试验观察装置设计

刘 洋[1],崔立军[2]
(1.天津职业大学机械工程实训中心,天津 30022;2.天津职业技术师范大学工程实训中心,天津 300410)

摘 要:耐高压试验观察装置应用于模拟深海高压受力情况,在实验室中近似模拟分析观察窗实际受力情况,提高分析的准确性。针对应用于圆锥形观察窗研究的试验用耐高压观察装置进行设计,对比球壳型和圆筒型压力装置的优缺点,选取圆筒型进行尺寸设计,基于有限单元法对结构强度进行分析;对密封装置进行设计,选取O型圈结构,利用Marc软件对O型圈进行密封分析,获得最佳密封间隙和压缩率;并对密封间隙和压缩率对O型圈应力的影响进行分析;根据设计最大加压情况,对连接装置和加压装置进行设计;对比实测观察窗主轴位移拟合值与理论分析、仿真分析结果的差异,验证装置的可靠性。结果可知:理论分析和试验结果基本一致,装置设计合理,符合强度要求,可以作为试验分析的依据;试验装置采用O型圈结构,最佳密封间隙和压缩率分别为0.043mm和10%;耐压80Mpa下的密封间隙和压缩率对于较小接触压应力和最大Von Mises应力具有积极的作用;研究内容为同类设计提供重要参考。

关键词:耐高压;试验;观察装置;密封;有限元
中图分类号:TH16;U461.8 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3997(2021)09-0222-06
DOI:10.19356/j.cnki.1001-3997.2021.09.050

Design of High Pressure Test Observation Device based on Finite Element Analysis

LIU Yang[1], CUI Li-jun[2]
(1.Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300022, China;2.Mechanical Engineering Training Center, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300410, China)

Abstract: *The high pressure test observation device is applied to simulate the force of the deep sea under high pressure. The actual stress condition of the observation window is simulated and analyzed in the laboratory, and improve the accuracy of the analysis. The design of high pressure observation device for conical observation window was presented. The advantages and disadvantages of spherical and cylindrical pressure devices were compared. The cylindrical shape for size design was selected and the structural strength based on the finite element method was analyzed. The sealing device was designed, the* O-*ring structure is selected, and the* O-*ring was analyzed by* Marc *software to obtain the best sealing clearance and compression rate. The influences of seal clearance and compression ratio on the stress of o-ring were analyzed. According to the design of maximum pressure, the connection device and pressure device are designed. The difference between the fitted value of the spindle displacement and the theoretical analysis and simulation analysis results were compared, to verify the reliability of the device. The results show that the theoretical analysis and test results are basically the same, the device design is reasonable, which meet the strength requirements, and can be used as the basis for experimental analysis. The test device adopts* O-*ring structure, and the optimal sealing gap and compression ratio are* 0.043mm *and* 10% *respectively. The small sealing gap and compression ratio under pressure* 80Mpa *have a positive effect on the small contact compressive stress and the maximum* Von Mises *stress; the research content provides an important reference for similar designs.*

Key Words: **High Pressure; Test; Observation Device; Seal; Finite Element**

1 引言

耐高压试验观察装置主要用于模拟深海试验装置受力情况,最高可以模拟7000米海水的压力作用,便于研究观察窗受海水循环压力作用时的应力、应变和疲劳及裂纹的情况[1]。该装置可有效改善目前标准试验的缺陷,可以针对具体的海水压力情况进行模拟试验,使得试验研究更能接近海试过程中观察窗的受力情况。因此对耐高压试验观察装置进行设计分析,具有重要的应用价值。

来稿日期:2020-07-21
基金项目:天津市高等学校教改项目(171006601C)
作者简介:刘 洋,(1982-),男,天津人,硕士研究生,实验师,主要研究方向:机械设计与制造、数控加工等;
崔立军,(1971-),男,天津人,本科,高级实验师,主要研究方向:数控加工、复杂零件工艺、特种材料研究

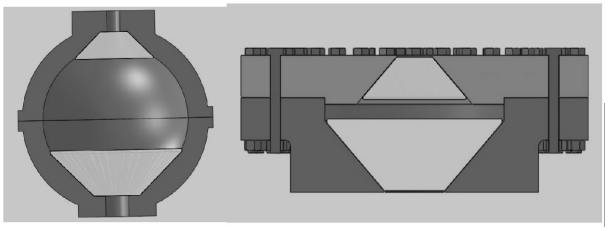
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

国内外学者对此进行了一定的研究:文献[2]研究不同的密封装置对海底耐高压观察窗的受力影响;文献[3]基于软件模拟,分析不同的参数对观察装置密封圈Von Mises应力的影响规律;文献[4]采用等效试验研究观察装置的受力情况;文献[5]采用试验方法分析密封装置在深海的受力状态,为优化设计提供参考。

针对应用于圆锥形观察窗研究的试验用耐高压观察装置进行设计,对比球壳型和圆筒型压力装置的优缺点,选取圆筒型进行尺寸设计,基于有限单元法对结构强度进行分析;对密封装置进行设计,选取O型圈结构,利用Marc软件对O型圈进行密封分析,获得最佳密封间隙和压缩率;并对密封间隙和压缩率对O型圈应力的影响进行分析;根据设计最大加压情况,对连接装置和加压装置进行设计;对比实测观察窗主轴位移拟合值与理论分析、仿真分析结果的差异,验证装置的可靠性。

2 试验装置设计

针对观察窗应用于深海设备,所受的海水压力较大,可以承受80Mpa的试验压力,要求具有良好的密封性,可以同时进行大小两种尺寸的观察窗试验[6],因此,设计球壳型和圆筒型压力装置模型,如图1所示。



(a)球壳型　　(b)圆筒型

图1 观察试验装置模型

Fig.1 Observation Window Pressure Device Model

图1(a)所示的结构可将大观察窗和小观察窗放在同一个压力容器进行试验,这样不仅可以正确模拟大小观察窗在海底受压的情况,而且避免单独对大观察窗和小观察窗进行试验,可以减少压力试验的次数,较少试验步骤。图1(b)中所示为该结构将大观察窗和小观察窗在压力装置中安放的位置,因为压力容器和大小观察窗之间充满介质。

2.1 尺寸设计

海底7000m深海压力约70MPa,为了避免安全系数重复,取设计压力为80MPa。取压力装置的内径为650mm,此时所设计容器为高压容器,所以根据强度理论,得到球壳类压力容器的壁厚为:

$$\delta = \frac{pD_i}{4[\delta]\phi - p} \tag{1}$$

式的使用范围:$p \le 0.6[\sigma]\phi$,若p=80Mpa,则壁厚结果为72.22mm。

筒状压力容器的壁厚为:

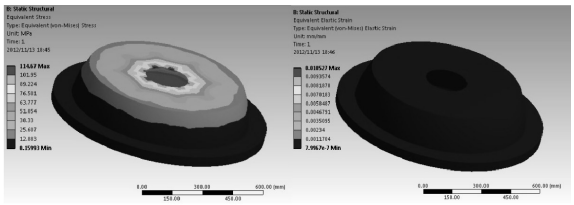
$$\delta = \frac{pD_i}{2[\delta]\phi - p} \tag{2}$$

式中:δ—容器壁厚,mm;D_i—圆筒容器内直径,mm;[δ]—材料许用应力。Φ—设计温度下材料强度减弱系数。根据计算,得到筒状压力容器的壁厚为160mm。

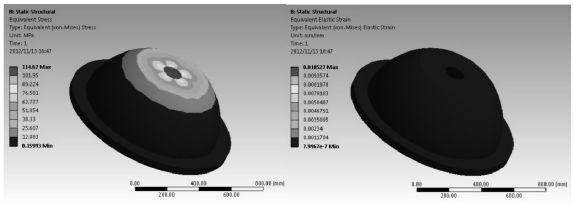
圆筒状压力容器制造较为简单,成本较低,所以本次试验采用圆筒状结构设计压力容器,在压力容器的尺寸设计上,要考虑到大观察窗和小观察窗的位置及尺寸,保证大观察窗和小观察窗合理放置[7],同时尽量减少液压油的占用空间,因为大观察窗为最大受力面,直径为634mm,则将内径设计为650mm。

2.2 有限元分析

装置主要用于测试海底7000米处观察装置所有的压力,在此深度的深海压力约70MPa,考虑到安全因素,取设计压力为80MPa,此处在受压面施加的载荷为80Mpa的压力。采用普通结构钢做压力装置的材料[8]。根据尺寸,建立壁厚为160mm、外圆直径为900mm的三维模型,对球壳型压力容器进行有限元分析。上下盖板,在7000米压力下的应力应变,如图2所示。



(a)上盖板



(b)下盖板

图2 应力和应变结算结果

Fig.2 Stress and Strain Settlement Result

根据图3有限元分析结果可知,最大应力值为114Mpa,最大应变为0.010527mm,上盖板和下盖板的危险截面均出现在底部开口位置,且整个压力装置最危险的截面出现在安装大观察窗上盖的底部。可以改善此位置的结构提高强度,保证压力装置的结构强度[9]。

压力筒的应力应变分析结果,如图3所示。

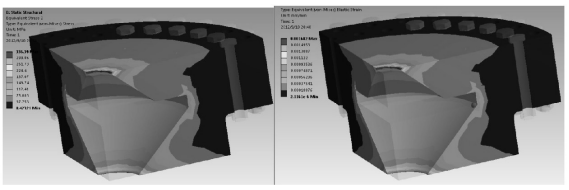


图3 压力装置的应力和应变图

Fig.3 Stress and Strain Diagram of the Pressure Device

根据图3分析结果,压力装置的最大应力值为336.39Mpa,最大应变为0.001682mm,最大应力的计算结果小于结构钢的强度极限值,因此,尺寸设计符合要求。

3 装置密封设计

为了能确保压力可以达到预计的80Mpa,压力容器的密封的设计尤为重要,它的设计直接影响到整个压力容器的压力值的大小。本试验装置采用有“密封之王”美誉的O形橡胶圈密封[10]。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

采用非线性有限元分析软件MARC对密封结构进行建模,进而分析和计算不同的结构参数对密封性能的影响,从而选择合适的参数进行优化,得到最优解。

3.1 O形圈结构参数设计

O形圈安装在沟槽和被密封面之间,截面受压缩变形使密封圈对接触面即密封面力的作用即产生反弹力,形成初始密封。

当处于预紧密封状态的O形圈受流体压力作用时,会被挤压到沟槽的一侧。流体压力越大,O形橡胶圈给密封面的压力越大,形成的自紧密封就越大。结构示意图,如图4所示。自紧密封程度取决于压缩变形量,压缩变形量则用压缩率ε来表示:

$$\varepsilon = (d_2 - H_0)/d_2 \times 100\% \quad (3)$$

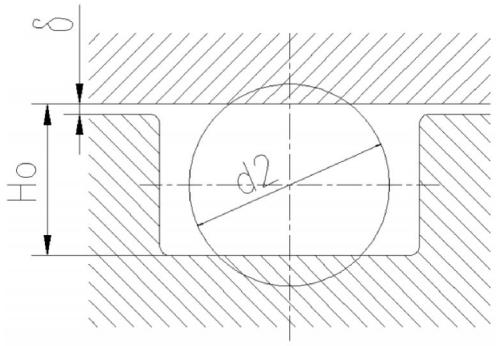


图4 结构示意图

Fig.4 Structure Diagram

式中:d_2—密封截面的直径;H_0—密封沟槽底面距密封面的高度。

形成自紧密封要满足:

$$\sigma_{max} = \sigma_{1max} + K_c p \quad (4)$$

式中:K_c—压力传递系数;σ_{max}—最大密封接触压力;σ_{1max}—最大初始接触压力;p—工作压力。

O形圈的密封圈模型的结构参数,如图5所示。

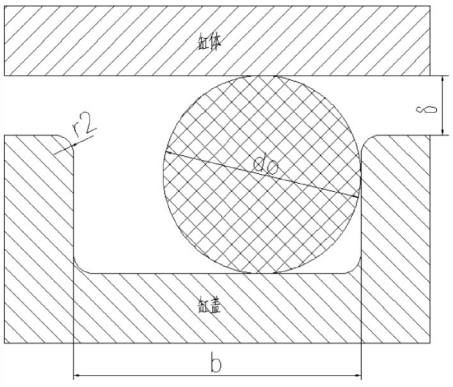


图5 O形橡胶密封圈模型结构参数

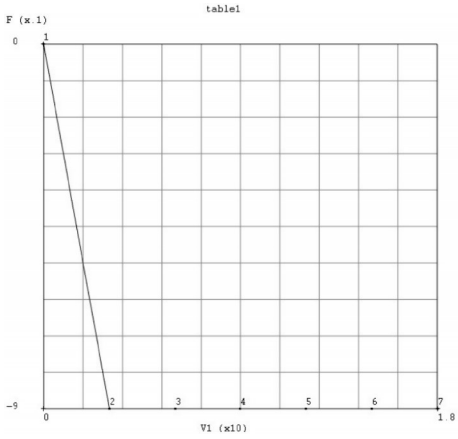
Fig.5 O-shaped Rubber Seal Model Structure Parameter

3.2 MARC有限元分析

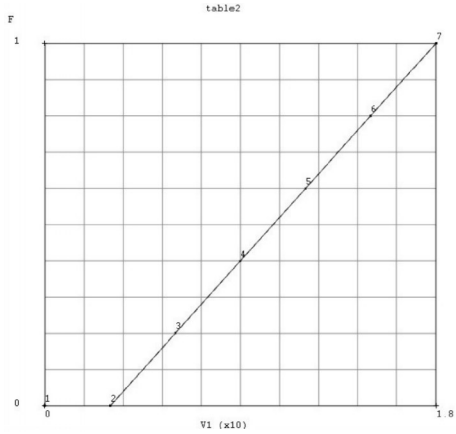
采用的O形橡胶圈为美国PARKER公司的产品,硬度为IRHD(国际橡胶硬度等级)85,为简化计算,模型采用2D平面建模。取O形圈为研究对象。由于载荷和结构的轴对称性,因而在建立有限元网络模型的时候,O形圈的压缩率为15%。将密封圈的二维图导入Marc Mentat 2010里,橡胶圆周长为18.84mm,间隙为0.1mm,网格划分应小于0.1mm,所以在橡胶圈外圆周2等分种子点,自动划分网格,网格划分结果,如图6(a)所示。



(a)网格划分



(b)位移曲线



(c)加载曲线

图6 网格划分和参数设置

Fig.6 Meshing and Parameter Setting

用图6(b)位移曲线控制。在边界条件的设置中,在橡胶圈的受压侧加载80Mpa,用图6(c)加载曲线控制加载情况。

在载荷步的定义中,定义总加载时间为18s,总子步数为180,收敛容差为0.2。密封圈采用四边形单元quad11,采用Mooney-Rivlin模型分析和计算橡胶材料的力学性能,橡胶的硬度为85,利用公式算得Rivlin的系数C_{10}和C_{01},分别为1.87和0.47,体积模量VALUE为23400。

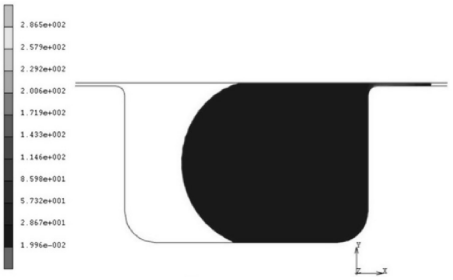
3.3 计算结果分析

运行软件得等效应力和接触压力,如图7(a)和图7(b)所示。沿主密封面的接触压力曲线,如图7(c)所示。

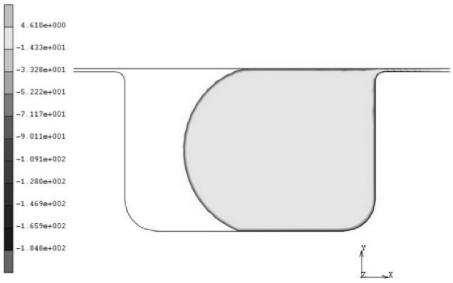
从图中得知,橡胶圈在80Mpa内压力作用下,部分被挤入间隙中。分析结果最大等效应力为286.5Mpa,最大接触压应力154.6Mpa>100Mpa,由于O形密封圈密封的必要条件是密封界面上的最大接触压应力σ_{max}不小于工作内压p,即本密封满足自紧

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

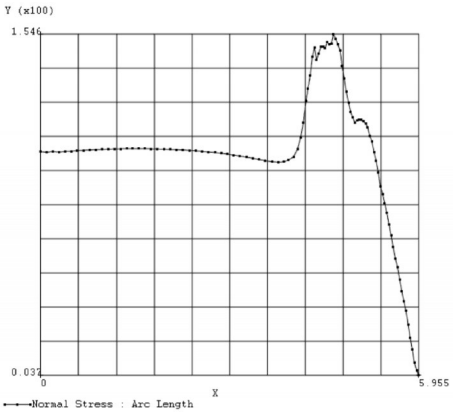
密封。



(a)等效应力



(b)接触压力



(c)压力曲线图

图7 分析结果

Fig.7 Analysis Result

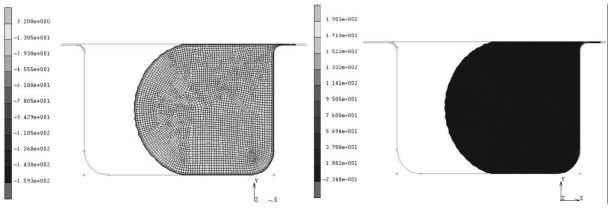
下面研究6mm直径的O型密封圈的密封间隙对于最大接触压应力和Von Mises应力的影响。槽深的数据,如表1所示。

表1 槽深的数据

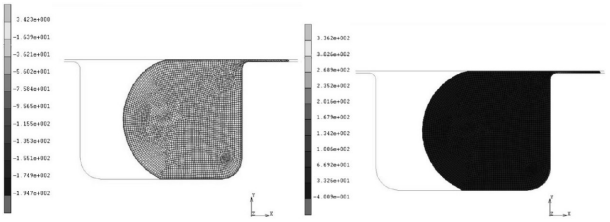
Tab.1 Data of Groove Depth

密封间隙/mm	密封槽深/mm		
	10%	15%	20%
0.0431	5.357	5.057	4.757
0.0942	5.306	5.006	4.706
0.1463	5.254	4.954	4.654

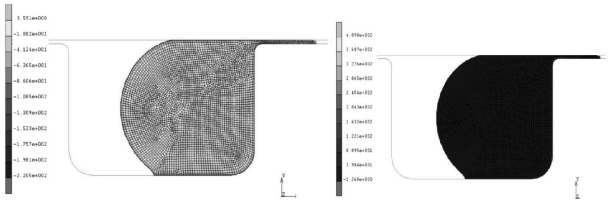
研究不同密封间隙下,80Mpa油压作用,密封圈的接触压应力和Von Mises应力的大小。根据有限元的分析,不同密封间隙的最大接触压应力和Von Misess应力的结果,如图8所示。



(a)间隙1



(b)间隙2



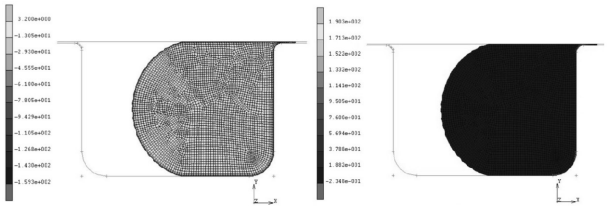
(c)间隙3

图8 不同密封间隙分析结果

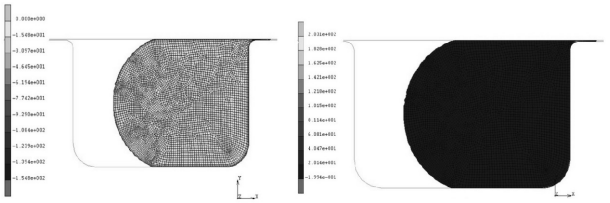
Fig.8 Different Sealing Gap Analysis Result

根据公差的大小来选定密封间隙的范围,H7的公差的密封间隙为0.043mm-0.146mm选取三个间隙进行分析。根据Marc非线性有限元分析结果显示,随着密封间隙的增大,最大接触压应力在减小,Von Mises应力在增大。一般来讲,应力值越大的区域,材料越容易产生裂纹。

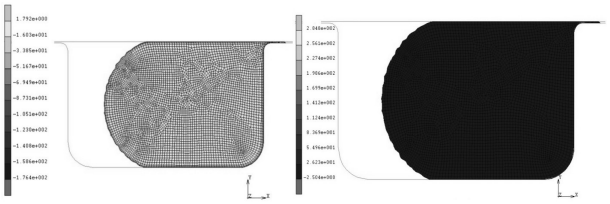
再分析压缩变形量对最大接触压应力和Von Mises应力的影响根据有限元的分结果,如图9所示。



(a)压缩率为10%



(b)压缩率为15%



(c)压缩率为20%

图9 不同压缩率分析结果

Fig.9 Different Compression Rate Analysis Result

根据Marc非线性有限元分析得,随着压缩率的增加,最大接触压应力的变化规律呈现先减小后增大的趋势,而最大Von Mises应力呈现的是先增大后减小的趋势。为了尽可能减少最大Von Mises和增大最大接触压应力的值,应该选取较小的密封间隙和压缩率。

结果显示最大接触压应力都大于80Mpa,符合自紧密封条

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

件，为了寻找密封尺寸规律，统计不同密封间隙和不同压缩率条件下其最大接触压力和最大Von Mises应力的具体数值结果，如表2所示。

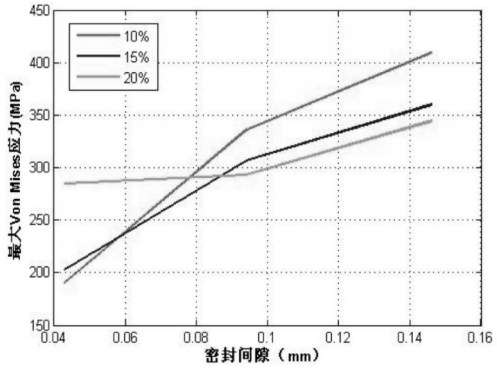
表2 不同参数分析结果

Tab.2 Analysis Result of Different Parameter

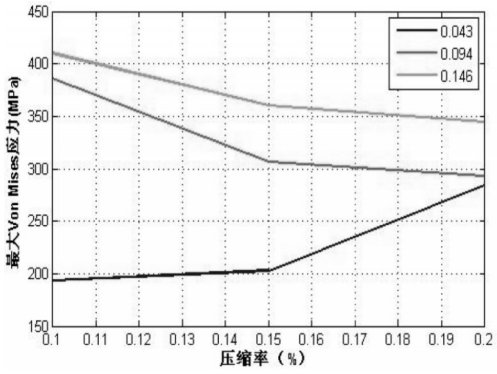
密封间隙/mm	最大/小最大接触压应力/Mpa					
	10%		15%		20%	
0.0431	1.593e2	0.013	1.301e2	0.019	1.466e2	0.085
0.0942	1.402e2	0.015	1.388e2	0.033	1.442e2	0.044
0.1463	1.374e2	0.015	1.288e2	0.009	1.344e2	0.008
	最大/小Von Mises应力/Mpa					
0.0431	1.903e2	2.348e−1	2.031e2	1.994e−1	2.849e2	2.504e−1
0.0942	3.362e2	4.009e−1	3.064e2	4.788e−1	2.932e2	1.732e−1
0.1463	4.098e2	1.268	3.599e2	5.582e−1	3.444e2	8.408e−1

运用Matlab软件得出图10所示曲线，从曲线中可看出不同压缩率的曲线趋势大致相同，密封间隙为0.043mm，压缩率为10%的Von Mises最小。

由图可知，密封间隙在公差范围0.043mm−0.146mm之间，压缩率在10%−20%之间，最大接触压应力超过80Mpa，满足自紧密封条件；随着密封间隙的增大，接触压应力呈现减小的趋势，最大Von Mises应力趋势相反；随着压缩率的增加，最大接触压应力先减小后增大，Von Mises应力是先增大后减小，说明80Mpa下，小的密封间隙和压缩率对于较小接触压应力和最大Von Mises应力具有积极的作用，可作为设计超高压压力容器的O形圈的密封尺寸设计提供参考依据；使用非线性有限元分析软件MARC进行优化，O形橡胶圈都有不同程度挤入间隙内。优化结果是：密封间隙为0.043mm，槽深为5.357mm，压缩率为10%的O形圈密封结构。



(a)最大Von Mises随密封间隙变化曲线



(b)最大Von Mises随压缩率变化曲线

图10 参数变化曲线

Fig.10 Parameter Variation Curve

4 试验分析

根据设计尺寸，采用筒状结构，对耐高压观察试验装置进行加工，为压力装置的装配图，如图11所示。

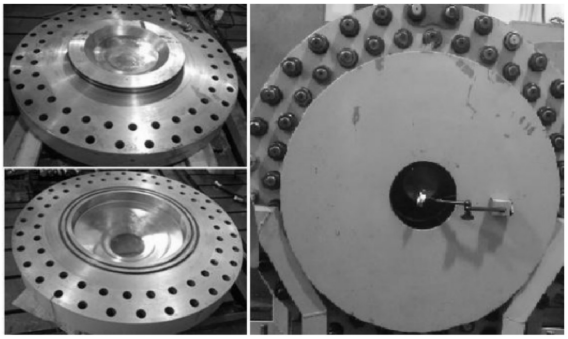


图11 试验装置

Fig.11 Test Device

试验过程中，压力由0MPa加载到80MPa，取3次加载过程的观察窗低压面中心点的轴向位移，将试验拟合值与理论值、有限元分析结果进行对比，如图12所示。

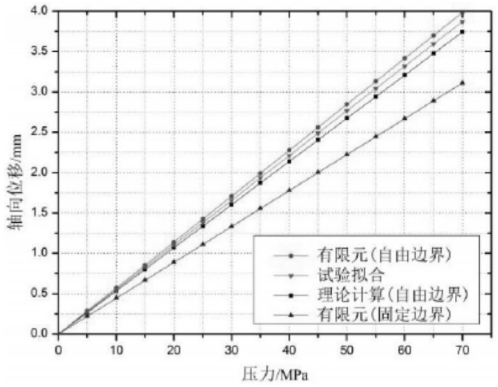


图12 轴向位移对比分析

Fig.12 Comparative Analysis of Axial Displacement

由图可知，实际轴向位移与自由边界的理论值基本一致，表明装置设计合理，由于观察窗采用有机玻璃材料，存在一定的蠕变变形，造成试验值略大于理论值。

5 结论

针对耐高压试验观察装置结构和尺寸等进行设计，并采用试验方法对装置可靠性进行分析，结果可知：

(1)用数值的方法计算压力装置的内径、壁厚等基本的尺寸，再建立相应的三维立体模型，通过有限元分析的方法对三维模型进行有限元分析，以验证压力装置尺寸的合理性，最后的计算结果符合强度要求；

(2)试验装置采用O型圈结构，密封间隙在公差范围0.043mm−0.146mm之间，压缩率在10%−20%范围内，利用Marc软件对O型圈进行密封分析，得出较为合适的密封间隙和压缩率，分别为0.043mm和10%，并得到了80Mpa下O型圈随着密封间隙和压缩率的变化其最大接触压应力和最大Von Mises应力的变化趋势，对今后选择合适的密封间隙和压缩率有一定的指导意义；

(3)采用试验、理论分析及有限元仿真对比分析观察窗主轴

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

位移,结果表明理论分析和试验结果基本一致,表明装置设计合理,可以作为试验分析的依据。

参考文献

[1] 王欢欢,曾子健.耐压结构观察窗应力分析[J].现代制造技术与装备,2016(3):93-94.
(Wang Huan-huan, Zeng Zi-jian. Stress Analysis on Deep-sea Structure's Viewport Windows [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2016(3):93-94.)

[2] Kaltenhäuser B, Kübler H, Chromik A. Low retaining force optical viewport seal[J]. Review of Scientific Instruments, 2007, 78(4):2974.

[3] Jacobs M, Oost G V, Degrieck J. Modeling and microstructural analysis of temperature effects in fused silica viewport [J]. Fusion Engineering & Design, 2011, 86(12):2831-2838.

[4] Weatherill K J, Pritchard J D, Griffin P F. A versatile and reliably reusable ultrahigh vacuum viewport [J]. Review of Scientific Instruments, 2009, 80(2):3185.

[5] Jobst M. Better Perception of 3D-Spatial Relations by Viewport Variations[C]//International Conference on Visual Information Systems: Web-based Visual Information Search & Management. 2008.

[6] 康翌婷,林景高,冯雅丽.潜水器观察窗试验压力容器密封性能分析[J].机械设计与制造,2013(11):98-101.
(Kang Yi-ting, Li Jing-gao, Feng Ya-li. Sealing Performance Analysis of Pressure Vessel for Experiments of Viewport used in Human Occupied Vehicle [J]. Machinery Design & Manufacture, 2013 (11): 98-101.)

[7] 田常录,胡勇,刘道启.深海耐压结构观察窗蠕变变形分析[J].船舶力学,2010,14(5):526-532.
(Tian Chang-lu, Hu Yong, Liu Dao-qi. Creep analysis on deep-sea structure's viewport windows [J]. Journal of Ship Mechanics, 2010, 14 (5):526-532.)

[8] 林景高,张文明,冯雅丽.基于Rayleigh-Ritz法的载人潜水器观察窗位移与应力分析[J].船舶力学,2013(6):635-644.
(Lin Jing-gao, Zhang Wen-ming, Feng Ya-li. Displacement and Stress Analysis of Viewport Used in Human Occupied Vehicle Based on Rayleigh-Ritz[J]. Journal of Ship Mechanics, 2013(6):635-644.)

[9] 岳坤,胡勇,田常录.深海潜器观察窗的应力分析方法[J].固体力学学报,2011(s1):372-375.
(Yue Kun, Hu Yong, Tian Chang-lu. Stress analysis method for observation window of deep sea submersible[J]. Acta Mechanica Solida Sinica, 2011(s1):372-375.)

[10] 喻步贤,刘俊.基于有限元模型深海潜航器观察窗受力分析[J].舰船科学技术,2017(21):65-72.
(Yu Bu-xian, Liu Jun. Mechanics analysis of deep-sea human occupied vehicle's viewports based on finite element model [J]. Ship Science and Technology, 2017(21):65-72.)

(上接第221页)

(Zhang Jun-guo, Gong Bin-bin, Wang Jian-wen. Experimental Study on Optimum Oil Supply of Oil Air Lubricated Rolling Bearing[J]. Lubrication and Sealing, 2006(10):168-170.)

[6] 王建文,巩彬彬,刘俊.滚动轴承油气润滑性能的试验研究[J].华东理工大学学报(自然科学版),2007(03):436-440.
(Wang Jian-wen, Gong Bin-bin, Liu Jun. Experimental Study on Oil Air Lubrication Performance of Rolling Bearings [J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2007(03):436-440.)

[7] Moon J, Lee H, Kim S. Lubracation Characteristics Analysis of Air-Oil Lubrication System Using Experimental Design Method [J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2013, 14(2): 289-297.

[8] A. Palmgren. Ball and Roller Bearing Engineering [M]. 3rd ed. Philadelphia, Pennsylvania: Burbank, 1959.

[9] Kannel J W Barber S A. Estimate of Surface Temperatureduring Rolling Contact[J]. Tribology Transaction, 1989, 32(3):305-310.

[10] 毛和兵.高速滚动轴承油气二相流润滑试验研究[D].南京:东南大学,2010.
(MAO He-bing. Experimental Study on Two-Phase Lubrication of Oil and Gas in High Speed Rolling Bearings[D]. Najing: Southeast University, 2010.)

[11] 王保民,傅英杰,刘鹏.高速角接触球轴承油气润滑两相流温升数值分析[J].轴承,2017(10):40-45+48.
(Wang Bao-min, Fu Ying-jie, Liu Peng. Numerical Analysis of Temperature Rise of Oil-Gas Lubrication Two Phase Flow in High Speed Angular Contact Ball Bearings [J]. Bearings, 2017(10): 40-45+48.)

[12] 常笑.油气润滑角接触球轴承热特性分析及温升预测[D].兰州理工大学,2018.
(Chang Xiao. Thermal Characteristics Analysis and Temperature Rise Prediction of Oil-Air Lubricated Angular Contact Ball Bearings [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2018.)

[13] 李松生,张刚,陈晓阳.超高速电主轴轴承的润滑条件分析[J].润滑与密封,2005,30(5):162-165.
(Li Song-sheng, Zhang Gang, Chen Xiao-yang. Lubrication Condition Analysis of Super High Speed Motorized Spindle Bearings[J]. Lubrication and Sealing, 2005, 30(5):162-165.)

[14] 邓斌,唐敬来,王国志.流固耦合影响下内啮合齿轮泵功率损失研究[J].机械设计与制造,2018(02):29-31+35.
(Deng Bin, Tang Jing-lai, Wang Guo-zhi. Study on Power Loss of Internal Gear Pump under Fluid Solid Coupling[J]. Mechanical Design Manufacture, 2018(02):29-31+35.)

[15] 万长森.滚动轴承的分析方法[M].北京:机械工业出版社,1987.
(Wan Chang-sen. Analysis Method of Rolling Bearing[M]. Beijing: Machinery Industry Press1987.)

[16] Bernd Bossmanns, Jay F Tu. A Thermal Model for High Speed Motorized Spindles [J]. Machine Tools &Manufacture, 1999 (39): 1345-1366.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2013.11.017

文章编号:1002-025X(2013)11-0048-04

计算机仿真内部裂纹研究

闫 红

(天津职业大学 机电工程与自动化学院,天津 300410)

摘要:裂纹对于构件的破坏具有很大的不确定性,有限元数值化分析方法又是不确定性研究的良好方法。随着计算机模拟技术的发展和运算速度的提高,利用有限元法仿真动态模拟焊接构件应力就成为了一种可能。借助 ANSYS 软件对构件内应力进行模拟分析,如果将 NDT 检测的内部裂纹模拟再现,再仿真加载构件所承受的载荷,那么,对于裂纹的监控、在役构件寿命估算以及对构件带伤监控运行就成为了一种可能。

关键词:焊接结构;内部裂纹;不确定性;ANSYS;数值模拟

中图分类号:TG441.7;O241.82 **文献标志码**:B

1 内部裂纹

焊接构件不可避免地会出现金属局部破裂即裂纹[1]。熔池金属凝固结晶不均匀,焊接过程温度场不均匀造成应力应变不均匀,组织应力不均匀、材料各向塑性拘束状态不一致等都会造成局部材料开裂形成裂纹。这些裂纹无疑形成了应力集中点,构成了裂纹扩展、构件疲劳断裂的起源点[2]。

内部裂纹即发生在焊缝金属内部的裂纹。根据焊接裂纹产生的时间和温度的不同,可以把裂纹分为以下几类[3]:a. 热裂纹(又称结晶裂纹);b. 冷裂纹;c. 再热裂纹。

2 内部裂纹的国内外研究

焊接结构在制造过程中必然要产生应力和变形,同时也会出现裂纹和各种缺陷。正因为这些特点,一般结构的传统设计计算方法不能保证焊接结构在使用中不发生断裂,特别是脆性断裂,为使焊接结构广泛应用于现代工业的生产,近年来对焊接结构断裂进行了大量的研究[4]。

(1) Battelle 的焊道下裂纹试验:本方法由美国 Battelle 研究所提出,用来试验钢材焊接区抗焊道下裂纹的生成能力。这种试验方法对于比较钢材的相对抗裂性虽很方便,但与实际施工条件相差较远。

(2) 窄缝形试验:此试验常用以考核焊缝根部裂纹的倾向,应用范围很广泛,日本已经将它列入工业标准。

(3) 窗形拘束试验:该方法主要用于考核多层焊焊缝中产生横向裂纹和显微裂纹的敏感性,尤其特别适用于模拟球罐焊缝横向裂纹的敏感性。

(4) 十字接头裂纹试验:此方法主要用于评定热影响区发生冷裂纹的敏感性,用于评定抗层状撕裂的能力。

(5) 插销试验:此方法由法国 Granjon 首先提出的。这种试验要在专门的插销试验机上进行,由于能够节省试验材料,试验机也比较简单,目前国内已普遍采用。

需要做多次的实际焊接试验,分析多次焊接后角焊缝处的工艺情况,才能真正了解焊缝处的性能、温度和残余应力等工艺参数的分布规律,从而了解到内部裂纹对焊接结构强度的影响。随着计算机技术和现代焊接技术的发展,采用有限元分析软件的模拟和分析这一过程可以准确地描述这一过程,从而在不浪费材料和能源的情况下,快速地得到描述该过程所有参数的分布情况和变化情况,总结出内部裂纹对焊接结构强度的影响规律。

收稿日期:2013-01-16

中国知网 https://www.cnki.net

3 ANSYS 的模拟计算与分析

具有不确定性特点的物理现象往往具有测不准、无法测，再有一些不确定因素，使得问题解决起来比较繁杂无序。数值化模拟提供了好的解决手段，焊接领域已在如下方面有所建树[5]：

（1）模拟焊接热循环；

（2）模拟熔池流态以及成形尺寸；

（3）模拟焊接熔池结晶及相变过程；

（4）模拟焊接应力应变变化过程；

（5）非均质焊接接头力学行为模拟；

（6）接头组织变化以及 HAZ 氢扩散动态模拟；

（7）断裂韧性以及裂纹扩展行为模拟。

本文主要研究钢质焊接结构件中焊缝内部裂纹对焊接结构强度的影响规律。一般运用 ANSYS 进行计算的过程分为三步： 前处理、加载计算、后处理。以下对焊接温度场、应变场和应力场的计算按这三步加以论述。

3.1 前处理

3.1.1 定义材料类型与属性

本研究方法采用耦合场矢量法。以施加瞬态温度场为“载荷”分析结构内的应力状态。模拟焊接热循环，将若干瞬态温度场联系起来便形成了动态过程温度场概念。各个瞬态温度场形成各个瞬态内应力分布状态，最终形成焊接残余应力状态。由于与热传导关联的物理参数随温度的变化并非是线性关系，而且高温状态参数较为缺乏，加上热过程有相变潜热，所以本研究在高温区段采用插值计算，相变阶段采用计算热焓的方法处理，略显不足。本文采用的钢的属性见表 1。

表 1 材料属性

温度/℃	弹性模量/GPa	切变模量/GPa	屈服强度/GPa	材料密度/(kg·m^{-3})	泊松比	传热系数/(W·m^{-1}·℃$^{-1}$)	线胀系数 ×10^{-5}/℃	比热容/(J·kg^{-1}·℃$^{-1}$)
20	193	193	1 200	8 030	0.29	16.3	1.78	502
500	150	150	933					
1 000	70	70	435					
1 500	10	10	70					
2 000	1	0.1	7					

3.1.2 建立几何模型

几何模型的形状不仅由焊接结构中焊件的形状、尺寸大小决定，还取决于加在焊件上的载荷施加的方式及热源在焊件内的传导方式。在采用移动热源条件下，对于薄板对接焊，当忽略厚度方向温度场的分布时，可将模型简化成了二维平面模型。笔者所设计建立了 3 个二维几何模型，如图 1，图 2，图 3 所示。

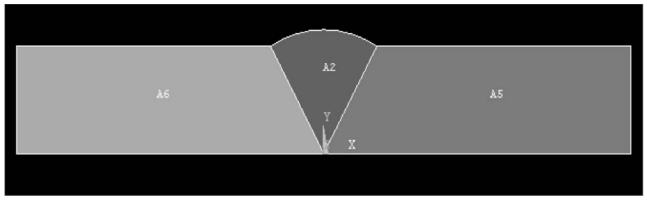


图 1 无裂纹的二维模型

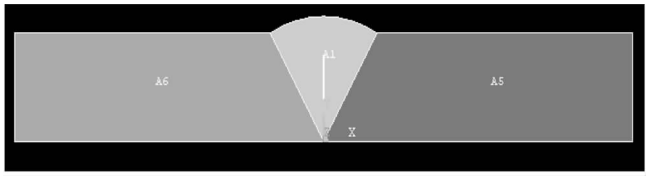


图 2 裂纹为 0.075 mm 的二维模型

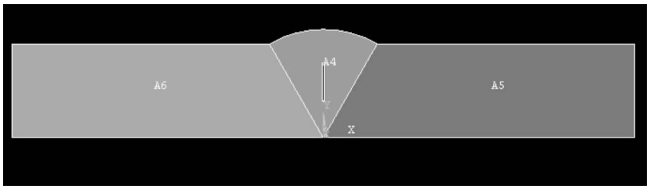


图 3 裂纹为 0.15 mm 的二维模型

3.1.3 划分网格

在进行计算机仿真过程中，划分网格这个步骤比较关键，网格划分的质量直接关系到制件分析后结果的正确性。由于这次设计涉及到应力场，为了尽量减少网格数量以节省计算时间，故采用局部细化网格的方法。应力和温度变化明显的部位、形状和边界对计算结果影响较大的部位需要在划分网格后再进一步细化其网格。划分得到的有限元模型如图 4，图 5，图 6 所示。

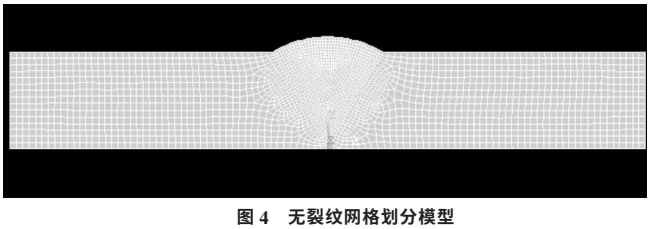


图 4 无裂纹网格划分模型

中国知网 https://www.cnki.net

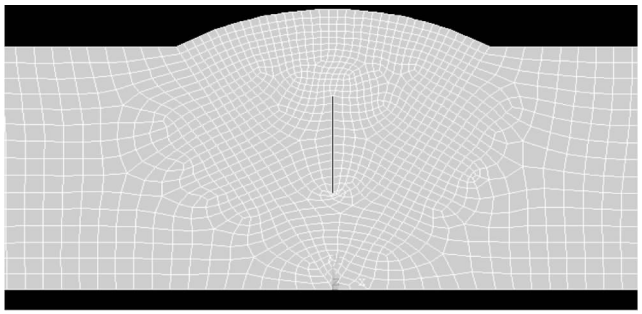


图 5　裂纹为 0.075 mm 的网格划分模型

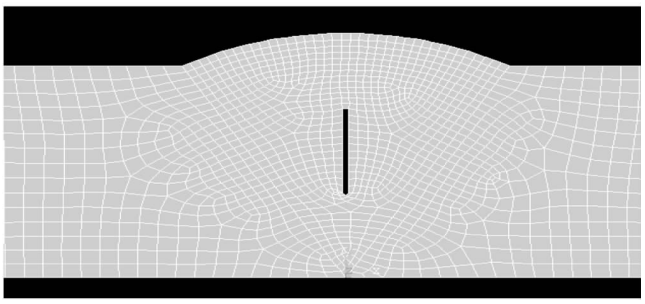


图 6　裂纹为 0.15 mm 的网格划分模型

3.2　加载计算

3.2.1　施加约束

根据设置求解选项的步骤，分别设置分析类型和求解方法，左边节点位置温度约束、位移约束；右边节点位置位移约束。本试验设定分析类型为瞬态分析，在模型的左边界施加 X 方向，Y 方向的位移约束，在模型的左右边界处施加温度 20 ℃。施加约束后如图 7 所示。有裂纹的加载模型与无裂纹的相似，在此就不再重复了。

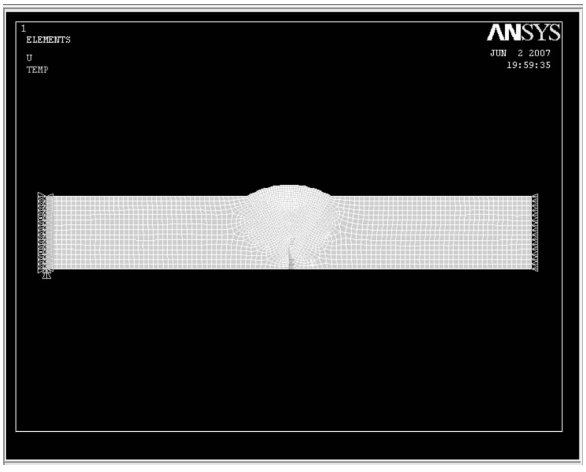


图 7　无裂纹的加载模型

3.2.2　设置载荷步

（1）设置输出选项为 Every substep。

（2）施加初始温度值为 20 ℃。

（3）根据要求设置时间积分控制。

（4）选择焊缝激活处的节点。

（5）给激活处施加温度约束（1 000 ℃）。

（6）设置时间步的选项（0.001，1）。

（7）写入第一个载荷步，用来计算初始温度场的分布。

（8）设置时间步选项（0.002，1）。

（9）写入第二个载荷步，用来计算初始零升温速度。

（10）选择两个焊缝部位的激活节点。

（11）删除一级焊缝处的温度约束。

（12）设置时间步选项（5，2）。

（13）写入第三个载荷步。

（14）激活二级焊缝处的分析单元，并选择该部位的节点。

（15）施加温度约束（1 500 ℃）。

（16）设置时间步选项（5.001，1）。

（17）写入第四个载荷步。

（18）设置时间步选项（5.002，1）。

（19）写入第五个载荷步。

（20）删除二级焊缝处的温度约束。

（21）设置时间步选项（10，2）。

（22）写入第六个载荷步。

（23）设置时间步选项（100 000，40）。

（24）写入第七个载荷步。

（25）最后执行 Main Menu/Solution/Solve/From LS File 命令求解最终结果。

3.3　后处理及结果分析

读出最后一步的结果，显示各种焊缝结果进行分析，如图 8，9，10 所示。图 8，9，10 显示了焊后焊件残余应力的分布情况，从图中可以看出，残余应力主要集中在焊缝附近的母材热影响区、母材与焊缝交界处以及焊缝区。图 8 和图 9 显示了有裂纹和无裂纹的残余应力分布情况，从图 8，9 中可以看出，有裂纹的残余应力比没裂纹的明显更集中，裂纹的存在大大降低了焊接接头的强度，并且焊缝裂纹的尖端也成为承载后的应力集中点，成为结构断裂的起源。

中国知网　https://www.cnki.net

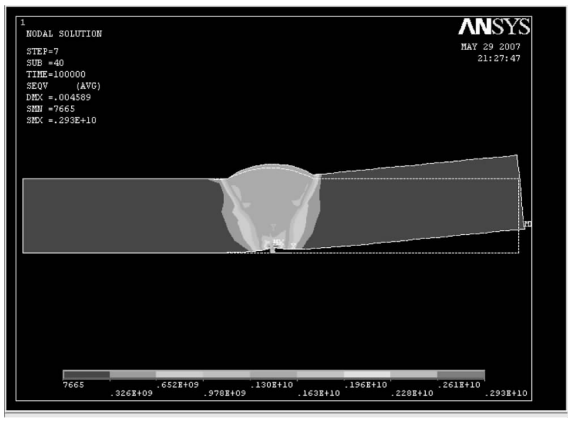


图 8 无裂纹残余应力图

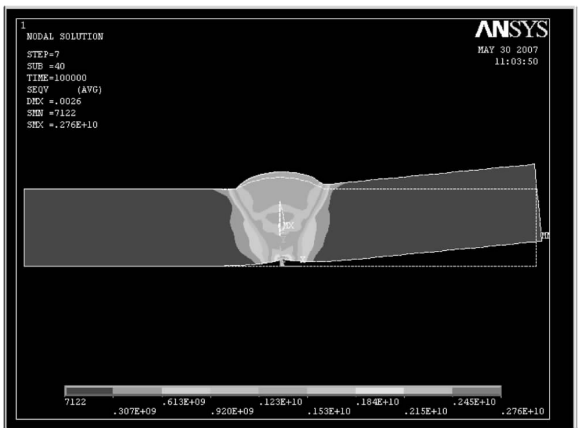


图 9 裂纹为 0.075 mm 的残余应力图

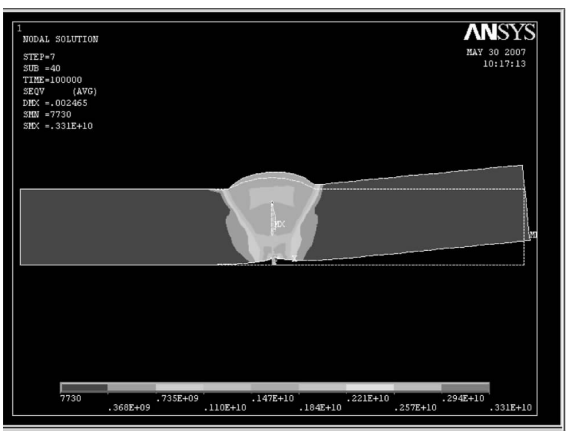


图 10 裂纹为 0.15 mm 的残余应力图

图 9 和图 10 显示了不同大小裂纹的残余应力分布情况，经观察发现，裂纹尖端半径小的地方残余应力更集中，并且裂纹尖端半径越小，残余应力越集中，这是因为裂纹尖端的半径较大时，有应力松弛现象出现，使得残余应力得到缓冲，所以残余应力比较平均，但由于松弛方向可能导致某一点的应力集中。采用计算机仿真的分析结果与传统的分析结果和理论相吻合。

为此，笔者得出了内部裂纹对焊接结构强度的影响规律：内部裂纹的存在大大降低了焊接接头的强度，并且裂纹尖端的半径越小，残余应力就越集中。这是因为裂纹尖端的半径较大时，有应力松弛现象出现，使得残余应力得到缓冲，所以残余应力比较平均，但是，由于残余应力松弛方向可能导致某一点的应力集中。焊缝裂纹的尖端也成为承载后的应力集中点，成为结构断裂的起源。分析结果与传统的分析结果和理论相吻合。

4 结语

以模拟热过程加载温度场方法对焊接结构的内应力场进行了数值计算。焊接接头内部裂纹处出现应力集中、疲劳强度降低，严重性可见一斑。随着 FEA 分析过程的细化，计算精度和计算速度的提高以及自适应技术的不断完善，计算机仿真模拟终将成为现实。

焊接热循环的仿真模拟可以为构件建立一整套的焊接残余应力档案，结合构件实际运行载荷图的模拟加载，内部残余应力与构件承受载荷叠加效应的模拟就成了可能。这样，如果将 NDT 检测出的内部裂纹加以监控，给计算机仿真系统载入裂纹扩展计算模型，对于构件的在役监控、使用寿命估算将有重大的意义。

参考文献：

[1] 田锡唐. 焊接结构[M]. 北京：机械工业出版社，1982.

[2] 中国焊接学会. 焊接手册[M]. 北京：机械工业出版社，1992.

[3] 王 国. 焊接缺陷[M]. 北京：机械工业出版社，1993.

[4] 王 海. 焊接结构强度与断裂[M]. 北京：机械工业出版社，1954.

[5] 董俊慧，霍立兴，张玉凤. 低碳钢管道焊接残余应力有限元分析[J]. 焊接，2000，44(12)：11–15.

[6] 赵海燕，鹿安理，史清宇，等. 焊接结构 CAE 中数值模拟技术的实现[J]. 中国机械工程，2000，11(7)：732–734.

[7] 张胜民. 基于有限元软件 ANSYS7.0 的结构分析[M]. 北京：清华大学出版社，2003.

作者简介：闫 红（1966—），女，天津市人，硕士，教授，现主要从事药芯焊丝的开发与研究，近 5 年在核心期刊上发表论文 20 余篇，主持及参与了省部级课题 3 项，获天津市科技进步奖三等奖 1 项.

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.19392/j.cnki.1671- 7341.201624094

建筑施工企业机械设备管理方法研究

刘晓敏

天津职业大学　天津　300410

摘　要 机械设备是建筑施工企业开展建筑工程项目建设的主要生产设备。本文分析了建筑施工企业机械设备的主要特点，总结了加强机械设备管理工作的作用和意义，提出了机械设备的具体管理方法。本文的研究成果对加强建筑施工企业机械设备管理，提高工作效率，降低设备成本投入具有十分重要的意义。

关键词 建筑施工企业 机械设备 管理

随着科技的迅猛发展，各类大型现代化机械设备越来越多的被运用在建筑施工企业的项目施工现场，成为项目施工的主要工器具，如塔吊、混凝土搅拌机、卷扬机、输送泵等。加强施工现场的机械设备管理，保证机械设备的有效运行，可以提高工作效率，为建筑工程项目的工期目标、成本目标、质量目标和安全目标的完成提供保障[1-2]。

一、建筑施工企业机械设备的主要特点

建筑施工企业主要从事建筑工程项目施工、铺设线路管道、土木工程施工等工作。建筑施工企业使用的机械设备具有以下几个主要特点：1）建筑施工企业机械设备主要在工程项目施工现场使用，多为露天作业，长时间遭受日晒雨淋，使用环境恶劣。2）建筑施工企业工程项目施工现场较多，机械设备无法固定在某一特定区域使用，而是根据生产需要在各施工现场之间流转，频繁拆装、转移。3）建筑施工企业机械设备主要用于施工作业，施作对象多为砂石、钢筋、砖块、木材等质地较为坚硬的物质，施工过程中会对设备造成较大的磨损。4）建筑施工企业机械设备操作人员综合素质层次不齐，设备保护意识淡薄。企业内部人员流动较大，机械设备无法固定使用人员。5）建筑施工企业为使利润最大化，赶工期、抢进度，很多机械设备都带病作业，运行状态不佳，部分机械设备甚至已经超过了使用年限。

二、加强机械设备管理的作用和意义

建筑施工企业加强机械设备管理具有以下几个作用和意义：1）为建筑工程项目工期目标的完成提供保障。机械设备故障势必会造成设备生产效率低下，甚至停工维修，延误施工工期。施工流水作业线上的单台设备的停工可能导致整条生产线的停摆，大量施工人员怠工，对项目工期目标的完成造成较大影响。2）为建筑工程项目成本目标的完成提供保障。机械设备发生故障时会产生设备维修费、维修人员工资、设备及施工人员停工损失等各项费用。做好设备的维护保养，保证设备正常运行可以有效降低设备维修成本和工程施工成本。3）为建筑工程项目质量目标的完成提供保障。机械设备的异常会影响产品质量，例如混凝土搅拌机的异常搅拌会造成混凝土离析，从而导致泵送时堵管、建筑结构表面出现骨料外露等质量事故，影响建筑工程项目质量目标的完成。4）为建筑工程项目安全目标的完成提供保障。严重的机械设备异常会引发安全生产事故，如塔吊坍塌、卷扬机冒顶、钢材坠落等，造成较大的人员伤亡和财产损失。只有加强机械设备管理工作，保证设备的正常运行，才能有效避免安全生产事故的发生。

三、建筑施工企业机械设备管理方法

（一）建立健全机械设备管理机构和制度

1.设备管理机构和管理人员

设置专门的机械设备管理机构和专职的设备保管人员是加强建筑施工企业机械设备管理工作的基础。只有设置专门的设备管理岗位，才能明确设备管理责任，增强员工的设备管护意识和责任感。制作设备管理铭牌悬挂于机械设备上，明示设备的管理部门、人员及联系方式，强调管理责任的同时，也便于在设备出现故障时能及时修理、维护。

2.设备管护制度

建立严格的设备管护制度，在企业内部宣贯学习，并在日常工作中坚决落实。设备管护制度应对机械设备的使用方法、维护保养方法、检查维修方法和异常处理方法等进行详细的规定，包括具体的操作步骤、定期维保和检修的时间间隔等。企业还应健全设备管护台账，详细记录设备维保和检修的时间、出现的问题和解决的办法等，以供设备管理和使用人员查阅。

3.设备使用奖惩制度

建立设备使用的奖惩制度是规范员工机械设备操作行为，提高员工设备管理意识，使员工自主的爱惜设备、关注设备使用情况的有效方法。建筑施工企业除加强对机械设备的维护保养之外，还应更关注对设备使用人员的管理，以物质或精神奖励方式鼓励使用习惯良好、设备损坏较少的使用人员，以公告批评或教育培训方式惩罚违规操作、忽视设备维护工作的使用人员。企业还可以将设备使用情况作为员工的绩效考核内容，将考核结果直接与员工的绩效工资挂钩，以激发员工主动参与设备维护保养工作。

（二）加强机械设备维护保养工作

1.机械设备的维护

落实企业机械设备维护制度，定期、不定期对机械设备的使用情况进行检查，并详细记录检查结果备查。对设备进行检查的内容包括设备的完整性、表面清洁度、运行时是否有噪音和振动、连接件是否紧固、管道是否有跑冒滴漏现象、设备标示是否清晰等。对检查出的设备问题和安全隐患及时进行整改，更换磨损件、维修破损部位，消除各类使用隐患，将事故消灭在萌芽状态。禁止机械设备带病作业，停用超出使用年限的设备，以确保所有机械设备和整条生产线的正常运行。

2.机械设备的保养

对机械设备日常保养的重点是清洁和润滑。在机械设备完成一个班次的工作时及时清理设备内部和外部的杂物，保证设备的整体清洁，避免设备因杂物或结垢造成管道堵塞、表面磨损等。设备清洁完毕后进行润滑，以减小工作过程中机械设备的磨损。设备日常保养工作应纳入使用人员的工作内容，并对保养工作完成情况进行考核。除了日常保养工作外，机械设备还应根据使用要求进行定期保养，定期保养是机械设备正常运行的保障，不能因为工期和成本问题而不开展或延迟开展定期保养工作。

（三）提高使用人员技能水平，建立专业设备维护队伍

1.提高设备使用人员技能水平

通过教育培训工作，提高企业设备使用人员的技能水平，以减少因使用人员的违规操作对机械设备带来的损害。教育培训工作应根据使用人员的实际情况有针对性的开展，建筑施工企业的设备操作人员普遍学历不高、专业知识较为薄弱，不宜进行枯燥的课堂理论知识讲授。建筑施工企业的教育培训内容的重点应为机械设备的正确操作方法、误操作会带来的设备损害和人身安全危害等。教育培训方式也应采用员工喜闻乐见、易于接受的方式，如观看教育视频、画册或开展实操模拟训练等。

2.建立专业机械设备维护队伍

建筑施工企业应根据实际生产情况，培养专业的机械设备维护人员，以减少设备外修或聘请专人修理的费用。专业机械设备维护人员的使用也可以增强企业设备管理力量，加强机械设备 （下转第 108 页）

中国知网　https://www.cnki.net

DOI:10.19392/j.cnki.1671- 7341.201624101

浅析轿车 1.8T 发动机故障检测的研究
——以大众 CC 为例

王江宏

陕西国防工业职业技术学院 陕西西安 710300

摘 要 :在国民收入与日俱增的前提下,追求生活质量的提高直接刺激着汽车产业的发展。尤其是在高科技的支持下,民用车辆不论是在性能上还是造型上都有着显著的提高与发展。然而,科技含量的过高直接增加了汽车检查修理的难度。分析和探究发动的故障问题需要较高的专业素养和职业水平,而且,汽车的发动机作为汽车的心脏也是最容易出现故障的地方。

关键词 :发动机 ;故障 ;大众 CC

1 发动机的组成与工作原理

1.8T 发动机采用了缸内直喷双增压和分层燃烧喷射的工作原理,即被压所在燃气刚中的空气与经过喷嘴喷射的燃油接触,从而产生能量。缸喷射有着很多的缺点,采用高压强的燃油喷射以加强燃油的雾化,然后按照比例与空气进行接触,从而提高燃油的使用效率,以及完美的避免了缸外喷射的种种缺点。

除此之外,为了使得燃油进行充分的燃烧,从而提高燃油的燃烧效率与使用效率,对零件的外观进行了改造,例如喷嘴位置与喷雾形状等。根据空气压缩机的原理,设计了涡轮增压器,从而能够利用排出去的废气转化为动力,利用废气具有的高压高温而推动涡轮室内的涡轮转动,与之同轴的叶轮在涡轮的带动下进入到进气道内,经过空气滤清器管道的空气被里面的叶轮压缩,然后离开进气管道,进入气缸。当进气量增多,经过叶轮压缩进入气缸的空气就会增多,对于发动机的推动力就越大,那么他的输出效率也就越高。

燃油燃烧需要空气的参与,所以就需要进气系统的支持。进气系统的作用就在于使得燃油燃烧时接触到的空气量是一定数量的,所以进气系统又被称之为空气供给系统。空气中含有这诸多的在职,其中某些成分可能成为燃油燃烧的不稳定因素,所以首先需要使用空气滤清器进行空气的清洁。在滤清器的旁边会安装一个空气流量计,这是近期系统的核心零件,起到的作用就是控制进入空气的数量。进气总管与各支气管项链,经过各支气管就可以参与到燃油的燃烧过程。

与进气系统相对应的就是燃油系统,系统的作用与进气系统也有着异曲同工之妙,即控制燃油量。我们在加油站中购买的燃油,虽然经过提炼与加工,但是其中还是会掺杂很多的杂质,所以从油箱中提取燃油首先做的就是进行去除杂质,即使用过滤器。其次就是减少脉动,使用的零件是燃油脉动阻尼器。燃油总管与油缸歧管连接,燃油经过两管就可以直接的进入到油缸中。喷油器根据 ECU 按照比例将适量的燃油喷射到气缸中与空气混合。为了提高拍燃油的使用效率,及发动机不同的运转状况需要不同数量燃油,所以电子控制系统就在需求的推动下产生,该系统的构成部件分为三个,即传感器、电控单元和执行器。ECU 的存储器中存放了发动机各种工况的最佳喷油持续时间,在接收了各种传感器传来的信号后,经过计算确定满足发动机运转状态的燃油喷射量和喷油时间。

2 故障分类

点火系的不同,使得大众 CC 的的点火系统故障也有着较大的差异,一般有以下两种较为常见的情况 :低压电路故障和高压电路故障。低压电路常见故障 :蓄电池存电不足 ;线连接不良或错乱 ;蓄电池搭铁不良 ;分电器或霍尔传感器损坏 ;点火开关损坏或接线不良 ;晶体管点火控制单元损坏或接线不良。诊断方法 :利用电表逐线检查找到问题的所在。另一种则为高压电路中常常出现的状况,主要表现在高压线出现漏电或者脱落 ;火花塞电极间隙过大或过小;火花塞积炭过多;火花塞绝缘体损坏。诊断方法 :高压试火法,即将分电器中心高压线或某缸高压线拔下,将线头放置距离缸体 3- 6mm 处,起动发动机试火。有火花且火花强烈,说明点火系工作正常。

2.1 点火时间过早及过迟

故障现象 :怠速的运转平稳度有待改进,容易发生熄火的不良现象,除此以外,大众 cc 轿车发动机在加速时在爆燃声方面问题比较严重。

2.2 火花塞故障

火花塞污蚀、积炭、型号错误等,这些原因都可能造成火花塞间隙过大或者过小,从而影响点火电压值的大小;故障主要三种情况,一是火花塞积碳,指的是黑色粉末状的污垢常常堆积在绝缘体端部、电极以及火花塞壳等 ;二是火花塞油污,主要体现是在上述的部位上堆积着大量的机油 ;三是过热。

2.3 大众 CC 轿车发动机爆震和过热

大众 CC 轿车发动机在大负荷中等转速时最容易出现爆震。在使用燃油牌号正确的情况下,点火角度的不争取额成为了造成爆震的主要原因。在不出现爆震的情况下,点火提前角度的不正确所构成的影响不会单一的表现在水温过高上,他一般还会伴有加速灵敏度降低,发动机功率减少等情况。

3 结语

随着经济的发展,汽车行业也迎来了新的市场机遇,然而作为汽车的心脏——发动机确是正面临着巨大的考验,如何解决发动机的损坏问题成为了企业发展过程中的一大重要难题。

参考文献 :

[1] 毛彩云.汽车新技术及典型故障诊断维修.机械工业出版社,2010.

[2] 张蕾.一汽大众迈腾发动机故障灯亮.汽车维修与保养,2011.

(上接第 101 页) 日常的维护管理工作,降低设备损坏几率。专业人员还可以在工余时间针对机械设备的实际情况,对设备使用人员进行有针对性的内部培训,告知机械设备在使用过程中的注意事项,以弥补企业外训针对性不强、专业性太高的不足。专业机械设备维护队伍建设可以通过外聘引入 1- 2 名经验丰富的维保人员,再通过“传、帮、带”培养企业内容维保人员,最终形成一个专业的设备管理团队。

四、结语

建筑施工企业机械设备使用环境恶劣、拆装移动频繁、使用过程中磨损较大、操作人员层次不齐、超龄和带病作业现象普遍。加强建筑施工企业机械设备的管理工作,可以有效提高工作效率,为建筑工程项目的工期目标、成本目标、质量目标和安全目标的完成提供保障。建筑施工企业机械设备管理方法包括 :建立健全机械设备管理机构和制度、加强机械设备维护保养工作、提高使用人员技能水平、建立专业设备维护队伍。

参考文献 :

[1] 余彩虹.建筑施工企业机械设备管理问题探析[J].房地产导刊,2015(32).

[2] 孔伟龙.施工机械设备对建筑业劳动生产率的影响研究[D].兰州交通大学,2015.

中国知网 https://www.cnki.net

文章编号:1004 -2539(2015)11 -0092 -03 DOI:10.16578/j.issn.1004.2539.2015.11.021

渐开线非对称齿轮的设计与分析

李建国 张海伟 陈振国
(天津职业大学, 天津 300410)

摘要 对渐开线非对称齿轮的齿形进行了设计,建立了齿条刀、齿坯和机架的协同坐标系,对齿条刀进行了端面设计,确定了齿形轮廓方程,并对齿形轮廓进行了模拟仿真。对加工出的渐开线非对称主动小齿轮的单齿接触点进行了受力分析,利用公式法对 20°/20°、25°/20°、30°/20°和 35°/20°四种压力角组合的受力进行了数值计算,并用有限元法进行了验证,对比分析结果表明,工作齿面采用大压力角可以有效地提高齿轮的接触强度与弯曲强度。

关键词 渐开线非对称齿轮 设计 分析 应力

Design and Analysis of Asymmetric Involute Gear

Li Jianguo Zhang Haiwei Chen Zhenguo
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract The asymmetric involute gear tooth is designed, a collaborative coordinate of rack cutter, gear blanks and frame is built, the end face of rack cutter is designed, the tooth profile equation is determined, the tooth profile is simulated. The stress of single contact point to active small gear is analyzed, four force pressure angle combination are calculated using the formula method on 20°/20°, 25°/20°, 30°/20°and 35°/20°, the result is verified by using the finite element method, the comparative analysis results show that work with large pressure angle tooth surface can effectively improve the contact strength and bending strength of the gear.

Key words Asymmetric involute gear Design Analysis Stress

0 引言

齿轮是目前使用量最大的机械传动件,齿轮传动是机械传动中应用最广的一种传动形式。随着机械传动技术高效化、高速化、多样化、高精化的发展趋势,新型齿轮被广泛地研制和使用,其中就包括渐开线非对称齿轮[1]。齿轮压力角适当增加会提高齿根弯曲强度,但如果齿轮两侧同时增大压力角,齿轮受载的径向分力变大,传动效率变低,同时会使得轮齿齿顶变薄、重合度变小、传动平稳性变差[2]。我们提出了一种在工作齿面使用大压力角、在非工作齿面使用小压力角的非对称渐开线齿轮结构的设计与加工方法[3]。这样既可以充分发挥大压力角的优点,又可避开其缺点,是一种非常有效的提高轮齿接触强度、弯曲强度和综合性能的方法,并通过公式法和有限元法进行了对比分析与验证。

1 渐开线非对称齿形设计

1.1 建立坐标系

范成法加工渐开线非对称齿轮时,齿轮毛坯和非对称齿条刀等同一对强制啮合的齿轮,其传动比由机床保证,同时刀具沿齿坯的轴向做切削运动,刀具的刃口在各个不同位置包络而成的曲线,就是被加工非对称齿轮的齿廓曲线[4]。为推导非对称渐开线直齿轮的齿廓方程,建立如图 1 所示的 3 个右手笛卡尔坐标系,动坐标系 $S_n(X_n,Y_n,Z_n)$ 固连在齿条刀上,动坐标系 $S_1(X_1,Y_1,Z_1)$ 固连在齿坯上,固定坐标系 $S_h(X_h,Y_h,Z_h)$ 固定在机架上,其原点 O 在位置时 3 个坐标系的 Y 轴彼此重合[5]。

1.2 刀具齿形方程的确定

1.2.1 刀具轮廓设计

在齿条刀动坐标系 $S_n(X_n,Y_n,Z_n)$ 中,一个完整的渐开线非对称齿条刀端面如图 2 所示。

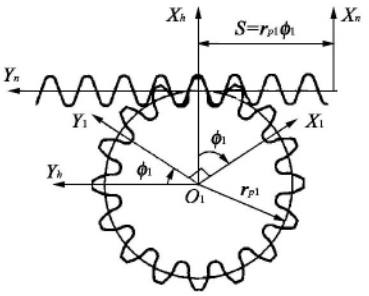


图 1 范成法加工坐标系

图 2 中,ϕ_{c1} 为工作侧齿形角,ϕ_{c2} 为非工作侧齿形角,且 $\phi_{c1}>\phi_{c2}$。r 为工作侧刀顶圆角半径,r_2 为非工作侧刀顶圆角半径。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

a_c 为刀顶直线部分到节线的距离，a_t 为刀底到节线的距离。

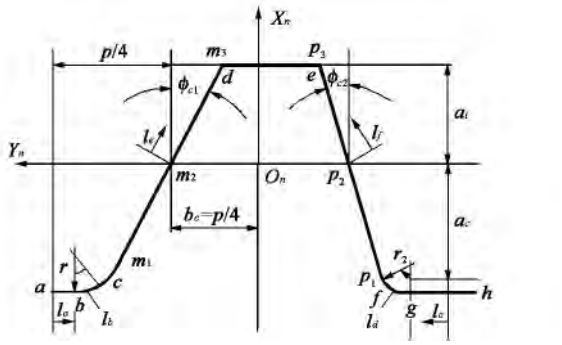


图 2　一完整渐开线非对称齿条刀端面图

1.2.2　刀具$\overline{ab}$段和$\overline{gh}$段

齿条刀的$\overline{ab}$和$\overline{gh}$段用来加工生成非对称齿轮的齿底，刀具上这两段与齿坯啮合时的接触点为 R，经推导可知该点在齿条刀动坐标系 $S_n(X_n,Y_n,Z_n)$ 中的齐次坐标矩阵方程为

$$\boldsymbol{R}_n^{ab}=\begin{bmatrix}x_n^{ab}\\y_n^{ab}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r\sin\phi_{c1}-r\\\dfrac{\pi m}{2}-l_a+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{1}$$

$$\boldsymbol{R}_n^{gh}=\begin{bmatrix}x_n^{gh}\\y_n^{gh}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r_2\sin\phi_{c2}-r_2\\-\dfrac{\pi m}{2}+l_c+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{2}$$

式中，x_n^{ab}、y_n^{ab} 为$\overline{ab}$段上点横坐标、纵坐标；x_n^{gh}、y_n^{gh} 为$\overline{gh}$段上点的横坐标、纵坐标；m 为非对称齿轮模数；l_a 为$\overline{ab}$段长度；l_c 为$\overline{gh}$段长度，且

$$0\leqslant l_a\leqslant b_c-a_c\tan\phi_{c1}-r\cos\phi_{c1}$$
$$0\leqslant l_c\leqslant b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}$$
$$b_c=\pi m/4$$
$$c_y=0,1,2,\cdots$$

1.2.3　刀具$\overset{\frown}{bc}$和$\overset{\frown}{fg}$段

同理，刀具圆弧$\overset{\frown}{bc}$加工生成非对称齿轮工作侧延伸渐开线部分，圆弧$\overset{\frown}{fg}$加工出非工作侧延伸渐开线部分。啮合点 R 在齿条刀动坐标系 $S_n(X_n,Y_n,Z_n)$ 中的齐次坐标矩阵方程为

$$\boldsymbol{R}_n^{bc}=\begin{bmatrix}x_n^{bc}\\y_n^{bc}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r\sin\phi_{c1}-r\cos l_b\\b_c+a_c\tan\phi_{c1}+r\cos\phi_{c1}-r\sin l_b+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{3}$$

$$\boldsymbol{R}_n^{fg}=\begin{bmatrix}x_n^{fg}\\y_n^{fg}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r_2\sin\phi_{c2}-r\cos l_d\\-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r_2\sin l_d+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{4}$$

式中，l_b 为$\overset{\frown}{bc}$弧对应角度；l_d 为$\overset{\frown}{fg}$弧对应角度，且

$$0\leqslant l_b\leqslant 90^\circ-\phi_{c1}$$
$$0\leqslant l_b\leqslant 90^\circ-\phi_{c2}$$

l_b 和 l_d 在上述范围内取不同值，决定了加工出齿轮的根部圆角大小。

1.2.4　刀具$\overline{cd}$段和$\overline{ef}$段

刀具直线$\overline{cd}$段加工生成工作侧齿廓，直线$\overline{ef}$段加工生成非工作侧齿廓，啮合点 R 在齿条刀动坐标系 S_n (X_n,Y_n,Z_n) 中的齐次坐标矩阵方程为

$$\boldsymbol{R}_n^{cd}=\begin{bmatrix}x_n^{cd}\\y_n^{cd}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}l_e\cos\phi_{c1}\\b_c-l_e\sin\phi_{c1}+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{5}$$

$$\boldsymbol{R}_n^{ef}=\begin{bmatrix}x_n^{ef}\\y_n^{ef}\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}l_f\cos\phi_{c2}\\-b_c+l_f\sin\phi_{c2}+c_y\pi m\\1\end{bmatrix}\tag{6}$$

式中，$b_c=p/4$，p 为节距；l_e 为$\overline{cd}$段长度，l_f 为$\overline{ef}$段长度，且

$$-a_c/\cos\phi_{c1}\leqslant l_e\leqslant a_t/\cos\phi_{c1}$$
$$-a_c/\cos\phi_{c2}\leqslant l_f\leqslant a_t/\cos\phi_{c2}$$

在图 2 的刀具端面图中，具有如下几何关系

$$\overline{m_1m_2}=a_c/\cos\phi_{c1}$$
$$\overline{m_2m_3}=a_t/\cos\phi_{c1}$$
$$\overline{p_1p_2}=a_c/\cos\phi_{c2}$$
$$\overline{p_2p_3}=a_t/\cos\phi_{c2}$$

式中，ϕ_{c1}为刀具工作侧齿形角，其值决定了加工出齿轮的工作侧压力角的大小；ϕ_{c2}为刀具非工作侧齿形角，其值决定了加工出齿轮的非工作侧压力角的大小。

1.3　齿形轮廓方程的确定

在图 1 中，设齿轮由起始位置转过 ϕ_1，与此同时，齿条由起始位置移动 $S=r_{p1}\phi_1$，则齿坯定坐标系 S_1 (X_1,Y_1,Z_1) 上的坐标点 R_1^n 与 R_n^i 坐标系的关系为

$$\boldsymbol{R}_1^n=\boldsymbol{M}_{1n}\boldsymbol{R}_n^i\tag{7}$$

式中，$\boldsymbol{M}_{1n}$为动坐标系 S_n 向定坐标系 S_1 的转换矩阵，即

$$\boldsymbol{M}_{1n}=\begin{bmatrix}\cos\phi_1&\sin\phi_1&r_{p1}(\sin\phi_1-\phi_1\cos\phi_1)\\-\sin\phi_1&\cos\phi_1&r_{p1}(\cos\phi_1+\phi_1\sin\phi_1)\\0&0&1\end{bmatrix}\tag{8}$$

其中，i 分别取 $i=\overline{ab},\overset{\frown}{bc},\overline{cd},\overline{ef},\overset{\frown}{fg},\overline{gh}$。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

通过以上分析，可以得到渐开线非对称齿轮齿廓方程为

$$\begin{cases} x_1 = (x_n - r_{p1}\phi_1)\cos\phi_1 + (r_{p1} + y_n)\sin\phi_1 \\ y_1 = -(x_n - r_{p1}\phi_1)\sin\phi_1 + (r_{p1} + y_n)\cos\phi_1 \end{cases} \quad (9)$$

该方程为渐开线非对称齿轮齿廓的一般方程，式中 x_n，y_n 为齿条上点的坐标值。

1.4 齿形轮廓的模拟仿真

依据渐开线非对称齿形轮廓方程，利用 ANSYS 的 APDL 语言参数化建模技术，编制生成渐开线非对称齿轮齿廓的计算机模拟程序[6]。该程序不但能对渐开线非对称齿轮进行参数化模拟，还能对轮齿的范成包络过程进行仿真，如图 3 所示。

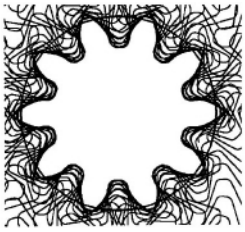


图 3 非对称渐开线齿轮范成仿真

2 渐开线非对称齿轮分析

2.1 齿轮受力分析

由于齿轮啮合传动的连续性，载荷的作用力、转矩等具有重复性，模型可进行简化，提取一个轮齿进行受力分析。研究一对非对称齿轮啮合传动中的主动小齿轮，模数 $m=5$，齿数 $z=20$，齿宽 $b=10$，齿顶高系数 $h_{ac}^*=1$，为了对比分析不同压力角组合情况下的轮齿受力，工作侧压力角 a_d 和非工作侧压力角 a_c 采用如图 4 所示的 4 种压力角组合。

在传动过程中，小齿轮的工作侧单齿接触时接触点 M 处的受力最大，受力情况如图 5 所示。

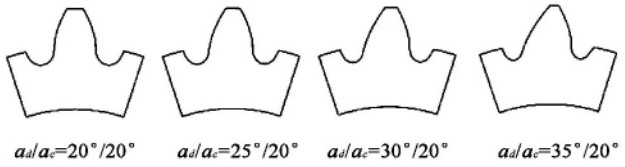


图 4 工作侧和非工作侧的压力角组合

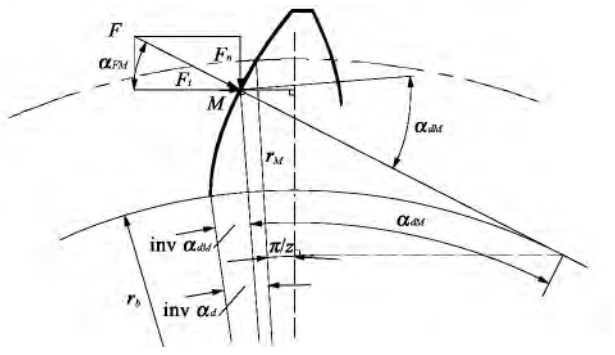


图 5 单齿接触点 M 的受力

2.2 齿轮受力计算

非对称齿轮传动传递的功率 $P=40$ kW，小齿轮转速 $n=800$ r/min，则传递的转矩为

$$T = 9\,550 \times \frac{P}{n} \quad (10)$$

单齿接触点 M 所受的集中力为

$$F = \frac{T}{Br_M\cos\alpha_{dM}} = \frac{T}{Br_b} \quad (11)$$

式中，B 为齿宽，$B=1$；r_M 为 M 点处的半径，mm；r_b 为基圆半径，mm；α_{dM} 为 M 点处的压力角。

M 点处的压力角为

$$\alpha_{dM} = \arctan\left[\tan\left(\arccos\frac{r_b}{r + h_{ac}^* m}\right) - \frac{2\pi(\varepsilon_d - 1)}{z}\right] \quad (12)$$

式中，r 为分度圆半径，mm；h_{ac}^* 为齿顶高系数；m 为模数；z 为齿数；ε_d 为工作侧的重叠系数。

集中力 F 可分解为沿啮合线指向齿面的法向力 F_n 和与之垂直的切向力 F_t，为

$$\begin{cases} F_n = F\sin\alpha_{FM} \\ F_t = F\cos\alpha_{FM} \end{cases} \quad (13)$$

其中，α_{FM} 为 M 点的负载角，为

$$\alpha_{FM} = \text{inv}\,\alpha_{dM} + \alpha_{dM} - \text{inv}\,\alpha_d - \frac{\pi}{z}$$

利用上述公式，计算 4 种压力角组合下 M 点的集中力 F、法向力 F_n、切向力 F_t，结果如表 1 所示。

表 1 公式计算所得 M 点的受力值

α_d/α_c	集中力 F/N	法向力 F_n/N	切向力 F_t/N
20°/20°	5 831.46	3 509.84	4 816.36
25°/20°	5 515.17	2 863.42	4 767.24
30°/20°	5 270.64	2 248.79	4 712.51
35°/20°	5 083.23	1 625.47	4 655.73

3 渐开线非对称齿轮有限元分析

3.1 有限元模型准备及前置处理

所研究的渐开线非对称主动小齿轮采用如下的物理参数：材料为碳钢，弹性模量 $E=210$ GPa，泊松比 $\nu=0.25$[7]。将轮齿简化为悬臂梁结构，模型的边界条件为齿根两侧边界采用对称约束，轮齿底部采用固定端约束，齿顶自由，载荷加在单齿接触点 M，如图 6 所示。

3.2 单元格的划分

定义单元类型为 SOLID95，划分单元格 10 283 个，节点 23 764 个，如图 7 所示。

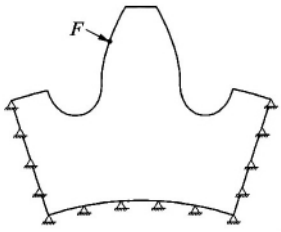


图 6 有限元模型准备



图 7 有限元模型的单元划分

（下转第 102 页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 以铜箔幅宽为 1 500 的切割机为算例,得到机构运动的相关仿真曲线,以及满足高速切割要求的切割点处上、下刀刃的速度和瞬时夹角要求。

(3) 数值实验结果给出了影响切割运动特征变化幅度的易控参数 δ,将其作为系统变量,通过控制夹角 β 的变化幅度获得最优设计,为切刀机构参数的优化设计提供了理论依据。

参 考 文 献

[1] 王龙基. 中国印制电路行业展望[J]. 世界电子元器件,2002(2):18-20.

[2] 李清亮. 覆铜板设备的发展及现状[J]. 印制电路信息,2003(12):45-47.

[3] Nozaki N, Doyama M, Kogure Y. Plastic deformation of copper thin foils[J]. Thin Solid Films, 2003, 424(1):88-92.

[4] Lee C Y, Moon W C, Jung S B. Surface finishes of rolled copper foil for flexible printed circuit board[J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 483/484: 723-726.

[5] Satoru F. Blade for cutting copper foil: US, 10/258618[P]. 2003-08-14.

[6] Pauline B D, Lambertus K P, Willem Z A. Foil cutting device: US, 11/483973[P]. 2009-03-24.

[7] 杨丽萍. 印刷电路铜箔切割机的研发[D]. 杭州: 浙江大学机械工程学院,2011:1-4.

[8] 杨丽萍,夏东劼. 铜箔卷材剪切机切刀机构的研究[J]. 机电工程,2012,29(7):781-784.

[9] 夏东劼,肖锋,徐建明,等. 铜箔/半固化片卷材剪切机研究[J]. 机电一体化,2011(3):51-54.

[10] 赵燕,滕万龙. 凸轮自动分切机的原理与应用[J]. 轻工机械,2006,24(1):115-116.

[11] 杨丽萍,夏东劼. 一种剪切机构: 中国,200620103771.4[P]. 2007-05-09.

[12] 朱拥勇,王德石. 基于封闭矩阵方程的空间摆盘机构运动学分析[J]. 机械设计,2006,23(2):57-59.

[13] 袁清珂,姜歌东. 空间机构运动学建模与分析方法的研究[J]. 西安交通大学学报,2009,43(5):99-103.

收稿日期: 2015-03-09 收修改稿日期: 2015-03-30

作者简介: 应跃明(1963—),男,浙江东阳人,高级工程师。

(上接第 94 页)

3.3 有限元求解结果

利用有限元法求解的 4 种压力角组合的应力云图如图 8 ~ 图 11 所示。

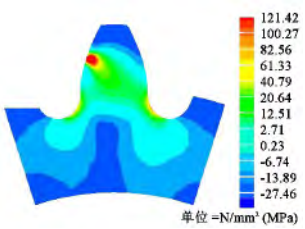


图 8 20°/20°应力云图

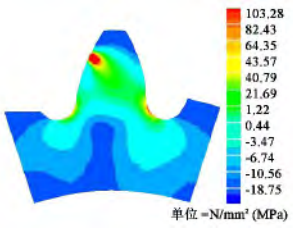


图 9 25°/20°应力云图

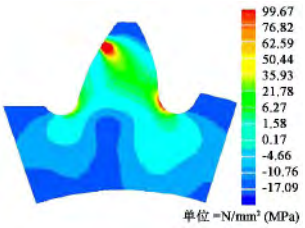


图 10 30°/20°应力云图

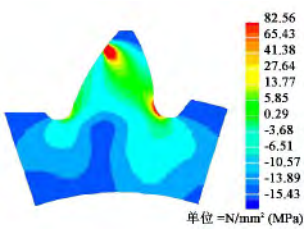


图 11 35°/20°应力云图

4 结论

(1) 采用范成法加工渐开线非对称齿轮的包络加工原理,对齿条刀具进行了设计,确定了刀具各段在动坐标系的齐次坐标矩阵方程,进而推导出了渐开线非对称齿轮齿廓的一般方程,并对轮齿的范成包络过程进行了模拟仿真。

(2) 通过公式法计算结果表明,在相同工况下,随着工作侧齿面压力角的增加,接触点 M 的受力逐渐减小,齿轮的接触强度增强。有限元求解应力云图表明,越靠近接触点 M 处接触应力越大,在齿根所受的弯曲应力最大,随着工作侧压力角的增加,齿轮所受的弯曲应力略有降低。

(3) 通过对 4 种压力角组合的弯曲应力分析得知,适当增大工作侧压力角度可提高齿轮的抗弯能力。但压力角过大,会让齿顶变尖,重合度变小,传动平稳性变差。综合考虑,工作齿面和非工作齿面采用 35°/20°的压力角组合是不错的选择。

参 考 文 献

[1] 朱良,郗军红,于慧. 非对称渐开线直齿圆柱齿轮动态特性研究[J]. 机械传动,2014,38(9):30-33.

[2] 朱福先,王星星,李秀莲,等. 双压力角非对称齿轮动态接触应力有限元分析[J]. 机械传动,2013,37(3):88-90.

[3] 李宁,李威,肖望强. 对称与非对称齿轮齿根弯曲应力对比分析[J]. 北京科技大学学报,2013,35(1):120-125.

[4] 汪中厚. 准双曲面齿轮动态性能仿真[M]. 北京: 科学出版社,2013:12-16.

[5] 郭术义. 齿轮三维快速造型与仿真[M]. 北京: 科学出版社,2010:53-64.

[6] 张涛. ANSYS APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2013:42-47.

[7] 张展. 实用齿轮设计计算手册[M]. 北京: 机械工业出版社,2011:56-61.

收稿日期: 2015-02-06 收修改稿日期: 2015-04-08
基金项目: 天津职业大学培育备案项目(20101201)

作者简介: 李建国(1973—),男,河北邢台人,高级实验师。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13279/j.cnki.fmwe.2014.10.018

研究与设计

桨式路面清扫机的设计与研究

张云秀[1]， 周建荣[2]， 张 宏[2]
（1.天津职业大学机电工程与自动化学院,天津 300402; 2.塔里木大学机械电气化工程学院,新疆 阿拉尔 843300）

摘 要：随着城市道路的迅速增加以及对市容环境要求的不断提升,道路清扫工作越来越凸显其重要性,各式各样的清扫工具也应运而生。简要介绍了现有的清扫设备,并针对其不足,在考虑节能环保的大前提下,设计了一种由现有电动车改装的路面清扫机。该机由电瓶提供动力,结构简单,类似人工扫把清扫路面,将机械操作与人的主动性很好地结合起来,在减轻工人劳动强度的同时,兼顾了制作成本,是一种适合中小型道路清扫的新型设备。

关键词：路面清扫机; 桨式; 电动三轮车
中图分类号：TB472 **文献标识码**：A **文章编号**：2095-2953(2014)10-0022-03

Design and Research of Paddle-type Road Pavement Cleaning Equipment

ZHANG Yun-xiu[1], ZHOU Jian-rong[2], ZHANG Hong[2]
(1. School of Electromechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300402, China;
2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China)

Abstract: With the rapid increase in the number of urban roads and higher requirements for urban appearance, road cleaning work has become increasingly important, various kinds of cleaning tools have appeared, existing cleaning equipment is introduced briefly, In view of the shortcomings of cleaning equipment, considering the national energy conservation and environmental protection, a kind of road pavement cleaning equipment developed from existing electric vehicles is designed. This equipment is battery-operated, with a simple structure, like a broom cleaning the road pavement, perfectly combining machine operation and initiative of people, it can not only reduce labor intensity of workers, but gives consideration to manufacturing cost, making it new equipment suitable for cleaning of small and medium-sized roads.

Key words: road cleaning equipment; paddle type; electric tricycle

1 清扫设备简介

清扫设备按大小可分为大型清扫设备和中小型清扫设备,本文主要对小型清扫设备进行研究。

现有的小型清扫设备主要有清洁机器人和扫地机两大类,下面分别进行介绍。

1.1 清洁机器人

清洁机器人技术是20世纪80年代开始发展起来的,最初的作用只是用于房间地面的自动清洁,随着技术的进步,逐渐形成了融机械学、电子技术、传感器技术、计算机技术、控制技术、机器人技术、人工智能、虚拟技术等于一体的综合性技术，其作用也从单一的地面清扫扩展到了壁面清洁、泳池清洁等很多方面,应用范围大大增加[1-3]。

清洁机器人一般具有以下特点：①自带电源,小巧轻便、操作简单、自主性及实用性强；②工作环境主要为普通家庭环境,但由于家庭环境千差万别,因此要求其具有较好的环境适应性。③工作任务是清扫地面,工作对象是地面的灰尘、纸屑以及其他一些小尺寸物体,因此大尺寸物体不能作为清洁机器人的处理对象。此外,考虑到安全因素,清洁机器人还必须做到对人及家庭物品等不会造成任何危害和损害，同时还需具备自

收稿日期:2014-05-06
第一作者简介:张云秀(1979—),女,硕士,天津职业大学机电工程学院工作,从事数控技术的研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

我保护的能力[4-6]。因此就现有技术而言，清洁机器人的发展和推广均受到一定的限制[7-9]。

1.2　扫地机

扫地机是现有技术下最为经济实用的小型清扫设备，是一种适用于工厂、小区、机关等小面积清扫的扫地机械。扫地机一般是由车架、车轮、罩壳和手把组成的小车，在小车前侧安装立扫帚，车架及罩壳下面安装横扫帚，通过半交叉皮带和齿轮等传动件由车轮旋转动力带动扫帚将垃圾扫入车架前端设置的撮箕内。该设备结构简单、操作方便，清扫时能较好地避免扬尘与机动噪声，不清扫时可将扫帚抬起脱离地面，以减少磨损。扫地机的扫地速度为 3~6 km/h，扫地宽度 1~2 m。另有一种以圆盘刷为工具的新型扫地机，其结构更加简单，运行更灵活，被广泛用于清扫公共场所地板或室内地面上的覆盖物。

扫地机的特点是工作效率高，清扫面积大，路面清洁度高，其缺点是价格昂贵，且转弯等操作不够灵活，因此当清扫小面积区域或地形复杂区域时，其清扫效率和效果都明显下降，这时只能沿用传统的手工清扫。因此急需开发一种成本低、清扫效果好且适用于院落、小区、小巷、走廊等小区域场所的小型清扫设备。

2　清扫机设计方案的确定与工作原理

2.1　方案的提出及确定

根据实际需求，此次设计的小型清扫设备需满足以下要求：运行灵活、节省能源、操作方便、清扫效果良好、造价低。针对这些要求提出了以下三种设计方案。

2.1.1　方案一

如图 1 所示，由常见的拖拉机 1 提供动力，经过皮带传送到带轮 2，再由皮带把动力传递到带轮 3，带轮 3 的轴上有齿轮，经过齿轮啮合把动力传到大齿轮上，在大齿轮上由销钉 6 将扫把 5 固定，扫把同时穿过车架上的钢筋圈 7。工作时由大齿轮的旋转运动带动扫把 5 做摆转运动，使扫把像划船的桨一样运动，以此达到扫地的目的。

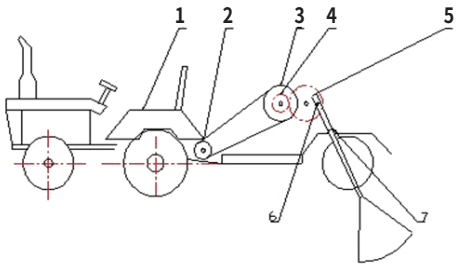


图 1　方案一

1.拖拉机；2、3.带轮；4.齿轮；5.扫把；6.销钉；7.钢筋圈

2.1.2　方案二

如图 2 所示，利用常见的电动三轮车改装，其中 1 为车架，动力由电瓶 9 提供，电动机 7 通过皮带轮将动力传递给齿轮 2 所在的轴，再通过与齿轮 4 的啮合带动曲柄 5 做旋转运动，从而带动桨板 8 同时进行左右和上下运动，最终带动扫把 6 进行摆转运动，达到扫地的目的。

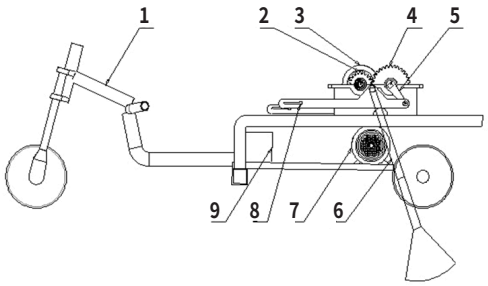


图 2　方案二

1.车架；2、4.齿轮；3.带轮；5.曲柄；6.扫把；7.电动机；8.桨板；9.电瓶

2.1.3　方案三

如图 3 所示，首先由电瓶 2 带动电动机 3 转动，电动机将动力传递到车轴，一方面带动三轮车前进，另一方面将动力分别传递到减速箱 5 和车后的扫滚 7，经一级减速后改变转向，将动力传递给带扫把的工作轴，从而带动扫把 6 像划桨一样模仿人工扫地的动作，以达到扫地目的；同时，后边的扫滚可以将车下的垃圾扫到垃圾收集箱里。

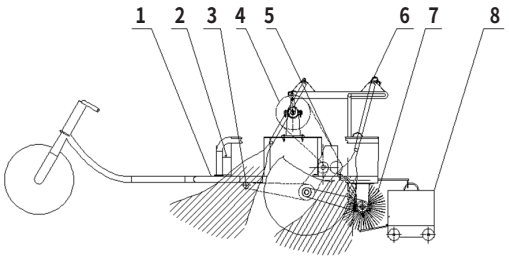


图 3　方案三

1.车架；2.电瓶；3.电动机；4.主工作链轮；5.减速箱；6.扫把；7.扫滚；8.垃圾收集箱

2.1.4　各方案对比

(1) 方案一：此方案由拖拉机的柴油机提供动力，由于动力十足，因此能够长时间的工作，但体积较大，运行不够灵活，不能在狭窄的地方作业，同时利用柴油机提供动力还存在噪声及能耗大、污染环境等问题。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

⑵ 方案二 本方案动力由电瓶提供，噪声小，节能环保，但在动力的传递过程中用到了齿轮传动，由于清扫垃圾时作业环境较恶劣，所以对齿轮的使用寿命有很大影响，难以保证清扫车工作的平稳性，此外，由于现有的电动三轮车结构较为紧凑，故在现有的电动三轮车上进行改装成本较高。

⑶ 方案三 在人力三轮车上进时改装，用电瓶提供动力，其是在方案二的基础上由原来的齿轮传动改为链轮传动和皮带传动，以适应恶劣的作业环境，且能保证传动比，同时也能使结构更加紧凑。采用该方案的清扫车结构简单，噪声小，节能环保，操作灵活方便，能够适合多种复杂路面，成本也比前两个方案更加经济，与本设计的初衷相吻合。

经过三个方案的综合比较，方案三是适合本设计的最佳方案。

2.2 主工作部件的结构与运动分析

如图 4 所示，主工作部分由链轮、摇把和滑板组成，工作时，链轮带动摇把做旋转运动，摇把带动滑板运动，这样就构成了一个简单的四杆机构，其简化的原理图如图 5 所示。

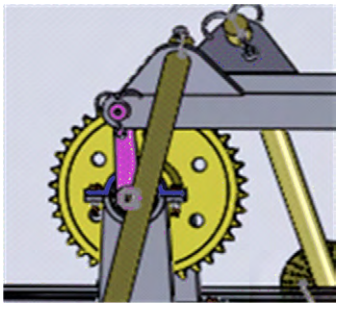


图 4 主工作部件结构图

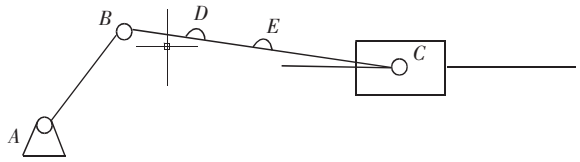


图 5 四杆机构简化原理图

简化上述机构，运动简图如图 6 所示，B 点轨迹是扫把尾部的运动轨迹，支点即为三轮车上的铁环，A 点是扫把头主要清扫部位的运动轨迹顶点。

本清扫机的主要工作部件是由竹子制成的扫把和尼纶制成的滚筒，设计的清扫速度为 5 km/h 左右，即 1.39 m/s。为了保证清扫路面能衔接良好，不留清扫死角，设计时采用两把扫把。考虑到扫把一次的清扫面积有限，扫把的旋转速度设定为不低于 60 r/min，但为了

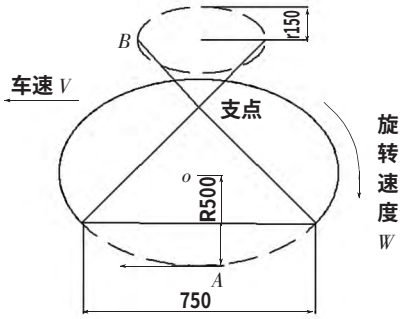


图 6 速度分析图

保证车下边的垃圾能被扫滚扫进垃圾箱，则需将转速进一步增加，因此，最终将转速设定为 150 r/min。

2.3 传动比分配

根据选定的电动机满载转速 n_m 和工作机的主轴转速 n，可得传动装置的总传动比 i=6.5。

根据链轮的传动特点，传动比过大，链条在小链轮上的包角就会过小，此时参与啮合的齿数减少，就会使链轮承受的载荷增大，轮齿的磨损也会随之增加，容易出现跳齿和脱链现象，因此，一般链传动的传动比 $i \leqslant 6$，链条在小轮上的包角应不小于 120°。

$$i = i_1 \times i_2 \times i_3$$

式中：i_1 为电机链轮的传动比；i_2 为减速箱的传动比；i_3 为输出链轮与减速箱链轮的传动比。

为使传动的外廓尺寸紧凑，初步取 i_1=1.5，则 i_2=2，i_3=2.16。

由于主动轮在车轴上，故主动轮的转速为 300 r/min，从动轮的转速定为 150 r/min，所以带轮的传动比为 2。

除了上述项目外，在设计清扫车时还需考虑电动三轮车尺寸的大小、扫把的倾斜角度，最重要的是协调三轮车的车速和扫把的清扫速度。

3 清扫机的三维仿真

利用 Solidworks 软件进行清扫机的三维模拟，根据已有参数，将所有的设计部件均按要求进行模拟安装，得到的仿真图如图 7 所示。

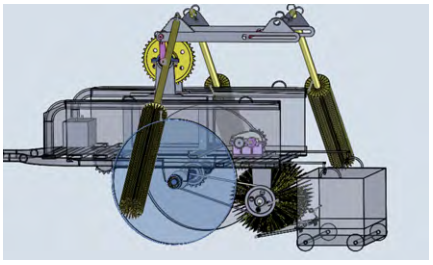


图 7 清扫机三维仿真

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　小　结

该清扫机是在原有扫路机械的基础上进行改装及创新设计的，其结构简单，运行灵活，填补了路面清扫机不适用于清扫狭小曲折路面的空白，且产品能耗低，噪声小，节能环保。本设计的不足之处是清扫机所带扫把为传统扫把，清扫面积有限；此外，人力三轮车动力有限，无法携带足够量的水进行喷淋清扫。后续改进设计可以在这两方面进行考虑，力争在成本不变或略有增加的前提下对上述不足进行改进。

参考文献：

[1] 葛恒安.国内路面清扫车行业现状及发展趋势[J].建筑机械化，2004，25(11)：54-56.

[2] 靳同红，等.走廊清扫机的三维设计[J].现代制造技术与装备，2008(1).

[3] 卜炎.机械传动装置设计手册[M].北京：机械工业出版社，1998：29-34.

[4] 陈杰.地埋式垃圾转运装置总体方案设计[J].林业机械与木工设备，2013(7)：38-41.

[5] 姜子豪，李浩，阚江明.减振降噪在机械设计中的应用[J].森林工程，2013，29(5)：55-59.

[6] 许鹏辉，韩青.机械工程可靠性优化设计[J].林业机械与木工设备，2012(1)：49-50.

[7] 吴宗泽.机械设计使用手册[M].北京：化学工业出版社，1998：66-68

[8] 宁维庆.纯扫式路面清扫机扫辊结构浅析与转[J].筑路机械与施工机械化，1999(4)：5-7.

[9] 李宝筏.农业机械学[M].北京：中国农业出版社，2003：66-69.

（责任编辑　张雅芳）

·综合信息·

豪迈集团荣膺 2014 年德国 100 强创新企业称号



2014 年 6 月 27 日，在德国埃森举行的德国中小企业峰会上，豪迈集团荣获德国 Top100 创新奖，这代表着豪迈集团已成为德国最具创新能力的企业之一。

德国 100 强创新奖是经过一系列严格筛选，由维也纳大学经济工商管理学院的 Nikolaus Franke 博士主导对全德中型企业的创新管理做严格调查而最终评出，该奖项侧重于评估企业创新管理能力及创新成就两大重要领域，豪迈集团获此殊荣，主要是在为客户提供高品质的服务及在节能、环保产品方面做出了卓越的贡献。

豪迈集团自 1961 创立以来，已有 50 多年的发展历史，作为木工机械行业的领航者，为行业带来了大量的革命性产品，从发明世界上第一台封边机到 laserTec 激光无缝封边技术，以及 airTec 热风封边技术，为整个行业树立了一个新的风向标，如今的革命性产品 powerTouch 触屏技术，只要轻轻触摸机械上的显示屏，就能控制整个机械的功能。



埃森颁奖典礼现场

Ranga Yogeshwar（主持人）；Carmen Hettich –Günther（豪迈工会主席）；Dr. Christian Compera（豪迈总经理）

豪迈集团总经理 Dr.Christian Compera 认为这份荣誉属于全公司，尤其归功于豪迈集团的每一位员工，公司的每一步成功都离不开创新且有远见卓识的豪迈员工，我们可以从豪迈的产品中感受到每一位员工的热情及付出，这也是激励公司继续前进且能成为木工机械全球创新领航者的关键。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2016.09.109

教学型龙门式数控铣床的研制

刘 洋[1,2] 赵 巍[1]

(1、天津职业技术师范大学,天津 300222 2、天津职业大学,天津 300410)

摘 要:近年来,数控机床应用到了各个行业中,数控人才的需求也不断增大,但生产型设备用于教学是一种极大的资源浪费,尤其是数控龙门铣床这种大、重型设备。为解决这一实际问题,文章研制了一台教学型数控龙门铣床。设计了该机床的机械结构,并对关键部件进行了校核计算;在满足该铣床刚度、稳定性和抗震性的条件下,制作了该机床。该教学型铣床能够在"数控机床及编程"中进行演示实验,也可以进行开放式实验。

关键词:教学型;龙门铣床;数控

1 数控龙门铣床的概况

根据机床结构布局形式划分为:按龙门架是否移动,分为龙门固定工作台移动式和龙门移动式;按横梁是否在立柱上运动,分为动梁式和定梁式两种;横梁在高架床身上移动称为高架式;按机床净重和工作台承载能力,分为轻型、中型和重型(超重型)等。目前生产的主要规格范围较大,虽有进步,但是与发达国家同类产品相比,差距较大,关键的功能部件还是从国外进口。

2 教学型数控设备的概况

我国的数控实验设备的普及远不如发达国家,在实践技术方面,只是完成一些数控教学实验,不能达到真正意义上的实训,由于生产型的数控设备价格昂贵,很多职校实训设备有限,只是通过编程练习和仿真加工,不能与实际结合,为了提高学生实际动手操作技能,研究开发教学型实训设备是十分必要的。

3 教学型数控龙门铣床的研究

数控龙门铣床是在一般龙门铣床的基础上发展起来的,数控龙门铣床主要由机床机械结构、数控控制系统和机床附件几大部分组成。教学型数控龙门铣床与生产型的机床基本结构是相同的。教学型机床从机械结构方面考虑,其机械部件及材料可以不用承受很大的载荷,机床尺寸不用这么庞大。在控制系统方面可以采用开放式的数控系统,来代替专用的数控系统使其更加实用。

3.1 主要机械部件的选择原则

⑴ 工作台的选用,我们可以根据实际情况的大小指定尺寸。相应的材料和尺寸以生产型机床为参考,缩放比例。

⑵ 导轨副的选用,由于教学型数控龙门铣床,需要承受的载荷不大,但脉冲当量小、定位精度高,因此可以选用直线滚动导轨副。它具有摩擦系数小、不易爬行、传动效率高、结构紧凑、安装预紧方便等优点。

⑶ 丝杠螺母副的选用,伺服电动机的旋转运动需要通过丝杠螺母副转换成直线运动,要满足一定的定位精度,滑动丝杠副无能为力,我们可以选用滚珠丝杠副,滚珠丝杠副的传动精度高、动态响应快、运转平稳、寿命长、效率高,预紧后可消除反向间隙。

⑷ 伺服电动机的选用,由于用于教学不必采用高档次的伺服电动机,我们可以选用性能好一些的步进电动机,如混合式步进电动机,以降低成本,提高性价比。

⑸ 检测装置的选用,选用步进电动机作为伺服电动机后,可选开环控制也可选闭环控制。为了确保电动机在运转过程中不受切削负载和电网的影响而失步,决定采用半闭环控制,拟在电动机的尾部转轴上安装增量式旋转编码器,用以检测电动机的转角与转速。

3.2 控制系统的选择原则

使用开放式数控系统,开放式数控系统应具有如下的特点:

⑴ 高速、高可靠性:主轴转速可达60000r/min,进给速度达到60m/min,系统平均无故障时间达到30000h以上。

⑵ 标准化、通用化和模块化:通过选择不同的标准化模块可组成各种数控机床的控制系统,也有利于数控系统进一步扩展和升级。

⑶ 智能化:自适应控制技术的引进,有关参数可自动调整,以达到最优化的工作运行。

⑷ 网络化:有强大的联网通讯功能,可以让标准网络与数控系统无缝连接,实现软硬件资源共享。

⑸ 易操作性:传统的数控系统专业化程度高,对员工的能力要求较高,开放式数控系统容易操作,通用性强。

针对开放式数控系统采用较多的是PC+NC的方法。即把专用的运动控制器或者完整的NC单元嵌入到工业控制计算机的扩展插槽中。文章采用PMAC多轴运动控制器作为NC模块,这种研究方法具有成本较低、可运行用户自定义软件、界面友好等优点。

4 教学型数控铣床设计方案

4.1 数控铣床的总体布局

铣床的总体布局有立式和卧式之分。立式布局引用较多,在本次课题教学型数控铣床的布局中,采用的是小型龙门式结构如图1。

4.2 教学型数控铣床传动方案设计

铣床是在X轴、Y轴和Z轴三个坐标轴上,任意两轴联动实现工作的。X轴与Y轴的进给运动是通过步进电机、联轴器与滚珠丝杠等的相连,丝杠螺母又在滚珠丝杠运动。在工作的过程中,旋转运动是靠步进电机带动滚珠丝杠实现的,水平运动依赖滚珠丝杠螺母沿导轨移动,从而实现切削动作。

4.3 导轨及驱动装置

导轨采用圆柱直线导轨如图2,其特点是:防锈蚀性高;组装容易;互换容易,圆柱直线导轨产品低噪音,有滚轮与轴心接触均匀滑动,滑块为自动调心设计可互换性,任一滑轨,滑块均可互换使用;低成本化;应用广泛等。

承载两水平进给轴采用步进电机直连驱动如图3,其特点是在不超载的情况下,电机旋转的角度正比于脉冲数;电机停转的时候具有最大的转矩;由于每步的精度在百分之三到百分之五,而且不会将一步的误差积累到下一步因而有较好的位置精度和运动的重复性;良好的起停和反转响应;电机的响应仅由数字输入脉冲确定,因而可以采用开环控制,这使得伺服系统的构成比较简单而且成本低;将负载直接连接到电机的转轴上也可以极低速的同步旋转。由于速度正比于脉冲频率,因而有比较宽的转速范围,完全符合本次设计任务。

4.4 主轴

主轴组件包括轴、轴承、主轴上的传动件和密封件等。数控系统不仅可以控制主轴的启动、停止和变速,还能控制主轴上刀具的切削运动。主轴结构的好坏关系到教学型数控铣床的使用性能,决定了教学型数控铣床的动态刚度与加工精度。根据设计需要直接选用高精度雕铣机主轴,如图4。



图1 小型龙门式总体结构



图2 圆柱直线导轨图



图3 步进电机直连驱动



图4 主轴和驱动电源

5 结束语

教学型的数控龙门铣床的引入是解决大、重型设备实训的最佳途径,既节省了成本,又可以达到实训的真正意义,也让实训设备充分发挥了其应有的价值,同时开放式数控系统的应用也是未来发展的方向,让设备的使用更加灵活多样。

中国知网 https://www.cnki.net

解析数控加工刀具运动的优化控制

刘洋①;黄连宝②
(①天津职业大学,天津 300410;②天津市汇通仪器设备公司,天津 300402)

摘要:随着技术的发展,传统机床已逐步被数控机床所取代,而数控机床也实现了加工速度以及精度的大幅提升。但是受限于刀具的工作模式,数控机床刀具在加工精度以及加工速度方面仍然存在诸多不足,需要针对这些问题对数控机床的刀具运动进行优化,本文将提出部分优化措施并加以分析。

关键词:数控加工;刀具运动;控制优化

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2017.18.027

0 引言

如今数控机床因为其优异的性能被广泛使用,较之于传统机床,数控机床可以对于刀具的运动进行更为精细的控制,制作传统机床难以制造的微型复杂零件,由于精度的提高也免去了传统的"修配"工序,工作效率得到了极大的提高,可以达到传统机床的3倍以上。并且由于信息技术的使用,数控机床实现了工程的集成化,可以完成多工序的统一操作,不仅避免了搬运,还可以对于加工操作实现实时监控,并针对出现的误差进行自主调整,降低了误差率,提升了加工精度。

但是由于刀具行进路线均为一段段的线段,因此与工件的设计轮廓难以做到完美贴合,存在些许误差,而且刀具在X、Y、Z三轴的运动也难以做到协调配合,实际加工过程中也会出现偏差。另外由于目前刀具运动是一系列直线段相连,相邻线段连接点势必要进行减速停止以及重新启动的过程,不仅仅影响了加工速度,还会加大电机负荷,制造噪音并增加机器损耗降低机床使用寿命。这些问题需要对现有数控机床刀具运动进行优化加以解决。

1 运用S型曲线加减速模型进行刀具运动优化

在以往的刀具运动控制中,采用的往往是直线加减速控制方法,这一方法只注重对刀具速度以及加速度的控制,忽略了对于刀具加加速度的控制,致使加速度突变现象不能得到有效控制,刀具的突然启动与制动对机床造成极大的机械冲击,造成损耗并影响效率[1]。而S型加减速控制方法就是加入了对于加加速度的考量,从而对控制方法进行改良。这一控制方法下的刀具速度曲线呈S型,控制方法也因此得名,其各阶段速度、加速度、加加速度变化规律如图1所示。

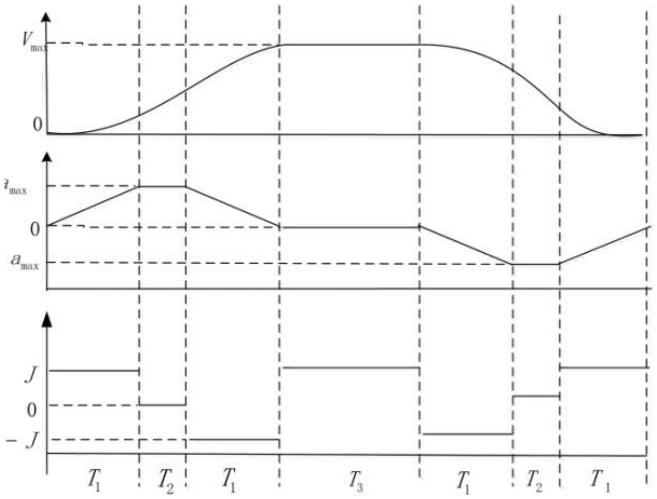


图1 S型曲线加减速控制速度V、加速度a、加加速度J随时间变化规律

从图1我们可以看出,S型曲线加减速模型控制下的刀具运动可以分为7个阶段:加加速度的加速阶段、匀加速度的加速阶段、减加速度的加速阶段、匀速阶段、加加速度的减速阶段、匀加速度的减速阶段、减减速度的减速阶段。但这只是理想状况下的状态,在刀具的实际运动过程中可能难以呈现如此清晰的7个阶段。实际生产加工过程中刀具的运动也受到机床加加速度恒定以及最大加速度、速度的限制,而且由于刀具工作特性,实际加工中刀具的运动的起始速度与终止速度通常为0。我们在对刀具进行运动控制优化之时,也需要结合这些实际状况进行计算分析,来制定符合生产实际的最优方案。

作者简介:刘洋(1982-),男,满族,山东人,实验师,硕士,研究方向为产教融合数控实训教学;黄连宝(1985-),男,天津人,工程师,本科,研究方向为数控加工技术与管理。

增高,汽车维修的售后市场也会随之有大量的零部件、配件需求,再制造产品也将会补充其需求并发挥其重大作用。

参考文献:

[1]国家发展改革委,科技部,工业和信息化部等11个部门.发改环资〔2010〕991号,关于推进再制造产业发展的意见.2010-5-13.

[2](德)Rolf Steinhilper,朱胜,姚巨坤,邓流溪译.再制造—再循环的最佳形式[M].国防工业出版社,2006.

[3]徐滨士.绿色再制造工程及其我国的应用前景[R].中国工程院咨询报告,2000,12.

[4]徐滨士.再制造工程与纳米表面工程[J].上海金属,2008,30(1):1-7.

[5]徐滨士,朱胜,王海斗.再制造工程及其失效分析[J].金属热处理,2007(32):1-5.

[6]徐滨士.中国工程院《废旧机电产品资源化》咨询研究项目.北京:中国工程院,2003,12.

[7](德)Rolf Steinhilper,朱胜,姚巨坤,邓流溪译.再制造—再循环的最佳形式[M].国防工业出版社,2006,3:108-110.

中国知网 https://www.cnki.net

$$V(t)=\begin{cases}\frac{1}{2}Jt^2, & t\in(0,T_1],\\ \frac{1}{2}J_{const}T_1^2+a_{max}(t-T_1), & t\in(T_1,T_1+T_2],\\ \frac{1}{2}J_{const}T_1^2+a_{max}T_2+a_{max}(t-T_1-T_2)-\frac{1}{2}J(t-T_1-T_2)^2, & t\in(T_1+T_2,2T_1+T_2],\\ V_{max}, & t\in(2T_1+T_2,2T_1+T_2+T_3],\\ V_{max}-\frac{1}{2}J(t-2T_1-T_2-T_3)^2, & t\in(2T_1+T_2+T_3,3T_1+T_2+T_3],\\ V_{max}-\frac{1}{2}J_{const}T_1^2-a_{max}(t-3T_1-T_2-T_3), & t\in(3T_1+T_2+T_3,3T_1+2T_2+T_3],\\ V_{max}-\frac{1}{2}JT_1^2-a_{max}T_2-a_{max}(t-3T_1-2T_2-T_3)+\frac{1}{2}J(t-3T_1-2T_2-T_3)^2, & \\ & t\in(3T_1+2T_2+T_3,4T_1+2T_2+T_3].\end{cases} \tag{3}$$

以 S 型曲线加减速模型对刀具运动进行控制时，首先要根据相关条件 J、a、v 联立方程式，再利用微积分进行最优解的求算，完成对于刀具运动控制的优化。

$$J(t)=\begin{cases}J_{const}, & t\in(0,T_1],\\ 0, & t\in(T_1,T_1+T_2],\\ J_{const}, & t\in(T_1+T_2,2T_1+T_2],\\ 0, & t\in(2T_1+T_2,2T_1+T_2+T_3],\\ J_{const}, & t\in(2T_1+T_2+T_3,3T_1+T_2+T_3],\\ 0, & t\in(3T_1+T_2+T_3,3T_1+2T_2+T_3],\\ J_{const}, & t\in(3T_1+2T_2+T_3,4T_1+2T_2+T_3],\end{cases} \tag{1}$$

$$a(t)=\begin{cases}Jt, & t\in(0,T_1],\\ a_{max}, & t\in(T_1,T_1+T_2],\\ a_{max}-J(t-T_1-T_2), & t\in(T_1+T_2,2T_1+T_2],\\ 0, & t\in(2T_1+T_2,2T_1+T_2+T_3],\\ -J(t-2T_1-T_2-T_3), & t\in(2T_1+T_2+T_3,3T_1+T_2+T_3],\\ -a_{max}, & t\in(3T_1+T_2+T_3,3T_1+2T_2+T_3],\\ -a_{max}+J(t-3T_1-2T_2-T_3), & t\in(3T_1+2T_2+T_3,4T_1+2T_2+T_3],\end{cases} \tag{2}$$

通过方程式(1)、(2)、(3)，我们可以推导出时间与位移的关系式：

$$s=2J_{const}T_1^3+3J_{const}T_1^2T_2+J_{const}T_1T_2^2+J_{const}T_1T_2T_3$$

方程式中的 T_1 代表加加速度时间，T_2 代表最大加速度时间，T_3 代表最大速度时间。通过该方程式得出的时间与位移的关系，再结合操作机床的实际特性限制，例如最大速度 V_{max}，最大加速度 a_{max} 以及加加速度 J 来进行刀具的运动规划。在实际加工中会有三种不同的约束情况影响 T_1，从而影响 T_2 以及 T_3，我们需要对这三种状态分别进行讨论。

首先是 T_1 受到路程 s 限制，由此可知加速度 a 及速度 V 均未能达到最大值，故可以得到结论 $T_2=0$，$T_3=0$。

而当 T_1 受到最大速度限制之时，可知在刀具运动过程中加速度未达到限定值，故可得 $T_2=0$，但速度达到最大值，$T_3=\frac{s}{J_{const}T_1^2}-2T_1$

最后一种状况则是加速度成为限制条件，此时若整个过程中路程 s 同时起到约束作用，没有匀速阶段，则 $T_3=0$。若存在匀速阶段，则需要对 T_3 进行计算，通过计算可得 T_2 与 T_3。

$$T_2=\min\left(\frac{V_{max}}{J_{const}T_1}-T_1,\frac{-3T_1+\sqrt{T_1^2+\frac{4s}{J_{const}T_1}}}{2}\right)$$

$$T_3=\frac{s}{J_{const}(T_1^2+T_1T_2)}-\frac{2T_1^3+3T_1^2T_2+T_1T_2^2}{T_1^2+T_1T_2} \tag{4}$$

此时我们便通过计算得到了所有的时间控制点，可以利用 S 型曲线加减速模型进行刀具的运动优化。但是在实际加工过程中，数控系统作为离散式的控制系统无法满足计算时的连续条件，这也势必会造成误差，致使操作精度下降。针对这一问题，需要将式(4)所得到的时间转换点选用为系统信号采样周期的整数倍，并对后续控制进行相应调整，尽量减少离散式控制系统对于操作精度的影响。

通过 S 型曲线加减速模型理论对于目前数控机床加工工件过程的分析，发现加加速度 J 是目前制约加工速率的主要因素。这是由于目前人们在数控机床刀具运动进行控制时忽略了对加加速度的考虑，J_{max} 过低，在实际加工过程中加速度提升缓慢，刀具难以达到最大速度，大大影响了工作效率。

虽然相比于目前常用的直线加减速控制，S 型曲线加减速模型控制具有较多优势，很好地优化了数控机床的刀具运动，实现了刀具加减速的柔化，但是当下人们对于它的研究使用也只是出于初始阶段，仍有许多问题需要解决[2]。首先是目前人们在运用 S 型曲线加减速模型控制刀具运动之时忽略了机床启动之时的加加速度突变，这容易导致对机床产生冲击，影响使用寿命。

目前 S 型曲线加减速模型控制中 J 通常为定值，这就导致在刀具运动过程中的调控缺乏连续性，刀具的加减速效率低，针对这一问题可以通过实现对于机床加加速度的连续调整加以解决，让刀具可以平滑运动，同时提升加工效率以及加工质量。除此之外，刀具在进行折线运动或者圆弧运动时目前通常是通过方程计算最佳初始速度以及加速度，沿预设角度快速进行切割[3]。但是在进行大角度切割时这种方法容易损伤刀具，此时可以在 S 型曲线加减速模型控制的基础上加入转接段，在误差允许的情况下牺牲少量精度实现刀具的快速切割，同时对于 Y 轴及 X 轴的运动轨迹进行计算，使两者可以完美啮合形成 S 型曲线，进一步提升机床工作效率以及加工精度。

中国知网 https://www.cnki.net

表 1　圆弧半径效率对比

圆弧半径 (cm)	步长 (cm)	插补次数 (次)	平均每步所需时间 (s)	总插补时间 (s)
5	0.2	40	0.161	112.19
10	0.2	80	0.134	86.91
20	0.2	158	0.087	81.76

2　利用插补法优化刀具的圆弧运动控制

数控机床刀具的运动轨迹是一系列首尾相连的线段，因此在进行曲线工件加工之时无法做到与设计轮廓相同，会存在误差。而且由于在进行曲面工件加工之时会存在大量折线，这也就导致了道具运行需要多次重复停止启动，加工速率得不到保证。

在进行曲线工件加工时，刀具需要沿着曲线进行多直线段相连的连续分割，而在对这一过程进行运动优化时首先要考虑的就是保障工件加工的精确度，而我们对于道具运动优化的前提便是这些误差不能超过工件要求的误差范围。之后进行的运动优化可以基于 S 型曲线加减速模型控制。而刀具在进行分割时，需要在拐点处保证速度为零才能保证不出现偏差，避免二次加工，但是在拐点处速度降为零会导致刀具行进速度过慢，严重影响加工速度，降低数控机床效率。因此可以采用对折线处进行平滑处理的方法来优化刀具运动。首先要将折线角度、刀具出入速度与 S 型曲线加减速模型控制方程进行联立，求得最佳的加加速度 J 以及相应的时间控制节点，之后再根据折线角度以及工件允许误差来进行刀具运动轨迹的优化，已得到最大的转角速度，提高刀具分割效率。

而在曲线分割时，刀具沿圆弧行进分割时也需要对于运动轨迹进行优化，结合 S 型曲线加减速模式控制，使用插补法进行优化具有较好效果。插补法进行切割时需要将圆弧分位多个小扇形，之后根据圆弧的切向量以及法向量计算刀具的运动夹角，之后仿照之前的做法优化刀具的折线运动，以求得到最佳转接速度。而刀具的行进轨迹目前主要有两种模式，一种是沿小扇形的弦线方向进行分割，一种是沿切线方向进行分割。两者在进行刀具运动优化后都具有较高的分割效率，但是弦线方向分割其轨迹均在折线段的内测，误差较大，难以保证工件加工精度。而沿切线方向分割其运动轨迹往往是在折线外侧，加工误差小，明显优于沿弦线方向分割，故目前大多采用沿切线方向对圆弧切割进行插补。而在插补过程中，插补效率与圆弧半径也存在联系，见表 1。

由表 1 可知，当步长不变时，圆弧半径越大，其所需的插补次数也就越多，平均每步所需的插补时间减少，总插补时间更少，效率更高。不过由于机床数控系统的信号具有离散性，因此在采用插补法进行刀具运动优化控制时也要注意其时间与信号周期相合，避免出现误差。

3　通过最小有向距离算法进行刀具运动的优化控制

前文提到通过 S 型曲线加减速模型控制以及插补法对数控刀具运动进行优化控制主要是针对刀具的平面运动，而目前大多的刀具运动控制也只注重于刀具在 x 轴、y 轴运动轨迹的啮合。但是目前人们对于工件的精度要求不仅仅只局限于平面精度，对垂直方向上的精度也提出了较高的要求。这就需要数控机床对刀具进行运动控制时还要考虑 z 轴方向刀具运动的影响。

较之于以往的运动计算，这类计算不仅需要考虑 x、y、z 三方向的平动变量，还需要考虑刀具在三个方向上的转动变量，因此这是一个 6 自由度的体系。我们可以将这一体系简化两种状态，见图 2。图中实线表示刀具先做转动运动再做平动的体系，图中虚线表示刀具先做平动运动再做转动运动两种体系。而最小有向距离算法就是通过对这两个体系进行分析求解出被加工曲面与刀具曲面相啮合的最小有向距离。不过在实际加工过程中，我们通常都将平动运动作为终结运动进行计算，而通过计算分析我们可以得出，两个连续曲面沿给定直线进行平动距离最小的点就是两曲面平动接触的啮合点。

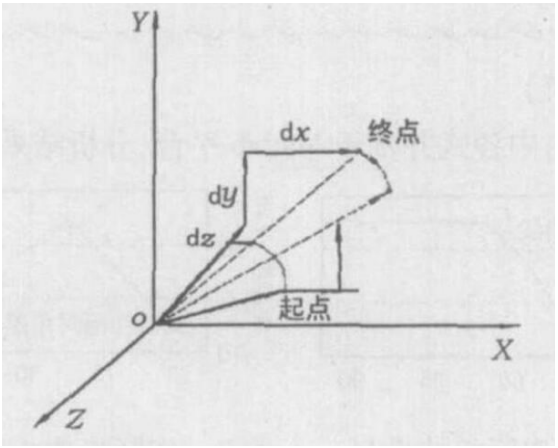


图 2　两种不同加工运动路径

4　结束语

目前数控机床已经被广泛运用于的工件加工生产，而面对人们对于工件精度日益严苛的要求以及目前存在的问题，需要对刀具运动进行优化控制。可以通过采用 S 型曲线加减速模式控制，来实现刀具柔性加减速，提升加工效率及精度，并减少磨损。另外还可以通过插补法优化曲线工件加工效率及精度，利用最小有向距离法优化刀具垂直方向运动。通过这些措施可以有效优化数控刀具的运动控制，让工件加工更具效率，符合当下要求，让数控机床技术得到更大地发展。

参考文献：

[1]赵娇燕，程望斌，万力，等.数控加工刀具的速度优化控制[J].湖南理工学院学报(自科版)，2017，30(1)：44-51.

[2]马晨曦，王首喆，汪灏.基于 S 型曲线加减速的数控加工刀具运动优化控制[J].数学的实践与认识，2016，46(15)：47-56.

[3]都琳，杨富强，王茁茁，等.数控加工刀具运动的优化控制[J].数学的实践与认识，2016，46(15)：57-64.

中国知网　https://www.cnki.net

精密加工中表面粗糙度对零件疲劳强度的影响分析

刘 炜

（天津职业大学机械工程实训中心 天津 300410）

摘 要：为探讨精密加工过程中表面粗糙度对机械零件疲劳强度的影响，本文通过系统的实验设计，采用不同的加工参数制备出具有多种表面粗糙度的试样，进行疲劳测试以评估其疲劳寿命。研究结果显示，表面粗糙度对材料的疲劳强度有显著的影响。本文通过对试样表面和断口的微观结构分析，进一步阐明了表面粗糙度对疲劳强度的影响机理。本文研究以期为精密加工领域零件疲劳性能的提升和零件设计优化提供科学依据。

关键词：精密加工；表面粗糙度；疲劳强度；零件寿命

0 引言

随着高性能材料和先进制造技术的发展，精密加工在航空、汽车及高端设备制造中的应用日益广泛。在这些领域中，零件的疲劳强度是决定其可靠性与寿命的关键因素。而表面粗糙度作为加工质量的重要指标，会直接影响材料的疲劳性能。尽管已有研究表明较低的表面粗糙度有助于提高疲劳寿命，但对其具体影响机制的理解仍不充分。疲劳破坏通常源于材料内部或表面的微缺陷，而优化表面加工质量可以显著延长材料的疲劳寿命，对提升整体结构的可靠性与安全性具有重要意义。

1 表面粗糙度及疲劳强度的理论框架

1.1 表面粗糙度的测量与分类

表面粗糙度反映了材料表面微观几何形状的不平整度，是评价表面加工质量的重要参数之一。为了精确测量表面粗糙度，工业界通常采用接触式和非接触式两种主要的测量方法。

接触式测量方法，例如针尖轮廓仪，依靠与材料表面直接接触的方式，通过感应针尖在表面的高低起伏移动来记录并计算粗糙度指标。这种方法虽然广泛应用于多种工业领域，但可能对柔软或脆弱表面造成损伤。

非接触式测量方法，如激光扫描和白光干涉仪，利用光学技术测量表面的微观结构，无需物理接触，避免了对材料表面的潜在损害。这些方法通过分析反射光的干涉图案来精确评估表面粗糙度，适用于高精度的表面质量评估，特别是在半导体和精密加工领域中得到了广泛应用。

表面粗糙度的分类依据国际标准 ISO 4287，主要包括 *Ra*、*Rz*、*Rq* 等参数。其中，*Ra*（算术平均粗糙度）是最常用的粗糙度参数，可以有效地反映出表面的整体平滑度 [1]。

1.2 疲劳强度理论

疲劳强度是指材料在反复应力作用下抵抗疲劳破坏的能力。疲劳破坏的过程可以从微观层面上理解为材料内部微裂纹的萌生和扩展。疲劳寿命的评估常采用 *S-N* 曲线（应力－寿命曲线），它表示特定应力幅值下，材料可承受的循环次数。

表面粗糙度通过影响表面微观结构，直接参与疲劳裂纹的萌生过程。粗糙的表面导致材料表面的应力集中，因此，在相同的外部加载条件下，表面粗糙度较高的材料的疲劳寿命较短。

1.3 表面粗糙度对疲劳裂纹萌生和扩展的影响机制

在循环载荷作用下，材料表面的微观不平整性通常是裂纹萌生的主要原因。在微观层面，表面粗糙度的峰谷结构引起局部应力分布的不均匀，从而使应力集中现象加剧。特别是在高粗糙度条件下，材料表面存在的微小凹陷会形成局部高应力区域，当应力超过材料的局部屈服极限时，微裂纹开始萌生。随着粗糙度的增大，应力集中效应增强，使得裂纹萌生所需的临界应力显著降低，加速疲劳破坏进程。

裂纹萌生后，其扩展路径会受到表面状态的显著影响。较高的表面粗糙度会导致裂纹沿着表面不规则形态扩展，使裂纹扩展路径更加复杂，局部的

中国知网 https://www.cnki.net

裂纹尖端应力强度因子增大，加快裂纹扩展速度。在粗糙表面上，裂纹通常会在多个应力集中点萌生，并在扩展过程中发生相互连接，导致裂纹扩展更加不稳定，最终加速材料失效。相比之下，光滑表面的裂纹扩展路径较为稳定，裂纹扩展速度较慢，有助于延长材料的疲劳寿命。

裂纹的萌生与扩展不仅受到表面形貌的影响，还受到材料内部能量释放特性的影响。根据 Griffith 断裂理论，裂纹的扩展需要满足能量释放率的临界条件，即材料在裂纹扩展过程中，表面能的增加必须由应力场提供的能量补偿。较高的表面粗糙度使得裂纹尖端的局部应力状态更为复杂，导致裂纹扩展所需的能量门槛降低，从而裂纹更早地萌生并加速扩展。裂纹的扩展速率可由 Paris 定律描述，在较高的表面粗糙度条件下，应力强度因子的波动范围更大，使裂纹扩展速率显著增加，疲劳寿命缩短；当表面粗糙度降低时，裂纹尖端的应力集中效应减弱，使得裂纹扩展速率降低，延长材料的疲劳寿命。

2　实验设计与方法

2.1　实验材料与加工方法

本文研究选择常用的高强度钢 AISI4340 作为实验材料，这种材料因具有优异的力学性能和良好的疲劳抗性而被广泛应用于航空航天工业。钢材在使用前经过标准化热处理，包括淬火和回火。淬火过程在 850°C 进行 1h，随后在油中快速冷却，回火则在 450°C 进行 2h。

实验所用样本先通过电火花线切割机切割成规定形状和尺寸，切割后的样本尺寸为长度 100mm，宽度 10mm，厚度 5mm，这种尺寸足以承受后续的疲劳测试 [2]。

为了研究表面粗糙度对疲劳强度的影响，实验中需要精确控制每个样本的表面粗糙度。这通过精密磨床加工实现，使用不同粒度的砂轮来调整粗糙度。砂轮粒度分别为 150、320、600 和 1200，对应不同的磨削参数，具体如下：

（1）150 粒度砂轮：磨削速度 20m/s，进给率 0.01mm/rev，磨削深度 0.05mm；

（2）320 粒度砂轮：磨削速度 25m/s，进给率 0.008mm/rev，磨削深度 0.04mm；

（3）600 粒度砂轮：磨削速度 30m/s，进给率 0.005mm/rev，磨削深度 0.025mm；

（4）1200 粒度砂轮：磨削速度 35m/s，进给率 0.002mm/rev，磨削深度 0.01mm。

在磨削过程中，所有试样都在恒温条件下进行处理，以避免由温度变化引起的材料性能波动。此外，为确保磨削质量，每次磨削后都使用冷却液清洗试样，防止过热和表面损伤。每个磨削条件下的试样都至少重复三次，以确保数据的可靠性。

2.2　疲劳测试方法

本文研究采用旋转弯曲疲劳测试装置，这种装置能够模拟和加速实际工作环境中零件所承受的重复应力。

旋转弯曲疲劳测试主要通过旋转弯曲疲劳试验机进行，该试验机具有能够精确控制转速和加载的能力，其主要组成部分包括：电动加载系统、转速控制器、力矩传感器和数据采集系统。实验中使用的试验机型号为 RB-200，最大转矩为 500Nm，可调节的转速范围为 100 ~ 10000r/min。实验样本被固定在一个特制的夹具中，该夹具与驱动轴相连，通过电动机以设定的转速旋转，以模拟实际操作条件下的应力状态。

在进行疲劳测试前，首先需对所有磨削后的试样进行表面清洁和检查，以确保无明显的制造缺陷或表面损伤。然后将每个试样安装在试验机的夹具上，夹具的设计要保证试样可以均匀受力 [3]。试验参数设置如下：

（1）转速：设置为 3000r/min，以确保足够的应力水平而不至于过早引起断裂。

（2）载荷：每个试样的弯曲载荷设置为 200Nm，该数值是根据材料的屈服强度和预期的使用寿命预先计算得出。

疲劳测试的每个循环包括将试样旋转 360°，每旋转一定角度（如 45°）记录一次数据。

2.3　数据采集和分析

数据采集系统自动记录每个试样的疲劳寿命。同时，通过力矩传感器监测和记录试样在疲劳过程中承受的最大和最小应力。

数据分析采用统计软件进行，首先对收集到的数据进行清洗和初步的统计描述，包括计算平均疲劳寿命、标准偏差等。然后采用方差分析（ANOVA）来评估不同表面粗糙度水平对疲劳寿命的影响显著性。

中国知网　https://www.cnki.net

此外，对疲劳断口进行扫描电子显微镜（SEM）分析，观察微观裂纹的起始和扩展情况，以及表面粗糙度如何影响裂纹的形成和疲劳断裂的模式。这些分析帮助深入理解表面状态如何影响材料的疲劳性能。

3 实验结果与分析

3.1 表面粗糙度的测定结果

本文表面粗糙度的测定采用接触式轮廓仪，在不同砂轮粒度和相应的磨削参数下得到表面粗糙度数据（*Ra*），每种条件下的试样均进行了三次重复测量，以计算平均值和标准偏差，具体如表 1 所示。

表 1 表面粗糙度的测定结果

砂轮粒度	磨削速度/（m/s）	进给率/（mm/rev）	磨削深度/mm	平均表面粗糙度 *Ra*/μm	标准偏差/μm
150	20	0.01	0.05	3.2	0.1
320	25	0.008	0.04	2.1	0.08
600	30	0.005	0.025	1.3	0.05
1200	35	0.002	0.01	0.6	0.02

从表 1 可以看出，随着砂轮粒度的增加和进给率的减小，样本的表面粗糙度显著降低。磨削速度的增加也对降低表面粗糙度起到了积极作用。这一结果与预期相符，表明通过精确控制磨削参数可以有效调节材料表面的粗糙度。

在每个磨削条件下，试样在完成磨削后均进行了表面的冷却处理，使用冷却液清洗，以消除磨削热可能对材料表面性能的影响。这一步骤对于保持试样的材料性质和表面完整性至关重要，也确保了后续疲劳测试的可靠性 [4]。

标准偏差的数据表明，试验具有良好重复性，确保了实验操作的一致性，从而保证了数据的可信度。较低的标准偏差也说明了实验过程中控制参数的准确性和磨削过程的稳定性。

3.2 疲劳实验结果

疲劳实验的主要目的是评估不同表面粗糙度对 AISI4340 钢材疲劳寿命的影响。具体如表 2 所示。

从数据可以明显看出，随着表面粗糙度的减小，材料的疲劳寿命显著增长。这表明较平滑的表面能够更好地抵抗疲劳破坏。

为进一步理解表面粗糙度如何影响疲劳破坏机制，对断裂的试样进行了 SEM 分析。SEM 分析揭示了不同粗糙度试样的微观裂纹特征。

表 2 疲劳实验结果分析

表面粗糙度 *Ra* /μm	平均疲劳寿命/万次循环	标准偏差/万次循环
3.2	12.5	0.3
2.1	15.4	0.4
1.3	19.8	0.5
0.6	26.2	0.6

（1）高粗糙度样品（*Ra*3.2μm）：裂纹主要在粗糙表面的凹陷处萌生，这些区域在材料中形成应力集中，促进了裂纹的快速扩展。

（2）中等粗糙度样品（*Ra*2.1μm 和 *Ra*1.3μm）：裂纹萌生点较少，主要集中在局部缺陷，如微小夹杂物附近。这些样品的裂纹扩展速度较慢，显示出更好的疲劳抵抗性。

（3）低粗糙度样品（*Ra*0.6μm）：这些样品表面较为光滑，裂纹萌生主要由材料内部的微观缺陷引起，且裂纹的扩展明显缓慢，表现出最优的疲劳寿命。

3.3 统计分析

为了确保实验结果的有效性和显著性，本文进行了详尽的统计分析，主要包括方差分析（ANOVA）和相关性测试。方差分析用于检验不同表面粗糙度条件下的疲劳寿命是否存在显著差异，结果如表 3 所示。

表 3 方差分析（ANOVA）结果

来源	平方和/SS	自由度/df	均方/MS	F 值	P 值	显著性
粗糙度组间	254.3	3	84.77	22.59	＜ 0.0001	是
误差	168.9	44	3.84	—	—	—
总计	423.2	47	—	—	—	—

其中，平方和是衡量数据偏离总平均值的一个量度，粗糙度组间的平方和反映了各粗糙度组平均值与总平均值之间差异的大小。自由度是进行统计测试时可用的独立值的数量。粗糙度组间的自由度等于组数减 1（在此为 3）。均方是平方和除以相应自由度的结果，反映了每个数据点平均的变异量。F 值

中国知网 https://www.cnki.net

是组间均方与误差均方的比率，一个较高的 F 值通常表明实验中至少有一个组平均值显著不同。

ANOVA 分析显示，不同粗糙度组之间的疲劳寿命差异在统计上是显著的（P ＜ 0.0001），F 值为 22.59，这表明表面粗糙度对疲劳寿命有显著影响。

本文还进行了 Pearson 相关性测试，以评估表面粗糙度（*Ra*）和疲劳寿命之间的相关性强度。相关性分析的结果显示，表面粗糙度与疲劳寿命之间存在显著的负相关，具体如表 4 所示。

表 4　相关系数分析结果

变量 1	变量 2	Pearson 相关系数	P 值	显著性
表面粗糙度	疲劳寿命	－0.89	＜ 0.0001	是

这一结果表明，随着表面粗糙度的减小，疲劳寿命显著增长，相关系数 －0.89 指出了一个很强的负相关关系，验证了较平滑的表面可以显著提高材料的疲劳寿命 [5]。

4　影响机制与实际意义

4.1　表面粗糙度对疲劳强度的影响机制

表面粗糙度对于材料的疲劳强度 [6] 具有深远的影响。在微观层面，表面的不平整性造成了局部应力集中的现象，尤其是在表面的凹凸不平区域。这些微小的应力集中点是裂纹萌生的原因，特别是在反复的载荷作用下，裂纹更易于在这些弱点处扩展。

实验观察表明，表面粗糙度较高的试样会在较短的循环次数内出现裂纹，直观地展示了应力集中的危害。较高的表面粗糙度通常与表面附着的微小缺陷或夹杂物相关，这些微观结构缺陷在循环载荷的影响下，成为裂纹扩展的优先路径。较粗糙的表面提供了更多的裂纹萌生点，加速了裂纹的扩散速度；而更平滑的表面则显著降低了这些微观缺陷的数量，提高了材料的整体疲劳寿命。由此可见，表面粗糙度的控制是提高材料疲劳寿命的关键因素之一。

4.2　工程应用的实际意义

在工程实践中，精密加工的表面质量直接关系到产品的可靠性和耐用性。精密加工可以采取一系列优化措施，以提高产品的疲劳寿命。首先是优化磨削工艺，这是提高表面质量的基础。通过采用更细的砂轮粒度和更精细的进给率控制，可以有效降低表面粗糙度，减少表面的微观不平整性和应力集中现象，显著提高产品的疲劳寿命。二是对承受循环载荷的关键部件进行表面精细化处理，如表面抛光或其他高级表面整平技术，这也是提高疲劳寿命的有效手段。这些处理不仅进一步平滑了表面，还能改善表面的微观结构，降低表面缺陷的数量和规模，从而提高了结构的整体抗疲劳性能。三是进行定期的表面质量检测，这是确保产品质量和延长其使用寿命的必要条件。在关键部件的生产过程中，应实施严格的表面检测程序，以确保每一部分的表面处理都达到了设计要求。这种质量控制措施能够及时发现和纠正因表面粗糙度不合格可能引起的产品早期失效问题，保证产品的高可靠性和长期稳定性。

通过这些策略的实施，可以显著提高精密加工产品的疲劳强度和可靠性，对于航空航天、汽车制造和精密仪器等行业尤为关键。

5　结语

本文研究表明，表面粗糙度对零件的疲劳强度具有显著影响。较低的表面粗糙度能够显著提高材料的疲劳寿命。此外，表面处理优化是提高零件可靠性和性能的关键技术路径。未来研究可以扩展到不同类型的材料和更复杂的载荷条件，以更全面地评估表面粗糙度对疲劳性能的影响。

参考文献

[1] 赵静 . 表面质量对加工零件性能影响及工艺优化思路 [J]. 农机使用与维修 ,2022(11):29-31.

[2] 罗柏瑶 . 粗糙度参数对圆柱类零件接触疲劳强度影响规律研究 [D]. 湘潭 : 湖南科技大学 ,2022.

[3] 邓日清 .SLM 成型 TC4 钛合金铣削加工表面完整性与疲劳性能研究 [D]. 天津 : 河北工业大学 ,2022.

[4] 李景才 . 表面粗糙度对工件使用性能的影响分析 [J]. 山东商业职业技术学院学报 ,2022,22(02):102-106.

[5] 付仁杰 . 表面粗糙度对车用铝合金材料疲劳寿命的影响研究 [D]. 上海 : 上海工程技术大学 ,2021.

[6] 武导侠 . 制造表面完整性建模与疲劳强度应力集中敏感性分析方法 [D]. 西安 : 西北工业大学 ,2020.

作者简介：刘炜（1990.04-），男，汉族，湖南邵阳人，本科，讲师，研究方向：产教融合数控加工实训教学。

中国知网　https://www.cnki.net

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2013.03.008

文章编号:1002-025X(2013)03-0062-03

聚丙烯装置隔阻液管失效分析

杨元良，邹吉权

（天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300402）

摘要：在对聚丙烯装置进行检修时，发现 2 根阻隔液管在焊接接头处折断。通过进行化学成分分析、宏观断口分析、扫描电镜分析、显微硬度测试、常规力学性能试验以及抗冲击性能测试，找出了焊接接头失效原因，并提出了返修措施。

关键词：不锈钢钢管；焊接接头；失效分析

中图分类号：TG444.74 文献标志码：B

0 序言

某公司在对聚丙烯装置多区反应器进行检修时，发现隔阻液管有 2 根全部折断（图 1）。阻隔液管材质为 0Cr18Ni9 不锈钢，规格为 ϕ60 mm×5.6 mm，工作介质为丙烯（C_3H_6），工作温度为 80 ℃，工作压力为 2 MPa。上侧沿管轴向焊接三角条，三角条材质与隔阻液管的材质相同，焊接材料为 ER308，采用 GTAW 焊接工艺。

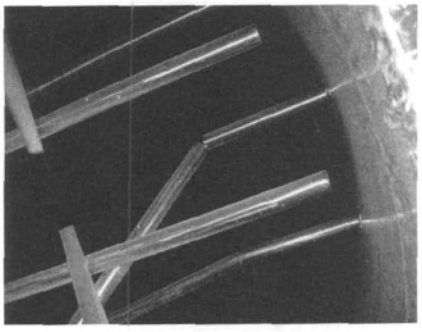


图 1 隔阻液管断裂

1 检测内容

1.1 宏观断口分析

将试件折断后，发现顶部三角条为非整体的拼接结构，断裂即发生在三角条拼接焊缝处，拼接焊缝所开坡口小，焊缝金属较少，大部分为未焊透断面，其上机加工痕迹清晰，如图 2 所示。从裂纹分叉方向判定，裂纹为由上向下扩展，基本上与管壁垂直，断口平齐，有金属光泽，断口附近无明显的塑性变形，脆性断裂特征明显。

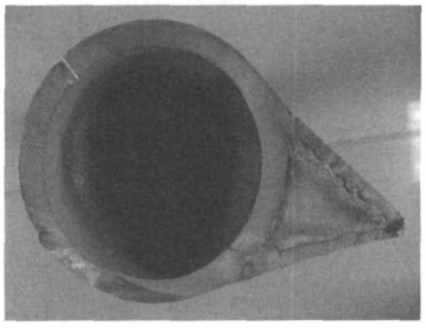
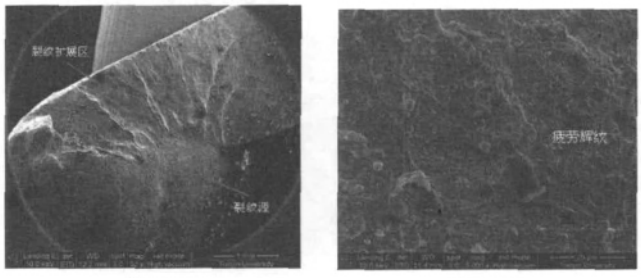


图 2 隔阻液管宏观断口形貌

1.2 微观断口分析

采用扫描电镜观察断口形貌，发现裂纹起源于三角条对接焊缝顶端部位内侧，由内向外扩展（图 3a），高倍图可观察到疲劳辉纹（图 3b），初步判断为疲劳断裂。



（a）50× （b）3 000×

图 3 三角条断口 SEM 形貌

1.3 化学成分分析

采用德国 SPECTROMAXX 直读光谱仪分别对管

收稿日期：2012-10-10

中国知网 https://www.cnki.net

和三角条的化学成分进行分析，结果见表 1 和表 2。根据 GB 13296—2007 和 GB/T 1220—2007 标准，管的化学成分均在标准范围之内，三角条的 Cr 含量略低于标准值，但对本次破坏不会产生实质性影响。

表 1 阻融液管的化学成分（质量分数）（%）

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
平均值	0.02	0.244	0.595	0.003 1	0.033 5	18.265	8.2
标准值	≤0.07	≤1.0	≤2.0	≤0.03	≤0.035	17~19	8~11

表 2 三角条的化学成分（质量分数）（%）

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
平均值	0.012	0.419	1.17	0.004 7	0.041	16.825	9.97
标准值	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.03	≤0.045	18~20	8~11

1.4 常规力学性能及硬度测试

试验后的试样照片如图 4 所示。对 2 个拉伸试样进行测试，结果见表 3，各项力学性能指标均高于 GB 13296—2007 标准要求。

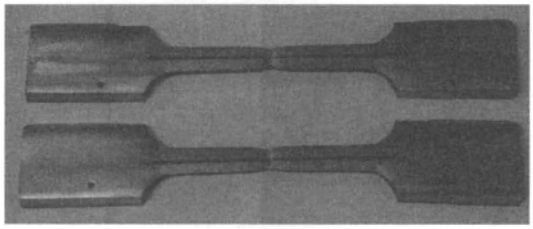


图 4 拉伸试验后的试样

表 3 阻融液管力学性能试验结果

试样编号	断面收缩率 Z（%）	抗拉强度 R_m/MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$/MPa	断后伸长率 A（%）
1	71.49	598.15	274.15	65.20
2	68.80	600.35	261.3	63.40
GB 13296—2007	—	520	205	35

采用 HVA-10A 型维氏硬度计测量焊缝、热影响区和母材 3 个区域的维氏硬度。测点间距为 1 mm，载荷为 10 N。上述各区域硬度值均低于 GB 13296—2007 标准值（表 4），符合要求。

表 4 显微硬度测试结果（HV）

接头种类	焊缝			HAZ	母材		
三角条对接焊	188	189	184	183	131	150	157
三角条与管焊接	199	185	173	173	165	174	175
GB 13296—2007	≤220						

1.5 冲击试验

按 GB/T 229—1994《金属夏比缺口冲击试验方法》对试样进行常温冲击试验，三角条采用标准试样，管由于壁厚限制采用小试样，管和三角条各取 3 个试样。测试结果为：管子的冲击吸收功平均值为 124 J，三角条的冲击吸收功平均值为 283.3 J。试样冲击后的照片如图 5 所示。试验结果表明，断口处产生了较大塑性变形，冲击吸收功较高，材料的冲击韧性很好。

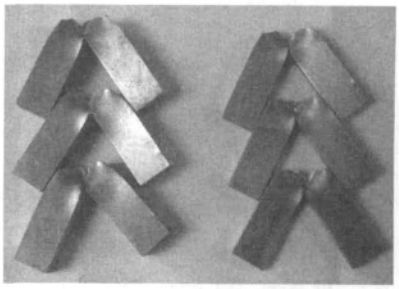


图 5 冲击试验后的试样

1.6 金相组织分析

分别对管与三角条焊接接头、三角条对接接头的母材、焊缝和焊接热影响区进行金相组织观察与分析，管与三角条的母材组织均为奥氏体，组织正常；焊接热影响区为奥氏体+铁素体，组织正常，如图 6 所示；焊缝组织为奥氏体基体+网状（条状）铁素体以及少量碳化物，有柱状晶，组织正常，如图 7 所示。各区域均未发现热裂、晶间腐蚀、刀蚀或应力腐蚀现象，也未发现特别粗大组织。

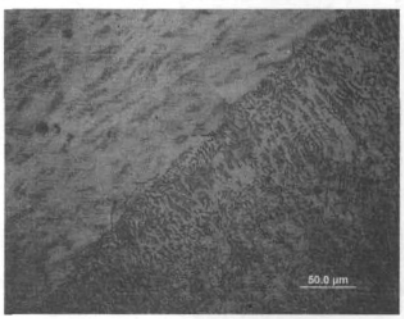


图 6 管和三角条 HAZ 组织（A+F） 500×

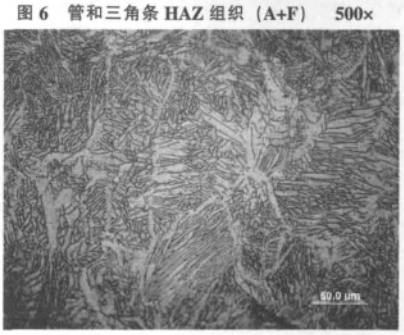


图 7 管和三角条焊缝组织（A+F） 500×

2 检测结果分析

材料的化学成分、力学性能（抗拉强度、屈服强度、伸长率、冲击性能）及硬度均符合相关标准，焊接接头各区域的金相组织正常。

中国知网 https://www.cnki.net

通过断口宏观和微观观察，并结合工件受力条件和材质性能分析，破坏形式为疲劳断裂，疲劳断裂起点为三角条对接焊缝顶端的内侧，逐渐向外扩展至表面，并沿对接焊缝向下扩展，裂纹扩展至管壁，最终造成断裂。造成过早疲劳断裂的原因如下：

（1）由于三角条采用对接，所开坡口小，大部分未焊透，对接处焊缝内侧存在应力集中，是现成的疲劳裂纹源，焊缝经打磨后，焊缝金属较少，在振动和 2 m/s 的旋风气流扰动下，使悬臂管进行周期性摆动，加上焊接残余应力，是造成管过早疲劳断裂的直接原因。

（2）支撑设计不合理：由于管一端为刚性悬臂固定，不能保证另一端与支撑接触，自由度过大，隔阻液管在自重、振动和旋风气流扰动、焊接残余应力的叠加作用下产生疲劳破坏，即使三角条不采用拼接，疲劳寿命也不会很高，最有可能在悬臂根部产生疲劳断裂，这是产生疲劳破坏的根本原因。

（3）三角条是实心的，增大了隔阻液管的自重，在支撑不合理的情况下，会加速疲劳裂纹扩展。

（4）2 根管断裂后的连接部位均在右下侧，说明管不仅受向下力（主要为管自重）的作用，还受到水平方向气流的扰动。

3　改进措施

（1）根据设计要求，三角条不应采用实心结构，而应采用 2 块板拼接，并且所有焊缝应全焊透。

（2）管和三角条均采用整根结构，在长度方向不进行拼接；隔阻液管悬臂根部为危险区域，角焊缝与母材要过渡平滑，避免出现严重的应力集中，焊缝表面最好为凹形。

（3）为避免隔阻液管在自重和振动（或气流扰动）叠加作用下产生疲劳，应对悬臂自由端进行约束，改进支撑结构，增加半圆托和减震垫，并使其稍向上受力。

经过以上改进后，取得了良好效果，改造后的聚丙烯装置至今运行仍稳定。

★行业动态★

海宝公司新款 200A 等离子弧切割和气刨系统

新加坡—2013 年 1 月 24 日—总部设在美国、专业生产先进切割系统的制造商海宝今天宣布其正式发布 MAXPRO200®，一款 200 A LongLife® 空气和氧气等离子系统。

该系统专为高负荷、高产能的切割和气刨应用而设计，其凭借超快的切割速度、出色的切割质量和极低的运行成本堪称同类产品中的佼佼者。此外，凭借 LongLife 长寿命 技术以及极佳的空气/空气和氧气/空气切割质量，使得操作工每小时可以切割更多的零件，并且极大地降低了二次加工的需求。MAXPRO200 的其他特性包括：

·直观的单步操作界面和自动气体控制箱可以提供稳定一致的切割效果，而无需操作工的干预

·可选配快速拆卸割炬，实现快速更换易损件

·有两款手持割炬和两款机用割炬可供选择

·提供高级诊断功能，可以简化故障检修和服务过程

·荣获专利的易损件设计，提供业界一流的切割速度和稳定可靠的生产穿孔能力

·融入 LongLife®，CoolFlow™ 和 TrueFlow™ 等技术，延长了易损件的使用寿命，降低了每个零件的成本

“对于要求优质、高效和低运行成本的公司来说，MAXPRO200 是真正值得信赖的首选”，海宝机用系统团队负责人 Aaron Brandt 表示，“该系统的设计和制造目标是能够在最为严苛的生产环境中提供卓越的可靠性。”海宝研发并制造先进的切割产品，应用于多个行业，如造船业、制造业和汽车维修业。其产品系列包括手持和机用等离子系统和易损件以及激光和水刀产品。此外，海宝的产品包括 CNC 数控调高系统和切割软件。在多年来的应用中，海宝系统凭借实现高生产效率、高投资回报率和高可靠性得到客户的信赖。海宝的总部设在新罕布什尔州，自从 1968 年发明水刀等离子切割技术以来，公司在金属切割的创新方面已经享有 40 余年的崇高声誉。作为一家员工拥有公司股份的企业，本公司连续数年被评为全美最佳的工作场所之一，拥有 1 300 多名员工，同时销售和服务分支机构及合作伙伴遍布全世界。

中国知网　https://www.cnki.net

开放式数控系统的研究与应用

李文军[1,2] 黄连宝[1,2]
（1. 天津市汇通仪器设备公司，天津 300410；2. 天津职业大学，天津 300410）

摘 要：本文主要介绍开放式数控系统的研究状况，分析其与传统 CNC 系统相比较的特点，同时探讨开发开放式数控系统的一些方法。

关键词：开放式 数控系统 现代制造
DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2016.0348

数控技术是机械加工技术与计算机技术的结合。在现代制造中，数控技术已经成为主力军。传统的数控系统多采用专用的封闭式系统，操作者使用时只能选择，不能对设备的某些功能进行灵活修改来达到自己的需求。此外，数控系统种类很多，企业对工作人员、设备保养等方面消耗了大量的时间与经费。数控系统制造商、集成者、客户都需要“开放式的控制器”，以期能够自主地支配控制系统、伺服电机、驱动器、数控软件等各个组成部分，并能够采用规范的、便捷的方法将所有组成部分结合起来。所以，研究开放式的体系结构十分必要。

1 传统 CNC 系统介绍

数控系统是数字控制系统的简称，硬件电气部件慢慢被专属的计算机取代，称为计算机数控系统。CNC 系统是指主要采用计算机来控制加工、应用数字控制的系统。CNC 系统是依据 PC 存储器中所有的控制程序、执行原件和所有数值控制功能进行工作，是装有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。CNC 系统主要由数控代码、输入输出装置、CNC 装置、可编程控制器、主轴驱动装置、进给驱动装置（包括检测装置）以及反馈装置（光栅、磁尺等）等组成。

传统的控制系统有很强的专用性，通用性不好；软件部分为制造商所垄断，不能进行功能拓展，不能兼容各种软件，不能更新。它的可移植性不好，网络通讯能力不好，对于机床商和客户的要求相对较高。伴随着数控技术的发展，传统上的数控系统开始愈来愈繁琐。它本身的缺陷大大阻碍了它的发展，已很难适应现在制造业发展的速度、单件小批量生产的趋势，更没有办法满足现代制造业向智能化、柔性化、无人制造模式的发展。

2 开放式数控系统的发展现状

在传统的封闭式、专用数控系统向开放式数控系统发展的过程中，其体系结构主要有以下几种类型。

（1）NC 嵌入 PC 型开放式数控系统，把运动控制板 NC 插入 PC 机的标准插槽中做实时控制用，而 PC 机主要做非实时控制。这种结构功能稳定、灵活性好，计算机的丰富资源可以得到共享。

（2）PC 嵌入 NC 型开放式数控系统，把 PC 主板插入传统的 CNC 机器中，提供键盘使用户能把 PC 和 CNC 联系在一起，从而提高人机界面的功能。可靠的数控系统是这类系统的核心，因此它工作可靠且功能强大，很少出现死机现象；缺点是结构复杂，价格昂贵。

（3）基于软件芯片的开放体系结构的数控系统。它的 CNC 软件是把数控系统的功能按照一定的标准和规范进行封装它。将数控软件设计成具有稳定、通用的标准接口的软件芯片。数控系统一个独立模块的功能由一个软件芯片完成；硬件部分仅是计算机与伺服驱动器和外部 I/O 之间的标准化通用接口。

3 开放式数控系统的特点

（1）可替代性。详细的定义接口为各模块使用。利用模块化的设计，能由系统自己鉴别，根本不要人工干预就可以得到所需要的资源，并能完成工作和特定的任务。依据它的可靠性、功能与性能，在系统中的每个零件均可替换。在组成系统的过程中，可按照各部分的性能与价格等情况，分不同的厂家采购，以避免受到垄断的限制。

（2）可移植性。各部件数据格式都是统一的，行为模式也统一，网络通信方式和交互方式都有标准的接口，实现了设备的无关性。应用的软件和系统没有相关性，做很少的改动或不进行改动就能在不同环境下使用。

（3）智能的人机对话。在一个开放式的平台环境下，机床制造商或者用户可以应用恰当的编程语言开发研究人机对话平台。优化数控系统时，没有必要顾及数控系统控制器的核心，这样的数控系统具备很好的智能性，能把特殊的加工工艺、管理方法和操作方式集成到数控系统中，让系统可以进行图形交互、诊断等。

（4）对接性、应用性良好。CNC 系统可以用标准的接口与多种系统连接，并传输有效信息完成他们之间的互连、互通、应用处理的协作。此外，数控控制系统中的多功能组件利用标准化的定义、通信与交互方式，允许第三方软件进入，并在同一平台上一起运行，协调工作。

（5）柔性好，性价比优良。具有良好的开放性和模块化结构的开放式数控系统，不但可增加软件和硬件使系统功能更加全面，还可以删减某些功能兼容的低端应用，且可通过改变组建成不同形式的数控系统。

4 开放式数控系统的开发

到现在为止，我国对于 PC+NC 型开放式数控系统的研究开展较多。简单的说，就是将专用的运动控制器或整

中国知网 https://www.cnki.net

个的计算机单元集成到工业控制 PC 的卡槽中。现在采用很多的是 PMAC 多轴运动控制器作为 NC 模块的形式。基于 PC+PMAC 运动控制器的数控系统具有成本低、人机对话友好、客户可定制软件、运行速度敏捷、系统研发周期短、精度控制高等优点。PMAC 多轴运动控制器和 PLC 可编程逻辑控制器完成对反馈装置的控制、伺服系统的运算、实时任务处理等工作。PMAC 主要进行开关量的控制、轴的运动控制和数字化信息采集等实时性控制。由于多样的各种通用接口和计算机都在整个数控系统的终端地位，PC 机则主要实现系统的管理功能等非实时性控制，因此，要想改善图形显示、人机界面、故障诊断等功能，通过计算机上的软件就可以实现。可见，采用这样的机构系统具有非常好的开放性与通用性，且其切实可行。

5 PMAC 运动控制器

5.1 PMAC 简介

PMAC（Programmable Multi-Axis Controller）是美国 Delta Tau 制造的能够控制多个轴的运动器，可以说是时下功能最强大、开放性最好、具有较快运行速度的轴的运动产品。它采用的数字信号处理器（DSP56K 系列）是摩托罗拉的产品，其中 CPU 选用从 20MHz 到 160MHz，还配有门阵列芯片组，灵活性非常好。因此，它能够很好地控制多轴运动，且每个轴的运动都是独立工作的。可以将 16 张 PMAC 板接在一起使用，最多能够实现 128 个轴的联动和单个轴的独立控制。PMAC 依靠其强大功能和广泛用途，大量应用在控制设备上，如数控的雕刻机、激光雕刻机、印刷设备、企业的生产线、工业柔性制造系统等场合。

5.2 PMAC 卡的开放性

（1）装接开放性。可以装接很多型号的电机。因为 PMAC 卡可以根据电机的不同设置不同的参数，所以可以完成匹配，实现与各种电机的连接，如步进电机，交、直流伺服电机等。因此，它可供我们灵活选购伺服配件。

检测元件的兼容性更好。PMAC 可以接收多种机床的检测元件给出的反馈信号，如经常使用的元件有编码器、光栅、激光干涉、测速发电机等。

传输方式的开放性。这主要体现在 PMAC 卡与 PC 进行数据传输可以有三种形式：（1）总线、串行、并行；（2）RAM（DPRAM）；（3）USB 与光缆接口。

匹配各种硬件平台。PMAC 能够在不同的硬件平台运行，从而使我们可以在不同的硬件平台使用一个应用软件来实现控制，更利于使用者和开发者灵活地使用。

（2）软件开放性。它与很多高级编程语言对接。PMAC 可以使用 16bit、32bit 动态链接库、PtalkDT 控件等。在 WIN 系统下，我们可非常方便地与 PMAC 通讯、数据传递与交换，还能用一些高等编程语言，创造出属于自己的个性人机对话界面。编写中能够使用 Pcomm32 动态链接库中的函数，完成 PC 与 PMAC 通讯，从而更方面地实现人机界面的研发。同时，PMAC 中包含有编制好的指令功能，可对指令进行调用，如直线、圆弧等插补。此外，还可以自定义数控代码，如 G、M、S 等；对变量参数进行设置，如 I、P、M、Q 等，以实现定制系统的目标。

5.3 PMAC 卡的结构

PMAC 卡的结构主要由主板和很多功能模块组成。主板上可装接 PC 总线、VBM 总线和 STD232 总线。由于提供了多种总线，因此很容易与主板相连，开发模块化的系统结构。还可实现对多个轴的控制，如添加数字 / 模拟量、I/O 口、输出频率等，都会有相应的模块对应。PMAC 卡的核心是 DSP-GATE 和 DSP56K CPU 芯片。门阵列芯片有 8 个 16bit 转换器和 4 个编码输入路径，主要作用是接收 A/D 数据和发送数据至 D/A。

6 小结

数控发展的趋势就是开放式数控系统。它给系统商、机床商与使用者带来了更多方便与优势。基于 PMAC 卡形式的开放式数控系统更有优势，它可以充分利用计算机与 PMAC 卡的软、硬件资源和强大的技术优势，更出色地完成系统的人机交互等功能。此外，模块化的应用令程序设计的通用性、扩展性和可移植性大大增强，更有利于系统的功能扩展。

参考文献

[1] 曹豪英，王小椿，张彬 . 一种高速 CNC 雕铣机数控系统的设计 [J]. 组合机床与自动化加工技术，2005，（12）：68-70.

[2] 陈志育，秦现生 . 基于 PMAC 的数控系统的研究与开发 [J]. 机床与液压，2007，（9）：107-110.

[3] 郭艳玲，赵万生，董本志，乔世坤，徐达丽 . 数控发展的趋势开放式体系结构数控系统 [J]. 东北林业大学学报，2000，(5)：148-150.

[4] 朱国力，段正澄 . 基于运动控制器的开放式激光焦点位置控制系统 [J]. 锻压机械，2000，（1）：51-52.

[5] 史旭明，赵万生 . 开放式数控系统参考模型及实例 [J]. 机械与电子，2000，（4）：.

Research and Application of Open Numerical Control System

LI Wenjun[1,2],HUANG Lianbao[1,2]

(1.Tianjin City Huitong instrument and equipment company, Tianjin 300410;2.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410)

Abstract: This paper mainly introduces the research status of open CNC system, some features and development of open CNC system compared with the traditional CNC system.

Key words: open, CNC system, modern manufacturing

中国知网 https://www.cnki.net

冷却塔低温余热利用系统

逯彦红[1,2]，朱志辉[2]
（1. 河北工业大学机械工程学院，天津 300130；2. 天津职业大学机电与自动化学院，天津 300410）

[摘 要] 针对冷却塔低温余热利用系统，给出了系统有机工质选取原则和热管换热器设计思路，建立了系统热力学模型。以低温热源参数、冷却水温度、戊烷类工质参数为系统初始参数，通过系统热力学模型计算得出系统最大热效率＞13%。若冷却塔低温余热利用系统用于发电，每年运行时间按照7 000 h，年发电量为700 000 kW，电价按照0.5元/(kW·h)计算，年收益可达35万元，相当于减少CO_2排放量650 t，经济和环保效益显著。

[关 键 词] 冷却塔；低温余热利用系统；有机工质；热管换热器；经济性
[中图分类号] TM 617 [文献标识码] A [文 章 编 号] 1002-3364(2014)09-0079-04
[DOI 编 号] 10.3969/j.issn.1002-3364.2014.09.079

Low temperature waste heat utilization system for cooling towers' attachments

LU Yanhong[1,2], ZHU Zhihui[2]
(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;
2. School of Electric-mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: By establishing thermodynamic model and system performance evaluation system for waste heat utilization system of cooling towers' attachment, the selecting principle of organic fluids was investigated, and the design theory of the heat pipe heat exchangers was studied. Taking the condition with low temperature heat source temperature of 85 ℃, the flow rate of 100 t/h, the cooling water temperature of 25 ℃ and the pentane as the fluid as the example, corresponding calculation was carried out. The results show that, the heat efficiency of the system was larger than 13%; the annual power generation was 7.0×10^5 kWh if the working time is 7.0×10^3 h per year; assuming the electricity price is 0.5 yuan/(kW·h), the annual economic benefit can reach up to 3.5×10^5 yuan; at the same time, the CO_2 emission can be reduced by 650 t.

Key words: cooling tower; low-temperature waste heat utilization; organic working fluid; heat pipe heat exchanger; economic

目前，国内对余热的利用技术基本集中在汽轮机和锅炉烟气的余热利用，个别螺杆膨胀机的余热利用集中在蒸汽的直接利用，利用冷却塔实现对低温热水的余热回收技术尚无应用案例。国外对余热利用系统做了大量的研究，其应用案例见表1[1-2]。但是，国外所有应用系统中均未使用热管换热技术，而且热源温度基本集中在100～350 ℃范围内，尚无85 ℃低温热源的余热利用案例。而85 ℃左右的热水普遍存在于大中型企业中（如石化、水泥、冶金），其被冷却塔直接冷却后再循环利用，或直接排放，从而既浪费能源，又加重了对环境的热污染。对此，本文以高效利用冷却塔低温热源系统为例，给出了戊烷工质选取原则和热管换热器设计思路，建立了系统热力学模型，并对系统性能进行评价。

收稿日期：2014-03-14
作者简介：逯彦红(1980—)，女，河北张家口人，博士研究生，讲师，主要从事热能与动力工程技术的教学与研究。
E-mail： luyanhong80@126.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 国外余热回收技术应用案例

Table 1 Application cases of the organic Rankine cycle at home and abroad

项目	投入运行时间	生产商	功率/MW	热源温度/℃	工质
比利时垃圾电站	2008 年	Turboden 意大利	3	热水 180	
摩洛哥水泥厂	2010 年	Turboden 意大利	2	烟气 330	
日本大岳地热站	1977 年	日本三菱重工	1	热水＜206	异丁烷

1 低温余热系统

冷却塔低温余热利用系统如图 1 所示。其包括 3 个回路：1）85 ℃热水经过热管换热器被冷却后再返回企业中循环利用；2）冷却塔附属装置余热利用系统，属于工质循环回路，由热管换热器、冷凝器、螺杆膨胀机和泵组成；3）冷却塔出口冷却水经冷凝器冷却工质后被加热，再次回到冷却塔散热。有机工质经过热管换热器与 85 ℃热源水进行热交换蒸发为蒸汽状态，进入膨胀机，压缩膨胀产生大量的功，其可以直接作为企业的动力来源也可以动力发电。做功后的工质进入冷凝器与冷却塔的水进行换热，放热后冷凝为液态，再次通过工质泵再循环[3]。

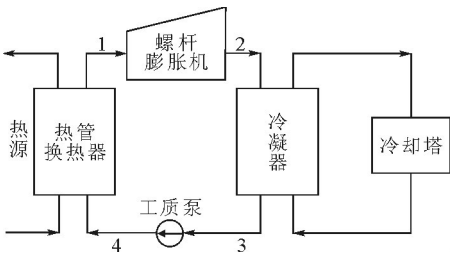


图 1 冷却塔余热利用系统

Fig. 1 Waste heat utilization system of the cooling tower auxiliary equipment

2 有机工质选取原则

低温余热利用系统中有机工质的选取对整个系统性能的影响起关键性作用。常用的工质有几十种，其物理特性见表 2[4]。

表 2 常见有机工质的物理特性

Table 2 Physical properties of common organic working mediums

工质	临界温度/℃	临界压力/MPa	三相点温度/℃	沸点/℃	ODP	GWP
乙烯	9.2	5.040	－169.20	－103.80	0.00	
乙烷	32.2	4.872	－182.80	－88.58	0.00	20
丙烷	96.7	4.247	－187.70	－42.09	0.00	20
正丁烷	152.0	3.796	－138.30	－0.52	0.00	20
正戊烷	196.5	3.364	－129.70	35.87	0.00	11
异戊烷	187.2	3.370	－160.50	27.86	0.00	
三氯一氟甲烷	198.0	4.408	－110.50	23.83	1.00	4 600
三氟三氯乙烷	214.1	3.439	－273.20	47.61	0.90	6 000
二氯四氟乙烷	145.7	3.289	－94.15	3.80	0.85	9 800
二氯二氟甲烷	112.0	4.114	－157.10	－29.76	0.82	10 600
三氟二氯乙烷	183.7	3.668	－107.20	27.79	0.01	120
四氟甲烷	－45.7	3.744	－183.60	－127.90	0.00	5 700
四氟乙烷	101.0	4.059	－104.30	－26.09	0.00	1 300
五氟丙烷	154.0	3.651	－102.10	15.19	0.00	950
共沸混合物	105.5	4.455	－828.20	－33.50	0.22	4 500
氨	132.3	11.330	－77.70	－33.32	0.00	＜1
水	374.0	22.060	0.01	99.97	0.00	＜1

在低温余热有机朗肯循环系统中，工质的选择主要参考其热力学特性和环保特性[5]。其选原则为：1）凝固温度应小于循环中可能达到的最低温度，三相点温度应小于环境，避免系统停运时工质凝固；2）在有机朗肯循环中，冷凝是必不可少的 1 个过程，冷凝温度与冷却流体温度有关，为了减少向环境的排热量，冷凝温度应略大于冷却流体温度；3）粘度小，导热系数高，传热性能好；工质液态时的热容大，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这样从热源吸收的热量越大，系统输出的功也越大[4]；4）臭氧层破坏潜力值（Ozone Depletion Potential，ODP）为 0，气候变力值（Global Warming Potential，GWP）较低；5）对人身健康无损害、无毒性且无刺激作用。

综合考虑上述原则，选择正戊烷和异戊烷作为本系统的工质较适合。从发电能力考虑，应选择戊烷（图 2）。

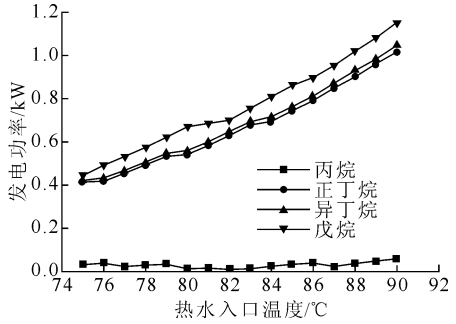


图 2　相同初始条件下不同种类有机工质的发电能力

Fig. 2　Power generation of different kinds of organic substances under the same initial conditions

3　热管换热器设计思路

热管换热器采用热管原理，在外壳中布置带翅片的热管，壳体内部中央有 1 块隔板将壳体分成 2 个部分，形成热流体和冷流体通道。当热、冷流体同时在各自的通道中流过时，即可实现 2 种流体的热量交换。热管换热器具有传热性能高、传热量大、维修少等优点，与其他类型换热器的比较见表 3。

表 3　热管式换热器与其他类型换热器的特点比较

Table 3　Comparison between the heat pipe heat exchanger and others

种类	压降	传热系数	维修率	价格	辅助动力	交叉污染
蓄热式	中	高	高	高	有	有
管壳式	高	高	中	中	无	无
热管式	低	高	很低	中	无	无

本系统的热管换热器需要液态工质与低温热水进行热量交换，属于液-液型热管换热器[6]。由于热管传热性能良好，可假设其外部表面传热不受内热阻的影响，因此将热管换热器假设成在连续的折算传热面积上串联热管传热热阻的间壁式换热器。

传热系数依据经验公式而定，阻力计算采用 GunterA. Y. 公式以及 Gray 和 Webb 阻力计算叠加模型。热管换热器设计计算模块包括：已知传热量和一侧温度，求另一侧温度的迭代计算、热平衡计算、各种结构的传热量计算、阻力计算、结构参数的确定、校核计算等[7]。

4　系统热力学模型建立

冷却塔余热利用系统中的第 2 个回路属于有机朗肯循环，对应的温熵图如图 3 所示[4,8]。由图 3 可见，该系统经过了 4 个热力学过程：1－2 为等熵膨胀过程；2－3 为等压冷凝过程；3－4 为绝热加压过程；4－1 为等压加热过程。

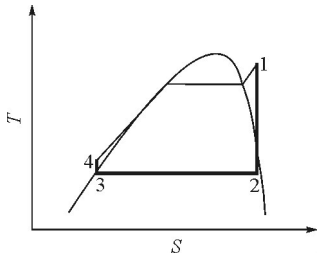


图 3　冷却塔附属装置余热利用系统温-熵图

Fig. 3　*T-s* diagram of the waste heat utilization system of the cooling tower auxiliary equipment

系统对外做功过程为 1－2，工质在绝热状态下利用螺杆膨胀机对外做功，若理想状态下单位质量工质所做的功为 W_t，工质的质量为 m_r，则螺杆膨胀机的输出功为：

$$W_{ex} = m_r W_t = m_r(h_1 - h_2) \tag{1}$$

式中，h_1、h_2 分别为图 2 中 1、2 点对应的焓值。

系统消耗功的过程为 3－4，工质在工质泵中定熵压缩，若单位质量工质消耗的功为 W_p，则系统中泵的消耗功为：

$$W_{pump} = m_r W_p = m_r(h_4 - h_3) \tag{2}$$

式中，h_3、h_4 分别为图 2 中 3、4 点对应的焓值。

系统吸收的余热热量过程为 4－1，工质在热管换热器中定压吸热，若单位工质吸收的蒸发热量为 Q，则系统吸收热量为：

$$Q_{eva} = m_r Q = m_r(h_1 - h_4) \tag{3}$$

系统中，2－3 过程为定压放热过程，其放热量为：

$$Q_c = m_r(h_2 - h_3)$$

5　系统性能评价

以系统中工质吸收的热量转化为功率的比例即热效率作为性能评价指标对该系统进行评价。系统热效率为：

$$\eta = \frac{W_{ex}}{Q_{eva}} = \frac{W_{ex} - W_{pump}}{Q_{eva}} =$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\frac{h_1-h_2)(h_4-h_3)}{(h_1-h_4)} \quad (4)$$

以冷却塔低温热源参数(温度 85 ℃,流量 100 t/h),冷却水温度(约 25 ℃),戊烷类工质参数为例由式(4)计算得出,系统热效率>13%。以冷却塔低温余热利用系统用于发电为例,扣除泵的耗功后,1 t 热水的发电量为 1 kW·h,每年按照7 000 h 计算,则年发电量为 700 000 kW·h,电价按 0.5 元计算,年经济效益可达 35 万元,相当于减少 CO_2 排放量 650 t,经济和环保效益显著。

[参 考 文 献]

[1] 顾伟,翁一武,曹广益,等. 低温热能发电的研究现状与发展趋势[J]. 热能动力工程,2007,22(2):115-119.
GU Wei, WENG Yiwu, CAO Guangyi. et al. Research status and development trend of low temperature heat energy power generation[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2007, 22(2): 115-119.

[2] Butcher C J, Reddy B V. Second law analysis of a waste heat recovery based power generation system[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2007, 50(11): 2355-2363.

[3] Conard S D, Brenneke G S, Mockry E F. Cooling tower apparatus and method with waste heat utilization: U. S. , 8596067[P]. 2013-10-17.

[4] 王智,于一达,韩中合,等. 低温再热式有机朗肯循环的参数优化[J]. 热力发电,2013,42(5):22-29.
WANG Zhi, YU Yida, HAN Zhonghe, et al. Parameter optimization on low-temperature reheating organic Rankine cycle[J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(5): 22-29.

[5] 王辉涛,王华,葛众,等. 中低温地热发电有机朗肯循环工质的选择[J]. 昆明理工大学学报,2012,37(1):41-46.
WANG Huitao, WANG Hua, GE Zhong, et al. Selection of working fluid for organic Rankine cycle used in midand low-temperature geothermal power plant[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2012, 37(1): 41-46.

[6] 刘光铎,张凯,曹玉民,等. 热管换热器回收锅炉排烟余热系统及其热力分析[J]. 热力发电,1993 (4):17-22.
LIU Guangduo, ZHANG Kai, CAO Yumin, et al. Heat pipe heat exchanger recovery boiler smoke waste heat system and its thermodynamic analysis[J]. Thermal Power Generation, 1993(4): 17-22.

[7] 徐宇工,王凯,乔国辉. 液-液热管换热器实验研究及影响因素分析[J]. 煤气与热力,2010,30(1):19-23.
XU Yugong, WANG Kai, QIAO Guohui. Influence factors analysis and experimental study of liquid-liquid heat pipe heat exchanger[J]. Gas & Heat, 2010, 30(1): 19-23.

[8] 徐建. 中低温余热发电有机朗肯循环系统性能分析与优化研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.
XU Jian. Performance analysis and optimization research of mid-low-temperature waste heat power generation using ORC cycle[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.

(上接第 78 页)

[5] 田爽,郝炜,宋美艳,等. 华电莱州电厂基于 FF 和 Profibus 现场总线的水网控制系统[J]. 热力发电,2013(1):91-93.
TIAN Shuang, HAO Wei, SONG Meiyan, et al. FF and Profibus bus technology based water network control system for Laizhou Power Plant of China Huadian Corporation[J]. Thermal Power Generation, 2013(1): 91-93.

[6] 王继强,窦迎美. 现场总线技术的应用及存在问题[J]. 热力发电,2012(6):99-100.
WANG Jiqiang, DOU Yingmei. Applications of fieldbus technology and its problems[M]. Thermal Power Generation, 2012(6): 99-100.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

doi:10.13301/j.cnki.ct.2018.04.112

利用离心力的主轴轴承可变预紧装置研究

张 敬
(天津职业大学 机械工程实训中心, 天津 300410)

摘 要: 提出一种基于离心力的主轴轴承可变预紧装置, 该装置能够根据主轴转速的变化自动设置轴承的预紧力。包括用于预加载的主轴承,将离心力转换成轴向力的辅助轴承用于传递力和离心元件,以及提供初始预紧力的预紧弹簧;利用有限元分析仿真软件 ANSYS 对装置进行了接触非线性分析,获得了建立原始装置所需的设计数据;最后通过实验验证了装置运行的有效性和稳定性。

关键词: 电主轴; 刚度; 离心力; 有限元分析; 接触非线性
中图分类号: TH132 **文献标志码**: A **文章编号**: 1008 - 8725(2018)04 - 0293 - 04

Study on Automatic Variable Preload Device for Spindle Bearing by Using Centrifugal Force

ZHANG Jing
(Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The automatic variable preload device for spindle bearing by using centrifugal force is developed to preload the bearings automatically based on the variety of the spindle speed. Comprising of a main bearing to apply the preload, an auxiliary bearing that delivers the force and a centrifugal element that converts the centrifugal force into a force in the axial direction, and a constant pressure preload spring that applies the initial preload to the main bearing. The contact nonlinear analysis of the device is carried out by using the finite element analysis software ANSYS, and the design data of the original device is obtained. Finally, the validity and stability of the device is verified by experiments.

Key words: electric spindle; stiffness; centrifugal force; finite element analysis; contact nonlinear analysis

果图可以保存在数据库中提供数据共享。

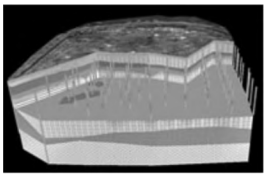


图 2 模型折线剖切

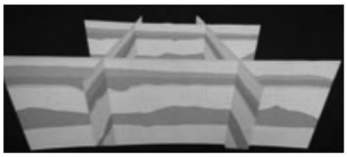


图 3 模型栅状剖切

通道模拟也是常用的一种三维分析方法,在前述方法切割出来的三维地形图的基础上继续使用通道模拟的方法实现通道的实现。其实无论是矩形通道、圆形或拱形通道都可以通过多次地层剖面来实现通道外部的切割,通道内部通过地质体和隧道的切割,将隧道内部的地质体切割掉,这样就可以得到隧道空腔,隧道空腔壁是带有岩性的,遂道模拟如图 4 所示。

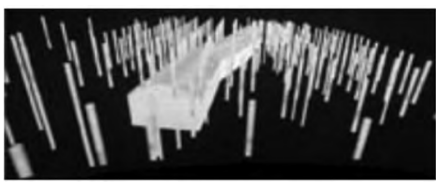


图 4 隧道模拟

5 结语

本文首先分析了 MapGIS-TDE(三维地理信息系统)的相关技术,MapGIS-TDE 采用层次结构的插件实现软件的二次开发。结合煤矿三维地下模型的特点, 提出了以钻孔数据为核心的建模方法。利用 MapGIS-TDE 平台对煤矿地下通道进行仿真模拟,使用 MapGIS-TDE 平台的 3DGIS 的核心功能,包括数据的处理和系统的分析建模等,系统在数据处理和三维建模方面都提供了很好的接口,大大提高了三维系统的开发效率。系统开发完成后可以在其他的三维地下管道中直接或间接地应用。

参考文献:

[1]李清泉,严勇,杨必胜,等. 地下管线的三维可视化研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2003(3):277-282.
[2]田应中,张正禄,杨旭. 地下管线网探测与信息管理[M]. 北京:测绘出版社,1997.
[3]陈学习,吴立新. 三维地学模拟研究现状及发展趋势[J]. 华北科技学院学报,2003(2):28-32.
[4]王纯祥,白世伟. 三维地层信息系统在岩土工程中应用研究[J]. 岩土力学,2003,4(24):614-617.
[5]曾新平. 地质体三维可视化建模系统 GeoModel 的总体设计与实现技术[D]. 北京:中国地质大学(北京),2005.
[6]张军强,吴冲龙,刘刚,等. 空间集成方式的三维地质图编绘关键技术[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2014,44(3):1 055-1 062.
[7]翁正平. 复杂地质体三维模型快速构建及更新技术研究[D]. 武汉:中国地质大学,2013.
[8]孙继平. 煤矿安全生产监控与通信技术[J]. 煤炭学报,2013,35(11):1 925-1 929.
[9]王小玲,陈书剑. 基于 Inventor 的肋板三维和二维剖切表达的研究[J]. 煤矿机械,2010,31(5):229-231.

作者简介:林邓伟(1972-),河南温县人,副教授,硕士,研究方向:自动化,计算机仿真,计算机应用等.

责任编辑:李富文 收稿日期:2017-10-24

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0　引言

近年来，滚动轴承由于其高强度、承载能力大、易于装配以及相对其他部件的标准化等优点，广泛应用于机床高速主轴。预紧载荷在初始阶段使轴承滚动体和滚道之间会产生负间隙值，主轴刚度和旋转精度能够得到提高，同时也防止了因过大的间隙引起的振动和噪音。然而，施加预紧载荷增大了轴承滚动体和内外滚道之间的接触应力，破坏接触面之间的油膜，降低轴承寿命。特别是在高速主轴中，离心力和主轴旋转产生的热量大大增加了轴承的内部载荷，因此过大的载荷会缩短轴承寿命。通常情况下高速主轴中的初始载荷较低，以减小内部载荷过高对轴承寿命产生的影响。目前电主轴通常在高速和低速范围内有较高的转换频率，以实现机床的高效加工。因此，同时实现高转速和高刚度是高速主轴机床面临的重要挑战。

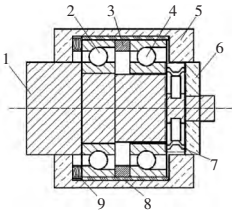
基于以上分析，轴承预紧载荷施加的大或小，都不能同时满足机床主轴的高转速性能以及高强度性能。而实际加工过程中为实现较高的加工效率，高速切削和低速切削通常在同一台机床上连续不断地进行。为实现高刚度和高转速性能，轴承预紧装置的研究显得尤为重要。文献[5]提出利用压电叠堆 PSt 150/47/VS9 对高速电主轴的轴承装置进行预紧；文献[6]利用一种双层隔套实现了轴承的预紧，隔套采用具有不同热膨胀率且长度不同的材料制成。利用压电叠堆和具有不同热膨胀率材料制成的双层隔热套虽然能够一定程度上随主轴温度升高有效调节预紧力的大小，然而压电叠堆和隔热套的迟滞性会导致预紧力调节的时效性和有效性降低。

基于以上分析，本文提出一种利用离心力的主轴轴承可变预紧装置。该装置基于主轴转速变化能够自动调整施加在滚动轴承上的预紧载荷；通过接触非线性分析预测了装置性能以及主轴转动过程中的预紧力变化；最后通过实验验证了该装置对主轴不同转速下预紧力调节的有效性。

1　利用离心力的自动可变预紧装置

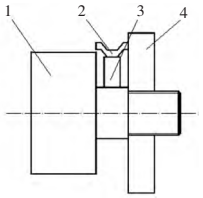
1.1　基本原理

与现有的利用液压装置或压电驱动装置不同，本文提出的自动可变预紧装置利用离心力自动调节机床主轴轴承预紧载荷。基于离心力的主轴轴承自动可变预紧装置示意图如图 1 所示，由图 1(a)可知，装置主要由螺母、离心元件、主轴承、辅助轴承和定压预紧弹簧组成。主轴承的初始预紧载荷由定压预紧装置根据弹簧压缩量和螺母紧固程度确定。主轴转动时，离心元件在离心力的作用下产生轴向位移，通过辅助轴承推动主轴承外圈进而减小预紧载荷。也就是说，将主轴转动过程中产生的离心力转化成轴向力，从而减少初始预紧力。



(a)装配图

1. 主轴　2. 主轴承　3. 隔离间　4. 辅助轴承　5. 主轴套　6. 主轴盖　7. 离心力装置　8. 轴承套　9. 定压预紧弹簧



(b)离心元件

1. 主轴　2. 离心件 1　3. 离心件 2　4. 离心件 3

图 1　离心力轴承预紧装置

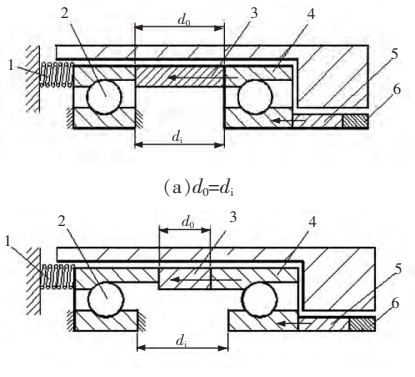
为验证轴承自动可变预紧装置各部分作用，辅助轴承将离心装置产生的离心力转换成轴向位移，然后向轴向方向移动。通常情况下，主轴轴承的寿命 5 000~7 000 h。因此，辅助轴承的使用寿命要比主轴轴承的寿命更长。离心元件通过离心力将径向膨胀量转换成轴向膨胀量，并通过各部分的径向相对膨胀量差异实现预紧载荷的自动调整。离心元件的结构图如图 1(b)所示，主要包括 3 个离心部件组装在主轴上以相同的转速进行旋转。其中，离心件 1 为中空圆筒形，相比离心件 2 其在径向方向上膨胀量相对较小；离心件 2 圆筒形的一部分，具有较大的膨胀量；因此，离心件 3 在离心件 1 和离心件 2之间被压缩为沿轴向方向的延伸形状。

基于以上分析，轴承预紧量的确定基于以下内容：主轴承的初始预紧量可以通过调节螺母的紧固程度和弹簧的压缩量来确定，如图 2 所示。情况 1中，主轴承和辅助轴承内圈之间的初始距离通过调节螺母的紧固水平使其等于外隔离件的长度，然后预紧弹簧将相同的预紧力施加到主轴承和辅助轴承上；情况 2 中，螺母释放后导致 2 个轴承内圈的距离大于外隔离件的长度，此时预紧弹簧的预紧载荷直接施加在主轴承上。由此可知，预紧弹簧的预紧载荷在主轴承和辅助轴承上的分配取决于螺母的数量。因此，可以通过调节主轴承和辅助轴承内外圈之间的距离对主轴承预紧量进行定义。

主轴转动过程中主轴承预紧载荷的变化可以通过以下方式进行调整：当主轴开始旋转时，旋转部件上产生离心力；离心力和约束条件下的差异导致离心元件中的离心件 2 产生轴向位移；轴向位移通过辅助轴承推动主轴承外圈，最终减少了施加到

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

主轴承上的预紧载荷。离心元件中离心件 2 作用在主轴承上的轴向位移量取决于离心件 2 和辅助轴承之间的接触力。接触力随着离心力的增大而增大，主轴承上的预紧载荷随之减小，弹簧施加的预紧力较小时，即使在相同接触力的作用下预紧载荷会减小得更多。



(a)d_0=d_i

(b)d_0<d_i

图 2　初始预紧力调节原理

1. 定压预紧弹簧　2. 主轴承　3. 轴承外圈隔离件　4. 辅助轴承　5. 离心力装置　6. 主轴盖

1.2　有限元分析

利用 ANSYS 有限元分析软件对自动可变预紧装置进行接触非线性分析，其分析模型如图 3 所示。为方便建模，只对离心元件进行建模。由于离心元件的 3 个部件在主轴转动过程中会因接触和分离产生变形，因此利用柔性–柔性的边界接触条件。另外，考虑到主轴旋转产生的离心力，将角速度施加给 3 个部件作为负载条件，并利用约束条件限制离心件 2 和螺母之间的接触以及离心件 1 的轴线自由度。

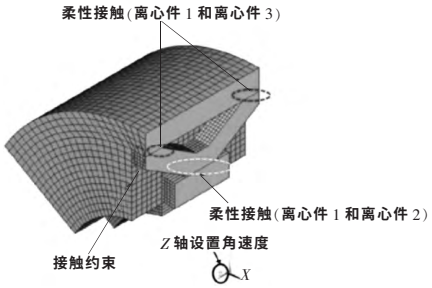


图 3　有限元分析模型

根据有限元分析结果可知，约束条件的差异导致离心元件中离心件 3 产生了轴向位移，主轴转速为 3 000 r/min 和 5 000 r/min 时轴向位移分别为 290 μm 和 773 μm。

分析过程中，为了确定主轴转动过程中主轴承的预紧载荷变化，假设辅助轴承具有足够的轴向刚度。主轴承的间隙变化导致的预紧载荷的变化被简化，具体取决于离心元件的轴向位移和预紧弹簧的预紧力。为了准确评估弹簧预紧力对轴向位移的影响，分析中利用多步载荷，第 1 阶段离心力施加到离心元件上，第 2 阶段施加弹簧预紧力。如果弹簧预紧力大于接触力，则轴承不会发生轴向位移。因此，主轴承的预紧载荷不会发生变化，具体负载条件如表 1 所示。

表 1　负载条件

参数	主轴转速/r·min^{-1}	弹簧预紧力/N
值	2 000、3 000、4 000、5 000	300、500

不同弹簧预紧力下(S=300 N 和 S=500 N)和主轴转速的轴向位移分析结果如图 4 所示。结果表明，主轴轴承自动可变预紧装置的最大轴向位移值为 748 μm；随着主轴转速的增加，轴向位移以线性的增长方式增加。因此，为了精确控制主轴承的预紧载荷，利用离心元件的尺寸设计和主轴转速确定的轴向位移值至关重要。同时辅助轴承的刚度以及弹簧预紧力的精确性也是关键因素。

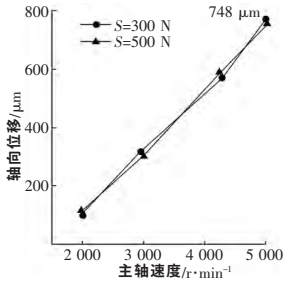


图 4　轴向位移与弹簧预紧力和主轴转速的关系

施加在主轴承上的轴向力可以通过离心元件产生的轴向位移乘以辅助轴承的刚度进行计算。然而，实际的主轴装配过程中辅助轴承的刚度很大程度上受主轴、外壳、外隔离件以及其他组装部件的加工精度和装配精度影响。因此，本文通过仿真得到的轴向位移分析结果来验证所提出装置的基本运行原理，并通过获得的基本数据建立自动可变预紧装置的模型。

2　实验测试

基于离心力的自动可变预紧装置测试平台示意图如图 5 所示，离心力装置在轴向方向产生的载荷变换量通过安装在主轴中的负载传感器(最大分辨率为 10 N)进行测量。将离心力转换成轴向力的离心元件主要有 3 部分：离心件 2 和离心件 3 以 120°间隔均匀安装在离心件 1 上组成整体离心单元。设置主轴转速为 6 000 r/min，通过负载传感器的外部显示装置可以对离心单元产生的负载变化量实时监测。

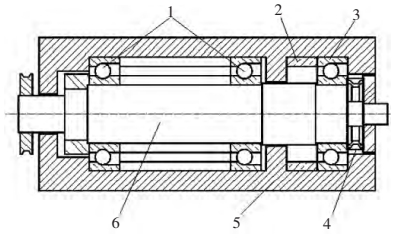


图 5　自动可变预紧装置测试平台示意图

1. 主轴承　2. 负载传感器　3. 辅助轴承　4. 离心力装置　5. 主轴套　6. 主轴

为验证随主轴转速变化的轴向力，将主轴转速

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

doi:10.13301/j.cnki.ct.2018.04.113

煤矿供电中断下应急电力传送链路调度方法*

罗洪霞
(广州番禺职业技术学院, 广州 511483)

摘 要: 传统电力传送链路调度算法无法应对包含偶发性和周期性的复杂状况, 而且会由于通信不畅降低系统性能。为此,提出基于激光通信的应急电力传送链路调度方法。分析激光通信的优越性和可靠性,构建一种动态分布式电力链路模型。

关键词: 激光通信; 电力应急; 分布式; 动态模糊; 调度
中图分类号: TN929 **文献标志码**: A **文章编号**: 1008 - 8725(2018)04 - 0296 - 04

Scheduling Method for Emergency Power Transmission Link under Interruption of Power Supply in Coal Mine

LUO Hong-xia
(Guangzhou Panyu Polytechnic Institute, Guangzhou 511483, China)

Abstract: The traditional power transmission link scheduling algorithm can not deal with the complex situation which includes contingency and periodicity, and it will reduce the system performance because of the lack of communication. Presents an emergency power transmission link scheduling method based on laser communication. Analyzes the superiority and reliability of laser communication, and constructs a dynamic distributed power link model.

Key words: laser communication; electric emergency; distributed; motion blur; scheduling

* 广州市教育科学"十二五"规划项目(1201452401);广州市教育局协同创新重大项目 (1201610009); 广东省自然科学基金(2016A030313405);广州市属高校科研项目(1201421033)

0 引言

应急电力传输链路的有效调度是保障煤矿正常工作和电网系统安全、经济运行、减少电网故障

范围设置为 1 000~5 000 r/min,具体测量结果如图 6 所示。在主轴转速小于 2 000 r/min 时并没有产生轴向力,随着主轴转速提高到 3 000、4 000、5 000 r/min 时对应的轴向力分别为 20、60、150 N。随着主轴转速的提高, 轴向力的增长方式并不是线性增长,而是以抛物线曲线方式增长,因此离心力也是随着主轴转速的提高成比例地增加。

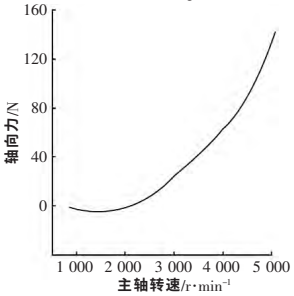


图 6 轴向载荷测量结果

主轴转速为 3 000 r/min 时,较低的主轴转速产生的离心力也较小。另外,装置由于是验证自动可变预紧装置的工作原理,并没有以较高的精度加工及装配,导致各个部件之间产生严重的非线性。此外,负载传感器的分辨率较低,对于相对微小的变化力难以实现准确检测。

回归分析用于分析主轴转速和轴向力之间的相互关系,得到的轴向力

$$F=38.00-0.049\ 71v+0.000\ 014v^2$$

式中 v——主轴转速,r/min。

另外, 离心装置的装配对主轴转动过程中的噪声会产生影响。主轴转速为 5 000 r/min 时,噪声测试结果为 78 dB。去除主轴转动过程中的非必需组件(如负载传感器以及离心元件)后,噪声较低为 72 dB。因此,装配有自动可变预紧装置的主轴会产生相当大的噪声。

3 结语

本文基于主轴转动过程中离心力的变化提出一种基于离心力的主轴轴承自动可变轴承预紧装置,经过有限元仿真及实验装置检测可得到结论:

(1)基于主轴转动过程中离心力变化的自动可变轴承预紧装置相较于液压控制器和压电驱动控制器具有较低的成本,并能够实现精确预测主轴转速和预紧载荷之间的关系。

(2)建立了基于离心力轴承自动可变轴承预紧装置的有限元分析模型,得到了主轴转动过程中预紧力和主轴转速之间的关系。

(3)基于有限元分析模型建立了自动可变轴承预紧装置测试平台,验证了装置在不同主轴转速下离心力的非线性变化。

为了实现本文所提装置的实际应用,未来的研究工作将进一步优化离心元件的设计,实现预紧过程中最大化离心力的影响。

参考文献:
[1]陈建伟. 高速机床主轴轴承预紧力研究[D].济南:山东大学,2012.
[2]李颂华,冯明昊. 高速主轴轴承预紧力技术研究[J]. 机电产品开发与创新,2014,27(3):165-167,173.
[3]蔡元收. 高速角接触陶瓷球轴承预紧力分析与试验研究[D]. 济南:山东大学,2014.
[4]王保民,杜冰,张旭,等. 预紧对高速角接触球轴承疲劳寿命的影响[J]. 兰州理工大学学报,2015,41(6):43-47.
[5]李颂华,贾垂盈. 基于压电陶瓷主轴单元可控预紧力研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(8):28-31.
[6]杨庆东,王科社,孟玲霞,等. 基于材料热特性的轴承预紧力自调节设计方法[J]. 机械工程学报,2008,44(9):183-187.

作者简介:张敬(1976-),天津人,实验师,硕士,从事产教融合数控加工实训教学和研究工作,电子信箱:40040346@qq.com.

责任编辑:李富文 收稿日期:2017-09-04

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号：1671-7848(2020)05-0842-06 **DOI:** 10.14107/j.cnki.kzgc.20190527

六自由度无人直升机位置和偏航角跟踪控制

黄鑫[1]，吉月辉[2a, 2b]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 天津理工大学 a. 电气电子工程学院；b. 天津市复杂系统控制理论及应用重点实验室，天津 300382)



摘 要：针对六自由度直升机的结构复杂、非线性和多变量等问题，提出一种基于指令滤波反步法的位置和偏航角稳定跟踪控制的方法。首先，为便于控制系统设计，将六自由度直升机动力学模型分为高度、偏航、水平 3 个子系统，并采用指令滤波反步法对直升机位置/偏航角控制系统进行设计。其次，引入非线性反正切滤波器逼近虚拟控制输入，解决直升机控制系统中采用传统反步法所产生的“计算膨胀”问题，并采用奇异扰动定理证明闭环系统的稳定性。最后，通过仿真验证了该滤波反步法控制器对直升机位置和偏航角跟踪参考轨迹信号的良好控制性能。

关键词：直升机；跟踪控制；指令滤波；反步法；奇异扰动定理

中图分类号：TP273 **文献标识码**：A

A Stable Tracking Control Method for Position and Yaw Angle of 6-DOF Unmanned Helicopter

HUANG Xin[1], *JI Yue-hui*[2a,2b]

(1. College of Mechanical - Electrical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China； 2. a. College of Electrical and Electronic Engineering, b. Tianjin Key Laboratory for Control Theory & Applications in Complicated Systems, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: To deal with the problem that 6-DOF helicopter has the characteristics of complex structure, non-linearity and multi-variable, a stable tracking control method for position and yaw angle based on command filtered back-stepping technology is proposed. Firstly, to facilitate the control design, the helicopter dynamic model is divided into three subsystems: altitude subsystem, yaw subsystem and horizontal subsystem. The position/yaw angle control system of 6-DOF helicopter is designed by command filtered back-stepping. Secondly, a nonlinear anti-tangent filter is adopted to estimate the virtual control, to solve the problem of “explosion of complexity” caused by traditional back-stepping method in helicopter control system. The stability of closed-loop system is proved by singular-perturbation theorems. Finally, through simulation experiments, the good control performance of the filter back-stepping controller for position and yaw angle of helicopter tracking reference trajectory signal is verified.

Key words: Helicopter; tracking control; command filtered; back-stepping; singular-perturbation theorems

1 引 言

无人直升机操作灵活、体量小、隐蔽性良好，可实现垂直起降、悬停、避障机动等特殊飞行动作，在监视、救援和航拍等军事领域和民用领域具有广阔的应用前景[1]。由于其结构复杂，系统具有非线性和多变量特点，使得位置/偏航角跟踪控制系统的设计具有较大的挑战性。

近年来，无人直升机跟踪控制系统的研究取得较多成果，包括基于 PID 控制[2]、LQR[3]、H_∞控制[4]等方法，而这些基于小扰动线性化模型的设计，只在一定的飞行包络内或特定飞行模式下有效，限制

收稿日期：2019-09-20；**修回日期**：2019-12-01

基金项目：国家自然科学基金(61603274)；天津市教委科研计划项目(2017KJ249)

作者简介：黄鑫(1983–)，女，辽宁海城人，硕士，讲师，主要从事非线性控制理论、算法优化等方面的教学与科研工作；吉月辉(1987–)，女，河北邢台人，博士，讲师，主要从事直升机控制、非线性控制、多智能体等方面的教学与科研工作（本文通讯作者）。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

了控制器的应用范围。为此，出现了基于反馈线性化[5]、神经网络[6]、模糊理论[7]等方法的无人直升机非线性控制的研究。文献[8]提出了基于有限时间自适应扰动观测器的位置外环和姿态内环子系统控制器。文献[9]利用高斯伪谱方法将无人机轨迹优化与控制问题转化为非线性规划问题，并提出了一种有限时间滑模控制器。

反步法是一种基于 Lyapunov 函数反向设计反馈控制器的非线性方法[10,11]，适用于无人直升机这种严反馈结构的非线性系统。但反步法需要对虚拟控制量进行多次求导，存在“计算膨胀”(Explosion of Complexity)问题。又由于直升机的强非线性、耦合和高阶特性，使解析推导过程十分复杂，“计算膨胀”问题更为严重。为此，有学者提出动态面控制技术[12]、基于二阶滤波器的指令滤波反步法[13,14]等，来逼近虚拟控制输入及其导数，以减轻繁琐的解析推导带来的“计算膨胀”问题。

本文中针对六自由度型直升机的位置/偏航角稳定跟踪问题，提出一类新型指令滤波反步法。论文的创新点在于：

① 和其他指令滤波反步法中的二阶滤波器或滑模滤波器[15]不同，本文在传统反步法的基础上引入一类反正切滤波器，在有效避免“计算膨胀”问题的同时使增益选择和系统调节更为简单且有效。

② 采用奇异扰动理论证明闭环系统的稳定性。

③ 将指令滤波反步法用于直升机系统的高度和水平位置及偏航角跟踪控制系统设计，实现了位置和偏航角对参考轨迹信号良好的跟踪控制。

2 直升机非线性运动方程

为便于建立六自由度直升机的运动方程，引入 2 个参考坐标系，第一个为惯性坐标系 $F_{\mathrm{I}}=\{O_{\mathrm{I}},\vec{x}_{\mathrm{I}},\vec{y}_{\mathrm{I}},\vec{z}_{\mathrm{I}}\}$，第二个为机体坐标系 $F_{\mathrm{B}}=\{O_{\mathrm{B}},\vec{x}_{\mathrm{B}},\vec{y}_{\mathrm{B}},\vec{z}_{\mathrm{B}}\}$，原点 O_{B} 位于直升机的重心，如图 1 所示。

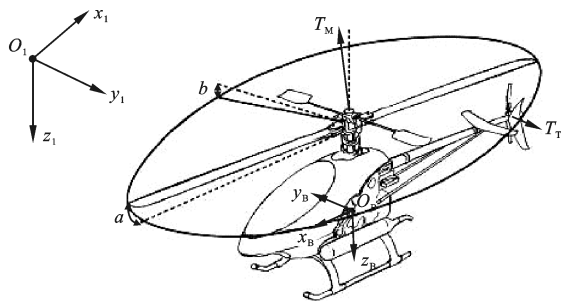


图 1 六自由度直升机坐标系

Fig. 1 6-DOF helicopter coordinate system

采用牛顿—欧拉方程建立直升机力和力矩动力学模型。定义直升机 4 个控制输入为：

$$\boldsymbol{U}=\begin{bmatrix}T_{\mathrm{M}} & T_{\mathrm{T}} & a & b\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

式中，$T_{\mathrm{M}},T_{\mathrm{T}}$ 分别为主旋翼和尾旋翼产生的推力；挥舞角 a,b 分别为副旋翼的翼尖路径在纵向和横向上的倾斜角。

2.1 直升机的平移动态

在惯性坐标系下，直升机的平移动态方程为：

$$\begin{aligned}&\dot{\boldsymbol{p}}^{\mathrm{I}}=\boldsymbol{v}^{\mathrm{I}}\\&m\dot{\boldsymbol{v}}^{\mathrm{I}}=-\boldsymbol{R}\,\boldsymbol{e}_3T_{\mathrm{M}}+mg\boldsymbol{e}_3\end{aligned}\tag{1}$$

式中，m 为直升机质量；$\boldsymbol{e}_3=\begin{bmatrix}0 & 0 & 1\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$；$\boldsymbol{p}^{\mathrm{I}}=\begin{bmatrix}p_x^{\mathrm{I}} & p_y^{\mathrm{I}} & p_z^{\mathrm{I}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\in\mathbb{R}^3$ 为直升机重心相对惯性坐标系的位置向量；$\boldsymbol{v}^{\mathrm{I}}=\begin{bmatrix}v_x^{\mathrm{I}} & v_y^{I} & v_z^{\mathrm{I}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\in\mathbb{R}^3$ 为惯性坐标系下的线性速度向量；旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 为欧拉角从机体坐标系到惯性坐标系的映射向量。

2.2 直升机的旋转动态

在机体坐标系下，直升机的旋转动态方程为：

$$\begin{aligned}&\dot{\boldsymbol{\Theta}}=\boldsymbol{\Psi}(\boldsymbol{\Theta})\boldsymbol{\omega}\\&\boldsymbol{J}\dot{\boldsymbol{\omega}}=-\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})\,\boldsymbol{J}\boldsymbol{\omega}+\boldsymbol{A}(T_{\mathrm{M}})\boldsymbol{v}_c+\boldsymbol{B}(T_{\mathrm{M}})\end{aligned}\tag{2}$$

式中，$\boldsymbol{\Theta}=\begin{bmatrix}\phi & \theta & \psi\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\in\mathbb{R}^3$ 为欧拉角；$\boldsymbol{\omega}=\begin{bmatrix}\omega_x & \omega_y & \omega_z\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ 为相对于机体坐标系的角速度。

角速度转化矩阵定义为：

$$\boldsymbol{\Psi}(\boldsymbol{\Theta})=\begin{bmatrix}1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta\\0 & \cos\phi & -\sin\phi\\0 & \sin\phi/\cos\theta & \cos\phi/\cos\theta\end{bmatrix}\tag{3}$$

反对称矩阵 $\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})$ 定义为：

$$\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})=\begin{bmatrix}0 & -\omega_z & \omega_y\\\omega_z & 0 & -\omega_x\\-\omega_y & \omega_x & 0\end{bmatrix}$$

$\boldsymbol{J}=\mathrm{diag}\{J_{xx},J_{yy},J_{zz}\}$ 为直升机机体坐标下惯性矩阵；$\boldsymbol{v}_c=\begin{bmatrix}b & a & T_T\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$；$\boldsymbol{A}(T_{\mathrm{M}})$ 为 T_{M} 的逆矩阵；$\boldsymbol{B}(T_{\mathrm{M}})$ 为 T_{M} 的参数向量。

旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 的动态满足：

$$\dot{\boldsymbol{R}}=\boldsymbol{R}\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})\tag{4}$$

直升机跟踪控制的目标是设计4个控制输入 $\boldsymbol{U}=\begin{bmatrix}T_{\mathrm{M}} & T_{\mathrm{T}} & a & b\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ 使得直升机的位置和偏航角跟踪参考轨迹信号 $p_{x\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}},p_{y\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}},p_{z\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}},\psi_{\mathrm{ref}}$。

在控制系统设计过程中，如下假设成立。

假设1 对所有 $t\geq 0$，有 $|\theta(t)|<\frac{\pi}{2},|\phi(t)|<\frac{\pi}{2}$。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

假设2 对所有$t \geq 0$，有$T_{\mathrm{M}} > 0$[16]。

注1 假设1保证待设计的控制输入是非奇异的。同时，假设1可保证角速度转化矩阵$\boldsymbol{\Psi}(\boldsymbol{\Theta})$非奇异。

注 2 假设 2 保证待设计的虚拟控制输入$\boldsymbol{r}_d$是非奇异的。

3 飞行控制系统设计

本文设计一类指令滤波反步法，完成飞行控制系统设计，实现控制目标。将直升机的动态模划分为高度子系统、偏航子系统和水平子系统 3 个子系统，控制系统结构，如图 2 所示。

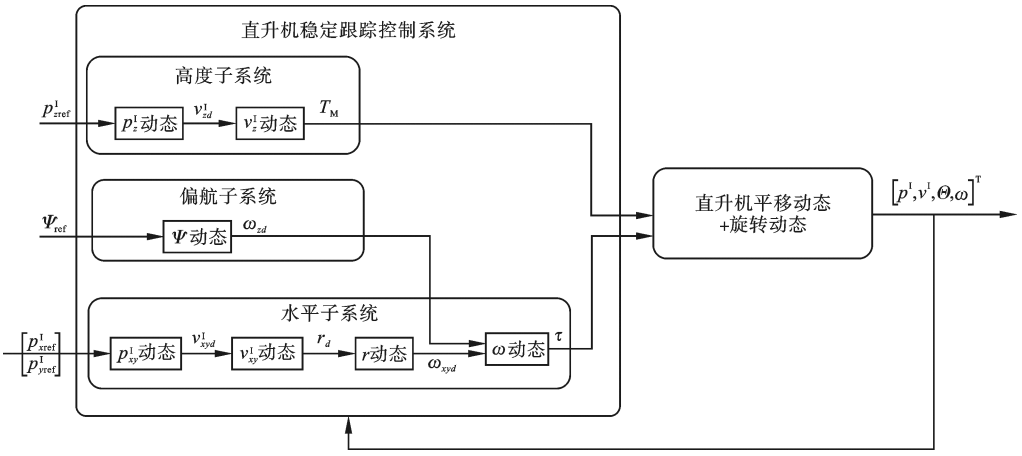


图 2 控制系统结构图

Fig. 2 Block diagram for the control system

3.1 高度子系统

将公式(1)展开，推导直升机的垂直动态为：

$$\begin{aligned}\dot{p}^{\mathrm{I}}_z &= v^{\mathrm{I}}_z\\ \dot{v}^{\mathrm{I}}_z &= -\frac{1}{m}R_{33}T_{\mathrm{M}} + g\end{aligned} \tag{5}$$

式中，R_{ij}为旋转矩阵$\boldsymbol{R}$的第i行第j列对应的元素。

Step 1 定义高度跟踪误差为：

$$e_{pz} = p^{\mathrm{I}}_z - p^{\mathrm{I}}_{z\mathrm{ref}} \tag{6}$$

则开环高度跟踪误差动态满足：

$$\dot{e}_{pz} = \dot{p}^{\mathrm{I}}_z - \dot{p}^{\mathrm{I}}_{z\mathrm{ref}} = v^{\mathrm{I}}_z - \dot{p}^{\mathrm{I}}_{z\mathrm{ref}} \tag{7}$$

定义虚拟控制输入为：

$$v^{\mathrm{I}}_{zd} = -k_{pz}e_{pz} + \dot{p}^{\mathrm{I}}_{z\mathrm{ref}} \tag{8}$$

式中，$k_{pz} \in \mathbb{R}$为正常数控制增益。

Step 2 定义垂直速度跟踪误差为：

$$e_{vz} = v^{\mathrm{I}}_z - v^{\mathrm{If}}_{zd} \tag{9}$$

式中，v^{If}_{zd}为虚拟控制输入v^{I}_{zd}的滤波信号。

则开环垂直速度跟踪误差动态满足：

$$\dot{e}_{vz} = -\frac{1}{m}R_{33}T_{\mathrm{M}} + g - \dot{v}^{\mathrm{If}}_{zd} \tag{10}$$

设计控制输入T_{M}为：

$$T_{\mathrm{M}} = \frac{m}{R_{33}}\left(g - \dot{v}^{\mathrm{If}}_{zd} + k_{vz}e_{vz} + e_{pz}\right) \tag{11}$$

式中，$k_{vz} \in \mathbb{R}$为正常数控制增益。

则闭环高度跟踪误差和垂直速度跟踪误差动态满足：

$$\begin{aligned}\dot{e}_{pz} &= e_{vz} + v^{\mathrm{If}}_{zd} - \dot{p}^{\mathrm{I}}_{z\mathrm{ref}} = -k_{pz}e_{pz} + e_{vz} + v^{\mathrm{If}}_{zd} - v^{\mathrm{I}}_{zd}\\ \dot{e}_{vz} &= -k_{vz}e_{vz} - e_{pz}\end{aligned} \tag{12}$$

3.2 偏航子系统

将公式(2)展开，推导直升机的偏航动态为：

$$\begin{aligned}\dot{\psi} &= \boldsymbol{\psi}_{\mathbf{3}}(\boldsymbol{\Theta})\boldsymbol{\omega} =\\ &\left(\sin\phi/\cos\theta\right)\omega_y + \left(\cos\phi/\cos\theta\right)\omega_z\end{aligned} \tag{13}$$

式中，$\boldsymbol{\Psi}_{\mathbf{3}}(\boldsymbol{\Theta})$为矩阵$\boldsymbol{\Psi}(\boldsymbol{\Theta})$的第3行向量。

Step 3 定义偏航角跟踪误差为：

$$e_{\psi} = \psi - \psi_{\mathrm{ref}} \tag{14}$$

则开环偏航角跟踪误差动态为：

$$\begin{aligned}\dot{e}_{\psi} &= \dot{\psi} - \dot{\psi}_{\mathrm{ref}} =\\ &\left(\sin\phi/\cos\theta\right)\omega_y + \left(\cos\phi/\cos\theta\right)\omega_{\mathrm{z}} - \dot{\psi}_{\mathrm{ref}}\end{aligned} \tag{15}$$

定义虚拟控制输入为：

$$\omega_{zd} = \frac{\cos\theta}{\cos\phi}\left(-k_{\psi}e_{\psi} - \left(\sin\phi/\cos\theta\right)\omega_y + \dot{\psi}_{\mathrm{ref}}\right) \tag{16}$$

式中，$k_{\psi} \in \mathbb{R}$为正常数控制增益。

此时，闭环偏航角跟踪误差动态为：

$$\dot{e}_{\psi} = -k_{\psi}e_{\psi} + \left(\cos\phi/\cos\theta\right)\left(\omega_{\mathrm{z}} - \omega_{zd}\right) \tag{17}$$

3.3 水平子系统

考虑到直升机水平子系统中横向—纵向动态和姿态间存在强耦合，采用级联结构设计控制系统，其中内环控制直升机姿态，外环控制横向和纵向动态。采用指令滤波反步法实现控制系统设计，避免传统反步法中“计算膨胀”问题。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

直升机的水平动态模型可解析表达为：

$$\begin{aligned}&\dot{\boldsymbol{p}}_{xy}^{\mathrm{I}}=\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}\\&m\dot{\boldsymbol{v}}_{xy}^{\mathrm{I}}=-\boldsymbol{r}T_{\mathrm{M}}\\&\dot{\boldsymbol{r}}=\boldsymbol{\Pi}\boldsymbol{\omega}_{xy}\\&\boldsymbol{J}\dot{\boldsymbol{\omega}}=-\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})\,\boldsymbol{J}\boldsymbol{\omega}+\boldsymbol{A}(T_{\mathrm{M}})\boldsymbol{v}_c+\boldsymbol{B}(T_{\mathrm{M}})\end{aligned}\tag{18}$$

式中，

$$\boldsymbol{p}_{xy}^{\mathrm{I}}=\begin{bmatrix}p_x^{\mathrm{I}} & p_y^{\mathrm{I}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}=\begin{bmatrix}v_x^{\mathrm{I}} & v_y^{\mathrm{I}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},\boldsymbol{r}=\begin{bmatrix}R_{13} & R_{23}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$$\boldsymbol{\Pi}=\begin{bmatrix}-R_{12} & R_{11}\\ -R_{22} & R_{21}\end{bmatrix},\boldsymbol{\omega}_{xy}=\begin{bmatrix}\omega_x & \omega_y\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

Step 4　定义水平位置跟踪误差为：

$$\boldsymbol{e}_{pxy}=\boldsymbol{p}_{xy}^{\mathrm{I}}-\boldsymbol{p}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}\tag{19}$$

式中，$\boldsymbol{p}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}=\begin{bmatrix}p_{x\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}} & p_{y\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\in\mathbb{R}^2$；$\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}$ 为虚拟控制输入。

开环水平位置跟踪误差动态为：

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{pxy}=\dot{\boldsymbol{p}}_{xy}^{\mathrm{I}}-\dot{\boldsymbol{p}}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}=\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}-\dot{\boldsymbol{p}}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}\tag{20}$$

定义虚拟控制输入为：

$$\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}=-\boldsymbol{k}_{pxy}\boldsymbol{e}_{pxy}+\dot{\boldsymbol{p}}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}\tag{21}$$

式中，$\boldsymbol{k}_{pxy}=\mathrm{diag}\{k_{px},k_{py}\}\in\mathbb{R}^{2\times2}$ 为正定的控制增益对角矩阵。则闭环水平位置跟踪误差动态满足：

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{e}}_{pxy}&=\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}-\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}+\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}-\dot{\boldsymbol{p}}_{xy\mathrm{ref}}^{\mathrm{I}}=\\&\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}-\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}-\boldsymbol{k}_{pxy}\boldsymbol{e}_{pxy}\end{aligned}\tag{22}$$

Step 5　定义水平速度跟踪误差为：

$$\boldsymbol{e}_{vxy}=\boldsymbol{v}_{xy}^{\mathrm{I}}-\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{If}}\tag{23}$$

式中，$\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{If}}$ 为虚拟控制输入 $\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{I}}$ 的滤波信号。

则开环水平速度跟踪误差动态为：

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{vxy}=\dot{\boldsymbol{v}}_{xy}^{\mathrm{I}}-\dot{\boldsymbol{v}}_{xyd}^{\mathrm{If}}=-\frac{1}{m}\boldsymbol{r}T_{\mathrm{M}}-\dot{\boldsymbol{v}}_{xyd}^{\mathrm{If}}\tag{24}$$

设计虚拟控制输入为：

$$\boldsymbol{r}_d=\frac{m}{T_{\mathrm{M}}}\left(\boldsymbol{k}_{vxy}\boldsymbol{e}_{vxy}-\dot{\boldsymbol{v}}_{xyd}^{\mathrm{If}}+\boldsymbol{e}_{pxy}\right)\tag{25}$$

式中，$\boldsymbol{k}_{vxy}=\mathrm{diag}\{k_{vx},k_{vy}\}\in\mathbb{R}^{2\times2}$ 为正定的控制增益对角矩阵。

则闭环水平速度跟踪误差动态满足如下形式：

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{vxy}=-\frac{1}{m}(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_d)T_{\mathrm{M}}-\boldsymbol{k}_{vxy}\boldsymbol{e}_{vxy}-\boldsymbol{e}_{pxy}\tag{26}$$

Step 6　定义方向误差：

$$\boldsymbol{e}_r=\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}_d^f\tag{27}$$

式中，$\boldsymbol{r}_d^f$ 为虚拟控制输入 $\boldsymbol{r}^f$ 的滤波信号。

则开环方向误差动态为：

$$\dot{\boldsymbol{e}}_r=\dot{\boldsymbol{r}}-\dot{\boldsymbol{r}}_d^f=\boldsymbol{\Pi}\boldsymbol{\omega}_{xy}-\dot{\boldsymbol{r}}_d^f\tag{28}$$

设计虚拟控制输入为：

$$\boldsymbol{\omega}_{xyd}=\boldsymbol{\Pi}^{-1}\left(-\boldsymbol{k}_r\boldsymbol{e}_r+\dot{\boldsymbol{r}}_d^f+\frac{1}{m}T_{\mathrm{M}}\boldsymbol{e}_{vxy}\right)\tag{29}$$

式中，$\boldsymbol{k}_r\in\mathbb{R}^{2\times2}$ 为正定的控制增益对角矩阵。

则闭环方向跟踪误差动态满足如下形式：

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{e}}_r&=\boldsymbol{\Pi}\left(\boldsymbol{\omega}_{xy}-\boldsymbol{\omega}_{xyd}\right)-\boldsymbol{k}_r\boldsymbol{e}_r+\frac{1}{m}T_{\mathrm{M}}\boldsymbol{e}_{vxy}=\\&\boldsymbol{\Pi}_{\omega}\left(\boldsymbol{\omega}\ -\boldsymbol{\omega}_d\right)-\boldsymbol{k}_r\boldsymbol{e}_r+\frac{1}{m}T_{\mathrm{M}}\boldsymbol{e}_{vxy}\end{aligned}\tag{30}$$

式中，矩阵 $\boldsymbol{\Pi}_{\omega}$ 定义为：$\boldsymbol{\Pi}_{\omega}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Pi} & \boldsymbol{0}_{2\times1}\end{bmatrix}$。

Step 7　定义角速度跟踪误差为：

$$\boldsymbol{e}_{\omega}=\boldsymbol{\omega}-\boldsymbol{\omega}_d^f\tag{31}$$

式中，$\boldsymbol{\omega}_d^f$ 为虚拟控制输入 $\boldsymbol{\omega}_d=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\omega}_{xyd},\omega_{zd}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ 的滤波信号。

则开环角速度跟踪误差动态为：

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{e}}_{\omega}&=\dot{\boldsymbol{\omega}}-\dot{\boldsymbol{\omega}}_d^f=-\boldsymbol{J}^{-1}\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})\,\boldsymbol{J}\boldsymbol{\omega}+\\&\boldsymbol{J}^{-1}\left(\boldsymbol{A}(T_{\mathrm{M}})\boldsymbol{v}_c+\boldsymbol{B}(T_{\mathrm{M}})\right)-\dot{\boldsymbol{\omega}}_d^f\end{aligned}\tag{32}$$

广义控制输入 $\boldsymbol{\tau}=\boldsymbol{A}(T_{\mathrm{M}})\boldsymbol{v}_c+\boldsymbol{B}(T_{\mathrm{M}})$ 定义为：

$$\boldsymbol{\tau}=\boldsymbol{J}\begin{pmatrix}-\boldsymbol{k}_{\omega}\boldsymbol{e}_{\omega}+\boldsymbol{J}^{-1}\boldsymbol{S}(\boldsymbol{\omega})\,\boldsymbol{J}\boldsymbol{\omega}+\dot{\boldsymbol{\omega}}_d^f\\-\boldsymbol{\Pi}_{\omega}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{e}_r-\begin{bmatrix}0 & 0 & \cos\phi/\cos\theta\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{e}_{\psi}\end{pmatrix}\tag{33}$$

式中，$\boldsymbol{k}_{\omega}=\mathrm{diag}\{k_{\omega x},k_{\omega y},k_{\omega z}\}\in\mathbb{R}^{3\times3}$ 为正定的控制增益对角矩阵。

则闭环角速度跟踪误差动态满足如下形式：

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{\omega}=-\boldsymbol{k}_{\omega}\boldsymbol{e}_{\omega}-\boldsymbol{\Pi}_{\omega}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{e}_r-\begin{bmatrix}0 & 0 & \cos\phi/\cos\theta\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{e}_{\psi}\tag{34}$$

3.4 滤波器设计

采用如下反正切滤波器，逼近虚拟控制输入：

$$\dot{\boldsymbol{u}}^f=-\arctan(\boldsymbol{u}^f-\boldsymbol{u})/\boldsymbol{\tau}_f,\boldsymbol{u}^f(0)=\boldsymbol{u}(0)\tag{35}$$

式中，τ_f 为滤波器增益。

定义状态跟踪误差系统：

$$\boldsymbol{e}=\begin{bmatrix}e_{pz},e_{vz},e_{\psi},\boldsymbol{e}_{pxy}^{\mathrm{T}},\boldsymbol{e}_{vxy}^{\mathrm{T}},\boldsymbol{e}_r^{\mathrm{T}},\boldsymbol{e}_{\omega}^{\mathrm{T}}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

和滤波误差系统：

$$\begin{aligned}\boldsymbol{s}&=\begin{bmatrix}s_{vzd},\boldsymbol{s}_{vxyd},\boldsymbol{s}_{rd},\boldsymbol{s}_{\omega d}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}=\\&\begin{bmatrix}v_{zd}^{\mathrm{If}}-v_{zd}^{I},\boldsymbol{v}_{xyd}^{\mathrm{If}}-\boldsymbol{v}_{xyd}^{I},\boldsymbol{r}_d^f-\boldsymbol{r}_d,\boldsymbol{\omega}_d^f-\boldsymbol{\omega}_d\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}\end{aligned}$$

则状态跟踪误差动态满足：

$$\begin{aligned}&\dot{e}_{pz}=-k_{pz}e_{pz}+e_{vz}+s_{vzd}\\&\dot{e}_{vz}=-k_{vz}e_{vz}-e_{pz}\\&\dot{e}_{\psi}=-k_{\psi}e_{\psi}+\left(\cos\phi/\cos\theta\right)\left(e_{\omega z}+s_{\omega zd}\right)\\&\dot{\boldsymbol{e}}_{pxy}=-\boldsymbol{k}_{pxy}\boldsymbol{e}_{pxy}+\boldsymbol{e}_{vxy}+\boldsymbol{s}_{vxyd}\\&\dot{\boldsymbol{e}}_{vxy}=-\boldsymbol{k}_{vxy}\boldsymbol{e}_{vxy}-\boldsymbol{e}_{pxy}-\frac{T_{\mathrm{M}}}{m}\left(\boldsymbol{e}_r-\boldsymbol{s}_{rd}\right)\\&\dot{\boldsymbol{e}}_r=-\boldsymbol{k}_r\boldsymbol{e}_r+\frac{1}{m}T_{\mathrm{M}}\boldsymbol{e}_{vxy}+\boldsymbol{\Pi}_{\omega}\left(\boldsymbol{e}_{\omega}+\boldsymbol{s}_{\omega d}\right)\\&\dot{\boldsymbol{e}}_{\omega}=-\boldsymbol{k}_{\omega}\boldsymbol{e}_{\omega}-\boldsymbol{\Pi}_{\omega}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{e}_r-\begin{bmatrix}0 & 0 & \cos\phi/\cos\theta\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}e_{\psi}\end{aligned}\tag{36}$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.5 稳定性分析

采用奇异扰动定理证明闭环系统的稳定性。

定理 1 考虑直升机动力学模型(1)、指令滤波反步控制器(11)、(33)和滤波器(35)。存在合适的小常数 $\tau^{**}\in(0,1)$，当 $\tau_f\in(0,\tau^{**})$ 时，闭环系统的状态跟踪误差满足半全局指数稳定性。换言之，随着 τ_f 的减小，指令滤波反步控制(33)可以达到传统反步法同样的控制性能。

证明 由状态跟踪误差系统(36)和滤波系统(35)组成闭环系统，其动力学方程为：

$$\begin{cases}\dot{\boldsymbol{e}}=F(\boldsymbol{e},\boldsymbol{u}^f,\tau_f)\\ \tau_f\dot{\boldsymbol{u}}^f=G(\boldsymbol{e},\boldsymbol{u}^f,\tau_f),\boldsymbol{u}^f(0)=\boldsymbol{u}(0)\end{cases}\tag{37}$$

式中，$F(\bullet):\mathbb{R}^{12}\times\mathbb{R}^8\times(0,1)$ 和 $G(\bullet):\mathbb{R}^{12}\times\mathbb{R}^8\times(0,1)$ 为向量场函数，表达式见式(36)。

闭环系统(37)的稳定性分析可视为标准的奇异扰动问题。考虑 $G(\bullet)$ 的表达式，方程 $G(\boldsymbol{e},\boldsymbol{u}^f,0)=0$ 有一个独立根 $\boldsymbol{u}^f=H(\boldsymbol{e})$ 且 $H(\boldsymbol{e})=\boldsymbol{u}$。将 $\boldsymbol{u}^f=H(\boldsymbol{e})$ 代入 $F(\bullet)$ 中，可推导降阶系统的动态为：

$$\dot{\boldsymbol{e}}=F(\boldsymbol{e},H(\boldsymbol{e}),0)\tag{38}$$

为了便于稳定性分析，定义一个新的状态变量 $\boldsymbol{\Xi}=\boldsymbol{u}^f-H(\boldsymbol{e})$。因此，边界层系统动态方程表示为：

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{\Xi}}{\mathrm{d}\varepsilon}=G(\boldsymbol{e},\boldsymbol{\Xi}+H(\boldsymbol{e}),0)=\arctan(-\boldsymbol{\Xi})\tag{39}$$

式中，$\varepsilon=t/\tau_f$ 为一个“拉伸”的时间变量。

定义 $\bar{\boldsymbol{e}}(t)$ 和 $\boldsymbol{\Xi}(\varepsilon)$ 分别为等式(38)和(39)的解。

对于奇异扰动系统(37)，如下条件 R1~R3 均成立[17]：

R1：函数 $F(\bullet),G(\bullet)$ 及其关于 $(\boldsymbol{e},\boldsymbol{u}^f,\tau_f)$ 的一阶偏导数连续有界，函数 $H(\boldsymbol{e})$ 和 $\partial G(\boldsymbol{e},\boldsymbol{u}^f,0)/\partial\boldsymbol{u}^f$ 对其自变量的一阶偏导数有界，且 $\partial F(\boldsymbol{e},H(\boldsymbol{e}),0)/\partial\boldsymbol{e}$ 对于 $\boldsymbol{e}$ 是 Lipschitz 的，对于 t 是一致的。

R2：对降阶系统(38)，存在 Lyapunov 函数 $V(\boldsymbol{e})$ 满足 $W_1(\boldsymbol{e})\le V(\boldsymbol{e})\le W_2(\boldsymbol{e})$ 和 $\dot{V}(\boldsymbol{e})\le -W_3(\boldsymbol{e})$，其中，$W_1(\boldsymbol{e}),W_2(\boldsymbol{e}),W_3(\boldsymbol{e})$ 是连续的正定函数，因此降阶系统(38)原点是全局指数稳定的。

R3：边界层系统(39)的原点是指数稳定的，对于 $(t,\boldsymbol{e})$ 是一致的。

闭环系统(37)满足奇异扰动定理的条件 R1~R3。系统(38)和(39)全局指数稳定，且可通过减少 τ_f 来任意扩大原点的吸引区，因此系统(38)和(39)是半全局稳定的。

注 3 本文中指令滤波反步法具有以下特点：

① 其他指令滤波反步法中需要调节的参数有足够大的控制器增益 k_* 和足够小的滤波器增益 τ_f，本文指令滤波反步法中仅调节足够小的滤波器参数 τ_f 即可。

② 增益选择和系统调试简单有效的方式为：选择合适的控制器增益，然后根据采样时间、初始条件等减小以选取合适的滤波器增益 τ_f。

③ 通过减小调节滤波器增益 τ_f，指令滤波反步控制可达到和传统反步法同样的控制性能。

4 仿真实验

在Matlab/Simulink环境中验证所设计的飞行控制系统，仿真步长模式采用变步长模式，解法器采用ode45，即四/五阶龙格-库塔法，仿真精度中相对误差选择为1e−3，绝对误差选为1e−6。直升机模型物理参数选为：

$$J_{xx}=0.18;J_{yy}=0.34;J_{zz}=0.28;\ m=8.2;\ g=9.8$$

选择控制器增益为：

$$k_{pz}=3;k_{vz}=3;k_{\psi}=3;$$

$$\boldsymbol{k}_{pxy}=\boldsymbol{k}_{vxy}=\boldsymbol{k}_r=\mathrm{diag}\{3,3\};\ \boldsymbol{k}_{\omega}=\mathrm{diag}\{3,\ 3,\ 3\};$$

滤波器增益选为 $\tau_f=0.001$。

位置和偏航角参考轨迹信号：

$$p^I_{x\mathrm{ref}}=\cos t;\ p^I_{y\mathrm{ref}}=\sin t;\ p^I_{z\mathrm{ref}}=t/2;\psi_{\mathrm{ref}}=0$$

直升机的初始状态均为 0。直升机位置/偏航角跟踪曲线和误差曲线，分别如图 3 和图 4 所示。

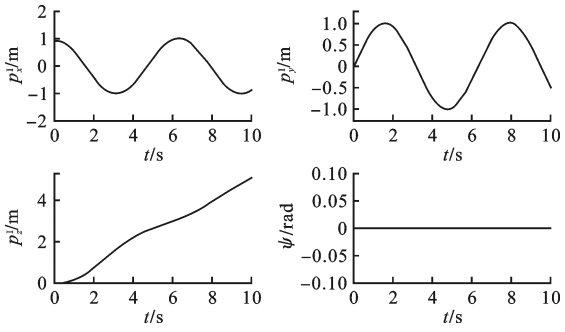


图3 直升机位置/偏航角跟踪轨迹

Fig. 3 Position/Yaw Angle Tracking Trajectory of Helicopter

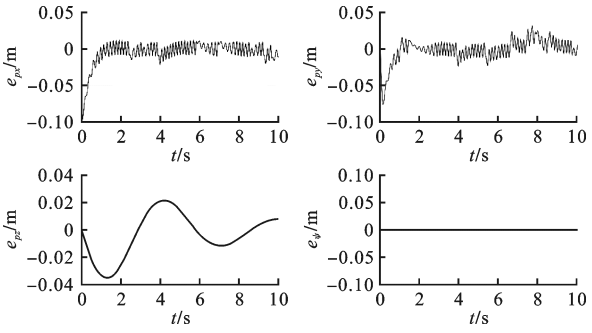


图4 直升机位置/偏航角跟踪误差轨迹

Fig. 4 The Tracking Errors of Position/Yaw Angle

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

控制输入轨迹，如图 5 所示。

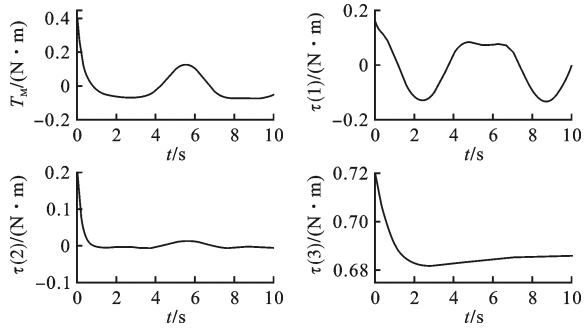


图5 直升机控制输入轨迹

Fig. 5 Control Input Tracking Trajectory of Helicopter

仿真中直升机在 2 s 时间内水平位置、高度可较好地跟踪参考轨迹信号，偏航角保持为零，直升机飞行过程中最大水平、高度、偏航角跟踪误差依次为0.01 m, 0.02 m, 0.03 m, 0 rad 。显然，所提出的指令滤波反步法控制器实现了直升机位置和偏航角对参考轨迹信号良好的跟踪控制。

5 结　论

论文研究基于指令滤波反步法的六自由度直升机稳定跟踪控制问题，有效解决传统反步法中“计算膨胀”问题。将六自由度直升机模型划分为 3 个子系统：高度子系统、偏航子系统、水平子系统。由于 3 个子系统间不存在强耦合，可采用指令滤波反步法单独设计各子系统的控制器，并采用奇异扰动理论保证闭环系统的稳定性。最后，在 Matlab/Simulink 环境中验证了直升机的稳定跟踪控制性能。

参考文献(References)

[1] 方勇纯, 申辉, 孙秀云, 等. 无人直升机航向自抗扰控制[J]. 控制理论与应用, 2014, 31(2): 238-243.
Fang Y C, Shen H, Sun X Y, et al. Active Disturbance Rejection Control for Heading of Unmanned Helicopter[J]. Control Theory & Applications, 2014, 31(2): 238-243.

[2] Toha S F, Rahim A F A, Mansor H, et al. PID Tuned Artificial Immune System Hover Control for Lab-scaled Helicopter System[C]. 2015 10th Asian Control Conference (ASCC), Malaysia: IEEE, 2015: 1-4.

[3] Ganapathy S R, Elumalai V K. Robust MRAC Augmented Baseline LQR for Tracking Control of 2-DoF Helicopter[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2016, 86: 70-77.

[4] 于霜, 吴洪涛, 丁力. 小型无人直升机的静态H_∞输出反馈控制[J]. 控制工程, 2017, 24(10): 2059-2063.
Yu S, Wu H T, Ding L. Static H-Infinity Output-feedback Control for a Small-scale Unmanned[J]. Control Engineering of China, 2017, 24(10): 2059-2063.

[5] 薛东彬, 赵辉杰. 基于反馈线性化的无人直升机参数估计与自适应控制[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014(4): 339-343.
Xue D B, Zhao H J. The Parameters Estimate and Adaptive Control of Helicopter Based on Feedback Linearization[J]. Journal of CAEIT, 2014(4): 339-343.

[6] Wang D D, Zong Q, Tian B L, et al. Neural Network Disturbance Observer-based Distributed Finite-time Formation Tracking Control for Multiple Unmanned Helicopters[J]. ISA Transactions, 2018, 73: 1-19.

[7] Wang J, Ding J, Cao W, et al. Neural Network Fuzzy Control for Enhancing the Stability Performance of Quad-rotor Helicopter[J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2018, 40(11): 3333-3344.

[8] Wang D D, Zong Q, Zhang, B Y. Distributed Adaptive Finite-Time Formation Control of Multiple UAV Helicopter System[C].Chinese Control Conference (CCC), 2018: 1934-1768.

[9] Zhang B Y, Zong Q, Dou L Q, et al. Trajectory Optimization and Finite-Time Control for Unmanned Helicopters Formation[J]. IEEE Access, 2019, 7: 93023- 93034.

[10] Xian B, Guo J C, Zhang Y. Adaptive Backstepping Tracking Control of a 6-DOF Unmanned Helicopter[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2015, 2(1): 19-24.

[11] Wang F, Guo Y, Wang K, et al. Disturbance Observer Based Robust Backstepping Control Design of Flexible Air-breathing Hypersonic Vehicle[J]. IET Control Theory & Applications, 2019, 13(4): 572-583.

[12] Si W, Dong X, Yang F. Adaptive Neural Dynamic Surface Control for a General Class of Stochastic Nonlinear Systems with Time Delays and Input Dead-zone[J]. International Journal of Control Automation and System, 2017, 15(5): 2416-2424.

[13] 周洪波, 裴海龙, 贺跃帮, 等. 基于滤波反步法的无人直升机轨迹跟踪控制[J]. 控制与决策, 2012, 27(4): 613-617.
Zhou H B, Pei H L, He Y B, et al. Trajectory Tracking Control of Unmanned Helicopter via Filtering Backstepping[J]. Control and Decision, 2012, 27(4): 613-617.

[14] He Y B, Pei H L, Zhou H B. Command Filtered Backstepping-based Flight Control of Unmanned Helicopters with Disturbance Observers[C]. 2015 34th Chinese Control Conference (CCC). Hangzhou: IEEE, 2015: 5581-5586.

[15] Yang P, Zhang G W, Wang J, et al. Command Filter Backstepping Sliding Model Control for Lower-limb Exoskeleton[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2017(2017): 1-10.

[16] Isidori A, Marconi L, Serrani A. Robust Nonlinear Motion Control of a Helicopter[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2003, 48(3): 413-426.

[17] Khalil H.K. Nonlinear System (Third Edition)[M]. Upper Saddle River: NJ: Prentice Hall.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

铝黄铜螺母压制过程失效分析

张海伟[1]，李建国[2]，张 容[1]
(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410;
2. 天津市汇通仪器设备公司，天津 300410)

摘要: 针对铝黄铜螺母的开裂和氧化，对铝黄铜螺母压制过程进行了分析，对局部工艺进行了优化，高温预镦阶段使用石墨润滑可以减少氧化层的厚度，终锻前的 300 ℃退火处理避免了开裂，有效地解决了铝黄铜螺母的失效问题。

关键词: 铝黄铜螺母; 开裂; 氧化; 失效分析
中图分类号: TG156; TG111.91 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2019)11-0245-03

Failure analysis of aluminum brass nuts in pressing process

Zhang Haiwei[1], Li Jianguo[2], Zhang Rong[1]
(1. Electromechanical and Automation School, Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China;
2. Tianjin Huitong Instrument and Equipment Company, Tianjin 300410, China)

Abstract: In view of the cracking and oxidation of aluminum brass nuts, the pressing process of aluminum brass nuts was analyzed, then optimized. The thickness of oxide layer can be reduced by using graphite lubrication in the stage of high temperature pre-heading, and the cracking is avoided by annealing at 300 ℃ before final forging, which effectively solves the failure problem of aluminum brass nuts.

Keywords: aluminum brass nut; cracking; oxidation; failure analysis

某公司在生产铜螺母时，在铜螺母毛坯的压制过程中发现螺母表面有开裂和氧化现象，致使零件失效。为提高成品率，对这种铜螺母的压制过程中产生的裂纹和氧化层进行分析和显微组织观察，分析失效原因，并提出改进措施。

1 理化检验与分析

1.1 化学成分

铝黄铜螺母棒料化学成分光谱分析结果见表 1，化学成分符合 GB/T 2040—2002《铜及铜合金板材》中 HAl66-6-3-2 牌号要求。

表 1 铝黄铜螺母的化学成分(质量分数，%)
Table 1 Chemical composition of the aluminum brass nut (mass fraction, %)

元素	Cu	Al	Pb	Sn	Sb	Zn
标准	64~68	6~7	≤0.5	≤0.2	≤0.05	余量
实测	65.73	6.92	0.46	0.17	0.04	26.59

1.2 加工工艺

为了弄清零件产生裂纹和氧化的具体原因，对铜螺母的压制工艺进行分析，压制过程主要包含预镦和终锻两个工艺过程。

压制毛坯所选用的黄铜棒料直径为 ϕ20 mm，长度为 50 mm。预镦工艺，将预镦模具预热至 300 ℃左右 20 min，使整个模具达到均匀温度；将黄铜棒料在工业炉中加热至 750 ℃持续 3 min；机械手将棒料放置预镦模具中，使用 250 t 压力机冲头，0.8 s 内预镦完成。图 1 为预镦模具装配示意图，整套模具主要由上冲头、凹模、模芯和下冲头组成。

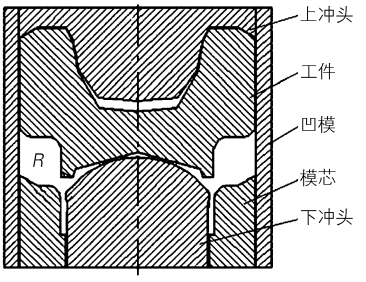


图 1 预镦模具装配示意图
Fig.1 Assembly schematic diagram of pre-upsetting die

终锻工艺：在常温下采用液压传动的冲模系统，在 10 s 内手动完成终锻工艺，最终获得铝黄铜螺母成品。

通过加工工艺可以初步分析出，铜螺母受到几次塑性变形容易引起开裂；在预镦阶段的加热会在工件表面产生氧化物，这些氧化物在工件和模具之间的摩擦会影响铜螺母表面质量。

收稿日期: 2019-08-04
基金项目: 天津职业大学培基金(20151104)
作者简介: 张海伟(1980—)，男，副教授，硕士，主要研究方向为金属材料成型与加工工艺，联系电话 13821094693，E-mail: 53674255@qq.com
DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2019.11.050

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.3 外观分析

对失效螺母外貌进行观察，发现沿其外表面存在裂缝区域，这种开裂是由铝黄铜材料的塑性变形产生的内应力所致。对裂缝进行 SEM 分析，扫描电子显微镜显示裂缝的最大深度约为 900 μm，如图 2 所示。

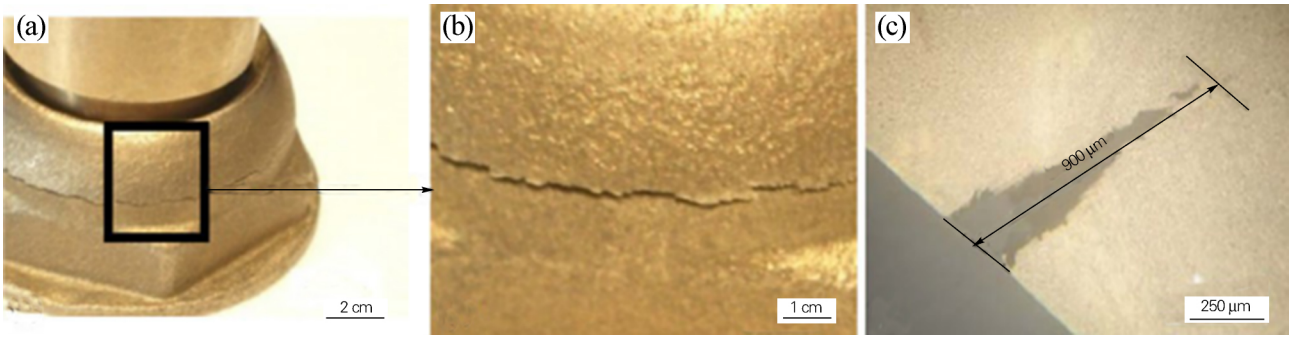


图 2 铜螺母开裂外观形貌及裂缝深度

Fig.2 Appearance and crack depth of the crack in the brass nut

1.4 氧化层分析

对铝黄铜螺母成品表面的氧化层进行定性分析和研究，通过 SEM 测量的氧化物涂层的厚度约为 30 μm，如图 3 所示，该氧化物层不易碎并且均匀地分布在整个螺母表面。

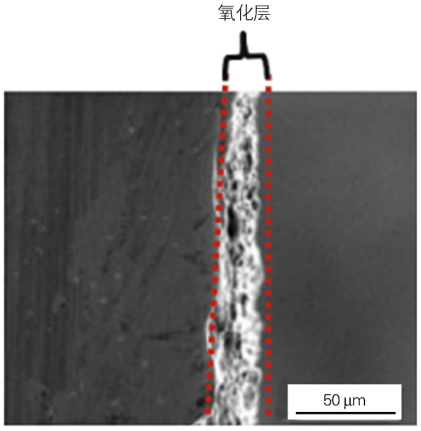


图 3 铝黄铜螺母表面氧化层的截面形貌

Fig.3 Cross section morphology of oxide layer on the surface of aluminum brass nut

使用不锈钢刮刀刮削工件表层氧化物，进行研磨，采用盐酸溶解氧化物样品，通过原子吸收光谱法分析所得溶液。根据原子吸收结果显示，氧化物主要为氧化锌(ZnO) ，其次为氧化铜(CuO) ，如图 4 所示。

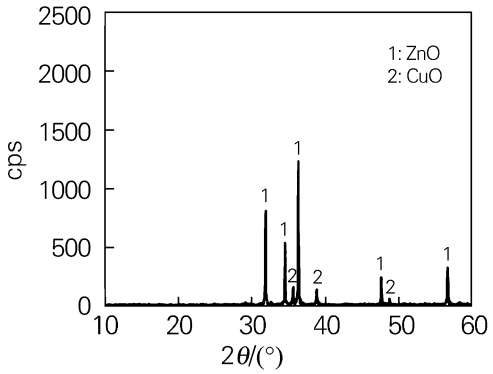


图 4 氧化物的光谱分析

Fig.4 Spectral analysis of the oxides

2 分析与讨论

开裂分析，使用 D1M 光学金相显微镜对铝黄铜螺母棒料试样进行显微组织观察，棒料毛坯试样呈明暗的条状组织，如图 5(a) 所示，呈亮色的球状结构，为 α 相铜基固溶体，呈亮色的球状结构。预锻阶段加热后，α 相长大获得层状组织，如图 5(b) 所示，这是一个重结晶过程。由于热变形的影响，在晶界区域内新晶体成核及不断长大，直至原来的变形组织完全消失，铝黄铜的性能也发生显著变化，重结晶完成。

在常温下对前序螺母进行终锻加工，产生加工硬化，铝黄铜材料在塑性变形时，晶粒发生滑移，出现位错的缠结，使晶粒拉长、破碎和纤维化，材料内部产生了残余应力，因此裂缝出现了。

分析不同状态下铝黄铜棒料的拉压性能，对铝黄铜毛坯、预热至 750 ℃、压制铝黄铜螺母成品、预锻后在 300 ℃退火处理，4 种试样进行拉伸试验，分析应力-应变关系，如图 6 所示。

曲线显示，预锻后退火处理，铝黄铜材料的屈服极限降低。通过颗粒重组消除加工硬化，使材料软化，释放了内应力，增加了材料延展性和韧性。在预锻工艺后，将工件在 300 ℃下进行退火处理 1 h，解决了铜螺母开裂的问题。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

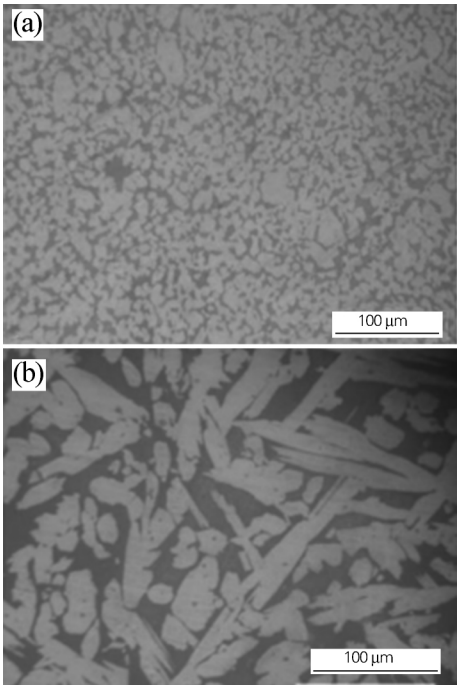


图 5　铝黄铜显微组织
(a) 棒料毛坯试样; (b) 预镦阶段加热后
Fig.5　Metallographic structure of aluminum brass
(a) bar blank specimen; (b) after heating in the pre-upsetting stage

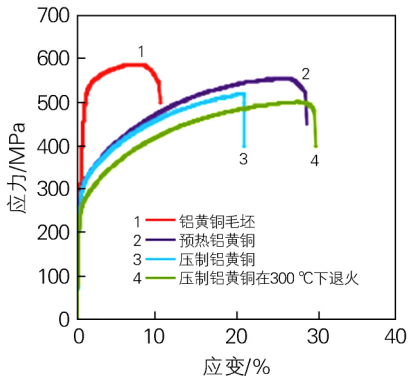


图 6　不同状态下的铝黄铜应力-应变曲线
Fig.6　Stress-strain curves of the aluminum brass in different states

氧化层分析，预镦阶段将铝黄铜棒料加热至 750 ℃，作为合金组分的锌比铜的熔点低，锌的扩散性更大，锌原子容易向表层移动，并与氧结合，锌与氧的结合能力更强，氧化锌 ZnO 比氧化铜 CuO 更稳定。石墨是碳的同素异形体，可以与氧反应产生一氧化碳和二氧化碳，将金属氧化物还原成金属，起到还原剂的作用，反应机理为:

$$CuO+C\rightarrow Cu+CO \quad 当\ T>500\ ℃ \qquad (1)$$

$$2CuO+C\rightarrow 2Cu+CO_2 \qquad (2)$$

$$CuO+CO\rightarrow Cu+CO_2 \qquad (3)$$

氧化锌的还原与氧化铜同理，由于氧化锌的稳定性强于氧化铜，还原需要更多的能量和更高的温度。在铝黄铜螺母的高温预镦阶段使用石墨作为润滑剂可以减小氧化层的厚度，氧化层的厚度由原来的 30 μm 减小为 10 μm，如图 7 所示。

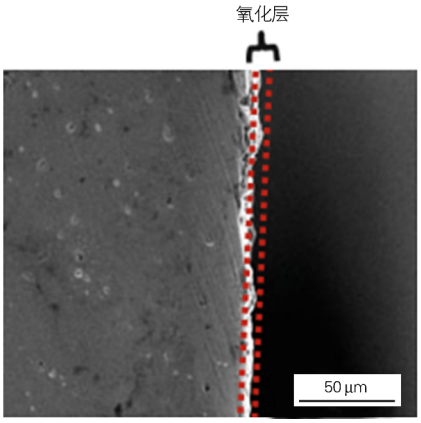


图 7　高温预镦使用石墨润滑剂后铝黄铜螺母表面氧化层的截面形貌
Fig.7　Cross section morphology of oxide layer on surface of the aluminum brass nut pre-headed at high temperature with graphite lubricant

3　结论

对铝黄铜螺母压制过程进行了分析，对局部工艺进行了优化，高温预镦阶段使用石墨润滑可以减少氧化层的厚度，终锻前的 300 ℃ 退火处理避免了开裂，有效地解决了铝黄铜螺母的失效问题。

参考文献:

[1] 胡美些. 金属材料失效分析基础与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社，2016.
[2] 黄本生，范　舟，杨　军. 金属材料及其强韧化 [M]. 北京: 石油工业出版社，2017.
[3] 祝燮权. 实用金属材料手册 [M]. 3 版. 上海: 上海科学技术出版社，2018.
[4] 戴丽娟. 金相分析基础 [M]. 北京: 化学工业出版社，2015.
[5] 刘楚明，李慧中，韩　坦. 铜合金相图集 [M]. 长沙: 中南大学出版社，2018.
[6] 陈洪玉. 金相显微分析 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社，2013.
[7] 吴俊峰. 2A12 铝合金棒环纹分析 [J]. 热加工工艺，2019，48(1): 245-247.
Wu Junfeng. Analysis of ring crack of 2A12 aluminum alloy bar [J]. Hot Working Technology，2019，48(1): 245-247.
[8] 甄延波，武丽明，程　良，等. 40Cr 钢导块开裂原因分析 [J]. 金属热处理，2018，43(12): 247-249.
Zhen Yanbo，Wu Liming，Cheng Liang，et al. Fracture analysis of 40Cr steel guide block [J]. Heat Treatment of Metals，2018，43(12): 247-249.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

节能环保

DOI:10.16525/j.cnki.14- 1362/n.2019.04.15

绿色理念在机械设计制造中的应用分析

张倩颖[1]， 张翔宇[2]
（1.天津职业大学， 天津 300410； 2.天津职业技术师范大学， 天津 300222）

摘 要：从绿色设计理念的含义入手，阐述绿色设计理念的作用和绿色理念在机械设计制造中的优势，分析绿色理念在机械设计制造中的具体应用。希望可以为机械设计制造人员提供参考建议。

关键词：机械设计；绿色理念；应用分析
中图分类号：TH121 文献标识码：A 文章编号：2095- 0748（2019）04- 0037- 03

引言

机械设计制造行业为社会的经济发展做出了重要贡献，为了使社会经济能够持续发展，在机械设计制造中要应用绿色设计理念，为大众打造良好社会环境，利用绿色设计理念实现生态环境持续发展。

1 绿色设计理念的含义

绿色设计理念是一种持续发展的理念，发展不应以牺牲自然生态环境为代价，绿色、持续发展才是现代社会的最新要求。但是，传统工业带来的环境问题并不能在短时间内得到改善，只有在今后工作中应用绿色设计理念，才可以使整个生态环境具有持续发展能力。机械设计制造可以将工人从繁重的劳动中解放出来，提升整个制造行业的工作效率。同时，绿色设计还要考虑机械成本、质量与性能之间的关系，在实现经济效益的同时，将机械设计制造行业对自然环境的污染降到最低，这也是实现持续发展的重点工作内容之一。在长远发展的角度下，提升对产品的循环使用率，也可以降低机械制造行业对自然资源的破坏，使机械设计制造行业具有持续发展的能力[1]。

2 绿色设计理念的作用

2.1 降低原料消耗

在市场经济环境下，企业对生产成本与经营成本的降低追求从未停止过。要想使企业生产、经营成本降低，就要在原料环节进行管控。在企业的生产过程中，要利用先进的现代工艺技术，降低对原料使用的浪费，使每一种原料使用合理，从而降低整个生产过程中对原料的需要。利用先进的生产工艺不仅可以节省原材料，还可以提升产品合格率，使产品质量得到保障，这也使持续发展的重要因素之一。所以，在生产中要关注原材料的使用情况，避免生产中出现浪费原材料的现象，实现对原材料的节约使用，在节省原料基础上，把提升产品质量与生产效率放在首位。不能为了节省原材料盲目进行材料选取，使产品质量出现问题。这种材料选取不当引发的质量问题违背绿色发展理念，也会对企业形象造成不利影响，得不偿失[2]。

2.2 降低能源消耗

在快速发展的时代中，诸多行业迅速发展，都对自然能源造成大量消耗，一些自然资源是属于不可再生的，快速消耗自然资源，使世界资源储备越来越少。所以，为了降低对自然能源的消耗，要不断创新行业制造工艺，使制造工艺不断进步，实现对自然资源的合理使用，降低发展对自然能源的消耗。绿色理念可以使机械设计制造行业降低对自然资源的需求，从而降低能源消耗。所以在机械制造行业中，要优先考虑降低能源消耗，使每种能源可以最大程度发挥自身作用，提升自然能源的利用率，在降低企业生产成本的同时，有效降低能源消耗。

2.3 保护环境

绿色理念对机械设计制造具有重要作用，绿色理念可以使机械制造行业降低对环境的污染，使机械设计制造行业中废水、废气等污染问题得到控制。为了保护自然生态环境，就要研发多种制造工艺，不断地对现有技术进行创新，降低污染物排放，保护自然环境，使人类社会发展与自然和谐共处，实现互利共存的绿色发展理念。

3 绿色理念在机械设计制造中的优势

3.1 促使技术创新

在机械设计制造行业发展中，要应用绿色设计理念，对自然生态环境进行保护。新式机械设计制造作为一种全新技术，必然会带动与其他行业之间的

收稿日期：2018- 03- 09
作者简介：张倩颖（1983—），女，本科，工程师，研究方向为先进制造技术应用；张翔宇（1984—），男，本科，实验师，研究方向为数控加工技术。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合作，也会出现行业模仿现象。这也促使机械制造企业对当前技术进行深入研究，不断提升技术的科学性与有效性，带动整个行业发展，同时也促进环保行业的发展与进步。在企业生产过程中，利用绿色设计理念，保证产品的环保性，也促进技术的升级与创新。只有关注绿色设计理念的应用，才可以使整个行业具有更大发展空间，只有不断发掘绿色理念，才可以使企业在保护环境的前提下提升企业效益[3]。

3.2 提升经济发展

一个技术或者产业的发展，势必会带动多个行业发展与进步。绿色设计理念的发展，使相匹配的绿色工业应运而生，像是对原材料的回收与再利用企业，这些相配企业的出现，是实现绿色发展的重要环节。新兴行业出现，会推动地方经济发展，促进环保材料的研发，也使回收行业迅速发展。在绿色理念的作用下，不仅使机械设计制造行业可以持续发展，而且可以提升生产配套服务业发展。

3.3 实现废弃物循环使用

绿色理念可以使机械设计制造废弃物循环使用，这也是废弃物再利用的全新发展方向。传统机械设计制造行业不具备对废弃物循环使用能力。传统机械设计制造行业不具备这方面的意识，没有相关废弃物提炼设备，不能对废弃原料进行回收与再利用。而绿色理念可以促进回收再利用企业发展，提升废弃物利用率，在保护自然生态环境的同时，对生产中的废弃物进行再次利用，使企业生产成本得到控制甚至降低。废弃物出现就是因为缺少可以对其再利用的企业，但是，这不代表所有企业都不能对其进行再次利用。绝大多数工业制造废弃物中含有化学物质与金属残渣，对这些废弃物的回收不仅是为了提升企业经济效益，还可以保护不可再生资源。所以，在绿色理念作用下，出现了许多新型循环工业，实现废弃物循环处理，为循环工业发展创造良好发展环境。

4 绿色理念在机械设计制造中的具体应用

4.1 在原材料方面的应用

对于机械设计制造的设计人员来讲，绿色原材料选择具有重要意义。但是很多设计人员在原材料选择上，只关注企业的经济效益，关注企业生产成本，对于原材料环保关注度不高，在原材料选择上不以保护环境为主要依据，忽视原材料对自然环境的污染。像是原材料选取不当，在生产制造过程中出现污染气体。这些污染物出现，严重影响当地生态环境，不利于环境持续发展，也不利于地区群众健康。所以，机械设计制造人员，要关注对绿色原料的使用，在原料的选择上不仅关注企业经济效益，还要关注自然生态环境持续发展，在不影响自然生态环境持续发展的前提下，科学、合理选择绿色材料，降低污染物质对环境的破坏，使机械设计制造行业在生产过程中，可以保护当地生态环境，在保护环境的基础上，不断提高企业经济效益，使企业利润空间增大。在机械设计制造企业中，在原材料进行合理选择后，将原材料运输至生产现场，材料运输到位后，及时进行技术检测，抽查原料样本，将检验合格的原材料投入企业生产制造中。检测人员在抽查过程中，要严格遵循国家相关制度，使机械产品生产质量得到保障。对于检测不合格的原料，及时与供货商联系，对不合格原材料坚决拒收，使绿色材料可以更好地应用到机械设计制造行业中。通过绿色原料的选取与使用，降低污染物质的排放，保护制造行业周边环境，为机械设计制造行业持续发展奠定良好基础，也使自然生态环境得到保护，具有持续发展的能力[4]。

4.2 在产品设计方面的应用

在机械设计制造企业中，部分企业由于设计人员不专业、设计人员自身水准不高，影响机械制造企业的产品质量，使企业持续发展得不到保障，也不利于企业经济效益增长。所以，在机械设计制造企业中，要不断提升专业设计人员水平，提升企业专业设计人员工作效率，进而保障企业产品的生产质量。在机械设计制造行业中应用绿色理念，使生产的多个环节得到有效管理，无论是在原材料选择还是在方案设计上，都可以提升机械设计制造行业的生产水平。对机械设计制造生产的产品进行绿色设计，可以提高绿色材料的使用率，更好地应用在大众生活中。所以，为了绿色理念更好地应用在机械设计制造行业中，就要加大对设计专业人员的培训力度，使设计人员对绿色设计理念不断创新。在进行绿色设计的过程中，相关设计人员还要关注产品的质量与使用效果，在保证产品质量与使用效果的基础上，对企业产品进行绿色设计。还要在产品设计过程中，赋予产品再次回收利用的特性，对企业生产产品定期回收。并根据产品的使用情况，对产品进行定期维护与维修，增加产品使用年限，提升产品的使用效率。为了提升产品的循环使用能力，设计人员可以使用循环利用方式，在绿色设计原则基础上，尽量降低对自然生态资源的消耗，降低对不可再生资源的损耗，使机械产品具有良好再回收利用效果。

4.3 在企业方面的应用

为了保障机械设计制造行业产品质量，降低机

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

械设计制造行业对自然生态环境的破坏，就要在产品影响因素上加以控制。企业的机械设计人员，可以利用绿色的设计理念，降低对自然资源的损耗，使企业生产出的产品可以具有更高质量。这也要不断提升机械设计制造人员的综合素质，使其可以更好地掌握机械制造技术。随着现代社会经济的快速发展，绿色设计理念并不是一成不变的，绿色理念只有符合时代发展要求，不断改进更新绿色设计生产制造技术，才可以提升工作人员的效率。在企业的生产过程中，运用先进的绿色生产制造技术，不仅有利于企业生产效率的提升，还可以降低对自然环境的污染，得到更多高质量的产品。所以，机械设计人员，要不断强化自身综合能力，加大对绿色理念的理解，对绿色理念不断进行应用与更新，使企业产品的生产周期更短，同时满足生态环境的要求。绿色的生产技术主要建立在原料选择基础上，原料采购人员在原料选择上要充分考虑材料的价格与质量。要想企业材料选购人员具有更高绿色生产意识，就要加大对材料选购人员的培训，在培训中不断强化选购人员的专业知识。还要明确企业内部制度，建立良好的企业管理体系，使企业工作人员积极性不断提升，使绿色生产制造技术可以更好地应用在机械设计制造行业中。

4.4　在液压系统设计方面的应用

传统的机械制造行业中，液压系统泄漏现象频出，为了降低、杜绝此种情况出现，降低泄漏对周边环境的影响与破坏，要对液压系统进行强化管理，对液压系统泄漏情况的管理也体现了绿色设计理念的应用。所以，要对液压系统进行科学合理设计，实现机械液压系统的绿色与环保能力。在对液压系统进行污染处理时，要做好处理的防治措施，使液压系统不会在生产过程对环境造成污染。为了降低液压系统对环境的污染，在液压系统设计中一定要根据国家相关规定，进行系统设计，要考虑到液压系统的回收与再利用情况，对其中可以循环使用的零部件进行提炼，加大循环使用力度。在设计中还要关注液压系统产生危害的原因，根据问题出现原因，对问题进行分析，采取有效管理措施。如对液压系统中的液压轴设计，一定要符合国家规定，降低液压轴带来的污染情况，使液压系统在应用过程中具有绿色环保的效果。

5　结语

在绿色理念应用过程中，要加大对绿色设计环节控制。在产品设计过程中，应用绿色生产制造技术，降低机械设计制造行业对自然生态环境的污染。对生产的多个环节进行全面管理，像是在原材料选取上，选用绿色环保原料进行产品生产，使产品生产过程中污染物排放降低，满足现代社会对环境的要求。机械设计制造行业绿色理念的应用，仍然具有较大难度。只有在不断强化设计人员对绿色理念的了解，对其专业技能进行培训，才可以推动机械设计制造行业持续发展，使生态环境得到保护，使社会经济稳定快速发展。

参考文献

[1] 王立志.机械设计制造中绿色设计理念的整合实践研究[J].电大理工，2018(3)：1-2.
[2] 黄旭.绿色理念在机械设计制造中的应用[J].机电信息，2018(27)：140-142.
[3] 白新鹏，蒋泰铿.绿色理念在机械设计制造中的应用探讨[J].科技创新导报，2018，15(25)：158-160.
[4] 韩东.绿色理念在机械设计制造中的应用[J].中国新技术新产品，2018(16)：70-71.

（编辑：王红霖）

Application Analysis of Green Concept in Mechanical Design and Manufacturing

Zhang Qianying[1]　Zhang Xiangyu[2]
(1.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410；
2.Tianjin University of Technology And Education, Tianjin 300222)

Abstract: Due to the rapid development of the industrial society, the national economy is in a rising stage, but at the same time, the rapid economic development also brings severe environmental problems. This paper takes the mechanical design and manufacturing application of the green concept as the analysis object to provide reference suggestions for the mechanical design and manufacture personnel.

Key words: mechanical design; green concept; application analysis

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

绿色制造技术在机械制造领域的应用分析

谢学浩[1]，季顺延[2]

（1. 天津职业大学，天津 300410；2. 天津市汇通仪器设备公司，天津 300402）

摘 要：当前的绿色制造技术在生态工业以及社会的制造业中的应用是十分广泛而全面的。这种绿色制造和生产工业需要在整个创作环节中考虑其作品的整体生命周期，并且也要十分注重把这类产品在其生命周期里对环境负影响降到最低，可以最大化地利用现有的资金和材料，不会造成浪费。众所周知，制造领域一直是我国得以持续性发展的重要命脉，并且也会对我国的经济发展以及科技创新造成直接的影响。文章正是基于对当前绿色制造技术概念分析，以及对机械制造领域的深入探究，进而提供一些关于绿色制造技术在机械制造领域的应用分析，以期能够为相关的技术人员提供一定的借鉴与帮助。

关键词：绿色制造技术；机械制造；整体生命周期

众所周知，当前我国正处于社会主义初级阶段，并且伴随着技术生产的革新与发展，越来越多的污染问题日益突出，国家更是倡导民众要绿色发展、环保与发展兼顾地制造产品。因此，绿色制造技术就顺应时代产生了，这一门新型的制造技术，就是基于环保与绿色的基本理念，进一步提升制造水平和生产效率。具体地挖掘当前的绿色生产制造的巨大价值以及具体实施办法与策略，都是人们义不容辞的责任和义务。

1 当前我国的机械制造工业里的绿色制造技术的概念

绿色制造是一项新兴技术，它是直接面向当前的环境制造业，也被称作环境意识制造。总体而言，绿色制造是一类综合考虑环境影响以及高校资源利用的环保类别的生产模式。绿色制造是为了在整个产品的生命周期里面，都需要贯彻落实科学发展观，不浪费资源，合理使用相关的资源和材料。

需要区别的地方是，绿色制造不同于传统制造。在传统制造业的观念里面，只需要厂家追寻利益的最大化，并且不在乎环境的污染问题等，只需要将现有的资源和资金合理分配，创造更多的财富即可。但是由于我国长时间使用传统制造，这样从生产到流通再到废弃的运营模式，非但没有创造出更多的价值，不利于可持续性发展，并且也对当前的环境造成了极度的破坏。但是与此不同的绿色制造就是一种从产品开发设计然后过渡到产品制造生产然后到包装再到使用维修最后报废，这样长链条的运用模式，可以有效地提升产品的使用年限，以及减少对环境的破坏，还可以针对当前的材料和物资，提供更加有效的维修和护理。这就是绿色制造的最大优势和基本特点[1]。

2 当前我国绿色制造理念贯彻下的工艺类型

现如今，对于我国绿色制造理念深入贯彻的工艺类型主要分为3类：资源节约型的工艺技术；降低耗能型的工艺技术；环境保护型的工艺技术。这3种工艺技术各有千秋，并对我国的绿色施工提供了多种角度，让绿色施工的范围进一步扩大与普及。下面，笔者将分别细化地探讨3种绿色工艺的具体操作以及注意细节。

2.1 资源节约型的工艺技术

资源节约型的工艺技术表明研究人员以及工作人员应当从节约资源的角度出发，去置顶一些能够有效节约当前的材料与物资的方法与手段。首先，笔者认为需要和传统的工艺手法相区别的是，传统工艺手法的目的不在于材料的节省，而是在于对经济的最大化发展[2]。因此，我国更应当大力倡导资源节约型的工艺技术。国家的绿色施工技术主要有以下3点。

2.1.1 干式加工技术

通过干式加工技术，可以减少水资源的浪费，并且也节约了经费。在传统的施工中，切削液是一种普遍的使用方法，这种传统工艺方法不仅会浪费水资源，还会对当今的环境生态造成极大的危害，这些危害都不能用金钱去估量，并且会直接导致意料之外的安全隐患。因此合理有效地应用干式加工技术，可以完成对机械制造产业的进一步优化和发展。

2.1.2 减少加工的剩余量

这种减少加工的剩余量的工艺技术，主要是通过研究人员正确地提高生产过程中的切削效率，这种将现今的切削力控制在较低的误差范围内，从宏观操作的角度上而言，就能够有效地提升对机械产品的生产效率，并且也符合节约资源这一条绿色生产基本法则。

2.1.3 少无切割的加工技术

少无切割的加工技术是属于可以简化当前施工流程以及施工时间的一种绿色环保的施工方法与操作。伴随着我国经济的迅速崛起以及科学技术的腾飞，越来越多的人投入到科学研发的队伍里，许多的优秀人才一生都在致力于绿色制造产业的发展与运用[3]。当工厂在制造生产时合理运用此种技术，可以简化许多环节的材料消耗。

2.2 降低耗能型的工艺技术

降低耗能型的工艺技术就是说，能够有效减少对当前材料物料的消耗，并且能够达到绿色环保的作用，笔者在这里提供两项技术，以供大家学习与交流。

2.2.1 节能技术

节能技术并不是一个细小的分支，而是需要研究人员具体地从宏观上设计出一套系统的方法与策略，起到节约的作用。因此，笔者建议当前的机械工厂进行合理的管控，不论是管理方法还是施工设计方案以及具体施工环节的操控还有监管制度，都需要研究人员进一步去探究节能技

作者简介：谢学浩（1981— ），男，天津人，实验师，学士；研究方向：产教融合数控实训教学。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

术，这样整体而系统的研究方法可以有效地解决能源损耗的问题。

2.2.2 合理探求润滑技术

润滑技术一直是机械厂家需要努力攻克的问题与难关。当前机械公司以及生产厂家应当去努力研发一种新型的润滑剂，力求创造一种新型的润滑剂，能够对机械制造节省资金与材料，并且能够通过较少的润滑油的使用，达到更好的润滑效果。

2.2.3 环境保护型工艺技术

环境保护型的工艺技术在技术方面来看，就是需要在当前的技术要求方面，进一步地加大对于环境的维护，这项技术能够进一步加强工作方面的操作环节。环境保护任重而道远，需要各方人士去付出努力，认真地去实践，才能够为中国的环境改善作出一份应有的贡献与付出。

3 当前我国机械制造领域中绿色制造工艺的应用情况

3.1 豪克能金属表面加工技术在当前的机械制造业中的广泛运用

当前中国机械制造在液压缸的杆类外表面加技术方面仍然存在着高耗能、低产率、耗时长、有污染等问题[4]。这个时候，新型的豪克能金属表面加工技术就应运而生了，并且在液压缸的杆类外表面领域方面，也作出了卓越的成就和发展。探究其本质，豪克能金属表面加工技术的基本操作理念就是利用它在常温的时候具有冷塑性的优良特点，从而对其进行磨砂处理，附加这一细节上的把控过后，就能够制造出最符合当前企业工厂的生产所需要的物质。

除此之外，豪克能金属表面加工技术正是由于这种豪克能金属，具有许多的优良特性，诸如：密度大、聚焦性能良好，因此这类金属的使用性较强，这也是它能够广泛运用于机械制造领域的原因。

3.2 立柱组装线的合理运用以及真实情况

在当前我国的机械制造业对于立柱组装线的使用也较为广泛。当前的绿色环保型制造业使用立柱组装线，就可以提升机械制造的制造效率以及弥补了某些中小型企业员工不足的现象，也能够有效解决当前生产制造过程中轻型液压支架大规格立柱装置设备的质量不过关的问题。

3.3 振动消除应力法在当前我国的机械制造领域的相关情况

在制造工厂里，技术人员进行机械制造时，会选择在工艺只能够对管料调质后进行一系列的加工程序，比如：推镗、精车等细节环境。在这样一整套流程的操作之下，加工的压力就会比较大，从而使得制造生产出来的产品会变形，不适合使用。

如何有效地寻求更好的方案去解决这个问题，在过去的方法和策略中，主要是以下两种方法，第一类方法是自然时效方法，这种方法也就是通过时间去对产品进行自我的修复，但是显而易见的是，这种方法不仅浪费时间，而且效果不好。第二种方法叫作热时效方法，这种方法在时间上大大缩短了，并且效果也比较好，但是会对产品有一定的损坏作用，特别是一些不抗热的产品。因此，研究人员需要探究其他的方法来解决当前的问题。这个时候，振动消除应力法就应运而生了。

振动消除应力法是利用共振的思路，对当前的金属结构内部残余应力进行一定的处理工作。并且系统会自动对于金属的内部构建进行一定的残余应力降低处理和均化处理。通过振动消除应力的处理，这会使得金属结构内部的应力降低大约40%，这对于机械制造产业来说，无疑是一个具有明显效果的新措施。

4 加强目前基于绿色制造理念的机械制造工艺的长远发展措施及策略

4.1 生产制造过程中坚持以绿色环保的发展理念继续运行

现如今的企业无论是从个人发展还是从长远的进步来看，都需要通过绿色环保的发展理念继续发扬光大，我们可以看到，国外很多的无良商家因为中国的人力资源丰富、廉价，因此就把工厂设置到我国的郊区，将污染转移到我国。这种不道德的行为进一步加快了我国对于环境污染的管控脚步。因此，在生产制造过程中坚持以绿色环保的发展理念继续运行是一条必由之路。加强目前基于绿色制造理念的机械制造工艺的长远发展，也需要国家政府出台相应的法律法规来进行管控，才能够使得企业获得更加长远的经济发展和利润稳定提升。

4.2 生产制造过程中合理运用绿色环保的原材料

我们知道，在21世纪里，环境材料发展可谓是十分迅猛，材料业发展也产生了许多的绿色环保原材料。这些原材料经过合理地搭配，使得当今的绿色环保产业得以继续延续。当然，作为企业公司在挑选绿色环保的原材料时，也会有一定的标准和规格。笔者经过多方数据的查阅，最后总结出以下挑选注意事项：首先，当前的原材料能够回收利用，因为大多数的材料基本是一次性的，甚至某些材料在使用过程或者使用结束过后，会产生巨大的环境污染问题，因此如果采用可以回收利用的原材料，就能够促进材料的可持续性利用，企业公司的开支也会进一步降低，这样既能做到节省开支，又可以起到环保绿色的作用。其次，当前的原材料可能会有许多弊端，诸如数量稀少、价格昂贵等，这些问题都需要企业在挑选中注意，一定要选择数量丰富，并且成本低廉的绿色环保材料，这样才能给予当前的企业公司更大的发展空间，保证当前行业的进一步长远发展。最后，也需要考虑到无毒、无辐射的问题，因为许多原材料可能会有一些不健康、危害人体健康的元素和成分，这些成分都应该在挑选时仔细对比，最后剔除掉，应该选取最为环保、无污染的高品质原材料，才能够给企业带来更长远的发展和利益。

4.3 公司应当加大对于绿色制造产业的专业人才培养与引进

现如今，公司对于加大绿色制造产业的专业人才培养与引进这一块，还做得不够，因为这些不仅需要公司花费资金去聘请高精尖人才，也需要高校去培养这类人才，从教育抓起，才能够对公司的人才引进有所帮助和借鉴。

5 结语

新的时代有着新的使命，我们应当深刻了解当前我国的机械制造工业里的绿色制造技术的概念，从而学习当前我国绿色制造理念贯彻下的工艺类型。不同的工艺类型会有不同的加工技术，例如：资源节约型的工艺技术就会涉及干式加工技术和减少加工的剩余量以及少无切割的加工技术。而在了解了不同工艺技术之后，也需要加强目前基于绿色制造理念的机械制造工艺的长远发展措施及策略的探究。笔者认为只有在生产制造过程中坚持以绿色环保的发展理念继续运行，时刻在生产制造过程中合理运用绿色环保的原材料，并且公司需要加大对于绿色制造产业的专业人才培养与引进。绿色制造技术的应用与推广才能指日可待。

（下转第146页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

运行管理者可以通过单给水泵运行，电泵改气泵等方式降低给水泵耗电量。在冬季运行期间，热网循环泵加装变频。夏季期间增加空冷岛冲洗降温，都是降低厂用电率重要手段。

3.2 锅炉系统的设备管理

对于锅炉系统，根据数据模型，所占比重与汽机系统相似，所以其对降低厂用电率的影响也至关重要。如图3所示，引风机、磨煤机、排风系统的耗电量占主要，它们的耗电量与煤的质量有很大的关系。

由于我国电煤供应紧张，部分电厂是根据情况对煤进行掺烧的，而掺烧后的煤质量变差，发热量降低，达不到原来设计煤种的要求，这种情况下为了保证发电量必定要增加锅炉的给煤量，这就导致了引风机、磨煤机、排风系统的耗电量变大，因此，提高煤的质量可以有效减少锅炉系统的耗电量。

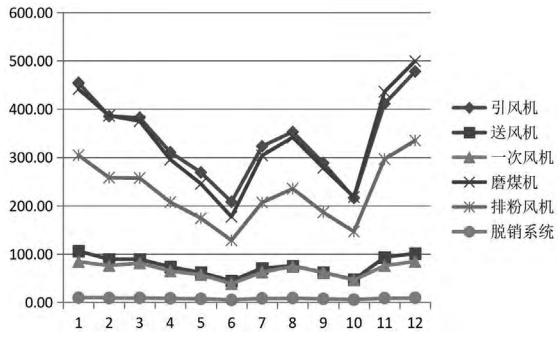


图3 锅炉系统各部分耗电量分析

3.3 提高工作人员节能意识

从各系统分析来看，解决厂用电率问题应该用系统的思维考虑问题，这时候就可以从员工意识出发，提高现有各系统的经济运行水平以达到降低厂用电率的效果。

[参考文献]

[1]道格拉斯C.蒙哥马利.线性回归分析导论[M].王辰勇，译.北京：机械工业出版社，2016.

Research on analysis and countermeasure of the influencing factors of plant power consumption in thermal power plant

Fan Xiaocheng

（China National Water Resources and Electric Power Materials and Equipment Co.,Ltd., Beijing 100040, China）

Abstract: Through the analysis of power consumption of steam turbine, boiler, environmental protection and public system and integrated plant power consumption to establish the linear regression model, this paper analyzes the degree of influence of each system on the electricity consumption based on the model, and puts forward corresponding countermeasures to reduce power consumption rate problems.

Key words: linear regression theory; power consumption rate; mathematical model

（上接第137页）

[参考文献]

[1]孙梅，王张全.绿色制造技术在机械制造领域的应用[J].电子制作，2013（6）：106.

[2]詹建军.机械制造过程中绿色制造技术应用[J].装备制造技术，2014（7）：229-231.

[3]吴海燕.机械制造过程中绿色制造技术的应用[J].工程技术（文摘版），2015（11）：42.

[4]刘新权.绿色制造技术在机械制造过程中的应用[J].科技创业家，2013（3）：65-68.

Analysis on application of green manufacturing technology in mechanical manufacturing field

Xie Xuehao[1], Ji Shunyan[2]

（1.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. Tianjin Huitong Instrument and Equipment Company, Tianjin 300410, China）

Abstract: The application of current green manufacturing technology in fields of eco-industry and social manufacturing is very extensive and comprehensive. The green manufacturing and manufacturing industries need to take into account the overall life cycle of their works throughout the creative process, as well as pay great attention to minimizing the environmental impact of such products in their life cycles, so as to maximize the use of existing funds and materials without waste. As we all know, the manufacturing field has been an important lifeline for sustainable development in China, and it will have a direct impact on China's economic development and scientific and technological innovation. This paper is on the analysis of green manufacturing technology based on the concept of mechanical manufacturing in the field of in-depth study, and provides some analysis on the application of green manufacturing technology in the field of mechanical manufacturing, so as to provide some help and reference for the related technical personnel.

Key words: green manufacturing technology; mechanical manufacturing; overall life cycle

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.05.022

模型剖分方式对钢锭凝固过程的影响

赵亚楠[1],郭建政[2,3]

(1.天津职业大学 机电工程与自动化学院,天津 300410;2.深圳万泽中南研究院,广州 深圳 518045;3.中南大学,材料科学与工程学院,湖南 长沙 410083)

摘　要:采用铸造模拟软件 ProCAST,针对 40T 金属模钢锭的传热凝固过程,选用不同的模型剖分方式(全模型、1/2 模型、1/8 模型),研究模型剖分方式对凝固计算精度及效率的影响。结果表明:模型选取越小,会降低计算精度,太大则会增加计算内存的使用量。综合考虑,对于大型钢锭的传热模拟计算,建议使用 1/2 模型进行计算。

关键词:数值模拟;剖分方式;大型钢锭;ProCAST

中图分类号:TF741　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)05-0513-04

Effect of Model Selection on Steel Ingot Solidification Process

ZHAO Yanan[1], GUO Jianzheng[2,3]

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. Wedge &Central South Research Institute, Shenzhen 518045, China; 3. School of Material and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Casting simulation software ProCAST was adopted to select different model subdivision methods (full model, 1/2 model and 1/8 model) for the heat transfer and solidification process of 40 tons metal mold ingot. The influence of model subdivision on solidification accuracy and efficiency was studied. The results show that the calculation accuracy will be reduced if the model is too small; the memory usage and calculation time will increase dramatically if the model is too large. Overall, it is suggested to use the 1/2 model for the heat transfer simulation calculation of large steel ingot.

Key words: numerical simulation; model; heavy-steel ingot; ProCAST

大型铸锻件的生产能力是衡量一个国家重大技术装备自给自足能力的重要标志,对国家经济和国防建设等方面都有至关重要的作用。研究结果[1-7]表明,采用数值模拟和试验检测相结合的方法,是优化铸件浇注参数和提高铸件质量的有效工具。数值模拟过程中存在很多不确定因素,其中,模拟软件本身的影响因素就有很多,包括:网格尺寸[8]、时间步长、浇注方式等,但模型的剖分方式对钢锭凝固过程的影响还未见报道。

在铸造的模拟计算中,为了减少计算量,提高计算效率,通常会将对称模型简化为 1/2、1/8 模型进行计算。本课题基于 ProCAST 软件,以 40 T 钢锭为研究对象,分析研究使用简化模型与整体模型计算结果的差异性,为模拟前模型建立提供参考,在保证计算精度的前提下,减少内存使用量,缩短计算时间,提高工作效率,对大型钢锭的凝固模拟计算具有很高的实用价值。

收稿日期:2019-01-24

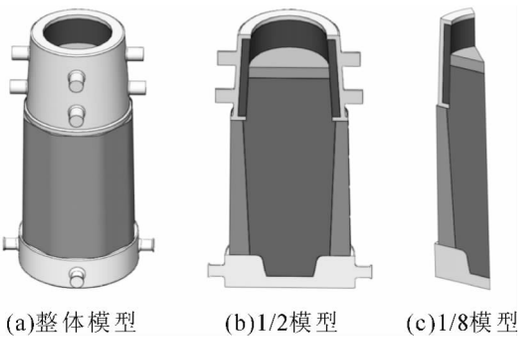
作者简介:赵亚楠(1986-),女,河北宁晋人,硕士,讲师.研究方向:材料热加工的 CAD/CAE 分析.

电话:022-60585159,E-mail:skyzyn@126.com

1　前处理设置

1.1　三维模型

以某单位使用的 40 T 金属钢锭模钢锭为例,建立 3 种不同的模型:整体模型、1/2 模型、1/8 模型(见图 1)。



(a)整体模型　(b)1/2模型　(c)1/8模型

图 1　40 t 钢锭模型

Fig.1　Model of the ingot and mold for 40 tons

1.2　材料热物性参数

材料物性参数主要包括钢锭、钢锭模、保温砖的密度、热导率、焓、液相线温度和固相线温度。其中,钢锭的物性参数(见图 2)是根据钢液的合金成分(见表 1)计算得出的;保温砖、覆盖剂及钢锭模分别使

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

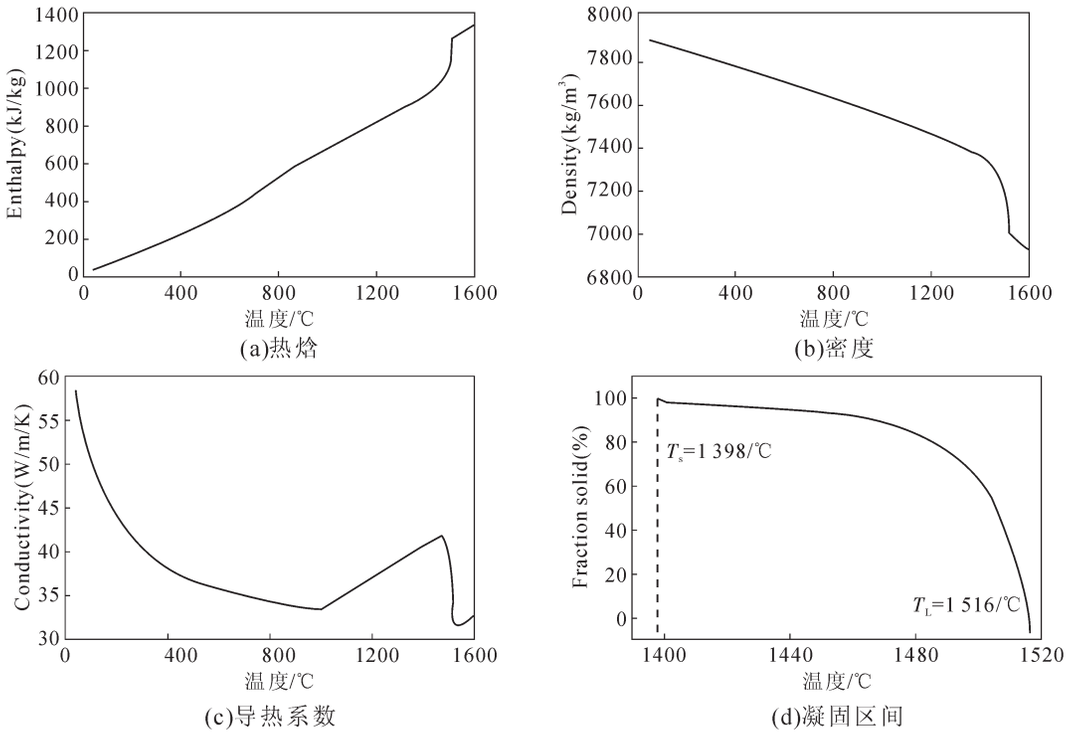


图 2 钢锭(2.25Cr1Mo0.25V) 热焓、密度、导热系数和凝固区间随温度的变化图

Fig.2 Curve of ingot physical parameters (2.25Cr1Mo0.25V) changing with temperature

表1 2.25Cr1Mo0.25V成分表 *w*(%)

Tab.1 Chemical composition of 2.25Cr1Mo0.25V alloy

C	Mo	Cr	Mn	Ni	Si	V	Cu	Ti	Nb	B
0.13	1.00	2.25	0.45	0.125	0.05	0.30	0.10	0.02	0.035	0.001

用 ProCAST 软件材料数据库中的 Sleeve、Insulation、Fe-GG-20。所有物性参数均为随温度变化的曲线,提高计算的可信度。

1.3 初始条件及边界条件

对于大型钢锭来说,钢锭的充型时间和完全凝固时间相比要小得多,因此,钢液的初始温度可简化为钢液的浇注温度,2.25Cr1Mo0.25V 的浇注温度设为 1 600 ℃。其余模型的初始温度均为 25 ℃。

本课题的目的在于进行模拟计算结果间的比较,并不与实际情况作对比,因此模型之间的界面换热系数可简化设置为常数(见表 2)。

2 计算结果与讨论

2.1 温度场分布

不论是钢锭的充型过程还是凝固过程,采用不同的模型剖分方式进行计算,其温度场分布几乎没有变化(见图 3、图 4);从完全凝固时间来看(见图 5),1/8 模型与整体模型的凝固时间均为 10.3 h,1/2 模型为 10.2 h,相差仅 6 min,可以认为凝固时间完全一致。为进一步分析模型剖分方式对温度场的影响情况,在钢锭及钢锭模选取相近节点(见图 6),查看 3 个模型中的节点温度随时间的变化情况 (见图 7),从曲线图看出,使用 3 种模型进行钢锭的充型和凝固计算,节点温度之间的变化不大。通过以上分析可以明确,对于对称模型的温度场计算,完全可以使

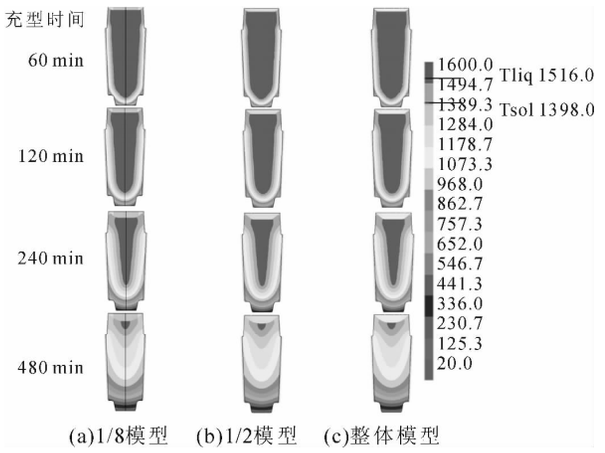


图 3 不同模型剖分方式下钢锭的温度场分布情况(充型过程)

Fig.3 Temperature distribution at different times for different models (filling process)

表 2 各模型之间的换热系数

Tab.2 Heat transfer coefficient of the interfaces model

界面	钢锭–钢锭模	钢锭–保温砖	钢锭–覆盖剂	保温砖–覆盖剂	保温砖–保温帽
换热系数 W/m²·K	1 500	500	100	20	1 000

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

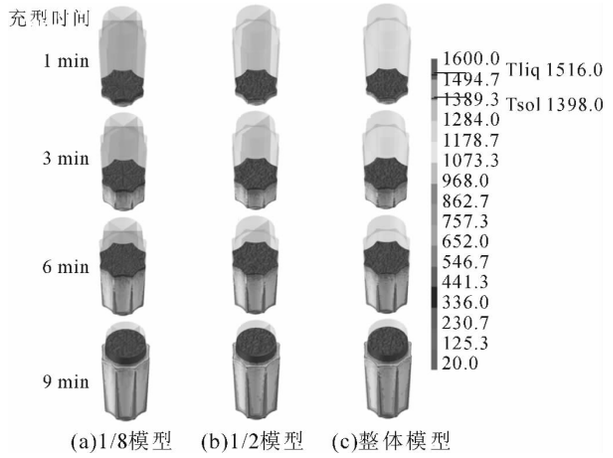


图 4 不同模型剖分方式下钢锭的温度场分布情况(凝固过程)

Fig.4 Temperature distribution at different times for different models (solidification process)

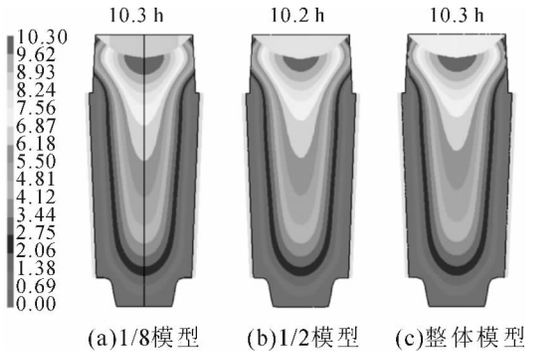


图 5 钢锭的完全凝固时间云图

Fig.5 Solidification time distribution with different models

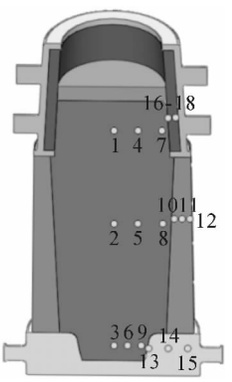


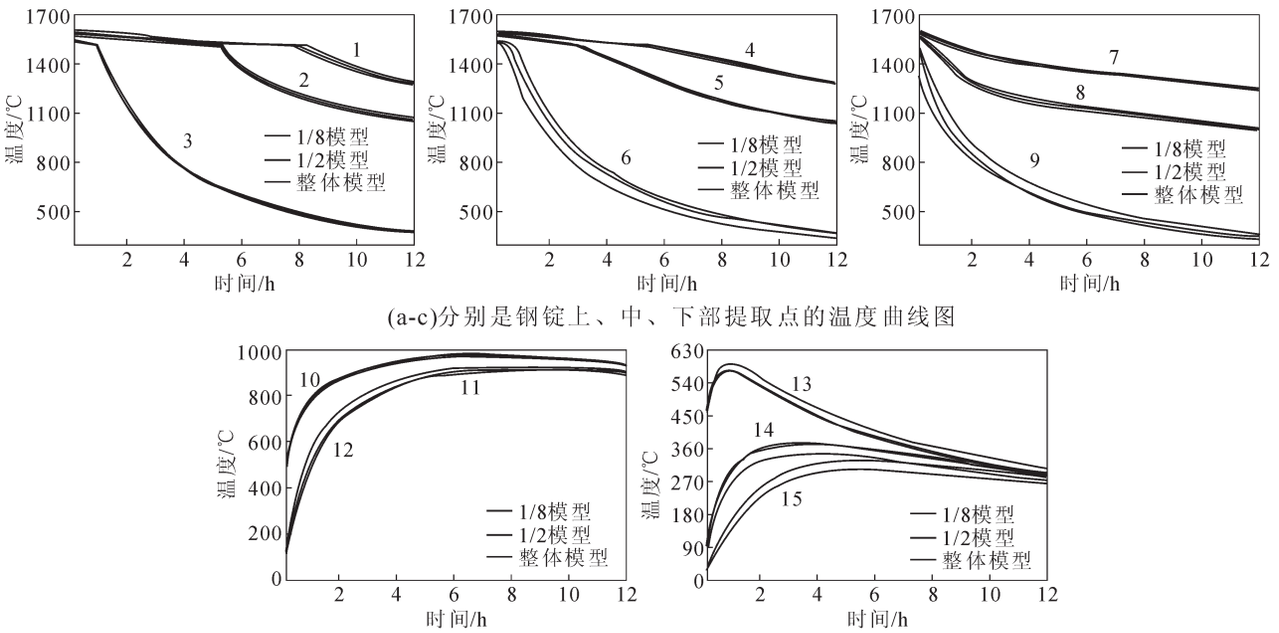
图 6 40 吨钢锭模型温度点选取位置

Fig.6 Locations of the temperature measurement point of 40 tons ingot model

用部分模型代替整体模型进行模拟计算,以减少计算时间,提高工作效率。

2.2 钢锭的缩孔缩松分布

用 NIYAMA 判据对钢锭缺陷进行了预测(见图 8),1/2 模型与整体模型的缩松区域不论形状大小都十分接近,而采用 1/8 模型计算得出的缩松相对较短,本课题考虑了充型过程,钢锭凝固会出现不完全对称凝固现象,这在一次缩孔位置有明显的体现,1/2 模型和整体模型的结果不对称,1/8 模型的结果几乎完全对称。从对缩松的预测上,不宜采用 1/8 模型。



(a-c)分别是钢锭上、中、下部提取点的温度曲线图

(d,e)分别是钢锭模中、下部提取点的温度曲线图

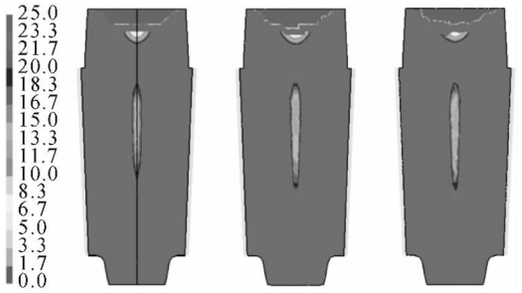
图 7 不同剖分方式下的计算温度分布图

Fig.7 Effect of model selection on temperature evolution at different locations

2.3 计算效率的比较与分析

采用 3 种不同模型的计算所用时间和最大内存使用量有较大的差异(见表 3),随着模型的减小,最大内存使用量减少,最大降幅为 77%;计算速度也

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)1/8模型 (b)1/2模型 (c)整体模型

图 8 网格尺寸对钢锭缩松预测的影响

Fig.8 Effect of mesh size on the prediction of shrinkage micro-porosity using NIYAMA criterion

表 3 不同网格尺寸下的最大内存使用量及计算所用时间

Tab.3 Peak memory usage and computation time by different mesh sizes

模型剖分方式	最大内存使用量 (bytes)	计算所用时间 /h
1/8 模型	2.0E8	1.2
1/2 模型	4.8E8	5.4
整体模型	8.7E8	13.0

大幅增加,增幅高达 90.8%。可见,采用对称模型进行计算,不仅能够大幅降低内存使用量,降低对计算机配置的需求,还可以大幅提高计算效率。

3 结论

(1)模型的剖分方式对钢锭充型及凝固过程中的温度场分布、完全凝固时间几乎没有影响,对缩松的预测有一定的影响,就钢锭而言,选用 1/8 模型进行计算得到的缺陷预测结果有些偏差。

(2)计算使用对称模型将大大降低内存使用量,并减少模拟计算所用的时间,提高工作效率。

(3)对于大型钢锭的传热模拟计算,建议使用对称模型进行计算,但不推荐使用 1/8 模型。

(4)需要指出的是,本结论只适合大型钢锭传热凝固计算,如果进行流动,应力和微观组织的计算,需要做进一步的研究。

参考文献:

[1] 马需文,张振山,敖广武. 水冷扁锭凝固过程的模拟研究[J]. 铸造技术,2018, 39(4): 858-860.

[2] 赵亚楠,卜恒勇,郭建政,等. 锥度及高径比对大型钢锭质量的影响[J]. 大型铸锻件,2017, 9 (5):27-31.

[3] 牛立群,袁旗,王旭明,等. 锭模斜度及浇注工艺对钢锭质量影响的数值模拟研究[J]. 大型铸锻件,2017,9(5):3-6.

[4] 崔雅茹,马占彪,赵俊学,等. 冒口参数对 17CrNiMo6 钢锭质量及利用率的影响[J]. 铸造,2017,66(7):719-722.

[5] 于海龙,沈明钢,张春宇,等. 不同高宽比下大钢锭凝固过程的数值模拟与优化[J]. 铸造技术,2015, 36(3): 729-731.

[6] 俞基浩,赵静,张浚哲,等. 大型铸锭凝固过程热模拟方法[J]. 铸造,2015,64(8):754-757.

[7] 赵亚楠,卜恒勇,郭建政. 浇注温度对大型钢锭凝固过程的影响[J]. 铸造技术,2014, 35(10):2360-2363.

[8] 赵亚楠,郭建政,李绍敏,等. 大型钢锭凝固模拟计算中空间与时间步长选取[J]. 铸造,2013, 62(9):861-864.

技术资料邮购

《铸造涂料及应用》

《铸造涂料及应用》在内容上反映了铸造涂料的最新成果，在叙述上由浅入深，注重实用，是从事铸造生产、管理、铸造原辅材料生产及销售相关人员的专业用书之一，也可作为高等院校铸造专业或材料成形与控制专业铸造研究方向的本科生、研究生的教学研究用参考书。本书共10章，第1章为绪论；第2章和第3章分别介绍了铸造涂料用耐火粉料、载液、悬浮剂、粘结剂和助剂等原材料；第4章阐述了涂料的粘度及流变性能；第5章介绍了涂料的配制，第6～8章分别重点介绍了砂型(芯)涂料、重力及非重力金属型铸造涂料和其他铸型(芯)涂料；第9章介绍了涂料的缺陷及防止措施；第10章介绍了涂料的性能与检测。

特快专递邮购价：69元。

邮购咨询：李巧凤 电话/传真：029-83222071

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

某型号涡旋压缩机机架拓扑优化与轻量化设计*

逯彦红[1]，纪小坤[2]，刘丹丹[2]，段晨钧[2]，林江波[2]，马海云[2]
（1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；
2. 天津市制冷空调压缩机技术企业重点实验室，天津 301799）

摘要：为了降低压缩机原料成本，采用 Inspire 软件对某型号涡旋压缩机机架进行拓扑优化设计，并将原模型和优化模型对比，质量减轻约 1 kg。优化后机架抱紧力与原模型基本一致，止推面间隙差异约为 1.9 μm，轴承最大变形量为 4.9 μm，不会影响装配和运转；止推面接触压强分布与优化前没有明显差异。

关键词：压缩机；机架；拓扑优化；轻量化；装配工艺；力学性能
中图分类号：TH122 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-2354(2022)04-0110-05
DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2022.04.008

Topology optimization and lightweight design of scroll compressor housing

LU Yan-hong[1], JI Xiao-kun[2], LIU Dan-dan[2], DUAN Chen-jun[2], LIN Jiang-bo[2], MA Hai-yun[2]
(1. School of Electric-Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410;
2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Refrigeration and Air Conditioning Compressor Technology, Tianjin 301799)

Abstract: In order to reduce the cost of raw materials used for compressors, the Inspire software is adopted for topology optimization of the scroll compressor housing, and the original model is compared with the optimized model. As a result, the weight has reduced about 1 kg. The optimized housing's holding force is basically the same as that of the original model, the difference of the thrust surface clearance is about 1.9 μm, and the maximum change of bearing deformation is 4.9 μm, which does not affect assembly and operation. The contact pressure distribution of the thrust surface is not significantly different from that before optimization.

Key words: compressor; housing; topology optimization; lightweight; assembly process; mechanical property

根据技术发展的 S 曲线，当产品到达成熟期以后，企业产品研发和设计的目标就转为在保证产品可靠性的前提下降低成本。压缩机是制冷系统的心脏，被广泛应用到建筑制冷、交通运输、食品冷藏等多个方面。将涡旋压缩机的部件进行轻量化设计，并保证与原有其他零部件的装配工艺和负载要求，是压缩机生产企业研发设计的目标之一[1]。

某型号涡旋压缩机年产量超过 10 万台，如果对压缩机机架进行优化设计，铸铁年节约可达 100 多吨，成本节约近百万元。产品的市场竞争力和占有率将大幅提升。

* 收稿日期：2021-09-06；修订日期：2021-10-13
基金项目：天津市科技计划项目（企业科技特派员项目）（20YDTPJC01750）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　三维模型建立

机架是涡旋压缩机中重要的零部件,其主要功能包括:固定静旋,承受压机运行时静旋上产生的轴向径向和切向气体力;支撑动旋,承受压机运转时动旋上的轴向气体力,同时为动旋转动提供滑动轴承的作用;固定曲轴,为曲轴提供径向定位,起到滚动轴承的作用;内部腔体形成油杯,为动旋曲轴等旋转部件的运转供油;连接中壳,为其他部件提供与壳体的轴向和径向定位。涡旋压缩机机架 3D 模型如图 1 所示。

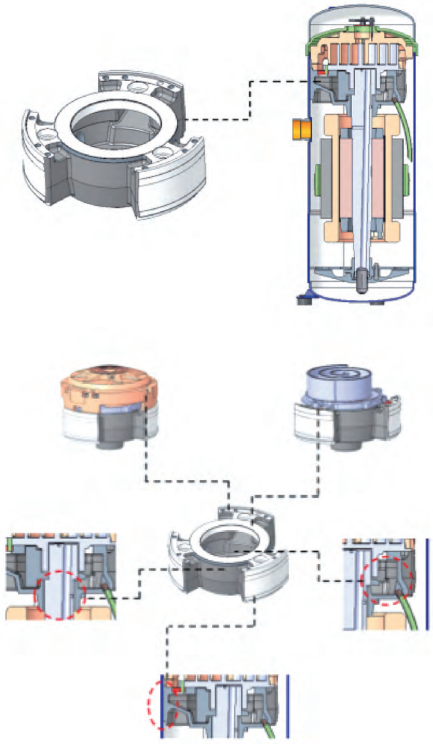


图 1　涡旋压缩机机架 3D 模型

2　定义载荷、约束及材料

根据机架在涡旋压缩机内的功能和连接方式,以及零部件可靠性需求和滑动轴承支撑面功能需求,定义计算及优化所用的载荷、约束、输出(优化目标)[2]。将机架整体最大应力和滑动轴承支撑的轴向最大变形定义为优化的输出或优化的目标。此两项输出在优化前后应保持同一水平,即偏差不超过 5%。

机架材料选定为铸铁(GJL-250/EN1561),材料具体参数如表 1 所示。

表 1　压缩机机架材料属性表

弹性模量/MPa	屈服强度/MPa	泊松比	密度/(kg/m^3)
103 000	165	0.26	7 200

3　原模型计算结果

将优化前原始模型导入 Inspire,进行静力学计算,得到初始的输出值。计算结果为机架整体最大应力为 50.74 MPa,滑动轴承面最大轴向位移为 0.016 04 mm,如图 2 所示。

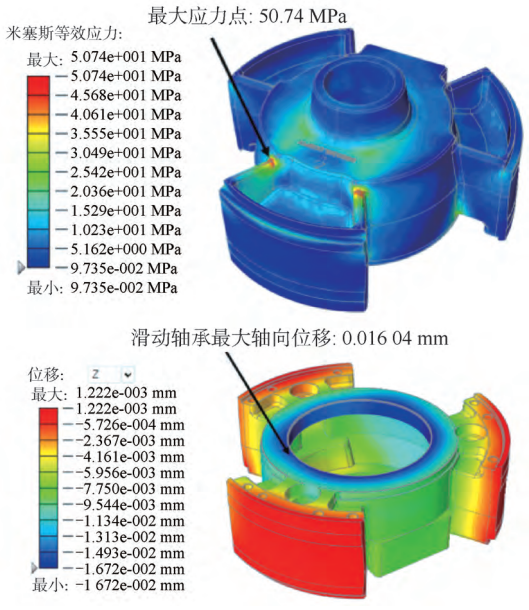


图 2　优化前机架整体最大应力和滑动轴承面最大轴向位移云图

4　优化模型建立

基于原始模型,用 3D 建模软件 Cero 创建优化用模型,区分设计空间和非设计空间。分析原始模型的性能及装配需求,定义零件的功能特征和非功能特征[3]。图 3 所示机架拓扑优化图中红色部分为零件功能特征,此类特征在创建优化用模型时将被定义为非设计空间。优化过程中非设计空间可以用于添加载荷约束,但不能进行材料移除,以保证了零件的功能及装配需求。其他部分为非功能特征,此类特征在创建优化用模型时将被定义为设计空间。设计空间不能添加载荷约束,优化过程中可以进行材料移除[4-5]。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

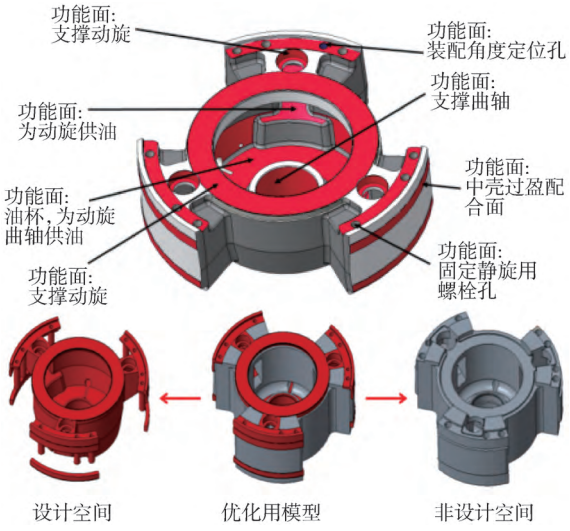


图 3 机架拓扑优化图

5 基于 Inspire 的拓扑优化方案

将创建好的优化模型转化为. step 格式,导入 Inspire。应用 Inspire 自带的接触检查功能,自动在设计空间和非设计空间的交界面上创建绑定接触,将二者绑定为一个零件,防止优化计算过程中二者发生分离。

基于 Inspire 优化模块,给工作空间添加形状控制——单向拔模和周期对称。添加单项拔模的目的是保证优化后的结构便于铸造工艺生产。添加周期对称的目的是保证优化后的结构 120°周期性分布,满足压缩机整体结构要求。同时保证材料分布均匀对称,便于生产制造[6]。

因优化目标输出中有关于位移的要求,即滑动轴承面的轴向位移最大,故优化方式定为“最大化刚度”。原始模型质量为 10.4 kg,目标质量设定为 9.4 kg,目标为质量减轻 1 kg。为满足铸造供应商的加工制造能力,优化后模型的最小壁厚设定为 6 mm。

6 拓扑优化结果分析

输出 Inspire 优化后的计算结果,对比优化前后的计算结果,判定是否达到优化目标。优化后的计算结果如图 4 所示。优化后机架整体最大应力由原来的 50.74 MPa 变为 50.59 MPa,偏差为 2.95‰;支撑动旋的滑动轴承面最大轴向位移由 0.016 04 mm 变为 0.016 73 mm,偏差为 4.3%。偏差均不超过 5%。机架质量由原来的 10.4 kg 减轻到 9.38 kg,减轻 1.02 kg。初步判定达到优化目标。

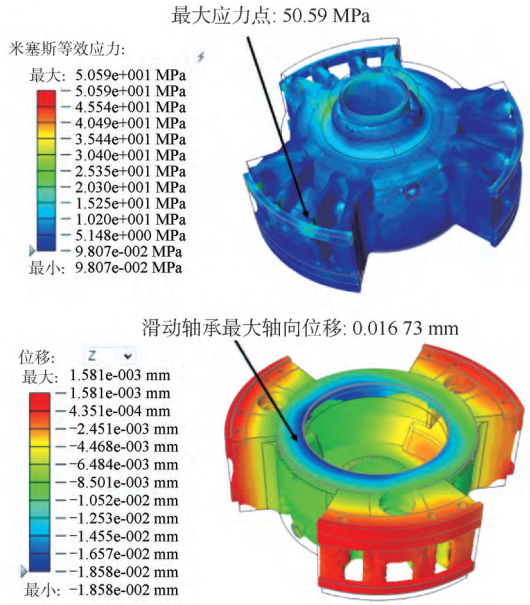


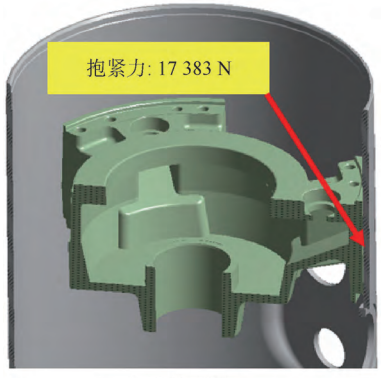
图 4 优化后机架整体最大应力和滑动轴承面最大轴向位移云图

7 优化模型可靠性研究

在 Inspire 中将中间状态模型转换为片体模型,将片体模型转化为. step 格式,输入到三维建模软件 Creo 中重新建模。

7.1 抱紧力对比分析

因机架质量减轻,可能导致机架与中壳之间过盈配合部分的抱紧力下降。故需要校核优化前后抱紧力的变化。用 ANSYS 模拟机架与中壳的过盈配合,输出优化前后抱紧力的对比。经过对比,优化前后抱紧力基本一致,不会对装配产生影响,如图 5 所示。



(a) 原始模型

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(b) 优化后模型

图 5　抱紧力对比

7.2　间隙值对比分析

通过软件分析机架不同位置的 Contact gap 值,确保新模型与其他相关零部件的装配。

机架上部的止推面是支撑动涡旋运动的支撑面,它与动涡旋底部的间隙分布影响配合面的耐磨性能。保持一定的间隙分布有利于形成油膜,防止磨损。机架止推面优化后的间隙分布与优化前近似,间隙差异约为 1.9 μm,差异在 5 μm 以内,不会影响耐磨性能,如图 6 所示。

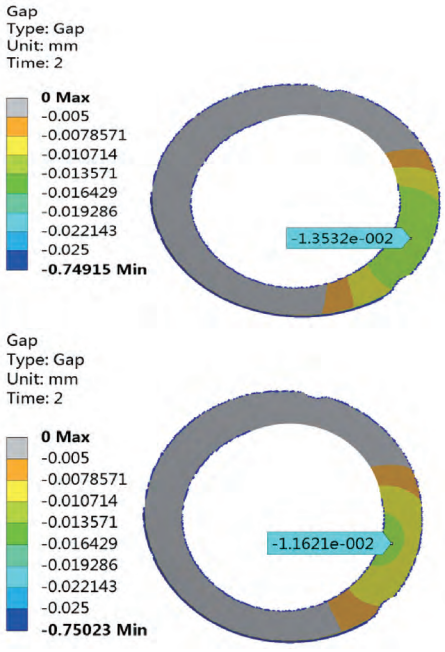


图 6　间隙值对比

机架主轴承径向变形量会影响与主轴的配合间隙,通过仿真对比,优化前最大间隙为 13.5 μm,优化后最大间隙为 11.6 μm。优化后径向变形量与优化前差异约为 4.9 μm,差异在 5 μm 以内,不会影响轴的装配和运转。

7.3　主轴承最大变形对比分析

优化前主轴承最大变形为 50.6 μm,优化后主轴承最大变形为 55.5 μm,变化量为 4.9 μm,差异在 5 μm 以内,不会影响轴的装配和运转,如图 7 所示。

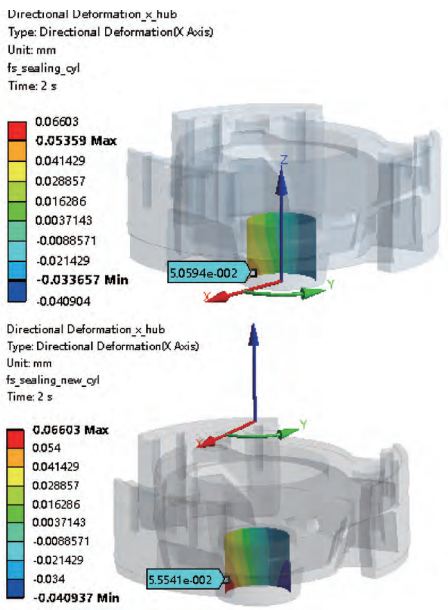


图 7　主轴承最大变形对比

7.4　力学性能分析

通过软件分析径向、轴向接触力,确保优化后结构的负载能力。优化前后机架整体应力水平保持一致。动涡旋的负载主要有机架止推面承担,优化后止推面接触压力分布与优化前基本一致,没有明显差异,如图 8 所示。

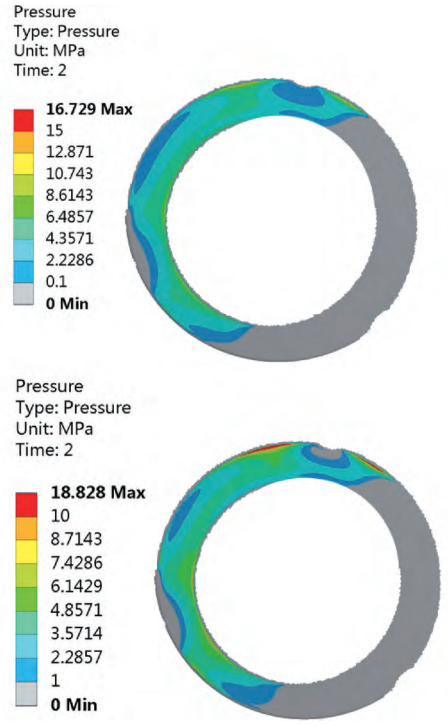


图 8　止推面接触压力分布对比

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

8 结论

(1)优化后机架整体最大应力由原来的 50.74 MPa 变为 50.59 MPa,偏差为 2.95‰;支撑动旋的滑动轴承面最大轴向位移由 0.016 04 mm 变为 0.016 73 mm,偏差 4.3%。偏差均不超过 5%。机架质量由原来的 10.4 kg 减轻到 9.38 kg,减轻 1.02 kg。初步判定达到优化目标。

(2)对机架拓扑优化后,抱紧力只增大 3%,不会对装配产生影响;机架止推面间隙差异约为 1.9 μm,小于 5 μm,不会影响耐磨性能;主轴承最大变形变化量为 4.9 μm,小于 5 μm,不会影响轴的装配和运转。动涡旋的负载主要由机架止推面承担,优化后止推面接触压力分布与优化前基本一致,没有明显差异。

(3)经济效益社会效益显著。某型号涡旋压缩机现年产量 10 万台以上,经过对机架进行结构拓扑优化,每台质量减轻约 1 kg。按照 7 元/kg 的铸铁市场价格,每个机架约节省 9 元,年节约近百万元。

参考文献

[1] 刘丹丹,林江波. 涡旋压缩机静涡旋盘基于稳健性的优化设计和可靠性分析[J]. 制冷与空调,2021,21(11):74-79.

[2] 林如松,张祥宇,孟岳,等. 基于 HyperWorks & Solidthinking Inspire 的客车加热器支架结构优化及轻量化设计[J]. 机械设计,2019,36(11):110-113.

[3] 张胜兰,郑冬黎,郝琪,等. 基于 HyperWorks 的结构优化设计技术[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[4] 王晓东,韩立新,马麟,等. 涡旋压缩机抗液击分析及结构优化研究[J]. 制冷与空调,2021,21(9):32-35.

[5] 魏春梅,杨畅,严学涛. 重载汽车传动轴的拓扑优化与轻量化设计[J]. 机械设计与制造,2020(11):289-296.

[6] 曾超,沈琳清,王景新. 基于 Inspire 的拖拉机油底壳结构优化设计[J]. 拖拉机与农用运输车, 2021,48(4):58-60,64.

作者简介:逯彦红(1980—),女,副教授,博士,研究方向:节能技术与数字化设计。E-mail:luyanhong80@126.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

慕课模式下的思想政治教育空间

陈吉旭

（天津职业大学，天津　300410）

摘要：空间从物理维度抽象为关系维度，天然地具有政治性，与思想政治教育的本质相切合。思想政治教育的空间逻辑体现为主体上的交互性、机制上的系统性、效果上的生成性。慕课模式为思想政治教育空间提供了新的条件，也带来新的思考，慕课模式下的思想政治教育空间也必须面对虚拟空间所次生的碎片空间和实体空间所伴生的拟态空间。在慕课教学实践中，必须注重连贯性链条设计、系统性机制设计、多线程交互设计等教学思维，教学效果上也要也要侧重情感共鸣、价值生成、政治认同等教学素养的落地。

关键词：慕课；思想政治教育；空间；思想政治教育空间

中图分类号：G641　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2096-4110（2020）09（C）-0040-03

The Space Of Ideological and Political Education in MOOC Mode

CHEN JiXu

(Tianjin Vocational Institute，Tianjin，300410，China)

Abstract: Ideological and political education has a spatial dimension，in which it has special properties:interactivity on the subject，system in mechanism and generative in effect.The MOOC mode provides new conditions and brings new thinking，The space of Ideological and Political Education under MOOC mode must also face two new situations:fragment space and mimic space.In the practice of MOOC teaching，We must pay attention to the teaching logic such as the design of coherent chain，systematic mechanism and multi-threaded interaction.And at the same time，in terms of teaching effect，we should also focus on emotional resonance，value generation，political identity and other teaching qualities.

Key words: MOOC;Ideological And Political Education;Space;The Space Of Ideological And Political Education

1 思想政治教育的空间维度

1.1 思想政治教育的空间维度

空间从一个物理维度已经演化为一个关系维度。马克思说“空间是一切生产和一切人类活动所需要的要素。”[1]875早先，空间作为一个承载物理活动的场所，人类在其中认识和把握世界，进行着实践与创造的活动。近代以来，人们对空间的理解逐渐脱离物理场景，康德将空间理解为一种认知的形式，是思想的场所和主体交往的媒介。海德格尔更进一步，将其解释为思维方式得以活动的关系网络，布迪厄则提出了“场域”的概念，这样一来，空间就成了思想活动起作用的能量场和区域。社会科学意义上的空间不同于自然科学领域的内涵，其独特的秩序和规律表现为倾向于精神层面的实践。“精神的与社会的都存在于实践中：存在于想象的和真实的空间中。”[2]15空间这一范畴从客观的物理的活动场所的意义，逐步转向了抽象的交往领域中的关系层面的内涵。

空间天然地具有政治性，与思想政治教育的目标与本质相切合。布迪厄“场域”意义上的空间里，各种精神元素流动、聚散、转变的过程也就是社会实践经由精神领域得以运作的过程，也是社会关系对个体的精神主体的材料再生产的过程，更是一个政治、意识形态得以渗透与搭载的过程。具体说来，空间不但呈现着意识形态的运作，也容纳着意识形态的再生产。“在这里，空间本身就是一种具备政治属性的存在形态。在这里，空间与思想政治教育思想在意义和结构上存在着相互契合的天然联系（区别于先验关联），续接了思想政治教育思想内部结构研究的空间取向。”[3]19思想政治教育的本质在于思想政治价值观的教育，承载意识形态运作的空间维度天然地切合思想政治教育的目标与本质。因此，思想政治教育视野下

基金项目：本文系2016年度教育部高校示范马克思主义学院和优秀教学科研团队建设项目（项目编号：16JDSZK042）、天津职业大学科学研究基金项目“信息茧房”现象对思想政治教育的潜在威胁及其纠治（项目编号：20182106）之阶段性成果。

作者简介：陈吉旭（1988—），男，天津职业大学马克思主义学院，助教，硕士，研究方向：思想政治教育、中国哲学

中国知网　https://www.cnki.net

的空间维度必须得到应有的重视。

1.2 思想政治教育的空间逻辑

首先，主体上的交互性。在思想政治教育空间中，参与主体都从现实空间中的被动客体转变为关系层面的交互主体，参与个体从被动主体实现角色觉醒。历史因素中常常见到的是，思想政治教育教学多出现单方面的灌输模式，知识与情感多为单向流动，以致于思想政治价值观念的教育效率低下。强调交互主体性的思想政治教育的空间逻辑，不但要唤醒空间参与者从客体觉醒为主体，从单纯的被动参与觉醒为积极主动的真正主体，更要实现参与主体之间的交互，摆脱孤独的主体性原则所暗含的要求他人向我统一、归附的秩序，形成一种主体间性原则指导下的共生关系以达成知识、情感与价值的落实。

其次，机制上的系统性。思想政治教育的空间是涵盖众多范畴，并经由良好的运作机制来发挥各方面元素的最大合力的整合体。思想政治教育空间所应有的系统属性与平台属性表现为，各个元素按照结构化的运作环节和因素，在和谐动态的秩序中发挥各自功能，以达成有机整体的目标。换言之，思想政治教育空间应形成一个微型的教育教学生态样本，遵照作为系统和平台的教学逻辑与交往秩序，有序展开，顺畅流动，以促成教学目标与效果的落地，促成情感价值在空间中的迁移流动，促成教学场域的良性协调与动态、和谐地可持续运作。

最后，效果上的生成性。思想政治教育效果的动态实现，寄托于知识与理论的能力迁移以及情感共鸣与价值生成。知识形态与理论深度的教学成果不但深化学生的认知能力，更能塑造价值观，尤其是思想政治价值观，另一方面，情感价值形态的习得经历与教育实践，是检验思想政治教育教学效果一把尺子，与知识与理论的教学目标，共同促成思想政治教育温度与获得感的落实。思想政治教育的空间维度应具备情感习得与价值升华，更需要锻炼一种自我升华、自我完善的迁移能力。效果上的生成性，不但应包括知识与理论的获得构成是一种自然而然、顺畅实现的教学过程，同时也包括情感价值的自然而然地升华，更应包括的是参与主体的自我教育，以实现自我完善的超拔和自我提升能力的进阶。

2 慕课模式下的思想政治教育空间

2.1 慕课模式下的思想政治教育空间

慕课，也即“大规模在线开放课程”，在新冠疫情期间，为思想政治教育空间带来新的思考。首先，作为开放式学习形式的慕课并不要求固定场所，在物理空间的意义上开拓了时空的界限，使师生得以“忽略身体在场”而参与教学活动。其次，慕课也将散布的虚拟空间塑造为一种拓扑性的关联，这既是一种多线程的空间，也是空间的网状嵌套，一改常规的师生共享同一个教室的情况，教学空间面临新的空间形式。再次，慕课可以重复观看的特性、切换与聚散的特性、教学模式变革的特性，都将空间工具化、重复化、便携化，这是一种空间的复制、反复利用和随时敞开。最后，慕课的交互性特点，使慕课在一定程度上产生空间的重叠与融合，也留下了创造性延伸与自我变革和教学方法重塑的可能，赋予教学空间与秩序、模式更多的可能性和自由。

慕课模式下的思想政治教育空间面临着特有的问题。第一，虚假在场与实际缺场问题。目前看来，慕课模式的教学内容大同小异，特色不明显，未能形成新颖与个性化的教学内容，而这样一种趋势使慕课模式的可塑性逐渐固化，丧失了应有的创新精神。此外，宏观话语与“独唱式”的交往也影响着学生的参与热情，造成了参与者身体在场、精神缺场，以及虚拟在场、实际缺场的情况，这两种情况在慕课模式下的思想政治教育空间中尤其严重，使慕课空间不可避免地成了“空空如也的房间”。第二，空间分裂与教学融合问题。慕课模式有别于翻转课堂，慕课模式并非单纯地要求参与者观看视频，也并不是将观看教学视频和其他任务分成两个阶段来进行，甚至更多元的慕课模式，要求师生要多线程地切换空间，往返于教学视频、教学管理、任务管理等不同虚拟空间之间。这考验着课程的时空分配，以及师生的协调能力，尤其，情感价值这一教学目标和教学效果确实遇到了现实的困难，更常见的情况是，学生在切换过程中“掉队”，在某个意外中“陷落”，滞留在某个断裂的空间里往而不返，成为“失踪人口”。

2.2 慕课模式下思想政治教育空间的新面向

其一，虚拟空间所次生的碎片空间。慕课模式要想方式多元，就必须依托多种信息化手段，也就难以避免慕课空间所次生的碎片空间。一方面，碎片空间在延伸与丰富主体空间的同时，也容易导致整个教学流程的卡顿、分歧与断裂。若各个教学环节空间不能无缝衔接、有效转换、梯次升华，则慕课模式下的思想政治教育空间必然有所疏漏，教学目标不能达成，学生必然往而不返，茫然无归。另一方面，碎片空间容易造成学生的“失踪”。出于不同教学环节、教学意图、教学手段的需求，多元的慕课模式会设计在多个平台进行任务分配的模式，学生如果只是作为教学环节中进行弱互动的受众，或主导强互动的建构者，往往在空间切换的过程中因分心或操作失误等意外原因而掉队，长此以往，必然会出现“人口流失”。

其二，实体空间所伴生的拟态空间。实体空间持续地提供话题与素材，但这一过程也伴随着“后真相时代”的话语重构，其伴生了“拟态空间”。慕课模式本身是信息化教学的一种，而“后真相时代”则对一些事件不断描述与再描述，出于多种因素的复合作用之下，事实与真相极其容易被涂抹而失真，这个过程也就是拟态空间的运作过程。尤其在信息化时代，慕课模式更应正确面对这一状况，从过程看，拟态空间中新的证据链被补充，事件被不断重构，变换与逆转随时会出现。从结果看，相对静态的事件描述可能是对抗、矛盾的，有些声音被不断重复而成为“真相”，在这个“回音壁效应”的拟态空间中，人们很有可能要面临理性失范，思想政治教育空间应有效应对这一状况。

总之，无论是虚拟空间所次生的碎片空间，还是

中国知网 https://www.cnki.net

实体空间所伴生的拟态空间，都对慕课模式下的思想政治教育空间提出了挑战，呼唤着慕课模式下的思想政治教育空间真正发挥战斗力与解释力，以实现思想政治教育理论课应有的功能与效用。

3 慕课模式下思想政治教育空间的教学设计与侧重

3.1 慕课模式下思想政治教育空间的教学设计

当前，慕课所面临的反对声音主要有以下几种："一是学生缺乏身临其境的感受；二是碎片式学习缺乏系统性；三是视频学习是一种浅层学习；四是网络学习需要学习者有较高的自主性、自觉性，而学生显然不适应这种自主学习的环境。"[4]89慕课模式下的思想政治教育空间的教学设计应避免此类问题，并做出有效的对治。

第一，连贯性链条设计。慕课模式下的思想政治教育空间应严密教学环节、闭合教学平台，要使教学展开如链条般勾连。就教学空间的配合而言，应使各个空间紧密相连，互相咬合，参与主体能切换顺畅，避免滞留；就教学环节的流动而言，使教学项目次第展开，推进升华，避免教学环节卡顿、分歧、断裂以及跳跃性参与，致使学生中途掉队，茫然自失。就参与主体的默契性而言，师生两端的交往互动应以教学的升华、能力的迁移和目标的达成为归宿，而非单方在场、碎片在场、虚拟在场。

第二，系统性机制设计。从教学活动的组织来看，"面向群体的学习组织强调学习的渐进过程，根据认知规律设计教学环节，强调协同学习、情境学习、互动学习与同伴教育，有组织的群体学习模式注重学习过程的反馈与有效互动，要求对教学过程进行科学组织与控制。"[5]82针对这一情况，慕课模式下的思想政治教育空间的设计应使其运作系统化、机制化。就系统化而言，各个空间配合联动，避免不分主次，各自为战，互相隔截，力求一种结构化、功能化的运作来发挥作用；就机制化而言，参与主体的学习活动与任务达成都应有运行规则、评价标准与激励方式，以及开放延伸的策略，力避杂乱无章，浅尝辄止，狂轰滥炸。就层次化而言，教学任务与目标达成应合理拆解，梯次布置，并逐层下沉，循序渐进，力戒缺乏节奏，没有章法。

第三，多线程交互设计。与实体教学的线性铺开不同，慕课模式下的思想政治教育空间应树立一种多线程思维的教学实践思维。就教学过程而言，多个线程、平台的任务发布、运维与管理，与参与主体的学习表现、教学环节的任务进度与教学内容的表达反馈同时并行，应互相辅助，彼此支持。就教学秩序而言，常规信息化操作和参与主体在教学空间中的操作情况、突发意外、数据收集，以及师生际的空间交互、朋辈际的空间交往、融合与升华多轨并进，应有所预设，准备预案。

3.2 慕课模式下思想政治教育空间的教学侧重

第一，侧重情感共鸣。慕课模式极易忽略、压制情感因素，要打造有情怀、有温度的思想政治教育"金课"，增强情感共鸣是题中应有之义。首先，情感的唤起。慕课模式借信息化、工具化的便利之外，要避免"冰冷"的情感体验，应侧重唤起学生作为温情的主体参与空间构建。其次，情感的共鸣。良序的教育空间中应运用非互惠的交互主体性交往原则，处于创造性的共生关系中才能确保情感从共存到共鸣。最后，情感的迁移。思想政治教育的情感习得需要在慕课模式中实现迁移，迁移到个人前途和人生实践中，使奋斗信心和家国情怀能够落地。

第二，侧重价值生成。就教学目标来看，"思政课教育不能仅仅停留在知识传授的层面，而更应该着力于能力培养和价值塑造。"[6]98因此，知识的获得与价值的生成都是思想政治教育的鹄的所在。首先，价值的交锋。慕课模式中弱交互的受众模式与强交互的建构模式都应当侧重价值的挖掘、碰撞、交锋，使不可见的思想运动轨迹得以可视化。其次，价值的剃抉。参与主体的任何操作都是构建的过程，总是伴随着"无声的辩论"，教师需要随时随在地答疑、辨正、抉发，实现思想政治教育空间的教育性。最后，价值的生成。难以具体把握和量化的价值观念在慕课模式的环节中发声、辩证，最终导向共识的达成，不可见的思想呈现为动态可见的过程，这既是思想政治教育本身的需求，也是该空间所应当完成的使命。

第三，侧重政治认同。政治价值观的塑造和思想政治话语的再生产，应当透过道德教育、政治教育、意识形态教育来达成。首先，政治观念的认同。以系统的、科学的、逻辑的理论搭载在生活的、具体的、普遍的议题之上，挖掘认同，衍生共识，必然能凝聚政治认同。其次，公共生活的参与。政治认同应在公共生活中得到印证，应将慕课模式提供的社会议题和"微型景观"进一步迁移到切身的社会参与中才能得到夯实。最后，理性精神的实践。知识与理论、信念与认同均指向一种科学的理性精神，不但需要印证、强化、迁移，也必须服务于自我发展与社会生活空间的实践活动。

参考文献

[1] 马克思，恩格斯.马克思恩格斯文集第7卷[M].北京人民出版社，2009.
[2] 亨利•列斐伏尔.李春译.空间与政治[M].上海人民出版社，2015.
[3] 张建晓，孙其昂.思想政治教育思想空间结构探析[J].思想教育研究，2017(06).
[4] 蔡宝来，张诗雅，杨伊.慕课与翻转课堂：概念、基本特征及设计策略[J].教育研究，2015(11).
[5] 王应解，冯策.我国高校慕课教育中的问题分析与对策[J].中国电化教育，2015(06).
[6] 刘震，张祎嵩.慕课在高校思想政治理论课教学中应用的现状、问题及发展[J].思想教育研究，2018(11).

中国知网 https://www.cnki.net

盘式曝气系统充氧性能分析

张海伟[1] 胡维超[2] 吴 娜[1]

（1. 天津职业大学，天津 300410；2. 天津同瑜环保节能科技有限公司，天津 300350）

摘要：研究各工艺参数和系统运行参数对曝气系统充氧能力的影响，使用转盘曝气器应用于小规模氧化沟系统，分析氧气转移机理，研究孔径、每个圆盘的孔数、圆盘厚度、圆盘速度、浸入深度和圆盘数量对系统充氧能力的影响。采用亚硫酸盐氧化的非稳态方法对水进行脱氧，测量消耗的功率，测定氧传递系数并计算充氧能力和充氧效率，以满足不同曝气处理系统中的工艺需求。

关键词：曝气器；充氧；气泡；性能分析

污水处理曝气装置的主要功能是向液体介质提供足够量的氧气以维持有氧条件，循环液体以保持固体悬浮并避免沉降，分配含氧液体，保持微生物细胞、营养物质和溶解氧之间的良好接触，以确保有机物的有效生物降解。从污水处理厂的角度分析，曝气该过程应以每千克处理污水的最低成本完成。盘形曝气装置已广泛应用于废水处理，由一个闭环、开放的通道组成，通过机械装置维持液体循环和氧气输入。单个圆盘的充氧能力有限，多盘式的氧合能力更强。从能耗的角度分析，单盘式曝气机的充氧能力比多盘式曝气机的充氧能力更有效。这可以通过更好地理解圆盘曝气器的氧气传递机制并研究各种圆盘设计参数和系统操作参数对圆盘充氧能力的影响来实现。

本研究的主要目的：研究各种圆盘设计参数（孔径、圆盘厚度和每个圆盘的孔数）和系统操作参数（转速、浸入深度和圆盘数量）对充氧能力的影响，分析系统的充氧能力，解析氧化沟中氧传递的物理现象。

一、基本情况

（一）实验装置

氧化沟是一种改进的生物活性污泥工艺，利用长固体停留时间（SRT）来去除可生物降解的有机物。氧化沟是典型的完整混合系统，但可以进行修改以近似堵塞流出物条件。典型的氧化沟处理系统由环形或椭圆形盆地内的单通道或多通道配置组成。因此，氧化沟也被称为“跑道”反应器。与其他生物过程相比，由于恒定的水位和连续排放，可以将堰降低到排放速率以上，并消除其他生物过程常见的周期性水涌，因此增加了可靠性和性能的衡量标准。较长的水力停留时间和完全混合可最大限度地减少冲击载荷或水力波动的影响。与其他生物处理过程相比，由于活性污泥过程中生物活性延长，因此产生的污泥较少。与其他生物处理系统相比，节能运行可降低能源成本。与活性污泥法的其他改进相比，废水中的悬浮固体浓度相对较高。与其他活性污泥处理相比，这种类型的处理需要更大的面积。事实证明，这样做成本高昂，限制了氧化沟在城市、郊区或其他征地成本相对较高的地区的可行性。实验装置主要由立方水箱（0.8m×0.8m×0.8m）、离心泵（4kW）、流量调节阀、空心射流装置、孔板计、温度计和刻度。水箱由渐变透明玻璃纤维制成，水通过 4kW 离心泵再循环到水箱中。整个实验过程中水深保持恒定在 500mm。在整个实验过程中，空气中的切入射流的射流长度保持恒定在 200mm 的水平。使用流量调节阀改变再循环管中的水流量，并借助孔板流量计进行测量。实验过程中使用数字温度计测量水温。固体射流装置安装在位于水箱上方中央的再循环管的出口端。每次测量均进行 3 次测试，取 3 次结果的平均值作为最终考虑。固体射流装置主要由铸铁圆筒和圆形有机玻璃曝气盘组成，厚 0.5mm，直径 60mm。圆盘由计算机激光切割机铸造并切割成所需的形状。在当前的研究中测试了三种数量的圆盘，这些圆盘具有 40、80、100 个开口，这些圆盘具有与每组相对应的带有圆形端部的矩形孔。具有螺纹的圆盘支架安装在下部气缸的端部，并且气缸依次安装到管道的出口端。通过在曝气盘周围放置橡胶密封件，使整个组件气密。

（二）数学建模

研究发现，氧气进入水池取决于多种因素，如通过管道的排放量、曝气装置的开孔数量和开孔总面积。研究分析表明，在输入和输出之间存在非线性关系传送。非线性回归是回归分析的一种形式，其中观测数据通过函数建模，该

作者简介：张海伟，男，天津人，硕士研究生，副教授；研究方向：环保设备。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

函数是模型参数的非线性组合，并且取决于一个或多个自变量。数据通过逐次逼近的方法进行拟合。在本研究中，使用MATLAB建模工具应用多元非线性回归模型来预测充氧系数K_La与射流参数：开孔数n、排放量Q、射流之间的经验关系。

$$K_{la}=4.45\times10^{-7}Q^{1.33}n^{-0.45}A_s^{1.68} \quad (1)$$

式中，n为曝气器开孔数，Q为出口端流量（l/s），As为单位长度射流表面积（mm^2）。

氧传递效率（OTE）：

$$OTE=0.0024Q^{-1.29}n^{-01.47}A_s^{1.99} \quad (2)$$

二、实验研究

（一）实验过程

两种沉降模型都能有效地捕捉沉降速度与污泥浓度之间的关系。然而，目前尚不清楚使用不同的沉降模型如何影响曝气池的内部流动状态。因此，有必要通过比较有和没有这些模型的模拟结果来研究各种沉降模型下的内部流动状态。数值模拟初期，曝气池内的流动处于过渡状态，不稳定。为了保证比较的客观性，仅考虑稳定流动状态。通过多次实验确定氧化沟在不同条件下的充氧系数K_La。在每次实验过程中，沟渠内容物都经过曝气、脱氧，然后再曝气。使用亚硫酸盐氧化非稳态方法。该测试涉及通过氧化亚硫酸钠添加钴作为催化剂来化学去除水中的溶解氧。其化学反应如下：

$$Na_2SO_3+0.5O_2\xrightarrow{C_0Cl_2}Na_2SO_4 \quad (3)$$

理论上，每mg/L溶解氧DO需要7.9mg/L亚硫酸钠。然而，由于在试验开始前需要将亚硫酸钠混合到整个曝气池中，因此在混合期间会发生一些亚硫酸盐的氧化。因此，建议添加大约理论量1.5—2.0倍的亚硫酸钠，以对盆地进行脱氧。最初，用自来水彻底清洗沟渠，然后在每次运行前用去离子水冲洗几次。然后将13L去离子水添加到沟渠中，同时启动溶氧计、记录仪和曝气器，记录液体和空气的温度和气压。

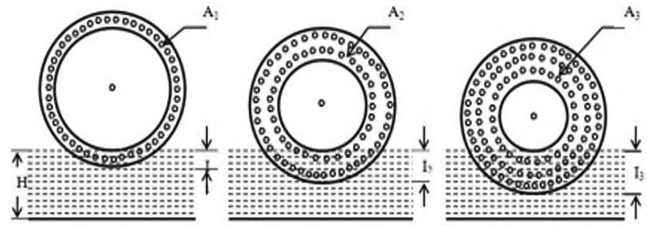
（二）浸泡深度

浸泡深度对充氧系数K_La有显著影响。增加浸入深度会增加穿孔盘和非穿孔盘的K_La。将浸入深度从3cm增加到6cm，无孔盘的K_La增加30%—91%，穿孔盘增加40%—187%，具体取决于转速。浸入深度从6cm增加到–9cm，这些值几乎增加了一倍，如表1所示。

表1　浸入深度、圆盘通过液体面积、每转的孔数和氧化层影响

浸入深度（cm）	穿过转盘液体（cm^2）（%）	每转孔数	氧化层（%）
3	200	40	25
6	380	80	45
9	600	100	70

充氧系数K_La的提高是由于多种因素造成的。首先，增加浸入深度增加了穿过液体的圆盘面积。约33%、61%和79%的转盘间面积分别穿过液体，浸入深度分别为3cm、6cm和9cm。其次，增加浸入深度会增加穿过液体的孔的数量。对于3cm、6cm和9cm的浸入深度，每转分别有40、80和100个穿过液体的孔。第三，增加浸没深度增加了孔的平均停留时间，因此也增加了气泡的停留时间。第四，增加浸入深度增加了氧化和充分混合层的程度，如图1所示。



n_1=40孔	n_1=80孔	n_3=100孔
H_1=3cm	H_2=6cm	H_3=9cm
A_1=200cm^2	A_2=380cm^2	A_3=600cm^2

图1　浸泡深度对充氧能力影响

（三）孔径的影响

孔的存在以及孔径大小对充氧系数K_La有很大影响。直径为0.3cm的小孔使K_La值比无孔圆盘增加了45%—151%，具体取决于转速。孔径从0.3cm进一步增加到2cm，使充氧系数K_La增加135%—183%。

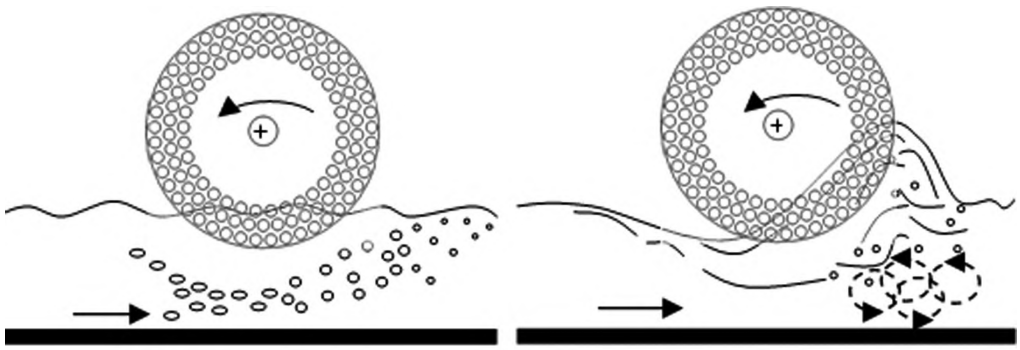
（四）孔数的影响

在实验中，转盘厚度和每个盘的孔数这两个因素被混淆，即这两个因素没有交叉分类，每个因素的所有级别并未与另一个因素的每个级别同时出现，因为每个圆盘的穿孔体积相同。因此，这两个因素的影响不能分开。所有圆盘在相同转速下，等量的空气在孔中将转移到液体表面下方。

（五）微观分析

在通气测试过程中拍摄了高速视频，以便更好地了解氧气转移所涉及的物理过程。在光学数据分析仪上对胶片进行逐帧分析，给出了液体和气泡运动的良好图像。据信三种机制同时促进了氧转移过程。它们是（a）气泡曝气，（b）涡流曝气和（c）表面曝气。圆盘的孔对气泡的添加和液体中湍流的产生有很大的影响。当圆盘进入液体并且液体取代孔中截留的空气时，就会形成气泡。然后气泡从圆盘上脱离并继续与流体一起流动。然后氧气通过气液界面从气泡转移到液相中，圆盘不仅可以向液体中添加气泡，还可以用作搅拌器。液体被孔的边缘捕获并形成涡流。当圆盘旋转并且孔离开液体时，大量涡流被带到液体表面上方。这些涡流被认为是不断地将新鲜的液体表面暴露在空气中，然后迅速滑走并混合到液体中。大部分液体暴露于空气期间，通过分子扩散发生氧气的转移。旋转的无孔圆盘往往会产生低频涡流，并建议在圆盘边缘添加凹槽或切口以改善气泡破碎。更大的孔径和更高的速度产生高频涡流，改善气泡破碎和更高的氧气传输。从大气到液体的氧气转移也可能发生在沟渠的液体表面，表层的溶解氧浓度会高于底层，使氧气向下转移。可以

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



（a）低速 100rpm 下的气泡路径　　（b）高速 300rpm 下气泡和涡流的形成

图 2　盘式曝气器的气泡路径和涡流形成

考虑使用多级曝气装置、改变叶片角度、形状或增加叶片数量等方法。根据湍流动能的分布情况，可适当布置气体入口和出口的位置，以利于曝气池内气体的均匀分布。通过控制湍流水平，可以调节固液分离区的混合强度，以优化污泥的聚集和沉降。另外，可以尝试调节搅拌设备的转速或改变叶片的形状来改变湍流程度，促进污泥的曝气效果。

（六）充氧能力

曝气系统的充氧能力，受到浸没深度、孔径、圆盘厚度和圆盘速度的影响，其中圆盘速度影响最大。将圆盘转速从 100rpm—300rpm 增加使氧合能力增加 575%，如图 2 所示。

分析浸没深度对转盘曝气机充氧能力和功耗的影响，发现增加浸没深度可以使充氧能力略有增加，但功耗却急剧上升。尽管测量模型比例系统的功耗不一定有意义，但这样做是为了完整性。结果表明，曝气盘的驱动系统效率较低，仅约 15%—20% 的输入功率明显消耗在曝气过程中。这不一定是安装高效通气盘驱动系统的全尺寸沟渠的原因。然而，将圆盘速度从 100rpm 提高到 300rpm 可使净功率增加 120%，净氧合效率增加 230%。从结果可以明显看出，所研究的系统实现了非常高的充氧能力。然而，随着系统充氧能力的增加，介质允许的最大需氧量也可以增加，以允许处理更浓缩的废物，这可能会导致沟渠体积更小，但能量需求更高。因此，在曝气系统的设计中，这两个评估因素可以相互权衡，以最低的总成本找到最高的充氧能力。

三、结语

氧化沟中浸入深度、圆盘速度、圆盘厚度、圆盘穿孔率和孔径对圆盘曝气器传氧系数的影响。圆盘转对 K_La 的影响最为显著，浸没深度和孔径的影响次之，参数之间存在耦合的相互作用。任一参数提高都会导致 K_La 增加。尤其是在转速较高的情况下，与无孔转盘相比，穿孔转盘会导致 K_La 显著增加。在高速摄像的微观分析表明，由圆盘旋转产生的气泡曝气和涡流曝气是普遍的氧气转移机制，液—气界面处的表面通气在系统充氧方面也发挥一定作用。

参考文献：

[1] 左燕．水处理中曝气设备的研究进展分析 [J]．城市建设理论研究，2018（35）：97-98.

[2] 陈尚，谭红，杨军文．微纳米曝气在 BAF 装置的应用研究 [J]．广州化工，2020，48（01）：111-113.

[3] 宋欣，陆检生．曝气设备在污水处理中的应用及其研究进展 [J]．造纸装备及材料，2020，49（06）：85-87.

[4] 刘燕芳，王国萃，王传涛．微纳米曝气滴灌系统中气泡传输特性及其影响因素分析 [J]．农业工程学报，2023，39（17）：88-96.

[5] 崔野．微纳米曝气技术在污染水体中的应用研究进展 [J]．科技与创新，2022（22）：172-175.

[6] Baram S，Weinstein M，Evans J F，et al.Drip irrigation with nanobubble oxygenated treated wastewater improves soil aeration[J].Scientia Horticulturae，2022，291：110550.

[7] Ben-Noah I，Friedman S P.Aeration of clayey soils by injecting air through subsurface drippers：Lysimetric and field experiments[J].Agricultural Water Management，2016，176：222-233.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

泡沫铝对电动汽车电池模块散热的研究

逯彦红[1,2]， 段国林[1*]
(1. 河北工业大学 机械工程学院，天津 300132；2. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘要：针对目前电动汽车电池组热管理系统存在的不足，提出了利用泡沫铝对锂离子电池组散热的创新模式。建立了电动汽车电池模块的散热模型，验证了利用泡沫铝对电动汽车电池组散热的有效性与可行性，且随着泡沫铝填充长度的增加，电池最高温度下降越多，最大温差先减小后增加。并发现孔隙率对电池的最高温度影响不明显，但孔隙率越小，最大温差越小，即电池间温度越均匀。

关键词：锂离子电池；热管理；风冷；金属泡沫
中图分类号：TM 912 文献标识码：A 文章编号：1002-087 X(2017)01-0012-03

Research on heat dissipation for EV battery module by foam aluminum

LU Yan-hong[1,2], DUAN Guo-lin[1*]
(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300132, China;
2. School of Electric-Mechanical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: Aiming at the shortage of thermal management system of EV battery pack, an creative cooling mode of inserting aluminum foam into the Li-ion battery compartment was proposed. Thermal mode of EV Li-ion battery module was established, and feasibility and effectiveness were verified about using of aluminum foam. With the increasing of aluminum foam filling length, battery highest temperature dropped obviously, and the maximum temperature difference firstly increased and then decreased. And influence of the highest temperature was not obviously with the porosity, but the smaller the porosity, the smaller the maximum temperature difference, then between the battery the temperature was uniform.

Key words: Li-ion power battery; thermal management; air cooling; metal foam

随着锂离子动力电池在电动汽车动力系统中的推广应用，锂离子电池对工作温度的敏感问题日渐凸显。锂离子电池在充放电过程中会有大量热量产生，会导致电池内部温度升高和单体电池之间温度不均匀，造成电池性能下降，循环次数减少，寿命缩短，严重时会影响到电池的使用安全，见图 1[1]。所以锂电池散热系统的设计主要强调 2 个目标参数，一个是电池组的最高温度要低于 45 ℃[2-3]，另一个是电池组的温度分布均匀性，即单体电池间的温度差最小。目前，锂离子电池热管理的研究方法主要包括空冷、液冷、相变冷却等。液冷方式系统复杂，需要考虑液体防泄漏措施，且泵的功耗较大；相变冷却虽然没有功耗设备，但只能单次循环。空冷系统简单，可靠性高，但散热能力差。在不增加电池箱体体积、风机功耗的前提下，设计新的空气流场来提升空冷的散热效果，将是近期可实现能实际应用的车用锂电池散热方式[4]。

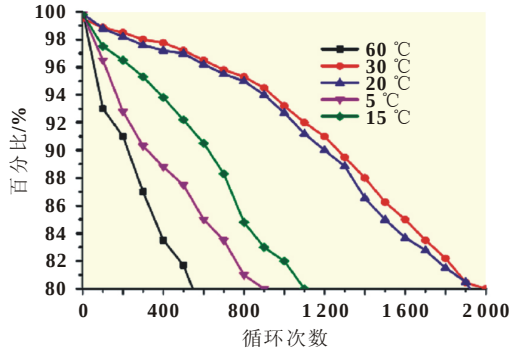


图 1 电池组循环次数与温度的关系

泡沫金属(开口)是一种低密度的多孔介质，质量轻，比表面积大，流体流过时与流动方向相垂直的孔棱可将边界层隔断强化流体湍动[5-6]，且能提高温度分布的均匀性。本文以锂离子电池模块为研究对象，采用有限元分析方法，建立了电动汽车电池模块的散热模型，论证了泡沫金属填充于电池模块内提升散热能力的可行性和改善电池模块温度分布的均匀性，并讨论了填充不同长度的泡沫金属对散热效果的影响，分析了不同孔隙率的泡沫金属的散热特性。

1 电动汽车电池模块的理论描述

1.1 电池模块结构与参数

本文采用的研究对象是磷酸铁锂动力电池模块，单体电池尺寸(长×宽×高)为 203 mm× 112 mm× 58 mm，标称容量为 70 Ah，电池仓为 3 mm 厚的不锈钢，电池模块由 8 个单体

收稿日期：2016-05-11
作者简介：逯彦红(1980—)，女，河北省人，博士，主要研究方向为新能源汽车热管理。
通信作者：段国林(1963—)，男，教授，博导。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

电池单排组成，单体电池间距离为 4 mm，电池与仓体间距离为 10 mm，入风口与出风口尺寸均为 4 mm× 80 mm，忽略接线和支架等附件，剖面图如图 2 所示。

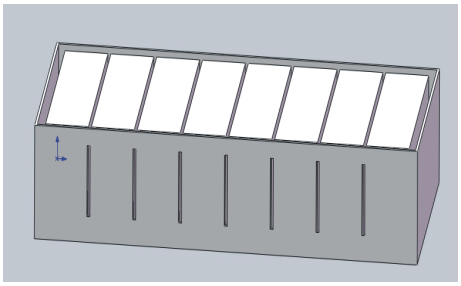


图 2　锂离子电池模块三维剖面图

1.2 电池生热机理

电池的生热量主要由反应热、极化热、副反应热和焦耳热 4 部分组成，但工程应用中常用 Bernardi 生热速率模型估算电池单位体积生热速率，其估算公式为：

$$q_{gen}=I_L(E_O-U_L)-I_L T_{bat}\frac{dE_O}{dT_{bat}} \quad (1)$$

式中：q_{gen} 为电池的产热量；I_L 为负载电流；E_0 为开路电压；U_L 为负载电压；T_{bat} 为电池温度。可见电池产热由两项组成，左边项是不可逆产热，可表示为 I^2R，右边项是可逆产热，一般可逆产热小于不可逆产热的 2%，因此可逆产热项可忽略不计，故电池产热速率可按式(2)估算：

$$q_{gen}=I^2R \quad (2)$$

式中：R 为电池总电阻[5]。

2 强迫风冷的效果与分析

2.1 入口风速一定

空冷系统简单，可靠性高，但散热能力较差，当入口风速为 1 m/s、环境温度 30 ℃、电池以 1 C 的放电速率放电时，模拟发现电池组的最高温度会逼近 50 ℃，当环境温度为 35 ℃时，电池组的最高温度达到 54.4 ℃，见图 3。而当锂离子电池组的工作温度超过 45 ℃时，电池性能就会大幅下降。

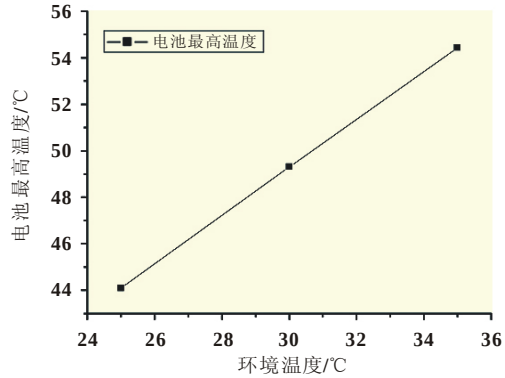


图 3　电池最高温度随环境温度的变化

2.2 加大风速

加大入口风速，电池最高温度有所下降，见图 4，但效果并不明显。当环境温度为 30 ℃时，入口风速达到 5 m/s，才能使电池的最高温度下降到 40 ℃以下，当环境温度达到 35 ℃时，入口风速 10 m/s，电池的最高温度依然逼近 40 ℃，达到 39.6 ℃。可见，通过加大入口风速的方式来达到电池组降温的目的，效果并不明显，且加大入口风速会加大风机的功耗，进而加大电池系统的运行负荷，相当于减少续航里程。显然，利用加大入口风速的方式作为电池热管理系统加强散热的措施并不可取。

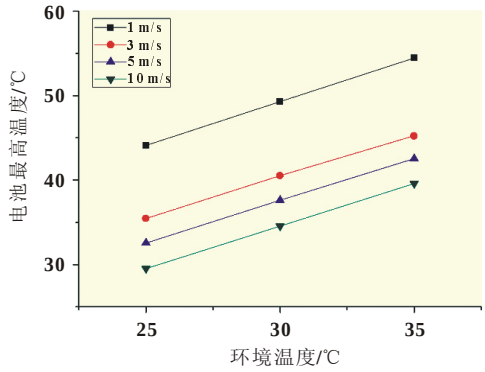


图 4　电池最高温度随风速的变化

3 基于泡沫铝散热的计算方法与边界条件

泡沫金属(开口)质量轻，比表面积大，能增强湍流效果。泡沫铝为多孔材料，采用 Brinkman-Forchherier-extend Darcy 模型。假设空气为不可压缩流体，无相变，忽略自然对流和辐射，忽略热弥散。本文采用的建模分析软件是 SolidWorks+ICEM+fluent，即用 SolidWorks 建立三维几何模型，用 ICEM 划分结构化网格，最后利用 fluent 求解。采用 k-e 两方程，速度入口，压力出口，空气为不可压缩理想气体，边界无滑移。

ANSYS-fluent 中多孔介质模块的粘性阻力系数和惯性阻力系数的计算可按下面公式定义：

$$D=\varepsilon^2/K \quad (3)$$

$$C=\frac{2C_F\varepsilon^3}{\sqrt{K}} \quad (4)$$

式中：D 和 C 分别表示粘性阻力和惯性阻力；K 和 ε 分别代表多孔介质的渗透率和孔隙率；C_F 为惯性系数，是无量纲数，取 0.1[6]。

4 基于泡沫铝的风冷效果研究

本文分别在电池仓内放置不同长度的泡沫铝，来分析泡沫铝对电动汽车电池模块的散热效果。

4.1 泡沫铝对散热的影响及模型的验证

在电池仓内电池单体的侧面四周添加泡沫铝，在初始条件一致的情况下，即以 1 C 放电来衡量散热效果，这是该电动汽车所允许的最大的放电电流，泡沫铝的孔隙率为 0.95，入口风速 3 m/s。模拟电池仓最高温度和最大温差，模拟结果与 Shahabeddin K 研究结果对比，研究结果的趋势具有很好的吻合性，如图 5。数据大小的差别是由于电池放电倍率、电池生热率和进口风速的不同导致数据本身的不同，但数据变化趋势的一致性证明了模型的正确性。

4.2 泡沫铝长度对散热效果的影响

空冷就是外界空气与仓内电池进行热交换。位于仓体后

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

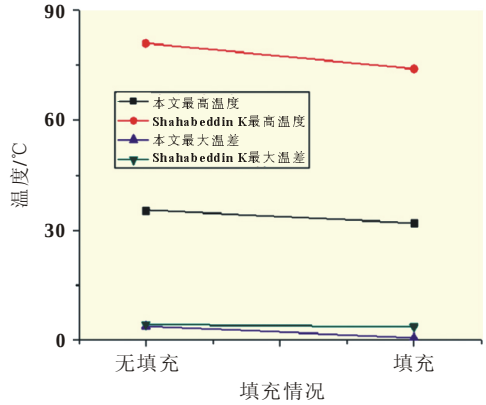


图 5　本文与参考文献模拟结果的对比

面的部分由于空气与前面的电池热交换后，温度升高，散热能力下降，所以位于仓体后面的电池温度高于前面部分，故将泡沫金属置于电池仓尾部，分 5 种情况进行对比，分别是不放置泡沫金属、靠近电池尾部放置占电池长度的 1/4、2/4、3/4、4/4 的泡沫铝，在不同环境温度下模拟电池的最高温度和最大温差。电池组均以 70 A 放电作为参考工况，即以 1 *C* 放电，泡沫铝的孔隙率为 0.95，入口风速 3 m/s。

模拟发现，填充泡沫铝后，电池的最高温度和最大温差都有不同程度的下降。对于最高温度，仓内填充泡沫铝的长度越长，电池最高温度越低，见图 6。对于最大温差，随着填充长度的增加，先减小后增大，见图 7。填充泡沫铝后，电池组的最高温度最大可下降 4.3 ℃，最大温差可减小 3.2 ℃。在电池仓内填充不同长度的泡沫铝后，模拟出的电池的绝对温度分布云图见图 8~11。因为填充的泡沫铝长度越大，散热面积也越大，

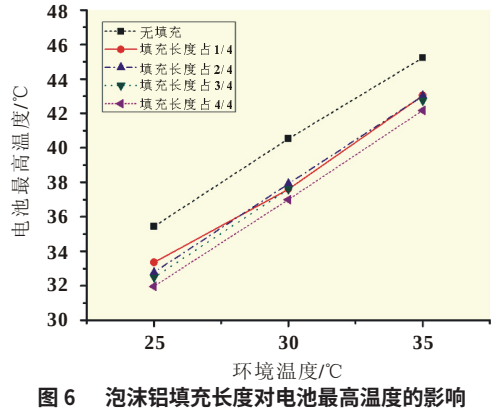


图 6　泡沫铝填充长度对电池最高温度的影响

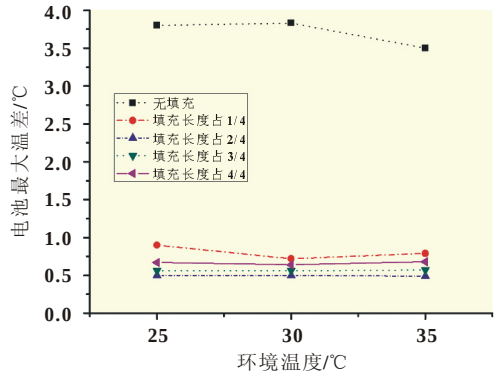


图 7　泡沫铝填充长度对电池最大温差的影响

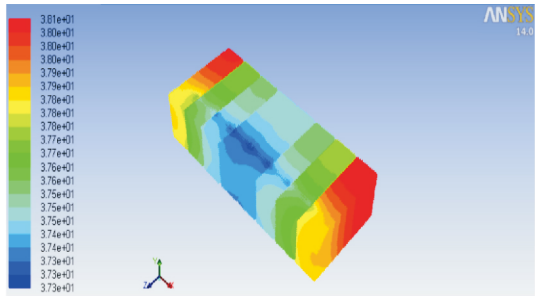


图 8　填充泡沫铝占电池长度的 1/4

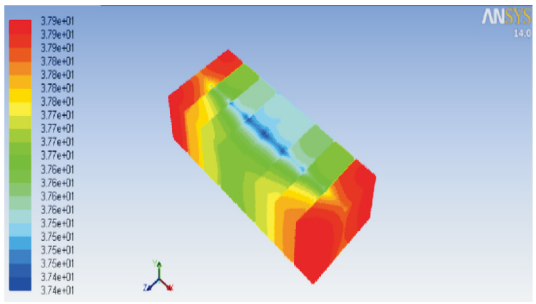


图 9　填充泡沫铝占电池长度的 2/4

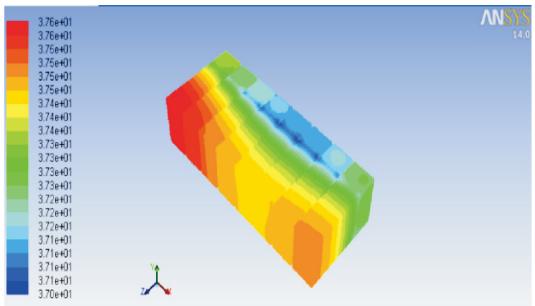


图 10　填充泡沫铝占电池长度的 3/4

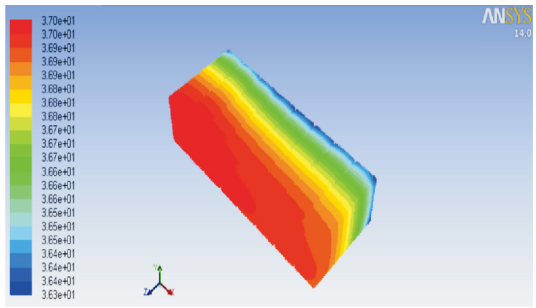


图 11　填充泡沫铝占电池长度的 4/4

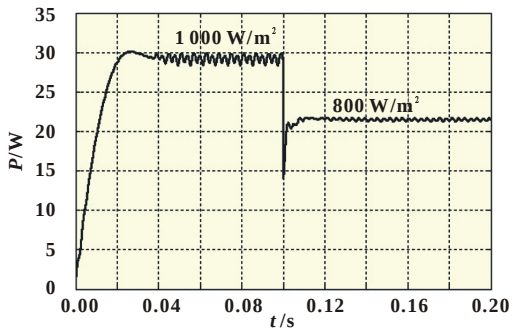
与流动方向相垂直的孔棱将边界层隔断强化流体湍动的效果更明显，所以填充的长度越大最高温度下降越多。

4.3 孔隙率对散热效果的影响

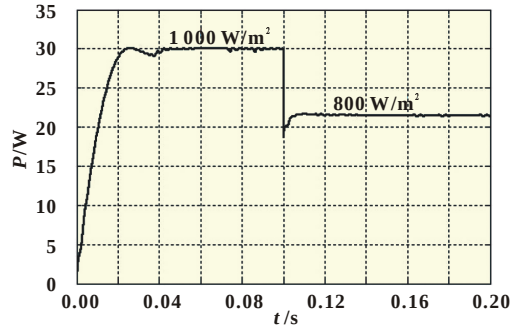
孔隙率是泡沫金属的重要参数之一，现模拟在环境温度为 30 ℃、入口风速 3 m/s、孔隙率分别为 0.85、0.9 和 0.95，不同填充长度时，电池模块的最高温度和最大温差。模拟发现，孔隙率对电池模块的最高温度影响不大，见图 12，最大温差随着孔隙率的增大而增大，即孔隙率越小，温度越均匀，见图 13。孔隙率减小意味着固体骨架增多，导热增强，流体和固体界面之间的比表面积增大，从而使换热增强。

(下转第 114 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 传统扰动观察法光照突变功率输出图像



(b) 改进算法在光照突变时功率输出图像

图 5 光照突变功率输出图像

有效跟踪最大功率点，提高了系统的稳定性和可靠性，保证了跟踪的快速性，仿真结果证明了该算法的有效性。

参考文献：

[1] 于少娟，刘立群，贾燕冰. 新能源开发与应用[M]. 北京：电子工业出版社，2014：1-102.

[2] 冯垛生. 太阳能发电原理与应用[M]. 北京：人民邮电出版社，2007：5-46.

[3] 苏建徽，余世杰，赵为，等. 硅光伏电池工程用数学模型[J].太阳能学报，2001，22(10)：409-412.

[4] SUKAMONGKOL Y, CHUNGPAIBUPATANA S, ONGSAKUL W. A simulation model for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems[J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2006, 53(4): 1055-1065.

[5] 吴忠军，刘国海，廖志凌. 硅太阳电池工程用数学模型参数的优化设计[J]. 电源技术，2007，31(11)：897-901.

[6] DZUNG N, BRAD L. An adaptive solar photovoltaic array using model-based reconfiguration algorithm[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(7): 2644-2654.

[7] 刘立群，王志新，张华强. 部分遮蔽光伏发电系统模糊免疫MPPT 控制[J]. 电力自动化设备，2010，30(7)：96-99,116.

[8] 朱圳，孙以泽，彭乐乐，等. 一种优化的最大功率点跟踪变步长扰动观察法[J]. 水电能源科学，2014，32(6)：202-206.

[9] 黄忠霖，黄京. 电力电子技术的 MATLAB 实践[M]. 北京：国防工业出版社，2009：255-265.

(上接第 14 页)

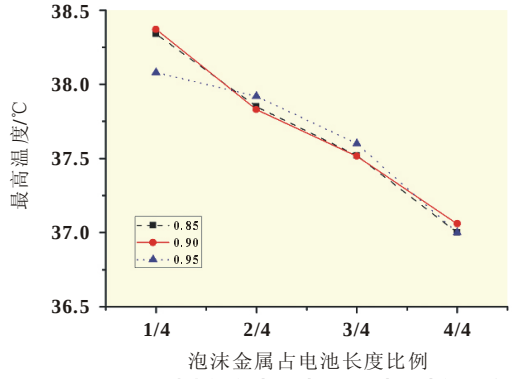


图 12 不同孔隙率的泡沫铝对电池最高温度的影响

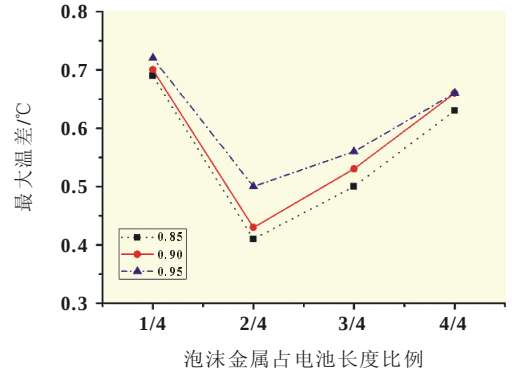


图 13 不同孔隙率的泡沫铝对电池最大温差的影响

5 结论

(1) 当电动汽车动力系统为锂离子电池时，在电池仓内添加泡沫铝后，能加强散热效果，电池最高温度降低，最大温差变小。

(2) 在电池仓内添加的泡沫金属的长度越大，最高温度下降越明显，但最大温差是随着添加泡沫铝的长度先下降后增加。

(3) 泡沫铝的孔隙率对电池的最高温度影响不明显，但孔隙率越小，最大温差越小，即电池间温度越均匀。

参考文献：

[1] 李策园. 纯电动汽车锂动力电池组温度场特性分析及热管理系统实现[D]. 长春：吉林大学，2014.

[2] HE F, LI X S, MA L. Combine experimental and numerical study of thermal management of battery module consisting of multiple Li-ion cells[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014(72): 622-629.

[3] HEESUNG P. A design of air flow configuration for cooling lithium-mion battery in hybrid electric vehicles[J]. Journal of Power Sources, 2013(239): 30-36.

[4] 戴海峰. 车用动力锂离子电池单体不一致性问题研究综述[J]. 汽车工程，2014，36(2)：181-188.

[5] GONG L, ZHAO J, HUANG S B. Numerical study on layout of micro-channel heat sink for thermal management of electronic devices [J]. Applied Thermal Engineering, 2015(88): 480-490.

[6] MOHAMMADIAN S K, RASSOULINEJAD-MOUSAVI S M, ZHANG Y W. Thermal management improvement of an air-cooled high-power lithium-ion battery by embedding metal foam[J]. Journal of Power Sources, 2015(296): 305-313.

[7] 梁金华，李建秋，卢兰光，等. 纯电动车电池组散热必要性的初步分析[J]. 汽车工程，2012，34(7)：589-591，621.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

培养高职高专学生核心职业素养的实践

王智海
（天津职业大学，天津 300410）

摘　要：文章分析了高职高专院校学生核心职业素养的内涵与外延，阐述了包括培养方向、学科课程体系、实训实践体系、综合测评体系和综合保障体系在内的高职高专院校学生核心职业素养培养体系架构，提出“三阶段递增推进，四种培训相结合”的培养路径。

关键词：核心职业素养；内涵与外延；培养体系
中图分类号：G715　　文献标识码：A　　文章编号：2095-8528（2015）01-058-03
DOI:10.16350/j.cnki.cn12-1442/g4.2015.01.023

一、高职高专院校学生应具备的核心职业素养

上世纪七十年代以来，随着世界经济体系的变化与调整以及劳动力市场需求的不断变化，一些国际机构和组织以及工业化强国逐步关注对劳动力市场及其劳动力需求政策的调查与研究，并对大众教育政策重新进行布局。德国联邦劳动市场与职业研究所所长梅腾斯在 1972 年向欧盟组织提出了一份《职业适应性研究概览》的专题报告，第一次提出了核心素养的概念。1974 年梅腾斯又在其《关键能力—现代社会的教育使命》的文章中，对核心素养做了系统的诠释与论述，认为核心素养是指劳动者一种在专业技术技能与理论知识之外的能力，更是一种跨学科的可移植的能力。该素养已成为众多劳动者的基本素养，使其能够在不断变化的社会环境中重新得到新的职业理论知识和岗位技能。核心素养的理念提出后，很快得到社会各界的普遍接受。在八十年代中期至九十年代初被教育届广泛应用，继而成为各级各类学校教育，特别是高职院校职业教育的一个基础性理念。

由于世界各国历史文化和社会政治、经济情况的不同，对这一理念的理解也有着各自的差别。例如，英国构建了六项核心素养培训认证体系，包括沟通交流、多元信息解读、数字电子技术应用、团结协作、处理问题、自我完善；美国劳工部提出，普通劳动者应具备五种基础素养，包括资源处理能力、协调人际关系能力、信息处理能力、分析问题、解决问题能力、综合运用科学技术能力；新加坡就业技能体系中包含了十项基本工作技能，包括计算机应用能力、信息共享技术、处理问题与策划、创业素养、沟通交流协调人际关系能力、持久学习、全球一体化意识、自我完善、自我协调心理技能、安全、规范工作能力等。我国从 1990 年初逐步开展对核心职业素养的理论研讨与探索。劳动部于 1998 年在《国家技能振兴战略》中将人的综合职业素养划分为职业潜力、行业规范和核心职业素养等三个层级，教育部教育管理信息中心于 2011 年出台的“全国职业核心能力测试大纲”，重新诠释了核心职业素养的概念。

尽管世界各国对于核心职业素养的诠释与认知各异，但这些素养对人们的职业可持续发展都是必备的。高职院校是职业教育的重要阵地，以培养高级技术技能人才为目标，对人才的核心素养有较高的要求。但是目前我国尚没有专门对高职学生所具备的核心职业素养做出明确规定。笔者在研究发达国家职业教育的基础上，参考我国教育部《国家教育事业发展第十二个五年规划》中对高等职业教育新型技术技能人才的培养与界定，联系现有的理论研究成果和高职毕业生就业知识、岗位转换以及可持续发展需求等因素，认为高职高专院校学生应该成为适应经济社会发展，满足社会转型、产业结构升级与企业可持续发展需要的进取型、综合型、开拓型技术技能型专门人才，其核心职业素养应包括自我完善与学习的能力、多元信息处理能力、数字化实践能力、与人沟通和交流能力、与人协作能力、独立解决问题能力和创新开发能力。

收稿日期：2014-10-12
作者简介：王智海（1982-），男，河北张家口人，天津职业大学机电学院教师。

中国知网　https://www.cnki.net

二、高职高专院校学生核心职素养培养体系的构建

应将高职院校学生核心职业素养培养作为高端技术技能型人才体系培养的重要组成部分，并结合学生专业理论知识、技术技能特点，搭建高职院校学生核心职业素养的培养体系，探索全新的人才培养模式。

（一）高职高专院校学生核心职业素养培养体系

高职院校学生核心职业素养的培养架构是核心职业素养培养工作的体系化。天津职业大学机电学院逐步搭建并细化、完善了包括培养方向、课程结构、实验实训框架、综合测评和多元保障体系在内的核心职业素养培养框架。在该体系结构中，培养方向是整个培养系统的核心设计，具有管控和协调作用；学科课程体系和实验实训体系是实现培养方向的路径与平台，也是核心职业素养培养的重要元素；综合评价体系是验证培养成果、检查培养过程中存在的问题与不足，进而对整个培养体系进行完善，促进核心职业素养培养水平的日益提升；多元保障体系是为整个培养体系的正常运行提供保障。

1.培养方向。核心职业素养的培养是一个系统培育工程，培养方向对培养系统具有管控和协调作用，包括总体目标和分向目标。总体目标涉及核心职业素养培养方向，具有全面、微观等特点，并且对分向目标起着引导和纠正的作用。分向目标是各分项能力的具体指向目标，是为总体目标的完成而设置的，具有准确、全面、专指性和可操控性强等特点。

高职院校学生核心职业素养培养的总体目标是：学生在全面了解核心职业素养基础知识的前提下，着重掌握基本素养，通过岗前培训和岗位体验，转化为岗位职业素养，并达到提高学生就业能力，提高学生的岗位适应能力，提高学生的职业发展、自主生涯规划和可持续发展技能目标。

学院根据毕业生职业发展定位和学校人才培养方案的相关要求制定了总体目标的分项目标，这些分项目标包括：自我完善与学习能力、多元信息处理能力、数字化实践能力、与人沟通和交流能力、与人协作能力、独立解决问题能力和创新开发能力。

2.学科课程体系。学科课程体系是达到培养目标的主要路径和平台，学科课程体系的布局是核心职业素养培养的关键性工作。学院各学科、各专业的课程系统均采用“教学做一体”的基础性结构。“教”即为学生在主课堂和第二课堂提供基础知识；“学”即学生自主学习基础知识与教师研讨学科知识，“做”即学生将学到的学科基础知识应用于具体实验实训，来检验所学知识的准确性，“教学做一体”化教学可以使学生能够更好地运用所学知识，并且能够更好地适应社会全面发展的需要。

第一，将“核心职业素养培养与实践”环节纳入课程教学计划，列为学院的教学必修课，全方位培训学生的核心职业素养。

第二，在学校选修课中开设与核心职业素养培养相关课程。如开设就业指导课、礼仪文化、计算机技术等课程，目标是强化学生的核心职业素养，将核心职业素养的自我完善与学习能力、多元信息处理能力、数字化实践能力、与人沟通和交流能力、与人协作能力、独立解决问题能力和创新开发能力等融合到课程教学中去。

第三，设置学生综合素质拓展训练课程，通过开展形式多样、内容丰富的学生社团活动、社会实践活动、科技作品大赛等活动，拓展核心职业素养培养。除以上三个途径外，学院在其他学科课程中也加入了对核心职业素养的理论知识。在教学体系中融入了核心职业素养培养的相关知识，使得学生对核心职业素养的理解逐步加深。

3.实训实践体系。实训环节是体现高等职业教育特色的核心部分，学生的岗位操作技能只有通过培训才能提升。实训实践体系包括课堂培训、第二课堂培训、校内多元培训和校企合作培训等四个部分，是“教学做一体化”的综合体现。

课堂培训在教师主导下实施，具有较强的专一性、针对性和目的性。第二课堂培训是课内教学的课下补充，是课堂培训的延伸与扩展，由学生充分利用课后时间。

校内多元培训是将学生的素质教育活动与核心职业素养培训有机融合到一起，依据核心职业素养培养需求，规划学生素质教育活动内容。

4.综合测评体系。综合测评是核心职业素养培养系统的关键环节。核心职业素养的综合考评是从综合测评组成、测评对象、测评内容和测评方式等方面建立细化、规范和科学的测评系统。第一，把学生的学习兴趣、日常行为表现、素质活动等纳入相关的课程测评系统，实现了测评体系全过程追踪。第二，任课教师意见、年级辅导员意见、职能处室意见各占相应比率。第三，测评重视过程、重视素养。

5.综合保障体系。高职院校学生核心职业素养的培养是一项系统的育人工程，涉及学院教学、学生思想品德培养等基础性环节，需要从管理组织、体制机制建设、相关制度支持等方面给予有力的支撑。

组织领导。学院组建学生核心职业素养培养小组，由主管学生工作的副书记任组长，主管教学的副院长任副组长，院长、党总支书记、就业指辅导员及办

中国知网 https://www.cnki.net

公室主任为主要成员。学院还设立核心职业素养教研工作室，主要从事高职院校学生核心职业素养培养的理论体系研究、理论应用和实践总结的提高及整体布局和应用。

机制体制建设。学院出台一系列关于系统性开展学生核心职业素养培养的政策、制度和文件。例如，机电学院出台了“关于机电学院五星级早自习评选制度”、“素质教育手册制度”等相关文件，要求各年级加强对学生核心职业素养的培养，提升学生就业能力。学院出台“关于机电学院专业人才培养计划”，将培育学生的核心职业素养纳入学院学科专业人才培育计划。

学科资源库建设与学科资源体系保障。根据高职院校学生核心职业素养培养的实际要求，在实施学生素质教育活动的平台上组织相关人员撰写“机电学院学生素质教育方案”，用以全面、系统和有针对性地提高学生的核心职业素养。

实训实践场所保障。学院成立了用于课堂培训、第二课堂培训、校内多元培训、校企合作培训所需的培训基地，达到了课内教学与学生核心职业素养培训基地相结合，校内多元培训与校企合作培训相结合。

（二）高职高专院校学生核心职业素养培养模式

为了促进高职学生核心职业素养的提升，学院运用了“三阶段递增推进，四种培训相结合”的培养模式。“三阶段递增推进”是指以“关于机电学院专业人才培养计划”的学生核心职业素养实践课程和其他专业课程为主的初始阶段；以学生科技社团活动、校园知识、文化和科技活动等为主的素质拓展阶段；以校企合作、工学结合为基础的学生校外顶岗实习、社会咨询活动、社会义工活动、各类学生社会实践活动为主的应用提高阶段。在初始阶段，学生基本熟悉了核心职业素养的相关理论知识，形成了相关概念，为核心职业素养的形成奠定基础。在素质拓展阶段，通过学生科技社团活动、知识、文化和科技的校园活动等，加强学生核心职业素养的培训，核心职业素养得到拓展，学生拥有了较强的核心职业素养。在应用提高阶段，学生在大的经济社会背景下和实际工作中将核心职业素养与技术技能融合在一起，核心职业素养得到完善和提高。“四种培训相结合”则是学科课程学习与技能培训相融合，课堂培训与第二课堂培训相融合，校内多元培训与校企合作培训相融合，职业综合素养培养与实践技能培养相融合。“四种培训相结合培养”是高职学生核心职业素养培养的基本路径，在时间上连接六个教育教学阶段，空间上连接各种活动场地的全过程跟踪、全方位立体式培养体系。

三、高职高专院校学生核心职业素养培养的应用与实践

天津职业大学机电学院经过2011年、2012年与2013年近三年的调研与实践，在4个专业、52个班级开设了“学生素质教育活动之核心职业素养培养与实践”讲座，约1566名学生接受了核心职业素养的系统培训，并且三个年级的所有班级通过团日活动、学生科技社团活动、科技大赛活动等接受了核心职业素养的专项技能培训。同时，约有630名学生参加了社会调查和义工活动，560多名学生通过校外顶岗实习提高了核心职业素养。实现了核心职业素养的培养对学院学生的全覆盖，具体体现在学生在全国、全市以及各区县各级各类的科技大赛中取得了较好的成绩，学生创新实践能力和自主创业能力显著提升，得到各企事业单位的好评。

参考文献：

[1]唐以志.关键能力与职业教育的教学策略[J].职业技术教育，2000，(7).

[2]史庆.英国的国家职业资格证书制度[J].外国教育资料，1997，(6).

[3]李光宇，王鹏.试析新加坡就业必备技能体系[J].中国冶金教育，2007，(5).

[4]劳动和社会保障部职业技能鉴定中心.解决问题能力(训练手册)[M].北京:人民出版社，2007.

编辑　朱荣华

职教论坛

高职院校应成为为社会和企业提供优秀人才资源、技术和文化资源的重要基地，首先要成为培养合格人才和优秀人才的基地，要成为中小企业的技术中心、高新技术的孵化器和蓄水池，要成为继续教育和终身学习的中心，要成为区域社会发展的文化中心。

——于德弘

来源 中国职业教育与成人教育网

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16660/j.cnki.1674-098x.2015.10.024

普通机床数控改造关键技术的设计研究①

李建国
（天津职业大学机械工程实训中心　天津　300410）

摘　要：随着我国计算机技术的发展，以及CAD软件的普及，机床加工中，对普通机床进行数控化改造，能够提高生产效率，大大促进机床自动化进程，有效的扩展与完善机床的功能，简化机械产品加工处理方法。本文从普通机床数控化优势为着眼点，详细分析了普通机床数控改造的关键技术：开环控制技术、机床机械部分数控改造、步进电机改造技术、数控机床系统设计。通过对普通机床数控改造技术的分析及实践发展，通过对普通机床进行数控改造，不但延长了普通机床的使用寿命，而且大大提高了加工产品的质量，其前景十分可观。

关键词：机床　机床数控化　数控改造
中图分类号：TG502　　文献标识码：A　　文章编号：1674-098X(2015)04(a)-0069-02

实现机床数控化，不仅可以提高机械加工自动化水平，也可以提高普通机床的工作性能，同时，数控化机床也能够为企业机械加工节省资金，有效提高机床精度与效率，本文主要以某型号普通机床的数控化改造为例对基于普通机床的数控改造关键技术进行研究分析。

1 普通机床数控化优势

普通机床数控化，可以应用软件系统程序，使计算机进行自动编制，自动编程取代了传统手工编程的方式，极大提高了当前机床工作效率。同时也具有一定的灵活性，提高机床在执行动作，提升普通机床控制智能化。而且数控机床中，很大程度上提高普通机床产品精度、效率，简化数控操作。

2 普通机床数控改造关键技术

2.1 开环控制技术

数控机床有开环控制和闭环控制两种，其中开环控制结构简单、方便改装，成本相对更低，本次普通机床数控化改造中，根据改造后机床的要求，选择步进电机开环控制系统，以简化结构、降低成本。机床改造后，由数控系统发出指令脉冲，对系统执行部件进行控制，位移量、速度和运动方向的控制，通过对指令脉冲数量、频率和通电顺序的控制实现。8255PA口输出控制字，通过光电耦合导通，TIP142导通电源驱动电机，电流检测电路接上的采样信号经过放大、比较最后将信息送到TIP147基极驱动电路控制TIP147的饱和与截至从而控制27V电源电路的通断。若绕阻电流不够3A，则27V电源工作，使电流增加，电流达到电机允许的限度时反馈信号经检测电路控制TIP147截至，27V电源停止工作，电流由5V电源供给，TLP421-4用于将电路中+5V电压与+27V电压隔开，以防+27V高压破坏器件。

2.2 机床机械部分数控改造

机床数控改造机械部分设计中，对于零件结构、尺寸等方面，应满足传动稳定，不影响精度或者精度必须满足在要求的范围内，结构尽量简单、传动合理以及经济性好的优点。对于丝杠传动副改造中，确保被加工零件坐标精度，降低电机启动力矩，拆除原进给传动链，换上伺服电机直接驱动的滚珠丝杠传动；在齿轮副改造中，确保有良好的耐摩擦与磨损特性，这样可以减少摩擦阻力，在改造中，可以将螺钉以及粘剂固定在铸铁床身上；使用步进电机经齿轮减速后再传动丝杆，以达到机床改造中分辨率的要求；采用滚珠丝杆螺母副，以减少摩擦力，保证精度和平稳性。预紧结构采用双螺母纹式，这种预紧方法结构较紧凑，可随时调整滚道磨损，通过对端部圆螺母的调整，实现螺母的轴向位移。为提高工作效率，提高改造后机床自动化水平，将原车床手动刀架改造为电动刀架。车床电动刀架可完成零件加工中不同工序的换刀工作，采用三相微型异步电动机驱动刀架，结构采用预加负荷，以消除间隙，提高传动刚度。在机床的自动换刀装置改造中，需加入自动回转刀架；对于机床安全防护改造中，应该采取特殊保护，严防灰尘特、切屑、硬砂粒进入切削滚道。

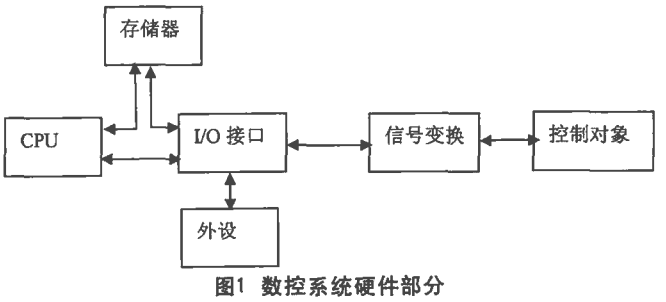


图1 数控系统硬件部分

2.3 步进电机改造技术

机床数控化改造中开环伺服系统执行元件一般为反应式功率步进电机，合理选择步进电机对于防止机床数控化改造后发生反应缓慢、失步或系统精度不够等问题有着重要意义。步进电机的选择需考虑机床精度、脉冲当量、负载惯量、快速空载起动转矩、工作状态负载转矩及负载起动频率、运行最高频率，首先对等效转动惯量、电机力矩、空载起动频率和切削时工作频率等进行计算，根据计算结果，进行匹配，确定数控化改造中合适的电机型号，本次改造中根据计算结果，最终选择90BF002型步进电机。由于普通机床刀架滑移由两个驱动装置的滑移组成，与导轨平行方向和导轨垂直的水平方向，由于在这两个方向可任意滑移，所以，刀架（包括刀具）可停留在加工有效区的任意位置；伺服系统进给量、速度的控制，主要是利用PLC编程通过控制脉冲信号实现。采用软件来产生控制步进电机的环型脉冲信号，采用软件自动升降速控制，实现这样的分配方案，只需PA口顺序输出二进制控制字001H、011H、010H、110H、100H、101H即可；电机反方向旋转时，输出顺序相反。采用通用接口芯片8255的PA口作为步进电机的控制口，不需要用专门电路把单序列脉冲转换为多序列脉冲，增加主回路电阻和放电回路电阻改善电波形，使上升沿与下降沿陡峭。驱动电路电源部分，由于驱动电路需要直恒流27V、15V、6V、5V稳定电源，根据驱动电路中步进电机满足电流在3A以上。

2.4 数控机床系统设计

改造后的数控机床数控系统由硬件电路、软件程序组成，前者包括单片机、车床、辅助电路等，为数控系统的基础，其性能对

①作者简介：李建国（1973,7—），男，汉，河北邢台人，大学本科，实验师，研究方向：产学结合数控技能实训教学。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

系统的整体工作性能有着直接的影响；后者由监控软件和控制软件两部分组成，监控软件主要用于系统状态的监测，并提供基本操作管理，控制软件根据编程对机床运行进行控制。

数控机床的硬件部分由CPU、总线、存贮器和I/O接口电路四个部分组成（见图1）。CPU负责数据运算处理，通过对各部分电路的控制，使电路协调工作，是整个系统的核心；存贮器存放系统软件及其运行过程中所需的各种数据；通过I/O接口实现系统和外界的信息交换；CUP、存贮器、I/O接口及其他转换电路利用总线例连接在一起。

单片机的选择根据机床改造要求、系统需求，考虑价格等因素进行确定，其中MCS-51系列8031芯片，属于8位单片机，功能全、体积小，且易于编程、开发手段全、硬件资源丰富，同时价格相对较低，在国内较为适用。由于8031片内无程序存储器，可使用6264（8K×8）片外接CPU部分，扩展8031的RAM存贮器的，程序存贮器的扩展通过外接2片2764（8K×8）片实现。8031为用户提供的I/O口有P1、P3口，由于不能满足系统需求，可使用8155片进行I/O口扩展。

使用8031片的数控系统如那件设计有中央处理单元、PA、PB和PC接口等初始化程序和直线插补计算、显示、报警、急停等功能程序。系统启动后，进行初始化，选择手动或自动，若选择手动，则读取按键信息，若输入正确，则可手动选刀，调用功能程序并显示，若输入不正确则报警；若选择自动，则可实现自动选刀，根据外部程序命令，调动功能程序，系统运行过程中，若出现特殊情况，则急停，否则循环运行。

3 机床数控化改造的发展前景

机床数控化改造能在保有普通机床原有功能的基础上，提高其精度，实现普通机床生产过程自动化，实现普通机床控制过程的数字化。大大提高普通机床生产效率，为企业节省资金，降低成本。改造后的车床属于开环控制，选择步进电机作为双向进给驱动电动机，采用单片机作为控制核心的控制系统，对原有机床机械机构、性能、功能基础上，用单片机系统实现弱电控制强电机，改造机床切削工艺，提高普通机床切削精度和效率。

普通机床数控改造的过程中，根据普通机床使用情况及工况要求，可以选择合理的数控系统及其电子设备，提高数控加工的工作效率，极大的提高机械产品加工的速率，在机床加工中通过数控中的宏程序对变量数据进行编程，提高机械产品加工的效率，不仅能加工常见的零件，还可用于形状复杂零件加工中，满足加工精度。普通机床数控改造技术，可以提升我国制造业装备水平，延长了普通机床的使用寿命，提高加工产品的质量，增强市场竞争力，在未来极具发展前景。

4 结语

基于普通机床的数控加工技术，可以自动化加工机床零件，不仅可以提高机床产品综合性能，还可以优化机床零件加工工艺，提高机床全年的零件生产质量，具有实际改造价值，值得在实际中推广应用。

参考文献

[1] 皮智谋，申晓龙．为数控机床增加第四轴的改造[J]．机床与液压，2012，40(8)：169-172.
[2] 高颖．浅谈普通机床的数控化改造[J]．科技资讯，2013(21)：61-62.
[3] 杨秋平，张桂山．普通机床数控化改造要点探讨[J]．卷宗，2014(6)：319-319.
[4] 林兴志．普通机床的数控改造[J]．企业技术开发（下半月），2013，32(8)：34-35.

（上接68页）

磨损均匀，提高扶正器的使用寿命，延长油井工作周期；③可刮除粘接在油管壁上的余腊；④楔入式结构设计，过流面积更大，使用效果更好。

3 现场应用

冷家油田冷四区块主要以稠油为主，定向井和水平井居多，井下温度高，泵挂深度在1600米左右。该区块杆管偏磨原因主要有以下几个方面：

（1）油井结蜡严重：沉没度较低时，油井沉没压力与流压低，导致原油提前脱气，蜡在油管内析出，加之热洗周期不合理等原因，使抽油杆下行阻力增大并产生弯曲，造成杆管偏磨。

（2）油井中井斜角变化较大的位置是最易发生偏磨的位置，尤其水平井为主，加之又是稠油热采井，冲程大、井下温度高，限制了一些防偏磨工具的使用和功效。

（3）在稠油井中，杆柱下行遇阻、卡停以及其他的导致杆柱下行阻力增加的因素都会引起杆管偏磨。

在该区块使用新型抽油杆扶正器，取得了良好的应用效果，主要表现在：①下泵深度加大，从而增加了泵的沉没度，减小了再次偏磨的风险；②日产液量增大，保证了油井的生产能力；③检泵周期延长，由原来的1～2个月延长至6个月以上；④缓解了杆管偏磨问题，延长了抽油杆及油管的使用寿命，为油田节约成本做出了贡献。

4 结论

（1）在大斜度井、水平井等偏磨严重的油井中，PEEK材料抽油杆扶正器有效地减少了抽油井杆管偏磨，延长了检泵周期，降低了作业成本。

（2）在高温热采井中，PEEK材料抽油杆扶正器的耐高温性能符合成产需求，解决了高温油井抽油杆偏磨严重的问题。

（3）PEEK材料扶油杆扶正器的耐腐蚀性可适应具有腐蚀性井液及其它复杂情况的油井，可以达到防偏磨的要求。

（4）通过应用PEEK材料制作而成的抽油杆扶正器，在原有基础上更适合抽油井防偏磨技术的应用，达到更优异的耐磨、耐高温、耐腐蚀等性能，有效提高了油井生产周期，降低作业成本。

参考文献

[1] 郭庆时，刘丹丹．抽油杆扶正器专用材料的研究进展[J]．工程塑料应用，2010(12)：82-83.
[2] 赵巍，杨德安，梁崇，等．PEEK及其复合材料的研究与应用[J]．材料导报，2003，9(17)：68-70.
[3] 崔小明．特种工程塑料-聚醚醚酮[J]．上海塑料，2005(9)：36-39.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

汽修专业领域 1+X 课证融合的实践探索

李晶华 邹吉权 侯国强 李江江
（天津职业大学 天津 300410）

摘要：《国家职业教育改革实施方案》提出启动 1+X 证书制度试点工作，推动职业教育高质量发展。书证融通，对于贯通学历教育与职业培训，提高人才培养质量，推动人才供给侧改革意义重大。课证融合是书证融通的核心和关键。文章通过分析 1+X 证书制度的内涵及意义，提出高职院校课证融合的策略与路径，探索并实践汽修专业学历证书课程与汽车专业领域职业技能等级证书融合。

关键词：1+X 证书；汽修专业；课证融合
中图分类号：G718 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-5727(2021)06-0010-07

2019 年初，国务院发布《国家职业教育改革实施方案》（以下简称《实施方案》），将职业教育定位为类型教育，在职业院校、应用型本科高校启动“学历证书+若干职业技能等级证书”（简称 1+X 证书）制度试点工作。4 月，教育部等四部委联合印发《关于在院校实施“学历证书+若干职业技能等级证书”制度试点方案》（以下简称《试点方案》），重点围绕服务国家需要、市场需求、学生就业能力提升启动 1+X 证书制度试点工作。

一、1+X 课证融合实施过程中存在的问题及误区

“1+X”是学历教育和职业培训两个方面要素的对立统一，不是二者的简单叠加，而是经过“覆盖、强化、补充、拓展”等一系列处理后的深度融合。通过“1”与“X”的融合，即课证融合，将职业技能等级标准有机融入学历教育课程体系[1-2]，以能力本位为导向，完善职业院校人才培养评价标准，实现学历教育与职业培训之间“标准对应、内容融合、教学统筹、评价同步、成果互换”，从而提高人才培养质量。

随着 1+X 证书制度试点工作的不断推进，在课证融合实施过程中还存在着一些问题和误区：其一，学历证书教育与职业技能证书培训衔接存在问题，前者强调理论知识的体系化，后者注重技能操作的熟练度。如何实现两者的有机衔接是 1+X 证书制度下课证融合必须首先要解决的问题。其二，专业人才培养目标与规格仍然同行业实际用人需求存在错位，必将导致人才供求结构性矛盾无法得到根本解决。其三，由于没有准确把握“1”与“X”的关系，教学倾向容易从一个极端走向另一个极端，即由以往的单纯普教化向盲目技能化转变[3]。其四，现有教学模式与考核评价方式与职业技能培养要求不适应，教考分离落实不到位，专业教师既充当“教练员”又扮演“裁判员”，第三方技能等级认证考核体系不完善。其五，高水平师资

作者简介：李晶华（1969—），女，博士，天津职业大学汽车工程学院教授，研究方向为职业教育、机械工程、汽车电控技术。

基金项目：天津市“十三五”高等职业教育教学改革立项研究项目“高职专业行业服务能力与专业建设协调发展机制研究与实践”（项目编号：2018001）；天津市教学成果奖重点培育项目“汽车专业领域‘1+X’职业技能等级证书制度框架下人才培养模式的创新与实践”（项目编号：PYZJ-013）

队伍缺乏，专业教师暴露出的能力短板越来越明显。其六，在具体实施中还存在形式化和功利化倾向，部分试点院校过分追求通过率，考前突击强化练习考题，职业技能等级培训质量没有得到有效保证，同时在站点建设过程中盲目投入资金、购置设备，造成教学资源的浪费[4]。

为保证 1+X 证书制度实施成效，避免学历证书和职业技能证书“两张皮”现象的出现[5]，提升学生职业素养和技能，必须正确处理好“课”与“证”之间的关系，准确把握课证融合的内涵和意蕴，选择恰当的策略和路径促进专业课程教学内容与职业技能等级标准的有效融通。

二、1+X 课证融合的策略与路径

1+X 证书制度背景下的课证融合，是在证书试点过程中将“X”职业技能等级证书培训与学历教育中的专业教学同步进行，在课程体系构建过程中充分考虑职业岗位工作任务的相关要求，有效融合国家专业教学标准、职业技能等级标准、行业企业岗位标准以及国际先进技术标准，将“X”职业技能等级证书培训内容融入专业核心课程，不断提高学生的职业能力和适岗能力。

在具体实践中，各高职院校应始终以《实施方案》为纲领，以《试点方案》为指南，以社会评价组织制定的《职业技能等级标准》为参照，主动适应科技发展新趋势和人才需求新变化，深入开展“三教改革”，及时引入新技术、新工艺、新规范和新要求，完善人才培养方案，改革学历课程体系，优化专业课程内容，提升师资教学能力，提高校企协同水平。

（一）完善人才培养方案

人才培养方案是高职院校人才培养的纲领性文件。各高职院校应当以服务区域经济社会发展为中心，以办学特色和专业实际为基础，重新制定符合产业需求侧的人才培养目标与规格。通过岗位调研，确定职业能力，选取对应的职业技能等级证书，选择与专业融合的证书模块，将证书培训内容、知识与技能要求有机融入专业人才培养方案。依据国家专业教学标准，对接职业技能等级标准和行业企业岗位标准，引入国际先进技术标准，重新设计课程设置、教学进程安排、实施保障等要素，重构与职业技能证书相对应的课程体系，规范课程名称，优化教学内容，完成课程体系框架图及与职业技能证书的对应关系。通过培养学生获得本专业 X 证书，实现对学历教育的补充和强化；在此基础上鼓励学生获得职业领域内非本专业的 X 证书，实现职业技能的拓展和提升。

（二）改革学历课程体系

学历课程体系改革的重点是专业核心课程，以职业岗位工作任务为导向对原有专业核心课程内容进行整体化设计。根据本专业选择的模块等级证书，思考对应该模块的专业课程。对面向的职业岗位工作任务进行分析与解构，得到离散的知识点、技能点和素质要求[6]。在此基础上对其进行整合，合并同类项；同时考虑不同知识点、技能点和素质要求的关联性，重新排序。既要保证课程与课程间的有效衔接，又要避免课程的生硬割裂或内容重叠，重构专业核心课程，形成模块化课程[7]。针对本专业的不同就业方向设计不同的选修课程，从而开发多个分支的就业路径。

（三）优化专业课程内容

目前，人才供给结构性矛盾的根源在于三点：第一，学历教育阶段课程内容滞后于职业岗位技术发展；第二，学历教育阶段课程内容重理论、轻实践；第三，学历教育阶段课程内容不能满足职业岗位能力综合性和多样性的要求。1+X 证书制度背景下的课证融合要求各高职院校应遵循技术技能人才成长规律，对职业岗位工作任务进行分析，明确职业能力要求，开发以职业岗位知识点、技能点和素质要求为主体的课程内容[8]。根据岗位需要明确岗位技能，将岗位技能与普适性知识相融合，及时更新新技术、新工艺、新规范和新要求，优化课程内容。同时将行业规范、职业道德等元素融入到教学中，强化职业素养培养。

（四）提升师资教学能力

虽然很多高职院校都基于校企师资建立了“双师型”教师团队，但“双师型”主要体现在教师身份而非教学能力。教师教学能力还存在着严重的“平行线”现象：一方面，学校教师具备扎实的专业理论知识和职业教育理论，但不熟悉职业岗位的生产流程、标准和最新技术等，同时实践水平有待提高；另一方面，企业教师长期身处职业岗位一线，掌握新技术、业务技能熟，但受制于没有受过系统的师资能力培训，往往不能将教学内容以最优的形式和途径向学生讲授。为实现校企师资教学能力由“平行线”向“双绞线”转变，形成教学合力，各高职院校要以落实 1+X 证书制度为

着眼点,分析研究依据“X”证书职业技能等级标准开展教学对教学团队的能力要求,探索提升团队教师能力的实施路径。以校企合作、产教融合为主线,创新“双师型”教师队伍建设机制,密切与培训评价组织的联系,构建多方参与的协作共同体,通过学校教师入企实践、企业教师参与 1+X 证书师资能力培训等多种形式,提升“双师型”教师队伍的质量,深入推进“双元育人”。

(五)提高校企协同水平

高职院校和行业企业分别是 1+X 人才培养的实施主体和受益主体。深化产教融合,构建校企协同的育人共同体,有助于实现专业链与产业链、课程内容与职业标准、教学过程与生产过程的“三个对接”,有助于提升教师模块化教学能力、企业培训能力和科研服务能力,有助于引入企业办学理念、文化和教育资源,为 1+X 证书制度的实施提供人力、环境、硬件设施保障。各高职院校要以“1+X”培训与考核为契机,以培训与考核站点建设为纽带,密切与行业企业的沟通和联系,校企共同研讨制定符合职业岗位需求和学生学习规律的课程实施方案,开发基于岗位工作过程的实训项目与任务,紧密衔接校内实践教学模块内容与企业实践,对 1+X 证书实施成效进行评价与反馈,对出现的问题及时作出调整和改进。

三、1+X 课证融合的实践探索——以汽车运用与维修技术专业为例

天津职业大学汽车工程学院作为汽车运用与维修(智能新能源汽车)1+X 证书制度试点院校和汽车专业领域校企合作职业教育培训考核单位,不断探索融合方案的路径设计,深入推进 1+X 证书制度背景下的课证融合,将职业技能培训内容及考核要求融入汽车类专业人才培养方案[9],统筹基于 1+X 证书制度的专业课程体系建设,协同推进理论教学和实践教学相结合、学历教育与职业培训相融合。以立德树人为根本,以培养高水平复合型汽车类技术技能人才为目标,结合汽车专业领域 1+X 证书制度,将学历教育与职业培训一体化设计,学生在接受学历教育的同时参加职业技能等级培训与考核,获得相应模块等级证书,创新人才培养模式。

(一)对标职业技能等级标准,重新修订专业人才培养方案

国家专业教学标准是人才培养方案的上位概念,是国家对专业教学结果的分析式描述,其核心内容是职业能力标准,在职业教育人才培养中发挥着基础性和指引性作用。职业技能等级标准是由社会评价组织开发,各试点院校、培训单位开展职业培训和技能考核的规范性文件,对职业技能等级证书的基本技能要求、培训学时、考核模块与项目等作出规定。1+X 证书制度背景下的课证融合,首先要实现国家专业教学标准与职业技能等级标准的融合。依据国家专业教学标准,汽车运用与维修技术专业主要为汽车机电维修、汽车检测、汽车维修业务接待等岗位群培养汽车运用工程技术人员;北京中车行高新技术有限公司职业教育培训评价组织《汽车运用与维修(含智能新能源汽车)1+X 证书制度—职业技能等级标准》(简称《标准》)包括汽车运用与维修和智能新能源汽车两大领域共计 15 个模块的 40 个职业技能等级证书,对应 14 个高职专业,适用于 11 个工种的 28 个职业岗位。为畅通二者融合的路径,天津职业大学汽车工程学院多次组织校内外和行业企业专家深入研读与分析国家专业教学标准和职业技能等级标准,发掘两类标准在人才培养上的共性。针对本专业服务面向的不同职业岗位的工作内容及需求,对照《标准》确定典型工作任务和相应职业技能等级证书,选取“汽车动力与驱动系统综合分析技术、汽车转向悬架与制动安全系统技术、汽车电子电气与空调舒适系统技术、汽车全车网关控制与娱乐系统技术”等四个模块的中级证书作为学生学历教育期间技能培训与考核的内容,学生获取一个证书即可毕业,并据此修订专业人才培养方案,重新确立基于 1+X 证书制度并符合产业实际需求的人才培养规格和毕业要求,优化完善人才培养的知识、能力和素质指标,细化课程设置及要求、教学进程安排、师资队伍、教学设施与资源等要素(如图 1 所示)。

(二)解构原有专业核心课程,重构 1+X 模块化课程

依据国家专业教学标准课程设置要求,将专业人才培养方案的课程内容与“X”证书培训内容相互融合,按照“课程体系与等级证书对应,课程内容与考证标准对应”的原则,合理设置 1+X 模块化课程。以“课程—任务—技能点”的层级对原有专业核心课程逐级解构,构建专业核心课程技能点库(如图 2 所示)。在此基础上,根据当前汽车运用与维修行业岗位工作任务及技能要求,依据国家专业教学标准,对标中车行

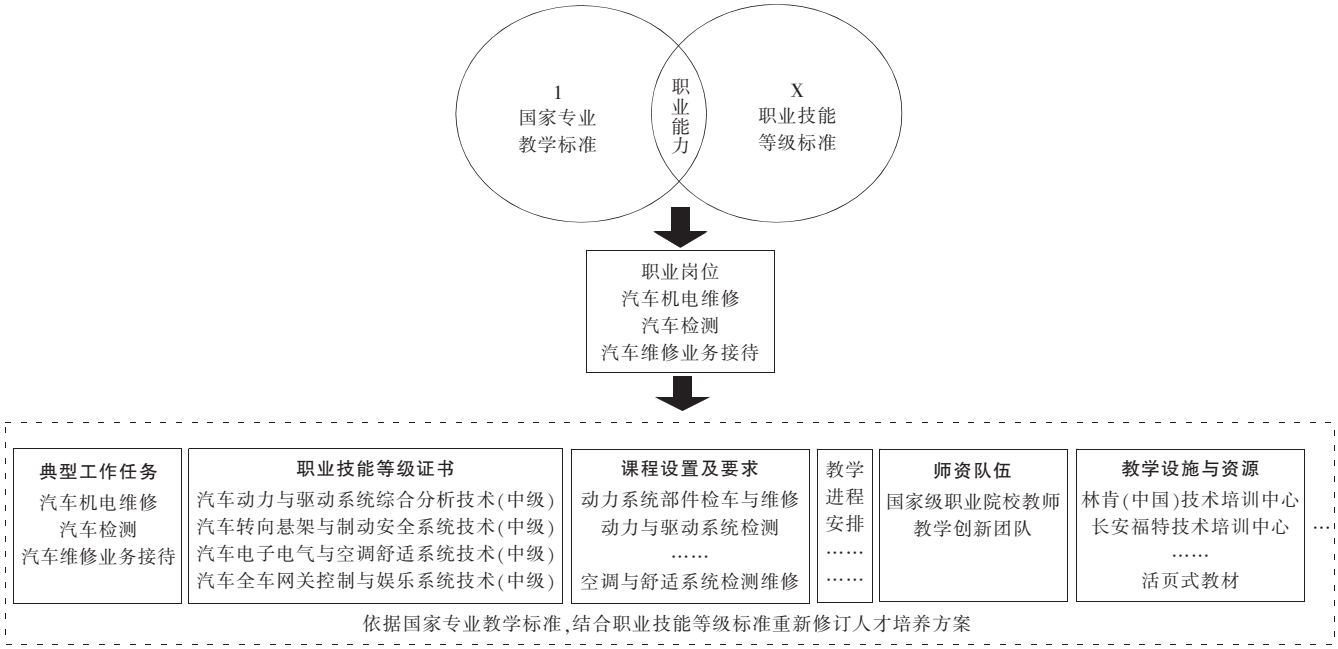


图 1　重新修订的专业人才培养方案(以汽车运用与维修技术专业为例)

职业技能等级标准，融入林肯/福特等合作企业的岗位标准,引入国际先进技术标准,对解构后的技能点进行“覆盖、补充、强化、拓展”等处理。原有技能点与“X”证书职业技能等级标准内容中的技能点完全一致则直接覆盖,补充原有技能点中缺少的新技术、新工艺、新规范、新要求,对已有的重要技能点进行强化和提升,同时进一步拓展职业领域、职业能力。将处理后的技能点重新组成若干个新任务,形成具备新职业技能标准的具有可追溯结构或系统属性的任务仓。将任务仓中带有属性的任务通过自身技能点与本专业所

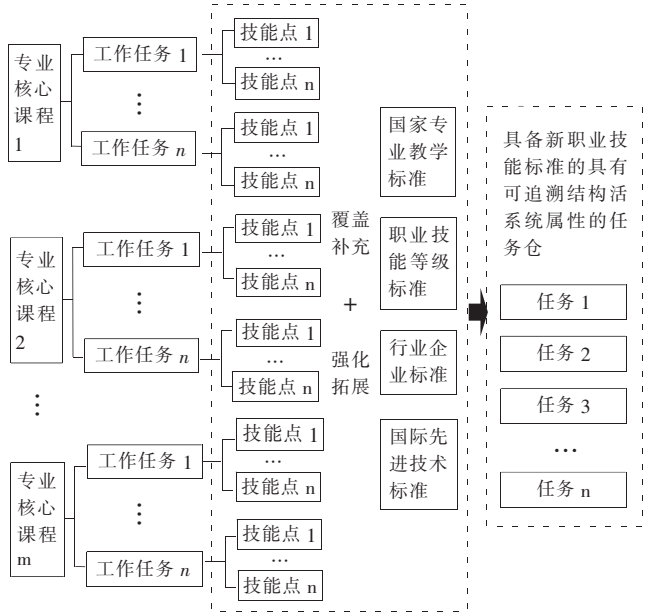


图 2　原有专业核心课程解构过程

选择的“X”证书包含的各工作任务技能点逐一对标,以相同或相近的职业技能点作为融合纽带,从而通过对标技能点实现对任务仓中的任务进行分类。在此基础上,将得到的具有相同或相近属性的任务合并同类项,多个任务合并后的任务群即为对应某个工作领域的模块课程(如图 3、图 4 所示)。最后,对重构后的模块课程重新设计教学任务,细化职业技能项目,明确完成该任务所需的知识、能力和素质要求,并根据岗位业务流程和学生认知规律序化教学内容。

(三)组建结构化教师团队,加强师资队伍建设,创新“师技共育共评”的教学模式

以国家级职业院校教师教学创新团队建设为契机,组建“模块驱动、校企协同、师技共融、互嵌共生”的结构化教师团队。依据汽修专业领域 1+X 证书模块课程面向的工作领域,由专业教研室主任统筹,选拔具有 5 年以上专业核心课程教学经历的骨干教师，与来自行业企业的产业导师(企业培训讲师/企业技术能手/行业名师等)优势互补,共同组建 8~10 人的结构化师资团队。在此基础上,根据模块化课程教学需要建设 2~3 个教学小组,每个小组至少配备一名产业导师。

以三个维度(专业、授课、课改)能力建设为中心,全面提升教师团队 1+X 培训与考核能力。多种途径加快补齐专业教师的专业能力短板,严格落实专业教师脱产下企业实践制度,在保障正常教学的前提下增加教师下企业实践的频次和数量,严把专业教师下企

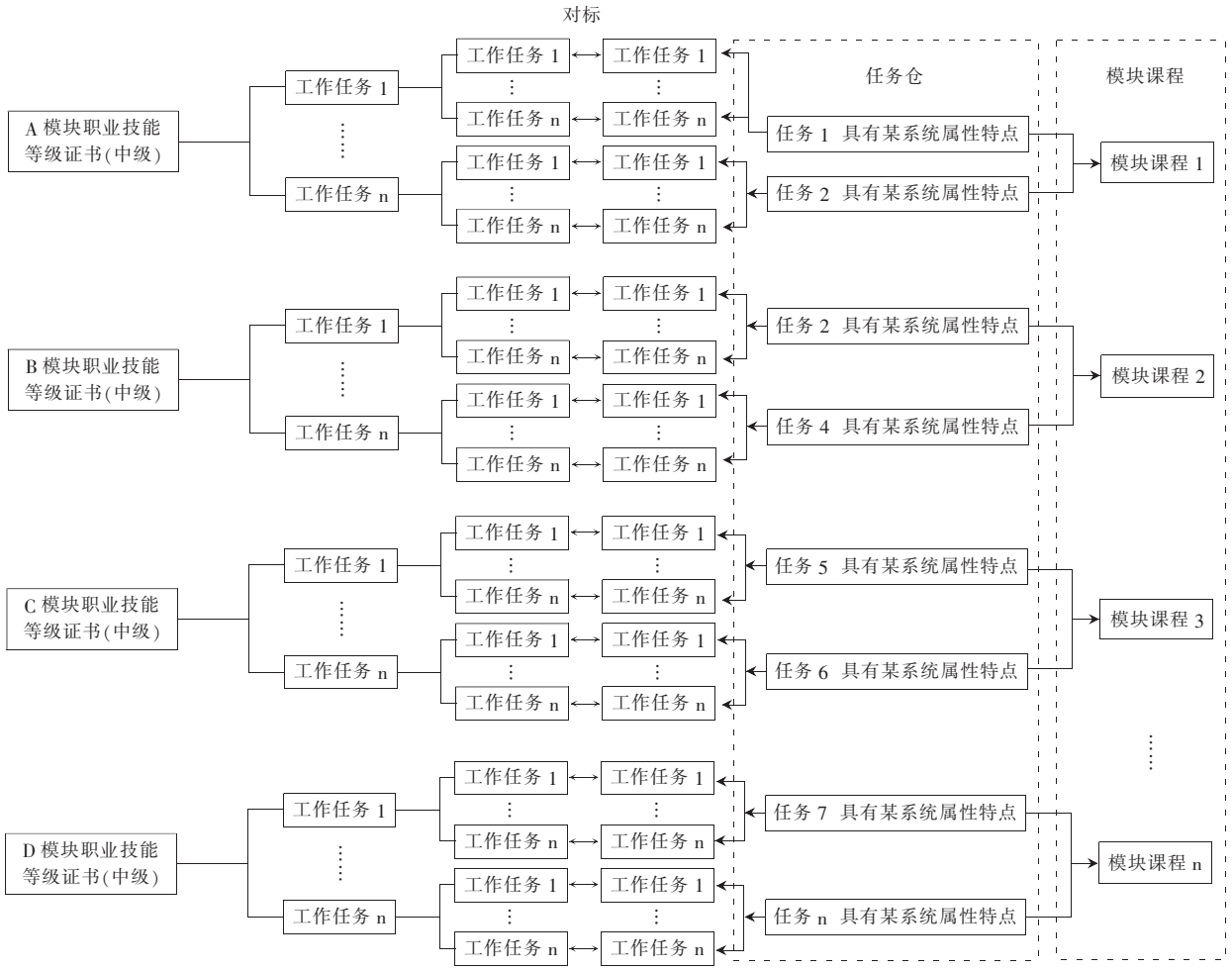


图 3 模块化课程重构过程

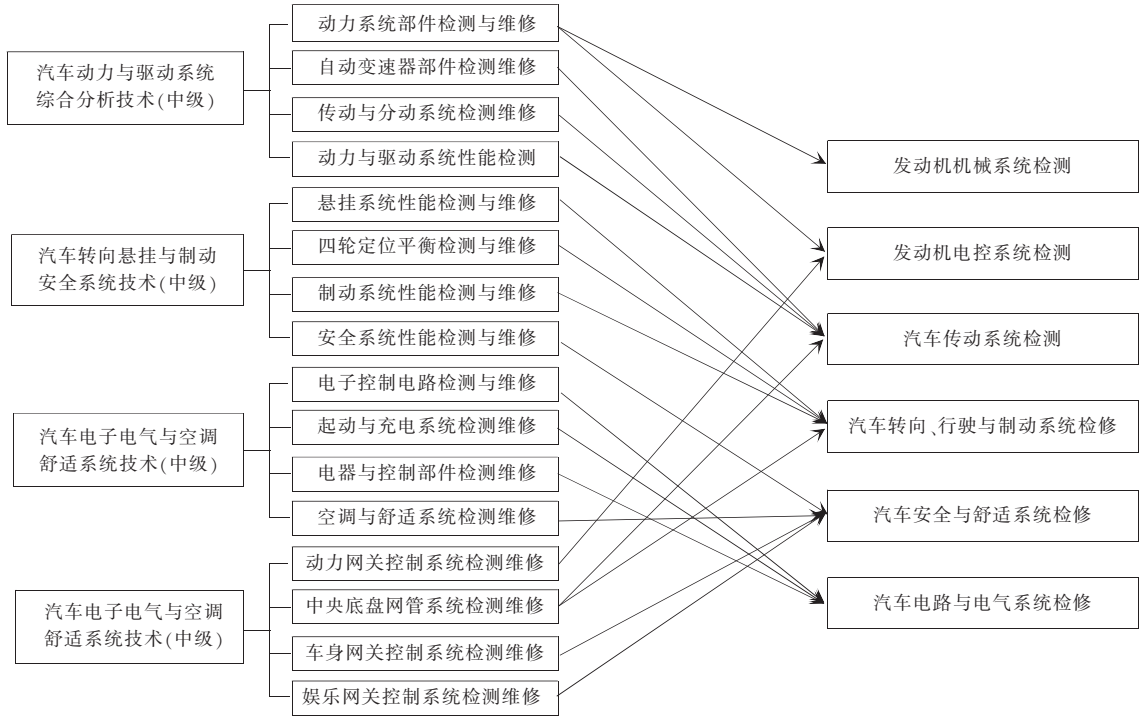


图 4 重构后的模块化课程(以汽车运用与维修技术专业为例)

业实践的质量关,实践结束后会同生产企业和学校人事部门共同对实践效果进行考核; 深化产教融合,依托校企合作项目,选派骨干教师接受合作企业的培训与认证,取得企业讲师资质;鼓励专业教师进入校企合作项目各类技术培训班听课学习,并与学校人事部门协调,将其纳入专业技术人员继续教育项目,计入相应学时,对表现优秀者给予奖励,激发专业教师的学习热情。突破时空限制,充分利用网络平台与资源,通过开设“职业教育学”“职业教育心理学”“信息技术应用”“教育测量与评价”等在线课程,邀请我院参加“高校青年教师教学基本功大赛”和“职业院校教师教学能力比赛”的获奖教师直播授课,提升产业导师的职业教育理论水平、授课能力与技巧。联合北京中车行高新技术有限公司邀请省级专家组成员,聚焦汽车领域 14 大模块, 依据能力本位教育模式深入推进师资培训,促进专业教师和产业导师全面掌握“培训课程与方案设计、教学教案课件设计、实训项目设计与考核、培训组织实施规范、课程资源开发与优化、技能等级标准优化”等内容,提升教师团队的课程开发能力,为 1+X 技能等级培训提供优质的培训师和考评员。

校企协作教学是实现 1+X 课证融合的重要途径[10],在实施中依据模块课程间教学内容的共性和关联性,结合专业教师与产业导师的专业特长,创新团队协作的“师技共育共评”教学模式。每门课程安排 4~5 名教师协同授课,根据教师身份(专业教师/实训指导教师/产业导师)和专业特长分配工作任务,每名教师承担 2~3 个工作任务,开展“一课多师,一师多课”的校企协作教学。产业导师通过提供汽车行业真实生产案例、直接参与工作任务教学、示范关键技能操作、指导学生技能训练、对学生技能训练视频规范性和熟练度进行点评等多种途径深入参与“X”模块课程教学,实现教师教学效能的最大化。

(四)改革教学模式,同步培训考核

专业核心课程教学全面实行 “学训交替循环”的教学模式。以《标准》中的“职业技能”为基本教学单元,理论教学与实践教学相互穿插、深度融合,学生学习完一项职业技能后立刻进行实操练习,避免因时效性而逐渐遗忘,提高运用理论知识解决实际工作任务的水平。将职业技能考核与学历教育专业课程考试统筹安排,同步考试与评价,畅通“1”与“X”学习成果互认路径。改革考核评价方式,重视对学生完成教学项目全过程的评价,采用过程性评价、阶段性评价与目标评价相结合的方式。强化过程性考核,关注学生知识接受和能力形成过程,重点考核学生课前预习任务完成情况、实训操作准备情况、技能操作规范和熟练程度、维修资料查找和使用情况等,同时关注学生的劳动意识、职业素养的养成情况。在专业教学进程中,于第 2、第 3、第 4 学期各安排 1 次终结性考核,第 3、第 4 学期各安排 1 次认证考核。终结性考核施行教考分离,理论考核试题由企业命题,学院教师负责实施;完善技能“双元考评”机制,实操考核由校企共同实施,全面测评学生综合能力的达成情况。

(五)升级汽车专业职教集团,继续深化产教融合

2017 年天津职业大学汽车工程学院联合 22 家职业院校和 14 家长安福特经销商成立了汽车专业职教集团。开展 1+X 证书制度试点工作以来,汽车工程学院充分发挥职教集团牵头单位和 1+X 证书大区工作办公室的引领作用, 主动对接 14 家长安福特经销商,推动“X”证书与企业技能等级证书互认互通,不断提高“X”证书的社会认可度。以职教集团下设的校企合作委员会和专业建设委员会为依托, 利用 2019 年度年会,聚焦提高人才培养质量和服务现代汽车服务产业链发展,讨论并建立了校企师资“双向流动、互培互学”机制,进一步拓展校外实训基地,规范学生顶岗实习,实现教学过程与生产过程的对接;不断吸收中国汽车技术研究中心、林肯(中国)和北汽新能源经销商等单位加入职教集团,优化多元合作育人平台。

以 “X” 职业技能等级培训与考核站点建设为契机,对照建设标准和职业岗位要求,校企双方认真分析 1+X 试点对实训条件的要求, 统筹利用现有各种类型的实训基地,共同完成实训设备整合与购置以及实训场地的规划、升级和改造,确保学历证书与职业技能等级证书实训体系之间的衔接。建立“X”证书质量监测与反馈机制,畅通试点院校、用人单位和学生向培训评价组织的反馈渠道, 深入分析学院 2019、2020 年汽修专业领域 1+X 培训与考核中出现的问题,促进培训评价组织调整完善证书培训内容与考核标准。升级校企合作关系,做好行业企业调研,了解企业用人诉求及职业岗位变化。以高职院校百万扩招为契机,与长城汽车公司共同探索基于“X”证书的企业员工培训:依据岗位工作任务,研究课程设置,提炼教学内容,并利用企业真实生产环境与案例,校企共建

精品在线课程和资源库。

1+X 证书制度是贯彻全国教育大会精神，以提升职业教育质量为主线，面对产业结构调整、行业技术更新和市场需求变化等新挑战，对我国职业教育体系进行的一项全新制度设计[1]。试点工作开展以来，天津职业大学汽车工程学院始终以建设汽车类人才培养新高地和汽车专业领域 1+X 证书制度示范平台为目标，不断探索与实践 1+X 证书制度背景下课证融合的实施途径，将职业技能等级证书的内容及要求融入专业人才培养方案，重构模块化课程体系，开发基于岗位真实工作任务的教学内容，组建校企合作结构化师资团队，创新“教师分工协作、师技共育共评”的教学模式，持续深化产教融合，推动校企行多元育人。同时，继续提升和完善教师教学创新团队，开发和升级紧贴科技发展与产业需求的实训项目，建设专业教学资源平台，服务于汽车专业领域职业教育的高质量发展。

参考文献：

[1]王雪琴.职业教育 1+X 证书制度的缘起、逻辑及其实施[J].职教论坛，2019(7)：148–149.

[2]马铮，龚福明.1+X 证书制度下高职院校课程体系重构探析——以汽车检测与维修技术为例[J].武汉交通职业学院学报，2019(4)：51–57，68.

[3]狄冬丰.“1+X”证书制度改革下电子商务专业人才培养问题与对策[J].绿色科技，2020(17)：241–242.

[4]张大林，高科，李玫.“1+X”证书制度下工业机器人技术专业课证融合探讨[J].职业技术教育，2020(26)：37–40.

[5]张盼盼.1+X 证书制度与人才培养方案的融合路径研究——以“动漫制作技术”专业为例[J].中国职业技术教育，2020(23)：45–50.

[6]蒋庆斌，陈小艳，周斌.工业机器人应用领域 1+X 证书体系构建研究[J].中国职业技术教育，2020(23)：41–44，50.

[7]郑根让，史志强，何成，等.1+X 证书制度下以书证融通重构专业核心课程体系[J].职业教育研究，2020(1)：12–17.

[8]张红英，杜方鑫.基于“1+X 证书”制度试点的汽车专业教学改革的探讨[J].黄冈职业技术学院学报，2019(5)：53–57.

[9]柯霜.1+X 证书制度下职业院校教师、教材、教法改革[J].河北职业教育，2019(5)：10–12.

[10]余彬.“大职教观”视域下职业教育 1+X 证书制度的实施[J].教育与职业，2020(11)：20–27.

[11]李虔，卢威，尹兴敬.1+X 证书制度：进展、问题和对策[J].国家教育行政学院学报，2019(12)：18–24.

（责任编辑：杨在良）

Exploration and Practice of the 1+X Course Certificate Integration in Automobile Repair Field

LI Jing-hua, ZOU Ji-quan, HOU Guo-qiang, LI Jiang-jiang

(*Tianjin Vocational Institute*, *Tianjin 300410*, *China*)

Abstract: *Vocational Education Reform Implementation Plan* proposed starting the pilot work of 1+X certificate system to promote the high-quality development of vocational education. The accommodation of academic certificate and professional qualification certificate is of great significance to improve the quality of personnel training and promote the reform of talent supply side. The integration of course and certificate is the key to the accommodation of academic certificate and professional qualification certificate. This paper analyzes the connotation and significance of 1+X certificate system, puts forward the strategy and path of the integration of course and certificate in higher vocational colleges, and then explores practices the integration of certificate course of automobile repair major and vocational skill level certificate in automobile field. It has certain guiding significance and practical value for the curriculum construction under the 1+X certificate system.

Key words: 1+X certificate; auto repair major; integration of course and certificate

牵引式小型钵体蔬菜移栽机的设计

范修文[1]，张云秀[2]，童飞特[1]，李传峰[1]

(1. 塔里木大学 机械电气化工程学院/现代农业工程重点实验室，新疆 阿拉尔　843300；　2. 天津职业大学，天津　300402)

摘　要：针对我国蔬菜移栽行业发展的现状和现有蔬菜移栽机存的投苗率低、伤苗率高及设备庞大等问题，设计开发了牵引式小型钵体蔬菜移栽机。该机型能满足农户的需求，提高作业效率，苗钵通用性强，并且移栽后行距、株距和直立度等性能良好。该小型蔬菜移栽机采用吊篮及鸭嘴装置移栽苗体，人工投苗，实现半自动移栽。该蔬菜移栽机在已经耕整过的土地上作业，无需开沟器，机型小巧灵活，设计结构合理，可实现多种蔬菜的移栽，为我国农作物移栽提供了技术支持。

关键词：蔬菜移栽；牵引式；小型钵体

中图分类号：S223.94　　文献标识码：A　　文章编号：1003-188X(2014)10-0131-04

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2014.10.032

0　引言

蔬菜是人们赖以生存的食物，能提供人体所需的维生素和矿物质。我国农业常年用种量在 125 亿 kg 以上，已成为继美国之后的全球第 2 大种子市场。其中，蔬菜常年用种量约 4 万 t 多，商品化率约为 60%，与世界水平还有一定差距，意味着我国蔬菜市场有着巨大的发展潜力[1]。

目前我国的移栽机发展处于起步阶段，尚不够成熟；又由于区域所使用的机械存在差异，对机械的要求也不同，同时生产商制造移栽苗钵存在差异，导致移栽机发展缓慢[2]。

因此，研究通用性牵引式小型钵体蔬菜移栽机具有十分重要的意义。我国市场上出现的小型蔬菜移栽机比较少见，而中等面积的蔬菜生产地又过多，使用机械移栽蔬菜将很大程度上缓解农户的压力，提高蔬菜移栽的效率，完全符合我国目前城市周边及农业蔬菜生产的行情[3]。

为此，针对现有蔬菜移栽机存在的投苗率低、伤苗率高及设备庞大等问题，设计了一种牵引式小型钵体蔬菜移栽机。设计出的移栽机株距和移栽深度稳定，并且移栽苗钵适应能力强，可以进行多种蔬菜的移栽，对移栽苗体的损伤低、直立度好，同时有很高的工作效率。

收稿日期：2013-11-11

基金项目：塔里木大学校长基金硕士项目(TDZKSSZD201205)

作者简介：范修文(1981-)，男，山东泰安人，讲师，工学硕士，(E-mail)fanwenwen-1@163.com。

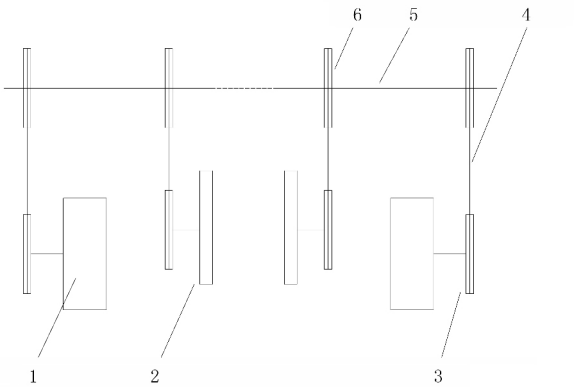
通讯作者：李传峰(1978-)，男，长沙人，副教授，(E-mail)xjtd78@163.com。

1　设计原理及机构

1.1　设计原理

1.1.1　传动原理

该小型钵体蔬菜移栽机实现固定株距的蔬菜移栽，所以使用链轮传递动力较为适合。图 1 为移栽机传动简图。移栽机的传动由拖拉机牵引，地轮在转动时使得链轮组 a 转动，将动力传递到主传动轴；同时，主传动轴与移栽器通过链轮组 b 传动，这样便完成了整个移栽机的二级传动方式。其中，通过更换链轮组 a 的齿数，可以改变地轮与移栽器的传动比，从而改变株距。



1. 地轮　2. 移栽器　3. 链轮组 a　4. 链条　5. 主传动轴　6. 链轮组 b

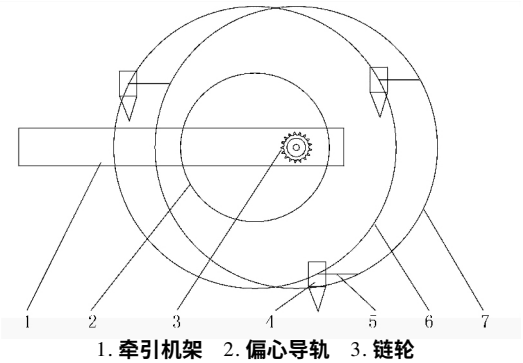
图 1　移栽机传动简图

1.1.2　移栽器工作原理

图 2 为移栽器结构简图。牵引臂固定在机架上，机架在小型拖拉机牵引下向前做直线运动，同时移栽器圆盘在链轮带动下做圆周运动。移栽器圆盘由偏心圆盘和主动圆盘构成，保持同角速度圆周运动；曲柄机构连接在主动圆盘与偏心圆盘上，构成平行连杆

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

机构，随其做圆周运动；吊篮铰接在曲柄上，故吊篮在运动时始终保持垂直于地面。吊篮运动到上方时，人工将苗体投入吊篮中，当吊篮运动至接触地面，与吊篮连接在一起的鸭嘴在两侧凸轮作用下强制开启；鸭嘴在吊篮最低点开口最大，苗体此时已落入穴中；吊篮继续运动，在鸭嘴将出地面时，鸭嘴开口保持最大一段时间，苗体完全脱离鸭嘴后，在两侧凸轮及鸭嘴上的弹簧作用下，鸭嘴缓慢闭合，在吊篮在与牵引臂平行处完全闭合。吊篮再次运动到上方时，人工进行投苗，完成一次循环（注：图 2 中吊篮数量不代表实际情况，吊篮数量应根据设计选择）。

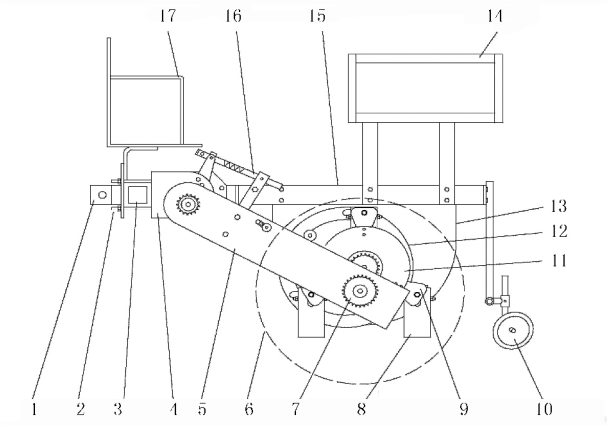


1. 牵引机架　2. 偏心导轨　3. 链轮
4. 吊篮　5. 曲柄机构　6. 主动圆盘　7. 从动圆盘

图 2　移栽器结构简图

1.2　总体设计

小型蔬菜移栽机结构示意图，如图 3 所示。



1. 牵引点　2. U 型螺栓　3. 悬挂横梁　4. 横梁与地轮架连接件
5. 地轮架　6. 地轮　7. 链轮　8. 鸭嘴　9. 凸轮　10. 覆土镇压轮
11. 吊篮主圆盘　12. 吊篮偏心圆盘　13. 挡板　14. 放苗架
15. 牵引臂　16. 移栽深度调节丝杠　17. 座椅

图 3 小型蔬菜移栽机结构示意图

蔬菜移栽机是一种组合式装备，由牵引架总成、地轮总成、移栽器总成、放苗架总成及覆土镇压轮总成组合而成。

牵引架总成由悬挂横梁、悬挂与拖拉机连接机构、地轮总成与悬梁连接机构、移栽器总成和悬梁连接机构组成，其各部分零件均与悬挂横梁通过 U 型螺栓固定。

地轮总成由地轮、地轮轴和地轮机架组成。地轮轴端有链轮进行动力传动，通过改变地轮上的链轮齿数，即可改变移栽机传动比，从而改变株距。地轮机架上端为移栽深度调节装置，其主要部分为丝杠。通过旋转丝杠可以改变悬挂横梁与地面的相对高度，从而改变移栽器与地面的相对高度。

移栽器总成由牵引臂、移栽器挡板、移栽圆盘、偏心圆盘、曲柄连杆机构、凸轮、鸭嘴和弹簧等组成[4]。移栽器整体固定在牵引臂上，可随拖拉机向前运动。移栽圆盘与移栽轴固定，移栽轴端有链轮，地轮传递动力至主传动轴后，再由主传动轴传递到移栽轴的链轮上，从而完成整个移栽器的传动。

放苗架与牵引臂通过螺栓固定在移栽器后上方，作业人员可在座位上取苗；放苗盘上下面均为有一定厚度的铁皮板，与脚架焊接为整体；放苗盘与放苗支架通过螺钉连接，调整行距时同时调整螺钉即可。

覆土镇压轮总成在牵引臂末端，由覆土连杆、连杆套管、橡胶轮连杆、橡胶轮组成。通过覆土连杆套管上的拧紧螺钉，可调整橡胶轮连杆的上下位置及角度，从而满足移栽覆土的需求。

该机主要技术参数如下：

外形尺寸/mm：1 445×1 478×1 245

挂接方式：三点悬挂

作业行数/行：2

移栽株距/mm：340 ~ 400（可调）

移栽行距/mm：350 ~ 500（可调）

移栽深度/mm：40 ~ 120（可调）

作业速度/m · s^{-1}：0.2 ~ 0.4

配套动力：10kW 以上的拖拉机

2　关键部件设计

2.1　吊篮数及传动比的确定

2.1.1　吊篮数量的确定

吊篮运动是由机车牵引向前的直线运动和吊篮绕吊篮中心的圆周运动复合而成的。以吊篮圆盘中心为原点，前进方向为 X 轴，竖直方向为 Y 轴，建立直角坐标系，可求出吊篮水平速度，则

$$V_x = V_{车} - R_{盘}\omega\sin(\omega t)$$

其中，$V_{车}$为机车行驶速度，$R_{盘}$为吊篮旋转半径，ω 为主动圆盘转速。

令 $\lambda = \dfrac{R_{盘}}{V_{车}}$，根据零速投苗原理[5]，并按实际情况，取 $\lambda > 1$，保证鸭嘴在出土时苗钵离开鸭嘴。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不考虑其他状况，机车速度 $V_{车}=\frac{f}{60}S$。其中，f 为移栽频率，S 为移栽株距。带入 $\lambda>1$，整理得

$$N<\frac{2\pi R_{盘}}{S}$$

设计吊篮旋转半径及移栽株距，即可计算出最佳吊篮数量。

2.1.2　传动比确定

总传动比 i 与吊篮数量 N、地轮半径 $R_{地}$ 和移栽株距 S 存在着固定的关系，则

$$i=\frac{\omega}{\omega_{地}}=\frac{2\pi R_{地}}{NS}$$

当吊篮数量、株距及地轮半径选取后，总传动比范围即可确定。此后，通过改变地轮轴上的链轮与主传动轴上的链轮齿数，从而改变传动比，亦可在一定范围内调整株距。

2.2　凸轮设计

2.2.1　凸轮导轨的角度的设计原理

凸轮导轨的角度控制移栽器投苗点，确定投苗时机。吊篮在圆盘上绕自身中心旋转，鸭嘴通过螺栓连接在吊篮上，由其运动过程可知，凸轮导轨为一圆弧。该圆弧分为 3 段，分别对应鸭嘴有闭合至张开，张开最大并保持一段，此后为逐渐闭合。

如图 4 所示，吊篮随移栽圆盘做圆周运动。A 点开始投苗，鸭嘴张开；至 B 点开口最大，并保持至苗钵脱离鸭嘴；最后，至水平处完全闭合。

如图 4 所示，其移栽深度最小为 H_2，此时鸭嘴对应的开口点为主动圆盘上的 A 点，最低点为 B 点，转过角度为 α，根据三角函数关系有

$$\alpha=\arccos\frac{R_{盘}-H_2}{R_{盘}}$$

同理，当移栽深度最大为 H_3，鸭嘴最低点至出土时，其圆盘对应的角度 β 为

$$\beta=\arccos\frac{R_{盘}-H_3}{R_{盘}}$$

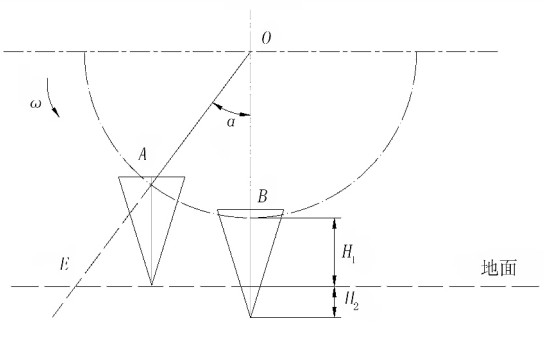


图 4　吊篮投苗简图

2.2.2　凸轮导轨偏移量的设计原理

如图 5 所示，鸭嘴通过螺栓连接吊篮上，可绕 O 点转动。鸭嘴闭合时，小轮外侧下端与吊篮自身旋转中心垂直距离为 S_1，鸭嘴张开时，张开角度为 γ。鸭嘴张开时小轮外侧上端与吊篮自身旋转中心垂直距离为 S_2；闭合时，鸭嘴小轮外侧上端与张开时鸭嘴小轮下端竖直偏移距离为 Δx。

鸭嘴小轮外侧与凸轮导轨接触（如图 5 所示），则有 S_1 长度等于凸轮导轨内侧圆弧半径长度，S_2 长度等于凸轮导轨外侧圆弧半径长度，鸭嘴小轮偏移距离 Δx 等于凸轮导轨高度。

在设计凸轮时，鸭嘴张开角度 γ 至最大时，需保证苗钵能够从鸭嘴开口处脱离。蔬菜苗钵一般为倒圆锥体，底面圆半径为 R_1，顶面圆半径最大 R_2，高最大为 H。图 5 中，鸭嘴张开后与闭合时鸭嘴底端偏移距离为 L_1，闭合时鸭嘴底端离地面高 L_3 处时与其张开后偏移距离为 L_2，则需满足条件为

$$\begin{cases}L_1>R_1\\L_2>R_2\\H>H\end{cases}$$

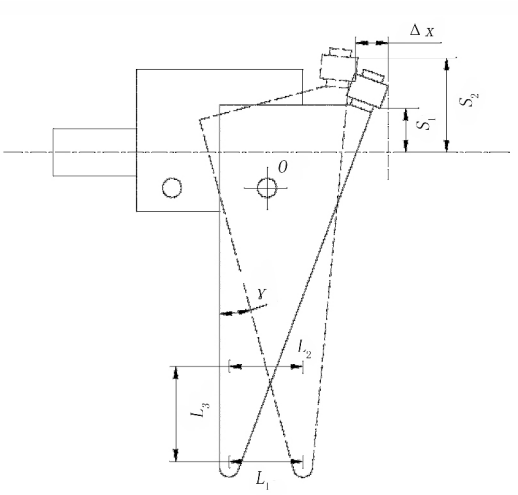


图 5　鸭嘴张开简图

2.2.3　凸轮轨迹的合成

凸轮结构如图 6 所示。由图 6 可知，平面中凸轮导轨由内侧 DH 段弧线与外侧 AF 段弧线构成，DC 段弧线对应图 4 中 α 角度，CG 段弧线对应图 4 中 β 角度，GH 段弧线对应图 4 中鸭嘴在最后闭合的角度。

通过改变凸轮导轨弧面与凸轮底面的高度，控制鸭嘴开口大小。由于凸轮导轨面比较复杂，故简化其设计。按照图 6，弧线 AB 与弧线 DC 相对凸轮底面为上升，组成一个简单曲面，两侧凸轮挤压左右鸭嘴上的小轮，鸭嘴开口逐渐变大；弧线 BE 与弧线 CG 在一平面上，相对凸轮底面距离最大，即鸭嘴上的小轮相

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对原始位置竖直的偏移距离最大 Δx，鸭嘴开口最大；弧线 EF 与弧线 GH 相对凸轮底面距离为逐渐减少，组成一简单曲面，导轨曲面挤压鸭嘴小轮，使鸭嘴小轮竖直偏移距离越来越小，并且左右鸭嘴在弹簧下作用下回复至闭合状态。

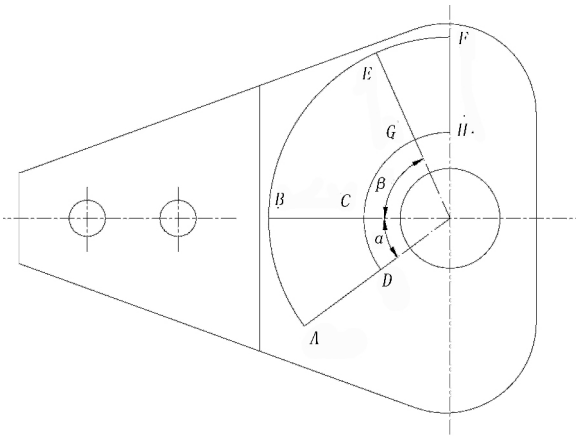


图 6　凸轮结构简图

3　结论

1) 该小型蔬菜移栽机能实现移栽行距、株距的调整，并且移栽后的苗体直立度良好，符合蔬菜移栽行业的需求。

2) 该小型蔬菜移栽机通用性能强，可移栽番茄、辣椒、黄瓜苗等多种农作物，适用性强。

3) 该小型蔬菜移栽机作业效率较好，比普通人工移栽效率提高 3 ~ 5 倍，移栽行距、株距稳定，移栽深度波动不大，能提高农作物的产量。

4) 苗体损伤少，成活率高，当机车速度适中时，其漏栽率较低，且人工投苗的劳动强度不大。

参考文献:

[1] 王君玲，高玉芝，李成华. 旱地钵苗移栽机械化生产的现状及发展趋势 [J]. 农业机械化与电气化，2003(5)：5-6.

[2] 赵金仓，史俊东，梁哲军，等. 棉花机械化育苗移栽农艺指标的确定 [J]. 山西农业科学，2003(24)：20-21.

[3] 陈新昌，李祥付，王万章. 育苗移栽存在的问题和典型制钵机介绍 [J]. 农机使用与维修，2007(1)：30.

[4] 武科，陈永成，毕新胜. 几种典型的移栽机 [J]. 新疆农机化，2009(3)：12-14.

[5] 何扬清，尹文庆，章士秀. 3 种旱地移栽机栽植器的性能分析 [J]. 安徽农业科学，2006(24)：6722-6725.

[6] 周德义，孙裕晶，马成林. 移栽机凸轮摆杆式扶苗机构设计与分析 [J]. 农业机械学报，2003，34(5)：57-60.

The Design of Traction Type Small Pot Body Vegetable Transplanting Machine

Fan Xiuwen[1], Zhang Yunxiu[2], Tong Feite[1], Li Chuanfeng[1]

(1. College of Mechanic and Electrical Engineering/Key Laboratory of Mordern Agricultural Engineering, Tarim University, Alar 843300, China; 2. Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300402, China)

Abstract: Taking into account the present situations of the vegetable transplantation, the machine issues such as low seeding rate, high seedling injury rate, large volume of the machine, this paper is aimed to design and develop small-type tractor bowl transplanter, which can meet the need of farmers, improve the operation efficiency, possess high versatility of seed bowl, and the seeds show acceptable line spacing, vertical spacing and so on. It will transplant seeds by suspended basket and duckbill device, together with artificial seeding, which marks the semi-automatic transplantation. In terms of the components, it consists of assembly of traction frames, ground wheels, transplanters ,seed racks, gratifyingly, it has been operated on the prepared soils without furrow opener, because of the compact and flexible design, reasonable structure, it can transplant a variety of vegetables, supporting crop transplantation at home technically.

Key words: vegetable transplantation; traction-type; small pot body

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

浅谈机械制造过程中的绿色制造技术

谢学浩

（天津职业大学天津汇通精密机械有限公司，天津　300410）

摘　要：当前我国的机械制造领域非常注重绿色制造技术的应用，绿色制造技术不仅可以促进资源的节约和环境保护，同时也可以优化企业的建设成本，推进制造业产业结构的创新与升级。针对当前绿色制造技术在我国机械制造业领域的应用进行阐述，对机械制造业的进一步发展提出策略，以推动制造企业实现经济效益和社会效益的统一。

关键词：机械制造；绿色制造技术；应用

中图分类号：TH162　　**文献标识码：**B　　**DOI：**10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2021.12D.87

0　引言

在我国经济发展的不断推动下，传统的机械制造模式已经无法适应时代发展的需要。在我国现代机械制造业的发展过程中，非常注重提高资源的利用率并且要以环境保护为发展的基本任务，也就是说，在机械制造的过程中应用绿色制造技术可以更好地贯彻我国保护环境的基本国策，而且通过使用绿色制造技术可以推进制造业产品质量的提高，进而为我国机械制造业的持续健康发展注入无限活力。

和标准安装空调冷却系统的设备和相关附件，以最大程度地减少能耗，并需要减少设备安装和运行过程中的能源消耗[1]。

4.3　确保空调制冷系统的附件设计标准化

由于空调制冷系统的设计水平直接决定节能和环保效果的水平，因此设计人员应根据标准使用少量投资和能耗设计的附件。空调制冷系统的设计师需要不断提高节能和环保意识，并将这种意识应用于空调制冷系统的不断开发和设计研究中[2]。

5　节能环保技术在暖通空调中的应用措施

5.1　做好暖通空调制冷系统设计规划

暖通空调主要负责室内空调的温度，还可以保持环境温度恒定，此过程必须通过能耗来完成。首先，必须仔细考虑建筑物的微观经济环境，并考虑建筑物的位置、方向和距离，合理地对太阳能的最佳利用，以及考虑相关的地形和辐射。窗户和建筑物表面会影响建筑物的热性能，因此应采用高热量的材料设计，以避免空调加热产生不必要的热量损失，降低空调能耗[3]。

5.2　技术与设备的有机结合

节能技术不仅体现在空调供暖系统的设计实施中，还体现在空调制冷系统的实施中。将设备作为重要的载体工具与环保和节能技术相结合，可以更好地应用环保节能技术。热力空调系统是变频技术和多循环技术的结合，是我国最常用的系统之一，并已在相关领域得到推广。在现代供暖和空调系统中使用技术和设备组合可以有效扩展产品范围，不仅可以控制功耗，而且可以解决电压不平衡问题[4]。

5.3　优化使用空气源热泵

在对环境有益的空调制冷系统的实际应用中，应注意空气源热泵的最佳使用，它具有室内制冷和室内供暖功能。室外空气源热泵在冬天可以提供热量，并且主要使用电力。外部空气的转化不会污染环境，空气源热泵已成为将煤转化为电的重要选择。在加热状态下，空气源热泵的 COP 可以达到 3。在室外温度不断升高的情况下，COP 值将相应增加，从而发挥更大的节能效果。特别是在应用新技术之后，在低于 15 ℃的环境中 COP 值可能会超过 2.0。目前，华北地区广泛使用气源热泵蓄热或辅助加热结合气源热泵+太阳能集热器的方式。

5.4　新风预处理系统

新风空气预处理系统主要用于湿式空气预处理系统和余热回收空气预处理系统，两者均满足实际应用中湿度控制的环境要求。根据应用可以有效控制加热和空调的冷却，同时可以通过控制能量避免冷热补偿。由于可以单独控制温度和湿度，因此可以提高整体调节的精度。新风收集和热回收预处理系统主要用于控制系统环境中的湿度和冷却，精确控制空调系统。

5.5　空气源热泵在供暖和空调制冷系统中的应用

在冷却周期的影响下，空气源热泵可以在夏季高温时通过吸收外界空气中的冷气来冷却房间，吸收外界空气中的热量来加热房间。冬季气温较低时，作为空气源热泵的原动力的电能比传统的电加热更有效，因为它在冷热传递中不会污染环境。

6　结束语

综上所述，环保节能技术在暖通空调制冷系统中的使用具有非常突出的重要价值，有益于环境保护和提高经济效益。

参考文献

[1] 史源源.暖通空调制冷系统中的节能环保技术分析[J].应用能源技术，2020(4)：34-38.

[2] 曹晓梅.浅析暖通空调制冷系统中的环保节能技术[J].建材与装饰，2019(32)：232-233.

[3] 郭坤.浅析暖通空调制冷系统中的环保节能技术[J].居舍，2019(23)：61.

[4] 田家乐，解卫东，杨薇，等.探究节能环保技术在暖通空调系统中的应用[J].科技风，2019(18)：135.

〔编辑　高　晓〕

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 机械制造过程中绿色制造技术的应用

1.1 采用智能化生产工艺

机械制造的过程中，应该摒弃传统的生产工艺，使用智能化的生产工艺。在我国经济迅速发展的过程中，传统的工艺生产已经无法适应时代的需要，很多传统的生产工艺是在破坏环境的基础上进行智能化的生产，与我国现在的基本国策不相符合。所以将智能化生产工艺应用于目前的机械制造领域是大势所趋。首先，企业应不断提高自身的技术发展水平，通过引进先进的生产设备来提高自身的生产力。其次，企业应通过学习国内外的先进生产工艺来革新自身的旧有的生产工艺，进而提高自身的综合竞争力。以两段式自动化油压管料成型机为例，企业通过应用这种生产模式，不仅可以提高制造产品的质量，而且可以提高企业的生产效率。通过自动化的生产模式，解放生产人员的双手，不仅可以保障生产的安全，还可以减少误差的产生。

1.2 应用绿色材料

近些年来，我国大力贯彻落实资源节约和环境保护的基本国策，绿色化的工业制造生产成为制造企业必须遵循的原则。一方面制造企业要使用绿色的无污染、无公害的生产建设材料，确保机械制造工程的高效率性和环保性。另一方面，企业在生产的过程中也应合理利用绿色材料资源，提高生产资源的利用效率、减少资源浪费，也有利于企业的可持续性生产。由此可见，在机械制造的生产过程中，应用绿色材料，不仅可以提高机械制造业的生产效率，也可以提高制造业产品的质量水平，推进企业的发展，更加适应目前社会主义市场经济的发展要求，提高其市场竞争力。

1.3 绿色加工技术的应用

在我国当前的机械制造行业，切割加工的技术常伴随着空气污染、废物排放污染等，而随着新科技时代的到来，绿色的切割加工技术的应用十分必要。目前新兴的绿色切割加工技术可以采用高温切割、低温切割的方式，这不仅推进企业生产效率的提高，也促进了产品质量的提高。除此之外，在机械制造企业不断地使用绿色加工技术的过程中，制造工人的工作环境不断得到改善，工人的工作安全得到了保障，同时也减少了对空气的污染和环境的破坏，推进了资源的合理利用，从一定程度上贯彻落实我国保护环境和资源节约的基本国策，使机械制造企业不断地实现可持续健康发展。

1.4 振动消除应力法的应用

机械制造企业在进行工业化生产之前，会将生产时所需要的材料进行特殊化处理，在建设材料得到合理的处理以后，生产材料才可以满足机械制造的需求，保证机械生产的正常运行。传统的处理材料的方法通常采用减少材料热力的热时效法，尽管这种方法可以使材料很好的适应生产的需要，但会使得材料失去本身的性能，尽管材料已经适应了机械制造生产的过程，但是却无法发挥自身的功能，造成了社会资源的浪费，并增加了企业的建设成本。而当前机械制造业如果应用振动消除应力法，不但可以减少材料的应力，而且还会提高机械制造业的工作效率。如果材料的应力减小，材料和机械制造的匹配度就会更高，良好的材料的匹配度更有利于提高材料的利用率，并且推动企业产品质量的提高。

1.5 对机械产品进行绿色化处理

在机械制造生产过程中，不可避免会出现质量不符合标准的产品，这就要求机械制造企业对制造产品进行合理的处理，将废弃产品通过降解处理、废物利用等手法进行处理，从而减少其对于环境的破坏。除此之外，制造企业还应该提高机械制造设备的利用率，通过延长器械的使用寿命，减少资源的浪费，这样将更有利于我国建设资源节约型和环境友好型社会。在制造企业生产出产品以后，制造企业对于产品的包装也应该给予极大的重视。如果制造的产品通过科学绿色的包装，将更有利于企业进行绿色发展。而且可降解的包装材料也不会对环境造成过大的负担，所以企业在使用绿色包装材料的过程中，不仅会因为绿色的包装成本低而收获经济效益，也会不断地获得环境效益，促进环境的保护。

1.6 再制造技术的应用

我国机械制造生产过程中对机械设备的要求较高，工业生产对机械设备的损害较大。再制造技术就是指将生产过程所废弃的机器进行资源的再利用，通过合理的技术将废旧的机器重新投入生产之中，不仅提高资源的利用率，而且可以推进机械制造业进行绿色生产。但是需要机械制造企业注意的是，在进行机器设备的再制造过程中，如果废旧的设备已经完全无法投入生产，企业就应该合理的处理废旧的机器。如果质量不符合标准的机器应用到产业制造之中，产生的后果将十分严重。

2 提升机械制造过程中绿色制造技术水平的策略

2.1 推进绿色制造技术的研发与创新

制造企业如果想要提升自身应用绿色制造技术的水平，就需要不断地推进绿色制造技术的研发与创新。在经济快速发展的大背景下，工业生产得到了更广阔的发展空间。与此同时，社会对于工业制造技术的要求和质量水平的要求也逐渐提高。这也从侧面说明了制造企业如果想要提高自身的工业生产水平，推进绿色制造技术的研发与创新是十分必要的。首先，企业要不断地学习国内外的先进科学技术和生产经验，以此来创新升级自身的绿色制造技术。绿色制造技术的水平提高，不仅可以满足绿色生态的要求，而且还可以促进制造企业获得更高的经济效益。其次，企业要通过校企合作的方式，不断地培养优秀的科学技术人才，只有制造企业不断建立人才队伍，才可以推进绿色制造技术的创新与升级。人才是企业发展的基础和决定力量，所以加强对于人才的培养力度，更有利于推进技术的升级与创新，以适应生产力的发展。

2.2 建立合理的监督体系

良好的绿色制造技术的实施，离不开合理的监督体系对于技术的监督。首先，制造企业需要进行合理的自我监督，通过在企业内部设置监督管理机构，对于企业日常的生产环节中技术的使用进行合理的监督。其次，社会要加强对于企业制造生产技术监督，只有设置严格的企业生产规范，才可以保证企业的生产有条不紊的进行。最后，群众也要对于企业的生产进行合理的监督，对企业的生产提出更高的要求，使机械制造业在生产的过程中不断提高自身的技术水平，在提高产品质量的同时，也可以满足绿色社会发展的要求。由此可见，社会、群众加之企业自身的监督，可以有效地提高企业的生产技术水平，推进企业生产效率和绿色制造技术水平的提高。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浅谈绿色建筑中的设备节能要点

殷宇航
（潍坊市建筑设计研究院有限责任公司，山东潍坊　261205）

摘　要：随着绿色建筑概念的兴起，给排水系统节水节能技术引起了广泛的关注。给排水系统节水节能技术是实现绿色建筑的关键环节。分析传统给排水系统在水资源利用和能耗利用方面存在的问题，结合现状指出给排水系统实现节能降耗仍需发展完善的技术与措施。

关键词：绿色建筑；给排水系统；节水节能技术
中图分类号：TU201.5　　**文献标识码：**B　　**DOI：**10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2021.12D.88

1　研究背景

1.1　绿色建筑

在我国，建筑业能耗约为全国总能耗的 1/3[1]。随着人们环境保护意识及可持续发展意识的增强，绿色建筑的概念引起了广泛关注。绿色建筑技术，旨在建筑全寿命周期内、提高资源（能耗、土地、水、建筑材料）利用效率，进而在提供高品质建筑体验的同时，减少对环境的负面影响[1-2]。

1.2　建筑给排水系统

建筑给排水系统是建筑工程中的重要环节，它贯穿建筑项目的施工阶段和使用阶段。建筑给排水系统主要包括建筑给水系统、建筑排水系统（含雨水以及污水、废水）、消火栓给水系统、自动喷淋灭火系统、景观系统、热水系统、中水系统等[3]。建筑给排水系统的主要作用是实现建筑内部的给水及排水，其基本目标是保证建筑使用者的正常使用。

1.3　绿色给排水系统

绿色给排水系统是指节能节水的给排水系统，它是实现绿色建筑的关键分支[4]，其重要意义主要有以下 2 个方面：

（1）绿色建筑倡导对建筑能耗的高效利用，而建筑给排水系统所需要的能耗在建筑所用总能耗中的比重呈逐年上升的趋势。因此，实现节能给排水系统是实现绿色建筑的基础。例如，建筑使用者的生活热水一项所带来的给水能耗，就占到建筑能耗的 1/3 左右。

（2）资源高效利用是绿色建筑的另一个目标，而建筑给排水系统是影响建筑水资源利用的主要系统[5]。因此，实现节水的给

2.3　推进绿色制造技术激励机制的建立

在企业应用绿色制造技术时，如果想要提高绿色制造技术应用的质量和水平，就要不断推进企业的人才队伍建设。而人才队伍建设水平提高的主要动力就是通过人才激励机制的建立。企业可以通过设计合理的奖惩制度，对为制造业做出卓越贡献的人才予以奖励，进一步提高工作人员的工作积极性，从而推进企业的进一步创新升级。除此之外，政府也应该加强宏观调控，通过放宽政策，降低市场准入门槛，鼓励机械制造业应用绿色制造技术，这样不仅可以推进企业的绿色生产，也可以进一步推进我国资源节约型和环境友好型社会的建立。

2.4　促进绿色制造与产学研的结合

我国进行的机械制造业应用绿色生产技术的根本目的在于要提高企业的生产力，并且提高资源的利用效率，在节约生产成本的同时，也要加强环境保护和资源节约。再制造企业进行绿色生产时，离不开与产品的研发、产品的实际应用与产品的推广相结合。这也说明在企业发展生产的过程中，要不断加强绿色制造技术的科研力度，并将技术投入到生产的过程中，使其可以满足生产的需要，推动我国生产力的发展。除此之外，机械制造行业在应用绿色生产技术的过程中，要加强校企合作与环保部门的合作，只有通过不断加大绿色产品的推广力度，并且扩大绿色产品的生产规模，才可以进一步提高企业生产的质量和水平，而且在保证企业生产效率的基础上，使企业获得更好的经济效益。

3　结束语

科学技术的发展为我国的机械制造提供强大的推动力，但是机械制造不能以牺牲环境为代价，要在符合我国资源节约和环境保护的基本国策的基础上进行。这也就说明在机械制造过程中应用绿色制造技术具有十分重要的意义。机械制造企业要通过采用智能化生产工艺、应用绿色材料、应用绿色加工技术、应用振动消除应力法、对机械产品进行绿色化处理、应用再制造技术等绿色制造方法，来推进企业的机械制造环节。企业如果想要不断提高自身的绿色制造技术的应用水平，就要推进绿色制造技术的研发与创新，并且要建立合理的监督体系、推进绿色制造技术激励机制的建立，最后要通过绿色制造与产学研的结合，来实现机械制造业的健康稳定发展。

参考文献

[1] 孙晓霞，胡礼垚.关于机械制造过程中绿色制造技术应用的几点思考[J].山东工业技术，2017(7)：213.
[2] 叶卫文.浅谈机械制造过程中绿色制造技术的应用[J].南方农机，2017(23)：46-47.
[3] 吴超.机械制造过程中绿色制造技术剖析[J].内燃机与配件，2021(3)：19-20.

〔编辑　高　晓〕

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

浅谈绿颜色蔬菜的包装薄膜研究

■ 文/王丽颖[1,2] 张蕾[1]
1.天津科技大学 2．天津职业大学

摘要：简述了绿颜色蔬菜的保鲜机理，介绍了国内外绿颜色蔬菜包装薄膜的研究进展，并根据光照对采收后绿颜色蔬菜中叶绿素的影响，展望了制备转光膜来延长绿颜色蔬菜的货架寿命。

关键词：绿颜色 蔬菜 包装 薄膜

新鲜蔬菜中含有丰富的矿物质、维生素、微量元素、碳水化合物等营养元素，该食品是人们日常生活所必须的，各个国家对蔬菜产业都给予了高度的重视。我国是蔬菜生产大国，但我国生产的蔬菜产品由于标准化程度较低，给保藏保鲜包装带来技术上的困难，特别是一些备受消费者欢迎的名、特、优、精、新、稀蔬菜品种因其采后的生理、贮藏、保鲜、包装的研究较少，没有得到良好的市场开发[1]。

进入21世纪后，我国通过引进吸收国外先进的技术成果并加以自主研究开发，制定了产品质量规范标准和相关的操作流程，现已基本形成了新鲜蔬菜保藏保鲜包装新的技术体系，大大提升了我国新鲜蔬菜保藏保鲜包装技术水平。

众所周知，色泽是人们感官评价蔬菜质量的一个重要因素，也是检验蔬菜成熟衰老的重要依据。对于大部分绿颜色蔬菜如西兰花，由于绿色是重要的品质指标，所以期望在整个贮藏期、货架期都能保持鲜绿色，不出现黄化现象。

1．绿颜色蔬菜的保鲜机理

绿颜色蔬菜中含有大量的叶绿素，而叶绿素又是天然的造血原料，其富含微量元素铁，没有叶绿素，就不能源源不断地制造血液，人体就会发生贫血现象。采后的绿颜色蔬菜是一个活的有机体，其生命代谢活动仍在有序地进行。虽然离开了母体，水分、矿物质及有机物的输入均已经停止，但仍是一个有生命的个体，主要是通过呼吸作用改变内部物质，采后果蔬的呼吸作用与采后品质变化、成熟衰老进程、贮藏寿命、货架寿命、采后生理性病害、采后处理和贮藏技术都有着密切的联系[1]。由此可见，采后的绿颜色蔬菜光合作用基本上已经停止，呼吸成为新陈代谢的主要过程。因此，控制采收后绿颜色蔬菜的呼吸作用，尽可能降低绿颜色蔬菜的呼吸强度，同时又不引起无氧呼吸的发生，已成为绿颜色蔬菜贮藏技术的中心问题[2]。

绿颜色蔬菜采收后在贮藏时，由于不能合成叶绿素，加上叶绿素的降解和采后呼吸作用旺

中国知网 https://www.cnki.net

盛，往往使蔬菜的颜色失绿，易黄化，营养品质下降，保鲜期缩短，难以满足市场的要求。所以我们在制备、选择绿颜色蔬菜的包装薄膜必须具有基本的性能如下：

（1）尽量减缓采收后绿颜色蔬菜的呼吸强度使其处于“冬眠”状态，同时还必须控制好贮藏环境中CO_2和O_2的含量，使其既能够保证绿颜色蔬菜能进行呼吸，维持其生命的延续，又要控制和减缓其呼吸强度。一般CO_2的含量控制在10%以下时能抑制呼吸强度，过高会造成呼吸障碍，甚至中毒。O_2的含量在1%以下时为缺氧，一般控制在2%～10%时可减缓果蔬的呼吸[3]。

（2）及时排除绿颜色蔬菜在贮藏过程中释放的乙烯、乙醇、乙醛等气体。防止它们增强绿颜色蔬菜的呼吸作用，加速其的衰老和腐烂[3]。

（3）减少水分的蒸发，使绿颜色蔬菜处于水饱和气体环境中。一般采收后绿颜色蔬菜贮藏的相对适宜湿度为70%～95%，相对湿度小于70%时绿颜色蔬菜会大量失水、皱皮萎蔫并易受真菌浸染而腐烂，相对湿度大于95%时，水分过度饱和会产生水滴易导致病菌浸染[3]。

2. 国内外绿颜色蔬菜包装薄膜的研究进展

目前，国内外对绿颜色蔬菜包装薄膜的研究十分重视，传统的包装材料虽然能起到包装的作用和具有一定的保鲜效果，但已经不能满足现代市场的保鲜要求。为了提高保鲜质量，延长保存期，人们不断探索和研究绿颜色蔬菜的包装薄膜，以延长其货架寿命。

2.1 常用保鲜包装薄膜

用于绿颜色蔬菜包装的薄膜较多，一般是聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚丁二烯。在贮藏保鲜上，聚乙烯膜应用量较大，聚乙烯价格低廉，卫生性能好、耐化学稳定性较优，并且具有适宜的透气性。

F.Artés[4]等研究包装薄膜材料对西兰花保鲜效果的影响，其中材料包括9μm厚PVC和分别是11μm、15μm、20μm厚的LDPE。将西兰花包好后贮藏在环境温度是1℃情况下7天（最大化模拟在商业运输期间的条件）和20℃的环境下2.5天（最大化模拟在零售期间的条件）。结果表明研究的这几种包装西兰花材料，包装内的气体组分(在运输期间约18%O_2和1%CO_2，在货架销售期间16%O_2和2～3%CO_2）、品质、西兰花变黄的程度基本都在同一水平上。然而，在失重方面所有的LDPE材料都比PVC低6倍。用15μmLDPE包装的西兰花货架寿命最长。Annelie Jacobsson[5]等研究了五种聚合物膜，这几种薄膜被用来研究保持西兰花的保鲜效果。这些材料包括OPP、PVC和两种不同型号的LDPE，其中一种LDPE的材料包含吸收乙烯的小袋。西兰花被包装后分别储存在4℃和10℃两个不同温度的环境下长达四个星期。结果显示，用OPP进行包装时会导致包装袋内二氧化碳含量最高达到6%，然而却使氧气的含量最低达到9%，这一切都将使用不含有吸收乙烯的小袋的LDPE取代。使用这种LDPE的材料对西兰花进行储藏可以使它的货架期更加的长。用PVC包装的西兰花腐败速度比用其他包装材料包装西兰花快。

2.2 涂膜保鲜包装材料

涂膜保鲜是在蔬菜表面人为地形成一种具有一定阻隔性能和选择透过性的薄膜，增强蔬菜表皮的防护作用，诱导蔬菜表面气孔缩小，抑制食品与环境间的气体交换，减少食品内部水分蒸发，保持蔬菜新鲜饱满的外表和硬度，阻止环境氧气与食品发生氧化作用[1]。国内外对蔬菜的涂膜保鲜研究开发和商业性应用已有不少的报道，常用的涂膜剂有天然多糖、蜡、天然树脂、油脂类、紫胶、虫胶、明胶、变性淀粉、聚乙烯醇、蛋白质沉淀剂、溶菌酶等[1]。

据相关资料报道：利用壳聚糖涂膜剂保鲜竹笋的试验中，用1.5%壳聚糖制成的涂膜剂，于50℃～60℃下处理带壳竹笋有比较好的成膜效果，而且明显地抑制其失重和纤维含量的增加[6]。再比如选用采用0.07%的溶菌酶涂膜保鲜黄

中国知网 https://www.cnki.net

瓜，其保鲜效果明显提高[1]。

2.3 微孔塑料薄膜

用激光、针刺等方法制作的塑料薄膜上开微孔，调节透气性[1]。这种薄膜适宜包装切片葱、菠菜、花椰菜、莴笋等。在日本，用微细孔PP薄膜包装韭菜，在20℃的条件下可以保鲜5天[1]。法国的Renlaut等研究表明，穿孔的微孔硅胶薄膜能满足甘蓝的气调包装要求，延长了货架寿命[1]。滕立军[7]等研究了一种含复合硅酸盐微孔颗粒的LDPE保鲜薄膜，通过复合硅酸盐的添加改变了普通LDPE薄膜的组织结构，使保鲜薄膜气体渗透的性能远高于LDPE普通薄膜，而且该保鲜薄膜具有通过微孔自动改良包装袋内气调环境的特性，满足了蔬菜保鲜包装要求。杨静[8]等用自制的PP微孔薄膜制成自立袋来研究对包装西兰花保鲜效果的影响。结果显示：打孔数量为2个，孔间隔2cm，开孔在西兰花花蕾处时，袋内花蕾处呈低O_2和高CO_2状态，所包的西兰花叶绿素含量最高，西兰花保鲜效果最好。

3. 展望

膜技术是国际上前景看好的保鲜技术，越来越多的运用到绿颜色蔬菜的包装领域。如吸湿保鲜膜、活性塑料透气薄膜等相继用在绿颜色蔬菜的包装上。但是目前绿颜色蔬菜采后生理变化规律的研究还有很多工作要做，需要继续深入研究。詹丽娟[9]等为延长鲜切西兰花的贮藏期，运用分光光度法研究连续光照处理(2000lx)对其低温贮藏期间品质变化的影响。结果显示，和黑暗对照相比，光照处理显著延缓鲜切西兰花贮藏期间叶绿素降解和黄化发生率。Agustin M Büchert[10]等研究在连续的低强度的光照贮藏下，是一种有效的和低成本的处理延迟采收获后西兰花衰老的一种方式。由此，可以深入探索研究根据对采收后绿颜色蔬菜中的叶绿素合成起到重要作用的光的波长，并依据此波长选择合适的转光剂，将不能促进叶绿素合成的波长转换成我们所需要的光区，最后将选用的转光剂和树脂合成制备转光膜，从而延长绿颜色蔬菜的货架寿命。

参考文献

[1]章建浩.生鲜食品贮藏保鲜包装技术[M].北京，化学工业出版社，2009.

[2]王鑫腾，张有林，袁帅.果品蔬菜采后生理研究进展[J].陕西农业科学，2012(5):98-102.

[3]孙耀强.保鲜膜的制备及其在冬枣保鲜中的应用研究[D].天津科技大学，2005.

[4]F. Artés，F. Vallejo，J.A. Martínez. Quality of broccoli as influenced by film wrapping during shipment[J]. Eur Food Res Technol，2001（213):480-483.

[5]Annelie Jacobsson，Tim Nielsen，Ingegerd Sjholm. Effects of type of packaging material on shelf-life of fresh broccoli by means of changes in weight, colour and texture[J]. Eur Food Res Technol，2004（218):157-163.

[6]孙洪雁.涂膜保鲜技术在果蔬保鲜领域中的应用现状分析[J].吉林工程技术师范学院学报，2004，20(9):42-44.

[7]滕立军，李永馨，冯梅，邵文泉.水果蔬菜保鲜薄膜研究与应用[J].中国包装工业，2002（94):48-49.

[8]杨静，张蕾.打孔包装对西兰花品质的影响[J].包装工程，2012，33（3):31-34.

[9]詹丽娟，魏国强，乔明武，王慧荣.光照处理提高鲜切西兰花贮藏品质[J].食品科学，2012，33（14）：296-300.

[10]Agustin M Büchert, Maria E Gómez Lobato，Natalia M Villarreal，Pedro M Civello，and Gustavo A Mart'nez. Effect of visible light treatments on postharvest senescence of broccoli (Brassica oleracea L.)[J]. Research Article，2011(91):355-361.

中国知网 https://www.cnki.net

浅谈数控维修专业人才的培养

黄连宝[1,2] 李文军[1,2]
（1.天津市汇通仪器设备公司，天津 300410；2.天津职业大学，天津 300410）

摘 要：随着科学技术的发展和我国社会经济水平的不断提高，我国需要大量数控设备操作人员和相应的数控设备专业维修人员。然而，目前我国数控设备操作与专业维修人员还相当匮乏。因此，通过分析我国企业数控工作的现状和前景，从课程方案、师资队伍的建设、教学模式方案等方面提出相关建议，以期为我国培养大量的数控维修专业人员。

关键词：数控维修 装调 实践教学 培养
DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2016.0250

引言

现代科技不断发展，促使制造业中的数控技术应用范围愈来愈广泛。数控技术为现代制造业注入了更多活力，其效益也是巨大的。但是，由于数控技术要求的精度高、复杂程度高，在维修难度上大大增加了对从业人员的要求。和其他行业一样，数控维修都离不开相关的人才。随着现代数控设备向着科技化与复杂化的方向发展，对应的机床维修人员需求量也在不断增加。设备在长时间超负荷的工况下，总会出现一些未知的故障，具有相关技能的技术人才是确保设备正常运行的重要保障。尤其是近几年，数控产品为企业带来高效益的同时，对设备操作及维修者的要求也愈来愈高，企业逐渐开始重视对数控技术人员的提升培训。

1 我国企业数控工作的现状

（1）企业数控的设备现状。目前，我国许多企业存在两个重要问题：设备完好率不足和设备利用率不高。企业中，相关人员的水平往往无法完成维护任务、机床保养达不到标准。操作者违规操作、机器老化等都是设备完好率差的原因。而操作者技术不过关、编程能力和工艺能力差是影响设备利用率低下的原因。操作人员的水平严重影响着设备的利用率。

（2）数控企业的技术人员现状。从从业者的学历上看，52%的人是中专以下学历，36%的是大专学历，只有8.5%是本科学历，仅3.5%本科以上学历。从数据上分析可知，我国目前数控技能人才的主力军是中等职业学校和高职院校的毕业生。

从就业的人才来源来看，生产一线的数控人员主要有两个渠道：第一，中职、高职、大学的数控技术应用或机电一体化专业的应届毕业生，都比较容易接受新工作岗位的挑战，因为他们年龄小，对计算机、英语、电气以及机械等知识掌握的程度不错，并且动手能力也很强。但是，他们最大的缺陷就是难以提供工艺经验，不能满足某企业对加工、编程和维修一体化的复合型人才的需求。所以，要想胜任分配的工作岗位，他们就必须进行入职前的专业培训。另一个来源就是由由企业自行进行培养的人才。他们一般具有企业所需的工艺背景，比较丰富的工作经验以及短期的技能培训经历。

2 开发数控维修专业的前景

（1）数控维修人员的巨大市场需求。机械制造业是国民经济的支柱产业，机械制造业的发达意味着国家真正的繁荣与富强，而反映国民经济实力和科学技术水平的重要指标之一就是机械制造业的发展规模和水平。如今，我国数控机床的保有量和产量一直在迅速增长，数控机床的品种也几乎覆盖了整个金属切削机床领域以及主要的锻压设备。但与欧美发达国家相比，我国还有广阔的发展空间，还将有相当长时间的高速增长期。每台数控设备都是生产的重要环节，一个部分出现问题就会影响整个生产，导致影响经济效益。在现在来看，我们现阶段所具备的维修水平还根本无法完场对国外进口机器的维修。由于设计制造水平等因素，我们尚与发达国家存在较大差距，因此我国对数控机床的从业人员需求巨大，特别是技术含量较高的数控机床调试与维修人员。

（2）数控专业开办学校多，而且严重同质化。前些年，数控人才的短缺曾经成为社会关注的焦点，劳动部、教育部和社会保障部等政府部门都积极采取措施，加强数控人才的培养。随着全国各地职业院校纷纷开设了数控操作、数控编程以及数控维修等专业课程，数控人员紧缺的状况得以缓解。然而，由于报考数控专业的学生太多，只要是与机、电类专业相关的学校都有数控专业，即使没有相关基础教学的学校也在努力争取开办数控专业。另外，现有专业同质化现象严重，没能在高职院校形成差异化竞争。因此，我们要根据企业发展的动向及时调整培养人才的模式和技能方向，定向制定相关课程和训练重点，以真正适应社会对数控操作、维修人员的需求。

3 数控人才培养方案

3.1 课程方案

数控人才培养的重要环节是对课程的合理建设。首先，应对国际上关于数控领域先进的教学方法进行学习，然后与现实存在的要求相结合，建立具有自己特色的人才培养方案和课程模式，以期培养学生将编程、维修、操作、管理等能力集为一身，建设一个综合的培养体系。此外，在学习理论基础的同时需增加实际操作的课程，从而

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提高学生的实际动手能力，最终实现学生动手能力与知识理论共同进步的良好局面。

3.2 师资队伍建设

师资问题是阻碍数控机床维修人才培养的主要因素。要能培养出专业的维修人才，要有专业知识和技能都过硬的教师。然而，现在很多学校都没有数控机床装调维修实践经验的老师，大部分老师基本没有从事过一线的维修工作。他们没有实践经验，所以很难将理论教学和实践操作结合起来。此外，虽然很多学校开始邀请企业中优秀的维修专业技术人员到学校任教，但是这些企业技术人员往往没有系统学习过专业理论知识，缺少教学经验，也很难将理论知识与实践训练结合好。因此，我们要靠自己来培养师资力量，多去各大院校和企业中学访，不断创造实践条件，发掘和培育这类教师，提高他们的技能水平和专业知识，加强实践经验，注重实践教学，完善和改进现有的教学计划，建立教学团队，从而提高数控维修这门课程的教学质量，最终建设高水平的师资队伍。

3.3 教学模式方案

（1）人才定制模式。学校培养学生的最终目标就是毕业生能够被所招聘的企业接受或是重用。所以，培养过程中，以企业需求为宗旨是一直要遵循的原则。订单式培养，可以强化学习内容上的专一性，避免没有目的学习。当学校了解企业用人要求后，要因时因地制宜地甄选教材内容。因为不同时期、不同单位出版的教材内容差别甚大，技术的日新月异使得教材多种多样，内容有深有浅，有偏重理论有偏重实践经验。因此，我们要在不同的环节选择适应学校现有教学条件的教材，从中精炼适宜内容开展教学，从而有针对性地对学生进行培养，加强他们的各种能力水平。采用这种方式，学生步入工作岗位后，将能很好地匹配企业所需的人才要求。

（2）组建联合班模式。学校可以建立起一套专业的培训输送方式，以针对社会需求培养综合性人才。目前，学生开始学习数控维修时，只局限于教室和实验室。这种形式没有办法使学生了解企业的工作文化，也无法使学生了解企业的工具、附件、设备、机床等出现的问题。此外，学校与企业处理故障的方式和学校也不相同。为了能让我们培养的技能人才更好地为企业服务，我们要尽量创造与企业一致的环境和工况，让学生切实体验到企业文化。可以让学生先对基础知识进行两年学习，然后第三年可以根据学生的实际情况组建“联合班”，从而对他们进行更深层次的培养与提高；让企业任命技术专家来学校对课程进行指导，有针对性地对“联合班”的学生进行课程安排，并结合用人单位的实际情况重新调整、定制教学方案。在学生对多项技能熟悉的同时，安排毕业生到企业的实际情境中担任操作、设计、维护、检测等工作。这样不但可以提高学生的学习兴趣和动手能力，更能有效让他们早日熟悉企业的工作环境，从而培养出高素质、综合能力强的学生，以供给企业所需要的合格人才。

4 结束语

综上所述，数控机床在制造业中起着重要的基础作用，广泛应用于制造业的生产加工中。同时，几乎所有院校都加强了对数控机床操作人员的培养，但是后期机床维护和维修人员的培养却没有跟上。因此，加强对数控机床操作人员的培养，对数控专业操作、维修人才的培养有着十分重要的意义。为了能培养拔尖的人才，全面提高学生的整体工作能力，建立优秀的师资队伍，可采取“联合班”式教学模式，增加学生之间的竞争，让他们有动力自主地学习和钻研。同时，要不断开展与企业间的良好合作，提高学生的眼界和思路，以期学生能够更顺利地融入企业。数控装备的功能、性能越来越强大，智能化程度越高，对操作水平的要求则会越来越低，但对维修人员的技术能力要求将会越来越高。所以，数控维修人才的培养要跟上社会发展的脚步，培养出企业所需要的人才，从而有效应对我国不断发展的需求。

参考文献

[1] 何高大. 外语测试的发展趋势 [J]. 外语与外语教学，2001，(12)：38-41.

[2] 郝志平. 浅谈大学英语教师角色定位 [J]. 文教资料，2005，(24)：23-24.

[3] 寇鹏飞.古希腊哲学本体论探寻[J].黑龙江教育学院学报，2006，(1)：20-22.

[4] 田强，王艳.从本体论的角度看我国教育体制中的若干问题[J].教育探索，2002，(1)：41-42.

[5] 伍振铭，龙永莲.高职数控实践教学内容改革与教学模式探索[J].晋城职业技术学院学报，2009，(1)：66-68.

[6] 李庆，马进中.数控技术专业调研报告[J].包头职业技术学院学报，2010，(1)：70-72.

On the Cultivation of Professional Talents of CNC Maintenance

HUANG Lianbao[1,2],LI Wenjun[1,2]

(1.Tianjin City Huitong instrument and equipment company, Tianjin 300410; 2.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410)

Abstract: With the development of science and technology and the society of our country economy continues to improve, many enterprises of our country is more and more widely and its application for CNC equipment, it needs a large number of numerical control equipment operating personnel and the corresponding numerical control equipment of professional repair personnel. At present, China's CNC equipment and professional repair personnel also made very scarce, so this requires our country to cultivate a large number of professionals in order to solve this problem.

Key words: NC maintenance, installation and adjustment, practice teaching, training

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浅析新媒体在高职院校大学生思政教育中发挥的作用

咎建敏
（天津职业大学，天津　300410）

摘要：随着信息化时代的来临，新媒体凭借其自身独特的信息传递功能，在当今社会各行业中得到了广泛的运用，且经过大量的运用实践收获了无数的好评与认可。我们站在时代发展的角度，从思政教育、思政教育者、大学生三个方面，分别就新媒体对于思政教育作用进行了详细的介绍。并在以上论述的基础上，探究了新媒体在高职院校大学生思政教育中作用的发挥策略。希望借助以下研究和探讨，能够对进一步促进新媒体在高职院校大学生思政教育中的有效运用具有一定的借鉴意义。

关键词：新媒体；高职院校；大学生思政教育；作用
中图分类号：G641　　文献标识码：A　　文章编号：2096-4110(2018)09(b)-0071-02

新媒体在高职思政教育对思政教育、思政教育者以及大学生都有着重要作用，是高职大学生思政教育的新手段和新途径。然而，当前新媒体在高职大学生思政教育中的作用发挥仍存在一定不足，新媒体技术并没有充分运用到高职思政教育中。在这种情况下，高职院校积极探索新媒体在思政教育中作用发挥不足的原因及策略。研究新媒体在高职思政教育中的作用不仅能够充分发挥新媒体技术对思政教育的积极作用，而且对高职思政教育意义深刻。

1 新媒体在高职院校大学生思政教育中的作用

1.1 对思政教育的作用

1.1.1 丰富思政教育内容

新媒体能够丰富高职思政教育的内容。具体来讲，新媒体技术的发展为高职思政教育带来了大量的网络资源。高职思政教育可以从网络上获取思政教育资源来扩充思政教育内容，以增强思政教育内容的丰富性。并且，新媒体的发展给思政教育提出了新的挑战，高职院校必须根据新媒体下的思政教育问题开展思政教育，将新媒体思政教育问题作为思政教育内容。

1.1.2 拓宽思政教育途径

新媒体拓宽了高职思政教育的途径，在新媒体技术运用之前，高职院校主要通过课堂灌输的方式进行思政教育。而新媒体技术的运用使得高职院校可以通过网络平台开展思政教育，拓宽了思政教育途径。具体来讲，在新媒体下，高职院校不仅可以在学校官方网站上开展思政教育，还可以通过微信、微博等网络平台以及微课、远程视频等开展思政教育。

1.1.3 优化思政教育方法

新媒体优化了思政教育方法，在新媒体运用之间，高职院校主要采用理论讲解的方式和说服教育的方式进行思政教育，教育方法单一，难以激发学生学习的思政知识兴趣。而新媒体的运用使得高职思政教育中可以采用多媒体教学方法、微课教学方法、翻转课堂教学方法、合作探究学习方法等现代化教育方法。

1.2 对思政教育者的作用

1.2.1 改进思政教育者的观念

新媒体促进了思政教育者观念的改进，在传统思政教育中，思政教育者观念陈旧，将学生作为被动学习思政知识的工具，忽视了学生的思政学习主动性。而新媒体的运用加强了学生的主动学习，使思政教育者充分了解到了学生的主体性作用。同时，新媒体的运用改变了教师对自身角色的认识，在新媒体技术的运用中，思政教育者不再是课堂的主体，而成为学生思政学习的指导者，能够在学生自主学习思政知识的过程中为学生提供帮助。

1.2.2 提高思政教育者的能力

新媒体提高了思政教育者的能力，在传统思政教育中，思政教育者只需要掌握基本的教育知识和技能以及专业思政知识即可。而在新媒体运用之后，思政教育者不仅要掌握思政专业知识和教育技能，而且还必须具备新媒体技术知识和技能。在这种情况下，思政教育者加强对新媒体技术的学习，不断提高新媒体思政教育能力。

1.3 对大学生的作用

1.3.1 改进大学生的学习观

新媒体促进了大学生学习观的改进，在传统思政教育中，高职大学生过度依赖教师，缺乏主动学习意识。而在新媒体下，大学生可以运用新媒体技术获取思政内容并学习思政知识，强化了大学生的主动学习意识，改变了大学生被动进行思政学习的观念。

1.3.2 优化大学生思政学习方法

新媒体促进了大学生思政学习方法的优化，在传统思政学习的过程中，大学生主要通过被动接受并机械记忆的方式进行思政学习，思政学习过程比较枯燥。而在新媒体下，大学生可以运用新媒体进行主动学习，对思政知识进行提前预习，还可以从网络上寻找相关的视频对自己的弱点进行专项学习，学习方法得到了优化。

2 新媒体在高职院校大学生思政教育中作用发挥的策略

2.1 加强重视

思想是行为的先导，因此要想促进新媒体在高职思政教育中作用的发挥，首先就必须从思想意识上做起，通过加强重视，来为后续新媒体在思政教育中的运用制定详细的教育行为、管理准则。因此，为充分发挥新媒体在思政教育中的作用，高职院校应从领导层到教育基层加强对新媒体的重视，正确认识新媒体对思

（下转第 73 页）

[作者简介] 咎建敏（1982-），女，河北沧州人，本科，助教，研究方向：思政教育辅导员工作。

中国知网　https://www.cnki.net

的教学活动，利用网络教学技术给学生播放具有思政教育意义的电影或者视频，并在观看结束之后，要求学生针对观看内容进行思想交流，各抒己见发表对于教学内容的看法，使学生能够在交流和讨论中，在辩证思维的引导下确立正确的思想政治思想。多样的教学方法和教学内容，能够使网络技术真正成为思想政治教育的助力。

2.2 强化师资力量

普通本科院校需要结合网络环境下思想政治教学工作的实际要求，加强专业教学师资力量，切实提升课程教学水平。其一，普通本科院校应当针对所有专业的思想政治教育课程都应用专业教师开展教学活动，以教师的专业素养作为提升教学水平的基础；其二，强化教师的计算机网络技能，对任课教师进行计算机业务培训，使教师能够娴熟应用计算机开展课程教学，能够充分应用网络资源，利用计算机制作教学课件等；其三，提升教师的思政素养，网络环境下人的思想意识都容易受到影响和改变，学校需要加强对教师的全方位教育，使任课教师能够在网络环境下始终秉持正确的教学理念和宗旨，提升思政素质，发挥教师对于学生的思想引导作用。

2.3 引导学生树立正确的价值观念

教师通过思想政治教育活动，需要重视对学生正确“三观”引导，在教学内容中引导学生如何明辨是非和事理，具备良好的社会道德和价值理念。网络环境中使学生接触的事物和思想言论良莠不齐，教师帮助学生树立正确的价值观念，能够让学生在面对多样思潮的影响和侵蚀中，还能够保持正确的自我，利用思维意识引导其行为意识[2]。同时教师还需要重视对学生网络道德观念的培养，使学生能够正确认知道德，不仅在社会环境中需要遵守道德底线，在网络环境中也需要网络道德作为自身的行为约束，不发表不良的网络言论、不传播不健康的网络信息，以大学生网络道德观念的树立产生更大的辐射面，逐渐净化网络环境，促进网络持续健康地发展。

3 结语

网络环境下普通本科院校开展思想政治教学活动面临更为严峻的挑战，大学生处于开放式的网络环境中，更需要教师能够进行正确的教育和思想引导，使学生树立正确的价值观念，建立网络道德责任观念，有效应用网络资源开展更为有效的教学活动，促进高等教育思想政治教学水平提高的同时，有助于培养学生的综合素质，提升高等教育综合教学水平。

参考文献

[1] 华晓霞. 网络环境下独立学院大学生思想政治教育方法探讨[J].时代教育,2017(9):106–107.

[2] 王和俊,吴杨.应用型本科高校网络思想政治教育研究与实践[J].读写算:教育教学研究,2014(39):298–299.

（上接第 71 页）

政教育、思政教育者以及大学生思政学习的作用。具体来讲，高职院校应将新媒体思政教育纳入学校思政教育规划之中，加强对新媒体运用的科学计划，制定新媒体运用的目标、具体方案、应用方式、应用范围等。同时，高职院校应积极制定新媒体思政教育规定，将对新媒体的运用情况正是纳入思政教师的教学工作考核范围中去，要求思政教育者运用新媒体进行思政教育，强化思政教育的运用。

2.2 提高新媒体素养

新媒体在思政教育中作用的发挥要求思政教育者和学生具备较高的新媒体素养。因此，高职院校应不断提高教师和学生的新媒体素养。为此，针对高职院校思政教师而言，高职院校应加强对思政教育者的新媒体培训，强化思政教育者对新媒体知识和新媒体操作技能的学习，实现思政教育者信息素养和新媒体素养的提升。同时，更要加强对思政教师的思想引导，使其能够在社会主义核心价值观的标准认识下，来明辨新媒体中的各种信息，从而在去粗取精的基础上来不断提升自身的新媒体素养，增强自身对于不良信息的抗干扰能力；针对学生的新媒体素养培育而言，高职院校应加强对学生的新媒体教育，通过信息技术课程强化学生对新媒体技术的学习，使学生具备基本的新媒体技术操作能力，能够运用新媒体技术进行思政学习。

2.3 加大支持力度

为充分发挥新媒体在思政教育中的作用，高职院校应加大对新媒体的支持。为此，高职院校应加大对新媒体的资金支持，设置专项新媒体技术资金，购置现代化的新媒体设备，为新媒体的运用提供物质基础。并且，高职院校应加强对新媒体的人才支持，积极引进专业的新媒体技术人才，加强专业新媒体技术人才对思政教育的指导，优化新媒体的运用，进而提高新媒体思政教育效率。另外，高职院校应加强对新媒体的制度支持，针对新媒体的运用制定相关规章制度，增强新媒体在思政教育中运用的规范性。

3 结语

综上所述，通过上述分析，我们对新媒体在当今高职院校大学生思政教育中的作用有了更深一步的认识与了解。在未来的高职思政教育工作中，我们要积极顺应时代发展潮流，以新媒体为契机来实现高职院校思政教育本时代的新发展，为高水平、高效化、创新型思政教育工作的开展而努力。

参考文献

[1] 胡亚凡,谷雪峰,于晓波,等.试析新媒体如何在大学生思政教育中有效发挥作用[J]. 中国校外教育,2014(33):3.

[2] 郭志勇. 新媒体环境下大学生思想政治教育的新路径——以高校微信公众平台为例[J].理论视野,2015(1):84–86.

[3] 任宗仪. 新媒体在贵州高校思政教育工作中的应用研究——以贵州师范学院为例[J]. 贵州师范学院学报,2016,32(4):85–89.

中国知网　https://www.cnki.net

文章编号：1002-025X(2014)11-0027-03

全铝散热器芯体的钎焊工艺

闫 红，袁文革

（天津职业大学，天津 300402）

摘要：针对汽车全铝散热器芯体钎焊工艺进行了研究，确定并完善了NOCOLOK钎焊的工艺参数。结果表明：所设计的NOCOLOK钎焊工艺满足实际生产要求，适用于大规模生产。

关键词：全铝散热器；NOCOLOK钎焊；生产实践

中图分类号：TG454 文献标志码：B

DOI:10.13846/j.cnki.cn12-1070/tg.2014.11.009

随着汽车制造技术的发展，对于汽车轻量化的要求越来越迫切。全铝散热器具有良好的轻质性、经济性和可回收性，正逐步取代其他的汽车散热器。其中芯体是散热器的核心部位，也是散热功能的主要作用部位，芯体的焊接质量直接影响散热器的散热效果。然而全铝散热器焊接工艺性差、生产设备投入大，限制了全铝散热器的广泛应用。直到20世纪80年代中期，美国采用钎焊工艺制造铝散热器取得成功后，才使铝散热器的规模化生产和应用成为可能。在铝钎焊中，通常需要使用钎剂除去铝表面的氧化膜，从而使钎焊时填充金属自由流动并防止表面重新氧化[1]。NOCOLOK钎焊法是以不吸潮、无腐蚀性的氟铝酸钾混盐作为钎剂的钎焊方法。这种钎剂能够清除铝表面的氧化膜，且在熔融状态和固态下均不和铝发生反应。其残余物不溶于水，对铝无腐蚀，无需焊后清洗，钎缝质量好[2-3]。

收稿日期：2014-02-14

3 结论

（1）分别使用TENACITO 65R焊条和DUAL SHIELD II 101H4M焊丝焊接X80钢均能得到满足标准要求抗拉强度的焊接接头，但在塑性储备方面，TENACITO 65R焊条的塑性储备优于DUAL SHIELD II 101H4M焊丝，更符合海洋平台使用要求，所以工程推荐使用焊接方法为焊条电弧焊。

（2）2种焊接方法接头抗拉强度均符合标准要求，并且不受预热温度与焊后热处理的影响在小范围内无规律波动。

（3）焊条电弧焊接头冲击韧性随预热温度的升高而提高，预热150 ℃接头的冲击韧性最佳，经210~230 ℃保温2 h的接头冲击性能优秀；混合气体保护焊接头冲击韧性随预热温度升高先提高后降低，100 ℃时的最佳，热处理对接头冲击韧性影响不大。

（4）结合工况，推荐工程使用最佳工艺参数为焊条电弧焊单管节点处采用100 ℃的预热温度，若为多管交叉节点可提高预热温度至150 ℃左右，焊后210~230 ℃保温2 h；混合气体保护焊焊前100 ℃预热，焊后210~230 ℃保温2 h。

参考文献：

[1] 修宗祥. 深水导管架海洋平台可靠性分析及优化设计[D]. 北京：中国石油大学，2010.

[2] 王立成. 海洋平台优化设计理论与方法研究[D]. 辽宁 大连：大连理工大学，2002.

[3] 李 霄. 低匹配条件下X80管线钢焊接接头的变形能力研究[J]. 热加工工艺，2005(10)：48-50.

作者简介：喻 军（1970—），男，学士，高级工程师，主要从事造船行业焊接工艺及设备方面工作，发表论文10余篇.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

笔者采用 NOCOLOK 法即氮气保护炉中钎焊法，对全铝散热器芯体焊接工艺进行了探索，对钎焊温度、网带速度、钎剂喷淋浓度、钎剂涂覆浓度等主要工艺参数进行了优化设计。

1 原理

铝及铝合金表面容易形成致密的氧化膜。钎焊过程中这层氧化膜会阻碍熔融钎料的润湿和流动，难以形成良好的钎焊接头，所以为保证铝及铝合金钎焊质量，必须有效去除表面氧化膜[4]。NOCOLOK 钎焊法是以无腐蚀性的氟铝酸钾混合盐即 $KAlF_4$ 和 K_2AlF_6 的混合物作为钎剂，当钎焊过程中温度升高至钎剂共晶温度时钎剂熔化，熔融钎剂在 Al_2O_3 表面铺展，使氧化物解离并溶解，以防止新的氧化物生成[5]。当钎焊温度继续升高，Al–Si 钎料熔化，在表面张力、重力等影响下并通过毛细管作用自由地流入结合面，经过润湿扩展最终形成接头。

2 NOCOLOK 钎焊材料

2.1 钎焊铝材

水箱主片选用 AA4045(10%)/3003/7072(10%)，厚度为 1.5 mm。其中 3003 具有较好的钎焊性能，适合钎焊。在 3003 芯材上包裹 10%的低熔点 Al–Si 合金 AA4045，该合金 w(Si)9%~11%。由于 Si 的加入，降低了铝的熔点，可以起到钎料的作用。7072 合金中 w(Zn)1%，可以起到牺牲阳极的作用，提高了材料的耐蚀性能。具体材料成分见表 1。

表 1 各种材料的化学成分（质量分数）（%）

合金编号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	其他	Al
3003	0.7	0.7	0.05~0.2	1.0~1.5	—	0.1	0.15	余量
AA4045	9.0~11.0	0.8	0.25	0.1	0.05	0.2	0.15	余量
7072	0.7Si+Fe	—	0.1	0.1	0.1	0.8~1.3	0.15	余量

2.2 钎剂

NOCOLOK 钎剂为 $KAlF_4$ 和 K_2AlF_6 的混合物，它是由液相 $Al(OH)_3·HF$ 和 KOH 为原料生产的氟氯酸钾盐混合物，形态为白色粉末。该钎剂不吸潮，不溶于水，且与固态以及熔融状态的铝均不发生反应。其熔点范围 565~572 ℃，熔融钎剂能够破坏母材表面氧化膜，并防止重新氧化。钎剂冷却后附着在母材表面，该残留层不溶于水性溶剂，且无腐蚀性，经过特别的氧化处理还可起到防腐蚀的保护作用，在冷热循环条件下不会出现破裂。

3 NOCOLOK 钎焊设备

在众多的钎焊方法中，气体保护气氛铝钎焊从工作环境、生产成本和产品质量方面都是现代铝质换热器制造企业的首选。NOCOLOK 隧道炉钎焊生产设备主要包括喷淋装置、烘干炉、钎焊炉、中央集中控制柜组等几部分，通常称为可控气氛铝钎焊炉生产线。其中钎焊炉分为预热室、钎焊室、水冷室、缓冷室、风冷室、钎焊件传送系统六部分。

生产过程中待焊工件随传送带进入喷淋区进行钎剂喷淋，然后通过烘干炉进行烘干。之后由另一条网带依次传送至预热室、钎焊室、水冷室、缓冷室、风冷室，最后从卸料台卸下工件完成钎焊。

4 NOCOLOK 钎焊工艺

全铝散热器 NOCOLOK 钎焊生产的主要流程如下：工件预处理→组装→钎剂喷涂→干燥→钎焊→水冷→气冷→卸料。

4.1 工件预处理

钎焊前必须对铝材表面油污进行清洗，否则会影响钎料及钎剂流动，而且钎焊后会在表面残留积碳，降低产品性能和使用寿命。常用的表面清洗方法有蒸汽脱脂、稀碱液清洗和化学浸蚀等。由于稀碱液产生的环境问题相对较少，所以更普遍地运用在生产中。工件经过稀碱液的清洗、热水淋浴和去离子水清洗 3 个步骤，得到与后续工序钎剂悬浊液相匹配的表面。

4.2 组装

需要避免紧固装置的材质发生过早腐蚀，让钎剂更好地发生毛细作用，装配间隙允许到 0.2 mm。

4.3 钎剂喷涂

喷涂钎剂的主要目的是去除水箱表面的氧化铝，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

并防止再度氧化，同时使铝材表面润湿提高界面活性，促进钎料流动。

钎剂喷涂通常可以采用浸渍法、喷射法和刷涂法，其中喷射法更广泛地应用于生产中。将钎剂用去离子水配成悬浊液喷射到水箱表面。悬浊液中钎剂浓度为3%~4%。钎剂载有量约为5 g/m^2，如表面含有多余钎剂，喷涂完成后使用空气风刀去除。由于水箱主片与扁管接触处易出现虚焊、漏焊等缺陷，所以在水箱喷淋钎剂后需进一步进行人工涂覆钎剂，钎剂浓度为35%~37%。

4.4 干燥

为保证钎焊质量，需将钎剂覆层中的水分除去。通常采用热空气或辐射加热的方法进行干燥。烘干温度通常根据工艺试验来确定，原则上在保证烘干钎剂覆层水分情况下，烘干温度越低越好。干燥温度一般为180~250 ℃，当温度超过250 ℃以上，铝合金表面会生成致密的高温氧化物，增大了钎剂去除氧化物的负担，影响钎焊。经过一系列工艺试验，确定全铝水箱烘干温度为（220±5）℃。

4.5 钎焊

钎焊温度主要取决于所选钎料及母材的熔化温度，通常高于钎料液相线温度25~60 ℃，以保证钎料能够填满间隙。钎焊加热阶段温度上升速率为20 ℃/min，直至工件表面镀层钎料达到熔点，一般为590~620 ℃，达到熔点后，工件温度波动<5 ℃。为保证钎焊过程中工件温度一致，避免因波动而产生的钎焊不足或过度，通常进行分区加热。区域越多，对工件的温度控制越准确。本文将钎焊炉分为6个分区，各分区温度见表2。

表2 全铝水箱的钎焊温度设计

钎焊炉	1区	2区	3区	4区	5区	6区
温度/℃	590	600	615	623	625	620

为使钎料充分流入间隙，工件达到钎焊温度后需进行保温。但保温时间取决于工件尺寸以及钎料和母材作用的剧烈程度。工件越大，保温时间越长，若钎料和母材的相互作用剧烈，就可适当缩短保温时间。实际生产中，为保证生产效率，使水箱、冷凝器、暖风水箱等钎焊温度保持一致，通过改变保温时间以保证各自的钎焊质量。通常保温时间的调节通过控制网带速度来实现。试验表明，全铝水箱钎焊最佳网带速度为（970±20）mm/min。

除了上述参数，产品摆放密度也对钎焊质量有一定的影响。由于全铝水箱的芯体正面面积较大，本文采用了传送带单排传送，并根据生产经验进行工艺试验，试验结果表明最佳间距约为80 mm。

由于NOCOLOK钎焊生产设备进出口相对开放，难以避免空气中的氧气进入。为了避免氧化，保证焊件质量，需对炉内含氧量进行控制。通过调节氮气流量，并用氧浓度分析仪进行监测，以确保$\varphi(O)\leq5.0\times10^{-5}$。试验表明：$\varphi(O)>1.0\times10^{-4}$时，焊件表面氧化严重，焊件质量较差。

4.6 冷却

工件在钎焊炉中保温一段时间，水冷至约200 ℃后，送入风冷室冷却，冷却至皮肤可直接接触温度后可以卸件。

5 结论

通过试验确定了全铝水箱芯体的钎焊工艺参数。在此工艺条件下生产的26A全铝水箱样件经汽车行业生产实际验证，效果良好，全部满足技术要求，说明本文所设计的钎焊工艺可适用于生产实践。

参考文献：

[1] 金 霞，胡兰伟，许百胜，等. 氟铝酸盐铝钎剂的研究现状和发展趋势[J]. 电子工艺技术，2012，33(3)：172-174.

[2] 蔡志红，贺军四，杨占红，等. 中温氟铝酸盐铝钎剂的研究现状和发展趋势[J]. 焊接技术，2009，38(1)：3-5.

[3] Swidersky H W. Aluminium brazing with non-corrosive fluxes-state of the art and trends in NOCOLOK ® flux technology[J]. DVS BERICHTE，2001，212：164-169.

[4] 龙伟民，乔培新，于新泉，等. 汽车制造中铝合金的钎焊[C]// 2003 汽车焊接国际论坛论文集，2003.

[5] 甘卫平，刘正春. 铝热交换器的Nolook钎焊[J]. 汽车工艺与材料，1996(9)：13-16.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热处理工艺对 20CrMnTiV 钢机械重载主轴磨损和冲击性能的影响

谢学浩

(天津职业大学，天津 300410)

摘　要：采用不同工艺对 20CrMnTiV 机械重载主轴进行了热处理，并测试和分析了试样耐磨损性能和冲击性能。结果表明，随淬火温度、淬火时间、回火温度或回火时间不断增加，20CrMnTiV 机械重载主轴的磨损体积先减小后增大，冲击吸收功先增大后减小，试样耐磨损性能和冲击性能呈现先提高后下降。主轴的最佳热处理工艺参数为：900 ℃淬火温度、90 min 淬火时间、580 ℃回火温度和 3.5 h 回火时间。

关键词：机械重载主轴；20CrMnTiV 钢；淬火工艺；回火工艺；耐磨损性能；冲击性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 2018. 14. 061

中图分类号：TG156　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-3814(2018)14-0227-04

Effect of Heat Treatment Process on Wear Resistance and Impact Properties of 20CrMnTiV Steel Mechanical Heavy Load Principal Axis

XIE Xuehao

(Tianjin Professional College, Tianjin 300410, China)

Abstract: 20CrMnTiV mechanical heavy load principal axis were heat-treated by using different processes. And the wear resistance and impact property of the samples were tested and analyzed. The results show that the wear volume of samples decreases firstly and then increases, while the impact absorption energy of samples increases firstly and then decreases, and the wear resistance and impact property of the samples firstly improve and then decline with increase of quenching temperature, quenching time, tempering temperature or tempering time. The optimum parameters of the heat treatment process of principal axis are quenching temperature of 900 ℃, quenching time of 90 min, tempering temperature of 580 ℃ and tempering time of 3.5 h.

Key words: mechanical heavy load principal axis; 20CrMnTiV steel; quenching process; tempering process; wear resistance; impact property

机械重载主轴是大型数控机床的重要件，广泛应用于大型汽车、船舶、电站等领域[1]。近年来，数控机床发展态势良好，在精度、速度和刚度方面有了突飞猛进的进展，但随着现代工业技术不断创新与发展，业界对数控机床的要求也越来越高，并将生产高性能的数控机床技术作为重点研究课题。数控机床在使用过程中容易受磨损、振动扭曲和冲击[2-3]。由于机械重载主轴的刚度和运动精度会影响机床的加工精度和速度，进而直接影响数控机床运行的整体性能，可以从提高主轴性能方面入手，以减少机床在使用中的不利情况[4]。金属热处理是材料加工常用的重要加工工艺，主要用于改善、增强材料的使用性能。适宜的热处理工艺能增强机械重载主轴在韧性、硬度、刚度和抗疲劳强度等方面的力学性能，进而提高数控机床的运行精度和延长使用寿命[5-7]。为此，本文采用不同的热处理工艺处理了 20CrMnTiV 机械重载主轴，并测试与分析了主轴的耐磨损性能和冲击性能，为机械重载式主轴工业化生产提供新的试验数据与思路。

1　试验材料与方法

试验材料为 20CrMnTiV，试验对象为机械重载主轴，如图 1 所示。20CrMnTiV 机械重载主轴的外形尺寸为：外盘直径 ϕ1400 mm、内孔直径 ϕ590 mm、长度 1960 mm。采用 SPECTRO XEPOS 型 X 射

收稿日期：2017-04-07

作者简介：谢学浩(1981–)，男，天津人，实验师，研究方向：产学结合数控技能实训教学、机械材料；电话：13821709149；
E-mail：xiexh2006@sina.com

中国知网 https://www.cnki.net

线光谱仪对 20CrMnTiV 机械重载主轴进行测试分析，化学成分（质量分数，%）为：0.17～0.23 C、0.17～0.0.37 Si、0.8～1.1 Mn、1～1.3Cr、0.04～0.1Ti、其它杂质元素≤0.13。各试样的热处理工艺参数如表 1 所示。

表 1 试样的热处理工艺

Tab.1 Heat treatment processes of the samples

试样号	淬火温度 /℃	淬火时间 /min	回火温度 /℃	回火时间 /h
1	840	90	580	3.5
2	860	90	580	3.5
3	880	90	580	3.5
4	900	90	580	3.5
5	920	90	580	3.5
6	900	60	580	3.5
7	900	75	580	3.5
8	900	105	580	3.5
9	900	120	580	3.5
10	900	90	520	3.5
11	900	90	540	3.5
12	900	90	560	3.5
13	900	90	600	3.5
14	900	90	580	2
15	900	90	580	2.5
16	900	90	580	3
17	900	90	580	4

将经不同热加工工艺处理后的 20CrMnTiV 机械重载主轴试样分别在 MG1000 型摩擦磨损试验机和 JK-KC 型冲击试验机上进行磨损测试和冲击性能测试，试验温度为室温。磨损试验参数为：磨轮转速 400 r/min，磨损时间 15 min，相对滑动速度 100 mm/min，载荷 120 N。试验后记录试样的磨损体积和冲击吸收功，以此分别表征试样的耐磨损性能和冲击性能。为了确保测试结果的准确性和可参考性，取试样的平行样的平均值作为最终测试值。磨损试样和冲击试样的取样位置如图 1 所示。磨损试样为圆片状，尺寸为 ϕ30 mm×8 mm。冲击试样为矩形状，尺寸为 55 mm×10 mm×5 mm，V 型开口，开口深度 2 mm。在试验后，用 JSM6510 型扫描电子显微镜（SEM）观察试样的表面磨损和冲击断口形貌。

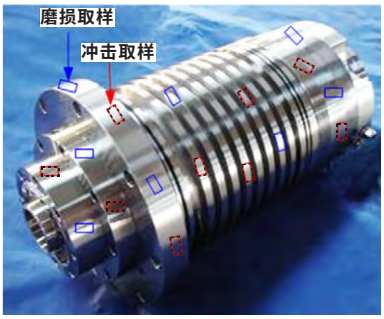


图 1 机械重载主轴

Fig.1 Mechanical heavy load principal axis

2 试验结果及分析

2.1 热处理工艺对试样耐磨损性能的影响

图 2 是热处理工艺对试样的耐磨损性能影响曲线。从图 2（a）可以看出，随着淬火温度从 840 ℃上升至 920 ℃，试样磨损体积先减小后增大。当淬火温度为 840 ℃时，试样 1 的磨损体积最大，为 33×10^{-3} mm^3，此时试样的耐磨损性能最差；当淬火温度为 900 ℃时，试样 4 的磨损体积最小，为 11×10^{-3} mm^3，较试样 1 减小了 67%，此时试样的耐磨损性能最好；当淬火温度继续上升为 920 ℃时，试样 5 的磨损体积为 15×10^{-3} mm^3，虽较试样 1 减小了 55%，但相比试样 4 增大了 4×10^{-3} mm^3。从图 2（b）可以看出，随着淬火时间从 60 min 增加至 120 min，试样磨损体积先减小后增大。当淬火时间为 60 min 时，试样 6 的磨损体积最大，为 31×10^{-3} mm^3，此时试样的耐磨损性能最差；当淬火时间 90 min 时，试样 4 的磨损

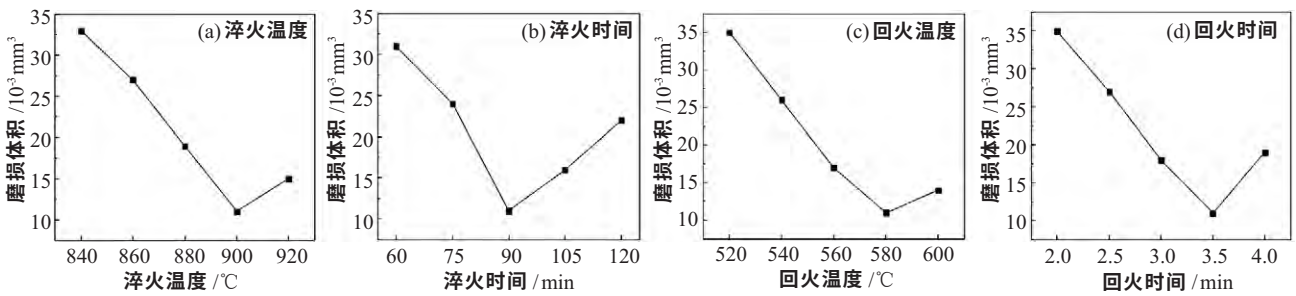


图 2 热处理工艺对试样的耐磨损性能影响

Fig.2 Effect of heat treatment process on the wear resistance of specimens

中国知网 https://www.cnki.net

体积最小，为 $11\times10^{-3}mm^3$，较试样 6 减小了 65%，此时试样的耐磨损性能最好；当淬火时间上升为 105 min 和 120 min，试样的磨损体积分别为 $16\times10^{-3}mm^3$ 和 $22\times10^{-3}mm^3$，较试样 4 增大。从图 2(c)可以看出，随回火温度从 520 ℃上升至 600 ℃，试样磨损体积先减小后增大。当回火温度为 520 ℃时，试样 10 的磨损体积最大，为 $35\times10^{-3}mm^3$，此时试样的耐磨损性能最差；当回火温度为 580 ℃时，试样 4 的磨损体积最小，为 $11\times10^{-3}mm^3$，较试样 10 减小了 69%，减小幅度最大，此时试样的耐磨损性能最好；当回火温度继续上升为 600 ℃，试样的磨损体积较试样 4 增大了 $3\times10^{-3}mm^3$，呈现增大趋势。从图 2(d)可以看出，随回火时间从 2 h 增加至 4 h，试样磨损体积先减小后增大。当回火时间为 2 h 时，试样 14 的磨损体积最大，为 $35\times10^{-3}mm^3$，此时试样的耐磨损性能最差；当回火时间为 3.5 h 时，试样 4 的磨损体积最小，较试样 14 减小了 69%，减小幅度最大，此时试样的耐磨损性能最好；当回火时间为 4 h 时，试样的磨损体积虽较试样 14 减小了 46%，但相对试样 4 增大了 $8\times10^{-3}mm^3$，呈现增大趋势。由此可见，随淬火温度、淬火时间、回火温度和回火时间不断上升，机械重载主轴试样的耐磨损性能先提高后下降。当淬火温度为 900 ℃、淬火时间为 90 min、回火温度为 580 ℃和回火时间为 3.5 h 时，试样的耐磨损性能最佳。

2.2 热处理工艺对试样冲击性能的影响

热处理工艺对试样冲击性能的影响如图 3 所示。从图 3(a)可以看出，随淬火温度从 840 ℃上升至 920 ℃，试样冲击吸收功先增大后减小。当淬火温度为 840 ℃时，试样 1 的冲击吸收功最小，为 38 J，此时试样的冲击性能最差；当淬火温度为 900 ℃时，试样 4 的冲击吸收功最大，为 64 J，较试样 1 增大了 68%，此时试样的冲击性能最好；当淬火温度继续上升为 920 ℃时，试样 5 的冲击吸收功为 59 J，虽较试样 1 增大了 55%，但相比试样 4 减小了 5 J。从图 3(b)可以看出，随淬火时间从 60 min 增加至 120 min，试样冲击吸收功先增大后减小。当淬火时间为 60 min 时，试样 6 的冲击吸收功最小，为 42 J，此时试样的冲击性能最差；当淬火时间 90 min 时，试样 4 的冲击吸收功最大，为 64 J，较试样 6 增大了 52%，此时试样的冲击性能最好；当淬火时间上升为 105 min 和 120 min，试样的冲击吸收功分别为 57 J 和 49 J，较试样 4 呈现减小趋势。从图 2(c)可以看出，随回火温度从 520 ℃上升至 600 ℃，试样冲击吸收功先减小后增大。当回火温度为 520 ℃时，试样 10 的冲击吸收功最小，为 48 J，此时试样的冲击性能最差；当回火温度为 580 ℃时，试样 4 的冲击吸收功最大，为 64 J，较试样 10 增大了 33%，此时试样的冲击性能最好；当回火温度继续上升为 600 ℃时，试样的冲击吸收功虽较试样 10 增大了 25%，但相比试样 4 减小了 4 J，呈现减小趋势。从图 2(d)可以看出，随回火时间从 2 h 增加至 4h，试样冲击吸收功先增大后减小。当回火时间为 2 h 时，试样 14 的冲击吸收功最小，为 44 J，此时试样的冲击性能最差；当回火时间为 3.5 h 时，试样 4 的冲击吸收功最大，较试样 14 增大了 45%，增大幅度最大，此时试样的冲击性能最好；当回火时间为 4 h 时，试样的冲击吸收功虽较试样 14 增大了 27%，但相对试样 4 减小了 8 J，呈现减小趋势。由此可见，随淬火温度、淬火时间、回火温度和回火时间不断上升，机械重载主轴试样的冲击性能先提高后下降，当淬火温度为 900 ℃、淬火时间为 90 min、回火温度为 580 ℃和回火时间为 3.5 h 时，试样的冲击性能最佳。

图 4 是试样 1(840 ℃×90 min 淬火、580 ℃×3.5 h 回火)、试样 4(900 ℃×90 min 淬火、580 ℃×3.5 h 回

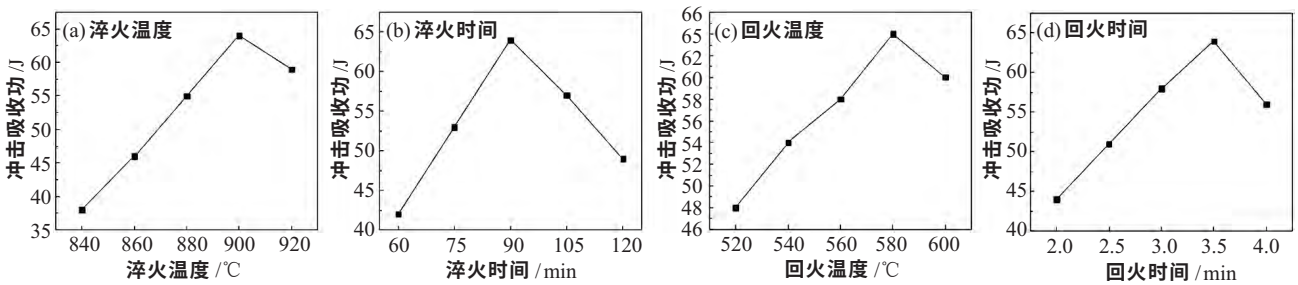


图 3 热处理工艺对试样冲击性能的影响

Fig.3 Effect of heat treatment processes on impact properties of samples

中国知网 https://www.cnki.net

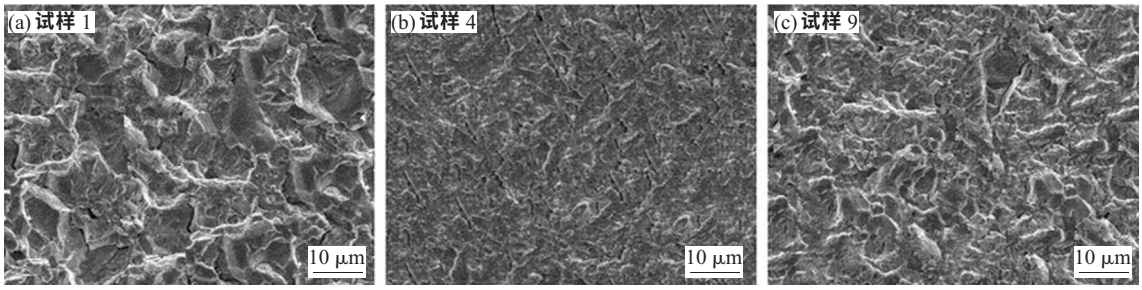


图 4 试样冲击断口形貌 SEM 照片

Fig.4 SEM photographs of impact fracture of the samples

火)和试样 9(900 ℃×120 min 淬火、580 ℃×3.5 h 回火)在冲击性能试验后的冲击断口 SEM 照片。从图 4 可以看出，不同热处理工艺处理后的试样冲击断口都是由撕裂棱和韧窝组成，均呈现为韧性断裂特征。从图 4(a)可以看出，试样 1 的冲击断口中韧窝最为浅显、粗大，冲击性能较差；从图 4(b)可以看出，试样 4 的冲击断口中韧窝相比试样 1 明显变小，冲击性能得到显著改善；从图 4(c)可以看出，试样 9 的冲击断口介于试样 1 和试样 4 之间，即冲击性能优于试样 1，次于试样 4。这与试样的冲击性能测试结果一致。

综合试样的耐磨损性能测试和冲击性能试验结果可知，当淬火温度为 900 ℃、淬火时间为 90 min、回火温度为 580 ℃和回火时间为 3.5 h 时，20CrMnTiV 机械重载主轴的耐磨损性能和冲击性能达到最佳状态。

3 结论

(1) 随淬火温度、淬火时间、回火温度和回火时间不断上升，20CrMnTiV 机械重载主轴的磨损体积先减小后增大，耐磨损性能呈现先提高后下降的变化。与 840 ℃淬火温度、60 min 淬火时间、520 ℃回火温度和 2 h 回火时间相比，经 900 ℃淬火温度、90 min 淬火时间、580 ℃回火温度和 3.5 h 回火时间制得的 20CrMnTiV 机械重载主轴试样的磨损体积分别减小了 67%、65%、69%和 69%，减小幅度最大，耐磨损性能最佳。

(2) 随淬火温度、淬火时间、回火温度和回火时间不断上升，20CrMnTiV 机械重载主轴的冲击吸收功先增大后减小，冲击性能先提高后下降。与 840 ℃淬火温度、60 min 淬火时间、520 ℃回火温度和 2 h 回火时间相比，经 900 ℃淬火温度、90 min 淬火时间、580 ℃回火温度和 3.5 h 回火时间处理的 20CrMnTiV 机械重载主轴试样的冲击吸收功分别增大了 68%、52%、33%和 45%，增长幅度最大，冲击性能最佳。

(3) 从提高 20CrMnTiV 机械重载主轴耐磨损性能和冲击性能出发，20CrMnTiV 机械重载主轴的最佳热处理工艺参数为：900 ℃淬火温度、90 min 淬火时间、580 ℃回火温度和 3.5 h 回火时间。

参考文献：

[1] 沈金灵. 信息技术下如何建立重载机械式主轴有限元建模及模态[J]. 现代工业经济和信息化，2016，18(6)：70-71.

[2] 张琳. 关于车床主轴的零件机械加工工艺研究[J]. 中国教育技术装备，2012(15)：90-91.

[3] 吴元徽. 45 钢制车床主轴的热处理工艺分析[J]. 新技术新工艺，2010(3)：72-73.

[4] 关晓勇，刘春时，李焱，等. 机械式高速主轴单元的改进设计[J]. 制造技术与机床，2011(9)：76-80.

[5] 王文奎. 精密机床主轴的选材及其热处理工艺[J]. 金属热处理，2002，27(11)：42-43.

[6] 唐仁奎，廖丽. CA6132 主轴选材与加工工艺及热处理设计[J]. 科学咨询，2013(19)：83-83.

[7] 吴元徽. 浅析磨床头架主轴的热处理工艺[J]. 热处理技术与装备，2009，30(6)：49-50.

中国知网 https://www.cnki.net

热处理工艺对数控刀具含铟涂层硬度和耐磨损性能的影响

刘 洋

(天津职业大学 机械工程实训中心, 天津 300410)

摘 要:采用不同工艺对数控刀具含铟涂层进行了热处理,并进行了涂层硬度和耐磨损性能的测试与分析。结果表明,在热处理时间 4 h时,随热处理温度从 250℃增加到 450 ℃,涂层硬度先增大后减小,磨损体积先减小后增大;在热处理温度 350 ℃时,随热处理时间从 1 h延长到 5 h,涂层硬度先增大后基本不变,磨损体积先减小后基本不变。热处理温度优选为 350 ℃而热处理时间优选为 4 h。

关键词:含铟涂层; 热处理工艺; 热处理温度; 热处理时间; 耐磨损性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 2018. 04. 063

中图分类号:TG156 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3814(2018)04-0254-03

Effect of Heat Treatment Process on Hardness and Wear Resistance of Coating Containing Indium for CNC Tools

LIU Yang

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The heat treatment of coating containing indium for CNC tools was carried out by using different processes, and the hardness and wear resistance of the coating were tested and analyzed. The results show that when heat treatment time is 4 h, with heat treatment temperature increasing from 250 ℃ to 450 ℃, the hardness of the coating increases firstly and then decreases, and the wear volume decreases firstly and then increases; when heat treatment temperature is 350 ℃, with heat treatment time increasing from 1 h to 5 h, the hardness of the coating increases firstly and then basically remains unchanged, and the wear volume decreases firstly and then basically remained unchanged. The optimized heat treatment temperature and time are 350 ℃ and 4 h respectively.

Key words: coating containing indium; heat treatment process; heat treatment temperature; heat treatment time; wear resistance

数控刀具由于应用条件较为苛刻、复杂,需要具备较佳的高温性能。目前,数控刀具在高温耐磨损性能方面不够理想,难以满足市场的要求。激光熔敷是改性涂层制备的重要途径。周利等[1]采用数值模拟方法分析了 AlN 陶瓷表面单道激光熔覆铜的应力应变情况,并对激光熔敷工艺参数进行了优化。李桂花等[2]研究了激光熔覆陶瓷粒子增强铁基金属涂层的组织和性能。吕海珠等[3]分析了激光熔敷工艺参数对高温锻压模具钢性能的影响规律。邢泽炳等[4]研究了 65Mn 钢表面熔敷硬质合金及其耐磨性能。杨效田等[5]分析了高铝铜合金激光熔敷层高载荷干摩擦下的摩擦磨损特性。邓苹和曾美扬[6]研究了微变形激光熔敷焊接工艺和焊接残余应力。目前,关于激光熔敷的研究主要集中在涂层组织、制备工艺、结构特征等方面[7-12]。但是关于数控刀具激光熔敷含铟涂层的研究鲜有报道。为此,本文采用激光熔敷方法制备了数控刀具含铟涂层,并研究了热处理工艺对涂层硬度和耐磨损性能的影响。

收稿日期:2016-11-04

作者简介:刘洋(1982–),男,满族,辽宁丹东人,实验师,硕士,主要从事数控加工技术、数控刀具材料研究;电话:13920472110

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为激光熔敷制备的数控刀具含铟涂层,数控刀具材料为 YG8 硬质合金。激光熔敷在 HUST-JKR5170 型加工系统上进行,主要的激光熔敷工艺参数为:光斑直径 ϕ2mm、气体流量 12 L/min、搭接率 35%、激光功率 3 kW、扫描速度 4.5 mm/s。含铟涂层的化学成分如表 1 所示。涂层的厚度为 100 μm。然

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

后在箱式热处理炉中进行数控刀具含铟涂层的热处理。具体的热处理工艺如表 2 所示。

1.2 试验方法

表 1 激光熔敷含铟涂层的化学成分(质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of the coating containing indium by laser cladding (wt%)

W	Cr	V	In
42	30	20	8

表 2 试样的热处理工艺参数

Tab.2 Heat treatment process parameters of the samples

试样号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
热处理温度 /℃	250	300	350	400	450	350	350	350	350
热处理时间 /h	4	4	4	4	4	1	2	3	5

硬度测试：采用 HVS-1000 型高温维氏硬度计测试热处理后数控刀具含铟涂层的硬度，随机选取 5 个点进行硬度测试，测试温度为室温，以 5 个点硬度的算术平均值作为试样的硬度测试值。

耐磨损性能测试：采用 THT 型摩擦磨损试验机测试热处理后数控刀具含铟涂层的耐磨损性能，磨损试样的尺寸为 20mm×20mm×5mm（长×宽×高），磨损试样的基体为 YG8 硬质合金数控刀具，含铟涂层厚度为 100μm。以磨损体积表征试样的耐磨损性能，每个试样选取 3 个试片进行测试，以 3 个试片磨损体积的算术平均值作为试样的磨损体积测试值。磨损试验后用 EVO18 型扫描电子显微镜观察含铟涂层的表面磨损形貌。

2 试验结果及讨论

2.1 热处理工艺对涂层硬度的影响

不同工艺热处理对数控刀具含铟涂层的硬度的影响如图 1 所示。从图 1(a)可以看出，热处理温度对涂层的硬度产生明显影响。当热处理时间恒定为 4h 时，随热处理温度从 250℃逐渐增加到 450℃，涂层的硬度呈现出先升高后降低的变化趋势。当热处理温度为 250℃时，涂层的硬度最低，为 2827 HV；当热处理温度为 350℃时，涂层硬度最高，为 3248 HV，较 250℃热处理时提高了 15%。从图 1(b)可以看出，热处理时间也对涂层的硬度产生明显影响。当热处理温度恒定为 350℃时，随热处理时间从 1h 延长到 5h，涂层的硬度表现为先升高后基本不变的变化趋势。当热处理时间为 1h 时，涂层的硬度最低，为 2906 HV；当热处理时间为 4～5h 时，涂层硬度基本维持在 3248 HV 左右。由此可以看出，热处理工艺对涂层硬度产生重要影响。为了使数控刀具含铟涂层获得最高的硬度，热处理温度不宜过低也不宜过高，优选为 350℃；热处理时间不宜过短也不宜过长，优选为 4h。

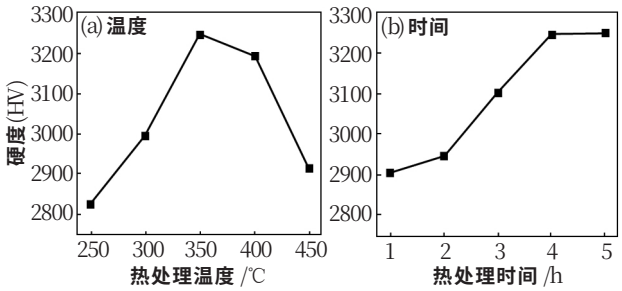


图 1 热处理工艺对试样硬度的影响

Fig.1 Effects of heat treatment process on the hardness of samples

2.2 热处理工艺对涂层耐磨损性能的影响

不同工艺热处理对数控刀具含铟涂层耐磨损性能的影响如图 2 所示。在磨损试验过程中，磨损体积越大，材料的耐磨损性能越差；磨损体积越小，材料的耐磨损性能越好。从图 2(a)可以看出，热处理温度对涂层耐磨损性能产生明显影响。当热处理时间恒定为 4h 时，随热处理温度从 250℃逐渐增加到 450℃，涂层的磨损体积先减小后增大，涂层的耐磨损性能先提高后降低。当热处理温度为 250℃时，涂层的磨损体积最大($32\times10^{-3}mm^3$)，涂层耐磨损性能最差。当热处理温度为 350℃时，涂层的磨损体积最小($14\times10^{-3}mm^3$)，涂层耐磨损性能得到明显提高，较 250℃热处理时磨损体积减小了 41%。从图 2(b)可以看出，热处理时间也对涂层耐磨损性能产生明显影响。当热处理温度恒定为 350℃时，随热处理时间从 1h 延长到 5h，涂层磨损体积表现为先减小后基本不变的变化趋势，涂层耐磨损性能表现为先提高后基本不变。当热处理时间为 1h 时，涂层磨损体积最大($26\times10^{-3}mm^3$)；当热处理时间为 4～5h 时，涂层磨损体积基本不变，保持在 $14\times10^{-3}mm^3$ 左右。由

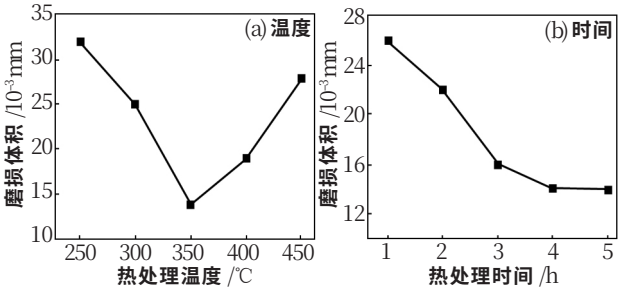


图 2 热处理工艺对试样耐磨损性能的影响

Fig.2 Effects of heat treatment process on the wear resistance of samples

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

此可以看出，热处理工艺对涂层耐磨损性能产生重要影响。

图3是不同工艺热处理数控刀具含铌涂层的表面磨损形貌SEM照片。从图3可以看出，不同工艺热处理后数控刀具涂层磨损试验后表面形貌有明显的差异。从图3(a)可以看出，经过250℃×4h热处理的涂层磨损试验后表面出现较深的磨痕、较多的起皮或脱落，涂层磨损现象较为严重。从图3(b)可以看出，经过350℃×4h热处理的涂层磨损试验后表面无明显的起皮或脱落，磨痕也较浅，涂层磨损现象得到明显减轻。为了使数控刀具含铌涂层获得最高的硬度，热处理温度不宜过低也不宜过高，优选为350℃；热处理时间不宜过短也不宜过高，优选为4h。

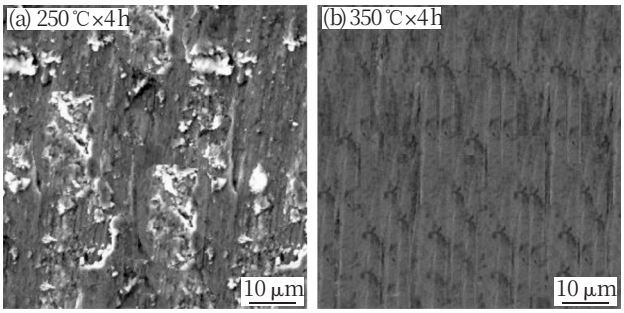


图3 不同工艺热处理涂层试样的磨损表面形貌

Fig.3 Wear surface morphologies of the coating samples with different heat treatment processes

3 结论

(1) 热处理温度和热处理时间均对数控刀具含铌涂层硬度和耐磨损性能产生明显影响。

(2) 当热处理时间为4h时，随热处理温度从250℃逐渐增加到450℃，数控刀具含铌涂层的硬度呈现出先升高后降低的变化趋势，涂层磨损体积先减小后增大，涂层耐磨损性能先提高后下降；当热处理温度为350℃时，随热处理时间从1h延长到5h，涂层硬度表现为先升高后基本不变，涂层磨损体积先减小后基本不变，涂层耐磨损性能先提高后基本不变。与250℃热处理相比，350℃热处理时数控刀具含铌涂层硬度提高15%，磨损体积减小41%。

(3) 数控刀具含铌涂层的热处理温度优选为350℃，热处理时间优选为4h。

参考文献：

[1] 周利，赵洪运，舒凤远，等. AlN陶瓷表面单道激光熔覆铜应力应变数值分析[J]. 焊接学报，2014，35(9)：57-60.

[2] 李桂花，邹勇，邹增大，等. 激光熔覆原位生成$Nb_2(C,N)$及V_8C_7陶瓷粒子增强铁基金属涂层[J]. 材料工程，2012(1)：29-33.

[3] 吕海珠. 工艺参数对激光熔敷高温锻压模具钢性能的影响[J]. 制造业自动化，2015 (6)：69-72.

[4] 邢泽炳，卫英慧，翟鹏飞，等. 65Mn钢表面熔敷硬质合金及其耐磨性能[J]. 材料热处理学报，2015，36(3)：189-193.

[5] 杨效田，王智平，路阳，等. 高铝铜合金激光熔敷层高载荷干摩擦下的摩擦磨损特性[J]. 兰州理工大学学报，2012，38(2)：6-9.

[6] 邓苹，曾美扬. 微变形激光熔敷焊接工艺和焊接残余应力研究[J]. 电焊机，2014，44(1)：63-67.

[7] 李铸国，黄坚，王亚平，等. 温度场监控下高功率半导体激光熔敷钴基合金涂层[J]. 红外与激光工程，2010，39(2)：311-314.

[8] 王立梅. 反应等离子熔敷原位合成高铬铁基复合涂层高温抗氧化性[J]. 焊接学报，2009，30(1)：93-95.

[9] 陈威，马向平，冯建林，等. 铝合金表面SHS辅助激光熔敷TiCNi涂层工艺研究[J]. 热加工工艺，2009，38(10)：131-134.

[10] 李再华，陈雷，张越雷，等. 双馈风力发电机转轴的激光熔敷修复[J]. 电焊机，2012，42(12)：30-33.

[11] 蒋凯，余进，伍钢，等. 基于ANSYS的钢基体熔敷铜高频感应焊数值模拟[J]. 电焊机，2015，45(2)：39-43.

[12] 刘元富，刘秀波，张伟，等. 等离子熔敷TiC/γ-(Fe,Ni)复合涂层组织与耐磨性[J]. 材料热处理学报，2012，33(3)：119-123.

(上接第253页)

[5] 孙瑜，陈晋，孙国雄. 铝硅合金硅相演变及其对力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金，2001(6)：1-3.

[6] 白砚飞. 慢压射铝合金压铸件组织与性能的研究[D]. 广州：华南理工大学，2010.

[7] Talbot D E J. Effects of hydrogen in aluminium, magnesium, copper, and their alloys [J]. International Materials Reviews, 1975, 20(1): 166-184.

[8] Anyalebechi P N, Hogarth J. Effect of supereutectic homogenization incidence of porosity in aluminum alloy on 2014 ingot [J]. Metallurgical & Materials Transactions B, 1994, 25 (1): 111-122.

[9] Birnbaum H K, Buckley C, Zeides F, et al. Hydrogen in aluminum [J]. Journal of Alloys & Compounds, 1997, 253-254 (s6): 260-264.

[10] Toda H, Hidaka T, Kobayashi M, et al. Growth behavior of hydrogen micropores in aluminum alloys during high-temperature exposure [J]. Acta Materialia, 2009, 57: 2277-2290.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热处理温度对新型数控刀具材料耐磨损性能的影响

吴 娜

(天津职业大学 机械工程实训中心，天津 300410)

摘 要：采用五种不同的热处理温度(700、750、800、825、850 ℃)对添加适量合金元素 Cr 和 Sr 的新型数控刀具材料进行了热处理，并在 25 ℃(室温)和 350 ℃(高温)测试了耐磨损性能。结果表明：在热处理时间 4 h 时，随着热处理温度升高，室温和高温磨损体积先减小后增加，耐磨损性能先提高后下降。热处理温度优选为 825 ℃。

关键词：热处理温度；耐磨损性能；数控刀具材料；磨损体积

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 2018. 06. 055

中图分类号：TG162.2 文献标识码：A 文章编号：1001-3814(2018)06-0226-04

Effects of Heat Treatment Temperature on Wear Resistance of New Numerical Control Tool Material

WU Na

(Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The heat treatment of the new numerical control tool materials containing proper amount of alloying elements Cr and Sr was carried out by using five kinds of different heat treatment temperatures (700, 750, 800, 825 and 850 ℃). And the wear resistance of the materials at 25 ℃ and 350 ℃ was tested and analyzed. The results show that when the heat treatment time is 4 h, with heat treatment temperature increasing, the wear volumes of the material at room temperature and at high temperature decrease firstly and then increase, and the wear resistance increases firstly and then decreases. The optimized heat treatment temperature is 825 ℃.

Key words: heat treatment temperature; wear resistance; numerical control tool material; wear volume

近年来，数控机床在机床工具、航空等领域市场占有率大幅上升，随着工业高精度、高效率的需求，促使数控技术也在不断地更新与发展。众所周知，数控刀具对数控机床起着至关重要的作用，刀具的好坏直接影响机床的整体工作效能。数控机床刀具具有精度高、刚性好、寿命高、互换性好和稳定的切削性能等优点[1-4]。目前，关于数控刀具技术的研究较多。梁彦学等研究了数控刀具材料与发展，数控刀具材料在超硬材料、W、Co 类涂层和细颗粒(超细颗粒)硬质合金基体及含肠类粉末冶金高速钢等领域进展速度较快[5]。吴能章论述了数控刀具技术在刀具材料、涂层技术、刀具结构等方面的最新进展[6]。姚志强通过分析数控工艺特点，提出数控刀具耐用可靠度及其优化要点[7]。优质刀具主要取决于其材料的性能，而材料性能的好坏不仅与其自身化学成分、生产工艺相关，而且很大程度上取决于其热处理工艺。但是，现阶段的研究主要集中在数控刀具技术发展等方面[8-9]。关于热处理工艺对数控刀具耐磨损性能的研究还鲜有报道。本文采用不同的热处理工艺对刀具材料进行处理，并对室温和高温环境下的耐磨损性能进行了测试与分析，研究了表面热处理工艺对 YG8 硬质合金室温和高温耐磨损性能的影响，为新型数控刀具表面热处理工艺的优化提供新的思路和试验数据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料：在 YG8 硬质合金基础上添加适量的合金元素 Cr 和 Sr，采用机械球磨(转速 600 r/min、时间 1 h)后高温烧结(烧结温度 1400 ℃、烧结时间8 h)的方法制备了新型数控刀具材料试样。试样尺寸为 100 mm×40 mm×10 mm(长×宽×高)。试样的化学成分经 X 射线荧光光谱仪分析，结果如表 1 所示。试样在 SX2-25-10 型马弗炉中完成热处理。试样的

收稿日期：2016-11-08

作者简介：吴娜(1982–)，女，天津人，实验师，硕士，研究方向为数控加工技术、数控刀具；电话：13820548760

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热处理工艺如表 2 所示。

表 1 试样的化学成分(质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of the samples (wt%)

Co	Cr	Sr	其它杂质元素	WC
8.084	1.513	0.816	＜0.100	余量

表 2 试样热处理工艺

Tab.2 Heat treatment process of the samples

试样号	热处理温度 /℃	热处理时间 /h	冷却方式
1	700	4	炉冷至 250 ℃后空冷
2	750	4	炉冷至 250 ℃后空冷
3	800	4	炉冷至 250 ℃后空冷
4	825	4	炉冷至 250 ℃后空冷
5	850	4	炉冷至 250 ℃后空冷

1.2 试验方法

对新型数控刀具材料试样进行不同工艺热处理后，使用 THT 型高温摩擦磨损试验机测试新型数控刀具材料试样的耐磨损性能，磨轮转速为 200 r/min、磨损时间为 15 min、相对滑动速度为 90mm/min、载荷为 100N,测试温度分别为室温(25℃)和高温(350℃)。磨损试验后用 PG18 型金相显微镜和 JSM6510 型扫描电子显微镜(SEM)观察试样的表面磨损形貌。

2 试验结果

2.1 室温耐磨损性能

经过不同工艺热处理后的 YG8 硬质合金试样，在室温(25 ℃)测试耐磨损性能，结果如图 1 所示。从图可以看出，当热处理温度为 700 ℃时，试样 1 的室温磨损体积为 46×10^{-3} mm^3，此时磨损体积最大；当热处理温度为 750 ℃时，试样 2 的室温磨损体积为 40×10^{-3} mm^3，较试样 1 减小了 13%；当热处理温度为 800 ℃时，试样 3 的室温磨损体积为 26×10^{-3} mm^3，较试样 1 减小了 43%，当热处理温度为 825 ℃时，试样 4 的室温磨损体积为 21×10^{-3} mm^3，较试样 1 减小了 54%，此时磨损体积最小，减小幅度最大；当热处理温度为 850 ℃时，试样 5 的室温磨损体积为 24×10^{-3} mm^3，较试样 1 减小了 48%。由此可以看出，随着热处理温度的不断升高，试样的室温磨损体积先呈现显著减小的趋势，当试样温度达到 825 ℃时，试样的磨损体积最小，然后随着温度上升，试样磨损体积开始呈现增大的趋势。我们知道，在材料磨损试验过程中，磨损体积越小，材料的耐磨损性能越好；反之，磨损体积越大，材料的耐磨损性能越差[10]。因此，可以得出：热处理温度为 700 ℃时，试样的室温耐磨损性能最差；随着温度不断上升，耐磨损性能显著增强，当温度达到 825 ℃时，试样的耐磨损性能最佳；然后随着温度上升，试样耐磨损性能下降。

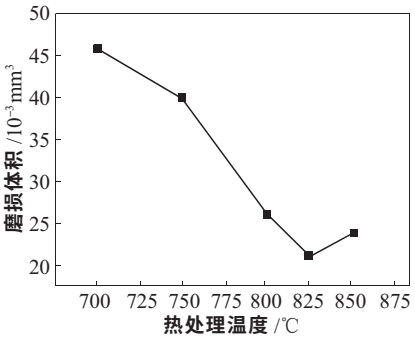


图 1 试样室温耐磨损性能测试结果

Fig.1 Test results of room temperature wear resistance of samples

图 2 是不同温度热处理试样在室温磨损试验后的表面形貌 SEM 照片。从图 2(a)可看出，700℃热处理试样在室温磨损试验后表面出现较多的起皮、脱落、凹坑和较深的磨痕，磨损现象较为严重。从图

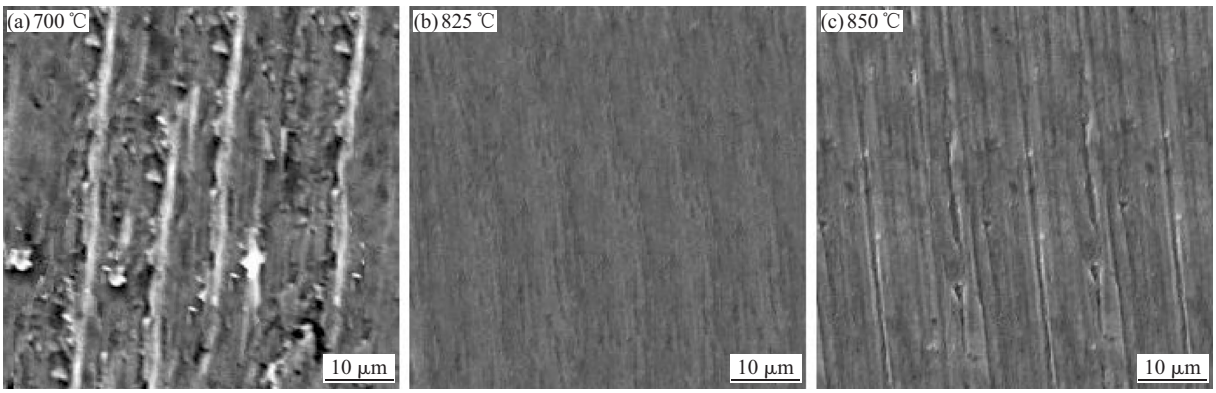


图 2 不同温度热处理试样的室温磨损表面形貌

Fig.2 Room temperature wear surface morphologies of the samples after heat treatment at different temperatures

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2(b)可看出,825 ℃热处理试样在室温磨损试验后表面无明显的起皮、脱落,仅有少量细小的磨痕,试样的磨损现象得到明显减轻。从图 2(c)可看出,850 ℃热处理试样在室温磨损试验后表面有少量的凹坑和较为明显的磨痕,磨损现象介于 700 和 825 ℃热处理试样之间。这与试样的室温磨损体积测试结果一致。

2.2 高温耐磨损性能

经过不同热处理工艺后的 YG8 硬质合金试样,在高温(350 ℃)环境下的耐磨损性能测试结果如图 3 所示。从图 3 可看出,当热处理温度为 700 ℃时,试样 1 的高温磨损体积为 89×10^{-3} mm^3,此时磨损体积最大;当热处理温度为 750 ℃时,试样 2 的室温磨损体积为 73×10^{-3} mm^3,较试样 1 减小了 18%;当热处理温度为 800 ℃时,试样 3 的室温磨损体积为 60×10^{-3} mm^3,较试样 1 减小了 33%,当热处理温度为 825 ℃时,试样 4 的室温磨损体积为 36×10^{-3} mm^3,较试样 1 减小了 60%,此时磨损体积最小,减小幅度最大;当热处理温度为 850 ℃时,试样 5 的室温磨损体积为 44×10^{-3} mm^3,较试样 1 减小了 44%。由此可以看出,热处理温度为 700 ℃时,试样的高温耐磨损体积最大,耐磨损性能最差;随着热处理温度的不断升高,试样的高温磨损体积先呈现显著减小的趋势,耐磨损性能得到显著增强,当试样温度达到 825 ℃时,试样的磨损体积最小,试样的耐磨损性能最佳;之后随着温度上升,试样磨损体积开始呈现增大的趋势,试样耐磨损性能开始呈现下降趋势。

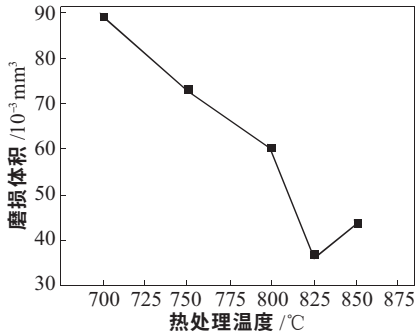


图 3 试样高温耐磨损性能测试结果

Fig.3 Test results of high temperature wear resistance of samples

图 4 是不同温度热处理试样在高温磨损试验后的表面形貌。从图 4(a)可以看出,700℃热处理试样在高温磨损试验后表面磨痕粗大,并伴有较多的磨屑和起皮,磨损现象较为严重。从图 4(b)可以看出,825 ℃热处理试样在高温磨损试验后表面无粗大的磨痕,也无明显的磨屑和起皮,仅有少量细小磨痕和凹坑,试样的磨损现象得到明显减轻。从图 4(c)可以看出,850 ℃热处理试样在高温磨损试验后表面有较多的凹坑和磨屑,磨损现象介于 700℃和 825℃热处理试样之间。这与试样的高温磨损体积测试结果一致。

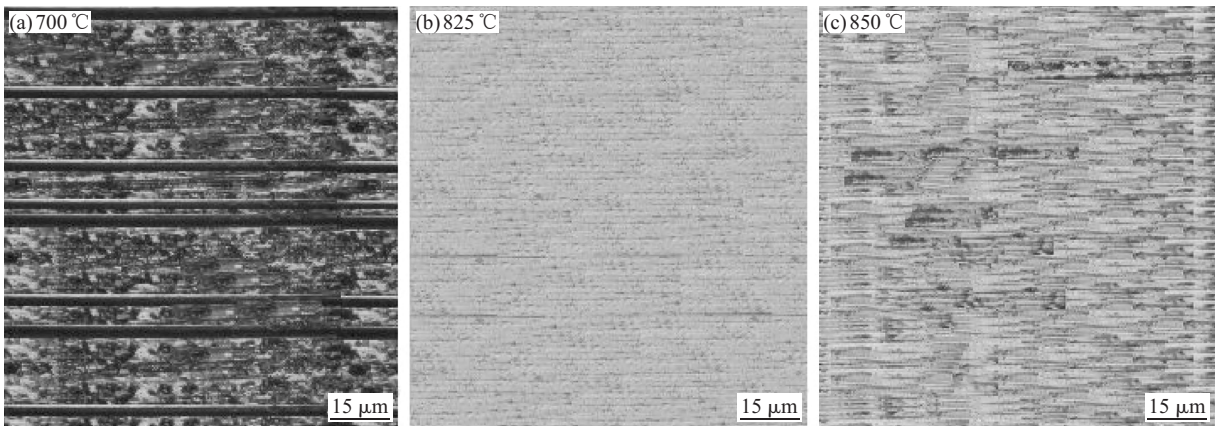


图 4 不同温度热处理试样的高温磨损表面形貌

Fig.4 High temperature wear surface morphologies of the samples after heat treatment at different temperatures

综上所述,从提高新型数控刀具材料室温和高温耐磨损性能出发,热处理工艺优选为 825 ℃的热处理温度。

2.3 讨论与分析

硬质合金刀具材料在磨损试验过程中,热处理温度为 700 ℃的新型硬质合金刀具材料(试样 1)由于内部组织相对疏松、间隙较大、晶粒较为粗大,材料易变形,表面出现较深磨痕和起皮,试样耐磨损现象较为严重;表面热处理温度为 825 ℃和 850 ℃的新型硬质合金刀具材料(试样 4 和 5)较试样 1 内部

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

组织更加细密，晶粒间隙减小，磨痕变浅，犁沟明显减少，材料的耐磨损性能得到一定程度的提高；而825 ℃热处理的新型硬质合金刀具材料（试样 4）由于晶粒得到明显细化，材料抗变形能力得到显著提高，磨痕最小，材料的耐磨损性能得到显著改善。

数控刀具在使用过程中会逐渐出现不同程度的磨损现象，未经热处理的硬质合金刀具材料磨损现象比较严重。本试验由于对数控刀具 YG8 硬质合金材料进行了表面热处理，使得材料在摩擦过程中，既细化了晶粒，加强了硬质合金相与基体之间的连接力，同时增强了材料抗变形的能力，从而减小了磨损程度，降低了磨损量，减小了磨损体积，进而提高了材料的耐磨损性能。随着热处理温度的不断升高，YG8 硬质合金材料的内部间隙开始减小，组织逐步细密，材料的耐磨损性能得到提高；但是温度不一定越高越好，当温度过高时，新型硬质合金材料易因过大的系统能量出现晶粒粗化现象，耐磨损性能反而呈现下降趋势。试验测试结果表明，随着热处理温度不断升高，硬质合金材料磨损体积减小，耐磨损性能提高，当温度达到 825 ℃时，耐磨损性能达到最佳，当温度进一步上升时，磨损体积逐步增大，耐磨损性能呈现逐步减小趋势。

3 结论

（1）与 700 ℃热处理相比，750、800、825 和 850 ℃热处理分别使 YG8 硬质合金室温(25℃)耐磨损体积减小 13%、43%、54%和 48%。随着热处理温度升高，耐磨损体积先减小后增加，当热处理温度为 825 ℃时，耐磨损体积最小，耐磨损性能最佳。

（2）与 700 ℃热处理工艺相比，750、800、825 和 850 ℃热处理分别使 YG8 硬质合金高温(350 ℃)耐磨损体积减小 18%、33%、60%和 51%。随着热处理温度升高，耐磨损体积先减小后上升，当热处理温度为 825 ℃时，耐磨损体积最小，耐磨损性能最佳。

（3）为了提高数控刀具 YG8 硬质合金的室温和高温耐磨损性能，热处理温度优选为 825 ℃。

参考文献：

[1] 顾祖慰．数控刀具概述及新技术[J]．金属加工(冷加工)，2011(1)：23-24．

[2] 张慧鹏，孟淑英，贾毅朝．数控刀具及其发展趋势[J]．机械管理开发，2008(6)：20-21．

[3] 侯祖刚，庞阵．国产数控刀具的优势理念[J]．金属加工：冷加工，2014(6)：27-28．

[4] 王虹．我国数控刀具的发展探讨[J]．工具技术，2003(11)：15-19．

[5] 梁彦学，赵海波．数控刀具及其发展趋势[J]．机械工人：冷加工，2001(4)：8-10．

[6] 吴能章．数控刀具技术的最新进展[J]．西华大学学报：自然科学版，2007(5)：14-19．

[7] 姚志强．基于数控刀具耐用可靠度分析[J]．机械研究与应用，2008(4)：120-121．

[8] 王栋，韩变枝．数控机床刀具技术现状及展望[J]．机械科学与技术，2003(S2)：180-182．

[9] 羊建高，戴晓蕾．对发展我国数控刀具的思考[J]．机械工人：冷加工，2003(9)：6-7．

[10] 王大承，史晓强，张永康，等．20CrMo 低合金结构钢激光表面强化研究[J]．激光杂志，2001，22(5)：66-67．

(上接第 225 页)

[5] 曾攀．有限元基础教程[M]．北京：高等教育出版社，2009．

[6] 邬备，王德成，王光辉，等．小型自走式割草机仿形装置仿真分析与试验[J]．农业机械学报，2015，46(7)：123-129．

[7] 刘笑天．Ansys Workbench 结构工程高级应用[M]．水利水电出版社，2015．

[8] 龚兴明．170F 发动机的曲柄连杆机构优化降低割草机振动的研究[D]．天津：天津大学，2011．

[9] 傅美贞．GN121 型手扶拖拉机配套旋转式割草机的研究[D]．南京：南京农业大学，2010．

[10] 何武豪，刘大海，黎俊初．7075 铝合金蠕变时效成形有限元分析[J]．热加工工艺，2016，45(19)：149-152．

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热管冷凝热回收家用分体空调器的实验研究

■李景丽　■天津职业大学,天津　300402

摘　要:本文简要阐述了空调器在回收冷凝热方面所做的研究现状,分析了热管换热器在空调冷凝热回收的可行性。同时对微型热管换热器应用在家用分体空调器中回收冷凝热加热生活热水做了实验研究和探讨。

关键词:冷凝热回收　微型热管换热器　节能

随着空调器的日益普及,夏季空调排放到环境中的冷凝热量比较大,不仅造成了能源的巨大浪费,而且还对环境造成了热污染,而这种污染是导致全球气候温暖化的重要因素之一。而另一方面,由于生活水平的不断提高,人们对生活热水的需求量也逐渐加大,从而使加热生活热水的一次能源消耗也越来越多。据估计,热水供应的能耗将成为继室内供暖空调能耗之后的第二大能耗,热水器要消耗居住总能源的17%,今后还将有继续上升的势头。

节约能源和保护人类生存的大环境是摆在空调专业人士面前的重要难题,解决这一难题的两大手段:一是开发新型环保可再生能源(太阳能、地热能、核能等);二是回收废热,提高能源利用效率。很明显,前者研发周期长,技术难度大;而后者是利用新技术提高现有能源利用率最直接的手段,周期较短,易于实施。

1　空调冷凝热回收系统研究现状

目前,国内外在大型空调制冷系统上成功运用冷凝热回收技术的经验,如美的的空气源热泵热回收机、宏星 40ST 系列热回收水冷螺杆式冷水机组、约克中央空调的 YMAC - HR、YHAC - HR 热回收空调机组、特灵的带热回收功能的高三级离心冷水机组、开利的热回收式双管束冷凝器热泵机组等,都是利用壳管式冷凝器放出的冷凝热加热水提供"免费的"生活、洗浴用水。

1996 年,西安交通大学的张华俊建立实验台对热回收进行理论与实验研究;2003 年,清华大学朱颖心对水冷式的分体空调器进行研究,提出了一种水冷式户式空调系统;2005 年,清华大学石文星提出夏季空调通过回收冷凝热加热生活热水的系统;2008 年,中国科学技术大学建立了空调 - 热水器一体机实验台;2012 年天津商业大学建立的相变蓄热式冷凝热回收空气源热泵多功能实验台等。在以上的研究中使用的冷凝器仍然是壳管式冷凝器、套管式冷凝器或小型板式换热器,换热效率有待进一步提高。

2　热管换热器空调热回收可行性分析

任何一种废热要有利用价值,自身必须具有以下几个条件:(1)排放量相对较大;(2)排放量较为集中;(3)排放量在相当长的时间内较为稳定。

只要废热具备上述三个内部因素后,那么它就具有回收的价值。若要使废热在工程中得到运用,还必须具备以下三个外部条件:(1)能就近找到大量使用这种低品位热能的外部场所;(2)所需热能品位与废热品位相近;(3)废热产生的时间与要使用废热的时间一致。

在夏季空调工况下,释放的冷凝热量约为制冷量的 1.3 倍。很明显,在大中型集中空调系统中,其冷凝热的排放量是很大的。而对于家用空调器来说,尽管冷凝热排放量不是很大,但是足以满足一家生活热水的需要。

故空调系统冷凝热基本满足以上三个内部条件,具有一定的回收价值。同时家用生活热水的品位和冷凝热的品位大致相同,日常人们用水温度的要求不是很高(一般在 40℃左右),而空调冷凝温度基本在 50℃以上,因此两者具有较好的匹配。虽然在冷凝热的排放时间与用户使用的时间上可能存在不一致的情况,但是完全可利用热水集水箱来解决这一矛盾。所以利用空调冷凝热来加热生活热水是可行的,在建筑节能工程中大有可为。

3　热管换热器空调热回收实验系统

本实验系统主要由 1.5 匹单冷型空调器、热管换热器、60L 热水集水箱以及水泵等设备组成,如图 1 所示。

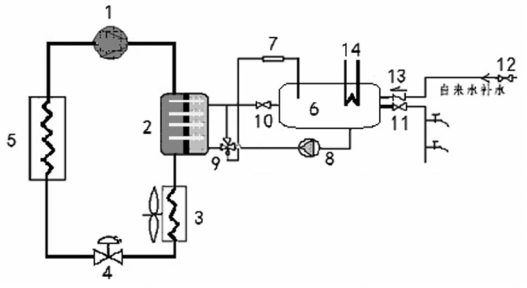


图 1　热回收家用空调机实验装置示意图

1、压缩机;2、热管换热器;3、风冷冷凝器;4、膨胀阀;5、蒸发器;6、热水集水箱;7、温度传感器;8、微型水泵;9、三通阀;10、11、12;截止阀;13、单向阀;14、辅助电加热管

本实验系统采用热管换热器与冷凝器串联的方式,热管换热器直接吸收压缩机排气热量。其具体工作流程为:压缩机的高温高压排气先经过热管换热器的蒸发段,热管蒸发端吸收制冷剂的热量,冷却后的制冷剂再经过冷凝器→膨胀阀→蒸发器→压缩机,循环往复。集水箱内的水由微型水泵经过三通阀进入热管换热器的冷凝端,水吸收热管冷凝端的放热被加热,流入集水箱。

当水温不足或空调不运行时,可启动辅助电加热管独立加热集水箱内的水。

本实验所用微型热管换热器主体为钢制罐体构成,罐体由中央隔板分为两个腔室,吸热腔与空调系统连接,放热端与热水系统连接。热管蒸发端位于吸热腔,冷凝端位于放热腔内,热管绝热段与隔板采用钎焊连接。

微型热管是热管换热器的核心部件。热管由于其具有高速、高效的热传导效果,且重量轻且构造简单,体积袖珍,易加工、耐用、寿命长、可靠等优点,广泛应用于机械电子行业及有特殊换热要求的情况中。在实际应用中热管选择上应在满足热管的工作温度,并有适当的饱和蒸汽压;与壳体,吸液芯材料应相容、且具有良好的热稳定性;同时考虑经济性、毒性、环境污染等因素。

本实验所用用微型热管是由管壳、吸液芯、端盖三个基本部分组成,管内填充工作液。热管的一端为蒸发段,另一端为冷凝段,根据应用需要在两段中间布置绝热段。工作时,蒸发端吸收热量,使毛细芯中的工作液体蒸发汽化,蒸汽在微小的压差下流向冷凝端放出热量凝结成液体,液体再沿多孔材料在毛细力的作用下流回蒸发段。

本实验中微型热管壳体管材选择紫铜螺纹管,吸液芯采用铜材料,工质选用水。设计工作温度为 20 ~ 200℃,热阻系数小于 0.08℃/W。

实验温度采集采用 FLA5016 型多路温度巡检仪(仪器分辨率为 0.1 度,测量精度为 0.3 级)对所测温度点每 2 分钟进行自动检测与记录。测温探头为铜—康铜热电偶,均经过标定,其测温范围是 -40℃ ~ 125℃,允差值为 ±0.5℃。集水箱压力及压缩机的进出口压力由 C3000 系列多通路带 U 盘蓝屏压力记录仪(采样周期为 1 秒,精度等级为 0.2 级)来读取。实验中测定压缩机吸气压力和排气压力,压缩机排气温度和吸气温度;热水集水箱内压力,热管换热器进口水温和出口水温;热水集水箱循环水流量;室外环境温度,蒸发器出风温度等参数。

4　实验数据分析

图 2 为设置热管换热器前后压缩机排气温度变化。从图 2 中可以知道,在空调开机阶段,压缩机排气温度变化很快,在运行 50min 后就达到 80℃左右。系统设置热管换热器后压缩机排气温度数值较之前偏低,且在开机 50min 左右时,压缩机排气温度有较大降幅。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

这是因为，开始阶段风冷冷凝器不开机，热管换热器吸收压缩机排气热量加热热水集水箱内的循环水，随着水温逐渐升高，换热量趋于稳定，压缩机排气温度也基本保持不变。在开机50min左右时，风冷冷凝器风机开启，由热管换热器和风冷冷凝器共同承担空调散热量，此时压缩机排气温度明显降低，10min左右数值又趋于稳定。

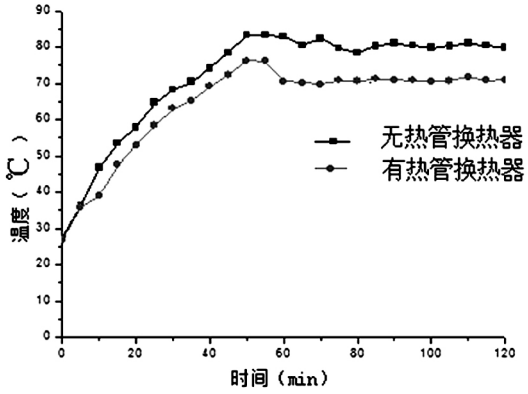


图2　压缩机排气温度变化比较

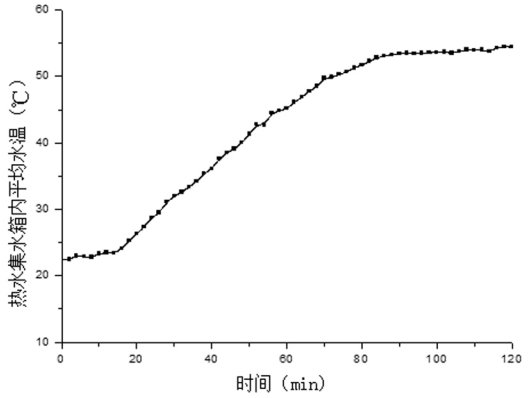


图3　热水集水箱内平均水温变化

从图3热水集水箱内平均水温变化曲线中可以看出，安装有热管换热器的空调系统在开机10min后热水集水箱的循环水温度开始有较明显的变化，随着排气温度的上升，换热温差加大，水箱内的水温上升较快。50min后，热管换热器蒸发端和冷凝端的温差减少，水温变化速度降低，大约在开机80min时水温稳定在53℃左右，此时微型水泵的流量为1.5m^3/h。

通过以上的研究，热管冷凝热回收家用分体空调器在产水量及水温等方面完全满足生活热水要求，而且比传统空调器+电热水器系统具有更好的节能效果。因此，将热管冷凝热回收技术应用于家用空调，回收的冷凝热用于卫生热水供应不仅减少了冷凝热对环境造成的热污染，而且将空调中的冷凝热量予以回收用于室内生活热水供应，既能节约大量的一次能源，又能保护环境，具有很好的社会效益和经济效益。

参考文献

[1] 郝玲，祝昌斌等. 冷凝热回收的空调改造方案设计与实验分析[J]. 大型公建节能，2014(10).
[2] 朱德斌，胡益雄等. 冷凝热回收热水系统的应用研究[J]. 建筑热能通风空调，2013，9.
[3] 徐柳娟. 新型空调冷凝热回收方法和装置[J]. 能源与环境，2011(6).

作者简介：李景丽(1979年生)，女，天津职业大学，讲师，硕士研究生；研究方向：暖通空调系统的节能。

(上接第63页)

结构，并使有机物处理达到更好的净化效果。通过在塘内种植水葫芦、水花生等水生植物，对有机污染物有较为明显的净化效果，特别是对磷、氮具有极强的降解能力。同时对塘内各种生物或植物进行综合回收利用，具有更好的经济价值。

4　小结

综上所述，随着生态环境的不断变化，应该改变对传统污水处理中旧的思想观念，以高效化、系统化、生态化和资源化的理念为指导，利用现在高速发展的科学技术，本着多种处理模式并存的综合处理原则，因地制宜，分类处置，研究和解决稳定塘存在的问题，在传统稳定塘污水处理技术的基础上，研究更多的新型稳定塘工艺以及各种稳定塘之间的组合工艺。未来稳定塘技术将继续在加强研究、提高效率、改善设施、优化系统和综合利用的方向上发展，也必将继续重视资源综合开发利用和生态发展之间的平衡，注重协调社会发展和环境保护之间的关系，形成良性的社会经济发展循环。

参考文献

[1] 李圭白，张杰. 水质工程学[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005：548－563.
[2] 况琪军，谭渝云. 活性藻系统对氮磷及有机物的去除研究[J]. 中国环境科学，2001，21(3)：212－216.
[3] 樊新源，高和气，汤峰，等. 水生植物塘预处理巢湖源水中试研究[J]. 中国给水排水，2010－21－014.
[4] 汪慧贞，吴俊奇，曹秀芹. 超深厌氧塘的技术特性[J]. 环境工程，1997，15(3)：16－18.
[5] 何小莲，李俊峰，何新林，等. 稳定塘污水处理技术的研究进展[J]. 水资源与水工程学报，2007－18－5.

(上接第64页)

4　结束语

施工技术对于整个土木工程施工建设有着非常重要的影响，结合土木工程施工特点，针对当前土木工程施工技术中存在的问题，优化和改进施工技术，积极推广新型土木工程材料，加强施工技术管理，推动我国土木工程的快速发展。

参考文献

[1] 安喜德. 土木工程施工技术中存在的问题与创新[J]. 科技创新导报，2015，13：252.
[2] 李庆凯. 土木工程施工技术的重要性与创新分析[J]. 中国建材科技，2014，S1：175－176.
[3] 白金. 土木工程施工技术及创新[J]. 门窗，2014，02：373.
[4] 许权. 土木工程施工技术的创新及发展探讨[J]. 江西建材，2014，21：62.
[5] 张雷. 土木工程施工技术的创新探究[J]. 商品混凝土，2013，03：137+131.

作者简历：安逸群(1982年生)，男，汉，2010年毕业于太原理工大学计算机科学与应用专业，职称：助理工程师，研究方向：土木工程。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

日本的职业技能竞赛概述

邹吉权，刘晓梅
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要 日本的职业技能竞赛经过50多年的发展，已经制度化、规范化和常态化，有一套完备的竞赛体制、规章制度、组织机构和专家队伍，其组织工作严密、细致、周到，选手训练有素，竞赛的开放性、公平公正性、品牌效应做得都非常成功，吸引了更多的青年人学习技能、从事技能性工作，对日本经济社会发展起到了无可替代的作用，值得学习和借鉴。

关键词 日本；职业技能竞赛；开放性；品牌效应
中图分类号 G719.1 文献标识码 A 文章编号 1008-3219（2014）20-0093-04

自1963年起，日本的全国职业技能竞赛已连续举办51届，其组织工作和选手训练已日臻成熟。赛事的举办使日本国内形成了尊重知识、尊重技能的良好氛围，吸引了更多的青年人学习技术和技能，从而促进了日本经济社会的快速发展。

一、日本职业技能竞赛概况

日本的职业技能竞赛分为三个层级，第一层级为地方（都道府县）性的职业技能竞赛，每年举办一次，同时选拔优秀选手参加全国技能竞赛。第二层级为全国职业技能竞赛，每年11月~12月举办，由各地区轮流承办，其目的是在社会上营造一种尊重知识、尊重技能的氛围，吸引更多的青年人学习技能、追求卓越。各赛项的冠军将得到“厚生劳动大臣奖”，同时各赛项的前两名将作为世界职业技能竞赛的后备选手进行培训，参加世界职业技能竞赛。日本全国职业技能竞赛自1963年举办第一届，至2013年已举办51届。第三层级的赛事当属世界职业技能竞赛，自1962年起，日本每年都参加世界职业技能竞赛，并承办三次世界技能大赛，取得优异成绩，在总共参加的32次比赛中，日本选手团体成绩8次第一名，9次第二名，7次第三名。本文重点分析日本的全国职业技能竞赛。

二、赛项分析

日本第一届全国职业技能竞赛共有27个赛项，后来随着经济技术的发展，逐步增加到40余项，近十年来竞赛项目一直保持在40个左右，赛项名称和内容也变化不大。2013年第51届全国技能竞赛有六大类40个赛项，具体见表1。

（一）赛项设置与世界技能竞赛接轨

收稿日期：2014-05-11
作者简介：邹吉权（1965- ），男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士；刘晓梅（1987- ），女，山东莱西人，天津职业大学实习研究员。
基金项目：2013年度天津市哲学社会科学规划课题《职业技能大赛的国际比较研究》（编号：TJJX13-021），主持人：邹吉权；天津市教育科学“十二五”规划项目《高职院校教师专业发展的国际比较研究》（编号：VE3014），主持人：邹吉权。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　日本第51届全国技能竞赛赛项[1]

机械类	机械装配、模具钳工、精密机器装配、机械制图、车床、铣床、木模、汽车检测与维修
金属类	钢结构制造、焊接、汽车钣金、弯曲钣金、车体喷漆
建筑类	瓷砖、配管、石工、瓦工、家具、建具（门窗）、建筑木工、园艺、制冷空调技术、建筑结构制作
电子技术类	机电一体化、电路板设计制作、电工、工厂电气设备
通信情报类	IT网络系统管理、网络布线、网页设计
服务、时尚类	贵金属首饰、插花、美容、美发、西式裁剪、日式裁剪、西点制作、西餐烹饪、日本料理、餐厅服务

日本自1962年参加第11届世界职业技能大赛，迄今已有50余年的参赛历史，并在1970年、1985年和2007年三次承办世界职业技能大赛，取得了优异成绩，这与其国内技能竞赛的赛项设置有关。日本全国技能竞赛的赛项设置与世界职业技能竞赛的赛项大部分一致，涵盖了世界技能大赛80%以上的项目，全国职业技能竞赛的优胜选手再经过6个月的培训参加世界职业技能竞赛。

（二）更注重人的技能魅力

日本的全国职业技能竞赛赛项内容更注重人的技能，尽量减少机器的作用。例如，车、铣两工种的赛项难度相当高，形状复杂，尺寸精度相当我国IT5~IT6，表面粗糙度为Ra1.6，世界技能大赛使用的均是数控机床，而日本的数控技术在世界上处于顶尖水平。但日本国内竞赛采用普通机床，他们认为奥林匹克精神尽量要展现人的技能魅力，纯粹依靠手工的机械加工就能实现微米级的加工。他们最担心的是企业内部一些传统手工技能能否保留下来，手工操作比数控操作更能锻炼职业素质，如精益求精、体能心智、工艺能力等。但他们在国际大赛集训阶段会使用数控机床和软件[2]。

（三）技术与技能并重

日本全国技能竞赛试题难度高，对选手的技术、技能以及综合素质都具有相当大的挑战性。尽管试题提前2~3个月公布，但要想得高分并不容易，以两个赛项进行说明。

1.模具钳工赛项[3]

在模具钳工赛项中，要求按图纸制作一个两工位的级进模，需要制作的零件有1个凹模、2个凸模、1个卸料板、1个侧刃共5个零件，再将其进行装配，要求凸凹模单边间隙为0.05mm，并冲出合格工件。毛坯为板料或棒料。比赛时间共8小时45分，其中，机加工时间为3小时，钳工时间为5小时45分。这不仅要求选手具备高超的装配钳工和机加工等动手能力，还要求选手具备较强的识图能力，模具结构知识和加工、装配等工艺能力，另外对选手的体能心智也是一个挑战。尽管选手提前2个多月进行训练，但仍有一半以上的选手竞赛成绩为零分。

2.焊接赛项[4]

焊接竞赛内容有四项：一是铝合金的钨极氩弧焊（交流）。二是不锈钢的钨极氩弧焊（直流）。这两项任务均是焊接一个空间立体结构，焊后进行焊缝及结构尺寸的外观检测评定。三是V型坡口对接（立焊）和单V型坡口对接（横焊）。四是结构钢容器的焊条电弧焊，该任务是焊接一个方形封闭容器，焊后除进行焊缝及结构尺寸的外观检测评定并进行水压试验。四项竞赛任务须在4小时20分钟内完成，另外再加20分钟清扫时间。四件作品均需选手按比赛项目图示要求进行装配点固、焊接，在规定时间未完成的作品不计成绩。除任务三外，其余三件作品均规定有平焊、立焊及全位置焊，对选手的综合素质考察要求比较全面。焊接涉及多种金属材料、多种焊接方法、多种焊接材料、多种焊接位置，要焊出合格工件，就必须对相应的钢材、焊材有充分认识，对相应的焊接工艺方法、焊接设备特点、焊接材料、焊接应力与变形有所了解与认识。因此，虽然没有理论考试，但对技术知识的要求已包含在比赛项目中。对选手的焊接操作技能要求更高，选手必须熟练、准确并迅速，不能有多余动作，否则很难按时完成任务。在第51届全国职业技能竞赛中，焊接赛项成绩较好，33名选手有16名成绩在80分以上。

三、竞赛选手特征分析

（一）参赛选手人数特征

近年来，日本全国职业技能竞赛参赛选手逐年上升，如图1所示，2013年第51届日本全国职业

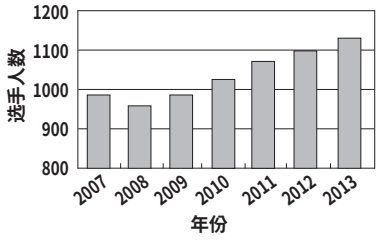


图1　2007~2013年参赛选手人数增长情况

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

技能竞赛参赛选手达1127人，人数最少的赛项为6人（弯曲钣金），最多86人（建筑木工），各赛项参赛人数的多少，直接反映了该工种社会需求量的大小。

（二）选手的年龄及性别特征

为了与世界技能大赛接轨，日本全国技能竞赛只允许23岁以下人员参赛，图2显示了第51届全国职业技能竞赛选手的年龄特征[5]。从图2可知，选手年龄最大23岁，最小只有15岁，主体为20左右的青年人。日本的技能型人才培养从低龄抓起，各大企业从技校挑选优秀学生进入公司培训，这些人以后将成为公司的技术骨干，并代表公司参加全国和世界技能大赛。

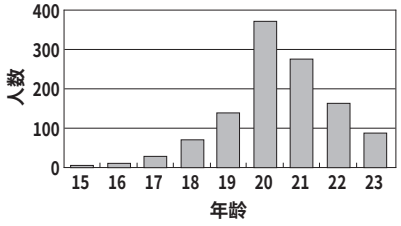


图2　选手年龄特征

第51届全国技能竞赛1127名选手中，男性选手918名，女性选手209名，女性选手比例较低，为18.5%。尽管日本政府鼓励女性选手参赛，但由于日本传统习惯的影响，效果并不理想。

（三）参赛选手来源特征

第51届全国技能竞赛的选手只有27%来自于学校与培训机构，73%来自于企业。其中，机电类和金属类竞赛项目的选手大部分来自于丰田、本田、日立、三菱、日产、佳能、松下等知名企业。日本大型企业均有完善的职业培训体系，既有工业大学，也有技工学校和技能培训中心，他们参赛的积极性很高，认为通过参加国内和国际职业技能竞赛，可为青年技术工人树立榜样，提升公司整体技术水平，还可以对外界宣传企业，树立企业的良好形象。

（四）获奖选手训练情况

日本中央职业能力开发协会对第50届全国技能竞赛41个赛项的优胜选手进行了调查，有32个赛项选手作了回答[6]。当被问及进入公司时是否具备岗位所需要的知识和技能时，有56%的选手回答几乎没有，有38%的选手回答具备了基础知识和技能（技能鉴定3级），有6%的选手回答具备了充足的知识和技能（技能鉴定2级）。可见，大部分选手的知识和技能都是通过企业培训得到的。其中，一半以上的选手工作年限为2年，获奖选手进入本公司年限调查结果见表2。

表2　获奖选手参加工作年限

进入本公司年限	1年	2年	3年	4年	5年
比例（%）	13	53	9	22	3

当被问及全国技能竞赛选拔之前是否参加过基础训练时，有47%的选手回答没有参加过基础性训练，有53%的选手回答参加过基础性训练，其中，大部分选手刚进公司就参加训练，基础性训练时间大部分在1000小时左右，最多的近4000小时。

基础培训以实操为主，同时兼顾理论培训，理论培训时间比例见图3。

当选手经过选拔赛，正式成为全国技能竞赛选手后，还要进行有针对性的训练，平均训练时间为10.6个月，约1528小时，其中，理论

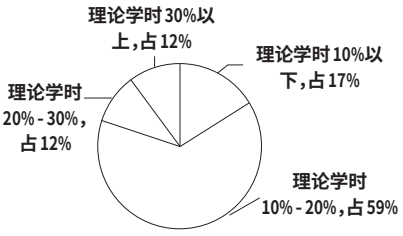


图3　理论学时比例分布

培训只有65小时。培训方式有的是完全脱产培训，有的是完全在职培训，大部分是二者兼而有之，但以在职培训为主，具体见图4。

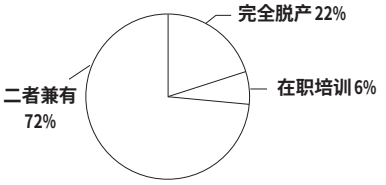


图4　正式选手培训方式

四、竞赛组织特点

（一）大赛的组织

日本全国职业技能竞赛由厚生劳动省、中央职业能力开发协会主办，地方政府承办，文部科学省、经济产业省、国土交通省、各都道府县等部门协办，在全国各地轮流举办。每一届都成立相应的大赛组委会和大赛运营委员会，并建立专门网站，大赛的各种信息均在网站上发布。大赛组织严密，服务周到，效率很高。

（二）公平公正公开

绝大部分赛项试题均提前2~3个月发布，供选手研究训练。这一办法有效防止了猜题、泄题等漏洞，促进了公平竞争。虽然赛题提前公布，但由于赛题难度大、时间紧，根据选手得分情况看，成绩还是差别很大，得分较分散。

比赛场地大部分设在体育馆、展览馆、公园以及职业训练中心，场地开阔，赛项集中，便于吸引市

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

民参观，同时，可有效避免参赛选手的主场之利，最大程度体现公平公正。

日本的全国技能竞赛的裁判评分方式与我国相似，评分裁判不去竞赛现场，监考裁判不参加评分。选手完成的作品由现场监考裁判人员编号加密后转评分裁判检测、评分，确保评分的公平、公正。

(三) 开放性特点

日本全国技能竞赛期间，同时举办数十场活动，这些活动的主要内容有 技能表演，制造乐趣体验，地方文化、美食及特产展示，企业、团体、学校展示，文艺演出，烟火晚会，亲子活动等，每届参加人数10余万人，预计2014年爱知县全国技能大会参加者人数可达18万人[7]。这些活动吸引更多的青少年对技能的关注，在社会上营造尊重知识、尊重技能的氛围，同时宣传了当地的文化、旅游及企业，取得了良好效果。

参考文献：

[1]中央職業能力開発協会.「第51回技能五輪全国大会」開催～若き技能者たち「技」日本一を目指して～11月22日(金)から25日(月)まで千葉県の幕張メッセをメイン会場に開催[EB/OL].[2013-11-18].http://www.javada.or.jp/news/pdf/20131118_02-news.pdf.

[2]杨伟群.日本、韩国如何参加世界技能大赛[J].金属加工，2010(23):9-10.

[3]第51回技能五輪全国大会「抜き型」職種 競技課題[EB/OL].[2013-10-01].http://www.javada.or.jp/jigyou/gino/zenkoku/n_51/kadai/02.html.

[4]第51 回技能五輪全国大会「電気溶接」職種 競技課題一括ダウンロード[EB/OL] [2013-11-01].http://www.javada.or.jp/jigyou/gino/zenkoku/n_51/kadai/09/09_07ikkatsu.pdf.

[5]第51回技能五輪全国大会 参加者名簿 [EB/OL].[2013-11-01].http://www.javada.or.jp/jigyou/gino/zenkoku/51th_mei_bo.pdf.

[6]第50回 優勝者の訓練状況調査について [EB/OL].[2013-10-01].http://www.javada.or.jp/jigyou/gino/zenkoku/n_50/50_tyousa_kekka.pdf.

[7]第52回技能五輪全国大会 大会概要 [EB/OL].[2014-02-01].http://aichi-waza.jp/outline/ginougorin/.

On The National Vocational Skills Competition in Japan

ZOU Ji-quan, LIU Xiao-mei

(Tianjin Vocational Institute，Tianjin, 300410, China)

Abstract The National Vocational Skills Competition in Japan has been held for 51 sessions since 1963, and its organization and training has matured already.More and more young people are attracted to techniques and skills learning by the atmosphere of respect for knowledge and skills, which is a stimulation of economic development.This paper presents the tournament entry features, player features and organization of Japanese National Vocational Skills Competition, expecting to be used for our reference.

Key words Japan; vocational skills competition; openness; brand effects

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI: 10.3969/j. issn. 1001-3881. 2023. 12. 009
本文引用格式: 李建国,刘洋,徐国胜.柔性边界约束细长件车削动力学辨识与稳定性分析[J].机床与液压,2023,51(12):51-62.
LI Jianguo,LIU Yang,XU Guosheng.Dynamic identification and stability analysis of turning slender parts with flexible boundary constraints[J].Machine Tool & Hydraulics,2023,51(12):51-62.

柔性边界约束细长件车削动力学辨识与稳定性分析

李建国[1]，刘洋[1]，徐国胜[2]
(1. 天津职业大学机械工程实训中心，天津 300410;
2. 天津职业技术师范大学工程实训中心，天津 300222)

摘要: 考虑到边界条件的影响，并且为了进一步提升辨识精度和计算效率，提出一种基于柔性边界约束细长件车削动力学辨识与稳定性分析方法。建立具有柔性边界约束的细长工件模型，以提高车削稳定性的预测精度。在该模型中，将刀具和零件的二维柔度以及刀尖半径的影响纳入动态力建模中，根据连续介质理论计算卡盘-工件-尾架动力系统中细长工件的动力学特性，然后通过最小化特征参数的实验值和仿真值之间的偏差来确定最佳连接刚度。进行了实验验证，结果表明所提出的方法显著提高了转向的预测精度以及稳定性极限。

关键词: 柔性边界约束; 细长件; 车削; 动力学辨识; 稳定性分析; 连续介质理论
中图分类号: TG51

Dynamic Identification and Stability Analysis of Turning Slender Parts with Flexible Boundary Constraints

LI Jianguo[1], LIU Yang[1], XU Guosheng[2]
(1. Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China;
2. Engineering Training Center, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: Considering the influence of boundary conditions, and in order to further improve the identification accuracy and calculation efficiency, a method for dynamic identification and stability analysis of slender parts turning based on flexible boundary constraints was proposed. A slender workpiece model with flexible boundary constraints was established to improve the prediction accuracy of turning stability. In this model, the 2D flexibility of tools and parts and the influence of tool tip radius were included in the dynamic force modeling, and the dynamic characteristics of slender workpieces in the chuck tailstock dynamic system were calculated according to the continuum theory. Then, the optimal connection stiffness was determined by minimizing the deviation between the experimental value and the simulation value of the characteristic parameters. The experimental results show that the proposed method significantly improves the steering prediction accuracy and stability limit.

Keywords: Flexible boundary constraints; Slender parts; Turning; Dynamic identification; Stability analysis; Continuum theory

0 前言

加工过程中的颤振仍然是实现高生产率的主要挑战，为了同时保持可接受的表面光洁度和刀具寿命，特别是在细长工件的车削中，成为了另一个重要挑战[1]。为了保证加工精确度，必须提前进行加工动力系统的鲁棒稳定性分析[2]。实现车削加工的动力学辨识与稳定性分析成为机械加工领域的研究热点。

通常，再生颤振直接由切削工具或工件的柔性引起。文献[3]提出一种切比雪夫配置方法，以确定细长零件的拉伸。文献[4]介绍了多自由度预测模型中过程阻尼的影响。然而车削实验表明，所建模型在低阶时更准确，为了构建转向系统的更通用模型，在预测颤振稳定性时，逐渐考虑了零件和刀具之间的动态相互作用。由于在车削过程中，工件的动态不保持恒定，因此精确的位置相关稳定性预测模型更有利于时变动态系统。文献[5]为了提供车削稳定性极限和切削位置之间的定量关系，并解决有限元法面临的效率问题，使用欧拉伯努利理论建立了尾架支撑工件的切

收稿日期: 2022-09-21
基金项目: 教育部第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目(ZH2021020201)
作者简介: 李建国(1973—)，男，本科，教授，主要研究方向为机械制造加工工艺、产教融合实训教学。E-mail: xubingbing8523@126.com。

中国知网 https://www.cnki.net

削刀具的分析模型，研究了特定切削位置下工件动态对系统稳定性的影响。文献[6]分析计算了工件的连续模态参数，在此基础上预测并验证了单次切削过程中与位置相关的稳定性极限。尽管细长零件在卡盘-工件-尾架动力系统中不孤立，但现有研究中从未系统地研究过实际边界条件的影响，因此，细长工件面临的最主要障碍是如何在动态系统中识别其边界条件。

同样的问题也出现在主轴-刀架-刀具动态系统中的铣刀上，但通过接受耦合子结构分析（Receptance Coupling Substructure Analysis，RCSA）方法可以成功解决。文献[7]认为由于卡盘-工件尾座动态系统和主轴刀架刀具动态系统之间的结构相似性，RCSA 方法具有识别车削系统边界条件的潜力，因此，根据 RCSA 方法进行了一系列测量实验。与铣床中使用的刀架相比，车床中使用的卡盘是由不同尺寸和材料的不同部件组成的组件。此外，卡盘的插销是可移动的。在这种情况下，测量噪声和误差容易在模型测试中放大。文献[8]通过对每个频率点上对预测和测得的 FRF 之间的差求和来确定参数优化的成本。然而 RCSA 方法对于包含固有噪声和误差的实验信号，识别精度随着采样数据量的增加而降低，同时，计算效率也受到限制。

为解决上述问题，提出一种基于柔性边界约束细长件车削动力学辨识与稳定性分析方法。根据连续介质理论计算了卡盘工件尾架动力系统中细长工件的动力学特性，然后通过最小化特征参数的实验值和仿真值之间的偏差来确定最佳连接刚度。实验结果证明了提出方法的有效性。

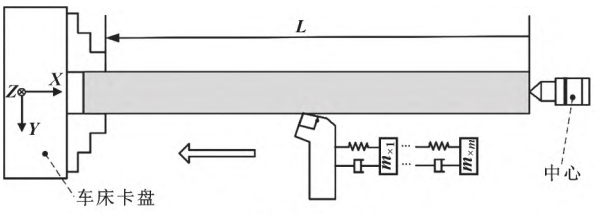
1 动力学模型

1.1 切削力计算

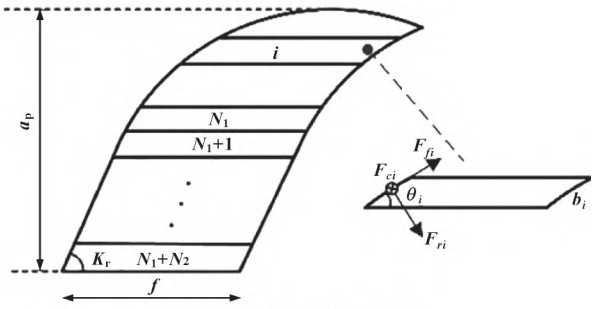
如图 1（a）所示，细长工件一端由车床卡盘夹紧，另一端由尾座支撑。建立笛卡尔坐标系，其中坐标原点固定在夹紧端，X、Y 和 Z 轴分别与工件的轴向、径向和切向对齐。切削刀具沿 X 方向，并且由于刀具-工件的相互作用而形成未切削区域。如图 1（b）所示，基于线性边缘是否参与切割，可以将切削区域划分为两个独立区域。在这种情况下，采用离散化方法计算切削力。假设离散元件的径向高度恒定，两个区域中的离散元件数量的计算式为

$$\begin{cases} N_1 = \mathrm{round}\left(\dfrac{R - R\cos k_r}{a_{pi}}\right) \\ N_2 = \mathrm{round}\left(\dfrac{a_p - R + R\cos k_r}{a_{pi}}\right) \end{cases} \tag{1}$$

其中：R 是刀尖半径；a_{pi} 表示离散单元的径向高度；k_r 是线性切削刃的角度；round( ) 是四舍五入到整数的函数。



(a) 车削过程示意



(b) 未切割的离散模型区域

图 1 系统的动力学模型

Fig. 1 Dynamic model of the system: (a) turning process; (b) uncut discrete model area

由于每个离散元件的切削厚度不完全相同，因此创建了倾斜切削坐标 $C-R-F$，以便描述切削力，其中 C、R 和 F 分别表示切削刃的切向、径向和轴向。以第 i 个离散单元为例，切削力建模为两个分量，这两个分量与离散单元的面积和接触长度成比例。计算公式如下：

$$\boldsymbol{F}_{k,i}(t) = \begin{bmatrix} k_{rc} \\ k_{fc} \\ k_{cc} \end{bmatrix} h_i(t)\, b_i + \begin{bmatrix} k_{re} \\ k_{fe} \\ k_{ce} \end{bmatrix} b_i \quad (\text{下角 } k = r, f, c) \tag{2}$$

对于柔性系统，由于车削过程中激发的振动，再生波将留在加工表面上。在当前和先前的振动波共同贡献调制作用之后，芯片厚度变化。因此，第 i 个元件的芯片厚度和接触长度分别为

$$h_i(t) = f\sin\theta_i - [x(t) - x(t-T)]\sin\theta_i + [y(t) - y(t-T)]\cos\theta_i \tag{3}$$

$$b_i = \frac{a_{pi}}{\sin\theta_i} \tag{4}$$

其中：$x(t)$ 和 $y(t)$ 分别为当前时间 t 轴向和径向的振动位移；$x(t-T)$ 和 $y(t-T)$ 是在一个主轴旋转周期 T 之前各个方向上的振动位移。此外，θ_i 是位于区间 $[0, k_r]$ 中的第 i 个离散元素的切削刃角，作为刀尖半径 R、切削刃角度 k_r 和径向位置 ia_{pi} 的函数，可以表示为

$$\theta_i = \begin{cases} \arccos\left(R - \dfrac{ia_{pi}}{R}\right) & i < N_i \\ k_r & \text{其他情况} \end{cases} \tag{5}$$

中国知网 https://www.cnki.net

代入式（3），将第 i 个离散元件的切削力分为静态和动态分量。将所有离散元件的切削力相加后，合成静态力 $\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{s}}(t)$ 和合成动态力 $\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{d}}(t)$，用笛卡尔坐标表示：

$$\boldsymbol{F}_j(t)=\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{s}}(t)+\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{d}}(t)\qquad j=x,\ y,\ z \tag{6}$$

其中：

$$\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{s}}(t)=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{T}_i\begin{bmatrix}k_{rc}\\k_{fc}\\k_{cc}\end{bmatrix}fa_{pi}+\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{T}_i\begin{bmatrix}k_{re}\\k_{fe}\\k_{ce}\end{bmatrix}\frac{a_{pi}}{\sin\theta_i}$$

$$\boldsymbol{F}_j^{\mathrm{d}}(t)=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{T}_i\begin{bmatrix}k_{rc}\\k_{fc}\\k_{cc}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-a_{pi} & a_{pi}\cot\theta_i\\-a_{pi} & a_{pi}\cot\theta_i\\-a_{pi} & a_{pi}\cot\theta_i\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x(t)-x(t-T)\\y(t)-y(t-T)\end{bmatrix}$$

从斜切割坐标 C-R-F 到笛卡尔坐标 X-Y-Z 的变换矩阵[9]计算如下：

$$\boldsymbol{T}_i=\begin{bmatrix}0 & \sin\theta_i & \cos\theta_i\\0 & \cos\theta_i & -\sin\theta_i\\1 & 0 & 0\end{bmatrix} \tag{7}$$

当切削深度满足一定条件时（$a_{\mathrm{p}}<r(1-\cos k_{\mathrm{r}})$），圆弧切削刃仅参与切削。在这种情况下，式（6）仍然适用，但区域 1 的离散元素数量和第 i 个离散元素的切削刃角范围 θ_i 应分别更新为 $N_1=a_{\mathrm{p}}/a_{pi}$ 和 $[0,\ \arccos(R-a_{\mathrm{p}}/R)]$。

1.2　具有柔性边界的系统振动分析

为了获得细长工件车削的精确稳定性预测，在振动分析中应同时考虑刀具和工件动力学。关于 X 方向的振动，工件的模态刚度明显大于刀具的模态刚度，因此 X 方向上的工件是刚性的。Y 方向上的切削工具也被视为刚体。因此，X 方向上的刀具振动方程为

$$m_{\mathrm{t}}\ddot{x}(t)+c_{\mathrm{t}}\dot{x}(t)+k_{\mathrm{t}}x(t)=F_x(t) \tag{8}$$

式中：m_{t}、c_{t} 和 k_{t} 分别为刀具的等效质量、阻尼和刚度。根据模态叠加理论，时域中的振动可以表示为级数形式，其中每个项等于广义坐标 $q_{\mathrm{t},\,i}(t)$ 和形状函数 $\varphi_{\mathrm{t},\,i}$ 的乘积。假设切削刀具的结构动力学可以由弯曲模式的第一个 m 阶近似，刀具尖端的振动位移可以写成如下：

$$x(t)=\sum_{i=1}^{m}\varphi_{\mathrm{t},\,i}q_{\mathrm{t},\,i}(t) \tag{9}$$

用 $\boldsymbol{q}_{\mathrm{t}}(t)$ 和 $\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}$ 分别表示向量 $[q_{\mathrm{t},\,1}(t),\ q_{\mathrm{t},\,2}(t),\ \cdots,\ q_{\mathrm{t},\,m}(t)]^{\mathrm{T}}$ 和 $[\varphi_{\mathrm{t},\,1},\ \varphi_{\mathrm{t},\,2},\ \cdots,\ \varphi_{\mathrm{t},\,m}]$，形状函数向量 $\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}$ 在 X 方向上定义。将等式（9）代入等式（8），刀具的广义振动和力向量应满足：

$$\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{T}}m_{\mathrm{t}}\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}\ddot{\boldsymbol{q}}_{\mathrm{t}}(t)+\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{T}}c_{\mathrm{t}}\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}\dot{\boldsymbol{q}}_{\mathrm{t}}(t)+\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{T}}k_{\mathrm{t}}\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}\boldsymbol{q}_{\mathrm{t}}(t)=\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{F}_x(t) \tag{10}$$

此外，用矩阵表示法表示等式（10）：

$$\begin{bmatrix}M_{\mathrm{t}1} & \cdots & 0\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & \cdots & M_{\mathrm{t}m}\end{bmatrix}_{m\times m}\ddot{\boldsymbol{q}}_{\mathrm{t}}(t)+\begin{bmatrix}C_{\mathrm{t}1} & \cdots & 0\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & \cdots & C_{\mathrm{t}m}\end{bmatrix}_{m\times m}\dot{\boldsymbol{q}}_{\mathrm{t}}(t)+\begin{bmatrix}K_{\mathrm{t}1} & \cdots & 0\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & \cdots & K_{\mathrm{t}m}\end{bmatrix}_{m\times m}\boldsymbol{q}_{\mathrm{t}}(t)=\begin{bmatrix}\varphi_{\mathrm{t},\,1}F_x(t)\\ \vdots\\ \varphi_{\mathrm{t},\,m}F_x(t)\end{bmatrix} \tag{11}$$

其中：$M_{\mathrm{t}i}$、$C_{\mathrm{t}i}$ 和 $K_{\mathrm{t}i}$ 分别是刀具尖端的第 i 阶模态质量、模态阻尼和模态刚度。计算式如下：

$$M_{\mathrm{t}i}=\varphi_{\mathrm{t},\,i}m_{\mathrm{t}}\varphi_{\mathrm{t},\,i},\ C_{\mathrm{t}i}=\varphi_{\mathrm{t},\,i}c_{\mathrm{t}}\varphi_{\mathrm{t},\,i},\ K_{\mathrm{t}i}=\varphi_{\mathrm{t},\,i}k_{\mathrm{t}}\varphi_{\mathrm{t},\,i} \tag{12}$$

与切削刀具相反，在车削操作期间，切削点处的工件模态刚度随刀具移动而变化。因此，在随后的稳定性分析中，工件为连续系统。考虑到当细长部件的长径比大于 10 时，旋转和剪切变形的影响可以忽略，因此，Y 方向的振动可以用欧拉伯努利梁模型表示，如下所示：

$$\rho A(x)\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial t^2}+\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left\{\left[EI(x)\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial x^2}\right]\right\}=-F_y(t)\delta(x-x_0) \tag{13}$$

其中：ρ 是材料密度；$A(x)$ 是工件的横截面积；E 是弹性模量；$I(x)$ 为工件横截面的惯性矩。施加在位置 x_0 上的径向反作用力表示为：$-F_y(t)\delta(x-x_0)$。

对于一端夹紧、另一端有尾座的工件，先前研究中使用的边界条件是固定端和简单支撑端的组合。其示意如图 2（a）所示。与传统的边界约束相比，首先采用具有柔性边界约束的模型来预测工件动力学。压缩弹簧和扭转弹簧用于动力系统的连接界面，以连接相邻部件。由于卡盘和尾座的刚度比细长工件大得多，因此在车削过程中，上述部件的振动不容易激发。这意味着在后续分析中可以忽略卡盘和尾座的动态响应。因此，车削动力系统近似为两端受弹簧约束的细长工件，其示意如图 2（b）所示。在这种情况下，细长工件的边界条件表示如下：

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[EI(x)\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial x^2}\right]\Bigg|_{x=0}=-k_0^{\mathrm{a}}y(x,\ t)\,|_{x=0} \tag{14}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[EI(x)\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial x^2}\right]\Bigg|_{x=L}=-k_L^{\mathrm{a}}y(x,\ t)\,|_{x=L} \tag{15}$$

$$EI\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial x^2}\Bigg|_{x=0}=-k_{\mathrm{r}0}^{\mathrm{a}}\frac{\partial y(x,\ t)}{\partial x}\Bigg|_{x=0} \tag{16}$$

$$EI\frac{\partial^2 y(x,\ t)}{\partial x^2}\Bigg|_{x=L}=-k_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}}\frac{\partial y(x,\ t)}{\partial x}\Bigg|_{x=L} \tag{17}$$

其中：k_0^{a} 和 $k_{\mathrm{r}0}^{\mathrm{a}}$ 分别是作用于夹紧端的实际压缩弹簧和扭转弹簧刚度，而 k_L^{a} 和 $k_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}}$ 分别是对应于作用于支撑端的实际的压缩弹簧和扭力弹簧刚度。在该统

中国知网　https://www.cnki.net

一边界模型中，连接刚度的组合可以表示边界条件。此外，当弹簧的刚度等于无穷大或零时，还可以评估一些典型的边界条件，如先前研究中使用的固定和自由边界条件。

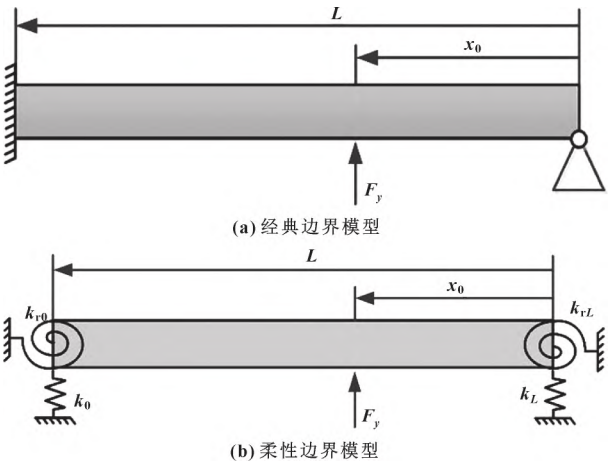


图 2 卡盘-工件尾架动力系统的等效模型

Fig. 2 Equivalent model of chuck workpiece tailstock power system: (a) classical boundary model; (b) flexible boundary model

与式 (9) 类似，工件在任意位置的振动表示为前 n 个模式的模态位移的叠加:

$$y(x,t)=\sum_{i=1}^{n}\varphi_{w,i}(x)\,q_{w,i}(t) \tag{18}$$

其中: $q_{w,i}(t)$ 和 $\varphi_{w,i}(x)$ 分别是工件的 i 阶广义坐标和位移归一化振型。将式 (18) 代入式 (13)，并将等式两侧乘以 j 阶位移归一化振型 $\varphi_{w,j}(x)$，式 (13) 表示为

$$\sum_{i=1}^{n}\rho A(x)\,\varphi_{w,i}(x)\,\varphi_{w,j}(x)\,\frac{\mathrm{d}^2q_{w,i}(t)}{\mathrm{d}t^2}+\sum_{i=1}^{n}EI(x)\,\varphi_{w,i}(x)'''\varphi_{w,j}(x)\,q_{w,i}(t)=-F_y(t)\,\delta(x-x_0)\,\varphi_{w,j}(x) \tag{19}$$

沿 X 方向取式 (19) 的积分，可通过组合式 (14) — (17) 获得工件第 i 阶模态的无阻尼齐次方程。模态空间中的表达式如下:

$$M_{w,i}q''_{w,i}(t)+K_{w,i}q_{w,i}(t)=-F_y(t)\,\varphi_{w,j}(x_0) \tag{20}$$

式中: $M_{w,i}$和 $K_{w,i}$分别为工件最柔性点上的一阶模态质量和刚度。根据模态正交性理论，使用等式 (21) 和 (22) 计算。柔性边界约束直接影响工件的模态刚度，因此，不可避免地改变了转弯稳定性，这与使用经典边界约束的计算公式相比有显著差异。

$$M_{w,i}=\int_0^L\rho A(x)\,\varphi_{w,j}(x)^2\mathrm{d}x \tag{21}$$

$$K_{w,i}=\int_0^L EI(x)\,[\varphi''_{w,i}(x)]^2\mathrm{d}x+k_0^a\varphi_{w,i}(0)^2+k_L^a\varphi_{w,i}(L)^2+k_{t0}^a\,[\varphi'_{w,i}(x)]^2+k_{rL}^a\,[\varphi'_{w,i}(L)]^2 \tag{22}$$

在实际转向过程中，动力系统的阻尼不可忽略。作为能量耗散项，它与稳定极限正相关。因此，通过模态空间中积分阻尼力来更新细长工件的振动方程，并且模态测试可以识别细长工件的阻尼比。其描述为

$$M_{w,i}q''_{w,i}(x)+C_{w,i}q'_{w,i}(x)+K_{w,i}q_{w,i}(x)=-F_y(t)\,\varphi_{w,i}(x_0) \tag{23}$$

在不丧失一般性的情况下，在振动分析中同时考虑细长工件的第 n 阶模态。位置 x_0 处的广义坐标与向量 $\boldsymbol{q}_w(t)=[q_{w,1}(t),\,q_{w,2}(t),\,\cdots,\,q_{w,n}(t)]^{\mathrm{T}}$ 合并，因此，振动方程为大小为 $n\times n$ 的矩阵:

$$\begin{bmatrix}M_{w1}&\cdots&0\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ 0&\cdots&M_{wn}\end{bmatrix}_{n\times n}\ddot{\boldsymbol{q}}_w(t)+\begin{bmatrix}C_{w1}&\cdots&0\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ 0&\cdots&C_{wm}\end{bmatrix}_{n\times n}\dot{\boldsymbol{q}}_w(t)+\begin{bmatrix}K_{w1}&\cdots&0\\ \vdots&\ddots&\vdots\\ 0&\cdots&K_{wn}\end{bmatrix}_{n\times n}\boldsymbol{q}_w(t)=\begin{bmatrix}-\varphi_{w,1}(x_0)\,F_y(t)\\ \vdots\\ -\varphi_{w,n}(x_0)\,F_y(t)\end{bmatrix} \tag{24}$$

通过组合式 (6) (11) 和 (24)，二维刀具-工件柔度的车削系统的振动表示如下:

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{Q}}(t)+\boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{Q}}(t)+\boldsymbol{K}\boldsymbol{Q}(t)=\boldsymbol{F}_s+\boldsymbol{H}_d\,[\boldsymbol{Q}(t)-\boldsymbol{Q}(t-T)] \tag{25}$$

其中: $\boldsymbol{M}=\begin{bmatrix}M_{t1}&&&0\\ &\ddots&&\\ &&\boldsymbol{M}_{tm}&\\ &&&\ddots\\ 0&&&\boldsymbol{M}_{wn}\end{bmatrix}_{U\times U}$

$$\boldsymbol{C}=\begin{bmatrix}C_{t1}&&&0\\ &\ddots&&\\ &&C_{tm}&\\ &&&\ddots\\ 0&&&C_{wn}\end{bmatrix}_{U\times U}$$

$$\boldsymbol{K}=\begin{bmatrix}K_{t1}&&&0\\ &\ddots&&\\ &&K_{tm}&\\ &&&\ddots\\ 0&&&K_{wn}\end{bmatrix}_{U\times U}$$

$U=m+n$

$$\boldsymbol{F}_s=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{T}_i f a_{pi}\,[-k_{rc}\varphi_{t1},\,-k_{rc}\varphi_{t2},\,\cdots,\,-k_{rc}\varphi_{tm},\,k_{fc}\varphi_{w1}(x_0),\,k_{fc}\varphi_{w2}(x_0),\,\cdots,\,k_{fc}\varphi_{wn}(x_0)]^{\mathrm{T}}_{U\times 1}$$

$$\boldsymbol{H}_d=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{T}_i\boldsymbol{\varphi}\qquad A=-k_{rc}a_{pi}\qquad B=k_{fc}a_{pi}\cot\theta_i$$

$$\boldsymbol{Q}(t)=[q_{t,1}(t),\,q_{t,2}(t),\,\cdots,\,q_{t,m}(t),\,q_{w,1}(t),\,q_{w,2}(t),\,\cdots,\,q_{w,n}(t)]^{\mathrm{T}}_{U\times 1}$$

$$\boldsymbol{Q}(t-T)=[q_{t,1}(t-T),\,q_{t,2}(t-T),\,\cdots,\,q_{t,m}(t-T),\,q_{w,1}(t-T),\,q_{w,2}(t-T),\,\cdots,\,q_{w,n}(t-T)]^{\mathrm{T}}_{U\times 1}$$

中国知网 https://www.cnki.net

$$\boldsymbol{\varphi}=\begin{bmatrix} A\varphi_{t1}^2 & \cdots & A\varphi_{t1}\varphi_{tm} & B\varphi_{t1}\varphi_{w1}(x_0) & \cdots & B\varphi_{t1}\varphi_{wn}(x_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A\varphi_{tm}\varphi_{t1} & \cdots & A\varphi_{tm}^2 & B\varphi_{tm}\varphi_{w1}(x_0) & \cdots & B\varphi_{tm}\varphi_{wn}(x_0) \\ A\varphi_{w1}(x_0)\varphi_{t1} & \cdots & A\varphi_{w1}(x_0)\varphi_{tm} & B\varphi_{tm}^2(x_0) & \cdots & B\varphi_{w1}(x_0)\varphi_{wn}(x_0) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A\varphi_{wn}(x_0)\varphi_{t1} & \cdots & A\varphi_{wn}(x_0)\varphi_{tm} & B\varphi_{tm}(x_0)\varphi_{w1}(x_0) & \cdots & B\varphi_{wm}^2(x_0) \end{bmatrix}_{U\times U}$$

将 $\boldsymbol{V}(t)$ 定义为向量 $[\boldsymbol{Q}(t),\dot{\boldsymbol{Q}}(t)]^{\mathrm{T}}$，式 (25) 可以转换为状态空间形式，描述为

$$\dot{\boldsymbol{V}}(t)=\begin{bmatrix} 0 & \boldsymbol{I} \\ \boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{H}_{\mathrm{d}}-\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{K} & -\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{C} \end{bmatrix}\boldsymbol{V}(t)+\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{H}_{\mathrm{d}} & 0 \end{bmatrix}\boldsymbol{V}(t-T)+\begin{bmatrix} 0 \\ \boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{F}_{\mathrm{s}} \end{bmatrix} \tag{26}$$

可以求解等式 (26)，以获得更精确的转弯稳定性预测结果。

2　边界约束的识别策略

2.1　识别特征参数的选择

对于第 i 阶主振动，细长工件的最大动能 ($T_{\max}^i$) 和最大势能 ($V_{\max}^i$) 可以使用等式计算。其中工件和柔性边界约束有助于势能。

$$V_{\max}^i=\frac{1}{2}\int_0^L EI\frac{\partial^2\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)}{\partial x^2}\mathrm{d}x+\frac{1}{2}k_0^{\mathrm{a}}\varphi_{\mathrm{w}}^i(0)^2+\frac{1}{2}k_L^{\mathrm{a}}\varphi_{\mathrm{w}}^i(L)^2+\frac{1}{2}k_{\mathrm{r}0}^{\mathrm{a}}\varphi_{\mathrm{w}}^i(0)^2+\frac{1}{2}k_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}}\varphi_{\mathrm{w}}^i(L)^2 \tag{27}$$

$$T_{\max}^i=\omega_{Ai}^2\int_0^L\frac{\rho A(x)}{2}\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)^2\mathrm{d}x \tag{28}$$

如文献 [10] 所述，振型可以用一组函数表示。已经证明: 一些容许函数容易出现数值不稳定和异常状态，而另一些则收敛缓慢。因此，根据文献 [11]，选择适当的容许函数。

$$\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)=\sum_{j=1}^n G_j^i\Psi_j^i=G_1^i+G_2^i x+G_3^i x^2+\sum_{j=4}^n G_j^i\cos\frac{(j-3)\pi x}{L} \tag{29}$$

其中: Ψ_j^i 和 G_j^i 分别是第 i 阶振型和相应系数的容许函数的第 j 项。

根据机械能守恒原理，第 i 阶主振动的最大动能等于其最大势能。使用瑞利-里兹方法，当函数 ω_{Ai}^2 的第一个变量等于零时，可以确定第 i 阶固有频率和振型的最佳评估。计算公式如下:

$$\frac{\partial^2\omega_{Ai}^2}{\partial G_j^i}=\frac{2\partial(V_{\max}^i)/\partial G_j^i-4\omega_{Ai}^2\partial\left(\int_0^L\rho A(x)\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)^2\mathrm{d}x\right)/\partial G_j^i}{\int_0^L\rho A(x)\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)^2\mathrm{d}x}=0 \tag{30}$$

因为 $\int_0^L\rho A(x)\varphi_{\mathrm{w}}^i(x)^2\mathrm{d}x$ 是有限的，等式 (30) 的前提是分子等于零。代入式 (27) — (29) 转化为式 (30) 的分子，特征矩阵 $\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}$ 的一般特征值问题可以表示为

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^i=\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^i\omega_{Ai}^2 \tag{31}$$

其中: $\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{M}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{K}_{\mathrm{A}}$，$E_{\mathrm{a}}=K_L^{\mathrm{a}}\cos((c_j-3)\pi)$。

$$\boldsymbol{M}_{\mathrm{A}}=\rho AL\begin{bmatrix} 1 & \frac{L}{2} & \frac{L^3}{3} & 0 \\ \frac{L}{2} & \frac{L^3}{3} & \frac{L^3}{4} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L}{(c_j-3)^2\pi^2} \\ \frac{L^3}{3} & \frac{L^3}{4} & \frac{L^4}{5} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L^2}{(c_j-3)^2\pi^2} \\ 0 & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L}{(c_j-3)^2\pi^2} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L^2}{(c_j-3)^2\pi^2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}_{n\times n}^{-1}$$

$$\boldsymbol{K}_{\mathrm{A}}=\begin{bmatrix} k_0^{\mathrm{a}}+k_L^{\mathrm{a}} & Lk_L^{\mathrm{a}} & L^2k_L^{\mathrm{a}} & k_0^{\mathrm{a}}+E_{\mathrm{a}} \\ Lk_L^{\mathrm{a}} & k_{\mathrm{r}0}^{\mathrm{a}}+k_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}}+L^2k_L^{\mathrm{a}} & L^3k_L^{\mathrm{a}}+2Lk_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}} & LE_{\mathrm{a}} \\ L^2k_L^{\mathrm{a}} & L^3k_L^{\mathrm{a}}+2Lk_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}} & 4EIL+L^4k_L^{\mathrm{a}}+4L^2k_{\mathrm{r}L}^{\mathrm{a}} & L^2E_{\mathrm{a}} \\ k_0^{\mathrm{a}}+E_{\mathrm{a}} & LE_{\mathrm{a}} & L^2E_{\mathrm{a}} & k_0^{\mathrm{a}}+\frac{EI(r_i-3)^4L^3\pi^4}{2L^3}+E_{\mathrm{a}}\cos[(r_i-3)\pi] \end{bmatrix}_{n\times n}$$

其中: r_i 和 c_j 分别表示相应矩阵的第 i 行和第 j 列; $\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^i$ 是容许函数的系数向量。基于式 (31)，当给定一组连接刚度时，具有柔性边界约束的细长工件的模态频率和模态形状被唯一地确定为矩阵 $\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}$ 的特

中国知网　https://www.cnki.net

征值和特征向量。结构动力学的确定是一个典型的正问题，然而，必须提前满足相关先决条件，从而唯一确定之前研究工作中未得到的连接刚度。

因此，假设存在压缩弹簧和扭转弹簧的另一组合，相应的连接刚度表示为 k_0^s、k_L^s、k_{r0}^s和 k_{rL}^s。作为一种区分方式，E_A 表示从具有实际边界约束的工件获得的矩阵，E_S 表示由假设连接刚度确定的矩阵。矩阵 E_S 的类似关系推导如下:

$$\boldsymbol{E}_S\boldsymbol{G}_S^i=\boldsymbol{G}_S^i\omega_{Si}^2 \tag{32}$$

其中: $\boldsymbol{E}_S=\boldsymbol{M}_S\boldsymbol{K}_S$。

$$\boldsymbol{M}_S=\rho AL\begin{bmatrix} 1 & \frac{L}{2} & \frac{L^3}{3} & 0 \\ \frac{L}{2} & \frac{L^3}{3} & \frac{L^3}{4} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L}{(c_j-3)^2\pi^2} \\ \frac{L^3}{3} & \frac{L^3}{4} & \frac{L^4}{5} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L^2}{(c_j-3)^2\pi^2} \\ 0 & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L}{(c_j-3)^2\pi^2} & \frac{-\cos[(c_j-3)\pi]L^2}{(c_j-3)^2\pi^2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}_{n\times n}$$

$$\boldsymbol{K}_S=\begin{bmatrix} k_0^s+k_L^s & Lk_L^s & L^2k_L^s & k_0^s+E_s \\ Lk_L^s & k_{r0}^s+k_{rL}^s+L^2k_L^s & L^3k_L^s+2Lk_{rL}^s & LE_s \\ L^2k_L^s & L^3k_L^a+2Lk_{rL}^a & 4EIL+L^4k_L^s+4L^2k_{rL}^s & L^2E_s \\ k_L^s+E_s & LE_s & L^2E_s & k_0^s+\frac{EI(r_i-3)^4\pi^4}{2L^3}+E_s\cos[(r_i-3)\pi] \end{bmatrix}_{n\times n}$$

通过同时考虑细长工件的第一个 n 阶模态，方程(31)和(32)中给出的关系以 n 维形式展开:

$$\boldsymbol{E}_A\boldsymbol{G}_v=\boldsymbol{G}_v\boldsymbol{\omega}_v \qquad v=A,S \tag{33}$$

其中，振型系数矩阵 $\boldsymbol{G}_A$、$\boldsymbol{G}_S$ 和模态频率矩阵 $\boldsymbol{\omega}_A$、$\boldsymbol{\omega}_S$ 表示为

$$\boldsymbol{G}_A=[G_A^1;\ G_A^2;\ \cdots;\ G_A^n],\ \boldsymbol{G}_S=[G_S^1;\ G_S^2;\ \cdots;\ G_S^n] \tag{34}$$

$$\boldsymbol{\omega}_A=\mathrm{diag}(\omega_{A1}^2,\omega_{A2}^2,\cdots,\omega_{An}^2)$$

$$\boldsymbol{\omega}_S=\mathrm{diag}(\omega_{S1}^2,\omega_{S2}^2,\cdots,\omega_{Sn}^2) \tag{35}$$

当 $\boldsymbol{G}_A=\boldsymbol{G}_S$ 和 $\boldsymbol{\omega}_A=\boldsymbol{\omega}_S$ 时，矩阵 $\boldsymbol{E}_A$ 和 $\boldsymbol{E}_S$ 之间的关系可以表示为

$$\boldsymbol{E}_A=\boldsymbol{E}_A\boldsymbol{G}_A\boldsymbol{G}_A^{-1}=\boldsymbol{G}_A\boldsymbol{\omega}_A\boldsymbol{G}_A^{-1}=\boldsymbol{G}_S\boldsymbol{\omega}_S\boldsymbol{G}_A^{-1}=\boldsymbol{E}_S\boldsymbol{G}_S\boldsymbol{G}_A^{-1}=\boldsymbol{E}_S \tag{36}$$

考虑到等式 $\boldsymbol{M}_A=\boldsymbol{M}_S$成立，矩阵 $\boldsymbol{K}_A$ 和 $\boldsymbol{K}_S$ 应满足以下条件:

$$\boldsymbol{E}_A-\boldsymbol{E}_S=\boldsymbol{M}_A\boldsymbol{K}_A-\boldsymbol{M}_S\boldsymbol{K}_S=\boldsymbol{M}_A(\boldsymbol{K}_A-\boldsymbol{K}_S)=0 \tag{37}$$

由于矩阵$\boldsymbol{M}_A$不等于零，因此矩阵$\boldsymbol{K}_A$与矩阵$\boldsymbol{K}_S$相同。以矩阵的 4 个元素为例($\boldsymbol{K}_v(1,1)$，$\boldsymbol{K}_v(1,2)$，$\boldsymbol{K}_v(2,2)$，$\boldsymbol{K}_v(2,3)$)，其中 $v\in\{A,S\}$，进一步表示为

$$\begin{cases} Lk_L^a=Lk_L^s,\ k_0^ak_L^a=k_0^s+k_L^s \\ L^3k_L^a+2Lk_{rL}^a=L^3k_L^s+2Lk_{rL}^s \\ k_{r0}^a+k_{rL}^a+L^2k_L^a=k_{r0}^s+k_{rL}^s+L^2k_L^s \end{cases} \tag{38}$$

根据等式(38)，连接刚度与关系 $k_v^a=k_v^s$($v\in\{0,L,r0,rL\}$)相容。从理论上证明，当模态频率和振型矩阵唯一确定时，可以唯一地获得动力系统的连接刚度。虽然用正向方法难以确定实际连接刚度，但使用模态测试可以很容易地识别细长零件的实际结构动力学。当仿真获得的特征参数矩阵与模态试验确定的特征参数一致时，仿真模型中使用的连接刚度将等同于实际边界约束。

从这个角度来看，所提出的识别策略不同于传统的拟合策略。在这两种识别策略中，尽管通过最小化特征参数的预测值和实验值来获得连接刚度，但传统拟合策略中使用的特征参数通常取决于研究人员的相关指标，这种选择没有理论依据。如果通过使用不合理的特征参数来开发优化问题的成本函数，则连接刚度的识别将不是对实际边界条件的最佳评估。因此，必须在不同的工作条件下进行大量的识别实验，以确保识别结果的适用性。作为比较，所提出的识别方法从理论上证明，当模态频率和振型的仿真值等于实验值时，识别结果最好。这意味着，当在其他工作条件下应用时，从部分工作条件识别的连接刚度是鲁棒的。因此，用于识别的实验数据显著减少。因此，在所提出的识别策略中，最小化由大量实验引起的累积误差和时间成本。此外，与 RCSA 方法中使用的总 FRF 数据相比，所提出的识别方法只需要少量实测 FRF 数据(峰值点)，大大减少了由低频带引起的测量误差在低频带中容易发生失真的加速度信号。因此，由于要与仿真进行比较的采样数据减少，计算效率提高。

从理论上讲，模态频率和振型矩阵都是动力系统精确辨识必不可少的特征参数。如等式(39)所示，应指出，仅满足前提条件 $\boldsymbol{\omega}_A=\boldsymbol{\omega}_S$。可以在矩阵 $\boldsymbol{E}_A$ 和

中国知网 https://www.cnki.net

$\boldsymbol{E}_{\mathrm{S}}$ 之间导出类似的关系。在这种情况下，从仿真获得的连接刚度不能用作实际边界条件的最佳等效值。

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}=\boldsymbol{E}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^{-1}=\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{\omega}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^{-1}=\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}^{-1}\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}\boldsymbol{\omega}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^{-1}=\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}^{-1}\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^{-1}=[\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}^{-1}]\,\boldsymbol{E}_{\mathrm{S}}[\boldsymbol{G}_{\mathrm{S}}\boldsymbol{G}_{\mathrm{A}}^{-1}] \tag{39}$$

2.2　文中识别方法

考虑到卡盘-工件-尾架动力系统中的细长部分两端夹紧，且作用在两端的连接刚度相互独立，因此提出了一种两步辨识方法，以减少同时辨识引起的误差。两步识别方法的流程如图 3 所示。识别过程包括 3 个部分：转向动力学系统的仿真、实验特征参数的识别和最佳连接刚度的计算。

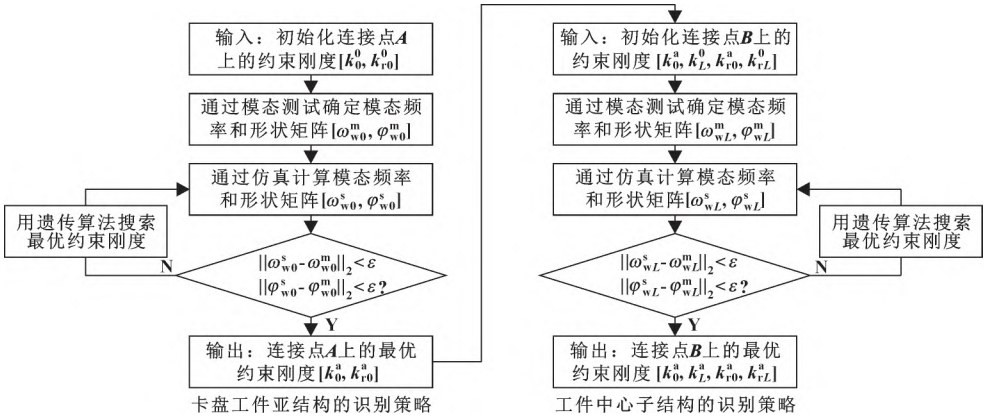


图 3　两步识别方法的流程

Fig. 3　Flow of two-step recognition method

考虑到模态测试通常在离散位置上进行，因此，通过仿真获得的振型矩阵也以离散形式重新表示，以保持与实验确定的格式相同。更新后的矩阵如式（40）和（41）所示。在 Y 方向上定义矩阵 $\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{s}}$，矩阵 $\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{s}}$ 中的符号 s 和 p 分别表示从仿真获得的特征参数和离散点的数量。

$$\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{s}}=\begin{bmatrix}\varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}}(x_1) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{s}}(x_1) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{s}}(x_1)\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}}(x_2) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{s}}(x_2) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{s}}(x_2)\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}}(x_{p-1}) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{s}}(x_{p-1}) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{s}}(x_{p-1})\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}}(x_p) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{s}}(x_p) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{s}}(x_p)\end{bmatrix}_{p\times n} \tag{40}$$

$$\boldsymbol{\omega}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{s}}=[\omega_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}},\ \omega_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{s}},\ \cdots,\ \omega_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{s}}]_{1\times n} \tag{41}$$

关于对细长工件进行的模态测试，由于在结构上重复移动传感器不便，文中采用了移动冲击锤的方法，如图 4 所示。使用和不使用尾架的细长工件的模态信号由冲击锤激发，然后由 LMS SCADAS 采集。在 LMS 测试中处理之后，在实验室软件中，特征参数矩阵为等式。其中上标 m 表示从实验获得的动力学参数。等式（42）给出的振型是位移归一化的。

$$\boldsymbol{\varphi}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{m}}=\begin{bmatrix}\varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}}(x_1) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{m}}(x_1) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{m}}(x_1)\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}}(x_2) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{m}}(x_2) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{m}}(x_2)\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}}(x_{p-1}) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{m}}(x_{p-1}) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{m}}(x_{p-1})\\ \varphi_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}}(x_p) & \varphi_{\mathrm{w2}}^{\mathrm{m}}(x_p) & \cdots & \varphi_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{m}}(x_p)\end{bmatrix}_{p\times n} \tag{42}$$

$$\boldsymbol{\omega}_{\mathrm{w}}^{\mathrm{m}}=[\omega_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}},\ \omega_{\mathrm{w1}}^{\mathrm{m}},\ \cdots,\ \omega_{\mathrm{wn}}^{\mathrm{m}}]_{1\times n} \tag{43}$$

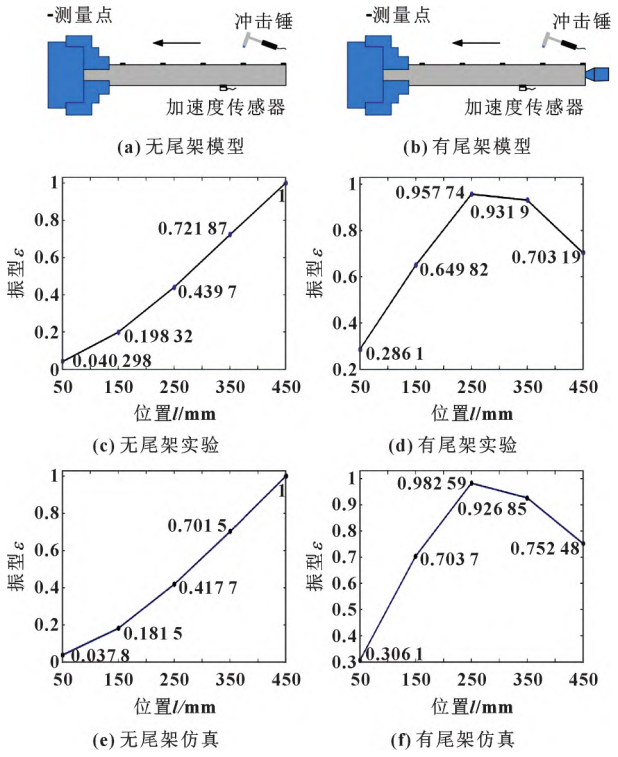


图 4　仿真和实验中的振型比较

Fig. 4　Comparison of vibration modes in simulation and experiment: (a) model without tailstock; (b) model with tailstock; (c) no-tailstock experiment; (d) tailstock experiment; (e) no-tailstock simulation; (f) tailstock simulation

根据式（40）—（43），通过最小化仿真和实验

中国知网　https://www.cnki.net

之间在模态频率和振型方面的差异来计算最佳连接刚度。式（44）提供的成本函数可以通过遗传算法计算。变量 w_1 和 w_2 分别是与模态频率和形状相关的权重因子。在识别过程中，都设为 0.5。此外，在将数据输入式（44）之前，应标准化与模态频率和模态形状相关的测量数据。

$$f(k_0^s, k_L^s, k_{r0}^s, k_{rL}^s) = w_1 \| \boldsymbol{\omega}_{w0}^s - \boldsymbol{\omega}_{w0}^m \|_2 + w_1 \| \boldsymbol{\varphi}_{w0}^s - \boldsymbol{\varphi}_{w0}^m \|_2 \quad (44)$$

2.3 识别结果的验证

在识别实验中采用了带有和不带尾架的工件 I（L=450 mm，D=29 mm）。工件材料为 DT4E 纯铁，根据 Q/TB 3405—2007 标准进行加工。轴沿 X 方向分为 9 个相同部分，工件上的每个节点标记为 P_i（i = 1，2，…，10）。三轴加速度传感器 PCB 356A16 安装在 P_7 处，锤 PCB 086C01 撞击节点组（P_2，P_4，P_6，P_8，P_{10}）。为了降低冲击不确定性，在每个测量位置进行 3 次模态测试。实验结果表明：工件的一阶振型占主导地位。因此，工件的主振型数应满足 n = 1。结合校准实验获得的结果，计算出最佳连接刚度。

在表 1 中，ω_{w1}^c 和 ω_{w1}^s 分别表示由经典和柔性边界模型确定的一阶模态频率。无论细长工件上的尾架支撑如何，柔性边界约束下的预测结果与实验结果非常吻合。如果尾架支撑细长工件，从两个边界模型获得的一阶模态频率的偏差达到 11.54%。振型的相对偏差如图 5 所示。对于没有尾架支撑的细长工件，P_2 上的预测位移归一化振型分别为 0.037 8 和 0.020 6。振型偏差为 45.5%。对这种差异的合理解释是：先前工作中使用的刚性边界假设对于评估实际边界条件是不合理的。类似的预测结果也出现在尾架附近。考虑到工件和尾座之间的相互作用仅分布在顶部孔上，尾座提供的夹紧刚度小于卡盘提供的夹紧刚性。因此，模态形状的相对偏差在尾架附近更为显著。支撑端 P_{10} 上的预测振型分别为 0.752 和 0。

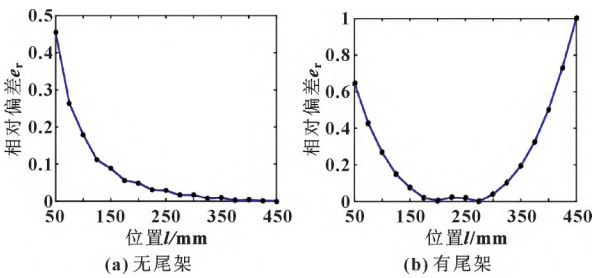


图 5 振型的相对偏差

Fig. 5 Relative deviation of vibration modes: (a) without tailstock; (b) with tailstock

表 1 细长工件的模态频率比较

Tab. 1 Comparison of modal frequencies of slender workpieces

条件	ω_{w1}^c / Hz	ω_{w1}^s / Hz	ω_{w1}^m / Hz	连接刚度 / (N·m^{-1})
无尾架	103.96	101.97	101.11	$k_0^a = 290EI/L^3$，$k_{r0}^a = 310EI/L$
使用尾架	455.86	408.71	408	$k_L^a = 100.5EI/L^3$，$k_{rL}^a = 41EI/L$

在此基础上，确定了细长轴的位置相关模态刚度。柔性边界模型和经典边界模型预测结果如图 6 所示。模态刚度的最大偏差仍然出现在靠近夹紧和支撑端的位置，这与图 5 所示的比较结果相同。

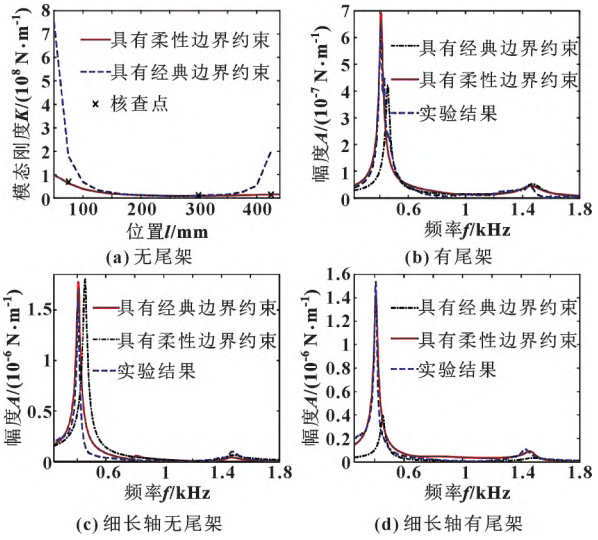


图 6 柔性边界模型和经典边界模型预测的结果

Fig. 6 Prediction results of flexible boundary model and classical boundary model: (a) without tailstock; (b) with tailstock; (c) slender axle without tailstock; (d) slender axle with tailstock

基于测得的 FRF，细长工件的模态阻尼比识别为 ξ_{w1} = 0.03。连接刚度和阻尼比的识别结果作为初始条件输入到有限元软件 Abaqus。谐波响应分析用于确定其他位置点的仿真 FRF。除了用固定和简单支撑的组合代替边界条件外，还使用相同的方法获得具有经典边界条件的工件的 FRF。在 75、300、425 mm 的位置进行了验证实验。对于工件的主模态，柔性边界模型预测的 FRF 与实验一致。柔性边界模型预测的频率低于经典边界模型。然而，预测 FRF 的幅度并不总是较低的。当验证点远离边界时，两种边界模型对振幅 FRF 的预测结果相似。因此可以看出，所提出的柔性边界模型预测的模态刚度在靠近边界的位置区间更可信，并且边界条件的影响随着相对距离的增加

中国知网 https://www.cnki.net

而减小。

基于已识别的连接刚度，可以进一步预测具有相同夹紧条件的新细长轴（工件 II，L = 450 mm 和 D = 20 mm）的动态特性。在 100、400 mm 处进行验证实验，加速度传感器仍固定在 300 mm 处。如图 7 和图 8 所示，具有柔性和经典边界约束的预测结果分别为 282、314.4 Hz，测量结果为 272 Hz。关于主模态的频率，柔性边界模型的预测误差低于经典边界模型的预测误差。同样，柔性边界模型预测的实部和虚部振幅也更精确。此外，由于尾架提供的夹紧刚度较低，上述模型预测的 FRF 偏差在支撑端附近更为显著。这也与图 6 所示的比较结果相同。总之，所提出的方法确定的连接刚度对于具有相同边界条件的类似工件具有更广泛的适用性。

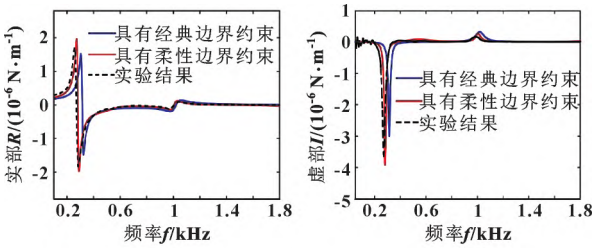


图 7　工件 II 在 100 mm 位置上的 FRF 比较

Fig. 7　FRF comparison of workpiece II at 100 mm position: (a) real part; (b) imaginary part

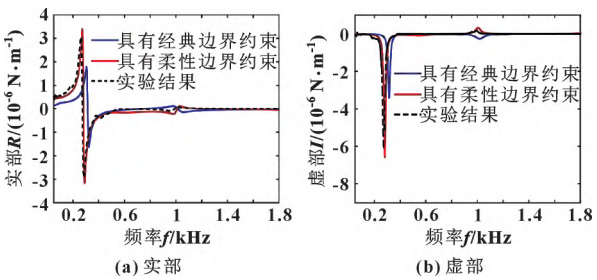


图 8　工件 II 在 400 mm 位置的 FRF 比较

Fig. 8　FRF comparison of workpiece II at 400 mm position: (a) real part; (b) imaginary part

3　稳定性实验验证

3.1　实验设置

如图 9 所示，在 CKA 6140 车床上进行车削试验，车削试验中使用的工件几何参数与第 2 节中提到的相同。车削试验使用的刀片为 DCGT11T302-KC5010。刀片的前端半径为 0.2 mm，刀杆的切削刃角为 45°。在每次车削试验中，镶块保持光滑，以减少工艺阻尼对稳定性结果的影响。此外，使用麦克风 GRAS 46 AE 收集转弯操作中产生的声音信号。

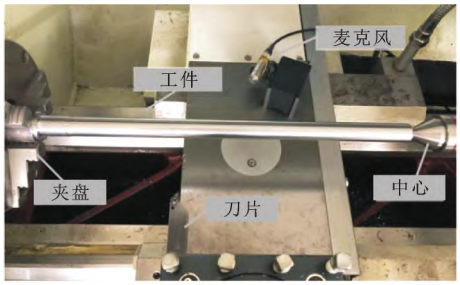


图 9　切削实验设置

Fig. 9　Cutting experiment settings

作为计算稳定极限的前提，必须事先确定有关 DT4E 纯铁的切削力系数。在刚性杆上进行了一系列恒定切割深度的校准实验。使用包含 9257B Kistler 测功机、5070 电荷放大器和 5697 DAQ 系统的切削力测量系统检测力信号。根据文献[12-13]提出的工艺策略，r 和 f 方向上的剪力系数（有助于转向系统的稳定极限）分别确定为 k_{rc} = 1 527.4 MPa，k_{fc} = −14.1 MPa。

图 10 展示了工具尖端的测量 FRF。在相应的模态测试中，将加速度传感器安装在切削尖端，并在相反的点上激励锤子。在感兴趣的频率间隔中仅激励所用工具的第一模式。因此，切削刀具的主模态数应满足 m = 1。在此基础上，可以识别切削刀具的模态参数。模态频率、刚度和阻尼比分别确定为 ω_{t1} = 1 445 Hz、ξ_{t1} = 0.034 和 K_{t1} = 7.92×10⁷ N/m。

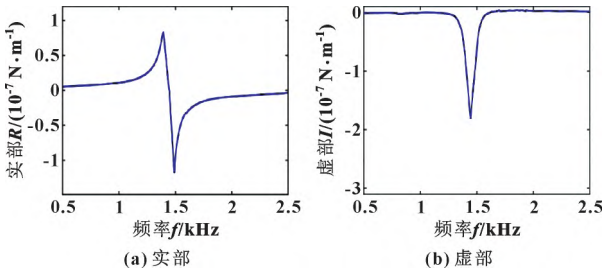


图 10　工具尖端的测量 FRF

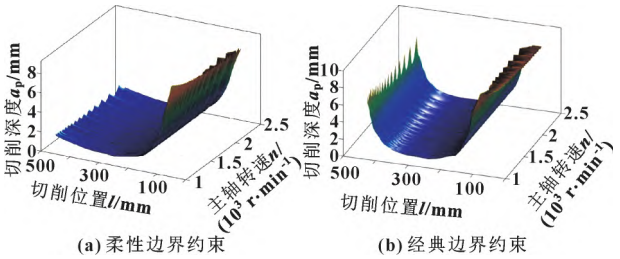
Fig. 10　Measurement of FRF at the tool tip: (a) real part; (b) imaginary part

3.2　工件 I 车削稳定性验证

通过将模态参数和切削系数输入式（26）所示的动力学模型，图 11 绘制了具有柔性和经典边界约束的工件 I 的位置相关稳定性极限。考虑到两种模型的模态频率预测结果存在显著差异，因此，柔性边界模型和经典边界模型预测的稳定极限在整个速度区间内并不完全相同。这种差异可以为切削参数的规划提供科学依据，以提高稳定性预测的准确性。关于柔性边界模型，由于卡盘和尾座提供的夹紧刚度是有限的，因此相应的稳定性极限与经典边界约束预测的稳

中国知网　https://www.cnki.net

定性极限显著不同，尤其是在边界附近。此外，尾座和三爪卡盘提供的夹紧刚度的差异也反映在图 11（a）所示的稳定性极限中。因此，夹紧端预测的稳定性极限明显高于支撑端的预测结果。



(a) 柔性边界约束 (b) 经典边界约束

图 11 工件 I 的位置相关稳定性极限

Fig. 11 Position dependent stability limit of workpiece I: (a) flexible boundary; (b) classical boundary

通过将主轴速度作为常数，柔性边界模型和经典边界模型预测的位置相关稳定性极限如图 12 所示。在高速区间选择主轴速度，以减少工艺阻尼的影响。特别是，主轴速度和切削深度分别设为 1 600 r/min 和 1.2 mm。仿真结果表明：上述两种边界模型预测的不稳定区间分别为 [176，423] mm 和 [189，351] mm。使用工件长度的位置，不稳定间隔可以分别用 [0.39L，0.94L] 和 [0.42L，0.78L] 表示。在这种情况下，柔性边界模型和经典边界模型预测的不稳定区域的总长度分别为 0.55L 和 0.36L，不稳定区域长度的相对偏差为 34.4%。使用仿真中相同参数进行进一步验证实验。

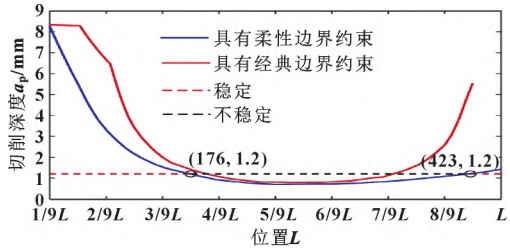


图 12 工件 I 的位置相关稳定性极限的比较

Fig. 12 Comparison of positional dependent stability limits of workpiece I

从尾座端到卡盘端沿 X 方向进给刀具，同时 LMS SCADAS 也记录了车削过程中产生的声音信号。如图 13 所示：机器表面上留下的颤振痕迹开始于 170 mm（0.38L），结束于 420 mm（0 0.93L）。有鉴于此，具有柔性边界约束的稳定性预测结果与实验观测结果更为吻合。此外，考虑到总切削长度为 425 mm，切削刀具的进给速度为 0.04 mm/r，因此声音信号的采集时间为 398.4 s。使用快速傅里叶变换将时域中检测到的声音信号转换为频域形式。

因此，图 14 中绘制了一个 3D 图。三维频谱中有两个关键频率，它们与稳定和颤振信号有关。前者存在于整个车削过程中，表示主轴旋转频率，对比主轴转速为 1 600 r/min。颤振频率发生在细长工件的第一模式附近（408.71 Hz）。颤振信号在 t = 27.8 s 出现，在 t = 260 s 消失，对应于细长工件上 420.45 mm 和 172.67 mm 的位置。该结果与图 13 中所示的颤振标记一致。此外，在车削过程中，只有对应于工件的颤振频率被激发，这表明：由于工件更灵活，导致车削系统颤振的主要原因是工件而不是刀具。

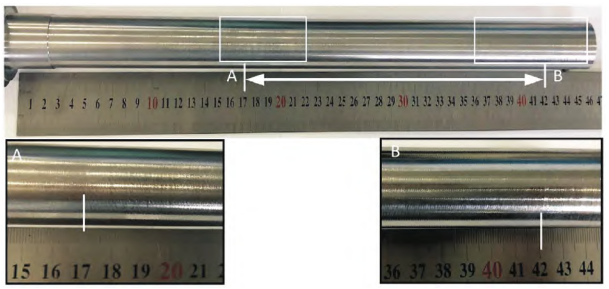


图 13 工件 I 的加工表面形态

Fig. 13 Processing surface morphology of workpiece I

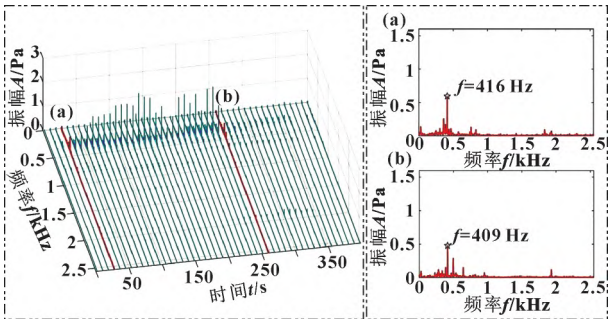
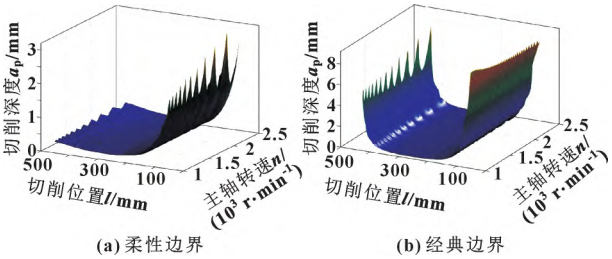


图 14 工件 I 车削检测到的声音信号的 3D 图

Fig. 14 3D image of the sound signal detected during workpiece I turning

3.3 工件 II 的车削稳定性验证

在工件 II 上进一步验证了柔性边界模型。夹紧条件和工件材料与图 11 中使用的参数保持一致。根据已确定的连接刚度，绘制了工件 II 的位置相关稳定性极限，该极限是用柔性和经典边界模型预测的。稳定性 3D 图如图 15 所示。



(a) 柔性边界 (b) 经典边界

图 15 工件 I 的稳定性 3D 图

Fig. 15 Stability 3D diagram of workpiece I: (a) flexible boundary; (b) classical boundary

中国知网 https://www.cnki.net

对于靠近卡盘和尾架的位置，柔性边界模型预测的位置相关稳定性极限明显低于经典边界模型预测。然而，尽管工件 II 的直径已减小至 20 mm，但差异仍与图 11 所示的分布趋势相似。如图 16 所示，从上述 3D 稳定波瓣中进一步提取了 1 600 r/min 下的固定主轴速度部分，进行验证实验以验证这些比较结果。车削试验的切削深度选择为 0.4 mm，切削刀具仍沿 X 方向从尾架端部进给到卡盘端部。

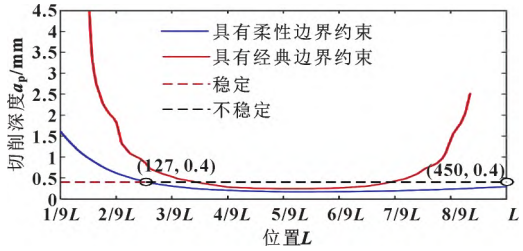


图 16　工件 II 的位置相关稳定极限的比较

Fig. 16　Comparison of positional dependent stability limits of workpiece II

仿真结果表明，上述两种边界模型预测的不稳定区间分别为 [0.28L，L] 和 [0.38L，0.77L]。柔性边界模型和经典边界模型预测的不稳定区总长度分别为 0.72L 和 0.39L，相对偏差为 45.51%。与图 12 所示的比较结果相比，尽管工件 I 和 II 所用的夹紧条件基本相同，但当工件 II 更细时，边界条件对稳定性极限有更显著的影响。此外，在这种情况下，颤振甚至发生在靠近尾架的位置间隔中。进行转向试验以验证位置相关稳定性极限的预测结果。总切削长度为 430 mm，刀具进给速度为 0.04 r/min，其他切削条件与仿真中使用的切削条件一致，颤振痕迹和三维频谱如图 17 和图 18 所示。

如图 17 所示，工件 II 表面上留下的颤振痕迹从 130 mm (0.29L) 开始至 450 mm (L)。不稳定区域的初始位置和长度与预测结果基本相同，类似于图 12 所示的比较结果。然而，与图 13 所示的加工表面形态相比，当工件更细时，工件 II 上留下的颤振痕迹更严重。

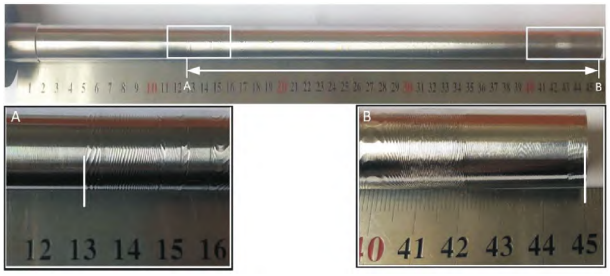


图 17　工件 II 加工表面形态

Fig. 17　Surface morphology of workpiece II processing

考虑到在与工件 II 相关的验证实验中主轴转速固定在 1 600 r/min，因此，图 18 中的稳定信号的频率等于图 14 中的频率，计算为 26.7 Hz。在车削过程的局部不稳定区域，颤振频率 (276 Hz) 及其高次谐波 (552 Hz) 同时存在于三维频谱中。颤振信号在 t=0 s 出现，在 t=301 s 消失，对应于工件 II 上的位置 450、128.93 mm。这与图 15 所示的预测结果一致。在图 13、14、17 和 18 中，可以得出结论：所建立的考虑柔性边界约束的模型预测细长零件车削过程中的稳定性极限更为准确。

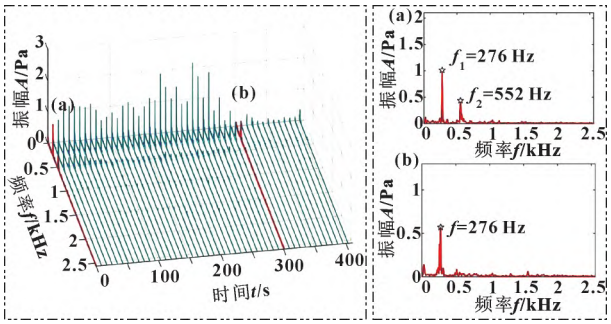


图 18　工件 II 车削检测到的声音信号 3D 图

Fig. 18　3D image of sound signal detected during workpiece II turning

4　结论

考虑到边界条件的影响，并且为了进一步提升辨识精度和计算效率，提出一种基于柔性边界约束细长件车削动力学辨识与稳定性分析方法。进行了一系列模态测试和转向实验，有如下结论：

(1) 提出的柔性边界模型预测误差低于经典边界模型的预测误差，预测的实部和虚部振幅也更精确，证明了所建立的考虑柔性边界约束的模型对于预测细长零件车削过程中的稳定性极限更为准确。

(2) 所提出的方法显著提高了转向的预测精度稳定性极限。与经典边界约束假设相比，过程系统动态特性的预测结果更可靠。

(3) 所提出的柔性边界模型预测的模态刚度在靠近边界的位置区间更可信，并且边界条件的影响随着相对距离的增加而减小，证明了所提出方法确定的连接刚度对于具有相同边界条件的类似工件具有更广泛的适用性。

参考文献：

[1] 张鹏宇，孟鑫鑫，林有希.铝合金切削过程刀具磨损预测研究[J].机床与液压，2022，50(17)：189-194.
ZHANG P Y，MENG X X，LIN Y X.Research on tool wear prediction in aluminum alloy cutting process [J].Machine Tool & Hydraulics，2022，50(17)：189-194.

[2] 丁宇星，俞建超，鲁治锴.直角切削剪切角与剪切带有限元仿真分析[J].机床与液压，2022，50(16)：114-118.

中国知网　https://www.cnki.net

DING Y X, YU J C, LU Z K. Finite element simulation analysis of shear angle and shear band in orthogonal cutting [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50(16): 114-118.

[3] ZHAO Y, XU B, DENG B C, et al. Various damper forces and dynamic excitation nonparametric identification with a double Chebyshev polynomial using limited fused measurements [J]. Measurement, 2022, 193: 110940.

[4] LIANG C F, FU Y Y, WANG C H, et al. Damping of rubberized recycled aggregate concrete and damping estimation of its elements by finite element analysis [J]. Composite Structures, 2022, 281: 114967.

[5] SHI J H, JIN X L, CAO H R. Chatter stability analysis in micro-milling with aerostatic spindle considering speed effect [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2022, 169: 108620.

[6] LIPIÄINEN K, KAIJALAINEN A, AHOLA A, et al. Fatigue strength assessment of cut edges considering material strength and cutting quality [J]. International Journal of Fatigue, 2021, 149: 106263.

[7] MA H W, SUN W, DU D X, et al. Nonlinear vibration analysis of double cylindrical shells coupled structure with bolted connection and partially attached constrained layer damping [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2022, 223: 107270.

[8] 邱洪涛.重载切削条件下机械耦合波动载荷准确测量方法 [J].电子测量技术,2019,42(15):55-59.
QIU H T. Accurate measurement method of coupled wave load in heavy load cutting [J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(15): 55-59.

[9] SUN Z W, ZHANG T, LI P Z, et al. Analytical modelling of the trans-scale cutting forces in diamond cutting of polycrystalline metals considering material microstructure and size effect [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2021, 204: 106575.

[10] 尹瑞雪,柯杰.碳效率目标下的铣削切削参数优化研究 [J].机械设计与制造,2022(1):136-140.
YIN R X, KE J. Optimization of milling cutting parameters under carbon efficiency target [J]. Machinery Design & Manufacture, 2022(1): 136-140.

[11] 郑晓军,段泽波,郑人豪.基于变长度编码遗传算法的铣削深度分配优化 [J].机床与液压,2022,50(17):95-100.
ZHENG X J, DUAN Z B, ZHENG R H. Milling depth allocation optimization based on variable length coded genetic algorithm [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50(17): 95-100.

[12] 张天翼,丁艳红,郭文亮,等.高强度材料车削机械断屑器设计分析 [J].机械设计与制造,2021(7):105-108.
ZHANG T Y, DING Y H, GUO W L, et al. Design and analysis of chip breaker for high strength materials turning machinery [J]. Machinery Design & Manufacture, 2021(7): 105-108.

[13] 高玉侠.基于超声振动的镁合金铣削加工仿真与试验研究 [J].机电工程,2022,39(4):532-537.
GAO Y X. Simulation and experiment on magnesium alloy milling based on ultrasonic vibration [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2022, 39(4): 532-537.

中国知网 https://www.cnki.net

DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2018.30.005

如何提高机械数控加工技术水平的有效策略分析①

黄连宝 季顺延
(天津职业大学 天津 300410)

摘 要: 近年来，机械数控加工行业越来越受到人们的广泛关，在全球经济逐步向着一体化方向发展的形势下，科学技术也不断发生着巨大变化，在推动了经济发展的同时，进一步提高了人们的生活质量。但是，从现阶段的实际情况来看，常规的机械数控加工技术早已无法满足时代发展的需求，在实际应用的过程当中仍存在一些问题，导致我国机械数控加工技术水平得不到有效提升，这在很大程度上影响了我国机械加工制造业的整体发展。本文针对如何提高机械数控加工技术水平展开了探讨。

关键词: 机械数控加工 技术水平 策略
中图分类号: TH16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-3791(2018)10(c)-0005-03

要想使机械数控加工技术能够在当下发挥出更大的作用，就必须将先进的科学技术与现有的机械数控加工技术充分结合在一起，对其进行不断改进和创新，在确保质量的基础上，有效提升机械数控加工技术水平，以此真正实现我国机械加工制造业的可持续性发展。

1 机械数控加工技术的基本概述

对于机械数控加工技术而言，采用有效的数字化控制方式不仅能够使企业获取到更大的经济效益，而且还能进一步提高机械设备的运作效率，应用此项技术，能够使相关人员在进行机械加工的过程当中，使用数字化方式更加灵活、高效地控制相应的机械设备，从而提升机械加工水平。科学技术的不断更新和完善，也进一步推动了我国数控技术的改革步伐，在微电子时代背景下，数控技术的研究工作也取得了更大的进展。因此，除了要不断完善机械数控加工技术相关理论外，还要针对此项技术加以有效创新，从而提升工作效率，增加企业的经济收益。因机械数控加工技术本身具有较高的便捷性和灵活性等特点，所以，只有不断改进数控技术当中的先进工艺，才能使机械数控加工技术和相关的信息技术取得更大的发展。

2 提高机械数控加工技术水平的意义

提高机械数控加工技术水平有着极其重要的意义。就现阶段而言，我国还处在社会主义初期，该时期的主要特征就是社会生产无法满足人们在物质文化方面的基本需求。而应用机械数控加工技术，就能够在很大程度上解决此类问题。科学、合理地应用机械数控加工技术，并不断加大培养相关专业人才的力度，就能够使我国经济建设尽快迈入一个崭新的阶段。

2.1 行业发展方面的相关需求

近年来，由于我国在制造业方面取得了显著的成就，成为了世界上首屈一指的制造大国，因此也被称为世界工厂。但是，从目前的实际情况来看，我国仍缺少能够充分利用相关先进技术实施机械加工的专业人才，且现有人才大部分都集中在了发达城市里的高端企业与工厂当中，导致了我国各地区出现了发展状态差距过大的问题。在较为发达的城市当中，高端的企业和工厂占据了大部分的专业人才，造成了技术上的垄断，而此项技术并不能在其他城市里的工厂和企业当中接触到，并且也缺少相关人才的指导。对于职业教育而言，培养更多的优秀的专业人才是重中之重，从而进一步提高我国各地区经济发展的均衡性。所以，一定要高度重视机械数控加工人才的培养工作，让相关专业人才能够在不同的城市当中充分发挥出其重要作用，促进各城市的共同发展。

2.2 社会主义现代化建设方面的相关要求

我国社会主义核心价值观所涉及到的不仅仅有文明和谐，同时还包括了富强繁荣等方面。社会发展必须经历经济基础向上层建筑转变的过程。当前，要想使我国真正成为富强、文明、民主、和谐的社会主义现代化国家，全面实现中国梦，就一定要确保我国较为基础的制造业与工业也能够具有较高的技术水平，不断加大科研资金的投入，培养出更多优秀的专业人才。只有不断提升机械数控加工技术，才能更好的促进社会主义现代化建设。

3 影响机械数控加工技术应用效率的主要因素

相比普通的机床，机械数控加工的相关设备有着更高的工作效率，加工的产品更加的精密，而且能够在很大程度上降低成本费用，进一步促进了机械制造业的发展。然而，从现阶段的实际情况来看，我国在机械数控加工技术方面仍落后于一些较为发达的国家，使得我国的制造业始终处于发展时期，具体的影响因素主要概括为以下几种。

3.1 人为因素

对于制造业而言，机械数控加工技术占据着极其重要的地位，在相关的领域内得到了越来越广泛的使用。目前，我国的一部分工厂在成本和生产效率方面仍存在着一些

①作者简介：黄连宝(1985—)，男，汉族，天津人，本科，工程师，研究方向：产教融合数控实训教学。
季顺延(1990—)，男，汉族，江苏盐城人，本科，助理工程师，研究方向：数控加工技术。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

问题，在招纳人才时没有高度重视其所具备能力的高低，而是更加注重成本方面的控制，这就使得我国的一些机械加工设备在耗费了大量资金的同时，仍无法得到及时的更新。一旦机械数控加工的相关设备发生了老化的问题，那么产品的质量也会大大降低，严重影响了生产效率。除此之外，有些相关人员也未能对其进行及时、有效地创新，导致企业的整体发展过于缓慢，甚至最终无法正常运行。

3.2 程序因素

程序编写的相关工作不仅对于加工技术的应用有着关键性的意义，而还与机床工作的效率和质量有着密切关系，因此，必须高度重视相关程序的编写工作，不断提高程序的完善性，这样不仅能够节省较多的时间，同时还能够在很大程度上确保机床不会存在走空刀的问题。所以，必须严格管理机床程序的编写，使机床的工作质量和工作效率得到进一步提高。

3.3 操刀因素

一般来讲，在机械数控加工的过程当中，往往都会存在一些影响因素，且这些因素对机械加工制造水平构成的影响或大或小。其中，操刀对机械数控加工的质量影响较为明显，具体来说就是所选取的换刀方式。采用科学、合理的换刀方式可以确保数控加工的整个过程具有较高的稳定性。因此，在换刀的过程当中，一定要尽可能地快速操作，提高换刀的效率，在确保数控机床具有较高精准度的同时，尽量减少加工成本的投入。通过实际应用得知，科学、合理换刀能够大大提升机械加工的准确度。除此之外，还必须设置好走刀的线路，以此进一步提高机械数控的加工水平。

3.4 数控机床的应用缺乏规范性

虽然我国在机械制造业方面的发展还处于初始阶段，但在早以前就已经开始使用机械加工技术，经过长期的使用后，机械数控加工的相关设备往往都会出现老化现象，不仅会导致其精密度下降，同时还会影响机械数控加工技术的使用效果。有一部分相关企业为尽可能减少成本投入，未能采用有效措施维护机械加工的相关设备，大大缩短了机械加工设备的使用寿命，而且还降低了机械加工的水平。除此之外，机床在使用的过程中还会有发生混淆情况，特备是在加工相应的零件时，没有详细划分出零件的种类。所以，如果没有按照科学、合理的顺序进行加工，那么就无法使机械设备充分发挥出其应有的作用，导致机械数控加工设备的工作质量和工作效率降低。

4 提高机械数控加工技术水平的相应策略

机械数控加工水平与相关企业未来的发展有着密切的关系。因此，要想使制造业真正实现可持续性发展，就必须采取有效措施不断提高机械数控加工水平，改进和完善机械数控加工技术，以此更好地发挥出此项技术的作用。

4.1 强化编程人员的综合能力

强化编程人员的综合能力对于提高机械数控加工水平有着关键性的意义。因此，一定要高度重视对相关编程人员在综合能力方面的培养，编程人员所掌握的专业知识直接影响着程序的质量，而要想真正提高数据技术的完善度，就必须针对编程人员的综合能力进行有效培养，使其具备较强的专业能力，提高机械数控加工的效率，从而提升整个机床的加工质量。优秀的专业人才是企业发展的重要基础，只有不断提升人才的综合能力，才能使企业获得各大的经济收益，促进企业的良好发展，推动企业迈向崭新的发展阶段。

4.2 科学、合理地选用相应的机床工具

切削刀不仅是机床当中极其重要的组件之一，同时也与整个机床的加工水平有着直接关系。所以，必须重视切削刀具所具备的性能，确保机械数控加工的质量。比如，在实际加工中，使用陶瓷刀片就有着非常好的效果，此类刀片有着较强的耐磨性特点，加工出的产品可满足相关的质量要求。因此，一定要结合具体的加工情况，详细分类并认真选取相应的机床工具。不同的设备往往所使用的刀具也会有所不同，因此必须对其进行科学、合理的划分。此外，在使用球头型的刀具时，尽管加工的质量和切削的水平都没有使用平头型工具的效果好。但使用球头型的刀具却能够有效避免加工的过程当中产生过切的问题。因此，要想确保加工具有较高的水平，就一定要以具体情况为依据，科学、合理地选用相应的机床工具，以此进一步推动企业的发展步伐。

4.3 加大数控设备使用的管理力度

在机械数控加工的过程当中，机床是极其重要的部分，有效地使用机床可以大大提高加工的效率和加工的精度。首先，企业要采取相应措施增强相关人员在维护方面的意识，要按照具体的时间，对机械加工的相关设备进行计提折旧，同时做好设备的维修工作，这样不仅有助于更加及时地发现并解决机械加工相关设备存在的问题，同时还能够确保机械数控加工设备在运作时始终保持安全状态。从当前的实际情况来看，机械加工设备的维护工作还需长期坚持，且具有一定的繁琐性。因此，相关人员一定要在具备较强的维护意识基础上，不断加大维护和维修机械数控加工设备的力度，从而确保相关的机械设备能够具有较高的精准度，使维修与维护工作能够更加顺利的进行。除此之外，企业还要针对机械设备的维护与维修提供充足的资金，并在机械加工的过程当中，采用科学合理的方式严格划分零件的种类。因粗加工与精加工的要求存在着明显差异，所以必须针对其中的每一道加工工序加以规范，同时还要选择相应的机床，使机床能够发挥出更大的作用。所以，要想提高机械数控加工水平，就必须加大数控设备使用的管理力度。

4.4 充分结合理论与实践

在提高机械数控加工技术水平方面，除了企业自身要采取有效措施外，还高度重视学校的教育教学工作，在实际教学的过程当中，一定要将相关专业的理论知识与实践充分结合在一起，以当前的行业发展情况为基础，引导学生学习更加丰富的理论知识。数控机床的编程和运行都需要相关人员进行控制，倘若教师在教学的过程中无法引导学生掌握最新的专业知识，那么学生在工作时也就不能编写出当下最新的程序，这样不仅会大大降低工作的效

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率，同时还极有可能导致机械数控机床受到破坏，使数控机床在运行时无法充分发挥出其应有的作用。所以，在教学的过程当中，相关专业的教师要做好程序编写的推广工作，并经常引导学生进行实际操作。教师在讲解完每一节的理论知识后，都要让学生将其与实践相结合，而不是在所有知识都讲解完再进行实践，采用这样的教学方式就能够大大提高学生的实践能力，使其在今后的实际工作中发挥出更大的作用。

4.5 加强学校与企业之间的合作

无论对于企业还是学校而言，加强校企之间的合作不仅有助于培养更多优秀的专业人才，同时也能够进一步促进企业和学校的发展。在教学的过程当中，学校往往无法为学生提供较好的实践环境，所以，当学生进入到最后一个学期时，学校便可以安排学生到相关的合作企业中进行实践。通过这种方式，就可以使学生更好地将机械数控加工的理论知识转变为实践能力，并针对其中存在的问题与企业的相关人员共同探究，这对于学校和企业都有着重要意义。但是，尽管现阶段有许多学校和企业都建立起了合作关系，但部分企业的实习条件仍比较差。因此，学校一定要事先做好考察工作，在确认相关合作企业具备了所需的条件后，再安排学生进行实习，使学生能够真正在企业当中提高自己的专业能力。如此一来，也便于企业选取毕业的专业人才，以此在合作中更多地为对方创造价值。

5 结语

总而言之，在科学技术不断更新的形势下，常规的机械数控加工技术已经无法满足当下时代发展的需要。而要想有效提高机械数控加工技术水平，使机械加工的相关企业能够在激烈的市场竞争中占有一席之地，就必须不断研究影响机械数控加工技术水平的相关因素，并及时采取有效措施，包括强化编程人员的综合能力、合理选用相应的机床工具以及加大数控设备使用的管理力度等。此外，还要重视教育方面的因素，在实际教学的过程当中，一定要将相关专业的理论知识与实践充分结合在一起，并不断加强学校与企业之间的合作，以此进一步推动我国机械加工行业的发展步伐。

参考文献

[1] 李薇.论提高机械数控加工技术水平的几种有效方法[J].内燃机与配件,2017(1):43-44.
[2] 周金玉.关于机械数控加工技术水平提升有效策略探讨[J].科技创新与应用,2016(18):126.

（上接4页）
发展了一种数据处理方法，主要结论如下。

(1)设计的FIR低通数字滤波器能够有效消除飞机纵向过载中的背景噪声。

(2)设计的BP神经网络拟合算法能够有效消除滤波后纵向过载中的随机误差，拟合结果能较好地反映平飞加速段飞机纵向过载随时间的变化趋势。

(3)本文方法能够显著改善该型飞机爬升性能试飞数据处理结果，使飞机爬升性能易于确定，可为其他型号涡桨飞机采用“平飞加速法”进行爬升性能试飞提供技术参考。

参考文献

[1] 赵瑞堃.基于MATLAB的FIR和IIR数字滤波器的设计[D].吉林大学,2012.
[2] 黎秀红.非定常实验数据处理中数字滤波器的设计[J].流体力学实验与测量,2004,18(3):92-96.
[3] 赵颖,刘祖深,李胜寅.基于MATLAB的FIR数字滤波器的方法设计[J].研究与开发,2012,31(10):35-37.
[4] 樊振宇.BP神经网络模型与学习算法[J].软件导刊,2011,10(7):66-68.
[5] 杨云升.MATLAB曲线拟合及其在试验数据处理中的应用[J].电脑与信息技术,2009,17(27):34-36.
[6] 徐远芳,郑华.基于MATLAB的BP神经网络实现研究[J].微型电脑应用,2006,22(8):41-44.
[7] 蒋良孝,李超群.基于BP神经网络的函数逼近方法及其MATLAB实现[J].微型机与应用,2004,23(1):52-53.
[8] 第三机械工业部第六二八研究所.飞机飞行试验手册[Z].1976.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2018.02.076

三相异步电动机几种常见故障诊断分析①

兰宇飞　郑士成
（天津职业大学机电学院　天津　300410）

摘　要:三相异步电动机在人类社会生产与生活中扮演着极为重要的角色，是工业企业的主要动力源，其因故障而停运将会对生产、生活甚至人身安全造成极其严重的影响。本文重点分析了三相异步电动机的故障分析方法，并针对类似如定子、转子上的常见故障总结了具体原因，以期对三相异步电动机的故障检修提供参考。

关键词:三相异步电动机　故障　分析　定子　转子
中图分类号:TM343　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1672-3791(2018)01(b)-0076-02

异步电动机以其结构简单、价格低廉、坚固耐用、使用和维护方便的优点，在国民经济各领域得到广泛应用。而一旦发生故障，将会带来较大的经济损失，因此，为减少电动机的事故率，提高电动机的使用效率，对三相异步电动机的故障诊断就显得尤为重要。本文简要分析了三相异步电动机常见的几种故障产生的原因，为后续及时判断故障原因、进行故障的排查、防止故障扩大、保证设备正常运行提供了重要保证。

三相异步电动机基本原理在于磁场旋转过程中，磁场以及闭合导体将会出现相应的运动操作，鼠笼式导体切割磁力线，进而使其在内部保证出现感应电流以及感应电动势。此外，感应电流还能够保证导体受到相应的电磁力作用，这种情况下，导体就会自然而然地沿着磁铁实际旋转方向进行有效转动。

三相异步电动机结构较为简单，主要分为定子、转子和机盖三大部分。

三相异步电动机的故障主要分为机械故障和电气故障两种。机械故障包括由电动机拖动的机械设备及传动机械方面的故障，电动机底座安装方面存在问题引起的机械不平衡方面的故障。电气故障包括给电动机供电电源故障、控制电动机的低压电器故障、轴承故障、制动控制故障及定转子本身的故障。本文将从异步电动机定转子本身的故障、轴承故障方面入手详细阐述。

1　三相异步电动机的定子故障

三相异步电动机运行期间，一般情况下会因工作环境潮湿以及长时间的高频率工作、雷击等多种人为或者是自然因素，导致定子绕组位置的绝缘性大大降低，进而造成定子绕组以及铁芯间形成短路。从绕组短路常见发生情况上来讲，往往出现在匝间短路以及相间短路、极相组短路，当绕组短路完成后，三相电流相对不平衡，这种情况下就会使电动机振动以及噪音大大加重，严重的时候还会导致绕组烧毁。

另外，电动机运行中，如果电动机断一根火线或一组绕组就会导致缺相运行。具体来说是三相异步电动机的定子绕组部分上有断点，如果定子绕组的单相有断点将会使得三相异步电动机缺相运行，进而导致三相电流不平衡。如此刻轴上负载没改变，则会造成严重过载，定子电流将高过额定电流，过载时间长会造成电机烧毁。造成故障的原因一般有以下几个：绝缘老化现象；电源缺相；接触器、继电器在控制回路中长期使用中，触点有可能出现氧化现象，一旦出现氧化，触点在电机启动电流的冲击或受到震动而导致绕组缺相现象。图1为电机满载且定子a相绕组1匝金属性短路情况下的仿真结果。

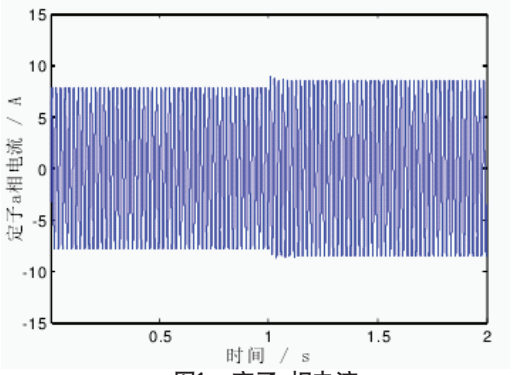


图1　定子a相电流

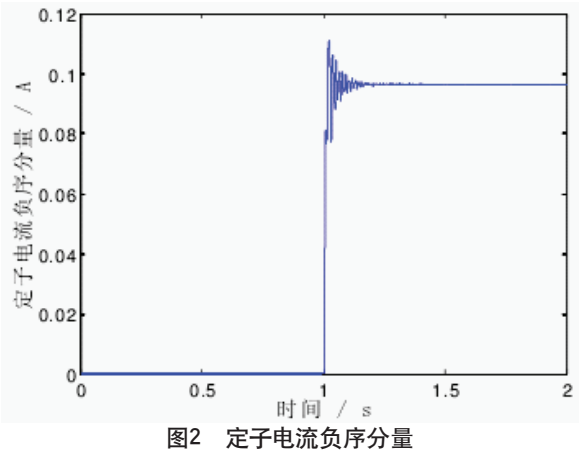


图2　定子电流负序分量

（下转78页）

①作者简介：兰宇飞(1984—)，男，汉族，天津人，硕士研究生，实验师，研究方向：电工理论与新技术。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

公路的需求。

2.3 设计与公路沿线风景相协调的路基防护

在高速公路防护工作中，尽可能地让公路景观与路基建筑相融合，特别是在挖方公路路基防护的过程中，一定要注意。在进行建设前，首先需要观察公路的景观，让公路的风景与路基相协调。在进行建设的时候，需要减少连续性的护面墙，可以构建一些较为低且隐藏性好的墙。而在进行一些较为特殊路段的建设过程中，可以构建高强，且在墙上刻画一些浮雕与绘画等，增加公路的美观，从而为驾驶员提供优美的公路风景。同时，在路基设计的过程中，需要考虑到公路与生态环境的协调，可以采用一些植被作为防护，然后再综合性进行防护。在防护方式考虑好后，根据施工的地质与地形选择最佳的方法，让当地的生态环境得到有效的维护。

2.4 取土场的设计

取土场施工之前，首先需要将表层种植土剥离，并集中到一块，等取土全部整理平整后，再将表层土壤覆盖在取土场露出来的上面，然后进行植被恢复，最后把原本的土填回摊平，这样的话，取土坑中就有了土壤层，加之一些雨水，自然就会产生相应的效果。并且表土所堆放的临时场地应该选择低洼处，这样才能预防水土流失，进而使土壤利用到实处，当然，取土场还能恢复农田、植树种草等，但是都需要结合当地的自然环境，尤其是降水情况，从而为环境提供保障，真正地实现节能环保的目的。

2.5 人性化、开放式的防护方式

一般，传统的防护会采用浆砌片石，如挡土墙、护面墙等防护方式，虽然这种防护有很好的封闭式与支撑作用，可是当护面墙出现裂缝现象时，就会降低防护的效果，并且还会影响到自然环境。所以，在进行路基防护设计时，需要根据人性化与环保性原则，将公路设计的方向朝着这个目标发展。相比于传统的防护方式，设计人员更应该重视开放式与柔性的防护，因为这种防护不仅能够提高植物的生长率，同时还能为植物营造一个良好的生存环境，最大程度地降低环境的污染。

3 结语

总之，对于公路路基而言，不仅公路的安全与质量有着重要的地位，环境保护也非常的关键。因此，相关的人员在公路路基设计的过程中，一定要将环境保护考虑进去。在实际中，公路路基设计的方法非常多，有利也有弊。在进行设计的时候，应该综合性考虑各种因素，如生态环境保护、经济要求、技术等，进而让公路的建筑跟上时代的步伐，使公路路基建筑有效地与环境相结合，以此促进我国公路建筑的发展。

参考文献

[1] 张兴宇.公路路基设计与环境保护研究[J].交通世界,2017(19):138-139.
[2] 蒯本秋.软土路基环境下高速公路路基设计分析[J].工程技术:文摘版,2017(1):246-247.
[3] 王晓亮.基于环保理念的公路路基设计方法[J].中国科技投资,2016(6).
[4] 屈国庆,唐涛.公路路基设计土地节约集约利用技术分析[J].江西建材,2016(10):175-176.

（上接76页）

2 转子故障是异步电动机最常见的故障之一

转子主要分为两种，一种是鼠笼式，另一种是绕组式。若鼠笼型转子突然断条，则三相异步电动机将会出现异常，不能够正常启动，即便是有的时候可以启动，但当三相异步电动机实际运行的过程中，也会出现一些周期性的非正常振动，或者是电磁噪音非常大，最终对三相异步电动机日常运行工作产生非常严重的影响。因为异步电动机启动时，笼条在短时间里会产生大电流，它不仅要承受很大的扭矩，而且自身温度迅速上升，在其两端的端环还要承受较大的离心力。如若电动机启停的频次较高的话，笼条和端环还会产生循环热应力和变形，最终会因应力分布不均匀而断裂。大中型鼠笼三相异步电动机的笼条大多是铜条，笼条与端环之间的焊点是电动机制造结构上的薄弱环节，在电动机长时间连续工作后得不到较好的冷却时很容易发生断条和端环开裂的情况。当存在转子偏心故障时，气隙中将产生谐波磁通量，其结果是：在定子线圈中产生感应电流并对电源频率进行调制：产生径向交变激振力，引起定子铁芯振动；引起磁动力的变化，导致扭矩和速度的变化。

3 三相异步电动机轴承部分的故障

三相异步电动机的轴承部分是易损件，轴承在长时间的使用后由于受到电机不平衡力的作用以及周边恶劣的环境将会造成三相异步电动机的轴承锈蚀，进而造成电机异常升温或是振动。

4 结语

现阶段，三相异步电动机已经被广泛应用到了工业生产以及民用等多个方面，虽然其组成结构相对简单，然而经过一段时间的连续性运行之后，不可避免地会出现多种异常故障，进而对其实施及时分析研究，进一步判断出故障所在，加强对问题的处理，从而确保设备的科学运行。因此，在实际工作过程中，相关工作人员应该加大学习力度以及实践力度，就故障进行及时总结，做到对故障点的快速处理，从根本上提升生产效率。

参考文献

[1] 李新.三相异步电动机常见故障分析浅谈[J].经营管理者,2012(18):376.
[2] 孙丽玲.异步电动机故障检测与诊断方法研究[D].华北电力大学,2007.
[3] 孙磊.11kW三相异步电动机故障保护装置的研究[D].湖北工业大学,2015.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

社会需求视域下的高职素质教育途径和方法探析

王智海
(天津职业大学机电工程与自动化学院 天津 300410)

摘要:从企业对人才的需求看,高职院校应在学生综合素质培养和技能培训两个方面加强建设,近八成企业在招聘时要求高职毕业生所学专业与岗位相关。所以,高职院校应加强学生择业观和人生观教育,提高职业道德素养;开展素质拓展,全方位提高学生综合素质;拓宽校企合作空间,提升学生的专业技能水平。

关键词:社会需求;高职;素质教育
中图分类号:G718 文献标识码:A 文章编号:1672-5727(2014)05-0135-03

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分,它为我国社会主义经济建设和社会进步培养了大批应用型技术人才。随着高职院校招生规模的逐年扩大,毕业生的就业问题随之显现出来。高职院校毕业生的就业问题受到社会需求、企业用人需求、家庭环境和个体等各个方面的影响。从高职院校人才培养的效果看,毕业生不能顺利就业的关键原因就是学生在校期间学到的通用知识和技能以及综合素质能力与用人单位对人才的需求不相符合。

天津滨海新区从地方发展战略上升为国家发展战略,展现在天津滨海新区面前的是机遇也是挑战。天津职业大学作为为地方经济发展培养高素质技能型专门人才的高职院校之一,根据用人单位和社会对人才的需求,改革学校人才培养方案,有针对性地改革学生就业工作和学生素质教育工作。

现代社会对人才的理论知识、通用能力和综合素质的要求

根据对天津三星电机、天津三星高新电机、天津三星LED、天津三星视界等天津三星系列公司,天津保洁公司,天津卷烟厂,天津滨海快速交通发展有限公司,天津地铁运营公司,中国核工业集团天津分公司,南车集团天津分公司,长城汽车天津分公司以及天津东风本田、奔驰汽车4S店等主要校企合作用人单位在岗的我校机电学院应往届毕业生代表进行访谈,了解到如下具体情况:

(一)在理论知识、通用技能和综合素养中,用人单位看重毕业生的综合素养

高职院校人才培养体系中,学科知识是根本,专业技能是基础,综合素养是升华。依据《关于进一步加强和改进学生素质教育工作的若干意见》与《天津职业大学人才培养方案》,归纳总结出思想道德素质、科学文化素质、职业素质和身体心理素质等13项关于学科知识、专业技能以及综合素养等与企业用人需求相关的指标。通过观察我校机电学院近三年毕业生就业效果以及校企合作用人单位岗位需求可以发现,用人单位最看重毕业生的综合素养。其中,职业人素养、爱岗敬业意识、与人沟通能力、相互合作能力和实干创新精神被企业列为选人、用人的标准。

企业最注重员工内在的职业素养 企业或者行业的信誉度体现在两个方面:一方面是企业生产的产品质量与售后服务水平;另一方面是企业职工所具备的职业素养。其中,员工的职业素养是企业在激烈市场竞争中立足的精神基础,同时也是企业和个人长远发展所必备的。

毕业生的团队协作、与人沟通、适应环境和有效处理突发事件的能力是用人单位较为重视的 从我

作者简介:王智海(1982—),男,河北张家口人,天津职业大学机电工程与自动化学院助教,研究方向为思想政治理论。

中国知网 https://www.cnki.net

校机电学院历年毕业生就业情况来看，大多数毕业生均从事基础生产、基础管理和售后服务等一线工作，良好的与人沟通能力使得毕业生较快地进入工作状态并适应岗位环境。因此，这种类型的毕业生易得到企业的认可。

另外，从近些年我校机电学院学生就业过程看，天津卷烟厂、天津滨海快速交通轨道有限公司和天津地铁运营公司等国有企业较为看重毕业生的各科学习成绩、英语等级与学生干部工作经历等项目；天津商科数控有限公司、天津顶嘉机械有限公司与天津友信空调有限公司等中小型三资企业对毕业生的各科学习成绩和英语等级不是十分看重，反而对毕业生的再学习能力、科学实践能力以及领域创新能力更为关注。

（二）用人单位对高职院校在学生综合素养与专业技能的培养和提升方面要求较高

学生综合素质和专业技能水平有待提高　从用人单位，如天津卷烟厂、天津滨海快速交通轨道有限公司以及中核集团等企业的用人标准来看，学生综合素质和专业技能方面与企业的用人要求还有差距，应加大力度培养。由此可见，综合素养高的毕业生是企业长远发展与领域创新的宝贵资源。

身体心理素质被现代企业提到较重要的位置　如天津卷烟厂在面试环节主要考察学生的个人习惯、表达能力、沟通能力、适应能力、职业兴趣和职业匹配等能力；在笔试环节主要考察人格诚信、情商测试和性格测试等方面，以便确认求职者是否适合承担本岗位工作。这与高效率和快节奏的工作强度以及企业内部和外部的竞争机制有相当的关联。从毕业生的岗位实践结果看，约有四分之一的员工在一定程度上身心处于“亚健康”状态。这种状态在从事生产一线操作的员工身上表现得尤为突出，并随着生产任务的加重而加重。

毕业生的岗位实践能力有待提高　毕业生在校期间学习到通用理论知识和专业技能，进入工作岗位后还要接受企业培训，这是校企合作工作的进一步延伸。毕业生通过现有工作岗位平台充分实践和再学习，对岗位要求有了更深入的感悟。企业文化厚重的用人单位还要为毕业生配备企业导师，有利于应届毕业生快速适应并融入到新环境中，有利于弥补高职院校实践教学环节的不足。

（三）企业希望毕业生在校期间所学专业与岗位要求相适应

以我校机电学院为例。天津三星电机、三星高新电机、三星 LED、三星视界、天津卷烟厂、中国核工业集团等企业明确要求毕业生所学专业与岗位对口；长城汽车天津分公司、天津滨海快速交通轨道有限公司、天津保洁等企业对毕业生的专业有要求；金威啤酒、日立楼宇、大金空调等企业不对毕业生所学专业有严格限制，但要求毕业生具备优良的综合素养和再学习能力以及领域创新能力。通过上述情况，我们可以看出，越来越多的企业对具备高素质的毕业生尤为青睐，这也充分体现了高职院校的培养目标和办学特色。

加强高职院校学生素质教育的途径与方法

（一）建立健全高职院校学生素质教育活动积分制

以各高职院校的办学特色为基础，以各二级学院（系部）的教学特点为依托，制定各项符合学生发展实际的素质教育活动项目，并且根据学生素质活动项目实施的难易程度、质量高低以及学生的预计参与度赋予各项活动相应的分值。各年级的学生根据自身需求选择相应的活动项目，获得相应的分值。学生所获得的分值均计入奖学金的评选分值范畴。例如，我校机电学院在 2012~2013 学年第二学期的学生素质教育活动项目有“写给学弟学妹们的一些心里话”征文、安全主题班会、“诚信考试，杜绝作弊”宣誓活动、机电学院科技创新比赛、大赛志愿者服务、个人简历设计大赛、“五四”青年节文艺晚会等。从学生参与活动的效果看，这些活动使得 2011 级的大多数学生在基本素质、职业素养和通用知识能力方面有了较大的提升，而且参与活动相对较多的学生在奖学金评选上占据优势，弥补了学习成绩上的相对不足。

（二）发挥思想政治理论课的主渠道作用，开展精神文明活动，加强学生思想政治素养教育

思想政治素养教育是学校实施各项素质教育项目的前提，也是学生素质教育活动项目中需重点建设的一环。鉴于高职院校学生的政治理论基础薄弱以及政治素养不高的现状，要充分借助“毛泽东思想概论”、“邓小平理论”、“思想政治理论修养”和“形势与政策”等思想政治理论课课堂这个重要阵地，在思想政治领域重新塑造与提升学生的思想政治觉悟，坚定他们崇高的政治方向，树立远大的政治理想，以毛泽东思想、邓小平理论与“三个代表”重要思想等武装他们的头脑，积极引导他们树立正确的人生观、世界观

中国知网 https://www.cnki.net

和价值观。

(三)以学生社团为基础平台,大力加强校园文化内涵建设,积极促进素质教育活动开展

高职院校的各级学生社团是加强校园文化建设的重要载体,也是开展学生素质拓展活动的重要途径。

建立形式多样、类别广泛的学生社团 我校机电学院成立了大学生理论研讨会、英语社团、红风曲艺社、运动在线、大学生就业联盟、电脑服务会社以及机电学院科技服务小分队等。以这些理论研究类、舞台表演类、社会公益类、学术科技类、兴趣爱好类等学生社团为基础平台,开展内容丰富多彩、健康向上、形式多样、层次和水平较高的素质教育活动,如大学生消费观念演讲比赛、安全知识竞赛、机电学院科技创新比赛、个人简历设计大赛、"五四"青年节文艺晚会、踢毽跳绳比赛、机电学院书法绘画作品展、机电学院社团联谊晚会等活动项目,使学生在参与过程中充分理解与感受素质教育的深层意义,锻炼与激励自我,重塑与完善个性。

营造校园科技文化氛围,以学科专业建设为背景,建立科技服务类学生社团 以我校机电学院为例。机电专业有数控先锋社团、电气专业有电子科技协会、汽车维修专业有 AUTO FAN 社团、汽车营销专业有汽车营销协会、供热专业有绿色环保社团等。通过这些学术科技类学生社团,可以组织全员性的学生科技作品竞赛,如"机电学院小发明小制作比赛"、"机电学院科技创新比赛"等;也可以组织学生参加全国大学生创业计划大赛、大学生学术科技课外作品大赛以及挑战杯大赛等全国赛事。这些比赛使得越来越多的学生有机会参与科技发明、制作和创新,展示他们的科技发明与创作能力。

充分利用校内课程教学和校外企业实习,进一步强化职业素质培养 课程教学和实践教学是职业素质教育的核心阵地。学生的创新精神、实践能力和职业道德的培养,主要是通过学科知识传授、学生主动性学习和实验实训教学完成的。因此,要注重理论学习和实践教学相结合,把素质教育内容融入课程教学之中,实现专业知识、专业技能与人文素养的融合,注重职业道德培养。在教学过程中,尤其是实施"教学做一体"的课程中,要充分体现高等职业教育的办学特点,把创新精神、实践能力和职业道德培养与专业知识传授相结合,促进学生职业素质的不断提升。企业实习为加强学生职业素质教育提供了重要平台。在企业实习中,要引导学生感受真实的企业氛围,理解企业文化,养成良好的行为规范。要使学生在实践中体验职业素质,在实践中内化职业素质。要在实践中考核学生职业素质的养成情况。

强化心理健康教育,提升学生的心理素质 加强心理健康教育,是培养学生良好心理品质的重要手段。要加强必修和选修相结合的心理健康教育课程的建设,使心理健康教育全覆盖。要依托心理教育信息化管理系统,开通网上心理咨询热线,拓宽心理咨询工作范围。要进一步完善学生心理健康档案管理,逐步完善心理危机三级防御体系,使学生心理健康教育工作朝着规范化、科学化的轨道发展。

开展丰富多彩的社会实践和素质拓展活动,进一步提升学生的综合素养 根据专业特点和学生长项制定教学计划,如在课堂上按照"教学做一体化"的方案培训学生,使得学生在"学中做,做中学",理论联系实际。也可以通过参加"机电学院小发明小制作比赛"、"机电学院科技创新比赛"、"全国大学生创业计划大赛"、"大学生学术科技课外作品大赛"以及"大学生挑战杯大赛"等赛事,培养学生的动手实践能力、科技创新能力以及团队协作能力,为今后更好地在工作岗位上争优创先打下坚实的基础。以我校机电学院为例,机电专业的学生可参加全国数控技能大赛;电气专业的学生可参加全国大学生电子科技竞赛;汽车专业的学生可参加全国汽车发动机拆装大赛。通过参加这些赛项,学生对学科专业知识的理解更进一步,对专业技能的提升也能起到积极的促进作用。

总之,高职院校应加大对学生综合素养和职业素养的培养,从创新的战略角度全面提升学生的综合素质,把他们培养成德、智、体、美、劳全面发展,适应现代社会发展需求的高素质技能型专门人才。

参考文献:

[1]王晓峰,边久民.论当代大学生的素质教育[J].教育研究,2006(3).

[2]陈慧.高职学生素质教育实施途径探析[J].广东工商职业技术学院学报,2001(8).

[3]郝志刚,陈磊.社会对高职院校毕业生能力需求的调查与分析[J].高校辅导员学刊,2011(4).

(责任编辑:杨在良)

中国知网 https://www.cnki.net

深冷处理对高速钢刀具组织和力学性能的影响

李建国

(天津职业大学, 天津 300410)

摘 要:对 W6Mo5Cr4V2 高速钢进行了淬火+不同工艺深冷处理+3 次回火处理,对热处理试样显微组织进行了观察,对常温硬度及红硬性能进行了检测。结果表明,随着深冷温度降低,马氏体粗化,碳化物细化、数量增加,常温硬度先升高后降低,−160、−120 ℃深冷处理试验钢在 620 ℃以下回火的红硬性能较好,而−80 ℃红硬性则较差;随着降温速率升高,基体组织没有明显改变,碳化物数量减少,常温硬度降低,600 ℃回火时硬度值降幅较小,回火温度超过 620 ℃时红硬性大幅下降;随着保温时间延长,马氏体组织细化,碳化物明显粗化,硬度值略有提高,钢在回火保温 4 h 时有良好的红硬性能,保温 1 h 次之,而保温 24 h 较差。

关键词:深冷处理; 高速钢; 组织和性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001−3814. 2016. 22. 051

中图分类号:TG156.91 文献标识码:A 文章编号:1001-3814(2016)22-0186-04

Effect of Cryogenic Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High Speed Steel Cutter

LI Jianguo

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The quenching + cryogenic treatment with different processes + 3 times tempering treatment of W6Mo5Cr4V2 high speed steel was carried out. The microstructures of heat treatment samples were observed, and the room temperature hardness and red hardness were tested. The results show that, with the decrease of the cryogenic temperature, the martensite coarsens, carbides refine and the numbers increase, the room temperature hardness increases firstly and then decreases, the red hardness properties of tested steel at below 620 ℃ after −160 and −120 ℃ cryogenic treatment are better, while the red hardness of the steel after − 80 ℃ cryogenic treatment is poorer. With the increase of cooling rate, matrix microstructure has no obvious change and the carbide contents decrease, the room temperature hardness decreases, decreasing amplitude of the hardness value is small when the steel is tempered at 600 ℃, and red hardness significantly decreases when the tempering temperature is over 620 ℃. With the increase of holding time, the martensite microstructure refines, but the carbides coarsen, the hardness value slightly increases. The steel has good red hardness properties during tempering for 4 h, the second for 1 h , and the poorest for 24 h .

Key words: cryogenic treatment; high speed steel; microstructure and properties

高速工具钢因具有良好的加工性能和强韧性等特点,能胜任高速切削。与碳素工具钢、铬钼合金工具钢相比,具有更优良的耐磨性能及红硬性能,而生产成本又远低于硬质合金材料。因此,广泛应用于如车刀、钻头等切割刀具以及精密冷作模具的制造[1-2]。热处理是高速钢刀具制造过程中的关键工序之一,它对于耐磨性、红硬性以及韧性有重要影响,目前高速钢常规热处理工艺通常为淬火+三次回火,可以获得较高的硬度,但淬火后仍有较多的残余奥氏体[3]。深冷处理是一种超低温处理,具有成本低、无污染等特点,能促使基体内的残余奥氏体向马氏体转变,并使析出的碳化物颗粒尽可能多,对于改善金属材料综合力学性能有明显作用。研究表明,合适的深冷处理能提高合金工具钢和碳素工具钢硬度 1～3 倍,使用寿命提高 1～10 倍[4]。W6Mo5Cr4V2 钢对应 ASTM 标准的 M2 钢,是钨−钼系通用高速钢典型代表,综合性能优异,占我国高速钢总产量的 40%以上。本文以 W6Mo5Cr4V2 高速钢为研究对象,采用不同工艺的深冷处理对试验高速钢进行淬火+深冷处理+3 次回火处理,研究深冷温度、降温速

收稿日期:2015-12-30

作者简介:李建国(1973−),男,河北邢台人,高级实验师,从事数控实训教学工作;电话 13821853826;E-mail:zh100w@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率、保温时间对于 W6Mo5Cr4V2 钢组织和力学性能的影响规律，为其深冷工艺的制订提供依据。

1 试验材料及方法

本研究试验材料为 W6Mo5Cr4V2 高速钢圆棒，化学成分如表 1 所示。将其加工成 ϕ30 mm×30 mm 的热处理试样。首先采用 VHQ-122L-06 型真空炉对试验钢进行淬火处理，淬火加热温度为 1200 ℃，保温时间 5 min，冷却方式为油冷。为了缩短加热时间，保证工件加热均匀，减少热应力，防止开裂，首先将钢板分别预热至 650、900 ℃，淬火后的显微组织如图 1 所示。淬火处理后的试验钢组织主要为索氏体+碳化物+残余奥氏体，硬度值在 20 HRC 左右。

表 1 试验材料的化学成分(质量分数，%)

Tab.1 The chemical composition of test materials (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	Cu	V
0.75	0.33	0.26	0.007	0.004	≤0.3	3.8	5.1	6.2	≤0.25	1.96

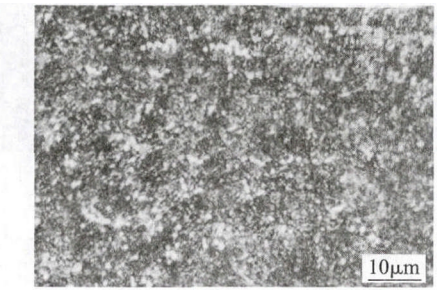


图 1 试验钢淬火显微组织

Fig.1 The microstructure of test steel after quenching

为了分别研究各个参数对试验钢组织和性能的影响规律，将淬火后的钢板分别进行不同工艺的深冷处理，深冷处理介质为液氮，主要工艺参数有深冷温度、降温速率、保温时间等。本研究分别设计了 7 组不同的深冷处理工艺，具体参数见表 2。将深冷处理后的钢板采用真空炉进行 3 次回火处理，回火温度为 560 ℃，保温时间为 1.5 h。最后，为了验证不同深冷处理的试验钢红硬性能，还分别进行了 600 ℃×4 h、620 ℃×4 h、640 ℃×4 h 的回火处理。将热处理后的试验钢板金相试样磨平、抛光后用 4%的硝酸酒精溶液腐蚀，腐蚀时间为 10 s，采用 OLYMPUS 金相显微镜对显微组织进行观察；采用 MC010-HRS-150 型数显洛氏硬度计测量试验钢的硬度值，测量时分别取 3 个点的平均值作为最终硬度值。

表 2 深冷处理工艺参数

Tab.2 The process parameters of the cryogenic treatment

工艺编号	深冷温度 /℃	降温速率 /(℃·min^{-1})	保温时间 /h
1	−80	2	1
2	−120	2	1
3	−160	2	1
4	−160	2	4
5	−160	2	24
6	−120	4	1
7	−120	10	1

2 试验结果及分析

2.1 深冷温度的影响

图 2 为降温速率 2 ℃/min、保温时间 1 h 时，深冷温度对 3 次回火热处理的试验钢金相组织的影响。由图可以看出，当深冷温度为−160 ℃时，组织中的马氏体较为粗大，基体上分布着许多细小弥散碳化物；当深冷温度升高至−120 ℃时，基体组织为细小的隐晶马氏体组织，碳化物尺寸变大；当深冷温度进一步升高至−80 ℃时，基体组织没有明显改变，碳化物含量有所减少，呈明显的不均匀分布，有的连接成链状。随着深冷温度降低，马氏体晶粒有逐渐粗化的趋势，基体中碳化物逐渐细化，数量增加。

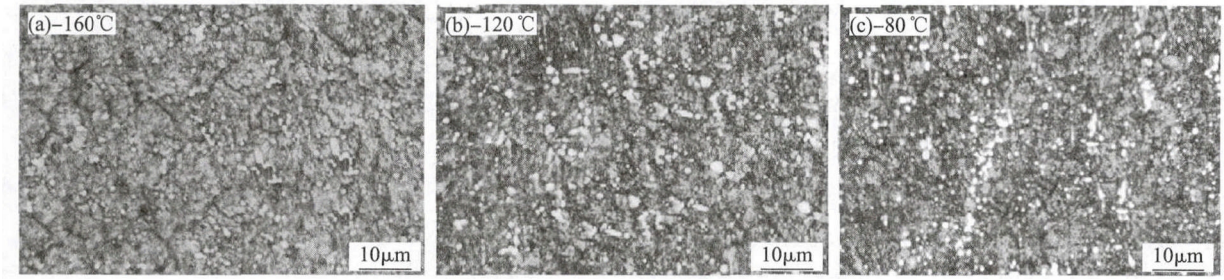


图 2 不同深冷温度处理后试验钢的回火组织

Fig.2 The tempering microstructure of test steel after treatment at different cryogenic temperatures

图 3 为降温速率 2 ℃/min、保温时间 1 h 时，深冷温度对 3 次回火热处理的试验钢硬度的影响。由图 3(a)可以看出，试验钢−160 ℃深冷处理后经 3 次 560 ℃×1.5 h 回火后室温硬度值为 61.8 HRC，而当深冷温度升高至−120 ℃时，硬度值有一小的提高，达到 62.5 HRC；当深冷温度提高至−80 ℃时，硬度值则

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

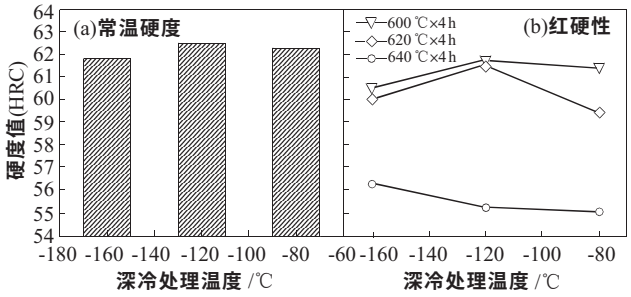


图 3 不同深冷温度处理后试验钢的硬度

Fig.3 The hardness of test steel after treatment at different cryogenic temperatures

又小幅降低至 62.2 HRC，说明在−120 ℃深冷处理时对于试验钢的硬度提升效果最好，这主要与残余奥氏体向马氏体转变及细小碳化物的析出强化有关。由图 3(b)可以看出，当回火温度达到 640 ℃时硬度值大幅降低，深冷温度为−120 ℃和−80 ℃时的试验钢硬度值分别由常温时的 62.5、62.2 HRC 大幅降低至 55.5、55.2 HRC，降低幅度达到 7 HRC，而−160 ℃的降幅也达到 5.3 HRC。由以上的分析可以看出，当回火温度不高于 620 ℃时，−160、−120 ℃深冷温度的试验钢表现出较好的红硬性能，而−80 ℃深冷处理的试验钢红硬性较差。当回火温度达到 640 ℃时，3 种深冷温度的试验钢的红硬性均较低。

2.2 降温速率的影响

图 4 为深冷温度−120 ℃、保温时间 1 h 时，降温速率对 3 次回火热处理的试验钢金相组织的影响。由图可以看出，当降温速率为 2 ℃/min 时，回火组织为细小的隐晶马氏体组织+碳化物；当降温速率升高至 4 ℃/min 时，基体组织没有明显改变，碳化物含量减少，并且呈现出团絮状分布；当降温速率升高至 10 ℃/min 时合金渗碳体的含量进一步减少。

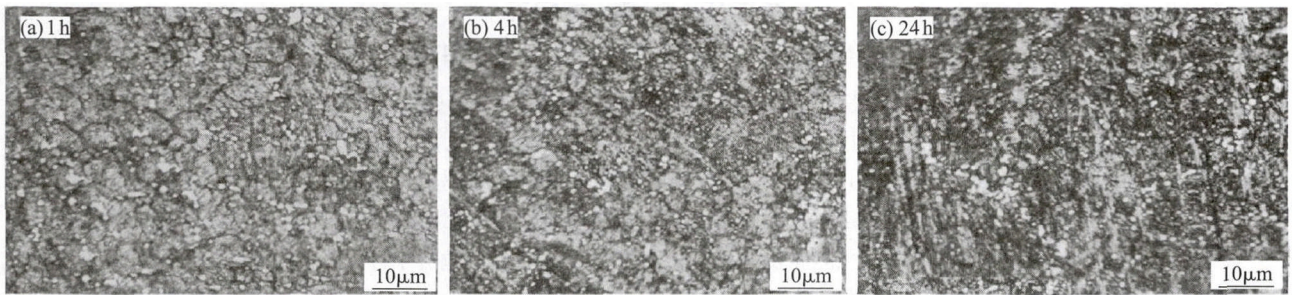


图 4 不同降温速率的试验钢回火组织

Fig.4 The tempering microstructure of test steel under different cooling rates

图 5 为固定深冷温度为−120 ℃、保温时间为 1 h 时，降温速率对 3 次回火热处理的试验钢硬度的影响。由图 5(a)可以看出，随着降温速率的提高，试验钢回火硬度值逐渐降低，由 2 ℃/min 时的 62.5 HRC 降低至 10 ℃/min 的 61.6 HRC，这可能与组织中的渗碳体含量减少有关，但总体降幅不大。由图 5(b)可以看出，回火处理降低试验钢的硬度值，当回火温度为600 ℃时，三种降温速率条件下试验钢硬度值降低幅度较小，硬度值均高于 60 HRC；当回火温度为 620 ℃时，降温速率为 2 ℃/min 时试验钢硬度值几乎和 600 ℃回火时相同，而降温速率为 4、10 ℃/min 时试验钢硬度分别较室温时降低了 5.6 HRC 和3.7 HRC；当回火温度达到 640 ℃时，试验钢的硬度降低效果十分显著，特别是降温速率为 2 ℃/min 时试验钢硬度值较 620 ℃时降低至 55.3 HRC，降低幅度达到 5.8 HRC，与常温时相比则降低了 7.2 HRC，降温速率为 4、10 ℃/min 时试验钢硬度降低值则在 8 HRC。由以上的分析可以看出，当回火温度超过 620 ℃时，3 种冷却速率的试验钢硬度均大幅

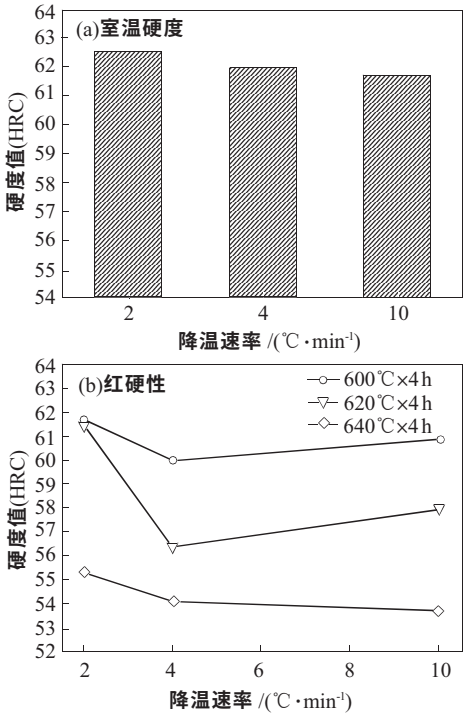


图 5 不同降温速率下试验钢的硬度

Fig.5 The hardness of test steel under different cooling rates

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

降低，表现出较差的红硬性能。

2.3 保温时间的影响

图 6 为固定深冷温度为–160 ℃、降温速率为 2 ℃/min 时，保温时间对 3 次回火热处理的试验钢金相组织的影响。由图可以看出，当保温时间为 1h 时马氏体尺寸较大，保温时间延长至 4h 时，马氏体组织细化，碳化物含量增加；当保温时间达到 24h 时马氏体组织进一步细化，但碳化物呈现明显粗化的趋势。

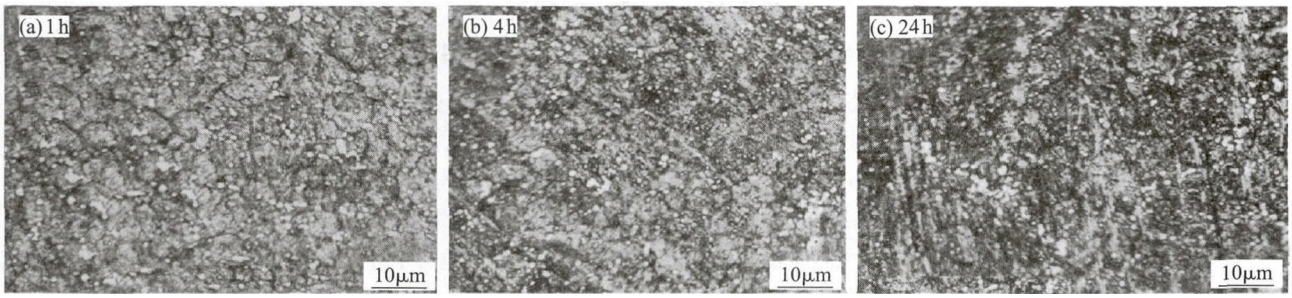


图 6 不同保温时间下试验钢的回火组织

Fig.6 The tempering microstructure of test steel under different holding time

图 7 为深冷温度–160 ℃、降温速率为 2 ℃/min 时，深冷处理时间对 3 次回火热处理的试验钢常温硬度及红硬性的影响。由图 7(a)可以看出，随着深冷保温时间的延长，试验钢硬度值略有提高，由 1 h 时的61.8 HRC 升高至 24 h 时的 63 HRC，提高了 1.2 HRC，这可能与深冷处理保温时间延长马氏体转变更加彻底及碳化物大量析出有关。由图 7(b)可以看出，回火处理降低试验钢的硬度值，当回火温度为 600 、620 ℃时，3 种保温条件下试验钢硬度值降低幅度较小，硬度值均高于 60 HRC，而回火温度达到 640 ℃时试验钢硬度值则大幅降低，深冷保温时间为 24 h 时试验钢的硬度降低效果十分显著，由室温时的 63 HRC 降低至了 56 HRC，降低幅度达到 7 HRC，其次是深冷处理时间为 1 h 时，试验钢 640 ℃回火时硬度值下降了 5.6 HRC，而深冷处理时间为 4 h 的试验钢对回火最不敏感，640 ℃回火时硬度值只下降了 4 HRC。由以上的分析可以看出，深冷处理 4 h 的试验钢具有良好的红硬性能，1h 深冷处理的试验次之，而 24 h 深冷处理的试验钢的红硬性能较差。

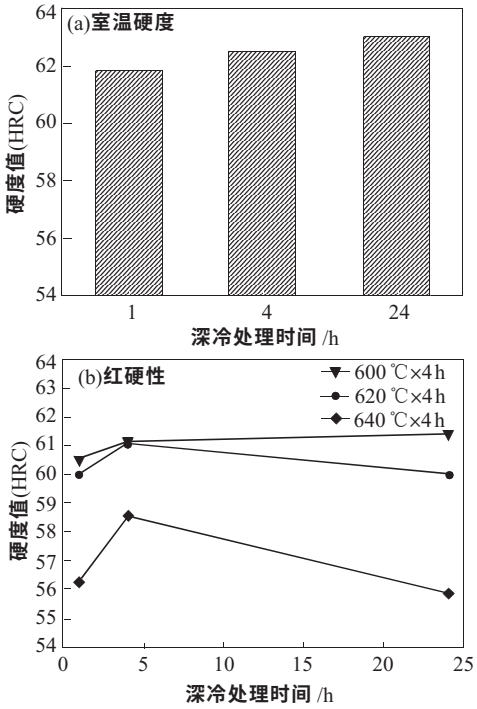


图 7 不同深冷处理时间下试验钢的硬度

Fig.7 The hardness of test steel under different cryogenic time

3 结论

(1) 随着深冷温度降低，马氏体晶粒逐渐粗化，碳化物逐渐细化，数量增加，常温硬度先升高后降低，–160 ℃和–120 ℃深冷处理试验钢在 620 ℃以下回火的红硬性能较好，而–80 ℃红硬性则较差，640 ℃回火时红硬性均明显下降。

(2) 随着降温速率升高，基体组织没有明显改变，碳化物含量减少，常温硬度逐渐降低，600 ℃回火时硬度值降低幅度较小，硬度值均高于 60 HRC，当回火温度超过 620 ℃时红硬性均大幅下降。

(3) 随着深冷处理保温时间延长，马氏体组织逐渐细化，但碳化物明显粗化，硬度值略有提高，4 h 保温时有良好的红硬性能，1h 保温时次之，而 24h 保温时较差。

参考文献：

[1] 赵志刚，颜慧成，仇圣桃，等. 冷却速率对 M2 高速工具钢铸锭凝固组织的影响[J]. 特殊钢，2014，35(3)：45-48.

[2] 张先鸣. 高速钢工模具热处理工艺优化 [J]. 模具制造，2015(8)：85-87.

[3] 孙世伟，刘锦昆. 高速工具钢淬火过程中回火工艺研究[J]. 金属加工：热加工，2012(23)：48-50.

[4] 林晓娉，董允，王亚红. 高速钢深冷处理及其机理研究[J]. 金属热处理学报，1998，19(2)：21-25.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI: 10. 3969 / j. issn. 1009-9492. 2026. 10. 011

杨平，曹雪姣，韩宝奎，等. 生产线主循环系统齿轮侧隙优化［J］. 机电工程技术，2026，55（10）：73-76.

生产线主循环系统齿轮侧隙优化*

杨 平[1]，曹雪姣[2]，韩宝奎[1]，刘晓敏[1]

（1.天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410；2.天津工业职业学院 机械工程系，天津 300400）

摘要：某自动化产线中齿轮传动因齿轮侧隙引发传动误差，齿轮回差产生的冲击力导致无动力小车无规律动作引发打齿或跳齿等故障迫使设备停车，导致设备无法正常运行。以间歇式白酒装盒生产线为研究载体，经结构解析确认其主循环齿轮侧隙集中于动力与翻转机构的齿轮传动啮合副。由于齿轮侧隙存在，齿轮反转产生的冲击力作用到无动力小车，使其不受控向前移动，引发翻转机架滑轨与小车碰撞；翻转机构伺服减速机反转后，翻转滑轨与固定滑轨不能对齐，导致滑块不能顺利通过接缝，甚至撞坏滑块，导致停车。对此，采用磁阻尼减速器耗散啮合冲击动能，以弹性联轴器构建减速机—翻转机架柔性传动拓扑，并引入转角自补偿机构实时消减侧隙误差。经6 500箱/h产能试车验证，该结构优化方案有效解决了齿轮侧隙诱发的停机问题，为通用自动化产线侧隙控制提供了可复用的工程范例。

关键词：动力机构；翻转机构；齿轮侧隙；柔性传动

中图分类号：TH132.41 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9492(2026)10-0073-04

Optimization of Gear Backlash in the Main Loop System of the Production Line

Yang Ping[1], Cao Xuejiao[2], Han Baokui[1], Liu Xiaomin[1]

(1. School of Mechancal Engineering and Automation, Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China;
2. Department of Mechancal Engineering, Tianjin Vocational College of Industry, Tianjin 300400, China)

Abstract: Due to gear backlash, the gear transmission generates transmission errors in an automated production line. The impact force caused by the gear backlash causes the unpowered trolley to act irregularly, and then causes such faults as gear teeth damage or tooth skipping, forcing the equipment to stop and resulting in the equipment unable to operate normally. The intermittent white wine cartoning production line is taken as the research object. Through structural analysis, it is confirmed that the gear backlash in its main circulation system is concentrated in the rack-and-pinion meshing pairs of the power mechanism and the turnover mechanism. Due to the existence of gear backlash, the impact force caused by gear reverse rotation drives the unpowered trolley to move forward uncontrollably, causing collision between the slide rail of the turnover frame and the trolley. When the servo reducer of turnover mechanism reverses, the turnover slide rail cannot be aligned with the fixed slide rail, which leads to the slider unable to pass through the joint smoothly. And even more, it will damage the slider and cause parking. Therefore, a magnetic damping reducer is adopted to dissipate the meshing impact kinetic energy, an elastic coupling is used to construct a flexible transmission topology between the reducer and the turnover frame, and a rotational angle self-compensation mechanism is introduced to eliminate backlash errors in real time. Verified by the production test with a capacity of 6 500 boxes per hour, this structural optimization scheme effectively solves the shutdown problem caused by gear backlash, and provides a reusable engineering example for backlash control in general automated production lines.

Key words: power mechanism; turnover mechanism; gear backlash; flexible transmission

0 引言

目前，国际上比较知名的瓶装饮品装盒机生产线厂家有克朗斯、舒伯特等，它们以速度快、性能稳定等特点占据了国内啤酒生产线的大部分份额，但因白酒酒瓶异形，白酒企业装盒以手工线为主，因此我国白酒装盒自动化程度亟待提升，某公司抓住这个机遇，迅速推出高速装盒机生产线，占领了大部分白酒包装装盒市场份额，其中全自动连续装盒机已经成为成熟产品，但全自动间歇式装盒机产品暂未完全成熟，国内仅有几条生产线采用的是间歇式装盒机，而且还不能保证稳定运行。其问题主要出在间歇式装盒机主循环系统。间歇式装盒机主循环系统齿轮侧隙[1]的存在将导致传动误差的产生和生产线的停机，严重影响生产线的稳定运行。因此，解决主循环系统的齿轮侧隙问题具有重要的实际意义。

通过调研国内外相关产品，舒伯特厂家的运输小车是感应式供电，动力源固定到小车上，数据和信号以无线方式传输，这种方案复杂，虽然可实现每个小车独立动作，机动灵活，但维护成本较高。参考舒伯特运输小车结构，开发了有别于舒伯特运输小车主循环系统，仅采用4台伺服电机便可实现主循环正常运行。该机构采用齿轮齿条的传动方式，齿条固定到运输小车上，伺服减速机固定到机架上，该种方案虽不能实现每个小车独

基金项目：天津市科技计划项目（25YDTPJC00100）

收稿日期：2025-11-02

中国知网 https://www.cnki.net

立动作，但成本低，结构简单。通过现场测试主循环系统发现：因为主循环系统齿轮侧隙存在，导致生产线不能正常运行。

目前针对齿轮侧隙问题的研究，一般采用弹力补偿、斜齿轮、齿轮误差放大赔偿、蜗轮蜗杆传动等方式[2]。曾雨田等[3]通过调整主轴承、一级行星组件、中箱体装配时的水平度误差来解决行星轮齿轮副侧隙超差的问题；高军等[4]通过改变液压压力调整齿轮间隙；杨学华[5]通过研究预载双小齿轮齿条结构，消除了齿轮与齿轮、齿轮与齿条间的侧隙；陈晓霞等[6]利用基于柔轮弹性变形的包络精确算法进行计算和分析；王永强等[7]根据计算的相关参数对渐开线谐波齿轮进行侧隙计算；马伯渊和李志武[8]进行了弹簧消隙齿轮传动链回差分析与实验研究；考虑到传统的概率统计方法把各项误差均当作正态分布的随机变量来计算系统回差，导致回差结果与实际情况有一定的偏差[9]，进而采用蒙特卡洛法计算齿轮传动系统的回差值[10-11]；石照耀等[12]解析了减速器回差与传动误差的关系，论证了回差的动态特性，发现可通过正反向传动误差来表示回差；俞志勇等[13]根据精密减速器回差测试的特点，分析了影响精密减速器回差试验台精度的因素及其作用机理，提出了通过滞回曲线将转矩类误差转换为角度类误差的方法。

以上研究未能有效解决本文提到的齿轮侧隙问题，本文将主要探究解决间歇式白酒装盒自动化生产线主循环系统的齿轮侧隙问题，设计合理结构，保证产线正常运行。

1　侧隙问题分析

1.1　间歇式装盒机主循环系统

间歇式白酒装盒机基本生产工艺流程为：首先，来料酒盒放到一号工位运输小车；接着，酒瓶放到二号工位运输小车上酒盒内；然后，酒盒在三号工位完成扣盖动作；最后，利用夹具将四号工位酒盒取走，主循环系统将运输小车上物料传递到下一工位。主循环系统由动力结构、运输小车、翻转系统和机架组成，如图1所示。动力结构由伺服减速机、齿轮齿条传动[14-15]和磁阻尼器减速机组成。翻转系统由伺服减速机、柔性传动机构和翻转机架组成。

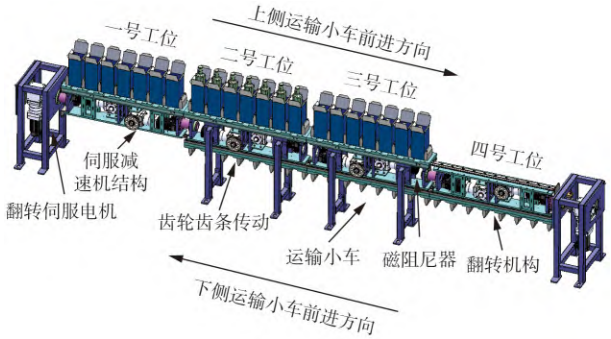


图1　主循环系统

Fig. 1　Main circulation system

动力结构通过4台同速伺服减速机推动机架上侧运输小车和下侧运输小车向相反方向移动，当各个工位机构完成相应工艺动作，机架两侧的180°翻转机构将四号工位上侧运输小车翻转至下侧，将一号工位下侧运输小车翻转至上侧，然后进入下一周期动作。当需要增加新工位，仅需要添加机架和运输小车到二号工位和三号工位之间即可，无需新增伺服减速机动力结构，该循环系统仅需在一号工位和四号工位两侧安装伺服减速机，在二号工位上侧和三号工位下侧安装伺服减速机结构，便可实现运输小车循环运行。

1.2　侧隙问题来源

通过现场测试，设备运行过程中翻转机架滑轨与小车碰撞、及小车滑块发生碰撞，将导致设备停机，这是由齿轮侧隙问题引起的。因此，解决齿轮传动侧隙问题是间歇式白酒包装自动化生产线稳定运行的关键。

翻转机架滑轨与小车碰撞是因为机架上侧与下侧运输小车运行方向相反，一号工位和四号工位小车动力伺服减速机存在齿轮反转侧隙。主循环系统运载小车初始位置如图1所示，每个周期运载小车向前运行一个小车长度L，当各个工位相关动作完成后，翻转机架上运载小车向前走L_1距离（图2），接着翻转机架翻转180°，翻转机架上运输小车向前走L_1距离，各个工位开始完成相应动作，然后进入下一个循环周期。原设计方案中，运输小车前进L距离后，运输小车前端正好位于固定机架与翻转机架滑轨拼接处（图2），通过现场测试发现，由于齿轮侧隙的存在，二号工位下侧和三号工位上侧的无约束运输小车受到其他运输小车冲击力，不受控向前移动，其前端会超过滑轨接口位置，影响翻转机架正常翻转，导致设备停机。

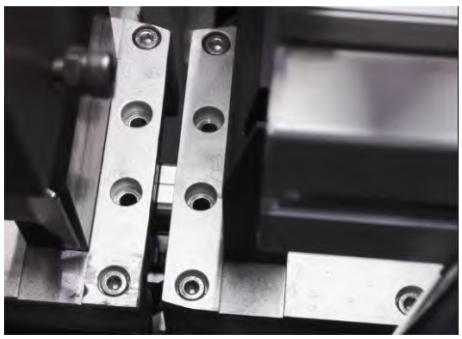


图2　运输小车位置

Fig. 2　Position of the transport cart

翻转机架滑轨与滑块碰撞是因为翻转伺服电机存在传动回差，滑轨回转半径150 mm，增大了翻转机架滑轨与固定机架滑轨偏离的程度，这将损伤滑块轴承。一号工位和四号工位机架上动力结构伺服电机采用线缆通信及供电，为避免线缆缠绕，翻转机架不能仅朝一个方向旋转（图3），故要求翻转伺服减速机输出轴在一周期顺

中国知网　https://www.cnki.net

时针翻转180°，下一周期就要逆时针翻转180°。因伺服减速机齿轮正反转传动侧隙问题，不能保证伺服减速机输出轴翻转180°，故不能保证运行过程中翻转机架滑轨和固定机架滑轨对齐，导致翻转机架滑轨与小车滑块碰撞，滑块轴承损毁（图4），导致设备停机。

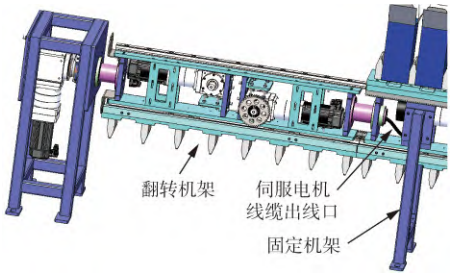


图3　翻转结构

Fig. 3 Turnover mechanism



图4　损伤滑块轴承

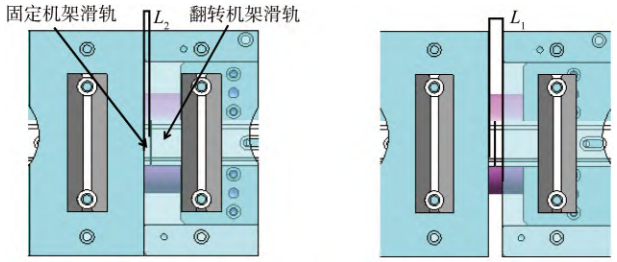
Fig. 4 Damaged sliding block bearing

2　优化原理

侧隙问题对生产线的影响主要表现在以下方面：（1）由于齿轮侧隙存在，无动力小车位置可能发生变化，影响白酒装盒或者酒盒扣盖动作；（2）齿轮侧隙存在会引起相邻小车间碰撞，产生的噪声降低生产环境的舒适度；（3）严重的齿轮侧隙问题还可能会出现齿轮齿条间打齿或者跳齿导致设备停机，影响生产效率。因此，采用合理方式解决上述问题，才能保证主循环系统稳定运行。

为解决翻转机架滑轨翻转过程中与小车的碰撞问题，需要为二号工位下侧、三号工位上侧的无约束运输小车添加磁阻尼器减速机，保证无约束运输小车不再因受到冲击力而出现自由前行的问题。磁阻尼器安装到减速机输入端，减速机输出端安装齿轮，与运输小车上齿条啮合，磁阻尼器通过减速机增强对运输小车阻尼作用，吸收啮合过程中产生冲击力。

原设计方案添加磁阻尼器减速机后，翻转机架翻转过程中，二号工位下侧、三号工位上侧的运输小车应位于固定机架与翻转机架滑轨接口处。由于磁阻尼器与运输小车之间的减速机、齿轮齿条传动亦存在侧隙，运输小车在冲击力的作用下会向前运行一个齿轮侧隙距离。为解决该问题，对循环系统机架上滑轨做以下修改：将翻转机架上滑轨缩短L_2，同时将与翻转机架相邻的固定机架滑轨加长L_2，如图5（a）所示。滑轨修改长度L_2取运输小车向前运行距离L_1的一半，且大于齿轮传动侧隙距离。彻底解决翻转机架翻转过程中始终剐蹭二号工位下侧、三号工位上侧的运输小车的问题。实现设备运行过程中，带阻尼运输小车始终与其他小车接触、不脱离，有效解决因齿轮侧隙导致翻转机架滑轨与小车碰撞问题。翻转机架上运输小车位置如图5所示。



（a）滑轨长度修改　　（b）小车向前运行距离L_1

图5　翻转机架上运输小车位置

Fig. 5 Position of the transport cart on the turnover frame

为解决设备运行过程中翻转机架滑轨与小车滑块碰撞问题，设计一款新型的柔性传动结构，如图6所示，该机构主要由输入轴、弹簧、花键输出壳体、油压缓冲器组成，输入轴与减速机固定到一起，花键输出壳体与翻转机架连接到一起，通过弹簧实现减速机与翻转机架柔性连接，通过调整油压缓冲器保证花键输出壳体仅能翻转180°，实现翻转机架在极限位置时，翻转机架滑轨与固定机架滑轨对齐。主循环系统运行过程中仅需要设置翻转伺服减速机每次翻转190°，翻转机架便可以实现每次翻转180°，伺服减速机多转动10°转角部分可用于弥补齿轮侧隙误差，其余可由弹簧压缩吸收。

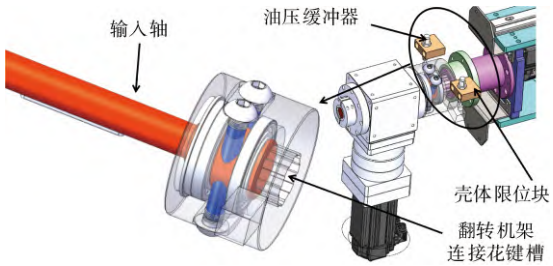


图6　柔性传动结构

Fig. 6 Flexible transmission

3　验证与分析

为确保提出的结构优化方案能切实解决间歇式白酒装盒自动化生产线因齿轮侧隙引发的系列问题，并满足工业生产的高标准要求，对实体生产线进行了全面的改造与严谨的现场试车验证。验证的核心目标包括：确认停机故障是否被根除、评估系统运行的平顺性与稳定性、以及量化最终的生产效率是否达到6 500箱/ h的验收标准。

3.1　验证方案与现场部署

验证过程严格遵循理论设计与实际生产相结合的原则，在一条因侧隙问题导致运行不稳定的既有生产线上，

中国知网　https://www.cnki.net

实施了两项关键结构优化。

（1）无约束运输小车控制优化：在二号工位下侧和三号工位上侧的无约束运输小车下方，增设了磁阻尼器减速机。同时，按照设计对翻转机架上滑轨加长L_2长度、相邻的固定机架滑轨缩短L_2长度。

（2）翻转机构翻转定位方式优化：在原有翻转依靠伺服减速机定位的基础上，增加柔性传动机构。

改造完成后，生产线进入连续运行测试阶段。测试采用与客户实际生产完全一致的物料（酒瓶、酒盒）和工艺流程。通过观察翻转机架翻转到位后，固定滑轨与翻转滑轨接口是否对齐；无约束小车是否自由前行移动，同时由电气工程师实时监测伺服电机报警日志，监测电机输出扭力值变化。

3.2 磁阻尼器与滑轨尺寸优化

在原始设计中，问题的根源在于驱动链中累积的齿轮侧隙。当动力伺服驱动小车时，冲击力会传递到无动力小车。对于那些当时处于无动力约束状态的小车（二号工位下侧、三号工位上侧），这个冲击力足以使其在侧隙范围内产生一个微小但致命的非受控位移。这个位移虽小，却恰好使其前端超出了滑轨的安全拼接区，从而在翻转机架旋转时发生碰撞，导致设备停止运行。

本次优化采用了“主动抑制”与“被动避让”相结合的双重保险策略，其有效性在验证中得到充分证明。

（1）主动抑制效果分析

增设的磁阻尼器减速机起到了关键的“主动抑制”作用。磁阻尼器提供了一个与速度无关的恒定阻尼力矩，该力矩经过减速机放大后，有效地作用到无动力小车。当相邻小车传递冲击力时，该阻尼力会立刻吸收冲击能量，从而避免了无动力小车自由前进问题。这从根本上消除了小车非受控位移的动因。

（2）被动避让效果分析

滑轨的几何修改则是一种巧妙的“被动避让”或称为“容错设计”。考虑到即使有阻尼器，其自身的传动链（减速机、齿轮齿条）依然存在微小的侧隙。将翻转机架滑轨缩短L_2、固定机架滑轨加长L_2，相当于在翻转路径上预留了一个安全空间，确保即使小车在最不利情况下发生了极限范围内的侧隙位移，其前端也绝不会进入翻转机架的回转包络线内。这一设计将系统的可靠性从依赖于“消除”侧隙，转变为“容忍”侧隙，大大增强了设计的鲁棒性。

试车结果表明，结合了这两种措施后，原先频繁发生的因翻转机架与小车碰撞导致的停机故障被彻底消除。生产线可以在最高速度下连续运行数小时而无一次相关报警。

3.3 柔性传动结构对翻转定位不准问题的解决

原设计中，翻转机构的定位精度完全依赖于伺服减速机上的编码器，但不能弥补减速机内齿轮侧隙误差。翻转动作是周期性的正反转（顺时针180°后，下一周期逆时针180°），齿轮侧隙误差被减速机放大。例如，当伺服电机从顺时针转动变为逆时针转动时，电机需要先走过一个空程来消除齿轮间的间隙，然后才能带动翻转机架转动。这导致伺服编码器显示已旋转180°，但实际的机械臂末端（即翻转机架）的旋转角度却不足180°，造成翻转机架滑轨与固定机架滑轨无法精确对齐，进而损坏滑块轴承，动力伺服电机过力矩报警等。

新设计的柔性传动结构从根本上改变了定位逻辑，由“伺服电机编码器定位”转变为“外部机械硬限位精定位”，从而完美规避了侧隙影响，翻转机构如图7所示。



图7 翻转机构

Fig. 7 Turnover mechanism

该结构的核心思想是“解耦”与“补偿”。输入轴与花键输出壳体通过弹簧实现柔性连接，将伺服减速机的输出与最终翻转机架的运动进行“解耦”。将伺服电机的目标角度设定为190°，比实际需要的180°多出10°。这多出的10°“行程余量”起到了两个关键作用：首先，它足以补偿任何方向上可能出现的齿轮侧隙误差；其次，当翻转机架旋转至180°位置并被油压缓冲器定位时，伺服电机仍在继续旋转，多余的行程被弹簧压缩所吸收。油压缓冲器作为高精度的机械终点，保证了每次翻转的停止位置都精准唯一，不受旋转方向和齿轮间隙的影响。

3.4 整体性能验证与结论

经过为期一周的连续生产试车，搭载了优化结构后的间歇式白酒装盒机表现出卓越的稳定性。统计数据显示，在满负荷运行条件下，生产线未再出现任何与主循环系统齿轮侧隙相关的停机故障。生产节拍稳定，无故障连续运行时间大幅延长，最终测得的平均产能稳定在6 500箱/h以上，顺利通过了甲方的产能验收。此外，由于消除了小车碰撞和翻转冲击，设备的运行噪声显著降低，操作环境得到改善。

综上所述，验证与分析结果充分表明，本文提出的通过“增设磁阻尼器并优化滑轨几何”与“设计柔性传动及机械限位”相结合的综合优化方案，精准且有效地解决了间歇式主循环系统中由齿轮侧隙引发的两大核心技术瓶颈。该方案不仅确保了特定生产线的稳定高效运行，其所体现的“疏导与容错”而非“绝对消除”的设计思想，也为处理通用自动化设备中普遍存在的齿轮侧隙问题，提供了一个具有高性价比和实践价值的工程案例参考。

（下转第82页）

中国知网 https://www.cnki.net

ta Acquisition Unit for Power System Model Identification Apparatus[J].Electrical Measurement & Instrumentation,2014,51(6):76-80.
[15] 裴锐,贾丹平,武胜,等.基于压电可程控滤波放大电路的线阵列流量测量[J].现代电子技术,2025,48(23):155-161.
PEI R,JIA D P,WU S,et al.Line array flow measurement based on piezoelectric programmable filtering amplification circuit[J].Modern Electronic Technique,2025,48(23):155-161.
[16] 李长江,赵路宁,李守贝,等.电容式加速度传感器下电梯制动器制停时间预测算法[J].传感器世界,2024,30(1):18-22.
LI C J,ZHAO L N,LI S B,et al.Stop Time Prediction Algorithm of Elevator Brake Under Capacitive Acceleration Sensor[J].Sensor World,2024,30(1):18-22.
[17] 杨小兵.基于Qt框架的多线程编程设计与实现[J].自动化应用,2025,66(12):219-225.
YANG X B.Design and Implementation of Multi-Threaded Programming Based on Qt Framework[J].Automation Application,2025,66(12):219-225.
[18] 陈怡丹,段张甜,刘鸽.基于嵌入式操作系统的Qt组件适配分析[J].信息记录材料,2025,26(3):74-76.
[19] 马风军.测量仪器软件中的Qt插件信号槽通信设计[J].信息技术与信息化,2025(12):98-100.
[20] 周泉,李桂安.基于电容式微加速度计的信号调理电路的设计与标定[J].电子器件,2020,43(2):366-371.
ZHOU Q,LI G A.Design and Calibration of Signal Conditioning Circuit Based on Capacitive Micro-Accelerometer[J].Chinese Journal of Electron Devices,2020,43(2):366-371.

作者简介：何 兵（1972—），男，硕士，高级工程师，研究领域为电梯检验检测技术，已发表论文10余篇。
※通信作者简介：孙学礼（1982—），男，硕士，高级工程师，研究领域为检测仪器开发，已发表论文10余篇。

（上接第76页）

4 结束语

通过设计主循环系统，采用伺服减速机侧隙解决方案，保证了某酒企白酒生产线能够正常运行，并达到企业生产要求：产能6 500箱/h，使得设备顺利验收。并得出以下结论：

（1）通过分析主循环系统齿轮传动机构，齿轮侧隙是翻转机构不到位，小车动力机构齿轮齿条传动跳齿、打齿的主要原因，通过完善设计结构及修改主循环系统动作过程，可避免齿轮侧隙对主循环系统的影响，保证生产线正常运行；

（2）通过设计柔性传动机构，可弥补翻转机构旋转180°不到位的问题，将原方案中通过伺服减速机定位翻转机架改为油压缓冲器定位，保证了翻转机构翻转到位的准确度，从而实现翻转机架上滑轨和固定机架上滑轨对齐，滑块可以顺利通过滑轨接缝，解决翻转机构齿轮侧隙误差问题；

（3）通过在二号工位下侧、三号工位上侧添加磁阻尼器减速机，修改滑轨尺寸参数，解决无动力运输小车受到冲击力而自由前行，引发无动力小车与翻转机架滑轨碰撞的问题，保证主循环系统稳定运行。

参考文献：

[1] 桂定一.齿轮精度新标准下侧隙设计中的几个问题[J].机械传动,2006(6):28-31.
GUI D Y.The Problems of the Backlash Design upon the New National Standard On the Gears Accuracy[J].Journal of Mechanical Transmission,2006(6):28-31.
[2] 韦玉梅.浅析机械设计中齿轮传动侧隙的解决办法[J].内燃机与配件,2019(17):178-179.
[3] 曾雨田,邹俊伟,李金库,等.风电齿轮箱行星齿轮副侧隙偏差原因分析[J].机械传动,2019,43(4):173-176.
ZENG Y T,ZOU J W,LI J K,et al.Analysis of the Cause of Clearance Deviation of Planetary Gear Pair in Wind Turbine Gearbox[J].Journal of Mechanical Transmission,2019,43(4):173-176.
[4] 高军.新型齿轮自动消隙机构的设计[J].制造技术与机床,2017(11):51-52.
GAO J.Design of new-typed auto-eliminate backlash institutions for gear[J].Manufacturing Technology & Machine Tool,2017(11):51-52.
[5] 杨学华.机械设计中齿轮传动侧隙的解决方法[J].昆明理工大学学报(理工版),2007(5):9-13.
YANG X H.A Solution to the Drive Gear Backlash in the Mechanical Design[J].Journal of Kunming University of Science and Technology(Science and Technology),2007(5):9-13.
[6] 陈晓霞,林树忠,邢静忠.谐波齿轮传动中基于柔轮装配变形的共轭精确算法[J].中国机械工程,2010,21(17):2053-2057.
CHEN X X,LIN S Z,XING J Z.Exact Conjugate Algorithm Based on Assembly Deformation of Flexspline in Harmonic Drives[J].China Mechanical Engineering,2010,21(17):2053-2057.
[7] 王永强,张志永.基于包络精确算法的渐开线齿廓谐波齿轮侧隙计算[J].机电工程技术,2017,46(3):96-100.
WANG Y Q,ZHANG Z Y.Harmonic Gear Backlash Calculation of Involute Tooth Profile Based on Envelope Accurate Algorithm[J].Mechanical & Electrical Engineering Technology,2017,46(3):96-100.
[8] 马伯渊,李志武.弹簧消隙齿轮传动链回差分析估算[J].机械设计,2001(6):40-42.
[9] 徐畅,王家序,肖科,等.基于概率理论的滤波减速器空程回差计算及分析[J].机械传动,2010,34(12):1-5.
XU C,WANG J X,XIAO K,et al.Calculation and Analysis on Return Difference of Filtering Gear Reducer based on Probability Theory[J].Journal of Mechanical Transmission,2010,34(12):1-5.
[10] 陈文华,朱海峰,樊晓燕.齿轮系统传动误差的蒙特卡洛模拟分析[J].仪器仪表学报,2004(4):435-437.
CHEN W H,ZHU H F,FAN X Y.Monte-Carlo Simulation Analysis of Transmission Error for Gear Drive Systems[J].Chinese Journal of Scientific Instrument,2004(4):435-437.
[11] 杜兴,周云耀,吕永清,等.齿轮系统回差的分析及计算[J].工具技术,2017,51(11):76-79.
DU X,ZHOU Y Y,LV Y Q,et al.Analysis and Calculation on Return Difference of Gear Drive Systems[J].Tool Engineering,2017,51(11):76-79.
[12] 石照耀,程慧明,俞志勇,等.减速器回差的动态特性研究[J].航空动力学报,2024,39(9):311-318.
SHI Z Y,CHENG H M,YU Z Y,et al.Dynamic characteristics of the lost motion of the reducer[J].Journal of Aerospace Power,2024,39(9):311-318.
[13] 俞志勇,石照耀,程慧明,等.精密减速器回差试验台的精度特性[J].光学精密工程,2023,31(16):2372-2382.
YU Z Y,SHI Z Y,CHENG H M,et al.Accuracy characteristic of test bench of lost motion of precision reducer[J].Optics and Precision Engineering,2023,31(16):2372-2382.
[14] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2009.
[15] 孙桓,陈作模.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2001.

作者简介：杨 平（1988—），男，河北唐山人，硕士，讲师，研究领域为机械设计，已发表论文5篇。

中国知网 https://www.cnki.net

试论拓宽高职院校毕业生就业门路的主要经验和做法

王丽颖　郝志刚　天津职业大学

摘要：随着高职院校招生规模的不断扩大，毕业生的就业问题也逐渐引起了社会的广泛关注。解决高职院校毕业生就业问题的关键在于拓宽毕业生就业门路，本人结合所在学校的工作实际，从加速就业指导人员的建设、进一步推进以就业和社会需求为导向的教育改革、大力开展系统的就业指导服务体系等几个方面来谈拓宽毕业生就业门路的主要经验和做法。

关键词：高职院校；毕业生；就业

高等职业教育是高等教育的重要组成部分，近年来随着我国不断扩大高校的招生规模，高等教育已从精英式的教育，进入到大众化教育阶段，2004 年全国高校毕业生人数为 280 万人，时隔十年，2014 年全国高校毕业生总人数达到了 727 万人，创下历史新高。大学毕业生的就业也由过去的“国家统一包分配”转向为毕业生与用人单位“双向选择、自主择业”的模式。这一历史性的变化，为我国的高等职业教育带来了难得的机遇，同时也给大学生的就业工作带来了严峻的挑战。因为这不仅关系到成千上万个毕业生家庭的幸福生活，也关系到高等职业教育的可持续发展和社会主义和谐社会的建设。因此，我校一直高度重视应届毕业生的就业工作，采取多种有效措施和途径来促进毕业生顺利的就业，下面笔者结合所在学校的主要做法，并根据近几年的工作经验来简要谈下拓宽毕业生就业门路的几点建议：

一、加速就业指导人员的建设，提高就业指导和就业服务的水平

当前我国就业指导工作的突出问题主要体现在就业指导人员的职业化和专业化上。西方国家的就业指导工作已经发展成为较为成熟的职业，要求专职人员应具有与职位相关的学历背景或者是工作经验。我国高等职业院校的基层就业指导工作一般是由辅导员来兼任，而辅导员队伍较为年轻化，工作经验不足，并且大多数又是刚刚踏出校门又直接入校门。因此，学校内部的培养对于实现就业指导工作队伍的专业化和职业化起着至关重要的作用。我校不断完善就业指导人员的进修培训机制，根据就业指导人员的工作现状制订了相应的进修培训计划，定期安排他们到专门职业培训机构进行学习，如参加天津市大中专毕业生就业指导中心举办的天津市普通高校职业规划与就业指导中高级培训班。同时，多次聘请校内外专家对就业工作队伍进行系统的、专业化的指导和培训。另外，学校还采取以会代训、举办专题讲座和报告，以及理论研讨等形式，组织就业指导工作人员进行经验交流和经验分享，使他们不断学习掌握与就业有关的理论知识和专业知识，提高了就业指导人员的工作水平和业务能力，从而促进就业指导工作取得新成效。

二、以就业和社会需求为导向，深化教育教学改革

高职院校毕业生就业工作的好坏归根到底取决于培养毕业生的就业能力、综合素质是否符合经济社会发展的需要。基于这种情况，我校狠抓专业设置和教育教学改革，学校一方面将提高教育教学质量的方向与社会发展的趋势紧密结合起来，另一方面依据毕业生就业率、就业质量和社会需求，以此来调整学科专业设置和招生规模。在对学生的教育培养上，我校积极深化教育教学改革，注重把培养与就业联系起来，以此提高学生的综合素质和就业竞争能力，一是教育教学模式由从前的以学科为中心，片面追求理论系统性、完整性，逐渐转变为以职业岗位能力为本位，重点培养学生的实际动手操作能力和解决问题的能力。比如在学校实训室模拟了“仿真”环境，对学生进行专业基础、技术以及综合技能训练；组织学生多次深入到企业的一线，通过岗位实训，提高其从事相关岗位群的实际工作能力。二是学校紧密依托相关行业和企业，与他们共同建立紧密合作的运行机制。如学校与企业进行订单式培养，邀请企业的相关负责人参与制定教学计划和人才培养方案，同时还聘请部分企业或行业的专业技术人员来担任学生实习、实训的指导教师；我校协助企业或行业培训员工，为他们解决了培训场地、师资和费用问题。此外，学校与企业还共同建立实习实训基地，借助企业的实力配备先进的教学设备和改善教学条件。对企业和职业技术院校来说，这种合作或共建是优势互补的，达到了双赢的目的。

为使就业指导工作更加有的放矢，同时加强教育教学的针对性，学校还特别邀请第三方教育评价机构对学生毕业半年后的追踪调查，目的是了解社会需求和培养质量，通过一系列科学的指标评价体系来测量培养结果、反馈社会需求和学校培养中存在的问题，使我校找到了相关问题的症结所在以及解决措施，实现了以就业为导向，以数据分析及结果评价为依据，提高了就业指导的服务水平，改善了教育教学质量。

三、大力开展系统就业指导服务体系，提升毕业生的就业能力

为使学生充分利用在校时间学习了解相关就业内容，以便更好地在将来实现其人生理想，我校建立了系统的就业指导服务体系，通过多种方式、多种途径开展一系列的相关工作。具体可分为以下三个阶段来抓：第一，从大学一年级入学起，就开设了就业指导课程，有助于其尽早地规划大学生涯，树立正确的就业意识和择业观，以此激发学习的积极性。二年级至毕业实习前的一个学期，以培养和提高学生就业能力为核心，把专业能力培养与学生的职业目标相结合，提升求职技能和就业核心竞争力，同时还要使他们了解当前的就业形势和就业政策。在最后一个学期，即毕业实习期间，指导他们进行合理的择业和就业。第二，借用翻转课堂的教学模式，即借助互联网信息平台，采取线下课程指导与线上平台相结合的方式，进一步培养学生主动学习能力，激发学生的学习兴趣，有助于帮助学生更好地树立职业生涯规划意识。第三，聘请企业人事部门的负责人、就业指导专家等，为学生讲授求职面试的策略、如何制作简历、企业的用人标准以及相关行业的发展等。第四，我校招生就业处还专门成立了就业导航社团，指导学生通过丰富多彩的活动来进行自我指导、自我服务和自我教育。另外，除了上述内容之外，学校还通过讲座、校报、宣传栏等多种途径对于如何创业以及创业的相关政策等内容对学生进行培训。而且我校招生就业处还定期举办创业大赛，培养大学生敢于挑战、勇于实践、善于创新的创业精神，提高了大学生的创业能力和就业竞争力，为营造浓厚的创新创业氛围起到了积极作用。

（下转 50 页）

中国知网 https://www.cnki.net

的应用，适时的布置设计作业，让学生熟练掌握这些软件的使用方法，增强其专业素质。

结语

《园林景观设计》课程是一门实践性较强的课程。在试验教学的过程中，一定要重视学生的主体地位，为学生提供灵活的学习环境，让学生更好的学习。另外，要重视教师的引导作用，帮助学生更好的完成各种设计项目，合理开设实验教学内容，合理安排实践活动时间，将学生培养成为有能力，有作为的符合社会发展的高素质人才。

参考文献：

[1] 战威 . 浅谈寒地园林景观设计中植物配置的应用原则 [J]. 农业科技与信息 (现代园林),2007(02).

[2] 马建梅 . 环境艺术专业景观设计课程教学方式改革初探 [J]. 安徽农业科学 ,2011(31).

[3] 梁海英 . 基于行动导向教学法的园林景观花卉教学改革初探 [J]. 江苏广播电视大学学报 ,2010(04).

[4] 黄丽霞 .《园林景观设计》课程实验教学改革探讨 [J]. 重庆文理学院学报 (自然科学版),2008(03).

[5] 刘维东 , 潘远智 , 陈其兵 , 蔡军 . 提升学生专业素质 , 促进园林工程课程的教学改革与实践 [J]. 四川农业大学学报 ,2004(S1).

作者简介：

王韧，男，1981 年出生，重庆市北碚区人，讲师，硕士，主要从事：园林景观设计与园林工程。

（上接 48 页）

四、重视就业心理素质培养，提高就业困难群体的就业心理水平

大学生就业困难群体主要是指受社会、心理、经济状况、学习成绩、能力素质等方面的不利因素影响，在毕业求职、就业、适应社会等方面处于困难和不利地位的毕业生群体。与就业顺利的学生相比，高职院校中就业困难的群体往往更容易引发就业心理问题。因此，学校应该高度重视这一问题的严峻性，切实完善就业心理咨询工作。针对大学生在就业过程中不重视自身的心理健康、缺乏对一般心理学知识的了解以及诸如就业求职期间不顺利而产生的抑郁症等心理问题，一些心理学和社会学等领域的专家学者多次被我校邀请过来，为毕业生提供了与专家学者面对面交流、倾诉和排解心理困惑的机会，并为学生之间交流感受、经历和经验搭建了平台。

另外，我校在进行就业指导的过程中，尤其对就业困难群体的择业心态进行认真分析并加以积极的引导，一方面指导学生更加理性地认知自我，正确地认知自身的性格特质，认清自身的优势和不足，另一方面帮助他们树立健康的积极的择业心态。

五、学校与学生家长携手共同完成就业指导工作

在大学生求职就业过程中，学生家长起到了非常重要的作用，父母的价值观、择业观极大地影响着子女的就业观，如有些学生家长坚决不让孩子去中小型企业就业，认为“没面子”，一心只盯着政府机关、事业单位和大型国有企业，造成有业不就的尴尬局面。因此，学校应主动与学生家长保持联系，如通过电话沟通交流、召开毕业生家长会等形式，及时传达、宣传毕业生就业工作中的一些相关政策和形势等。特别是对于就业困难的群体，学校应积极动员家长配合学校共同做好学生的就业工作，帮助学生树立正确的择业观，缓解就业心理压力，促使学生以积极、健康的心态度过求职择业的难关。

除此之外，高职院校还可以鼓励毕业生通过升学来进一步缓解就业的压力。虽然从严格意义上讲，升学并不是就业，但是它可以使一部分毕业生暂时不就业，从而缓解当前就业需求与供给的矛盾，而且选择升学的同学经过几年的奋发学习可以为将来的就业奠定更加坚实的基础，学生个人的综合素质也得到了进一步的提升，创业能力、就业竞争力等也得到了加强。所以，我们也积极鼓励毕业生参加专升本考试，我校每年都有相当数量的毕业生进入更高层次的学府继续深造。

总的来说，拓宽高职院校毕业生的就业门路是一项系统的综合工程，为从根本上解决大学生的就业问题，提升毕业生的就业竞争能力，学校要不断完善专业设置、教学实践、人才培养模式和师资水平等，以此提高学生的人才培养质量，同时更要坚定不移地推进以社会需求为导向，深化教育教学改革的力度。

参考文献：

[1] 刘洪采 . 拓宽毕业生就业渠道的实践和思考 [J]. 中国大学生就业 ,2007(13).

[2] 林海峰 . 浅谈高校毕业生就业困难的原因与对策 [J]. 职业 ,2011(8).

[3] 王皓 . 试论对高校毕业生困难群体的就业服务与指导 [J]. 才智 ,2011(5).

作者简介：

王丽颖，女，1985 年出生，硕士，助教，主要研究方向为思想政治教育、包装材料与包装技术。



中国知网 https://www.cnki.net

数控车床控制系统数学模型的建立和性能分析

刘 洋
(天津职业大学机械工程实训中心,天津 300000)

摘要:通过对数控车床全闭环控制系统中各组成环节的数学模型分析,得出了控制系统的动态结构图,根据建立的数学模型,从控制论观点出发对控制系统进行了动态和稳态的性能分析,从而为开发高精度数控机床提供了理论基础。

关键词:控制系统 数学模型 动态 稳态
中图分类号:G642.0 文献标志码:A 文章编号:1674-9324(2016)24-0256-02

在当前检测技术的基础上,利用在线检测CCD技术对加工轴件的直径来实时检测,把实时检测值再用于反馈,当实时检测值和理论值相比较,得到的差值在允许范围之内后再进行下一步车削。利用CCD在线检测技术使检测装置与机床主体、刀具、零件构成了一个完整的闭环控制系统。

一、控制系统的组成环节及其数学模型的建立

控制系统总体设计原理图,对于其数学模型的建立,具体的建立方法和思路分析如下。

1.位置检测控制器就类似于一个比例环节,其比例系数可以用Kp来表示。

2.位置检测控制器的输出是数字量,一定要进行D/A转换后方可对调速单元进行控制,D/A转换也类似于一个比例环节,其比例系数用Ka表示。

3.交流伺服系统是一种非常关键也非常重要的数字式驱动装置,在一般的理想状态下,伺服电机的转角(θ)与指令脉冲频率(F)的关系可以用对应的积分来表示,其传递函数可表示为:$G(s)=\frac{\theta(s)}{F(s)}=\frac{K_\theta}{s}$。但在实际过程中如果把惯性的特性对其产生的影响考虑到,那么传递函数就可表示为:$G(s)=\frac{K_\theta}{s}\times\frac{1}{T_\theta s+1}$(其$T_\theta$为惯性环节时间常数)。

4. 机械传动部件主要就是把电机的转角改变为工作台直线的位移,若把传动误差考虑进去,把非线性等因素考虑进去,并且都把它们看作为对系统动态的扰动,也把它看作是其中的一个比例环节,其传递函数的关系可表示为:$G_m(s)=K_m$。

5.在数控车床全闭环系统中的检测反馈通道有两个重要的功能:(1) 被测信号的大小可以通过检测反馈通道进行检测;(2) 将被测的信号先通过转变,改变为可以与指令信号相比较的物理量,并组建了检测反馈的通道。一般情况下,把这种测量转换功能也看作是其中的一个比例环节,它的比例系数其实就为转换系数,因此传递函数可表示为Kf。

二、系统动态性能分析

在数控车床全闭控制环的控制系统过程中,把从交流伺服电机和伺服放大器到工件的直径CCD检测元件得到的位置检测反馈的信息部看作是整个系统控制的一个调节对象,并且把控制系统的性能按照预先的要求来对其进行校正,从而加入的那一部分被看作是一个调节器,我们就能够推导出数控车床全闭环系统结构的动态响应示意图,具体可用图1来表示。

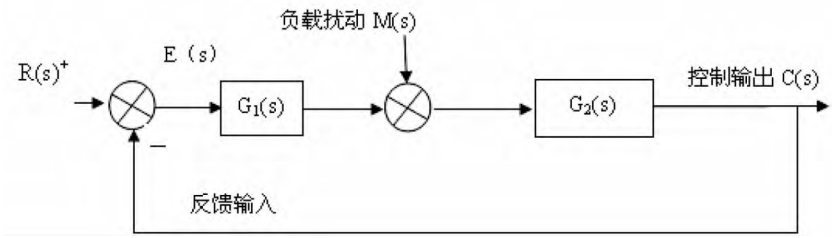


图1 系统结构的动态响应图

接下来就来讨论和分析一下跟随性能和抗干扰性能分别对全闭环控制系统的影响。

1.跟随性能对系统的影响分析,假设M=0,那么全闭环控制系统的传递函数为:

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$G(s)=\frac{k}{(Ts^2+s+k)}=\frac{\frac{k}{T}}{s^2+\frac{1}{T}s+\frac{k}{T}}$$

我们将与二阶系统的标准形式对照就可以得出：自然角频率：$\omega_n=\sqrt{\frac{k}{T}}$，阻尼比：$\xi=\frac{1}{2\sqrt{kT}}$。

因此通过上面的式子可以分析出，ξ 参数和 ω_n 参数（都是用于表征系统动态性能的）与用于控制系统的结构参数k和结构参数T是没有任何关系的。T（时间常数）一般是固定值，主要是反映系统的惯性大小，是由控制系统的电子零部件所具有的特性来决定的。T值一旦确定之后是不能够任意去改变的，因此选择自然角频率和阻尼比关键就是要先算好k（开环放大倍数）的值。

2.抗干扰性能对系统的影响分析。假设R(s)=0，则全闭环控制系统的传递函数为：$G_f(s)=\frac{C(s)}{M(s)}$。

数控车床全闭环控制系统的抗干扰性能很强，可以将其扰动的各种输入信号对其闭环系统的跟踪精度影响大大的降低。对于一个特定典型的二阶系统来说，当外面的负载扰动的信息输入之后，要把恢复时间和动态变化这两项指标都做到最小是有困难的。如果外面的负载扰动作用点之后的环节（即调节对象）的时间常数T越大的话，那么其输出响应的最大动态变化就越小，同时恢复时间就会越长。反过来说，如果调节对象的时间常数越小的话，那么输出响应的最大动态变化就越大，而恢复时间就会越短。通过分析就可以得出，典型二阶系统的抗干扰性能和跟随性能两者是相互制约和相互矛盾的，因为如果数控车床全闭环控制系统在所给定的输入作用下输出的超调量越大，过程时间就较短，那么其抗干扰性能就非常的好；相反，数控车床全闭环控制系统在所给定的输入作用下输出的超调量越小，过程时间就较长，那么其恢复的时间就越长，就说明抗干扰性能差。

三、系统稳态性能分析

首先要明确什么是控制系统的稳态性指标，才能有针对性的进行分析。针对本课题的稳定性指标就是数控车床全闭环控制系统中的数控车床基体的一个定位精度指标，其实质就是实际情况与理想状态两者之间存在的偏差。接下来就分析三种非常典型的扰动干扰信号输入的误差情况。

1.稳态误差分析一：当扰动干扰信号输入是单位阶跃。

输入信号$R(s)=\frac{1}{s}$。由于$E(s)=R(s)\cdot C(s)$，$C(s)=G_k(s)E(s)$，经整理得：$E(s)=R(s)\cdot G_k(s)E(s)=\frac{1}{1+G_k(s)}R(s)=\frac{Ts+1}{s(Ts+1)+k}$。

接下来我们利用拉氏变换的终值定理，就可以求出全闭环控制系统的稳态误差：

$$E(\infty)=\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}\frac{s(Ts+1)}{s(Ts+1)+k}$$

通过以上式子可知，如果对电机轴上的外加负载不加考虑的话，那么在单位阶跃信号的输入后，控制系统的稳态误差即为零，也就是说基本上没有误差。

2.稳态误差分析二：当扰动干扰信号输入是单位速度输入信号时进行的分析。若单位速度输入信号为$R(s)=\frac{1}{s^2}$，则控制系统的稳态误差为：

$$\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}s\frac{s(Ts+1)}{s(Ts+1)+k}\frac{1}{s^2}=\frac{1}{k}=\frac{1}{K_pK_\alpha K_\theta K_mK_j}$$

经上式可知，在给定单位速度信号不变的输入情况下，该系统的稳态误差就会与开环放大倍数的倒数是相等的，也就是说若开环放大倍数k越小，那么控制系统的稳态误差就越大；反之，则该系统的稳态误差就越小。

3.稳态误差分析三：当扰动干扰信号输入是单位恒值负载输入时进行的误差分析。通过前面分析可知，该系统的跟踪精度会受其所承受的负载扰动或者噪声干扰等常见扰动作用的影响。为了更好地说清楚问题，在这里仅来讨论一下单位恒值方面的负载扰动对其产生的影响。$M(s)=\frac{1}{s}$，设由M引起的稳态误差为ef，其拉氏变换式为Ef(s)。由于R(s)=0，Ef(s)=R(s)-C(s)=-C(s)，所以$ef(s)=\lim_{s\to 0}sEf(s)=-\lim_{s\to 0}sC(s)=-\lim_{s\to 0}\frac{k_2}{s(Ts+1)-k_1k_2}=\frac{1}{k_1}$。

以上式子可以说明系统所存在的稳态误差会受恒值负载扰作用的影响，而且其误差的大小可以用函数关系式表示，即误差值的大小与恒值负方面的负载扰动作用之前的传递函数的放大倍数是成反比关系。

参考文献：

[1]罗学科，赵玉侠.典型数控系统及其应用[M].北京：化学工业出版社，2012.

[2]廖效果，朱启谜.数字控制机床口田[M].武汉：华中理工大学出版社，2013.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数控仿真软件在机电数控教学中的运用

刘赫钊[1], 张 敬[2]

(1.天津机电职业技术学院, 天津 300350; 2.天津职业大学, 天津 300410)

摘 要: 机电数控教学普遍存在教学硬件设备不足的情况, 在实践训练的过程当中学生还需要排队等候才能进行设备操作, 这样就给机电数控教学带来了非常大的困难, 并且非常不利于此专业人才的培养。文章探讨了数控仿真软件在机电数控教学中的运用, 有效解决上述问题的同时, 还能够充分发挥出机电数控教学的优越性, 在对老师教课提供便利的同时, 还可以有效地提升学生的动手能力, 培养学生的创新意识, 这样就有利于提升数控教学的水平。

关键词: 机械制造技术; 数控仿真软件; 机电数控教学

目前的社会是一个技术化、科学化的信息社会, 每个行业的发展都离不开自动化信息技术, 特别是先进的制造产业, 在满足社会需求的同时还引起了社会的广泛关注。在先进制造产业发展的过程当中, 数控技术是不可或缺的, 数控技术在促进社会发展与科学技术进步的过程当中有着非常重要的作用, 各种职业院校也越来越注重对数控技术人才的培养, 有效地补充数控技术人才市场的空缺。但是在教学的过程当中, 因为招生的数量逐渐增大, 这样就使得职业学院原有的数控设备无法满足学生学习的需要, 而且数控机床的价格非常昂贵, 并不能在短时间之内满足学校教学需求。

1 数控仿真软件概述

数控仿真软件主要是利用计算机实现对数控机床运行情况的模拟以及编程的软件, 该软件能够使用三维或者二维图形对数控机床的操作过程进行全方位的模拟。在教学的过程当中使用仿真数控软件, 就可以对数控机床的工作流程以及控制面板等内容进行详细的讲解。长期以来, 在对数控机床的工作原理、加工过程以及具体的操作技术进行教学的过程当中, 学生很难掌握具体的知识理念, 并且因为学生缺少实践的过程, 这样就导致学生很难将学习到的内容与具体的操作有效地结合在一起。在教学的过程当中使用数控仿真软件对机床的运行过程进行模拟, 就可以使学生通过真正的模拟操作有效地掌握每一条指令的意义, 并且还可以通过查看数控加工的过程以及方法对编程进行正确的验证[1]。

2 研究现状

随着科学技术的快速发展, 制造产业已经加强了对计算机技术、自动化技术的使用, 这样所形成的先进制造技术受到了国家的重视, 它是有效提升国家在国际中的竞争力与创新能力的根本途径, 在先进的制造技术当中数控技术占有非常重要的地位。所以职业院校, 开始从传统的教学内容向新技术新工艺的实践教学转变。但是因为数控专业是机电专业的一个分支, 课程在设置的过程当中过于老化, 教学理念以及教学方法过于陈旧, 教师团队的力量不足, 再加上因为设备不足的情况而导致学生的学习积极性不高, 在这种情况下培养一个合格的数控机床专业人才是非常困难的。经过多年的实践教学, 发现在机电数控教学的过程当中合理地使用数控仿真软件, 能够有效地提升学生学习的积极性, 使学生在学习的过程当中能够更好地掌握数控机床操作技术, 培养数控机床人才。

3 数控仿真软件应用于教学的优缺点

3.1 优点

3.1.1 解决设备不足问题, 节约成本、降低损耗

因为数控机床的价格比较贵, 而且数控机床的种类繁多, 如果在教学的过程当中完全依靠机床的实际操作练习, 就需要花费大量的资金, 并且在实践教学的过程当中消耗成本也很大。在教学的过程当中合理地使用数控仿真软件, 能够使大部分的训练通过固定的机房完成, 这样就可以有效地增加学生实践训练的时间, 有效地提升学生对机床操作技能的掌握, 并且还可以有效地降低成本的投入, 不会出现废品或者是残次品的产生, 这样就有效地减少了零件材料以及成本的投入。此外, 数控机床软件的安装非常容易, 并且操作过程简单, 所占据的空间只是机房, 占地面积非常小, 并且软件的维护费用低。

3.1.2 弥补设备和师资的不足

数控机床的实践教学同其他的实践教学不同, 需要大量的设备投入, 如果想要每一个学生都能够有充足的实践训练时间, 就需要在设备的采购上花几百万, 这对于不是上级重点专业的学校来讲具有一定的困难。所以很多学校都开始采用小班化的教学方法, 但是采用小班化的教学方法需要具有雄厚的师资力量, 很多学校都没有这样的条件。如果在教学的过程当中使用数控仿真软件就可以有效地解决这一问题。

作者简介: 刘赫钊(1992—), 男, 河北沧州人, 助教, 学士; 研究方向: 产学结合数控加工实训教学。

中国知网 https://www.cnki.net

3.2 缺点

3.2.1 模拟环境参数设置随意

数控仿真软件在教学的过程当中提供的是虚拟的教学环境，学生在学习的过程当中可以随意设置机床的设备参数，这与机床的实际运行情况不符，学生在养成这种习惯之后，在实际的工作过程当中会有很大的影响，这样就非常容易使得加工产品更加粗糙，严重的时候还会损坏机床设备。

3.2.2 实际加工安全防范意识淡薄

使用数控仿真软件进行教学的过程当中，学生可以通过观察和模拟的动手操作来完成课程内容，但是在实际的机床操作过程当中，数控机床在运行的过程当中会发出不同的声音，这样就有利于工作人员在操作的过程当中调整机床的操作参数，防止事故的发生。但是在模拟的教学过程当中无法提供这种声音的辨别，这样就使学生对于机械加工现场的安全防护意识不够，使学生无法真正体会到现场的工作环境。

4 数控仿真软件在机电数控教学中的运用

4.1 在实践训练中的运用

在机电数控教学的过程当中，因为数控机床的价格比较高，通常需要花费几十万甚至是几百万才能够购进一台数控机床设备，因为市面上的数控机床种类很多，并且每一个数控机床的操作系统都不相同，所以在机电数控教学的过程当中，很难为学生购买相关的机电设备，这样也就使学生很难接触到数控机床的运行过程。为此，在进行机电施工教学的过程当中，使用数控仿真软件进行实践训练，可以完成大量数控机床设备终端的配置，就可以有效地解决数控机床设备不足而无法进行实践教学的问题，并且使学生能够拥有更多的训练时间。数控仿真软件拥有很多系统的功能，学生可以利用软件中多个数控系统的功能模块进行机床模拟操作训练[2]。学生还可以使用软件的模拟功能模拟数控机床的操作，这样就可以有效地避免因为不熟悉数控机床系统面板的操作而出现安全问题，并且还可以检验学生编程的正确性。

4.2 在创新意识培养中的运用

数控方针技术主要是将计算机绘图技术、网络并行处理技术、计算机仿真技术等多个项目进行有机的结合而形成的，在教学的过程当中能够对真实的数控机床运行设备进行模拟，使学生能够充分地将学到的知识应用到各种模块的设计过程当中，比如数控机床的后置处理、刀具运行轨迹的编程、相关工艺参数的设计等。通过学生自己反复观察与研究，能够使学生脑海中形成数控机床加工的直观形象，这样就可以使学生能够更加熟练地掌握数控机床编程方法。

4.3 强调增量式编码器的特点和回原点教学

在数控机床操作过程的理论教学过程当中，编码器的工作原理以及特点是非常重要的内容。现代数控机床在操作的过程当中都使用了增量式旋转编码器，或者在使用的过程当中使用增量式的光栅尺，将其作为检测反馈元件，这些反馈元件在数控机床运行断电之后就失去了对原有位置的记忆，所以，编码器在每次开机之后都需要让每一个坐标都回到机械设备的固定点上，之后再重新建立新的坐标系[3]。数控仿真软件通过对机床本体上的原点信号进行有效检测，并且根据不同的方式找到剧场的原点。在数控机床仿真平台上的LabVIEW界面可以非常快速地采集到伺服电机以及直线电机的位置信息，这样在每次机械设备开机之后都可以显示位移位置为0，主要突出了强增量式编码器的工作特点。在直线电机上面有3个光电开关传感器，这3个光电开关传感器分别表示正极限位置、原点的位置、负极限位置。数控仿真软件平台找回原点的主要方式是看这3个关键开关提示的位置信息，使机械设备上原点位置运动，并且实现回到原点的操作，操作同企业中实际数控系统移动到传感器的极限位置原理相同。

4.4 在模块化教学中的运用

在机电数控教学的过程当中，教师需要根据实际情况将教学内容划分成多个模块，然后制定明确的目标，有效地组织学生对各项内容进行学习。在教学的过程当中，使用数控仿真软件对教学内容进行模块化教学，这样就可以使学生能够更好地掌握数控机床的操作技能。老师可以使用数控仿真软件来完成网络教学平台的建设，并且还可以通过这种情况很好地了解到学生对专业内容的掌握程度，可以及时地对学生进行指导，使学生的实际操作能力能够得到很好的提升。

4.5 灵活使用仿真软件，增强学生的认知，提升学生的学习兴致

在机电数控教学的过程中，传统的数控教学知识只是黑板上进行传授，但是机电数控教学是一项非常复杂的任务，传统教学很容易使学生觉得教学很无趣，当老师使用数控加工仿真软件进行教学之后，学生编写的程序就可以直观地显示在数控仿真教学软件上，并且还可将程序中可能存在的问题显示出来，机械数控设备在生产的过程中，数控仿真软件操作面板的应用与相关零件的生产流程同现实企业机械设备的操作流程一样，这样学生就能更好地了解到企业数控机场的真实情况，全面掌握数控机床工作的整个流程，这样有利于学生更好地理解学习到的知识。

5 结语

综上所述，数控仿真软件在使用的过程中具有一定的直观性，能够有效地帮助学生更好地掌握学习的知识，对机电专业教学具有一定的推广意义。使用数控仿真软件教学只是可以为学生提供最基本的学习技巧以及训练过程，并不能真的将仿真教学应用到实际的工作当中，所以教师在教学的过程中应该将教学的内容进行细化，合理规划教学过程中的难点以及重点，结合实际案例，使学生能够更快、更好地掌握所学到的知识，并且将其更好地应用到实际工作过程中。

（下转第64页）

中国知网 https://www.cnki.net

4 结语

在取得丰硕课堂教学成果的同时，有些地方还需不断地加强探索和研究。不断完善基于移动智能终端的移动学习的教学模式，克服不同课程差异在该教学模式中的弊端。教师、学生和管理人员要不断更新观念，不仅在教学方法与手段上改，更要在教学内容上改，要通过大数据分析教师教和学生学的过程，真正让移动教学取得实效，为学生课程教学提供新的思路和方法，真正将移动终端的移动便捷性、资源丰富性、交互多元性的优势充分发挥出来，为推动职业教育的进步作出贡献。

Analytical research into the functions and applications of ipad-based mobile network teaching systems

Chen Jian
（Nanjing Vocational College of Finance and Economics, Nanjing 210004, China）

Abstract: With the continuous development of network technology and mobile intelligent terminal, a mobile teaching mode integrating the arithmetic capacity of the mobile terminal and wireless network transmission is emerging. The iPad-based e-classroom is the core product of mobile terminals providing solutions to the "Internet+" intelligent classroom. It sets intelligent teaching gateways as the kernel, connecting the teacher, the student and the administrative staff, and offering a brand-new user-centered mobile teaching applications. The advanced hardware devices and mobile terminals provided by the "Internet+" intelligent classroom are able to effectively support the use of multi-plat form mobile terminals, allowing both the teachers and students, can use the computer, intelligent phones, tablet PCs and other clients to achieve pre-class, under calss and after class multi-form interactive teaching and learning as well as the streaming and recording of teaching resources. This paper analyzes and studies the functions and applications of ipad-based mobile network teaching systems, so as to provide reference for promoting the progress of vocational education.

Key words: iPad; mobile teaching systems; intelligent classroom

（上接第61页）

[参考文献]

[1]宋新华，薛海华，宋斌.数控仿真软件在数控教学中的应用：以车削零件加工为例[J].价值工程，2015（22）：147-148.
[2]马永丽.浅谈数控仿真软件在数控教学中的使用[J].科技创新导报，2013（14）：161.
[3]刘士杰.数控仿真软件在机电一体化专业教学中的应用[J].赤峰学院学报（自然科学版），2013（11）：35-36.

Application of the numerical control simulation software in electromechanical numerical control teaching

Liu Hezhao[1], Zhang Jing[2]
（1.Tianjin Electromechanical Vocational College, Tianjin 300350, China; 2.Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China）

Abstract: In the process of electromechanical numerical control teaching, there is a shortage of teaching hardware equipment. In the course of practice training, students need to wait in line to carry on the equipment operation, which brings great difficulty to the teaching of electromechanical teaching, and is not conducive to the cultivation of professional talents. This paper discusses the application of numerical control simulation software in electromechanical numerical control teaching, and can effectively solve the above problems, but also can give full play to the superiority of electromechanical numerical control teaching, while providing convenience for teachers to teach, but also can effectively enhance the practical ability of students, to cultivate students' innovation consciousness, so as to improve the level of numerical control teaching.

Key words: mechanical manufacturing technology; numerical control simulation software; electromechanical numerical control teaching

中国知网 https://www.cnki.net

数控机床进给手轮功能装调方法的分析

何四平
（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：以数控机床移动进给手轮的功能原理为出发点，评述手轮的常用装调方法及特殊装调方法的工作过程，通过阐述数控机床各项功能装调方法的灵活多样性，为达到数控机床使用功能要求，应用中要从数控机床操作便利和用户使用意图等方面考虑，选定装调方法。

关键词：数控机床；进给手轮；装调
中图分类号：TH182　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-8415[2013]-05-0080-03

数控机床已经是现今机械制造领域内普遍应用的重要工艺装备。用户对它的选择，除了追求高的性价比以外，在使用上还要求准确、方便快捷，符合大众的使用习惯。因此，为保证数控机床功能可靠实现，从设计开始，直到进行安装调试，都应考虑用户的要求，要针对数控机床操作编程人员的使用情况来装调，要求调试人员灵活运用装调方法。

数控机床的功能强大，越是档次高的数控机床功能越多，而且对数控机床功能安装调试的方法也很多。不同生产厂家的数控机床，其安装调试人员的思路不一样，最后出厂的数控机床在使用上也有一些差异。下面以 FANUC 0i Mate 系统数控机床进给手轮功能安装调试为例，来分析装调方法。

一、手轮功能介绍

数控机床手动方式移动进给轴有手动快速、JOG 和手轮三种方式，其中手动快速和 JOG 两种方式在位置控制方面不是特别方便，而手轮方式有其独到的优势，旋转手摇脉冲发生器时才产生使得进给轴移动的脉冲信号，手动准确控制进给位置比较方便。所以，一般生产使用中的数控机床都配置有手轮进给功能。

进给手轮是为用户准确、方便、快捷地控制进给位置而设定的，数控机床操作人员在手动情况下，需要随机调整刀具与工件位置关系时，一般都会选择使用手轮方式。进行手轮操作时，第一步，选择手轮工作方式；第二步，选择进给轴及其手轮进给倍率；第三步，通过旋转手摇脉冲发生器使机床伺服进给部分产生移动，移动方向由手摇脉冲发生器的旋向来决定。

二、手轮功能工作原理

手轮功能的工作原理是，在手轮工作方式下，由数控机床操作人员通过操作面板上的操作按钮输入给 PLC，PLC 经过控制程序处理，把相应的手轮工作方式信号 G43.2、手轮进给轴选择信号 G18.0、G18.1 和手轮进给倍率信号 G19.4、G19.5 传送至 NC，NC 再根据手摇脉冲发生器旋转时，A 相和 B 相产生的电脉冲信号来控制数控机床实现进给轴的移动。

当 G43.2 成高电平时，为手轮工作方式有效；当 G18.0 高电平时，为 X 轴的手轮进给轴选中；当 G18.1 高电平时，为 Z 轴的手轮进给轴选中。手摇脉冲发生器旋转一格，机床移动量为最小输入增量，可以有 1 倍、10 倍和 100 倍的任意一种倍率，倍率的输入信号由 PLC 分配的地址，通过手轮倍率旋钮，或者操作面板上的倍率按钮输入，这些信号经过控制程序处理后，发送给 NC 倍率选取信号 G19.4 和 G19.5。当 G19.4 和 G19.5 都是低电平时，为手轮倍率×1；当 G19.4 是高电平时，为手轮倍率×10；当 G19.5 是高电平时，为手轮倍率×100。

三、常用的装调方法

一般的数控机床，由于考虑到实际使用者的方便，在硬件配置上都是采用标准操作面板，各输入按钮与控制功能为一一对应关系，控制程序较为简单。

收稿日期：2013-10-12
作者简介：何四平（1969-），男，湖南邵阳市人，天津职业大学机电工程学院，副教授。

中国知网　https://www.cnki.net

数控机床对这部分功能控制常用的调试程序如图 1 所示。当机床操作面板上手轮工作方式按钮的输入信号 X0.6 得电时，它控制中间继电器 R11.2 的线圈得电，然后再由 R11.2 的触点来控制 R1.2 线圈输出高电平信号，通过 R1.2 的触点再来控制 G43.2 的线圈得电，使得手轮方式有效的同时，让 Y0.6 线圈也得电，从而点亮手轮方式灯，提示操作人员，数控机床已处于手轮功能方式中。

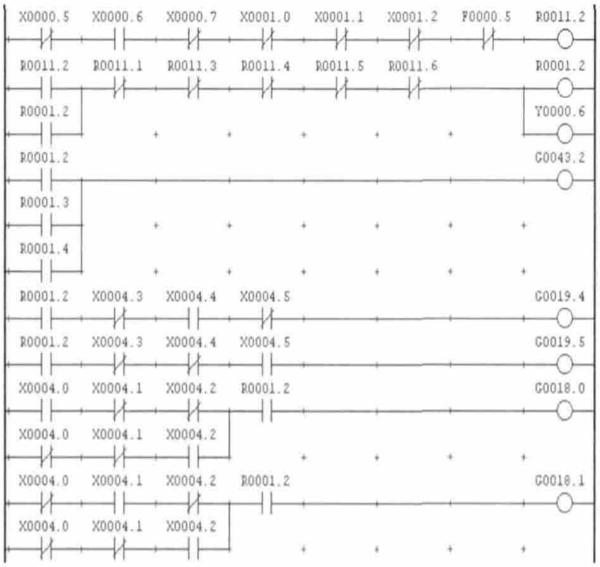


图 1　数控机床调试程序

程序中，PLC 给 NC 的手轮工作方式信号 G43.2 是由数控机床操作面板上的 X0.6 来控制；PLC 给 NC 的手轮轴选信号 G18.0、G18.1 是由数控机床操作面板或手持式脉冲发生器上的 X4.0 及 X4.1 的输入信号来控制；PLC 给 NC 的倍率选取信号 G19.4、G19.5 是通过机床操作面板或手持式脉冲发生器上的 X4.4 及 X4.5 的输入信号来进行控制。该控制程序的地址分配见表 1。

表 1　常用手轮功能程序地址

序号	地址	含义
	X0.6	手轮方式
1	X4.0	X 轴选
2	X4.1	Y 轴选
3	X4.2	Z 轴选
4	X4.3	倍率×1
5	X4.4	倍率×10
6	X4.5	倍率×100
7	Y0.6	手轮方式灯

采用这种控制方式的数控机床应用较广泛，通常使用标准操作面板。使用时，状态灯指示明了，操作方便，符合操作人员使用习惯。

五、特殊的装调方法

有些数控机床，生产厂家基于率低生产成本和硬件安装位置等考虑，采用非标准面板，一键多用。如图 2 所示程序控制的数控机床，操作时，当选中手轮方式后，按一次连续进给键+X，X8.6 输入一次，通过 PLC 发送给 NC 的 G19.4、G19.5 控制手轮倍率切换一次；按一次连续进给键+Z，X8.1 输入一次，通过 PLC 发送给 NC 的 G19.4、G19.5 控制手轮倍率切换一次。当 G19.4 和 G19.5 线圈都是低电平时，为手轮倍率×1；当 G19.4 线圈为高电平时，为手轮倍率×10；G19.5 线圈为高电平时，为手轮倍率×100。

它的手轮进给轴选择信号 G18.0 是用连续进给键+X（输入信号为 X8.6）来进行控制；手轮进给轴选择信号 G18.1 是用连续进给键+Z（输入信号为 X8.1）来进行控制。程序中，中间继电器 R400.6 为手轮工作方式按钮输入信号控制的手轮选中信号（如图 2 所示）。

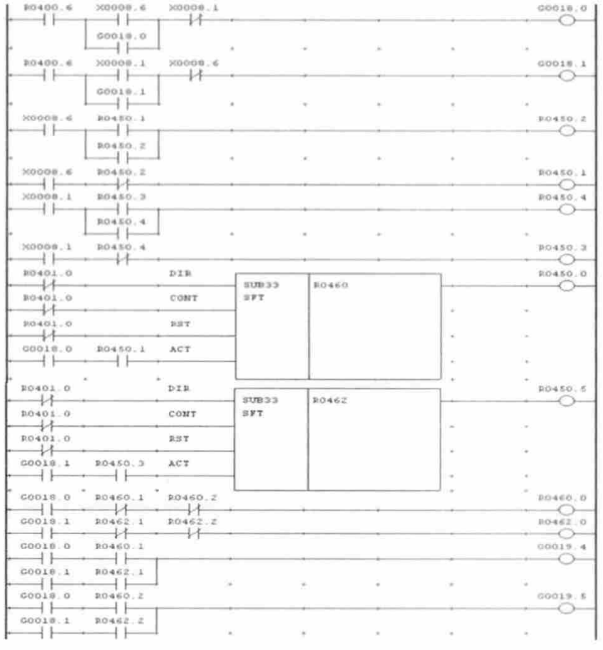


图 2　特殊手轮功能程序

在对这种方式数控机床的功能进行安装调试时，应考虑到操作人员的使用方便。不同于使用标准操作面板的数控机床，其按钮和状态提示灯一一对应，操作人员随时都能掌握数控机床手轮方式功能是否已经选中，目前手轮的倍率等信息。非标准操作面板的数控机床，使用手轮方式时，人机交换的信息量不够，操作人员不知道数控机床实时的工作状态，所以，需

中国知网　https://www.cnki.net

在程序中对工作方式和倍率状态的显示进行编辑，这部分控制程序如图 3 所示。

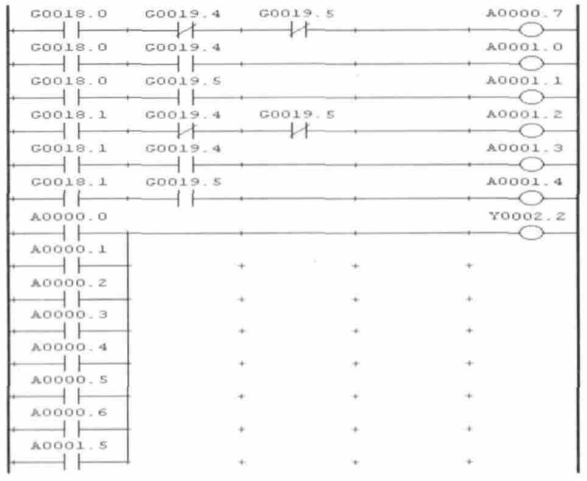


图 3　状态显示程序

当手轮手轮轴选信号 G18.0 得电，手轮倍率信号 G19.4 和 G19.5 失电时，A0.7 请求机床外部报警提示 X×1；当手轮手轮轴选信号 G18.0 得电，手轮倍率信号 G19.4 得电时，A1.0 请求机床外部报警提示 X×10；当手轮手轮轴选信号 G18.0 得电，手轮倍率信号 G19.5 得电时，A1.1 请求机床外部报警提示 X×100；当手轮手轮轴选信号 G18.1 得电，手轮倍率信号 G19.4 和 G19.5 失电时，A1.2 请求机床外部报警提示 Z×1；当手轮手轮轴选信号 G18.1 得电，手轮倍率信号 G19.4 得电时，A1.3 请求机床外部报警提示 Z×10；当手轮手轮轴选信号 G18.1 得电，手轮倍率信号 G19.5 得电时，A1.4 请求机床外部报警提示 Z×100。

这部分程序的地址分配见表 2。值得注意的是，该显示程序是利用了机床外部报警的提示功能，所以，此时的请求显示不能像轴进给限位、急停等信号点亮红灯那样来报警，如图 3 程序所示，A0.7、A1.0、A1.1、A1.2、A1.3、A1.4 没有输出给控制红灯 Y2.2 的线圈高电平信号。因为，从逻辑上来讲，此时数控机床的功能是可以正常使用的。

表 2　特殊手轮功能程序地址

序号	地址	含义
1	X8.1	+Z 进给
2	X8.6	+X 进给
3	A0.7	请求显示 X 轴倍率×1
4	A1.0	请求显示 X 倍率×10
5	A1.1	请求显示 X 倍率×100
6	A1.2	请求显示 Z 轴倍率×1
7	A1.3	请求显示 Z 轴倍率×10
8	A1.4	请求显示 Z 轴倍率×100
9	Y2.2	红灯

五、不同装调方法的比较分析

常用装调方法，硬件成本略高，控制程序相对简单，但使用方便，更符合操作人员使用习惯；特殊装调方法，由于手轮轴选和手轮倍率借用了+X 和+Z 连续进给按钮，都不用另外再为这几个功能进行输入按钮的安装，对于两轴的数控车床来说，就节省了五个按钮开关，硬件成本明显低于第一种情况，且压缩了机床 I/O 的输入点数，为机床面板和电气控制柜腾出了更多的有用空间，只是编写的控制程序相对复杂。以上两种情况及它们对应的装调方法各有优劣，在从事这方面的工作时，思路要开阔，学会随机应变。

对于从事数控机床功能安装调试工作的人员来说，要时刻牢记，企业是为用户服务，而工作人员是为企业服务的。所以，在进行数控机床安装调试时，应从实际情况出发，理解用户的使用意图，采用灵活多样的装调方法，以赢得机床使用者的满意。

[责任编辑：李茹]

参考文献：
[1]李继中.数控机床调试与维修[M].北京:高等教育出版社,2009.
[2]刘永久.数控机床故障诊断与维修技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
[3]北京发那科机电有限公司.FANUC 0i Mate C 简明联机调试资料[Z].2006.
[4]北京发那科机电有限公司.FANUC PMC 编程说明书[Z].2000.

Analysis of Installation and Debugging Method of Handwheel of CNC Machine

HE　Si-ping
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: This paper introduces the function principle of CNC machine mobile feed handwheel, and reviews the commonly used method and special method of installation and debugging. Through the discussion of flexible diversity of the methods to install and debug the CNC machine functions, the method is determined by considering the convenient operation of CNC machine and users´ intention, in order to achieve the functional requirements of CNC machine.

Key words: CNC machine; handwheel; installation and debugging

中国知网　https://www.cnki.net

DOI：10.3969/j. issn. 1001-3881. 2022. 19. 010
本文引用格式：黄连宝，袁名伟.数控机床切削过程中的动态特性测量方法[J].机床与液压，2022，50(19)：56-60.
HUANG Lianbao，YUAN Mingwei.Dynamic characteristic measurement method in cutting process of CNC machine tool [J].Machine Tool & Hydraulics，2022，50(19)：56-60.

数控机床切削过程中的动态特性测量方法

黄连宝[1]，袁名伟[2]
（1. 天津职业大学机械工程实训中心，天津 300410；
2. 天津职业技术师范大学机械工程学院，天津 300222）

摘要：针对高速高精度切削加工过程中机床动态特性分析较为困难的问题，提出一种快速扫频正弦切削法来测量数控机床切削过程中的动态特性。该方法采用车削过程中的切削力作为激振力进行试验模态分析，主要通过以恒定的进给量切削正弦轮廓的圆柱形工件，并线性增加主轴转速，从而将切削力转化为数控机床频率响应函数的激励输入。结果表明：与传统的冲击测试方法对比，快速扫频正弦切削测试的共振峰柔度和频率均有所降低，分别降低了约 6.7%和 16.7%。此外，通过希尔伯特变换分析，观察到冲击测试和快速扫频正弦切削测试之间有很大的区别。在快速扫频正弦切削测试中，可以直接识别出切削过程中非线性的影响，为准确测量机床切削过程中的动态特性提供了理论依据。

关键词：数控机床；快速扫频正弦切削法；动态特性测量方法；非线性
中图分类号：TH16；TG65

Dynamic Characteristic Measurement Method in Cutting Process of CNC Machine Tool

HUANG Lianbao[1]，YUAN Mingwei[2]
（1. Mechanical Engineering Training Center，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China；
2. School of Mechanical Engineering，Tianjin University of Technology and Education，Tianjin 300222，China）

Abstract：To solve the problem that it is difficult to analyze the dynamic characteristics of machine tools during high-speed and high-precision cutting，a fast sweep sine cutting method was proposed to measure the dynamic characteristics of CNC machine tools during cutting process. In this method，the cutting force in the turning process was used as the excitation force for experimental modal analysis. The cutting force was mainly converted into the excitation input of the frequency response function of CNC machine tools by cutting the sinusoidal profile cylindrical workpiece with constant feed rate and linearly increasing spindle speed. The results show that：compared with the traditional impact pulse test method，the resonance peak flexibility and frequency of fast sweep sine cutting test are reduced by about 6.7% and 16.7%，respectively. In addition，through Hilbert transform analysis，it is observed that there is a great difference between the impact pulse test and the fast sweep sine cutting test. In the fast sweep sine cutting test，the influence of nonlinearity in the cutting process can be directly identified，which provides a theoretical basis for accurately measuring the dynamic characteristics of machine tools in the cutting process.

Keywords：CNC machine tools；Fast sweep sine cutting method；Dynamic characteristic measurement method；Nonlinearity

0 前言

刀具的颤振会降低其使用寿命，降低加工表面的质量，因此防止刀具的颤振至关重要。为了减少高速高精度加工中的颤振，必须对机床结构和切削条件进行优化，这需要对机床动态刚度进行精确测量。目前，利用冲击试验（激励）进行的模态分析已被广泛应用于机床的动态特性分析[1-2]。

通过冲击锤激励机械结构并通过加速度传感器测量产生的加速度，可以获得频率响应函数，该方法操作简单、快捷。然而，由于刀具或主轴必须通过物理接触直接锤击，所以在切削过程中不可能在机床上安装加速度传感器并测量其动态特性。因此，目前冲击试验在机床停止工作后进行，获得的频率响应被视为切削过程的近似动态特性[3-4]，但是机床在切削过程

收稿日期：2021-08-08
基金项目：天津市教育委员会科学技术研究项目（TJBQN01803108）；天津市自然科学基金项目（41102/HZ160110）；全国教育科学“十五”规划教育部重点课题（DJB030362）
作者简介：黄连宝（1985—），男，硕士，讲师，主要从事机械数控加工技术方面的研究。E-mail：kd0650@163.com。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中的动态特性可能不同于静止状态下的动态特性。

为了解决上述问题，目前已经提出了不少研究方法。MOUFKI 等[5]提出在车床外部安装激励装置，并在主轴旋转过程中通过随机激励来评估动态特性，研究表明：切削过程中得到的频响函数与冲击试验得到的频响函数有所不同。CAI 等[6]提出了一种在数控铣床上通过切削试件来创建随机激励的方法。LIN 等[7]也提出了一种类似的方法，即通过在试件上形成槽来施加随机激励。近期，IGLESIAS 等[8]提出了一种在铣削过程中采用扫频激励而不是随机激励的方法，即通过线性增加或降低主轴转速来提高或降低主轴转速。这些研究表明：切削过程中的动态特性不同于静态状态下的动态特性，但是上述方法均无法直接识别出切削过程中非线性的影响。

为了准确测量切削过程中的动态特性，本文作者尝试将切削力本身用作激振力，提出一种用于数控机床的快速扫频正弦切削方法。该方法采用车削过程中的切削力作为激振力进行试验模态分析，当进给量不变时，切削力与切削深度成正比。因此，切削深度的正弦变化对应于切削力。在该方法中，先将试件成型为正弦形轮廓，并且在提高主轴转速的同时车削所制备的试件，实现正弦切削。最后，将该方法与传统的冲击试验进行了比较，能够观察到车削过程中的频响函数受切削系统中非线性的影响，验证了所提测试方法的有效性。

1　快速扫频正弦切削方法设计

文中所提快速扫频正弦切削方法的原理如图 1 所示。

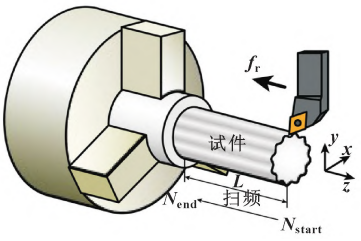


图 1　快速扫频正弦切削方法的原理

试件的横截面轮廓如图 2 所示。

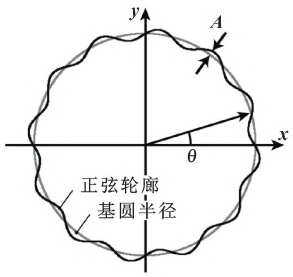


图 2　试件的横截面轮廓

如图 1 所示，通过以恒定的进给量 f_r 切削正弦轮廓的圆柱形工件，并线性增加主轴转速 N，可以将切削力转化为 CNC 车床频率响应函数的激励输入。所用试件剖面 $\boldsymbol{C}$ 的定义如式（1）所示：

$$\boldsymbol{C}=\begin{bmatrix}x\\y\end{bmatrix}=[r+A\sin(n\theta)]\begin{bmatrix}\cos\theta\\\sin\theta\end{bmatrix} \tag{1}$$

式中：A 为轮廓上正弦的振幅；r 为试件基圆半径；n 为每转正弦的数量；θ 为旋转角，如图 2 所示；(x, y) 为正弦轮廓上的位置矢量。

在此研究中，试件是用球头立铣刀铣削而成。加工剖面 $\boldsymbol{C}$ 的球头铣刀中心轨迹 $\boldsymbol{E}$ 定义为

$$\boldsymbol{E}=[r+A\sin(n\theta)]\begin{bmatrix}\cos\theta\\\sin\theta\end{bmatrix}+\frac{r}{\sqrt{B^2+D^2}}\begin{bmatrix}B\sin\theta+D\cos\theta\\-B\cos\theta+D\sin\theta\end{bmatrix} \tag{2}$$

其中：

$$B=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\theta}=An\cos(n\theta)\cos\theta+[r+A\sin(n\theta)]\cdot(-\sin\theta)$$

$$D=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}\theta}=An\cos(n\theta)\sin\theta+[r+A\sin(n\theta)]\cos\theta$$

系统的输入是切削力，输出是加速度。加速度可以通过安装在刀架上的加速度传感器直接测量，而切削力则不能通过切削力测力仪直接测量，这是因为切削力测力仪是切削过程中动态系统的组成部分，因此无法得到合适的频率函数。因此，采用切削理论[9-11]计算切削力。通过对测量的加速度和计算的切削力进行快速傅里叶变换，得到频率响应函数。

切削力的计算采用 Kronenberg 公式[12-13]，切削力 F 的定义为

$$F=k_s S \tag{3}$$

$$k_s=\frac{C_{ks}\left(\frac{G}{5}\right)}{S} \tag{4}$$

式中：k_s 为单位切削阻力；S 为切屑横截面积；C_{ks}为由工件材料和刀具前角确定的常数；G 为切削深度与进给量的比值。

因为切削力与切削深度和进给量都成正比，所以当进给量固定时，切削力只与切削深度成正比。在进给量 f_r 恒定的情况下，通过切削正弦轮廓得到正弦激振力。

最后，激励频率 f 与主轴转速 N 和每转正弦数量 n 成正比：

$$f=\frac{N\cdot n}{60} \tag{5}$$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 试验结果与分析

2.1 试验设置

为了确定所提快速扫频正弦切削方法的激励频率范围，对 CNC 车床的刀具尖端进行了常规冲击试验，机床型号为 NMV 5000 DCG。因为主柔度的峰值频率在大约 1 100 Hz 附近，f 的扫描范围被设置为 900～1 300 Hz。制备不同正弦曲线振幅（0.08、0.14、0.17、0.20 mm）的碳钢 S55C 试件，以验证切削力的影响。用于快速扫频正弦切削测试的 CNC 车床试验设置如图 3 所示。试验条件如表 1 所示。

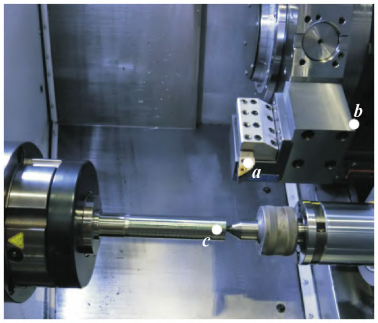


图 3 CNC 车床试验设置

表 1 试验条件

参数	数值
试件基圆半径 r/mm	15
试件正弦振幅 A/mm	0.08，0.14，0.17，0.20
每转正弦数量 n	12
试件材料	S55C
静态切削深度/mm	0.1
进给量 f_r/(mm·r^{-1})	0.7
主轴转速 N/(r·min^{-1})	2 696～3 951
切削速度/(m·min^{-1})	50～400
激励频率/Hz	899～1 317

图 3 中点 a、点 b 和点 c 的冲击试验结果如图 4 所示。

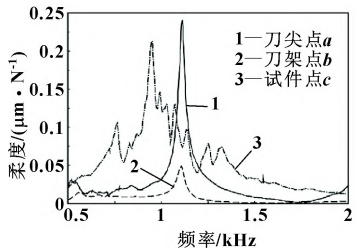


图 4 冲击试验结果

如图 4 所示，在点 c 处，试件的主柔度约为 0.2 μm/N，频率约为 1 000 Hz。在刀尖处也观察到类似的值。因为很难测量刀尖（点 a）的加速度，所提方法中的加速度测量在点 b 处（刀架后部）进行。

2.2 测试结果

快速扫频正弦切削测试后的试件实物如图 5 所示。

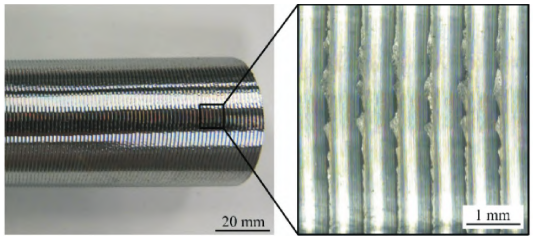


图 5 快速扫频正弦切削测试后的试件实物

当 A = 0.08 mm 时，测试获得的试验数据如图 6 所示。

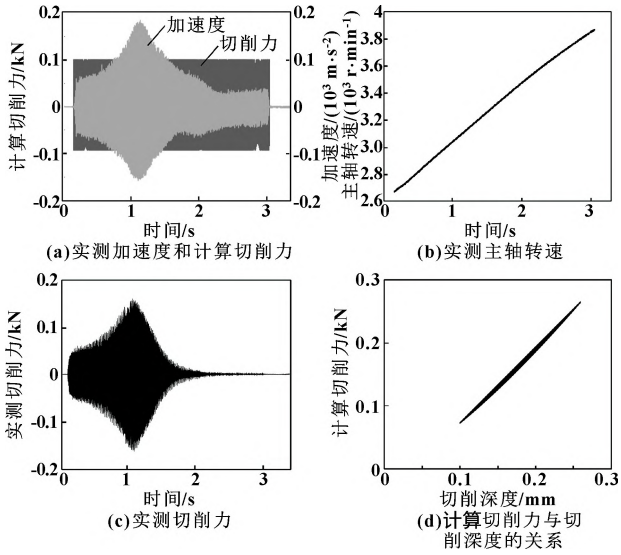


图 6 测试结果的时域图（A = 0.08 mm）

如图 5 和图 6（b）所示，主轴速度的扫频具有一定的线性，刀痕没有重叠，节距恒定。图 6（a）显示了所测加速度和计算切削力［式（3）］。在稳定切削力作用下，观察了加速度输出的动态特性。如上所述，实际的力测量不能使用测力仪，因为测力仪必须包含在振动系统中[14]。但实测的切削力如图 6（c）所示，以供参考。虽然切削力随切削深度的变化而波动，但计算切削力与切削深度之间的关系如图 6（d）所示。

快速扫频正弦切削测试和传统冲击测试获得的频率响应函数比较如图 7 所示。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

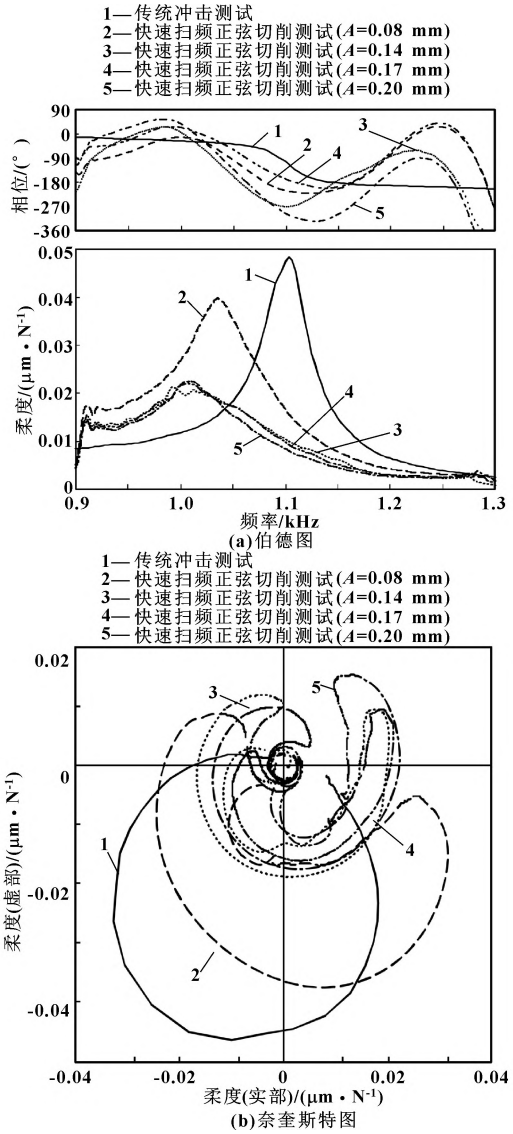


图 7　频率响应函数比较

从图 7（a）可以看出：快速扫频正弦切削测试结果中的共振峰值（柔度和频率）低于冲击测试结果。A = 0.08 mm 时试件的快速扫频正弦切削测试结果为 1 036 Hz 和 0.04 μm/N，而冲击测试结果为 1 110 Hz 和 0.048 μm/N。可知：所提方法得到的柔度和频率，相比冲击测试分别低约 6.7% 和 16.7%。其他振幅具有相似的值，A = 0.14 ~ 0.20 mm 时测试结果均大致为 1 010 Hz 和 0.02 μm/N，是 A = 0.08 mm 时柔度的一半。

从图 7（b）所示的奈奎斯特图可以看出：快速扫频正弦切削的所有测试结果都具有扭曲的轮廓，而冲击测试结果具有近似理想的圆形轮廓，这表明快速扫频正弦切削能够更好地体现非线性的影响。

2.3　结果讨论

由于动态特性的非线性取决于切削深度（即激振力），因此非线性由刀具和试件之间的摩擦、刀具附着表面和其他位置的摩擦引起[15]。为了验证振动系统存在的非线性因素，对实测频响函数进行希尔伯特变换[16]。当振动系统为线性时，在奈奎斯特图中频率响应函数对称，所以傅里叶变换和希尔伯特变换没有区别。然而，当振动系统受到强烈的非线性影响时，由于希尔伯特变换不对称，2 种变换的结果不匹配。因此，希尔伯特变换对于验证非线性是有用的。

用傅里叶变换和希尔伯特变换比较冲击和快速扫频正弦切削测试的迁移率，迁移率比较结果如图 8 所示。

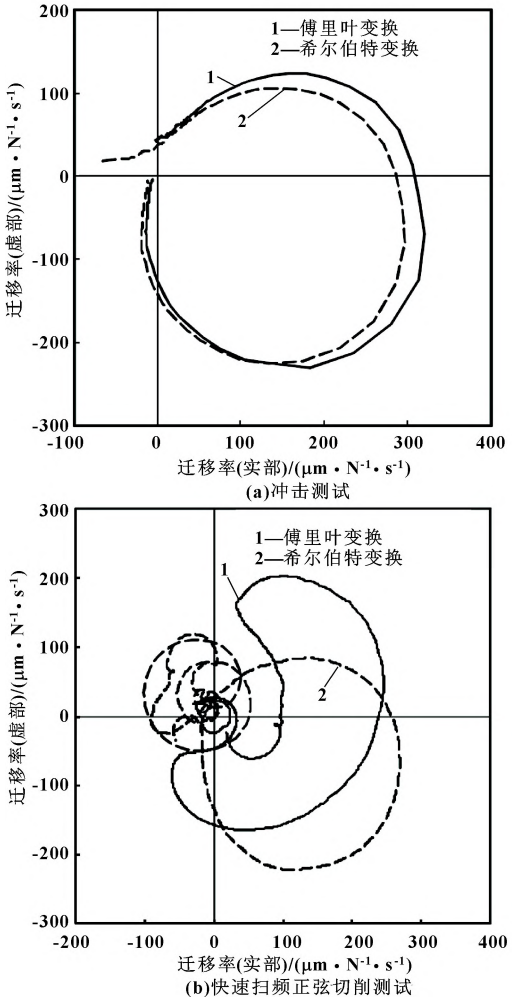


图 8　不同变换时的迁移率比较结果

如图 8（a）所示：对于冲击测试，傅里叶变换与希尔伯特变换的差异很小，因此非线性的影响是微弱的；相比之下，在快速扫频正弦切削测试中，这些变换之间的差异较大，如图 8（b）所示，可以清晰地观察到非线性影响的存在。

3　结束语

文中提出了一种测量 CNC 车床切削过程中动态

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

特性的新方法，称为快速扫频正弦切削方法。该方法主要通过以线性增加的主轴速度切削正弦轮廓的圆柱形工件，来将正弦激励应用于振动系统。与常规冲击测试进行了对比，得到如下结论：

（1）快速扫频正弦切削测试的共振峰柔度和频率均低于冲击测试，分别低约 6.7%和 16.7%。

（2）希尔伯特变换的分析表明：冲击测试和快速扫频正弦切削测试之间有很大的区别，在快速扫频正弦切削测试中，可以直接识别出切削过程中非线性的影响，验证了振动系统存在的非线性因素。后续将在更多类型机床上开展进一步的性能验证。

参考文献：

[1] ZHANG J, ZHANG H J, DU C, et al. Research on the dynamics of ball screw feed system with high acceleration[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2016, 111: 9-16.

[2] 郑雷，秦鹏，董香龙，等.数控机床进给系统静动态特性分析[J].机床与液压，2021，49(3)：145-149.
ZHENG L, QIN P, DONG X L, et al. Analysis of static and dynamic characteristic for feeding system of NC machine tool[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2021, 49(3): 145-149.

[3] 苏芳，王晨升，贾进生.基于结构单元的机床动态特性分析[J].制造技术与机床，2019(2)：40-44.
SU F, WANG C S, JIA J S. Dynamic characteristic analysis of machine tool based on the unit structure[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2019(2): 40-44.

[4] BOUGACHA S, ROËSSET J M, TASSOULAS J L. Dynamic stiffness of foundations on fluid-filled poroelastic stratum [J]. Journal of Engineering Mechanics, 1993, 119(8): 1649-1662.

[5] MOUFKI A, DUDZINSKI D, COZ G. Prediction of cutting forces from an analytical model of oblique cutting, application to peripheral milling of Ti-6Al-4V alloy[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 81(1/2/3/4): 615-626.

[6] CAI H, LUO B, MAO X Y, et al. A method for identification of machine-tool dynamics under machining[J]. Procedia CIRP, 2015, 31: 502-507.

[7] LIN B, WANG L, GUO Y, et al. Modeling of cutting forces in end milling based on oblique cutting analysis[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 84(1/2/3/4): 727-736.

[8] IGLESIAS A, MUNOA J, RAMíREZ C, et al. FRF estimation through sweep milling force excitation (SMFE)[J]. Procedia CIRP, 2016, 46: 504-507.

[9] KIM S Y, LEE D. Numerical analysis of wave energy dissipation by damping treatments in a plate with acoustic black holes[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2018, 32(8): 3547-3555.

[10] BEUDAERT X, ERKORKMAZ K, MUNOA J. Portable damping system for chatter suppression on flexible workpieces[J]. CIRP Annals, 2019, 68(1): 423-426.

[11] MOHAMMADI Y, AZVAR M, BUDAK E. Suppressing vibration modes of spindle-holder-tool assembly through FRF modification for enhanced chatter stability[J]. CIRP Annals, 2018, 67(1): 397-400.

[12] 赵平，王志刚，李振加.波形刃铣刀片 STUV 型切入类型判别式的推导[J].黑龙江工程学院学报，2008，22(4)：34-36.
ZHAO P, WANG Z G, LI Z J. Estimation formula deduction of 3D complex groove waved-edge milling insert cut-in style[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2008, 22(4): 34-36.

[13] KANEKO K, NISHIDA I, SATO R, et al. Instantaneous rigid force model based on oblique cutting to predict milling force[J]. Transactions of the JSME (in Japanese), 2017, 83(856): 17-247.

[14] 谢军，廖映华，廖川.立式加工中心主轴箱静动态特性分析及拓扑优化[J].机床与液压，2020，48(23)：166-170.
XIE J, LIAO Y H, LIAO C. Static and dynamic characteristics analysis and topology optimization of spindle box of vertical machining center[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48(23): 166-170.

[15] 王福乾，米洁，杨庆东，等.基于测试与仿真的机床整机动态特性研究[J].机械设计与制造，2020(4)：79-82.
WANG F Q, MI J, YANG Q D, et al. Research on dynamic characteristics of machine tool based on test and simulation[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(4): 79-82.

[16] BOHANNON A W, LAWHERN V J, WAYTOWICH N R, et al. The autoregressive linear mixture model: a time-series model for an instantaneous mixture of network processes[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2020, 68: 4481-4496.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.13751/j.cnki.kjyqy.2016.01.039

数控技能实训过程化管理探索与实践

李建国
天津职业大学机械工程实训中心

【摘要】为了使学生学有所成，扩大学生的就业，各个学校都要求学生不仅仅要掌握课本的专业知识，同时也要掌握实际的操作技能。机械专业的学生要求需要掌握数控加工技能，提高学生教学的质量和效果，从而实现学生掌握数控技能实训过程中的管理技能。本文介绍了目前数控实训过程化管理中存在的问题，实训过程化管理的内涵和作用、数控技能实训过程化管理过程、实现数控技能管理要求以及数控技能实训过程化管理实施的效果，希望以此促进学生操作实践能力的提高，加快对数控过程化管理的掌握。

【关键词】数控；技能实训；过程化管理

数控技能实训过程化管理，能够在很大程度上帮助学生掌握操作技能，规范上课行为，加快学生相关技能的提高，促进学生更好的实现就业。对数控技能实训过程化管理进行探索与研究，实际上是在关注学生的专业学习技能，关注祖国的明天。

一、研究背景

在素质教育发展的今天，国家和学校都在不断加强学生的实际操作能力，力求能够使学生更好的融入到社会实际中，顺利进行工作。在学生掌握相关的专业课程之后，学校要求学生参加两周的数控技能实训，掌握一些基本的数控知识。要求学生做到，完成中等复杂程度的零件加工，能够在现场进行分析、处理工艺以及相关的程序，一少部分人能够拿到高级资格证，通过资格考核来获得相应的职业资格证书。

二、目前数控实训过程化管理中存在的问题

参加实训的学生安全意识相对过于薄弱，老师无法做到对每个学生都面面俱到的指导与监控。实训过程中，学生的坏习惯比较多，迟到、玩手机、佩戴装饰物等现象频发。另外。有学生在数控机床上随意放置物品，工具、书本、道具同样也存在乱放置现象，数控机床旁边附近的地面比较脏乱，安全等指示牌也被随意移动和损坏，消防设施旁边堆放杂物；学生不按规定操控机床，有学生在做工件时，另一位学生却不顾安全，在他旁边做高危动作，这样，若一旦发生意外，后果将不堪设想。在此情况下，就需要我们强化安全意识，运用先进的实训管理理念，进而能够提高学生的安全意识，以便真正投入到安全规范化的工作中。

三、实训过程化管理的内涵和作用

在实训过程中，需要对其训练的各项要素考虑在内进行有效的管理，包括机器、物料，其管理的主要内涵为：全员参与，保持管理活动。内容主要包括整理、整顿、清扫、清洁、素养以及安全。通过这些项目的管理，力求为实训提供一个良好安全的环境，提高实训的效率，加快学生的进一步操作与实习。

(一)整理在工作场所要力求将所有的东西进行区分，按其重要程度来看待。保持实训场地的整齐和洁净，将需要的东西留下来，不需要的就处理干净。通过整理思想，不仅能够为实训场所构造舒适的环境，而且能够帮助我们更好的认识自己，认清自己的优缺点、该做的事务、自己的日常习惯，等等。我们在此条件下，其目的主要是要求能够腾出必要的空间和时间，做好职业生涯规划，照准目标，从而能够更加努力的参与进去。(二)整顿将必需品按指定位置放置，并且为其添加标识，做好数量等相关的登记，在使用完成后要能够及时恢复，在这样的整洁的环境中，有助于学生消除不必要的物品。此外，整顿思想可以指导学生将自身的缺点、主要目标、信念等充分的罗列出来。在此条件下，有助于学生真正了解自己，从而实现真正意义上的升华。(三)清扫清扫思维目的就是要使实训场所打扫的干干净净，使场所干净、整洁，进而在工作中达到稳定的品质，以减少不必要的工作损害。在清洁的工作环境下，学生就能够真正做到清除思想中的污渍，减少杂念，进而能够一心搞学业，加快学习习惯的养成。(四)清洁将整理、清扫等进行下去，在制度层面，将其坚持做下去，让它成为一种真正意义上的习惯。在外部环境明丽美观的情况下，就会使人们工作保持积极的形态。反思自己，力求保持自身思想、行动的一致，这样能够使学生的职业理想能够顺畅的进行和实施。(五)素养拥有良好的专业素养，学习习惯，遵守规则，能够在很大程度上培养学生的主动性，进而培养起学生良好的学习习惯，在工作中形成统一的团队精神和向心力。(六)安全安全对于数控机床学生来说无疑是最重要的。重视学生的安全教育，要让学生拥有安全至上的信念。在工作中，要时时刻刻考虑自身的安全，一切都要做到防范未然，促使学生能够顺利的进行数控实践。安全同时对于建设和谐、平安校园具有重要的意义。

四、数控技能实训过程化管理过程

(一)严格抓编程的关口在实训过程之前，要对学生进行相关编程的考核，合格者才有机会进入操作实践的环节。对于考核未通过者，就要让他们暂停机床操作，可以让有相关知识的学生先进行操作训练。在之后的训练过程中，尽量不要让学生存在心理压力，要帮助他们尽量早日掌握必要的知识，进而投入到实训之中。

(二)分阶段实训和考核对学生的实训要分阶段进行，在这里，我们将其分为三个阶段：

第一阶段：要求学生熟练地掌握机床的相关操作，能够对不同的对象做出相应的编程，对基本的工件进行操作和测量。在这个过程中，可以强化学生的编程能力和测量计算能力，加快学生掌握机床的具体应用。在这个过程中，教师可以根据每日的学生表现，为其进行打分。在这个过程中，既要让学生看到自己的进步，同时又要让学生能够增强自信息，克服一些不良的情绪。第二阶段：在实训的第二个阶段，要求学生能够真正掌握整个零件的加工。在这个过程中，学生可以更好的掌握一些分析能力，具备一些相关的工件、刀具的安装能力。通过进行一系列的编程和编码，让学生能够对零件进行完整的编程。在实训过程中，我们经常可以发现，在初期阶段，一些掌握能力比较好的操作者操作着机床，这样就会导致学生学习过程出现分化，达不到我们预想的目的。第三阶段：对学生进行考核。在对大学生数控技能考核中，我们应该采取积极有效的方式。教师根据本阶段的学习和训练状况，对所学情况做出总结并简要针对知识点进行考核，体现其学习目标和发展要求。教师可以综合其表现和实际操作等，对学生进行适当的鼓励。在考核中，教师也应该秉持着分层次考核的理念，对不同学生做出不同的考核标准，根据学生平时的训练效果和自身能力极限划分出不同层次的标准。这样，在考核中就可以依据学生的能力和极限来对学生进行考核。考核过程中，需要针对不同层次的学生进行多项专项测评，以避免单一的考核所造成的偏差，有失公平。对于超出自身素质要求的，突破自己的，予以鼓励。这样能够提高学生的积极性，让学生投入到努力实践操作当中。让学生身心愉悦、兴趣开放发展、放松体验,养成良好的生活习惯,这对我们的生产生活具有重要的意义。我们要不断提倡和发扬这种开放、因材施教形式,贯彻落实实践体育精神,在实训和考核的分层次模式中不断深化自己,得到发展和提高。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

五、实现数控技能管理实训，养成学生安全操作习惯要求

基于数控技能实训过程管理，笔者认为，要想真正实现安全有效的目标，就必须将上述的管理模式运用到实际的教学之中，只有这样，才能真正规范学生的操作，进而达到提高学生专业素养和实践能力的目的，养成良好的学习习惯。

(一)区分不必要的人和物，将与实训无关的东西都清理干净，归类摆放，让实训地点变得宽敞和明亮。对学生的约束将从很多方面进行。例如：禁止学生携带零食进行数控车间；按绿色通道进入实训地点，通道上避免摆放杂物，要保持通道的畅通；课前整理实训过程必要的物品，检查工具，检查使用的必要性，将不必要的处理干净，尽量为学生的工作实训营造一个积极的气氛。

(二)将物品有条理的进行归位，物品放置有条理，统一标识、严格规范管理，将每个东西的清单配齐，使必须物品让每个人熟知，以加快学生的使用和寻找。要做到这些，需要教师做到以下的内容：积极为学生开设安全教育课程，让学生在课前提前在车间门口集中，学生统一管理，穿工作服，佩戴工作帽；学校的实训教师为学身份例行开班会，强调安全意识；此外，将学生进行分组，有助于分层次对学生进行指导。在当前教师缺乏的时代，各个教室在配合协调方面显得不太好，这就要求教师能够将学生进行分组，分批对其进行管理。在管理方面我们主要有两种方案可供选择。第一种是将学生分为两个模块，十几个人人手一台机床进行操作，这个过程由两个教师负责完成；其他剩余的学生就在机房中做一些工艺的编写、仿真操作等事项，这个环节由一名教师负责完成即可；第二种方案是：将学生整体分为3组，每4、5个人配套一台机床。另外剩下的4人在现场做计算机的仿真训练，其他剩余的人做工艺的编写和程序的编辑。

(三)对工具的摆放要放到其非常重要的位置上来。在每台数控机床要能够清楚的进行标识，有相对应的编号和机床工具相对应。在工具柜的台面中，放置相关结构的橡胶板，可以方便大家使用，引导学生及时复位，避免随意摆放而造成工具损害，影响再次使用，这样有助于营造整齐的实训环境，构造和谐的实训理念；此外，对于仓储式分层的货架，要能够相对应的做好标号和记录，避免混杂交错。

(四)在实训地点进行清扫活动，有助于创造出一个整洁、和谐的环境。在运作的过程中，要加强制度化的管理，基本实现运营形式化到习惯化。在日常的实训期间，教师要教育学生认真清扫所在的机床，包括工具放置柜，托盘铁屑等相关的工具。要尽量能够做到，实训区域清洁无污，无无杂物、无蜘蛛网等；另外，每个实训小组要分配有各自的扫帚，督促学生完成清洁的任务；在清扫过程中，发现大量积水时，要能够积极对其查明原因，及时采取相关的措施来改进，促使其尽快完善。

(五)清洁的过程同时也是维护物品能够正常运作的过程，在实训中，要能够对其及时的进行清理，加快维护仪器，促使其运行。在清洁的过程中，要对相关仪器的精度进行考虑。要尽量用布将物体的表面擦拭干净，以避免有任何的脏物来影响测量的精密度；在使用完成后，要在金属的表面做好保护，一般情况下，我们采用在它表面刷漆的手段，以免造成生锈；保存也要将其放在干燥的地方，一般不作为其他工具使用，否则就会造成磨损而无法正常使用；在对机床的主体进行保养过程中，要尽量做到每天对油等方面进行检查，在发现油量不够的条件下，就要加以增添；一般情况下，我们在对数控机床进行清理过程中，要尽量使用油枪，避免使用步枪而造成的磨损、擦伤，严重影响机床的使用精度；数控机床的清洗一般首先要用棉布进行擦拭，一般不用气枪进行倒吹。

(六)养成规范做事、安全操作的职业习惯，有助于在做事方面很好的执行，进而培养起他们的职业素养。在这一过程中，要使学生深刻的掌握到不迟到、不旷课、安全操作的要领，对于表现不好者对其进行适当的扣分。通过不断的对其进行训练，从而抵制学生不顾小事的做法，在此基础上，促进学生规范做事，培养起学生积极进取的精神，这有助于数控实训化的顺利进行。

六、数控技能实训过程化管理实施其他要求注意事项：

(一) 师生树立平等观念，学习者为中心学习要注重“学思结合”，积极倡导开放化、参与式的教学，帮助学生学习，激发学生的好奇心，引导学生自由思索、勇于创新，构建一个自主平等的新环境。在数控技能实训过程中，教师要能够根据每个学生的特点而设计出一整套的教学模式，采取富有个性化、人性化的教学策略，设计出能够发挥教师和学生潜能的教学，让学生能够通过实践操作，积极引导和学习监督，形成现代教学模式。要以学习者为本，教师要以满足学生发展为宗旨，根据学生特点进行课程设计，加快教学资源配置和重组。实训过程需要一个良好的气氛。气氛活跃，才有可能极大的调动学生的积极性，促使学生在训练中自主进行学习。

(二) 尊重学生个性，实施差异教学将外域文化应用于实训教学中，在很大程度上能够展现学生的个性，加强大学差异教学，促进学生在各个方面个性专项提高。由于学生存在很大差异，教师要充分赏识学生在各方面所存在的不同和特性，通过将不同的资源引入到实训教学中，引导学生从兴趣中掌握必要的学习知识，深入学习兴趣内存在的知识，陶冶情操。学生的个性特点和兴趣爱好存在很大的差异，教师在教学中也要针对学生的不同个性特点来对学生进行专项教育，了解学生之间的不同，建立起新兴的教学模式。个性不同是影响教师教学的一个重要方面，个性教学转换为兴趣教学，让学生在自由中收获知识。

另外，从理论上来说，任何有效的学习都基本上为个性化学习，即学生能够按照自己的学习需求、风格，自由的开展学习，因材施教，运用实践操作的能动性，使用适宜的教学技术和方法，让学生能够有选择性的将自身的优势和偏向结合起来，对自身进行能动性培养，加快实训过程的实现。

(三) 小组间合作学习，协调实现创新在数控技能实训中，我们应该充分利用小组协调的能力，让小组内部自由发挥，自主提高。在实训中，教师可以让学生在小组内自主思考和讨论，学生通过运用相关资源进行陶冶和熏陶，倾听每一个人的回答，能够促进自己思考与提出问题。这样不仅能够加强学生的合作能力，同时能够加深学生对于问题的理解和掌握，加深学生对所学知识的认识。

(四)课堂实训效率和课下学习相结合，学习方式灵活多样仅仅依靠课上的实训训练，并不能够使学生得到深层次的掌握和提高。学生只有将课堂的实训和课下的学习相结合，不断加深自身对于教学目标的了解，提高学习积极性，促进自己学习成绩的提高。通过课下学习了解一定的理论知识，对实训知识进行深入的巩固和加强，能够有效提高教学效果，提高学生的掌握能力。

(五) 评价多样化，教学方式转变在实训中，需要对学生进行评价。在此情况下就需要教师能够运用相关媒体资源，加快评价多样化。

在评价中，要注重评价方法综合性，要充分将实践操作和卷面理论相结合，形成形成性评价。

参考文献

[1]吴一帆.数控技能实训过程化管理探索与实践[J].科技资讯,2014,27:140.

[2]黄江波.数控实训车间6S管理模式探索与实践[J].福建轻纺,2013,05:45-50.

[3]黄江波.运用6S管理模式实施数控实训教学的探索与实践[J].读与写(教育教学刊),2011,11:222-223.

作者简介

李建国，男，1973年7月；籍贯：河北邢台；民族：汉；学历：大学本科；职称：高级实验师；研究方向：产学结合数控技能实训教学和数控加工技术；单位：天津职业大学机械工程实训中心。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数控加工工艺标准化的研究

陈振国

（天津职业大学机械工程实训中心，天津　300410）

摘要：数控加工工艺是社会经济快速发展的产物，建立在科学技术水平不断提升的基础上。标准化生产一直是社会各行业追求的目标，标准化生产的实现不仅可以提升企业的生产效率，还可以增强企业的竞争力，保证企业在激烈的市场竞争占据有利位置。本文首先阐述了数控加工工艺的特点和流程，然后分析了数控加工工艺存在的问题，最后重点探讨了数控加工工艺标准化设计。

关键词：数控加工；加工工艺；标准化

中图分类号：TG659　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1671-0711（2017）08（下）-0138-03

企业要想在激烈的市场竞争中占有一席之地，必须要从自身实际出发，提升综合实力。新时期以来，数控加工工艺企业的发展异常迅猛，在科学技术的带动下，数控机床在现代制造业中扮演的角色越来越重要，这就催生了一大批现代制造企业，使得市场竞争加剧。标准化的数控加工工艺作为现代企业追求的目标，制造业应当意识到数控加工工艺标准化对自身发展的意义，通过各种合理手段实现数控加工工艺的标准化。

1　数控加工工艺的特点和流程

1.1　数控加工工艺的特点

现代制造业中，数控加工工艺技术的应用，可以最大限度地减少工装数量，提高生产的效率。比如在对复杂零件修改的时候，数控加工工艺处理方法的应用，只需要修改其零件的加工程序，不需要“伤筋动骨”。在进行加工处理的时候，加工的质量必须要得到保证，通过数控加工工艺处理方法的应用不仅可以保证加工的质量，还可以提高加工的精准度。在解决机床型面，数控加工工艺处理方法除了能够解决常规型面之外，还能够解决一些非常规型面，提高了生产效率，适用性非常广泛。

1.2　数控加工工艺的流程

数控加工工艺的应用离不开编程的应用。现阶段，绝大部分企业在数控加工工艺过程中采用的是计算机编

表 4　盘式绝缘子绝缘试验结果

序号	加压端	试验参数	试验结果
1	边相套管施加工频电压，其余相及外壳接地	工频电压 230kV，持续 1min	未发生放电
2	中相套管施加工频电压，其余相及外壳接地	工频电压 230kV，持续 1min	未发生放电
3	边相套管施加试验电压，其余相及外壳接地	工频电压 230kV，持续 1min, 起始 150kV，熄灭 132kV	↓ 151kV\3pc，↓ 87kV\2pc
4	中相套管施加试验电压，其余相及外壳接地	工频电压 230kV，持续 1min, 起始 228kV，熄灭 190kV	↓ 151kV\2pc，↓ 87kV\2pc
5	边相套管施加雷电冲击电压，其余相及外壳接地	雷电冲击耐受电压 550kV，正负极性各 10 次	未发生放电
6	中相套管施加雷电冲击电压，其余相及外壳接地	雷电冲击耐受电压 550kV，正负极性各 10 次	未发生放电
7	边相套管施加雷电冲击电压，其余相及外壳接地	雷电冲击耐受电压 650kV，正负极性各 10 次	未发生放电
8	中相套管施加雷电冲击电压，其余相及外壳接地	雷电冲击耐受电压 650kV，正负极性各 10 次	未发生放电

3 个样件的绝缘试验结果与仿真计算结果相符，满足绝缘设计目标。

6　结语

126kV 三相导体“一”字形布置结构的盘式绝缘子的设计可以大幅简化 GIS 开关设备各元件结构，提高零部件的通用性。

通过合理的结构设计和电场优化，可以满足绝缘及力学性能要求；但对生产厂家的制造及装配工艺有较高要求，对于浇注尺寸及装配中异物清理需要进行严苛的控制。

中国知网　https://www.cnki.net

程。在数控加工工艺处理方法的应用中，计算机编程的意义重大，是数控加工工艺的重要一环。当然，数控加工工艺中，计算机编程的作用巨大，但除了计算机编程之外，还需要做好编程之前的准备工作以及编程后的后续工作。也就是说，数控加工工艺的流程具有系统性、程序性的特点，在实际的操作过程对技术人员的技术要求非常高，这也从侧面反映了数据加工工艺的重要性。

2 数控加工工艺存在的问题

2.1 缺乏可循的标准

数控加工工艺制定流程没有标准作为参照，数控编程受到技术人员的主观因素影响较大，由于不同的技术人员其认为的工艺标准不一样，这就使得数控工艺产品在生产过程中存在不同的规格，质量各不相同，容易出现不合格产品。最为关键的是，没有标准可依，容易造成工艺文件的堆积，造成材料浪费，还增加了加工的成本。以电极、镶件等零部件为例，这些零部件存在着相似的加工工艺，要求在数控加工工艺上注重方案的相似性，没有标准可循，相似性也就无从谈起。

2.2 制造流程不规范

纵观当前数控加工工艺的实施，90% 以上都是沿用独立分散的方法进行：模具加工过程中，技术操作人员修改加工程序时，依靠的是自身的主观经验自行修改，在模具加工过程中，为了保证模具的质量，必须要不断地修改加工程序。独立分散的方法应用在程序修改过程中，无法保证产品的精确度，容易因操作人员的因素造成误差的出现。以数控加工的刀具、参数为例，这些因素的准确度必须要高,特别是在当前精密性要求越来越严的情况下，而不规范的制造流程显然不符合现阶段要求。

3 数控加工工艺标准化的内容设计

数控加工工艺中，标准化设计的实现，需要全面分析，从加工定位的标准化设计、加工刀具的标准化设计、工艺参数的标准化设计、加工策略的标准化设计 4 个方面着手。

3.1 加工定位的标准化设计

对数控加工工艺标准内容进行加工定位具有必要性。关于加工定位的标准化设计，需要做好以下两个方面。第一，零件加工的基准要确定下来。所谓基准指的是零件加工过程中，为确定零件点线面的位置，需要参照物，被称之为基准。基准在零件加工过程中的影响很大，会影响加工工序的规划与实施，间接地影响质量。在具体定位过程中，通常先在毛坯表面进行定位。第二，合理规划零件加工的区域。现实情况中，零件曲面的类型多种多样，复杂度很高，这就要求在进行加工之前，技术操作人员应当合理地规划所要加工的区域，之后再确定要使用到的加工工艺。

3.2 加工刀具的标准化设计

数控加工工艺过程中，刀具非常关键，刀具的选择会直接影响到数控加工工艺的质量。所以，数控加工工艺标准化实现，刀具材料、类型及参数的标准化必不可少。在刀具材料的选择上，常见的材料有硬质合金钢、高速钢、涂层硬质合金钢等，能够准确对坚硬零件的层切。在刀具类型的选择方面，球头刀和端铣刀是最常见的两种刀具类型，它们自身结构比较规范，应用在数控加工工艺中有利于标准化的实现。在刀具参数的设置方面，主要包括走刀路线、走刀区域、颜色选择等，在进行不同零件数控加工时，应当具体情况具体分析，根据零件的不同，针对性地设置刀具的相关参数。

3.3 工艺参数的标准化设计

数控加工工艺中，参数的标准化设计是其标准化实现的关键部分。通常情况下，数控加工工艺中的参数包括速度、深度、程度等内容。工艺参数的标准化设计具体可以从以下几个方面着手。（1）速度方面，零件加工的切削速度受到刀具材料的影响，一般材质较硬的刀具可以对质地较硬的零件进行深加工；零件加工过程中，如果零件硬度不高，则可以加快切削的速度。（2）深度方面，深度会受到精度要求产生不同的影响。（3）程度方面，也就是给量，要求合理设置给量的工艺参数。在实际的数控加工工艺过程中，经验非常重要，很多时候可以根据以往的经验对工艺参数进行合理设置，为工艺参数标准化的实现提供宝贵的参考依据。

3.4 加工策略的标准化设计

结合当前数控加工工艺的实际情况，标准化的实现任重道远,要想加快数控加工工艺标准化的实现速度，对加工策略的标准化设计必不可少。一般而言，加工策略标准化设计的实现需要注意两个方面，一方面是加工工序的选择，另一方面是拟定合理的加工策略。首先，技术操作人员应当选择合理的加工工序。当前，工序有粗加工和精加工两种情况，数控加工工艺过程中应当坚持“从粗至精”的原则。其次，技术操作人员应当拟定合理的加工策略。数控加工工艺中，走刀路线的选择十分关键，加工策略的拟定会对走刀路线的选择造成重大影响，要想确保走刀路线合理，就必须拟定科学的加工策略。

4 数控加工工艺标准化的设计

上述提及到的是数控加工工艺标准化的内容设计，接下来在参考相关文献资料的基础上，结合自身的工作

中国知网 https://www.cnki.net

经验，从整体设计和操作流程两个层面探讨数控加工工艺标准化的设计。

4.1 数控加工工艺的整体设计

对于整体设计而言，具体包括两个方面：功能设计和框架设计。首先，功能设计。功能设计涉及到的内容诸多，如零件曲面的自动识别、工艺选择、工艺参数修改等。在具体的操作过程中，技术人员要对加工零件进行识别和管理，然后选择合理的加工工艺，紧接着再对不满足加工要求的工艺参数进行修改，之后存储已经加工完成的零件的信息，作为后续标准化设计的依据，最后形成文件并输出。其次，框架设计。框架设计可以分为三层，分别为显示层、逻辑层和数据库层。显示层显示加工处理过程中的信息，逻辑层处理用户的相关请求，数据层存储加工处理中的全部数据信息。

4.2 数控加工工艺的操作流程

数控加工工艺操作流程的系统，主要包括5个步骤。步骤一：进入主界面，导入模型。步骤二：系统识别已导入的模型，进入下一环节，未识别再次重复此操作。步骤三：判断模型类型，已判断进入下一阶段，未判断则返回上一级。步骤四：录入标准化数控加工工艺，若要修改，形成数据，如果不要修改，则再进行是否修改工艺信息的判断。步骤五：进行前面四个步骤之后，处理关键数据，完成操作流程。

5 数控加工工艺标准化的方法

5.1 典型工艺法

典型工艺法上个世纪30年代末期索克洛夫提出的，其着眼点是工艺过程的标准化，也就是将零件根据结构、形状相似性和工艺过程相似性标准进行分类，同类零件采用相同的典型工艺。从目前来看，数控加工过程中，应用典型工艺法有利有弊，利的地方是将其应用在齿轮、标准件等结构形状稳定性、批量相对较大的零件中更加适合，弊端在于面对批量不大或者非标准结构的零件该种工艺法不太适合。因而，在形状结构差别大、批量小的生产场合，典型工艺法无法充分发挥出其功能作用，但是可以作为零件工艺设计的参考资料。据有关研究显示，在当前的数控加工工艺标准化的过程中，典型工艺法的使用率约为1/5，但是这1/5使用典型工艺法的零件加工获取的效果并不是非常令人满意，典型工艺法需要随着生产的不断发展而改进，以便符合现代化的数控加工工艺标准化要求。

5.2 成组工艺法

成组工艺法是20世纪50年代特洛范诺夫提出来的，该工艺法的着眼点在与工序的标准化。也就是，成组工艺法更多关注的是零件加工过程中的全部或者一部分相似加工工序的零件划分为一组，在此基础上针对每一组的具体情况制定最为合适的成组加工工艺。在典型工艺法无法满足数控加工工艺标准化的设计要求情况下，成组工艺法的出现和应用，有效弥补了典型工艺法的不足。成组工艺法在实际的应用过程中，在加工零件时，只需要根据该零件的需要，利用成组工艺法作出适当的调整或者补充，即可完成对该零件加工工艺的设计。相关研究表明，成组工艺法的应用率高达4/5，远远高于典型工艺法，并且其应用效果非常显著，对数控加工工艺标准化的实现奠定了基础。

6 结语

总而言之，数控加工工艺的水平也有了显著的提升，加快了数控加工工艺标准化的实现。对于制造加工行业来说，应当紧跟时代发展，做到与时俱进，认真分析数控加工工艺过程中的存在的问题，根据出现的问题，结合数控工艺加工的特点，从加工定位的标准化设计、加工刀具的标准化设计、工艺参数的标准化设计、加工策略的标准化设计等方面完善标准化设计的内容，利用典型工艺法、成组工艺法实现对数控加工工艺的整体设计，完善数控加工工艺的操作流程，促进我国制造行业的进一步发展。

参考文献：

[1] 陈宏博.数控加工工艺标准化的研究[J].河南科技,2014,24(23):77-77.

[2] 姚雪琼.数控加工工艺标准化分析[J].山东工业技术,2016,12(6):26-26.

[3] 黄平平.数控加工工艺决策与切削参数规范化的分析[J].工程技术:文摘版,2016,12(10):00123-00123.

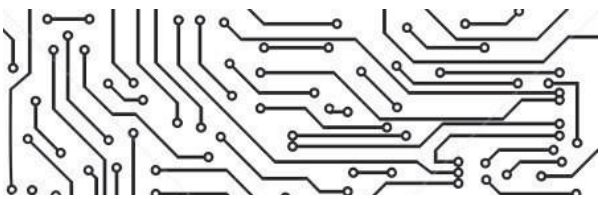
[4] 张本忠.关于数控加工工艺标准化的探讨[J].时代农机,2016,36(3):68-69.

[5] 窦卫兵.数控加工工艺过程及典型零件工艺分析[J].工程技术:文摘版,2016,12(7):00261-00261.

[6] 李敏.数控加工工艺中的误差分析[J].中小企业管理与科技旬刊,2013,52(5):317-318.

[7] 任桔.论数控加工工艺及实际应用[J].读与写:教育教学刊,2012,45(11):206-207.

[8] 冯利.基于工作任务的数控加工工艺项目课程开发[J].教育教学论坛,2012,12(8):208-209.



中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2015.18.051

数控加工及数控机床的维护①

张 敬
(天津职业大学 天津 300410)

摘 要:随着社会的不断进步,经济的快速发展,我国人们的物质生活水平不断提高,集机械、电力、溶液、气、光为一体的数控机床现代化技术开始迅速发展起来,数控加工也随之发展起来,促进了我国国民经济的快速增长。随着数控加工的日益增多,数控加工的工艺水平越来越受到全社会人们的普遍关注;数控机床是一种高技术产物,如果系统出现故障就会影响生产效率。该文就对数控加工的加工工艺以及数控机床在日常生活中常常出现的故障进行了分析,并且提出了相应的解决措施。

关键词:数控加工 数控机床 维护 现代化技术
中图分类号:TG659 文献标识码:A 文章编号:1672-3791(2015)06(c)-0075-02

数控加工是一种先进的加工技术,同时也是一种高效率、高精度的自动加工方法,其技术的使用有效的解决了复杂、小而精密的零件的加工问题,给社会带来了巨大的经济效益。数控机床作为一种高技术产物,已经成为现代机床技术水平的重要标志,数控机床能够满足产品的高精度、高复杂性的要求,为此,受到人们的广泛关注。要想充分发挥数控机床的作用,就必须做好日常维修与养护工作,从而减少事故的发生,提高工作效率。

1 数控加工

1.1 数控加工的定义

数控加工是机械制造中的一种先进的加工技术,同时也是一种高效率、高精度的自动加工方法,它是伴随数控机床的产生、发展从而逐步完善起来的一种应用技术,也是人们长期从事数控加工实践经验的总结。数控加工能够大大提高对复杂性产品的制造效率,能够充分保障产品的加工质量,它是集传统的机械制造工艺、现代化控制技术、传感技术等技术于一体的,它的广泛使用给机械制造业带来了极大的方便,数控技术的水平已经成为衡量一个国家综合国力的重要标志。

1.2 数控加工的特点

数控加工技术与传统的机床加工技术相比,其具有以下几个方面的特点:1.加工零件的精度越来越高,能够适应许多品种复杂的小零件。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,不需要人工干预,从而能够消除人为产生的误差。2.数控机床能够随生产对象的变化而发生变化,所以在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能自动实现对新的零件的加工;而并不需要改变机械部分和控制部分的硬件,从而为复杂结构零件的生产提供了极大的方便。3.数控机床每一道工序都可以选用最有利的切削用量,这就提高了数控机床的切削效率,节省了时间,数控机床还能够实现多道工序的连续加工,大大提高了生产效率。4.数控机床加工零件一般不需要制作专用夹具,并且还可以实现一机多用,从而能够使生产成本进一步下降,可获得良好的经济效益。5.数控机床可以使用数字信息与标准代码处理、传递信息,从而为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

2 数控机床

2.1 数控机床的定义

数控机床是集多种技术于一体的现代化技术设备,是一种装有程序控制系统的自动化的数字机床,其控制系统能够自动的处理各种程序指令,从而使得机床工作加工零件。数控机床的系统一旦出现故障,就会使得机床停止运转,从而影响生产效率。数控机床容易出现的故障主要有:机械的磨损与锈蚀、工件表面粗糙度大、电子元器件发化,本身有隐患、灰尘、操作失误等,所以,对数控机床出现的故障及时的进行维修是保障数控机床能够正常运行的前提,对数控机床的快速发展和不断完善也起到了巨大的推动作用。

2.2 数控机床的特点

(1)对加工对象的适应性比较强,能够根据不同加工对象为模具的制造提供合适的加工方法;(2)加工精度高,能够适应各种小而精密的零件的加工,具有比较稳定的加工质量;(3)当加工零件发生改变时,不需要重新进行设置,只需要更改数控的程序就可以,这样就大大节省了生产时间,提高了生产效率;(4)由于采用的是自动化程序控制,所以大大减轻了劳动强度;(5)数控机床对工作人员的素质要求比较高,对维修人员的技术要求更高。

2.3 数控机床的分类

(1)按照加工工艺方法进行分类:金属切削类数控机床;特种加工类数控机床;扳材加工类数控机床;(2)按控制运动轨迹进行分类:点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床;

3 数控机床常常出现的故障分析

3.1 数控机床监测技术的特点

随着社会的不断进步,经济的快速发展,数控机床监测技术也得到了迅速的发展,从而更加准确的确保了机床的正常运行。数控机床监测技术主要有以下三个特点:(1)数控机床监测的目的很明确,能够快速的对机床进行故障监测,进而及时的制定出科学、有效的解决方案,从而保障机床的正常运转;(2)数控机床监测技术涉及的范围比较广,主要涉及到物理学、机械动力学等多种学科知识领域;(3)数控机床监测技术能够很好的联系实际,能够把理论知识转化为实践,然后用于实际的操作中,这样就能够很好的提高数控机床的安全运行。

3.2 数控系统故障

3.2.1 位置环

位控环报警:可能是测量回路开路;测量系统损坏,位控单元内部损坏;不发指令就运动,可能是漂移过高,正反馈,位控单元故障;测量元件损坏;测量元件故障,一般表现为无反馈值;机床回不了基准点;高速时漏脉冲产生报警的可能原因是光栅或读头脏了;光栅坏了。

3.2.2 电源部分

电源是维持系统正常工作的能源支持部分,它失效或故障的直接结果是造成系统的停机或毁坏整个系统。

3.3 无报警显示的故障

3.3.1 机床失控

由于伺服电动机内检测元件的反馈信号接反或元件故障本身造成的。

3.3.2 机床振动

此时应首先确认振动周期与进给速度是否成比例变化,如果成比例变化,则故障的原因是机床、电动机、检测器不良,或是系统插补精度差,检测增益太高;如果不成比例,且大致固定时,则大都是因为与位置

①作者简介:张敬(1973,6—),男,天津人,本科,实验师,研究方向:产学结合数控技能实训教学。

中国知网 https://www.cnki.net

控制有关的系统参数设定错误,速度控制单元上短路棒设定错误或增益电位器调整不好,以及速度控制单元的印刷线路不好。

3.4 数控机床监测人员要掌握方法对机床的监测

数控机床监测人员在检测前要详细了解机床发生故障前有哪些征兆或者是现象,根据这些现象对故障进行分析,这样可以大大提高监测效率;如果不能通过看机床表面判断出机床的故障,这时就必须进行深层次的故障检测,对很有可能发生故障的部位进行监测,从而监测出故障部位。监测人员还一定要熟悉相关机床的维修原理,在每一次监测完机床故障以后,应该详细的记录好监测方法,从而可以方便掌握机床的故障规律,从而提高故障诊断效率。

4 数控加工及数控机床的维护及检修

4.1 数控加工及数控机床维护与检修人员

由于数控机床的特点,所以对维护与检修人员的要求比较高,只有维修人员具有较高的素质和工作技术才能真正确保数控机床维修工作的快速、高效运行。有效的预防与维修的技术手段是确保数控机床能够高效运转的基本条件,所以要建立严格的维护修理制度对机床进行及时的维护、修理,从而来大大降低事故的发生率,每次使用完机床以后要对机床的每一个部件进行检测,对一些有破损的部件进行及时的更换,定期对机床进行检测,一旦发现问题及时的进行解决,另外,还可以对机床进行一定程度的升级或者是改装,从而使的机床的技术水平能够得到大幅度的提升,使得机床能够稳定运行、长时间运转,从而获得更多的经济效益;除此以外,还要对机床的使用寿命与更换频率进行评估,从而真正提高机床的使用寿命。保障数控机床能够正常运转的主体还是维护人员,为此,一定要加强对维护人员的培训力度,让维护人员在掌握基本的知识基础以后,掌握更多、更有效的技术方法,真正成为数控机床专业检测诊断技术的高级操作专家,此外还要提高维护人员的责任心,让维护人员能够利用自己灵活且基础扎实的知识体系,使机床的正常运行获得保证,从而减少事故的发生频率,带来更多的经济效益。

4.2 加强对机床的安全监察力度

只有真正保障机床是在严格的操作流程下进行,才能真正保障人们的生命安全,减少事故的发生,所以,一定要重视事故的发生原因,对事故进行仔细的分析和解决,吸取教训,不断的总结经验,将事故发生的过程记录下来,从而能够避免下次再出现同样的事故,另外,还要加强对机床的安全监察力度,做好安全工作,对于不同种类的机床要采取不同的分析与诊断方法,还要做好定期维修和护理工作,提前对机床可能出现的故障进行预测,然后针对这些故障提前做好预防措施,对于机床的引进购买一定要确保是从正规厂家进行的购买,从而真正从源头上确保机床的质量,再者还要注意确保维护人员的生命安全,要牢记安全第一的原则,提高维护人员的安全意识,从而真正使得维护人员的安全有所保障。

4.3 做好预防性维护工作

预防性维护工作的目的是为了降低故障的发生率。所以,数控机床维护人员要对数控机床在实际运行的过程中可能出现的故障进行提前的预测,然后根据估测,提前做好防范工作;除此以外,数控机床管理人员还要对每台数控机床都建立起日常的维护保养计划,包括保养内容以及各功能部件和元气件的保养,然后定时定期的对这些数控机床进行维护;如果数控机床长时间闲置不用,当需要使用的时候,第一次使用时最好用较低速度进行运行。

4.4 数控机床的诊断原则

数控机床诊断技术主要是对机床进行故障监测和诊断。如果不能很好的对机床进行监测和诊断,就会使得这些机床在运行的过程中发生故障,导致机床不能继续正常工作,从而给人们的生命安全造成威胁,给企业带来不可估量的经济损失。诊断技术就能够很好的避免这些故障的发生,能够使得机床按照自身的系统正常的运行。对机床进行监测和诊断可以精确的发现机床存在的问题,然后快速的解决这些问题,从而确保机床的正常运行。由于数控机床是集多种技术于一体的现代化设备,所以维修人员在诊断故障时应该采用先由外向内逐一进行排查,尽量避免随意地启封、拆卸,这样会扩大故障范围,使机床大伤元气,丧失精度,降低性能。所以,在诊断时可以采用:先检查外部再检查内部;先在机床断电的静止状态下通过了解、观察测试、分析确认为故障,然后再给机床通电;当出现多种故障互相交织掩盖,一时无从下手的情况时,应该先解决容易的问题,然后再解决难度较大的问题。这样,遵循原则进行诊断,既能够快速诊断出故障所在的位置,又能避免对机床的损害,大大提高了工作效率。

4.5 应该为数控机床配备系统编程、操作和维修的专业人员

只有合理的配备出专业的维修人员,才能大大提高机床的维修效率。这些专业人员应该熟悉所用机床的各个部分及使用环境,并且能够按照机床和系统使用说明书的要求正确的使用数控机床。数控机床的使用环境会影响机床的正常运转,所以在安装机床时应该严格按照机床说明书规定进行安装,在经济条件允许的情况下,应该将数控机床与普通的机械加工设备隔离安装,以便对机床进行维修和保养。

4.6 数控机床系统中硬件控制部分的维修与保养

数控机床系统硬件控制部分是数控机床的核心,所以一定要重视对其的维修与保养工作,每年应该让有经验的维修人员检查一次,检测有关参考电压是否在规定的范围内,检查系统内各器件连接是否有松动的现象,如果有及时进行维修。还要,检查各功能模块使用风扇运转是否正常并且是否清除灰尘,这样,可以延长数控机床的使用寿命。

4.7 制订数控系统日常维护的规章制度

要根据各种数控机床的特点,确定各自保养条例,应该有一种严格的规定,除非进行必要的调整和维修,否则不允许随便开启柜门,更不允许在使用时敞开柜门;应每天检查数控系统柜上各个冷却风扇工作是否正常,检查工作环境状况,如果发现过滤网上灰尘积聚过多,一定要及时清理,否则将会引起数控系统柜内温度过高,造成过热报警或数控系统工作不可靠;还要经常监视数控系统用的电网电压;定期更换存储器用电池。

5 结语

综上所述,该文通过对数控加工以及数控机床的维护进行了分析,得出了:数控加工和数控机床都是集多种技术于一体的现代化设备,它们的使用能够大大解放劳动力,提高生产效率,但是,它们在使用的过程中也会出现各种各样的故障,所以,一定要重视对数控机床的维护与保养工作,要不断的发现专业人才,找到合适的诊断技术对故障进行监测,提前做好预防工作,从而真正保障数控机床能够安全、平稳的运行,真正提高生产效率。

参考文献

[1] 任建平.现代数控机床故障诊断及维修[M].北京:国防工业出版社,2005.
[2] 杨文明.数控加工及数控机床的维护[J].科技创新与应用,2013(31):92.
[3] 刘永久.数控机床故障诊断与维修技术(FANU系统)[M].北京:机械工业出版社,2011.

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.15989/j.cnki.hbnjzzs.2021.12.032

摘　要:随着经济的飞速发展,科学技术不断完善,我国数控技术的发展也非常快速。在数控技术不断应用到机械制造的过程中,机械制造的工作越来越科学合理。将数控加工技术不断运用到机械制造过程当中,对机械制造整体的科学性和合理性以及提高机械制造的效率都具有积极意义。需要不断提升数控加工技术的应用标准和操作水平,将数控技术同机械制造有机结合,不断提升机械制造工作的有效性。对此,本文将对数控加工技术应用在机械制造过程当中的积极意义以及应用策略进行详细探讨。

关键词:数控技术;机械制造;概念;重要性;应用研究

数控加工技术在机械加工制造中的应用研究

季顺延[1,2]

1、天津职业大学　　2、天津汇通精密机械有限公司

随着经济全球化趋势不断增强,我国的经济水平不断攀升,科技也需要得到提升,以满足高质量产品的技术水准的需要。因此,针对目前的发展状况,我国需要全面提高数控加工技术在机械制造业当中的全面应用,不断加强机械制造工作的整体效率和整体质量。因此,相关技术人员也着重关注数控加工技术在机械制造业当中的整体应用情况和应用方法,不断以更高的技术标准要求自身,切实提高数控加工技术应用在机械制造工作当中的整体效果。随着科学技术的不断发展,我国对于相关的数控技术的应用能力也在不断增强。将数控技术同机械制造领域相结合,也有利于促进各行各业之间的相互配合与相互融合,满足我国日益增长的生产需要。不断提高我国机械制造产品的整体质量以及生产过程中的集体效率。

1 有关数控加工技术的基本概念与特点研究

1.1 科学展开相应技术基本概念的研究

数控加工技术借助电子信息技术,不断提升自身的加工能力,提高机械制造业的整体加工效率,依托当代信电子信息技术的不断发展,强化自身的数控信息操控能力,提高整体的工作效率和工作质量。同时依托强大的电子计算机操作系统,不断增强数控加工技术整体的科学性、合理性,不断完善数控加工技术。促进数控加工技术同多个领域相结合,不断提高整体的加工质量。因此,相较于传统的机械加工技术,将数控加工技术应用于机械加工过程中,可以提高机械加工的精准程度,切实完善加工产品的整体质量. 并且将数控加工技术应用于机械加工过程中,可以利用高效的自动化控制模式,降低整体的工作负荷程度,提高工作效率。对此,数控加工技术整体应用效果,需要不断完善与加强。不断提升数控系统的整体操控能力,优化机械制造行业的加工效率、加工质量。在后续的数字信息化处理工作当中,对机械加工的数据精准性的要求不断提高,满足整体的加工技术的需求。

1.2 关于数控加工技术的主要特点分析

利用数控加工技术进行机械制造,可以有效地利用信息处理功能,强化对机械制造过程当中的参数要求,提高数据的严格化、严谨化、标准化。利用计算机系统,控制整体加工过程中的参数指标,不断提升加工过程中的数据准确性,不断完善、强化整体机械制作过程的科学性、合理性和系统性。对此,数控加工技术应用于机械加工当中,能够不断增强机械制造整体的工作效率和加工质量,完善机械加工的整体运行模式。在进行机械制造的工作过程当中,不可避免地会需要制作一些结构复杂,精准度要求较高以及形状带有曲面等情况的零件。传统的机械制造对这些零件的制造过程虽然有人工进行严格把控,但是仍会出现失误,导致出现零件整体质量不达标的状况。而利用数控加工技术进行零件加工,可以有效地提高零件的制作加工整体质量。利用数控技术处理信息数据的严谨性,可以提高零件加工的整体质量。

2 在机械制造工作中应用数控加工技术的意义分析

2.1 切实提升机械机床的控制能力

机械机床是机械制造工作过程的重中之重。在进行机械制造过程中,对机床的整体控制能力会极大地影响最终机械制造出来的零件的整体质量。因此,对机床的控制能力需要不断加强。数控加工技术应用在机械制造工作中,可以不断提高加工的整体科学性以及加工过程的系统性。将数控加工技术灵活运用在机械制造过程当中,不断提高机械机床在制作过程中的制造能力,完善整体的加工体系。利用数据信息系统不断提高对机械机床的整体控制能力,能够强化机床加工过程的精准性,保障最终产品质量,优化加工制作的模式。

2.2 科学促进汽车领域的全面发展

数控加工系统的整体应用,依托于计算机系统的精准操作,不断提高机械加工的整体质量。在进行汽车产业的数控加工机械制作过程中,对汽车生产过程当中的各个零件以及各个细节,通过数控加工系统实现精确、严谨的把控。对于数控技术的精准操作能力,能够不断提升汽车制造过程当中各个细节的精确程度,提高汽车运行的稳定性能。通过数控加工系统,切实提高汽车的整体质量,完善机械加工系统的科学性和严谨性。

2.3 确保综合竞争力的实现

在各行各业飞速发展的过程中,对机械加工制造的整体制造能力,提出了更高的要求。特别是在重工业等领域,对于机械加工的技术的水平要求更严格。因此,将数控加工技术与机械制

作者简介:季顺延,男,1999 年出生,江苏滨海人,本科,助理工程师,研究方向:数控加工技术。

造相结合时，不断提升机械制造的整体质量和整体水平。利用数控加工技术，优化整体制作模式，不断增强整体的竞争能力。以质量取胜，以速度取胜。同时，在为相关产业进行机械加工时，将数控技术引入到机械加工的整体运行过程当中，提高操作水平和操作能力。不断提升整体的加工质量，优化产品质量。以数字信息化技术支持相关领域的机械制造工作，从根本上保证产品的整体质量，不断提高我国制造业的水平。切实提高在制作过程的整体效率，不断增强我国在机械制造业上的竞争能力。

3 有关数控加工技术在机械制造中的具体应用研究

3.1 关于在机床操作中运用数控技术

在具体的数控技术加工过程中，不断完善、强化整体机械制作过程的科学性、合理性和系统性。以标准化的机械制造流程，规范零件制作标准。在机床操作过程当中，需要以数控加工技术提高对机床整体操作能力。对于机床操作的整体效用，需要不断依托数控加工系统，以数字信息技术控制机床在生产过程中的各个环节，不断提高整体工作效率。机床加工时，零件加工的衔接过程，也需要强化数字加工技术的运用，在衔接过程当中保证机床操作安全性。同时依托数控加工技术，对机床操作的整体模式进行规范处理。在加工过程当中对加工全过程进行全面化、整体化和细节化的监督管理。不断提升机床运作的安全性。同时，将数控加工系统同机械制造相结合，不断提高工作人员的工作积极性以及专业性。以先进的科学技术，增强机械制造的整体安全性与效率性。切实优化传统机械制造过程中的弊端，不断通过数控加工系统，完善整体的操作模式和操作流程。不断优化数控加工系统在机床操控当中的应用模式，提高数控加工系统使用的积极意义。

3.2 有关煤炭运用领域中此项技术的科学应用

随着科学技术的不断发展，数控加工技术运用在机械制造过程当中，在各个行业各个领域上，不断以规范化的操作流程和科学严谨的操作模式，对相关产业和相关行业的机械加工进行优化处理。对此，在进行煤炭操作工作时，数控加工系统的应用，让煤炭操作整体工作更系统、更完善。以科学技术作为支撑，不断依托计算机体系，完善整体的操作流程。在煤炭领域当中，利用数控加工系统，以科学的信息操作模式，提高了煤炭工作整体安全性和系统性。切实完善了整体的操作流程，改善了工作模式，提高了工作效率。将数控加工系统应用于机械加工过程当中，提高煤炭开采时的整体安全性，保障相关工作人员在进行煤炭开采工作时的安全。同时，煤炭开采的整体速度得到了有效提升，切实提高了煤炭的整体产量，促进煤炭产业的快速发展。我国主要以采煤机械展开传统的采煤模式，而在这种状态下，采煤机械的整体运行速率过慢，导致煤炭的整体开采量较低。而利用数控加工系统，对煤炭开采的整体效率进行优化，完善开采流程的相关细节，在保证相关人员安全的前提下，对煤炭开采工作进行了优化处理。

3.3 关于数控加工技术在汽车行业中的科学应用

在汽车行业的加工与制作过程当中，汽车的各个部分的零件部件数量非常庞大。受制于汽车整体性能的影响，应用于汽车上的各个零件之间的关系非常密切。因此，在进行汽车行业的加工过程当中，利用数控加工系统，提高对汽车产业的零件部件的严密精准的加工，提高加工的整体质量和整体效率。不断增强各个零部件之间的密切联系，以精准的数据控制各个零件的标准程度，提高汽车制造的整体质量，将零件装配到汽车中，能够对汽车的整体运行起到积极作用。依托数控加工技术，强化整体的加工效率，提高汽车行业的整体竞争能力。以科学严谨的数控加工系统，同时依托信息技术的整体效用，不断强化在汽车加工过程当中加工技术的整体优化，切实提高汽车产业的整体质量。对汽车制造过程进行优化。强化数控加工系统在汽车行业当中的应用能力。

3.4 在智能化、网络化领域中的全面应用

数控技术与互联网技术之间的关系极为密切。因此，在进行数控技术的优化过程当中，需要将数控技术同智能化和网络化结合，充分利用数控技术的信息处理能力，以智能化手段进行数控的优化处理，提高数控技术的整体信息处理能力和对机械制作的操控能力。同时依托电子信息技术，不断提高数控技术同网络的联结能力。将数控技术同智能化和网络化相匹配，不断增强数控技术在机械工程制作过程中的积极作用。同时，利用智能化和网络化，对机械加工的整体过程进行全面、细致的监督与控制，增强机械制造整体过程的严谨性。智能化和网络化同数控技术的联结应用，能够帮助数控技术在机械加工过程中优化能力，不断强化在机械制造过程当中的控制能力，保障机械制作过程的安全。以高新科技不断促进数控技术的整体发展，同时依托网络信息技术同先进技术的不断结合，吸收其他更优化的机械制作手段，提高整体的加工质量，不断优化产业模式。

4 结语

综上所述，在进行数控加工技术的机械制造过程当中，需要不断增强相关技术人员的专业操作能力和相关产业的整体加工质量，完善加工模式。以科学技术不断完善加工质量。在进行数控技术的加工制造过程当中，需要结合智能化、网络化的手段，不断强化制作能力。将数控加工技术不断运用在机械制造过程当中，对机械制造整体的科学性和合理性以及提高机械制造的效率都具有积极意义。依托数控加工技术，不断提高我国制造产业的整体制作模式，强化制作手段。依托高新技术，汲取其他先进的科学手段和制作理念，提高我国制造业的整体竞争能力。

参考文献：

[1] 陶攀.数控加工在机械制造中的应用探讨[J].内燃机与配件,2020(23):77- 78.

[2] 吴进扬.数控加工技术在机械模具制造中的应用[J].科技风,2021(09):184- 185.

[3] 李焱.数控加工技术在机械模具制造中的运用探讨[J].内燃机与配件,2021(04):79- 80.

[4] 岳伟平.数控加工技术在机械模具制造中的运用分析[J].内燃机与配件,2021(05):80- 81.

[5] 冯超.数控加工技术在机械模具制造中的应用分析[J].内燃机与配件,2021(04):81- 82.

数控加工技术在机械模具制造中的具体应用

张杰
(天津职业大学,天津 300410;天津汇通精密机械有限公司,天津 300410)

摘要:机械模具制造在加工制造行业中是非常重要的内容,制造机械模具对其精度的要求非常高,随着制造加工技术的不断革新,使用传统的加工制造技术已经不能有效满足制造生产的实际需求,因此需要对制造技术进行优化。数控加工技术在机械模具制造中的应用,能够使模具制造的效率和精度得到有效的提升,推动机械制造行业得到更加稳定的发展。鉴于此,本文主要针对机械模具制造中数控加工技术的有关应用内容进行了分析,以供参考。

关键词:机械模具制造 数控加工技术 应用
中图分类号:TG519.1 文献标识码:A 文章编号:1674-957X(2021)13-0081-02
DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2021.13.039

0 引言

由于社会的不断进步,我国市场的竞争形势逐渐严峻,面对这样的情况,机械加工制造行业的发展需要深入改革,对制造生产进行有效的革新。数控加工技术在机械制造过程中进行使用,能够使机械加工的质量和效率都得到良好的提升,同时机械零件加工制造的多样化需求也能得到较好的满足,有助于提升机械制造行业的综合水平。而在机械制造行业中,机械模具制造是其中非常重要的内容,利用数控加工技术的优势,推动机械模具制造得到高精度、多样化的发展,同时不断对数控加工技术进行优化,通过使用新型的数控加工技术提升机械模具制造的水平。

1 数控加工技术概述

数控加工技术主要是在制造生产中,通过计算机技术对机床加工的部件进行控制,以使制造生产的自动化水平得到良好的提升。数控加工技术可以从软件和硬件两部分进行介绍,针对软件部分来讲,主要是指数控加工技术中的程序编码系统和计算机系统等。机械制造生产的过程中,需要通过程序编码将系统的程序设置好,对部件制作的尺寸大小进行明确,使用适合的制造材料,完成自动化机械产品制造过程。在整体制造生产中,会产生大量的数据信息,在柔性制造系统中可以通过收集这些数据进行有效应用。另外,针对硬件部分来讲,主要是指机械制造生产中使用的有关机床设备、其他设施等,是机械制造生产中的主要设施用具。在以往的机床加工制造中,主要是通过人工进行操作,从而完成机械加工,而数控加工技术的使用,替代了部分人工操作,借助于传感器和数据参数,就能够进行自动化生产。

2 数控加工技术应用的种类

2.1 数控车削加工技术

机械模具的加工制造中,车削工艺技术在其中发挥重要的作用,在整个加工制造中的应用范围较广。使用这一工艺技术进行模具制造时,需要对不同种类的机械模具进行整体分析,以其为核心调整改进机械模具加工制造的工艺流程。例如,在加工制造轴承类的模具时,通过使用车削加工技术,模具加工生产的效率能够得到较好的提升。在机械模具加工中,使用车削加工技术具有较为突出的优势,不过存在的缺陷是工艺使用存在局限性,通常被应用在平面模具的加工制造中,对于部分具有较复杂结构的模具来讲,则不适用。

2.2 电火花加工技术

数控技术中的电火花加工技术主要是指在进行机械模具制造时,通过电火花的方式切割加工机械模具,这种加工制造形成较为快捷,加工的效率得到较好的提升,因此在机械模具制造中的应用相对较为广泛。针对电火花加工技术,可以在数层模具制造中进行使用,能够快速的完成加工,模具制造的品质也可以得到较好的保证。

2.3 数控铣削加工技术

数控铣削加工技术在机械模具的制造生产中也有较为广泛的应用,使用这一技术加工制造模具,可以加工生产凹凸面和曲面的模具部件,而且加工的效果较好。不过,由于模具的不同,而且模具曲面和凹凸面形式较多,在加工制造时具有一定的难度,在使用数控铣削加工技术时需要确保其合理性。这一技术使用的过程中具有较为复杂的操作流程,所以在模具加工生产中,需要相关人员对生产中的品质进行严格的控制。

3 机械模具制造中数控加工技术应用的要求

3.1 对部件的基本特征进行明确

一般来讲,在加工制造模具时,都是进行单件生产,不同的模具在结构上存在一定的不同,因此,在加工制造机械模具时,通常不会发生重复开模的现象,在这样的情况下,就对加工过程的数控机床控制和编程提出了较高的要求,在加工之前对部分结构的特殊性进行充分掌握,然后再进行后续的加工制造。

3.2 降低误差

机械模具的加工制造要求具有较高的精度,确保加工生产的模具尺寸大小精度满足标准要求,这样加工制造的品质能够得到良好的提升。因此,在进行模具加工制造时,需要尽可能的降低加工误差,相关人员进行操作时,需要严格的依照标准规范进行生产,将误差控制在最小范围内,这样机械模具加工的品质才会得到更好的保证。

4 机械模具的数控加工工序

4.1 了解机械模具零件图

数控加工技术在应用之前,相关人员需要对机械模具的制造图纸进行充分的了解,对图纸中的零件加工的参数进行细致的检查,认真看好图纸中是否标注有特殊的工序,做好机械模具加工生产的准备工作。

4.2 合理选择机械模具毛坯工件

作者简介:张杰(1987-),男,天津人,助理工程师,本科,研究方向为数控加工、模具设计研究。

中国知网 https://www.cnki.net

对制造加工的零件图纸进行充分了解后，需要依照实际要求对原材料进行合理的选择，将模具的毛坯工件以及加工技术进行合理的确定，然后再开始后续工作。

4.3 对数控加工技术路线进行明确

关于数控加工技术路线的确定主要是对机械模具加工的方法、参数、刀具等进行合理的确定，确保数控加工技术路线的准确完整性，这样就能够依照加工的任务进行编程。

4.4 对数控加工工艺进行确定

对加工工艺方法进行明确，同时对模具加工的流程进行良好的优化，其中包含粗加工成型、高精度加工、表面粗糙度加工等，加强工艺技术控制，这样模具的加工制造能够更好的满足实际要求。

4.5 对机械模具工艺备档进行移交

模具在加工制造完成后，需要进行合格检查，同时对各类零件进行全面清理，开具相关的合格证明。依照机械模具加工制造的要求，结合加工生产的工艺技术和制造方案，编制有关的工艺规程，将其和机械模具一起移交给客户进行备档。

5　机械模具制造中数控加工技术的使用

5.1 在模具加工分类中的应用

在加工制造模具之前，需要合理的分类模具，这是加工制造的基础，只有完成模具的分类工作后，才能更好的选取数控机床，确保模具加工制造的顺利进行。在分类模具之后，对数控机床进行合理的选取，这样机械模具的加工制造效率和品质能够得到更可靠的保证。现阶段，我国的数控加工技术水平得到了较好的提升，数控机床的类型也逐渐增多，像切削机床、成型机床以及特种加工机床，在对加工制造的模具进行分类后，数控机床的选择会更有针对性，这样后续工作才能更好的开展。

5.2 在模具工艺规划中的应用

加工制造机械模具时，数控加工技术需要进行合理的规划，以使加工的效率得到提升，确保编程工作顺利开展。技术人员在进行技术规划时，要注意控制机械模具一次装夹操作的完成度，尽可能的保证模具加工一次性完工。另外，机械模具的加工制造对精度的要求非常高，制造中关于定位的误差要进行合理的控制。如果加工平面机械模具，平面加工工序完工后，需要进一步规划孔及内表面工序，接着再加工外表面。再者，使用铣刀加工制造机械模具时，模具表面所施加的力较大，而模具加工具有较高的精度要求，即便是微小的形变，也会影响模具轮廓的精准性，所以，需要使用钻孔和铣平面交替操作的形式。

5.3 在模具数控编程中的应用

数控加工技术在模具的编程中应用，具体来讲，首先，对刀具的种类需要进行合理的选择。由于机械模具的制造生产中对技术具有较高的要求，实际加工过程中如果使用的刀具种类满足不了加工的实际要求，对模具成型制造的品质就会产生影响，达不到使用要求就会造成加工成本的浪费。机械模具在加工制造中，使用的各类模具要求需要记录到相应的数据库中，依照具体的加工要求对刀具进行科学的选择，以便提升加工的品质。另外，切削技术的应用需要进行充分的分析，数控加工中的切入和切出工艺会影响模具生产的品质效果，所以，在数控编程中，可以对切入和切出方式进行合理的选择。

5.4 在模具仿真验证中的应用

数控加工技术在机械模具加工生产中的使用，能够更好的控制生产出错率，然而在实际的生产加工过程中，由于受到技术人员操作形式、加工环境等因素的影响，模具的制造可能会存在过切、碰撞等问题，影响最终模具的品质。因此，在模具加工制造中会进行仿真验证。在这一部分工作中，相关人员需要对加工生产的环境进行全面分析，找到加工生产中影响加工品质的各类因素，然后制定出针对性的解决方案，确保加工生产的品质。此外，现阶段模具的仿真验证可以通过多种软件展现其动态图像，仿真验证形成的模型和实际模型之间的差异能够更好的展现，利用动态图像变化，能够对数控加工技术的应用进行优化。

5.5 在模具加工精度提升中的应用

数控机床的程序化控制对加工精度和效率的提升起到较好的帮助。在一般的模具加工制造中，通常使用人工操作方式，这样人为因素就会对加工品质造成一定的影响，操作的偏差难以保证为零，而数控加工技术的应用，可以替代人工操作的加工形式，降低人为操作因素对加工生产的影响。一般人为操作时机械模具的表面容易出现不平整的缺陷，而在加工制造中使用数控加工技术，可以通过控制程序来提高数控机床加工的精准性，模具加工生产可以更好的实现标准化。例如，数控加工技术应用后，模具悬空时可以利用悬臂梁支撑，悬空的面积可以得到降低，出现震颤的情况就会减少。同样在选择加工的刀具时，对其直径和长度尺寸需要进行综合的考量，尽可能的避免出现震颤，这样模具加工生产的品质会得到更好的保证。

5.6 在模具加工生产中的应用

数控加工技术在机械模具加工生产中应用，需要有关人员综合分析模具的加工制造方案，对零件的种类进行明确，依照加工制造的实际要求对数控机床种类进行合理的选取。加工制造模具时，需要用到装夹工件，因此，对于工件的大小需要进行明确，通常使用助架板将机床螺栓固定，同时建立坐标系，对模具的加工偏差进行精准的控制，使其加工精度提升。另外，加工生产过程中，数控机床和铣床等设备在多个工序中都有使用，一台数控机床通常难以满足整个加工过程的需求，对加工工序需要进行科学的安排，将模具的毛坯进行开粗处理，使加工余量尽可能的减少，确保加工制造的成效。

6　结束语

总而言之，在现如今的社会发展形势下，科技水平的快速提升推动我国机械加工制造行业得到良好的发展。将数控加工技术应用到机械制造生产中，能够使模具加工制造的效率和品质得到更好的保证。因此需要对数控加工技术进行不断的升级优化，更好的提升数控加工技术在机械模具加工中的应用成效。未来数控加工技术的发展会朝着高效化、柔性化、集成化以及智能化方向发展，数控加工技术在机械加工制造中的应用效果会更加突出。

参考文献：

[1]张津源.数控加工技术在机械模具制造中的具体应用[J].大众标准化，2020（24）：172-173.

[2]杨鹏.浅析数控加工技术在机械模具制造中的具体应用[J].时代汽车，2020（15）：123-124.

[3]韩佳.数控加工技术在机械模具制造中的应用[J].山东工业技术，2018（15）：21.

中国知网　https://www.cnki.net

文章编号：2095－6835（2019）01－0031－02

数控加工技术在模具制造中的应用分析

李文军，张 杰
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：随着新时代的到来，现代化信息技术不断提升，在工业加工企业当中信息技术得到了广泛的应用，数控加工技术的应用就是其最显著的体现，尤其是在模具制造中的应用更加显示出其具备的优势。为了更好地促进模具制造业的发展，针对数控加工技术在模具制造中的应用进行了分析。

关键词：数控加工技术；模具制造；数控机床；生产效率
中图分类号：TG659；TG76 **文献标识码：**A DOI：10.15913/j.cnki.kjycx.2019.01.031

随着新时代的到来，社会各个领域都得到了快速发展，其中工业领域的发展速度极快，模具制造行业也不断提升了标准要求。随着时代发展，人们对于模具在精确化、标准化以及多样化等方面要求也越来越高。传统的模具制造技术其自身具备的各种工艺特性，已经难以满足当前现代工业发展的需求。而作为新加工技术的数控加工技术，被广泛应用于模具制造行业之中，促进了我国现代工业的发展。

1 关于数控加工的重要概述

1.1 数控加工技术的重要定义

所谓数控加工技术，主要是通过对现代化数字化信息技术的应用，在机械设备中实现自动化控制的一项新型技术。它能够使现代化的机械设备实现当前工业领域需求的自动化控制，并能够将其广泛应用到其他方面。随着社会不断的发展与进步，社会经济的发展推动了人们生活水平的提高，人们对各式各样产品的需求量也逐渐加大，在产品质量方面要求也越来越高，为了能够将产品在生产周期与速度慢方面的局限打破，运用新技术是各个企业实现各种产品制造的重要途径，数控加工技术的出现解决了各大企业的这个难题。数控加工技术不是单一的一种技术，它融合了数控编程与数控机床加工工艺两种技术，使二者之间相互建立联系，并且能够各自将其自身所拥有的作用进行充分发挥。其中数据编程技术是针对于零件加工而采用的技术，它能够将数控机床所蕴含的功能最大化进行发挥，而数控机床在数控加工设备中属于基础性设备，它能直接影响整个加工过程的精度与效率，两种技术相互之间协调配合，才能将数控加工技术的真正作用切实充分发挥。而在数控加工技术不断得到推广与应用的过程中，它的优势也不断得到突显，从而被引入到了我们模具制造的行业之中。

1.2 数控加工的主要特征

数控加工技术具有非常显著的特征，具体体现在以下 5 个方面：①生产出的产品具有高质量。在数控加工技术中采用了数字一体化的操作系统，这一操作系统的优势非常强大，它能够对生产的误差进行有效控制，能够将误差控制在允许的范围之内，进而使得所生产加工的产品精度与质量得到了保证。②能够对比较复杂的零件进行加工与生产。在数控加工技术的数控机床驱动装置中，主要包含了 4 个部分，分别为主轴电机装置、进给单元装置、进给电机装置以及主轴驱动装置，这 4 个部分能够实现相互之间的多坐标联动效应，从而实现对各种非常复杂模具的加工及生产的任务。③具有非常高的生产效率。在进行产品生产加工的过程中，其质量、生产周期、生产成本都会给企业在市场竞争力方面带来非常直接的影响，同时也会对企业生产经营所获得的经济效益产生很大程度的影响。而作为现代化的模具制造企业，要想获得长久、可持续化的发展，必须从提升产品质量、缩减生产周期、降低产品生产成本等方面来实现。而数控加工技术中的数字一体化操作系统在其中发挥着至关重要的作用，它能够将影响产品生产的枷锁打破，使产品加工的速度得到提升，从而缩减模具生产制造的时间，加快产品生产的速度，将产品生产的周期缩短，这些对于提高生产效率都是极为有利的；所生产的产品精度的高低，与产品质量有着直接的关系，产品精度越高产品质量越高，产品质量获得提高，势必促进产品竞争力的提升，进而使得企业的整体经济效益获得提升。④具有较高程度的自动化。在数控加工技术中所采用的操作系统属于数字化操作系统，具有非常强的数字化特征，并且在生产应用中也有非常高的连续性及自动化。数控加工技术与传统加工技术相比，在操作人员方面，它不仅能够更大程度减少工作人员的工作量及劳动强度，还能够使模具制造在生产中实现连续性，高效地将生产误差进行控制，使其能够始终处于允许范围之内，以此来保障产品的质量，同时还能有效提升产品的加工效率。此外，对数控加工技术的充分利用，能够使流水生产线的操作方式得以实现，相关工作人员在进行操作时仅仅需要依照操作的要求来

中国知网 https://www.cnki.net

实施操作即可实现生产，而且在人为方面，出现错误的概率非常小。所以数控技术才能够在众多模具制造企业当中获得推广并被广泛应用，通过对其的应用为企业获得了非常好的经济效益。⑤在操作技术方面的要求比较高。由于数控加工技术的操作系统所采用的是数字化操作系统，所以其在信息化方面的程度是非常高的，因此，在进行模具产品生产的过程中，对操作人员有较高的技术要求。一般情况下，在数控加工技术下应用的操作人员必须具备最基本的计算机操作技能、专业化的数字化操作技能，此外，还需要非常精通各种类型的数控加工技术中所使用的控制语言，这样在进行生产操作时才能够准确无误地下达指令，与此同时，对于他们而言，具备一定的代码编写能力，能够更好地对数控机床进行有效控制。

2 数控加工在模具制造中应用的优势分析

2.1 能够有效提升模具制造的精度

在当前的模具制造行业中，人们对于模具制造的精度要求越来越高，而模具精度又是保证产品质量的关键。过去传统的模具制造工艺在应用过程中相对而言较为复杂，所包含的生产流程主要有铣、磨、车等环节，而且主要依靠相关生产技术人员通过手动操作的方式来完成，在加工技术方面很难保障其精度，在生产效率方面也非常低。而在数控加工技术被广泛应用和推广之后，模具产品的精度得到了很大程度的提升，并获得了有效的保障，与此同时，产品的生产效率得到提升。在数控加工技术中，集合了非常专业的铣床、成型机床等，这些方面都含有较高的数控技术成分，既可以使模具加工在选择类型方面的需求获得满足，还可以满足在空间方面、曲面方面的需求等，还能够使相关的加工材料具有选择性，使其选择的范围更加广泛。

2.2 能够有效提升模具制造的生产效率

随着当前社会经济发展速度不断加快，市场竞争环境也愈加复杂与激烈。而当前的模具制造行业要想使产品能够有效提升竞争力，必须加强产品质量，降低产品的生产周期以及产品的生产成本等，使产品的质量获得提高，产品的生产周期得到缩减，产品的生产成本得到控制进而降低，这些方面的改变是提高模具产品在市场经济竞争力的最佳途径，同时也是模具生产企业能够获得更高经济效益的一种重要手段。因此，在进行新型模具产品相关项目的研发时，要进行周全考虑，既要对模具产品的实际生产周期如何缩短进行考虑，又要考虑如何提升产品的生产效率，从而切实有效帮助相关模具制造企业提升竞争力，使其能够在市场竞争激烈的环境中获得发展优势及较高的地位。数控加工技术在模具制造中具有非常高的优势，其拥有的切削工艺技术具有高速切割的能力，能够保证生产加工出来的各种模具产品都具有非常高的品质，不仅产品质量非常好，而且在产品的精度上也非常高，并具有超强的稳定性。通过相关的科学研究发现，数控加工技术与传统加工技术相比，其铣削工艺在加工速度方面数控加工技术是传统工艺的 10 倍，而通过对数控加工技术利用，其产生的误差都能够控制在 0.01 mm 之内，不仅使模具产品的加工精度得到有效提高，还促进了产品加工效率的有效性提升。除此之外，数控加工技术还能够针对一些质地非常坚硬的材料进行加工，促使模具产品在加工的过程中拓宽了材料选择的范围，进而促进了模具企业在生产方面的拓展，从而帮助企业创造出更高的经济效益。

2.3 能够推动模具制造实现智能化的发展

随着社会的发展我国已经步入了现代化的信息时代，人们无论是在日常的生产中还是在生活当中，信息身影几乎无处不在，而在模具产品的制造中也同样离不开信息技术。可见信息技术的推广与应用在模具制造行业之中，极大推进了该领域朝向智能化方向发展。

3 数控加工技术在模具制造中的应用分析

3.1 数控铣加工在模具制造中的具体应用

数控铣床在数控加工技术中属于较为典型的设备。数控铣床在很大程度上促进了模具制造行业的转变，生产出原来传统技术加工工艺难以生产的、非常复杂的模具，有效缩减了产品制造的时间，还使得模具在制造精度方面得到了提高，并在实际生产中减少大量使用手工操作的概率，成功缩短了产品制造的周期。数控铣加工技术应用于模具制造生产中，主要应用在以下几个方面：①在轮廓加工中的应用。有效改变了原来传统铣床技术在生产效率方面低下的状态。②在曲面加工中应用。曲面合成在注塑模零件制造的过程中，大部分零件表面都是具有一定曲面的。在数控铣加工技术中，曲面加工是加工工艺中最具典型的工艺，再次将工艺与 CAD 软件进行结合来实现编程，通过数控铣床技术的应用，能够使多种非常复杂的曲面类型产品的加工得以实现，而且所加工制成的零件部件品质都非常高，几乎不存在残次品。③在孔加工中的应用。钻孔、扩孔等技术在进行模具孔加工的过程中，是常见的操作技术，将数控加工技术应用于孔加工生产之中，能够实现将所有加工程序都在一台机床上进行，不仅有效提升了精度，还缩短了产品制造时间。

3.2 数控车加工在模具加工中的具体应用

有些零件在精度方面的要求是较高的，数控车床能够很容易满足其要求，这是因为数控车床的整体刚性非常好，它能够保证产品制造时保持极高的精度。零部件的尺寸精度需求在 7 级时，利用数控车加工来进行生产基本上没有什么困难，有时在一些特定的场合能够实现以车代磨。而且在数控加工技术下的车削，其使用的刀具是通过插补运动使其实现运动，再与刚性较好的机床进行良好配合，因此，在各个方面要求都比较高的零件都可以采用车加工的方式来进行，比如直线度、圆度还有圆柱度等方面要求较高的零件。如果在

（下转第 34 页）

中国知网 https://www.cnki.net

墨烯具有高刚度和强度，它在聚合物复合材料中作为增强体中显示出了巨大潜力，可以进一步提高复合材料的力学性能。最终的结果是添加 2%的石墨烯到环氧树脂中，并与纤维方向排列一致时可以大大增强其机械性能；通过拉伸试验分析了所得到的石墨烯和碳纤维复合材料，并利用拉曼光谱和X射线 CT 扫描初步揭示了其中的机理。

2.3 抗磁性

瑞士钟表制造商 Zenith 将推出其老牌旗舰手表 El Primero 的新版本 Defy El Primero 21，该手表基于碳纳米管和石墨烯基体的游丝。石墨烯增强复合材料的游丝对于外界磁场和温度变化具有很强的抵抗力，可以与目前许多高端手表品牌使用的质量最好的硅游丝媲美。

3 石墨烯手表工艺

TPT™碳纤维由平行微丝复合而成，多达 600 层，而最大厚度只有 30 μm。将它们注入含有石墨烯的机械增压树脂，然后使用数控机床对其纤维层进行 45°编制；在 120 ℃、6 bar 压力下，加热凝固形成石墨烯碳纤维复合材料。McLaren 应用技术进行了无数次控制与验证测试，开发出各种解决方案，最终生产出 Graph TPT™，这种在制表领域仅为 RICHARD MILLE 独家应用的材质。在 RICHARD MILLE 的生产基地，我们致力于机芯部件和表壳的研发团队，将他们的精力投入到如何巧妙使用 Graph TPT™创造和编程微米级精度的切割工具。通过以上设计和制造工艺得到的三部分式表壳，在各方面都无可匹敌，它不仅保留了人体工程学以及独特、惊艳的外观，还拥有超高的抗震及超轻的特性。

4 结束语

由于石墨烯具有优异的机械、光电等性能，使得石墨烯材料被用于很多领域。特别是用于复合材料方面，由于石墨烯的加入进一步提升复合材料的性能。不仅减轻了复合材料的重量，还提升了复合材料的机械性能，还具有很好的抗磁性，再加上工艺难度较小，使得石墨烯在提升新材料性能方面还有很多提升空间。

参考文献：

[1] 郑诗颖.由石墨烯打造的世界最轻手表[J].现代材料动态，2017（10）：12.
[2] 李丰恺.石墨烯研究进展[J].化学进展，2009，21（12）：2559-2567.
[3] 匡达，胡文彬.石墨烯复合材料的研究进展[J].无机材料学报，2013，28（03）：235-246.
[4] Jingwen Chu，Robert J.Young，Thomas J.A.Slater，et al. Realising the Theoretical Stiffness of Graphene in Composites through confinement between Carbon Fibres[J].Composites Part A：Applied Science and Manufacturing，2018（113）：311-317.

作者简介：赵均辉（1989—），男，陕西蒲城人，硕士，主要从事金属材料方向的研究。

〔编辑：张思楠〕

（上接第 32 页）

利用机床车进行产品加工过程中，发现机床车加工的位置在精确度方面没达到要求，我们可以通过相关程序进行相应的修正，以提高产品加工的精度。

3.3 数控加工对刀技术的具体运用

在进行工件加工时，先在机床上进行定位装夹，将这一步完成之后，必须对工件在机床上安装的位置正确与否进行确定，这样才能方便和机床上原来存在的坐标系建立联系。在对工件在机床上具体安装位置确定的具体过程，实际上是通过对机床上刀的位置来确定的，在对加工工件的编程坐标系位置确定时，其编程加工的位置也都是按照这个坐标系作为参照的。我们在需要加工零件的图纸上进行工件坐标系的建立时，需要保证零件上存在的所有几何元素的位置都必须明确，而在进行工件坐标系原点确定时，通常都是以零件加工图上某一个具有特征的点作为原点，建立坐标系，这样才能使编程当中建立的坐标系能够实现与工件之中建立的坐标系重合。在数控加工技术中能够实现编程，而编程又可分为手工与自动两种编程，为了能够使程序得到简化，当前利用计算机编程技术已经成为未来发展的一种趋势。

4 结束语

总而言之，无论什么时候实现经济的发展都是无止无休的，因此，实现工业生产行业的发展也是永无止境的。我国工业生产水平随着科技的进步不断得到提高，在模具加工方面的要求随之不断提高。因此，在新时代背景下，模具加工企业需要对新技术进行不断研究，通过提高产品的生产效率、质量来提升自身的竞争力，这样才能更好地在复杂的市场环境中生存和发展。

参考文献：

[1] 江文思.数控加工技术在模具制造中的应用探讨[J].南方农机，2018，49（15）：166，169.
[2] 石国军.模具制造中数控加工技术应用分析[J].现代工业经济和信息化，2018，8（8）：61-62，65.
[3] 闫拓，杨艺，杜鹏.数控加工技术在机械模具制造中的应用[J].时代农机，2018，45（6）：247.

〔编辑：严丽琴〕

中国知网 https://www.cnki.net

数控加工质量的影响因素及提高探讨

刘炜

（天津职业大学，天津 300410；天津汇通精密机械有限公司，天津 300410）

摘要：数控加工是制造行业中非常基础且必要的一个生产环节，随着自动化生产的普及，数控机床的使用也越来越广泛。数控加工的质量直接在源头上决定了加工产品的质量。制造业一直是国之重本，随着社会经济的快速发展，行业对数控加工的精密度也有了更高的要求。如何提高数控加工的质量，哪些因素能够决定并影响了数控加工的质量，本文将从数控加工的源头进行分析和探讨。

关键词：数控加工；影响因素；质量

中图分类号：TG519.1　　文献标识码：A　　文章编号：1674-957X（2021）13-0160-02

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2021.13.077

0 引言

数控机床，顾名思义，就是通过数字化的手段，将要求写进程序，通过程序控制机床将模具加工成目标零部件。因此，越是复杂的零部件，越是精密的零部件，对技术水平要求就越高，相应地想要达到高标准高水平高质量，难度就更大。数控加工技术已经日益完善，但是在实际生产过程中仍然存在很多问题和困难需要我们去改进和解决。

1 影响数控加工质量的因素

1.1 夹具

夹具，是一种装夹工件的工艺装备，对数控机床用夹具的精确度要比对一般夹具的要求高很多。机床只会按照制定好的程序对特定位置的模具进行固定化的加工，因此，夹具的对质量的影响是显而易见的。首先，夹具决定了工件在车床上的位置，如果夹具使模具摆放的位置超出了允许的误差，那么数控加工出的零部件极有可能是不标准甚至报废的；其次是固定的松紧程度，夹具过松导致加工时模具移动了位置，夹具过紧导致无法按照既定程序转动等等，都会导致加工出的产品存在质量问题。根据生产的产品类型、模具的材质、工序的复杂程度等等多种因素，选定合适的夹具种类和材质都会对加工的质量起到影响。

1.2 刀具

刀具是数控机床工艺系统中最活跃的一个部分。数控刀具对加工质量的影响有以下四个方面：第一，刀具精度，数控刀具相比普通刀具有更高的精度，精度越高，加工出的工件的精度也就越高；第二，刀具形状，加工不同形状的工件，要对应选择合适形状的刀具，例如零部件外轮廓的加工多选用立铣刀，加工凹凸不平的表面时，多选用高速钢立铣刀，加工圆弧曲面时，多选用球头铣刀。如果在加工时没有选择合适的刀具形状，也会直接影响生产质量；第三，刀具尺寸，数控刀具有非常多的尺寸型号，不同尺寸大小的工件，要选用不同尺寸的数控刀具，如果选用了不合适尺寸的刀具，效率大打折扣以外，会降低加工的精度，影响质量；第四，刀具材质，市面上的道具有很多种材质，常用的有硬质合金、表面涂层、金属陶瓷、非金属陶瓷以及超硬材料等。不同材质的工件，要选用不同材质的刀具，如果选用的材质不合适，切削结果就会不精确，直接影响质量。

1.3 加工工艺

工艺是数控加工过程中难度最大也是对质量影响最大的一个环节。现代数控的加工工艺是由人工结合计算机共同设计的，工艺的各个环节设计的合理性都会对最终加工出的产品质量起着决定性的作用。多年来，加工工艺经过一代又一代的更新升级，经过不断的尝试与修正，模具的加工质量已经得到了极大的改善。

1.4 人工因素

科技再发达，技术再发展，在制造企业加工过程中仍然需要人工的参与。操作人员的技术水平、工作态度等等，都直接影响了生产的质量。目前工厂的基层操作工人素质仍然偏低，如果能够提升工人的人员素质和技术水平，那么我国的制造业的质量水平就能够提升到一个新的阶段。

2 造成质量问题的不良因素

2.1 控制系统的误差

系统造成的生产误差一般出现在三种情况下：第一种是开环数控系统，一般用于经济型的数控机床，不带位置检测装置，只按照数控装置的指令脉冲进行工作，对移动部件的实际位移不进行检测和反馈，通常采用功率步进电动机作为执行元件，加工过程中容易产生误差造成质量问题；第二种是闭环数控系统，这种控制系统的精度相对高一些，一般用于高精度的机床，安装调试较为复杂，在加工过程中，容易在传动间距上产生误差，导致在转动时影响精确度；第三种是半闭环数控系统，这种系统的精确度比开环系统高，比闭环系统低，这种系统很容易在生产时，由于工作台在变换位置时被反应环造成的不良干扰进而产生一定的误差造成精度下降影响质量。

2.2 机械造成的误差

数控加工过程中，液压驱动的应用大大地减少了机床上下移动所耗费的时间，利用解锁设备也提升了工作效率。但是，无论应用什么样的方式，无论是高精度还是低精度车床，在升速以及降速的时候，难以避免地会出现在时间上的误差，导致运行时未及时转动的情况。系统一旦启动了，时间差就会造成超程的情况的发生，因此导致了生产上出现了误差，对质量造成了不良影响。

2.3 加工环节出现的误差

加工的过程中出现的误差一般是出现在刀具上，在生产过程中，如果刀具无法紧密贴合，那么就会造成加工的动线较设计好的动线出现偏差，这种问题一般都是在设计环节就存在的，并不是因为操作不当或是设备的精度出现偏差的原因，在制造行业实际生产过程中是难以避免的，行业对于这个误差有明确的界限，超出界限的误差就会导致严重的质量问题不被认可。

2.4 物理空间的误差

作者简介：刘炜（1999-），男，湖南邵阳人，助理工程师，本科，研究方向为数控加工技术研究。

加工的过程中出现的误差一般是出现在刀具上，在生产过程中，如果刀具无法紧密贴合，那么就会造成加工的动线较设计好的动线出现偏差，这种问题一般都是在设计环节就存在的，并不是因为操作不当或是设备的精度出现偏差的原因，在制造行业实际生产过程中是难以避免的，行业对于这个误差有明确的界限，超出界限的误差就会导致严重的质量问题不被认可。

3 补偿误差的几种办法

3.1 螺距补偿

随着数控技术的不变精进，现在市面上常用的数控车床都已经配备螺距补偿的功能，能够大幅度消除需要变换物理空间的部位的误差。技术较为先进的数控车床甚至已经能够有了更高级的补偿误差的功能。但是这种误差补偿的方式只能大幅度的弥补，并不能完全消除误差，所以补偿的技术仍需要投入更多的科研力量。

3.2 坐标误差补偿

数控机床在生产过程中，经常出现机床的最外侧的位置坐标点出现位置不准的情况而产生误差，这种误差可以通过对当下的温度进行分析，对坐标点进行分析，对切削力的数值进行分析，综合上述三个因素的数值来进行补偿。采用这种补偿方式，丝毫不会影响机床正常的生产作业，通过建模就可以模拟补偿效果，模拟出理想的补偿结果后，直接将参数进行调整，这种方式非常简单易操作。现在在国内市面上常见的数控机床上多有应用，这种补偿方式的原理是通过传感器记录多组车床的温度，分析温度变化的曲线，得出规律，同时记录下机床位置变换的坐标点数值，通过几何分析得出规律。将记录的温度数据和坐标点数值发送到补偿器数据库，补偿器自带的分析工具对上述数据进行建模分析和计算，就可以得出补偿误差的数值，同时将这些数值同步给机床的控制系统，系统就会对工作参数进行调整和修正，实时进行误差补偿。目前除了以上常用的方法以外还可以通过激光测量仪测量温度，用位移传感器几何数据进行测量，得到的数值更加准确，为误差补偿提供数据支持。

3.3 几何补偿结合温度补偿

机床在生产过程中，长时间的运转会导致温度升高，一些材料由于热胀冷缩而导致误差逐渐增大，遇到这种问题，仅仅靠单纯的几何补偿方法已经达不到预期的效果，对于这种场景，则需要多种方式结合，例如几何补偿结合温度补偿，不同条件下采用不同的补偿办法。

3.4 解耦补偿

机床在生产时，由于变换物理位置时有时需要转动，转动导致机床发生了位置的误差，这种情况需要先解耦才能进行补偿。可以多面立体加工的机床存在的误差，需要采集每个组成零件的相关数据，对机床的空间误差进行全面性补偿。一般情况下会对两种控制情况进行补偿，第一种是运用二转动轴，通过在转动过程中，不停地多次对数控刀具与工件之间的位置上的误差进行补偿；第二种是三转动轴，通过计算数控刀具以及工件初始的坐标数值与作业过程中的坐标数值的差值，进行补偿。

4 提升生产质量的办法

4.1 改进模具的装夹方式

模具在装夹时，要对装夹的力度进行严格的控制，力度太大或者过小都可能会导致在切削时产生误差，所以对应不同种类的模具要采用不同的控制力度。例如，硬度较差的模具，装夹时就不能用很大的力度，否则就无法保证加工出来零件的精确度。反之，如果是比较硬的材质的模具，装夹时就需要大一些的力度，否则就可能在生产过程中发生松动，造成加工的误差。因此，在加工前就要对模具进行了解，对模具的大小尺寸、硬度、材质等信息进行掌握，才能很好地控制装夹力度。装夹的放置位置也是要经过一定计算的，根据模具自身的情况，装夹的受力点要选在模具合适的位置，例如模具有些部位相对薄弱，装夹时就应尽量避开，防止损坏模具，但是不同的模具薄弱的部位也有很大的差别，有些甚至很难肉眼分辨什么部位比较薄弱，薄弱到什么程度，因此对于装夹位置的确定对技术人员的经验和专业水平有很高的要求。如果选用了合适的装夹位置，不仅能够有效避开模具薄弱的部位，还能起到保护的作用。

4.2 合理选择数控刀具和走刀程序

数控刀具对于数控加工的质量起着至关重要的作用，因此，技术人员在数控刀具的选型工作上要格外慎重。目前，我国制造行业中数控刀具应用最为广泛的是硬质合金材质。这种材质的数控刀具能够完成精度要求较高的机床作业，切削速度也比较理想。技术人员还应结合模具的大小、形状和材质等多方面因素来选择刀具的型号，刀具尺寸太大或者太小都会导致加工困难。走刀方式的设计合理与否是决定整体加工精度的基础，传统的走刀方式在加工过程中存在很多弊端，造成了质量问题；应该选用多种粗加工方式混合的模式，有效地利用各自的优点，规避各自的缺陷，从而达到高精度，提升生产质量。

4.3 提升程序设计水平

数控加工，归根结底是计算机软件程序与生产硬件设备的结合，硬件固然重要，但是软件程序的设计才是加工控制的关键。因此要想在数控加工的质量上取得突破，程序编程的优化是行之有效的一个途径，程序的优化水平取决于编程技术人员的技术水平，因此企业应当重视编程技术人员的培养，只有人员的技术水平达到了一定高度，才能为控制程序的设计提供技术支持，才能从根本上提升数控生产的质量，也能为全面提升我国数控系统的技术水平贡献力量。

5 结束语

综上，在数控加工的整个过程中，技术人员、设备、生产工艺、控制程序、装夹刀具每个环节都会对生产质量起到很重要的影响。要想提升生产质量，要从每个环节每个组成部分的根本入手，从原理上进行分析和研究，从每个细节上进行改善和优化。重视技术的力量，重视人才的培养，重视高科技技术的应用，这样才能从源头上提升数控加工的质量，并且为我国制造业的发展起到推动作用。

参考文献：

[1]齐杨洋.数控加工技术在机械模具制造中的应用分析[J].内燃机与配件，2019(21)：54-55.

[2]杜小运.机械模具数控加工制造技术及应用探讨[J].南方农机，2018，49(07)：70.

[3]尹耀康.在数控模具制作中的影响因素及改进措施探析[J].科技展望，2016，26(6)：65.

DOI:10.16660/j.cnki.1674-098X.2016.22.002

数控加工质量控制技术应用研究①

谢学浩
(天津职业大学机械工程实训中心 天津 300410)

摘 要:随着社会的不断进步,经济的快速发展,我国人民的生活水平有了很大提高。与此同时,各种新兴产业也如同雨后春笋般蓬勃发展起来,其中集机械、电力、溶液、气、光于一体的数控机床现代化技术就是这些新兴产业中的重要一员。数控加工产业的出现,为其他产业的发展提供了便利条件,在发展自身的同时,也为其他产业展开了一扇崭新的大门,促进了我国综合国力的提升。随着数控加工产业逐渐走进人们的生活,人们对它的理解和认识越来越深入,随之人们对其工艺水平的发展越来越重视,对其工艺水平要求越来越高。该文首先对数控加工、数控加工精度的概念及内容进行了阐述,然后分析了引起数控加工误差的各种原因,接下来提出了几种有效的减小数控加工误差的技术,最后介绍了数控加工质量控制技术的应用,希望人们能够对数控加工质量控制技术有更深入的理解。

关键词:数控加工 质量控制 技术 应用 研究
中图分类号:TG659 文献标识码:A 文章编号:1674-098X(2016)08(a)-0002-03

数控加工技术在新兴产业中占据非常重要的地位,它不仅是一种先进的加工技术,还是一种高效率、高精度的加工技术,为小型精密零件的加工带来很大便利,当然,其在大型零件加工中也具有得天独厚的优势,带来的经济效益不可估量。随着数控机床作用的发挥,这种高科技产物已经被越来越多的人所认可,受到越来越多的人关注。虽然数控加工的优势非常多,但是随着其加工零件越来越精密,其局限性也逐渐显现出来。因此,非常有必要研究数控加工质量控制技术,以进一步推进数控加工质量控制技术的发展。

1 数控加工、数控加工精度的概念及内容

1.1 数控加工的概念

数控加工是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。从整体来看,数控机床加工与传统机床加工在工艺流程上差别并不大。但从细节来看就会发现,与传统机床加工相比,数控机床加工在工艺流程上发生了明显变化。数控机床加工是由数字信号控制零件和刀具相对位移的一种机械加工工艺。相对来说,数控机床加工更适合小批量、形状复杂、品种多样、精度要求高的高效自动化零件加工。

1.2 数控加工精度的概念及内容

数控加工精度指的是零件成品相对于理想模型在各种参数上的精确度,是衡量数控加工质量的重要指标。数控加工精度是一个综合概念,它包含四大方面的内容。

1.2.1 尺寸精度

与零件模型相比,零件实际尺寸的精确程度。

1.2.2 形状精度

与理想要素相比,零件的被测要素的精确程度。

1.2.3 位置精度

相对于图样标注的位置误差,零件实际位置误差的精确程度。

1.2.4 表面粗糙度

就算加工工艺再好,加工出来的零件表面也不可能是完全平整的,总有一些由微观几何图形造成的粗糙。

1.3 对数控加工的认识

数控加工过程中,影响数控加工精度的因素非常多,比如温度、湿度等。因此,在数控加工中,就算采用同一种加工方法,其精度也存在很大差异。不管采用何种加工工艺,只要操作细心,切削参数选用正确,再加上精心调整,其最后的零件质量都会很好。但是人们都知道,误差和成本之间是成反比的,低误差必然伴随着高成本。一味地提高数控加工精度,不仅会大大降低生产效率,还会增加成本投资。因此,一种数控加工工艺的加工经济精度不是一个确定的值,而是一个范围。只要这种加工工艺的精度在规定的范围内,就可以认为它是经济的。

2 数控加工造成误差的主要原因

2.1 机床系统误差

机床系统本身不是完美的,其在制造、安装、调试过程中会产生一定的误差,并且经过长时间的使用,机床也会产生一定的磨损,这都会直接影响数控加工的精度。具体来说,分为三大部分。

2.1.1 主轴的回转误差

刀具和零件都是以主轴为基准安装的,因此,主轴的误差对零件的加工精度影响非常大。主轴的回转误差有3种主要形式:径向园跳动、轴向园跳动和倾角摆动。

2.1.2 导轨的直线误差

零件加工的很多环节都会用到导轨,它负责很多传动工作,因此,导轨的误差会对加工运动的基准产生很大冲击。机床导轨的误差主要有两种形式:导轨的直线误差和导轨的平行误差。

①作者简介:谢学浩(1981,10—),男,汉,天津人,本科,实验师,研究方向:产学结合数控技能实训教学。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1.3 传动系统误差

传动链中包含很多元件，元件本身存在误差，元件的装配、传动链的使用也会产生误差。局部的误差综合起来，会积累成整个传动链的误差。

2.2 刀具参数误差

刀具类型不同，刀具参数对加工误差的影响也存在很大差异。定尺寸刀具对加工的尺寸精度影响较大，成形刀具对形状精度影响较大，常见的定尺寸刀具和成形刀具有：拉刀、铰刀、钻头、成形砂轮等等。如果采用展成刀具加工零件，刀具切削刃的几何形状误差、尺寸误差将会直接对工件的形状、尺寸造成误差，常见的展成刀具有：花键滚刀、插齿刀等等。而人们常见的刀具，比如铣刀、车刀，结构简单，操作也简单，对工件造成的误差就可以忽略不计了。

2.3 工件定位误差

若加工中的工件存在夹具定位不准确，会产生一定的误差，这种误差就是工件定位误差。一般对于同一批工件，调整好刀具与工件的相对位置后，会一直保持到这批工件加工结束。所以，工件定位误差一般都是由于前期调整不准确造成的。

若工件加工时的定位基准与产品设计时零件图上的设计基准以及工序基准不一样，也会造成误差。

定位工具本身也不是完美的，模具、夹具本身就存在一定的误差，这种误差会使得基准不重合。此外，长时间加工工件后，模具、夹具自身会发生变形，这也会增加工件定位误差。

2.4 工艺系统受力变形

2.4.1 工件刚度

由于在加工中会受到切削力，工件会发生变形，这会对加工精度产生一定的影响。若相对机床、刀具、夹具来说，工件刚度远远不足，会加剧工件变形，进而加剧加工精度。

2.4.2 刀具刚度

在加工工艺系统中，会用到多种刚度不同的刀具。对于刚度很大的刀具，加工过程对其造成的磨损可忽略不计。而对于那些刚度相对较小的刀具来说，在工件加工过程中，会对其造成严重的磨损，极为影响工件精度，比如内孔车刀、立式铣刀等。

2.4.3 机床部件刚度

机床是由很多部件组成的，刚度难以计算，迄今为止，机床的刚度只能用实验的方法获得。需要提醒的是，机床部件变形是非线性的，其变形具有卸载回滞现象。卸载回滞现象指的是，荷载消失后，卸载曲线和加载曲线存在一些偏移，整体滞后于加载曲线，两条线之间包围的面积可以认为是摩擦力、接触变形产生的热能。一般来说，第一次卸载后，变形是无法完全恢复的，这说明有残余变形存在。但是经过多次加载、卸载，卸载曲线的终点会和加载曲线的起点完全重合，这时残余变形就不存在了。

2.5 工艺系统热变形

工艺系统在运作过程中，涉及到多种器件的碰撞、摩擦，这将会产生大量的热量，器件和工件的温度都会升高，发生严重变形，不仅会对机床、刀具等造成破坏，还会影响工件的加工精度，产生非常大的误差。相关研究发现，对于重载加工、精密加工来说，热变形引起的误差占总误差的60%左右，可见热变形的危害。

2.6 调整不当

工件加工设计多道工序，不同的工序对工艺系统的要求不同，这就涉及到工艺系统的调整。然而，加工工艺系统的调整一般都是人为操作的，这就不可避免会产生一些偏差。另外，工序之间不是完全独立的，存在一定的重复，因此工序衔接处的精度难以控制。

3 数控加工质量控制技术

3.1 减小原始误差

原始误差，指的是由于加工工艺中所用的部件误差引起的误差。想要减小数控加工的原始误差，应该从以下几方面下手。

(1)提高机床主轴的回转精度。

(2)提高机床导轨的直线度、平行度精度。

(3)提高夹具、量具、刀具制造精度。

(4)提高整个工艺系统的刚度。

当加工工艺系统受力、受热时，会产生很严重变形。为了减小变形所带来的误差，应该对产生的误差一一分析，找出产生误差的原因，从而对症下药，消除误差。

对于精密加工零件来说，不仅要提高加工系统的几何精度、机床系统的刚度，还要采取有效措施，尽量减少加工过程产生的热量，或者设置高效冷却设施。

对于成形时的表面加工工艺来说，应该使用形状更符合标准的刀具，另外，刀具的安装定位一定要准确，以免造成误差，影响整个工艺流程。

3.2 误差抵消法

在实际加工中，涉及到的部件不可能是完美的，总会存在一定的误差，而且原始误差的减小非常难，存在很大的局限性。针对这种现状，可以采用误差抵消法。

误差抵消法指的是，分析原始误差产生的结果，然后在此基础上，人为地制造一些原本加工工艺系统不存在的反向误差，以此来抵消原有工艺系统所存在的误差，进而提升数控加工的精度。

3.3 分解或者均布原始误差

对于批量加工来说，可以分解原始误差，以此来减小原始误差带来的影响，提高工件加工精度。然而对于那些精密工件来说，采用分解原始误差的方法就不合适了，这时可以通过不断试切来均布原始误差。

3.3.1 原始误差的分解

原始误差的分解是通过分析误差的规律，然后将工件按精度要求分成不同的组，这样每个组的误差范围就会缩小。接下来，根据每组的参数要求调整刀具的位置，这样以来，各组的误差中心就会基本重合起来。局部决定整体，总误差将会大大减小。

3.3.2 原始误差的均布

为了减小精密工件的误差，可以采用均布误差的方法。均布误差指的是凭借特定的方法将原有误差逐渐均布到各

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

个生产环节。通过比较、检验工件的误差，找出误差之间存在的不同，然后相互修正加工基准，以均布误差。

3.4 转移原始误差

在误差敏感方向上，原始误差的影响非常明显。而在非误差敏感方向上，原始误差的影响非常不明显。对于这种情况，可以在加工过程中，想一些办法，将误差转移到非敏感方向上，这样一来，原始误差的影响就会大大减小，工件的精度也就可以大幅度提高了。

3.5 多次测量法减小误差

多次测量法，顾名思义，就是通过多次测量，增大余量，进行多次精加工以及调整，逐渐使得尺寸符合要求。多次测量法操作简单，比较好掌握，只要工作人员有足够的耐心，并且做好记录，就可以达到预期的标准。需要提醒的是，多次测量法花费的时间比较长，但是对于一些精密工件的加工，采用多次测量法是非常恰当的。

3.6 提高操作人员的专业素质

在现在的工业生产中，数控加工行业的很多员工都是非正式员工，不是从专业院校毕业的，而且没有专门的上岗证，专业素质不高，对于一些紧急情况，没有处理能力。对于这个问题，一定要给予重视，采取一定的措施，予以解决。

3.6.1 提高上岗要求

数控企业招收员工时，要从专业院校挖掘人才，并且一定要有工作经验，因为数控加工操作失误造成的损失非常严重。

3.6.2 加强员工培训力度

一时间要想找到优秀人才是不现实的，因此，对于现有的工作人员，要采取各种措施提高他们的专业素质，比如，定期培训，定期举办员工间的技能比拼，活跃工作氛围。此外，数控企业要制定有效的激励机制，激励员工提升专业素质。

4 结语

综上所述，该文首先从数控加工、数控加工精度的概念及内容进行了概述，然后分析了影响数控加工精度的各种因素，最后提出了几种行之有效的提高数控加工精度的措施，希望能对工业生产起到一定的辅助作用。数控加工是一项要求很高的高科技技术，但是其复杂的工序就决定了其有多种误差。各种误差都有不同的原因，只有分析了产生误差的原因，然后从原因出发，对误差分组分析，提出解决策略。对于误差，一方面，要尽量消除原始误差，但是原始误差的减小是有一定限度的，这时就要从其他方面利用其他方法入手，比如，误差抵消法、分解或均布原始误差法、转移原始误差法、多次测量法等，从而提高数控加工的精度。在如今的工业化时代，数控加工质量控制技术在一个程度上可以反映一个国家或地区的经济发展程度，因此，要重视数控加工质量控制技术的研究。

参考文献

[1] 杨文明.数控加工及数控机床的维护[J].科技创新与应用,2013(31):92.
[2] 章平,李莹.主要航空零部件的加工制造质量控制研究[J].中国高新技术企业(中旬刊),2015(8):24-25.
[3] 王成.浅谈数控加工技术在模具制造中的应用[J].机电信息,2010(18):66.
[4] 周红珠.数控加工技术在模具制造中的应用探析[J].中国城市经济,2011(15):139.
[5] 李海萍.模具数控加工技术的研究与发展[J].机械设计与制造,2008(6):210-212.
[6] 李方华.现代模具数控加工技术的研究[J].模具制造,2003(11):21-23.

(上接1页)

3 MTSP技术在SDH电力系统通信中的应用

MSTP技术是对传统SDH设备的标准补充与改进，它在SDH帧格式中提供不同种类的业务，实现多协议接入、汇聚和传输功能，被视为是目前城域传输网络中最主要的电力系统通信方式。

将MSTP设备应用于传统SDH设备中使其技术得以继承发展，它所能做到的就是对TDM设备的完全兼容。再者，MSTP还能为传统SDH传输设备与二层交换设备提供结合功能，使SDH通过二层数据交换控制、处理等等功能就能实现对电力系统数据业务在SDH通道中的优化传输作业。

在应用SDH技术的过程中，相关技术人员必须要保证灵活运用，不可以出现影响其实际发展的问题，并且，在实际应用的时候，要促进电力网络向着纵向与横向方面发展，保证在控制联网成本的基础上，能够形成结构立体化。随着网络业务容量的增多，核心网站在不断升级，网络业务容量已经升级到10 G的容量，这样，不仅可以提升其发展效率，还能增加经济效益，促进其向着更好的方向发展。由此可见，技术人员必须要对SDH技术进行灵活运用，在保证其质量的同时，增强网络运行效率。

4 结语

该文结合实例，重点探讨了基于SDH光传输技术的电力设备在电力系统中的具体应用，明确了该技术强大且便捷的网络自愈控制功能。正是在SDH光传输设备体系的辅助下，电力通信系统及其环网才实现了安全稳定运行，满足了地区电力生产的高标准和电力通信系统升级需求。同时，要重视技术人员的专业素质，阶段性地对其进行光束技术知识的培训，使其掌握先进技能，在提升其专业素养的基础上，增强电力系统的运行效率。

参考文献

[1] 左鹏.光传输设备在电力系统通信中的应用[J].中国新通信,2014(22):56-57.
[2] 林旭升.SDH光传输技术在电力通信系统中的应用分析[J].无线互联科技,2015(24):14-15.
[3] 陈名良.电力系统SDH光传输设备故障分析与维护流程[J].电子世界,2014(18):128.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

双摆头五轴联动机床的建模及误差研究

李文军

（天津职业大学，天津　300410）

[摘　要] 文章进行了双摆头五轴联动机床的建模及误差研究，构建了机械运动模型并进行了误差源的分类与分析，通过实验设置验证了模型的准确性，并利用模拟与实际数据的对比来优化误差预测，最终实现了对机床加工性能的显著提升。

[关键词] 双摆头五轴联动机床；模型构建；误差分析

[中图分类号] TG659　　[文献标志码] A

在高精度加工技术迅速发展的当下，五轴联动机床的应用已成为制造业技术进步的重要标志。其中，双摆头五轴联动机床因其在处理复杂空间曲面上的优势，特别受到航空航天、模具制造及汽车工业的青睐。这类机床的设计允许工具在加工过程中维持最优切削角度，从而提高加工效率和表面质量。然而，其结构的复杂性也带来了更大的系统误差，这些误差通常源于机械运动链的多重耦合和动态变化，影响加工精度和机床的稳定性。

1　研究方法论

1.1　模型构建

对机床的机械结构进行了详尽的分析，明确了其包含的主要组件：床身、2个旋转轴（A轴和B轴）以及3个直线轴（X轴、Y轴和Z轴）。每个轴的动态特性对整机的性能有着直接的影响，因此，本研究建立了一个包含这5个轴的运动学模型。

在模型构建过程中，采用了基于物理的建模方法，对每个组件的运动特性和相互作用进行了模拟。通过运用准确的数学描述和动力学方程，将机械系统的每个部分表示为数学模型，这包括了对机床各运动轴的位置、速度和加速度的计算。考虑到机床加工中的动态行为，引入了模态分析，以识别系统中可能的振动模式和共振频率。考虑到实际加工中的热影响和负载变化，模型还包括了温度变化和切削力对机床结构形变的影响。这些因素通过热力学和力学方程与机床的运动学模型相结合，以实现对机床行为的更全面预测。机床建模示意如图1所示。

1.2　误差分析

机床结构误差主要包括几何误差、热误差和切削力引起的动态误差。几何误差通常因机床组件的制造和装配不精确造成，这些偏差直接影响了加工过程中的定位精度。

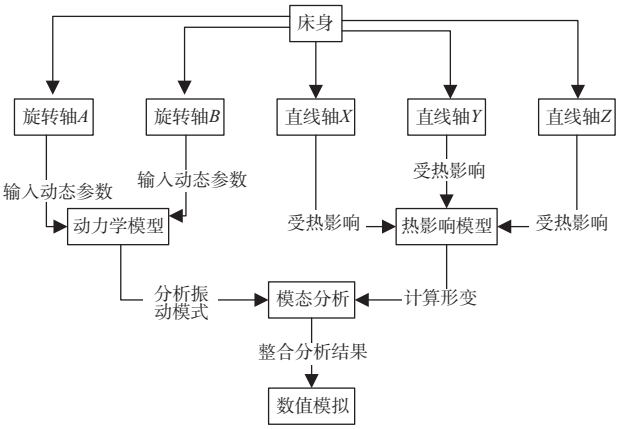


图1　机床建模示意

热误差是由机床各部件在加工过程中的温升引起的，通过安装热敏传感器监测关键部位的温度变化。切削力所引起的动态误差也是关键因素。在进行切削实验时，采用力传感器测量出的最大切削力可达到1500N。通过有限元分析模型预测，这种切削力水平可以导致机床床身产生最高0.02mm的弹性变形。这种变形虽然微小，但对于精密零件的加工精度影响显著。

针对以上误差源，采用多种补偿策略来优化误差，通过实时温度补偿技术，调整机床的控制参数，减少热误差对加工精度的影响；采用动态补偿算法对切削力引起的弹性变形进行预测和补偿，以确保加工过程中的高精度。

2　实验设计与模拟

2.1　实验设计

机床的参数设置是实验的基础，双摆头五轴联动机床设置了不同的加工参数，以观察其对误差的影响。主轴转速设置为500~3000r/min，分5个等级进行测试；进给速度从100mm/min增至500mm/min，同样分为5个等级。每种组合的参数都在实际加工中进行3次重复，以确保数据

中国知网　https://www.cnki.net

的稳定性和可靠性。不同主轴转速和进给速度下的实验配置见表1。

表1　不同主轴转速和进给速度下的实验配置

主轴转速（r/min）	进给速度（mm/min）	重复次数（次）
500	100	3
1000	200	3
1500	300	3
2000	400	3
3000	500	3

为了准确测量机床在不同工作条件下的性能和产生的误差，安装了多种高精度测量设备。使用激光位移传感器和振动分析器，来监测机床运动部件的实际运动情况和可能的振动问题。激光位移传感器的测量精度达到0.001mm，能够捕捉极细微的位置变化。振动分析器用于评估机床在高速运行时的稳定性，其测量频率范围为0~500Hz，精确到0.1Hz。实验中还特别注意了环境因素的控制，实验室的温度和湿度被严格控制在（20±1）℃和50±5%RH 以内，以排除环境变化对实验数据的潜在影响。机床的每次实验前后都进行了彻底的清洁和检查，确保没有任何外来物质影响机床的性能。

2.2　模型的模拟测试

模型中包括机床的所有关键组件和对应的动态互动，模型考虑了结构刚度、运动学特性和热变形等多种因素。如结构刚度的模拟数据显示，机床主轴的刚度为1100N/mm，而转台的刚度则为950N/mm。运动学误差分析表明，在最大负载下，A 轴和 B 轴的位置偏差可达0.02mm，而 X 轴、Y 轴和 Z 轴的偏差则略低，约为0.015mm。在模拟测试阶段，采用虚拟原型技术进行动态仿真。使用该技术，模拟了机床在不同工作条件下的性能，包括不同的切削速度和进给速度。如在500r/min 的主轴速度和100mm/min 的进给速度下进行模拟，观察到由于热膨胀和负载变化，机床的热误差可以增加至0.01mm。在模拟中，也考虑了切削力对机床结构的影响，发现在最大切削力1500N 作用下，机床的主轴产生了约0.025mm 的弹性变形。还模拟了切削过程中的振动情况。振动分析显示，在3000r/min 的高速加工中，机床的振动频率主要集中在250~300Hz。这种频率的振动可能会引起显著的加工表面粗糙度增加，从而影响产品质量。

3　实验结果

3.1　模型验证

考虑到模型预测的热误差，在主轴速度为1500r/min 和进给速度为200mm/min 的操作条件下，模拟结果显示热误差为0.010mm。与此同时，实际加工过程中通过高精度热像仪测量的热误差为0.011mm，两者的差异仅为0.001mm，表明模型对于预测机床在操作中的热扩展行为具有高度准确性。模拟预测在主轴速度最高为3000r/min 时，由于切削力引起的机床总体变形为0.027mm。实验中实际测量的变形为0.026mm，这一高度吻合的数据进一步证实了模型在动力学行为预测方面的有效性。对切削过程中主轴产生的振动频率进行了模拟，预测的主要振动频率为290Hz，而实际测量结果为288Hz，振动频率的预测与实际值非常接近，误差仅为0.69%。在表面粗糙度的预测上，模型也表现出色。当进给速度从100mm/min 增至500mm/min 时，模拟的表面粗糙度 Ra 从0.9 μ m 增至1.6 μ m。实验数据显示，实际表面粗糙度 Ra 从0.92 μ m 增至1.58 μ m，这些数据的对比验证了模型在预测加工表面质量方面的精确性。实验结果见表2。

表2　模拟预测结果与实际加工结果的对比

操作条件	模拟结果	实际加工结果
主轴速度 1500r/min，进给速度 200mm/min 的热误差（mm）	0.010	0.011
主轴速度 3000r/min 的总体变形（mm）	0.027	0.026
主轴速度 3000r/min 的主要振动频率（Hz）	290	288
进给速度 100~500mm/min 的表面粗糙度变化（μ m）	Ra0.9~1.6	Ra0.92~1.58

3.2　误差分析

实验中观察到的一个主要误差类型是几何误差，这主要源于机床各移动部件的制造和装配不精确。通过对机床主要组件进行激光跟踪测量，*X* 轴和 *Y* 轴在全程移动中的直线度误差分别为0.012mm 和0.014mm，而理论模型预测的误差为0.010mm。这一差异可能是由于装配过程中的微小对齐错误造成的。热误差也是实验中观察到的重要误差类型之一。在长时间运行后，由于热能积累，机床的主轴和支架部件出现热膨胀，实测的热膨胀误差在主轴区域高达0.018mm，与模拟预测的0.016mm 相比，这表明实际的热管理措施可能未能完全符合设计预期。还观察到了一定的动态误差，由切削力引起的振动也在实验中得到了证实。在最高主轴速度和最大切削深度下，振动分析仪记录的振动频率达到了310Hz，振动幅度为0.035mm。这一振动级别高于模拟中的预测（300Hz 和0.030mm），揭示了实际使用中切削参数选择对机床动态性能的影响。

3.3　数据分析验证的误差预测精度

通过标准差和均方根误差（RMSE）来评估模型的误差预测精度。在几何误差的预测中，通过对 X 轴和 Y 轴

中国知网 https://www.cnki.net

位置的测量数据，计算出模型的预测误差标准差分别为0.003mm和0.004mm，而对应的*RMSE*值分别为0.005mm和0.006mm。这表明模型在几何误差预测方面具有较高的准确性。热误差预测的验证通过比较模拟结果与实验数据进行。在长时间运行产生的热扩展误差中，模型预测的误差与实测值的差异平均为0.002mm，表明模型能够较好地捕捉机床在实际操作中的热行为。在动态误差方面，特别是切削过程中的振动预测，通过频谱分析对比模型预测的主要振动频率与实际测量值，显示了模型在动态性能预测上的有效性。

利用决定系数（R^2）来评价模型预测的整体效果，在本研究中，模型的R^2值达到了0.98，说明模型能够解释实验数据变异的98%，这是模型预测精度高的重要指标。不同误差类型的预测精度评估结果见表3。

表3　不同误差类型的预测精度评估结果

误差类型	预测误差标准差（mm）	*RMSE*（mm）	R^2值	实际测量误差（mm）	预测误差（mm）
几何误差（X轴）	0.003	0.005	0.98	0.012	0.01
几何误差（Y轴）	0.004	0.006	0.98	0.014	0.012
热误差	0.002	N/A	N/A	0.018	0.016
动态误差（振动）	N/A	N/A	N/A	308 Hz	305 Hz

4　结束语

本研究强调了几何误差、热误差和动态误差在整体机床误差中的比重，发现尽管模型在几何和热误差的预测上表现良好，但在动态误差的控制和预测方面仍存在挑战。如在高速和高负荷条件下，机床的动态性能受到切削力和机床振动的显著影响，这提示在未来的工作中需要更加注重动态误差的建模和补偿策略。

模型的预测精度对机床的优化设计和运行参数调整具有直接影响，通过提高模型的预测精度，可以更有效地指导机床的设计改进和操作参数设置，从而优化加工质量和效率。通过细化模型中的热影响分析和振动响应，可以更精确地调整冷却系统和阻尼结构，以减少因热膨胀和振动引起的误差。

本研究也揭示了现有模型在模拟复杂加工环境时的局限性，在未来的研究中，计划引入更高级的数学工具和算法，如机器学习和人工智能技术，以提高模型处理非线性和多变量问题的能力。这将能更全面地模拟五轴机床在极端条件下的行为，进一步提升模型的实用性和预测准确性。

参考文献

[1]王磊元，秦翠兰，赵群喜，等.五轴联动数控机床发展现状与趋势[J].南方农机，2024，55（3）：30-33.

作者简介

李文军（1987—），男，天津人，本科，讲师，主要研究方向为机械设计制造及其自动化产教融合教学与研究。

（编辑：韩建新）

中国知网 https://www.cnki.net

双高建设：德能实新育工匠，兴职精进铸品牌

刘 斌 邹吉权
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：为将学校建成引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职院校，天津职业大学在“双高计划”实施过程中，确立了“六个三”建设思路——把握三个根本、强化三个服务、坚持三高、塑造三型、彰显三特、实现三大。把握三个根本，即以习近平总书记关于教育的重要论述作为根本遵循、落实好立德树人根本任务、把加强党的建设作为根本保证；强化三个服务，即服务产业发展、服务区域经济社会发展、服务学生全面发展；坚持三高，即坚持高标准定位、实施高水平建设、实现高质量发展；塑造三型，即学校将培养发展型、复合型、创新型高素质技术技能人才作为培养目标；彰显三特，即彰显人才培养特色、产教融合特色和学校治理特色；实现三大，即实现大发展、做出大贡献、打造大品牌。

关键词：双高；建设思路；高水平；特色；品牌
中图分类号：G719 **文献标识码**：A **文章编号**：1008-8415[2020]-04-0003-08

引言

天津是中国近代工业发源地，是国家现代职业教育改革创新示范区。天津职业大学建校40余年来，秉承“育德育能、力实力新”校训，以培养高素质技术技能人才为“天职”，构建了从中职到高职本科的技术技能人才培养体系，成为中国现代职业教育的一面旗帜。学校为首批国家示范性高职院校，2019年进入“双高计划”高水平学校A档建设单位。

学校与改革开放同龄，80年代初接受世行贷款，从此扎根职教，卓尔不群，弦歌不辍，累计培养培训技术技能人才30余万人，以“航天技术能手”王警为代表的毕业生享誉全国。学校聚焦高端产业和产业高端，布局十大专业群，全国首创眼视光技术等专业，建有全国最早、规模最大的增材制造技术推广中心，成为大火箭、大飞机等一系列国家重大项目的技术技能人才供给高地。引入世界500强及行业龙头企业，林肯（中国）天津技术培训中心是其全国首个校企合作项目。率先开展1+X证书培训，前两批试点数量已达14个。学校坚持以师为本，不断创新教师的聘用与管理机制，形成了近悦远来的人才工作新局面，一批国家教学名师、技能大师、技术能手、黄炎培杰出教师、黄大年团队、教师教学创新团队纷纷落户我校，成为学校金色招牌。学校坚持创新引领，专利授权1000余项，其中发明专利60余项，全国首创的“全玻璃化工仿真装置”推广到30余家单位，经济效益达3000多万元。

为深入贯彻落实党的十九大精神和全国教育大会精神，落实《中国教育现代化2035》《国家职业教育改革实施方案》《教育部 财政部关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意

收稿日期：2020-05-12
项目来源：该文为2019年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”（DJA190347；主持人：邹吉权）的研究成果。
作者简介：刘 斌（1961-），男，天津市人，天津职业大学党委副书记，校长，教授，博士

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

见》等文件精神，将学校建成引领改革、支撑发展、中国特色、世界水平的高职院校，学校以立德树人为根本、以提升质量为核心、以内涵式发展为主线、以世界水平专业群建设为抓手[1]，确立了“把握三个根本、强化三个服务、坚持三高、塑造三型、彰显三特、实现三大”的双高建设思路。

一、把握三个根本

把握三个根本，即以习近平总书记关于教育的重要论述作为根本遵循，落实好立德树人根本任务，把加强党的建设作为根本保证。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，以习近平总书记关于教育特别是职业教育的重要论述为根本遵循，遵循德智体美劳全面发展的教育思想，构建德智体美劳全面发展的人才培养体系，以实现德智体美劳五育的内在统一和人的全面发展，大力提升人才培养质量。

把立德树人作为根本任务，系统研究高职德智体美劳五育的内涵、特点和相互关系，将德智体美劳五育的各项指标进行逐级分解，形成高职德智体美劳五育的指标体系，据此确立人才培养目标，根据培养目标确定毕业生核心能力，进而构建学校的课程体系、教学体系、管理体系以及支持保障体系（教师、教学条件、学校文化等）[2]。把立德树人融入思想道德教育、文化知识教育、社会实践教育各环节，加强课程思政建设，实现课程思政全覆盖，将德智体美劳作为一个整体融入到每一门课程中，做到五育之间的有机融合和无缝衔接，从而实现知识传授、价值引领和审美立美的统一。

学校把加强党的建设作为事业发展的根本保证，学校党委、二级党组织、基层党支部三级党组织层层压实主体责任，学校党委做到“四个过硬”，即把方向过硬、管大局过硬、做决策过硬、保落实过硬；院部党总支做到“五个到位”，即党组织领导和运行机制到位、政治把关作用到位、思想政治工作到位、基层组织制度执行到位、推动改革发展到位；基层党支部做到“七个有力”，即教育党员有力、管理党员有力、监督党员有力、组织师生有力、宣传师生有力、凝聚师生有力、服务师生有力。学校党的建设实施“四化工程”，即校级领导干部全职化、机关党务群组化、教师支部品牌化、学生党建双元化，实现党的建设与事业发展“同部署、同落实、同考评、同带动”的融合发展格局，为高质量发展提供坚强的政治保证和组织保证。

二、强化三个服务

强化三个服务，即服务产业发展、服务区域经济社会发展、服务学生全面发展。

（一）服务产业发展

由于技术自身的发展、创新、推广与应用，为经济社会发展点燃了新引擎、注入了新活力、释放了新动能。如今，大数据、人工智能、5G 等领域的新技术不断涌现、高速发展，在催生新产业的同时，新技术与传统产业的融合为产业转型升级提供了坚实基础，进一步拓展出发展的新空间，助力传统产业转型升级进而实现增量变革与质量提升，让越来越多的传统产业在与“互联网+”“智能+”的融合互通过程中重塑新生、焕发活力。未来，随着云计算、大数据、物联网、人工智能、移动通信这些先进技术的落地运用，将再次激发中国经济强劲的内生动力与创新动能，新产业、新业态的产生将层出不穷，新旧职业的变迁速度也将会越来越快。

学校紧密对接技术发展、产业升级和业态迭代，对接新制造、新设计、新电信、新商贸、新物流、新交通、新医护、新旅游等产业，构建了“2+4+4”“一主两翼”专业群布局。专业群建设紧紧把握“高”和“动”两个关键词，对接吻合度高、资源整合共享度高、人才培养产出度高产业；动态调整专业构成、动态升级专业内涵、动态优化评价机制。实施专业动态调整，撤销不适应产业发展的专业，及时开设产业发展需要的高度跨界、嫁接和融合的新兴专业。根据新技术、新产业、新业态发展变化，创新人才培养模式，重新定位人才培养目标和规格，培养发展型、复合型、创新型高素质技术技能人才。

（二）服务区域经济社会发展

天津以建设现代化经济体系为目标，以智能科技为引领，坚持科技创新推动产业转型、培育发展新产业与新业态，顺应科技创新和消费模式

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的演变趋势，紧盯国家鼓励支持的前沿学科、核心设备，聚焦智能传感、嵌入式操作系统、车辆智能网联系统、工业生物合成等核心技术，重点发展人工智能技术、生物医药、新能源新型材料、全新信息技术、高端装备制造、绿色环保、高技术服务等战略新兴产业，培育发展人工智能、3D打印、机器人、下一代信息网络等具有新技术含量的创新产品。强化数字技术、信息技术、智能技术向各行业各领域覆盖融合，推动物联网、智慧医疗等新经济领域的发展。学校面向天津“一基地三区”的城市功能定位，对接天津支柱产业和新兴产业，大力提升人才培养与区域产业需求的契合度，大力提升科技研发能力和社会服务水平，服务区域经济社会发展。聚焦天津高端产业和产业高端，在总结多年与本科学校联合进行职业本科教育的经验基础上，适时独立开展本科层次高职教育，培养具有复杂实际问题解决能力、批判思维能力和创新能力的专家型技术技能人才，进而助力现代职教体系建设和国家资历框架建设。

（三）服务学生全面发展

学校全面贯彻落实党的教育方针，加强学生社会主义核心价值观涵育，使受教育者明大德、守公德、严私德，坚定理想信念、厚植爱国情怀、强化个人品德修养；同时突出职业教育的类型特点，特别加强职业道德和技术伦理教育，彰显职业文化和技术文化特色。学校准确把握智育规律，按照掌握知识、形成技能、发展智力、养成智慧的逻辑，着重培养学生的发展潜质、复合能力和创新能力。学校坚持学生身心和谐发展的体育观，注重体育对德、智、美育的促进作用，注重挖掘体育的社会功能和思政元素，通过体育活动，培养学生的团队精神、竞争意识、规则意识、爱国情怀；同时将体育与职业（专业）特点相结合，针对不同专业（职业），开设不同的实用性体育教学模块和训练项目，使学生进入社会后，具备岗位所需要的身体素质、心理素质和意志品质。学校将继续加强美育，不但要使学生受到高雅艺术的熏陶，而且还要特别注重生活层面的审美教育，坚持审美与致用统一的审美观，将艺术性与实用性结合，即审美的生活化和生活的审美化，提升学生欣赏美、体验美、评价美、创造美的能力和水平，实现以美育人、以美化人、以美培元。同时，学校的美育还要实现审美和立美的统一，不但提升学生的审美水平，还要让学生成为一个美的人。学校将通过深化产教融合、校企合作、工学结合、教学做一体，充分发挥高职院校劳动教育的天然优势，大力推进劳动教育。一方面使学生树立正确的劳动观，引导学生崇尚劳动、尊重劳动，懂得劳动最光荣、劳动最崇高、劳动最伟大、劳动最美丽的道理；使学生了解劳动制度设计，尊崇“按劳分配”的原则，追求社会公平正义，进入社会后通过辛勤劳动、诚实劳动创造美好生活。另一方面通过劳动教育促进德智体美的全面发展，实现知识技能的内化，提升技术应用能力，在劳动中将职业道德变成一种行动和习惯，在劳动中体验美、欣赏美、创造美，实现以劳树德、以劳增智、以劳强体、以劳育美的目标[3]。

三、坚持三高

坚持三高，即坚持高标准定位、实施高水平建设、实现高质量发展。

（一）坚持高标准定位

高标准定位是高水平建设的前提，突出标准在“双高”建设中的统领作用，落实国家教育教学标准，并形成具有“天职”特色的校本标准。高标准遴选合作企业，瞄准世界500强和行业龙头企业开展合作，搭建实体化校企合作平台，打造校企命运共同体。严把学生的入口标准和出口标准，在百万扩招、生源多样化背景下，将生源质量提升作为学校一项系统工程，完善招生制度，探索人才选拔新模式，不断提高生源质量。严把学生毕业标准，加大卓越技术技能人才培养力度。完善各类教师标准，制定专业群带头人标准，确保每个专业群有一名行业有权威、国际有影响的带头人；按照教师的专业教学能力、职业实践能力和技术研发能力三个维度制定骨干教师标准，通过完善全员聘任制度和职称评审制度，培养建立以业绩贡献和能力水平为导向的激励机制。按照职业性、高阶性、创新性和挑战度四个

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

维度制定高职“金课”标准，打造一批“金课”。

（二）实施高水平建设

实施高水平建设，全力推进“一加强”“四打造”“五提升”十大改革发展任务。以党的建设为统领，以人才培养为核心，以技术技能人才培养高地和技术技能创新服务平台为支点，全面提升双师队伍水平、校企合作水平、服务发展水平、学校治理水平、信息化水平和国际化水平。打造技术技能创新服务平台，与龙头企业合作，建设6个技术研发中心、6个技能大师工作室、3个高端智库咨询中心。对接天津支柱产业，打造眼视光技术、包装工程技术、智能制造、创意设计、信息技术、绿色化工、新能源汽车、养老服务、餐饮旅游、商贸流通十大专业群，形成“2-4-4”的专业群布局。

以“四有”为标准，打造一支数量充足、结构合理，拥有家国情怀、甘于敬业奉献、精于教育教学、长于技术技能的高水平双师队伍，引育10个专业群带头人，打造10名“双师型”教学名师和10名技能大师，建成3个国家级水准的职业教育教师教学创新团队，学校“双师型”教师占比达到90%。

以利益为基础、以资本为纽带、以市场为动力、以共赢为目标，打造实体化校企合作平台，与龙头企业合作，建设4个高水平专业化产教融合实训基地、4个产业学院、3个混合所有制二级学院，共建10家产教融合型企业；基于“1+X”证书制度，吸收培训评价组织加入，升级6个职教集团。

以“五度”为标尺大力提升服务发展水平：服务重大国家战略，提升社会对学校的美誉度；服务区域经济建设，提升学校与区域发展的融合度；服务产业转型升级，提升人才培养与产业发展的契合度；服务企业技术创新，提升企业对学校的依存度；服务全民终身学习，提升学习者对学校的满意度。

以学校章程为统领，以信息化为支撑，以多元共治为途径，以校级领导干部全职化改革为突破口，以良治善治为目标，大力推进学校治理体系和治理能力现代化，重点突破与职业教育改革不相适应的体制机制瓶颈。服务国家“一带一路”倡议，提升国际化办学水平，为世界职业教育提供中国模式、中国标准和中国方案，建设多个境外办学机构。

（三）实现高质量发展

聚焦类型教育和质量提升两个主题，坚持内涵发展、特色发展、创新发展、转型发展，最终实现高质量发展。高质量发展要聚焦以下重点问题：一是突出类型教育，通过跨界、整合、重构，以职业性为导向，培养面向未来职场的高素质技术技能人才；大力实施1+X证书试点，建立与国家学分银行衔接的学分制管理平台，创新1+X到X+1的旋转门机制，实现普教模式向类型教育的转变；二是以利益为基础、以资本为纽带，搭建校企合作实体化平台，破解校企合作中“校热企冷”的难题和人才培养供给侧与产业需求侧“两张皮”的问题，构建职业教育和产业统筹融合发展格局，促进产教供需双向对接；三是面向百万扩招带来的生源多样化，改革招生制度、创新培养模式、变革课程结构，创新授课形式、教学方法、教学管理、教学评价，做到因材施教；四是大力实施“三教”改革，通过教学流程重构、课程结构再造，构建以学生为中心、以成果为导向的课程体系，普及推广项目教学、案例教学、情景教学、工作过程导向教学等，推广混合式教学、理实一体教学、项目化教学等新型教学模式，将知识课堂变为学问课堂，将句号课堂变为问号课堂，将灌输式教学转变为探究式教学，着重培养学生的应用能力和实践能力，从而提升课堂效率和效果。

四、塑造三型

学校将培养发展型、复合型、创新型高素质技术技能人才作为人才培养目标。随着技术的发展、产业的升级和业态的迭代加快，技术技能人才的工作模式也发生根本性变革，即工作过程去分工化、人才结构去分层化、技能操作高端化、工作方式研究化、服务与生产一体化，这就需要我们培养的人才必须具有发展潜质、符合特征和创新能力，即发展型、复合型、创新型技术技能人才。落实“1+X”证书制度，处理好“1”与

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

“X”关系，开发“1”和“X”深度融合的人才培养方案，促进书证融通，是塑造三型、促进人才培养模式和教育教学方式变革的关键抓手。

进一步发挥好学历证书“1”的基础性、主体性作用，夯实学生可持续发展基础，构建德智体美劳全面发展的人才培养体系，创新“重德强技、校企协同、书证融通、多径育匠”的人才培养模式，以“全面发展、双元育人、标准统领、课证融合、逆向设计、分类分层、持续改进”的原则，修订专业人才培养培养方案，并绘制基于专业群的课程地图。构建通识课程、平台课程、专业课程、卓越课程四阶递进的课程体系。秉持通识、博雅、全人教育理念，系统构建通识教育课程体系，以德智体美劳全面发展的人才培养目标划分通识课程模块，根据学生兴趣，构建不同的课程模块，培养学生的道德品质、爱国主义精神、人文情怀、科学精神、艺术修养、国际视野、创新能力等方面素质，同时要注重培养学生的逻辑思维能力、交流沟通能力、价值判断能力和创新创业能力等。构建相互补充的四课堂体系，即传统的第一课堂、以社团为主要载体的第二课堂、以网络信息技术为支撑的第三课堂和企事业单位实习的第四课堂，以职业性为导向，面向未来职场培养德智体美劳全面发展的高素质技术技能人才。

率先落实1+X证书制度，突出“X”证书针对性、引导性、先进性，以模块化标准、模块化课程、结构化团队培养学生的模块化能力，使学生将来能够适应信息化、智能化等技术的发展，培养“多接口”“即插即用”复合型人才[4]。按“团队为基、结构化为根、创新为魂、育人为本”的思路，打造多支高水平教师教学创新团队，基于X证书创新“五链耦合”的人才培养机制，即智慧型岗位→模块化课程→结构化团队→项目化教学→复合型人才的五链联动耦合，实现岗证对接、课证融合、书证融通。积极争取并高质量建设试点证书考核站点，在前两批已经实施的14个证书基础上，根据国家试点工作进度，积极扩大试点专业范围，完善相关培训条件建设。加强与职业教育培训评价组织合作，积极参与国家职业技能等级证书标准的制定，试点外专业联合行业和龙头企业自行开发职业技能等级证书，使1+X证书培训覆盖全部专业。开发与职业技能等级证书标准相融通的课程模块和教学资源，高级别职业技能证书对应卓越人才培养高阶课程模块。建立学校学分银行平台，并与国家学分银行实现对接，建立相关工作机制，对学历证书和职业技能等级证书所体现的学习成果进行登记和存储，记入学生个人学习账号，尝试学习成果的认定、积累与转换。面对生源多样化和学生学习个性化的需求，支撑“1+X”证书制度实施，学校全面实行学分制，为不同来源学生打通卓越人才培养通道。

实施科研强校战略，让更多学生参与科技研发，并将研发成果转化到教学中，培养学生的创新精神、创新意识、创新思维和创新能力。一是搭建研发平台，与行业龙头企业合作搭建实体化科研平台（技术研发中心），以企业真实项目为载体，加大技术研发力度，实现技术创新成果转化为现实生产力；二是每个专业群从双一流大学、科研院所或龙头企业柔性引进一名首席专家，在横向技术服务、纵向课题申报、科技论文撰写等对教师进行培训指导，带出一支教师队伍，提升教师的科研能力；三是建立教师科研激励机制，对于能争取技术研发项目并愿意做技术研发平台的负责人，学校为其配备必要的场地、科研仪器设备，并在职称晋升、项目申报、成果评奖等方面予以倾斜；四是加强科研成果的转化，建立成果向市场转化、成果向教学转化的有效运行机制；五是加强创新创业教育，成立创新创业学院，开发适应多元需求的教学资源，服务学生的全面发展和可持续发展。

五、彰显三特

坚持特色发展，彰显人才培养特色、产教融合特色和学校治理特色。

（一）彰显人才培养特色

“双高”建设要彰显学校的人才培养特色，学校的人才培养特色强调不可替代性，即教育类型的不可替代性——职业性，服务面向的不可替代性——区域性，人才培养规格的不可替代性——卓越性。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

一是学校突出职业教育类型，人才培养坚持为了职业、关于职业、基于职业，为经济社会发展培养生产、建设、服务、管理一线的技术技能人才，人才培养目标、教育教学内容、教育教学方式均围绕职业而展开，坚持以职业为导向：人才培养以形成学生的职业能力为培养目标；课程开发以典型的职业活动为核心；教学内容以技术知识和工作过程知识为主体；教学方式强调行动导向；教学环境强调职业情境的真实性[5]。使学生掌握职业技能、获取职业知识，了解职业规范，培养职业情感，健全职业人格[6]，完成从自然人到职业人的转变，通过从事专门的职业，在特定的社会生活环境中与其他社会成员相互关联、相互服务，从而实现人的社会化。人才培养目标定位的不可替代来源于就业岗位的不可替代，职业专科教育是培养能良好地胜任目前工作并具有较强职业迁移能力的高素质技术技能人才；职业本科教育是培养具有复杂实际问题解决能力、批判思维能力和创新能力的专家型技术技能人才。

二是与区域支柱产业需求紧密结合（区域性），学校的专业群构建、专业设置以及人才培养目标、规格，紧紧围绕天津支柱产业、特色产业和新兴产业，面向区域高端装备业组建智能制造专业群，面向区域人工智能、新一代信息技术组建人工智能专业群，面向区域石油化工产业组建绿色化工专业群，面向区域新能源汽车和智能交通组建新能源汽车专业群，面向区域智慧健康养老产业组建养老服务专业群，面向区域智能商贸物流产业组建商贸流通专业群，面向区域智能文化创意产业组建创意设计专业群，面向视觉健康产业组建眼视光技术专业群，面向区域服务型制造业组建包装工程技术专业群。通过“校中厂”“厂中校”“订单班”“顶岗实习”“现代学徒制”“企业新型学徒制”等多种途径，使教学内容、教学过程与区域产业紧密对接，强化人才培养的不可替代性。

三是卓越人才培养（卓越性）。本着人无我有、人有我优的原则，实施“卓越人才培养计划”，制定卓越人才培养标准，通过选修高阶课程模块、参加技能大赛、参与技术研发、获取高级职业技能等级证书、获取专利授权、创新创业等多种途径，加大卓越技术技能人才培养力度，为学生打通上升通道，大力提升人才培养质量。

（二）彰显产教融合特色

学校在校企合作中，坚持合作区域的模式化、合作平台的实体化、合作机制的市场化、合作伙伴的高端化，以“四化”彰显学校的产教融合特色。合作区域的模式化：学校根据天津市不同区域的区位特点和产业特点，强化与区域合作的针对性，实施“一区一策”，创新“区园行企校”“产城教融合”等合作模式，加强与滨海新区构、北辰区、武清区、静海区、宝坻区的合作。合作平台的实体化：以合作发展为基础，以资本为纽带，以产业学院、混合所有制二级学院、职教集团等为路径，搭建实体化校企合作平台，通过资本融合、资源融合、人员融合、文化融合等深化产教融合，打造校企命运共同体。合作机制的市场化：以市场化机制作为校企深度合作的根本动力，在合作过程中让企业得到实实在在的利益。一是助推产教融合型企业申报、认证。对于与学校合作紧密、有教育情怀的行业龙头企业，学校积极助力其进入国家产教融合型企业目录，让其享受到“金融+财政+土地+信用+税收”的优惠政策。二是强化对企业的技术研发与员工培训，为企业解决生产技术难题，为企业产品升级换代提供技术支持，为企业优先推荐优秀毕业生，为企业员工终身学习提供支持，提升企业的核心竞争力。三是强化校企的文化融合，充分利用学校的渠道宣传企业，让企业获得更多的社会赞誉和社会支持。合作伙伴的高端化：在现有林肯等高端品牌的基础上，继续加强与500强企业、行业龙头企业的合作，确保每个专业群至少有一个深度合作的高端伙伴。

（三）彰显学校治理特色

学校实施校级领导干部全职化改革，打造一个政治立场坚定、热爱教育事业、通晓高职教育规律和办学规律、办学理念先进、具有高超的学校管理能力和社会活动能力的领导集体，心无旁骛，管理经营好学校发展。强化学校制度体系的顶层设计，构建“学校章程—基本制度—工作制

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

度—部门规章”系统完备、科学规范、运行有效的四层级制度体系；建立层级上下联动、部门左右互动、协同有序运转高效的组织机构。突出职教类型特点，完善混合所有制二级学院或产业学院的体制机制，创新基于专业群重构的二级学院组织机构和治理模式，建立基于国家“学分银行”的职业教育类型学分制。

六、实现三大

实现三大，即实现大发展，做出大贡献，打造大品牌。

（一）实现大发展

经过双高建设，学校的整体办学实力、办学水平和育人成效得到显著提升，德智体美劳全面发展的高水平技术技能人才培养体系基本形成，产教融合进一步深化，师资结构进一步优化，校企合作水平、服务发展水平、学校治理水平、信息化水平和国际化水平显著提升，成为全国技术技能人才培养高地、高职智慧校园的样本、高职院校治理体系和治理能力现代化的标杆和国际化办学的旗帜。学校将形成一系列模式、制度、标准、经验、做法，并在全国得到推广，成为高职领域立德树人的示范者、青年出彩人生的塑造者、职教改革发展的引领者、国家构建现代职教体系的助力者。

（二）做出大贡献

学校的服务发展水平将得到显著提升，人才培养的供给侧与产业需求侧的契合度显著提升，成为重大国家战略实施的服务者、区域产业转型升级的重要支撑者、企业技术创新的生力军、终身学习型社会的建设者。建设期内，学校在智能网联汽车、增材制造、智能制造、包装印刷、人工智能、绿色化工等领域取得一批突破性技术创新成果，助力产业转型升级和企业技术创新，将实现从产业发展的跟跑者到产业发展的并跑者再到产业发展的领跑者的蜕变。

（三）打造大品牌

双高建设期间，学校将实施品牌定位工程、品牌塑造工程和品牌推广计划，着力打造职业教育国际化“天职”品牌，使学校的社会认可度、知名度、美誉度和国际影响力显著提升，将学校打造成与英国诺兰德学院、瑞士洛桑酒店管理学院、日本京都精华大学、美国烹饪学院等齐名的世界知名的职业高等教育机构，成为国内高职教育服务市场的领导者，国际职业教育服务市场的重要一极。

实施品牌塑造工程。强化“天职”品牌的经营和传播，着力打造专业品牌、师资品牌、毕业生品牌三张名片。打造2个国内顶尖、国际知名的国际品牌专业，4个国内领先、国际有影响的全国品牌专业，4个国内上游、特色鲜明的区域品牌专业。整合师资力量，构建多支以国家教学名师、技能大师、行业权威领衔的结构化专业教学团队和科研团队，彰显学校师资品牌价值。学校将强化毕业生的不可替代性，“上手快、留得住、素质高”的特色进一步彰显，以“航天技术能手”王警、“创业达人”韩野为代表的优秀毕业生遍地开花，打造“天职”毕业生品牌。

实施品牌推广计划。在国内，以援建、设置分校、培训中心、研制规划方案等路径，将学校的办学理念、办学模式和办学标准成功复制到相关地区；在海外，重点面向非洲、北美、欧洲和东南亚等地区，通过建设“鲁班工坊”、援建专业、组织国际技能大赛、制定国际化教学标准、建立国际化联盟等路径，输出“天职”方案、“天职”模式、“天职”标准，服务国家“一带一路”倡议，助力中国企业走出去，提升学校国际影响力。

七、结语

当前，学校处于最好的发展时期，国家给予职业教育的地位前所未有、国家对高等职业教育的期待前所未有、产业转型升级对技术技能人才的迫切需求前所未有、构建终身学习型社会对高职学校的职责要求前所未有。然而，学校也面临诸多挑战，人才培养特色不够鲜明、产教融合尚待进一步深化、社会服务水平有待进一步提高、师资队伍尚待进一步优化。教育部实施“双高计划”建设，给学校带来重大发展机遇，确立“六个三”双高建设思路，就是为了抢抓机遇、应对挑战，立体化建设“当地离不开、业内都认同、国际可交流”高水平高职学校，引领改革、支撑发展、彰显特色、铸就“天职”品牌。（注：该文部分内容曾在《中国教育报》刊发）

（责任编辑：古光甫）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献：

[1]刘　斌.“双高计划”多维度提升高职教育发展质量[J]. 现代教育管理，2019(6):96-100.

[2]邹吉权，刘　斌. 中国特色高水平高职院校建设的理论与行动框架[J]. 中国职业技术教育，2018(34):35-42.

[3]邹吉权，刘　斌. 高职德智体美劳五育的理念、内涵与实施策略[J]. 职业技术教育，2020(4):17-22.

[4]浦　毅.高职院校智能制造复合型人才培养模式研究[J].教育与职业，2018(16):48-52.

[5]徐　涵.论职业教育的本质属性[J].职业技术教育(理论版),2007(1):12-15.

[6]邓宏宝.论职业教育人的社会化功能及其实现[J].职教论坛,2015(15):4-7.

Construction of "Double High Plan": Cultivating the Craftsman with Cultivating Morality and Capability and Striving for Application and Innovation, Casting Brand of Tianjin Vocational Institute with Promotion and Diligence

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

LIU Bin　ZOU Ji-quan

Abstract: In order to build the college into a higher vocational college with Chinese characteristics and world standards that leads the reform and supports development, Tianjin Vocational Institute has established the "six three" construction ideas in the implementation process of the "Double High Plan"—grasp the three fundamentals, strengthen the three services, adhere to the three standards, shape the three types, highlight the three characteristics, and achieve the three goals. Grasping the three fundamentals means basing on General Secretary Xi Jinping´s important discourse on education, carrying out the fundamental task of cultivating people with moral integrity, and strengthening party building as the fundamental guarantee; strengthening the three services means serving industry development, serving regional economic and social development, and serving comprehensive development of students; adhering to the three standards means adhering to high standard positioning, carrying out high-level construction, and achieving high-quality development; shaping the three types means the college takes training the development type, the compound type, and the innovative type of high-quality technical and skilled talents as the talents training goal; highlighting the three characteristics means highlighting the characteristics of talents training, integration of industry and education, and college governance; achieving the three goals means achieving great development, making great contributions, and building a big brand.

Keywords: double high plan；construction thought；high level；characteristic；brand

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文章编号：1000-7709(2021)12-0214-05

双馈风力发电系统的MPPT自适应滑模控制

黄 鑫[1]，王 婕[2,3]，邢 侃[4]

(1. 天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410；2. 河北工业大学人工智能与数据科学学院，天津 300401；3. 河北省风电系统控制与测试工程研究中心，天津 300130；4. 中国长江电力股份有限公司葛洲坝水利发电厂，湖北 宜昌 443000)

摘要：针对双馈风电机本身固有的非线性特性及外界干扰对系统影响等问题，设计具有自适应控制增益的滑模控制器，使系统在外部干扰和参数不确定的情况下，实现最大功率点跟踪(MPPT)的鲁棒控制。首先通过风机气动模型分析MPPT特性曲线，采用定子磁场定向控制建立面向控制器的风机模型；其次考虑系统的不确定上界有界未知问题，设计MPPT自适应滑模控制器；最后选取1.5 MW双馈风力发电机组进行算例仿真。结果表明，设计的控制器不仅能在参数存在未知扰动的情况下，实现对最大功率的稳定跟踪控制，并能有效抑制抖振，具有较强的鲁棒性。

关键词：双馈风电机；最大功率点跟踪；定子磁场定向；滑模控制；自适应控制

中图分类号：TM315 **文献标志码**：A

1 引言

双馈变速恒频风电系统电机转速可跟随风速调节，从而可实现最大风能捕获，能量转化率更高，已广泛应用于风力发电中[1]。实现输出功率最优控制是保证其稳定运行和发电效益最大化的必要条件，故双馈风电系统的最大功率点跟踪(MPPT)控制成为目前研究的重点。由于双馈风电系统结构具有多变量、强耦合、非线性等特性，加之环境变化的随机性和扰动的不确定性，因此传统控制策略存在难以得到精准机电耦合模型、系统鲁棒性和稳定不足等问题。滑模控制以对建模不精确和有界干扰问题的处理能力著称，适用于风力发电机组的复杂工作环境和结构特征，近年来被广泛应用于风力发电系统MPPT控制的研究中。MEGHNI B等[2]提出了将空间矢量调制与滑模控制相结合的直接功率控制策略。由于单一滑模控制不连续的控制行为会引起抖振现象，为此刘向杰等[3]设计了两个二阶滑模控制器，实现系统的风能捕获最大化的同时使无功功率最小化。PRATAP B等[4,5]分别采用准滑模方法和准连续高阶滑模方法设计风机的鲁棒控制器，以消除抖振效应。但单纯的高阶滑模控制需事先给定系统的不确定边界，且部分控制器结构较复杂、测量参数和状态较多，而这是风力发电实际工程应用的一个难点。鉴此，本文针对定子直接并网、转子与逆变器相连的双馈发电机组，在充分考虑参数不确定与外部干扰因素下建立双馈型风机的控制模型，以实现最大输出功率稳定跟踪控制为目的设计鲁棒滑模控制器，并进一步将自适应技术与滑模控制相结合，从而实现系统控制增益的实时调整和风电系统不确定上界的估计。

2 面向控制器的系统建模与分析

2.1 风力发电机模型

由空气动力学的贝茨(Betz)理论可知，双馈型风力机从空气中获取的功率P_a[6]可表示为：

$$P_a=\rho\pi R^2C_p(\lambda,\beta)v^3/2 \tag{1}$$

式中，ρ为空气密度；R为风轮半径；v为风速；$C_p(\lambda,\beta)$为功率因数，表示风能转换成机械能的

收稿日期：2021-02-05，**修回日期**：2021-03-23

基金项目：国家自然科学基金项目(61703134)；河北省自然科学基金项目(F2019202369)；天津市科技计划项目——企业科技特派员项目(20YDTPJC00430)

作者简介：黄鑫(1983-)，女，硕士、副教授，研究方向为非线性控制理论、新能源动力系统等，E-mail：huangxin3620@126.com

通讯作者：王婕(1986-)，女，博士、副教授、硕导，研究方向为风力发电机组控制技术、滑模控制等，E-mail：000763@th.tjtc.edu.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

转换效率,与叶片转速、叶片直径、风速、桨叶节距角有关系,是关于叶尖速比 λ 和桨距角 β 的函数。

叶尖速比 λ 关于风机风轮角速度 ω_{rm} 的表达式为:

$$\lambda = R\omega_{rm}/v \tag{2}$$

根据气动功率与风机转子转速的关系,结合式(1)、(2),风力机的气动转矩 T_a 可表示为:

$$T_a = P_a/\omega_{rm} = \rho\pi R^3 C_p(\lambda,\beta)v^2/(2\lambda) \tag{3}$$

结合图 1 所示的双馈型风力发电机组单质量

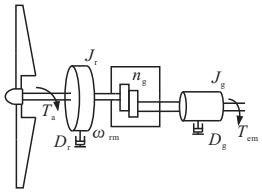


图 1　风力发电机组单质量块结构图

Fig. 1　Wind turbine single mass block structure diagram

块结构图,其传动模型[7]可表示为:

$$J_t\dot{\omega}_r = T_a - D_t\omega_r - n_g T_{em} \tag{4}$$

其中　　$\omega_r = p_r\omega_{rm}$;$J_t = J_r + n_g^2 J_g$

$$D_t = D_r + n_g^2 D_g$$

式中,ω_r 为转子角速度;n_g 为齿轮箱齿速;T_{em} 为发电机电磁转矩;J_t 为风机总惯量;D_t 为风机外部总阻尼;p_r 为发电机极对数;J_r 为转子惯量;J_g 为发电机惯量;D_r 为转子阻尼;D_g 为发电机外部阻尼。

充分考虑外界干扰和参数变化导致的不确定因素对双馈风机的影响,在式(4)中引入风机总惯量的不确定 ΔJ_t、外部总阻尼的不确定 ΔD_t、连续的外部扰动 Δd_1,建立风机非线性传动模型为:

$$(J_t + \Delta J_t)\dot{\omega}_r = T_a - (D_t + \Delta D_t)\omega_r - n_g T_{em} + \Delta d_1 \tag{5}$$

2.2　MPPT 特性曲线分析

在变速阶段风速未达到额定风速,变桨机构不动作,故假设在定桨距风机中桨距角 $\beta=0°$,风电机组做变速动作,随着风速的变化,风力发电机组通过控制发电机转矩调整发电机的转速,使风轮转速达到期望转速,捕获的功率达到期望功率。那么功率因数可简化为关于 λ 的非线性函数:

$$C_p(\lambda) = 0.517\,6(116/\lambda_i - 5)e^{-21/\lambda_i} + 0.006\,8\lambda \tag{6}$$

其中　　$1/\lambda_i = (1/\lambda - 0.035)$

由风能功率因数与叶尖速比的关系可知,某一最优叶尖速比 λ_{opt} 使功率因数达到最大值 $C_{p_{max}}(\lambda_{opt})$,则最大输出功率 P_{a-max} 可表示为:

$$P_{a-max} = \rho\pi R^2 C_{p_{max}}(\lambda_{opt})v^3/2 \tag{7}$$

结合式(2)、(7),可得到风力机在不同风速下输出功率与转速的关系。图 2 为将各功率曲线的最大功率点连接后得到 MPPT 特性曲线。因此,对于 MPPT 控制应遵循该风机的跟踪特性曲线(TCC),将对应风速下 TCC 的最大输出功率 P_{a-max} 作为功率控制回路的参考功率。

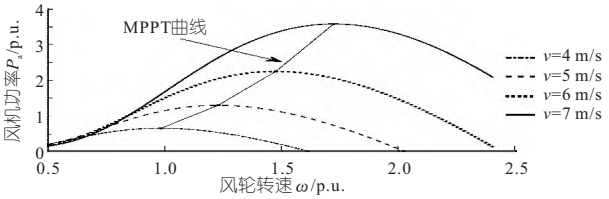


图 2　最大功率跟踪特性曲线

Fig. 2　Maximum power point tracking characteristics curves

2.3　面向控制器的风机模型建立

采用同步旋转坐标系 d、q 建立双馈风力电机的状态空间模型,定、转子绕组电压方程[8]为:

$$\begin{cases} v_{sd} = R_s i_{sd} + \mathrm{d}\varphi_{sd}/\mathrm{d}t - \omega_s\varphi_{sq} \\ v_{sq} = R_s i_{sq} + \mathrm{d}\varphi_{sq}/\mathrm{d}t + \omega_s\varphi_{sd} \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} v_{rd} = R_r i_{rd} + \mathrm{d}\varphi_{rd}/\mathrm{d}t - (\omega_s - \omega_r)\varphi_{rq} \\ v_{rq} = R_r i_{rq} + \mathrm{d}\varphi_{rq}/\mathrm{d}t + (\omega_s - \omega_r)\varphi_{rd} \end{cases} \tag{9}$$

定子、转子磁链方程的表达式为:

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \end{cases} \tag{10}$$

$$\begin{cases} \varphi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \end{cases} \tag{11}$$

式中,v_{sd}、v_{sq}、v_{rd}、v_{rq} 分别为定子、转子 d、q 轴电压;i_{sd}、i_{sq}、i_{rd}、i_{rq} 分别为定子、转子 d、q 轴电流;φ_{sd}、φ_{sq}、φ_{rd}、φ_{rq} 分别为定子、转子 d、q 轴磁链;R_s、R_r 分别为定子、转子电阻;L_s、L_r 分别为定子、转子电感;L_m 为定子和转子之间的互感。

任意坐标系下的电磁转矩 T_{em} 可表示为:

$$T_{em} = p_r(\varphi_{sd}i_{sq} - \varphi_{sq}i_{sd}) \tag{12}$$

为增强整个系统无功补偿能力,采用定子磁场定向矢量控制,定子磁链矢量定向在 d 轴,即 $\varphi_{sd} = \varphi_s$、$\varphi_{sq} = 0$。

定子的有功和无功功率可表示为:

$$\begin{cases} P_s = -v_s L_m i_{rq}/L_s \\ Q_s = v_s\varphi_s/L_s - v_s L_m i_{rd}/L_s \end{cases} \tag{13}$$

式中,v_s 为电网电压;ω_s 为定子的同步转速。

由式(9)~(11)可知转子 d、q 轴电压与电流的变化率之间的关系为:

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}i_{rd}}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{R_r}{\sigma L_r}i_{rd} + (\omega_s - \omega_r)i_{rq} + \dfrac{1}{\sigma L_r}v_{rd} \\ \dfrac{\mathrm{d}i_{rq}}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{R_r}{\sigma L_r}i_{rq} - (\omega_s - \omega_r)\left(\dfrac{L_m\varphi_s}{\sigma L_r L_s} + i_{rd}\right) + \dfrac{1}{\sigma L_r}v_{rq} \end{cases} \tag{14}$$

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

其中 $\sigma=1-L_{\mathrm{m}}^{2}/(L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}})$

增加考虑系统参数不确定性和外界扰动，在式(14)中引入转子 d 、q 轴的外部扰动和不确定总和 Δd_2、Δd_3。整理合并式(3)、(5)、(12)，得到面向控制器设计的双馈风机模型：

$$\begin{cases}\dfrac{\mathrm{d}i_{rd}}{\mathrm{d}t}=-\dfrac{R_{\mathrm{r}}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}i_{rd}+(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})\,i_{rq}+\dfrac{1}{\sigma L_{\mathrm{r}}}v_{rd}+\Delta d_2\\ \dfrac{\mathrm{d}i_{rq}}{\mathrm{d}t}=-\dfrac{R_{\mathrm{r}}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}i_{rq}-(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})\left(\dfrac{L_{\mathrm{m}}\varphi_{\mathrm{s}}}{\sigma L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}}}+i_{rd}\right)+\\ \qquad v_{rq}/(\sigma L_{\mathrm{r}})+\Delta d_3\\ \dfrac{\mathrm{d}\omega_{\mathrm{r}}}{\mathrm{d}t}=-\dfrac{D_{\mathrm{t}}+\Delta D_{\mathrm{t}}}{J_{\mathrm{t}}+\Delta J_{\mathrm{t}}}\omega_{\mathrm{r}}+\dfrac{\rho\pi R^{3}C_{\mathrm{p}}(\lambda,\beta)v^{3}}{2\lambda(J_{\mathrm{t}}+\Delta J_{\mathrm{t}})}+\\ \qquad n_{\mathrm{g}}p_{\mathrm{r}}\varphi_{\mathrm{s}}L_{\mathrm{m}}i_{rq}/[L_{\mathrm{s}}(J_{\mathrm{t}}+\Delta J_{\mathrm{t}})]+\Delta d_1\end{cases}\tag{15}$$

3 自适应滑模控制器设计

本文设计的基于自适应滑模控制器的双馈型风力发电机 MPPT 系统的整体结构见图 3。风轮吸收风能并将其转化为机械能，通过齿轮箱增速，传输到双馈型发电机发电。将电网侧电压和电流送入有功与无功功率计算模型得到有功和无功功率实际值 P_{s}、Q_{s}；同时通过光电编码器检测到电机转角进而转化为角速度，利用 MPPT 特性分析曲线得到有功和无功功率期望值 $P_{\mathrm{a-opt}}$、Q_{sref}，误差信号作为滑模的状态变量。通过自适应滑模控制器，获得转子电压控制量，利用空间矢量调制(SVM)模型输出控制转子侧变流器(RSC)，进而实现最大功率的跟踪控制。

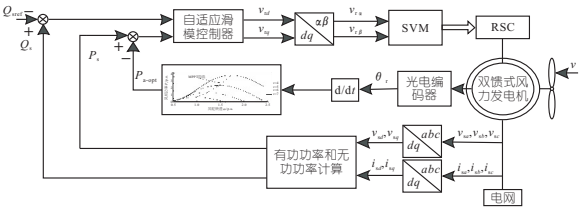


图 3 双馈风力发电机 MPPT 自适应滑模控制系统结构

Fig. 3 Structure of MPPT adaptive sliding mode control system for doubly fed wind turbine

3.1 控制器设计

根据 MPPT 控制特性分析，理想状态下双馈风机系统的有功功率参考值应设为最大输出功率 $P_{\mathrm{a-max}}$，无功功率参考值为零，即：

$$\begin{cases}P_{\mathrm{sref}}=P_{\mathrm{a-max}}\\ Q_{\mathrm{sref}}=0\end{cases}\tag{16}$$

定义有功和无功功率的跟踪误差为：

$$\begin{cases}e_P=P_{\mathrm{s}}-P_{\mathrm{a-max}}\\ e_Q=Q_{\mathrm{s}}\end{cases}\tag{17}$$

为使模型(式(15))在外部干扰和不确定因素作用下，能实现有限时间内对参考功率值的稳定跟踪，引入积分环节以消除稳态误差，设计滑模面为：

$$\begin{cases}S_P=(P_{\mathrm{s}}-P_{\mathrm{a-max}})+\alpha_P\int(P_{\mathrm{s}}-P_{\mathrm{a-max}})\\ S_Q=Q_{\mathrm{s}}+\alpha_Q\int Q_{\mathrm{s}}\end{cases}\tag{18}$$

式中，α_P 、α_Q 均为大于零的常数。

对式(18)求导并结合式(13)、(15)可得：

$$\begin{cases}\dot{S}_P=\dfrac{L_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{s}}}{L_{\mathrm{s}}}\left[\dfrac{R_{\mathrm{r}}i_{rq}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}+(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})\left(\dfrac{L_{\mathrm{m}}\varphi_{\mathrm{s}}}{\sigma L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}}}+i_{rd}\right)-\dfrac{v_{rq}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}\right]-\dfrac{\mathrm{d}P_{\mathrm{a-max}}}{\mathrm{d}t}+\alpha_P e_P+\Delta d_3\\ \dot{S}_Q=\dfrac{L_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{s}}}{L_{\mathrm{s}}}\left[\dfrac{R_{\mathrm{r}}i_{rd}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}-(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})i_{rq}-\dfrac{v_{rd}}{\sigma L_{\mathrm{r}}}\right]+\alpha_Q e_Q+\Delta d_2\end{cases}\tag{19}$$

为使滑模变量 S_P 、S_Q 及其导数在扰动项 Δd_2、Δd_3 不确定上界有界未知的条件下收敛到原点，选取指数趋近律，设计自适应滑模控制器为：

$$\begin{cases}V_{rd}=\dfrac{\sigma L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}}}{L_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{s}}}[k_Q\,\mathrm{sgn}(S_Q)+\alpha_Q e_Q]+R_{\mathrm{r}}i_{rd}-\sigma L_{\mathrm{r}}(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})i_{rq}\\ V_{rq}=\dfrac{\sigma L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}}}{L_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{s}}}\left[k_P\,\mathrm{sgn}(S_P)+\alpha_P e_P-\dfrac{\mathrm{d}P_{\mathrm{a-max}}}{\mathrm{d}t}\right]+R_{\mathrm{r}}i_{rq}+(\omega_{\mathrm{s}}-\omega_{\mathrm{r}})\left(\dfrac{L_{\mathrm{m}}\varphi_{\mathrm{s}}}{\sigma L_{\mathrm{r}}L_{\mathrm{s}}}+i_{rd}\right)\end{cases}\tag{20}$$

式中，k_Q 、k_P 分别为无功、有功功率的控制增益。

$\mathrm{sgn}(x)$为切换函数，取值为：

$$\mathrm{sgn}(x)=\begin{cases}1 & x>0\\ [-1,1] & x=0\\ -1 & x<0\end{cases}\tag{21}$$

考虑到传统滑模对扰动上界估计的保守性，避免滑模变量控制增益估值过高，特引入控制增益的自适应控制。自适应控制可实现系统在线实时估计扰动的边界值，提高控制精度，减小符号函数 $\mathrm{sgn}(x)$导致的抖振效应，减小稳态误差。其表达式定义为：

$$\dot{k}_P=\begin{cases}\eta_P|S_P| & S_P\neq 0\\ 0 & S_P=0\end{cases}\tag{22}$$

$$\dot{k}_Q=\begin{cases}\eta_Q|S_Q| & S_Q\neq 0\\ 0 & S_Q=0\end{cases}\tag{23}$$

式中，η_P 、η_Q 分别为自适应调节参数，均为大于零的常数，表示自适应律收敛速度的快慢。

3.2 稳定性分析

令 $\boldsymbol{S}=[S_q,S_d]^{\mathrm{T}}$，系统稳定性证明如下。

根据 Lyapunov 稳定性定理，提出 Lyapunov

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

函数:

$$V=\frac{1}{2}\boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{S}+\frac{1}{2\eta_P}(k_P-k_P^*)^2+\frac{1}{2\eta_Q}(k_Q-k_Q^*)^2 \tag{24}$$

式中,k_P^*、k_Q^* 分别为控制增益 k_P、k_Q 的上界。

证明所设计的自适应滑模控制器的稳定性。

对式(24)求导得:

$$\dot{V}=S_P\dot{S}_P+S_Q\dot{S}_Q+(k_P-k_P^*)\dot{\hat{k}}_P/\eta_P+\frac{1}{\eta_Q}(k_Q-k_Q^*)\dot{\hat{k}}_Q=S_P\left[\frac{R_rL_m v_s i_{rq}}{\sigma L_rL_s}+\frac{L_m v_s(\omega_s-\omega_r)}{L_s}\left(\frac{L_m\varphi_s}{\sigma L_rL_s}+i_{rd}\right)-\frac{L_m v_s V_{rq}}{\sigma L_rL_s}-\frac{\mathrm{d}P_{a-\max}}{\mathrm{d}t}+\alpha_P e_P\right]+S_Q\left[\frac{R_rL_m v_s i_{rd}}{\sigma L_rL_s}-\frac{L_m v_s(\omega_s-\omega_r)}{L_s}i_{rq}+\alpha_Q e_Q-\frac{L_m v_s V_{rd}}{\sigma L_rL_s}\right]+(k_P-k_P{}^*)\dot{\hat{k}}_P/\eta_P+(k_Q-k_Q^*)\dot{\hat{k}}_Q/\eta_Q \tag{25}$$

基于式(21)、(23),式(25)重写为:

$$\dot{V}=S_P\Delta d_1-k_P^*|S_P|+S_Q\Delta d_2-k_Q^*|S_Q|\leqslant|S_P|(\Delta d_1-k_P^*)+|S_Q|(\Delta d_2-k_Q^*) \tag{26}$$

由式(26)可知,只需满足 $k_P^*>|\Delta d_1|$、$k_Q^*>|\Delta d_2|$,则可保证 $\dot{V}\leqslant 0$,即可保证在有限时间内滑模面 S_P、S_Q 及其导数收敛到零,即 $k_P\to k_P^*$、$k_Q\to k_Q^*$。

4　仿真分析

为了验证本文提出的自适应滑模控制器对功率控制的有效性,采用 Matlab/Simulink 对额定功率为 1.5 MW 的双馈风力发电机组进行了仿真。风机模型参数为 $J_t=445\ 320\ \mathrm{kg\cdot m^2}$、$D_t=457.9\ \mathrm{N\cdot m/rad/s}$、$n_g=43.165$。双馈电机相关参数为 $R_s=0.005\ \Omega$、$L_s=0.407\ \mathrm{mH}$、$R_r=0.008\ 9\ \Omega$、$L_r=0.299\ \mathrm{mH}$、$L_m=0.001\ 6\ \mathrm{mH}$、$p_r=4$。

在实际系统中,由于风电系统运行环境的不确定性,风机总惯量、外部总阻尼系数、绕磁电阻、电感阻抗、频率等参数存在不确定性,为证明本文设计的控制器对参数存在未知扰动时的自适应性和鲁棒性,假设在运行过程中,风机总惯量和外部总阻尼存在 10%的不确定,即 $\Delta J=0.1J$、$\Delta D=0.1D$;且在 50 s 后,参数 R_s、L_s、R_r、L_r、L_m 存在 10%的不确定,即 $\Delta R_s=0.1R_s$;外部扰动为正弦函数,仿真过程中设置为 $\Delta d_i=\sin(\pi t/125)$,$i=1,2,3$。

为研究风机在未达到额定风速的变速阶段,控制器对 MPPT 的鲁棒性和自适应性,故选择如式(27)的快速变化正弦风数学模型:

$$v(t)=A_0+\sum_{i=1}^{4}A_i\sin\frac{2\pi t}{T_i} \tag{27}$$

式中,A_0 为常值分量,取 6;A_i、T_i 分别为 i 次正弦分量的幅值和周期,取 $T_1=60$、$T_2=23.5$、$T_3=4.8$、$T_4=1.7$,$A_1=0.2$、$A_2=2$、$A_3=1$、$A_4=0.2$。

图 4 为风速曲线,其模拟出实际自然风的非线性和不确定性的特征。

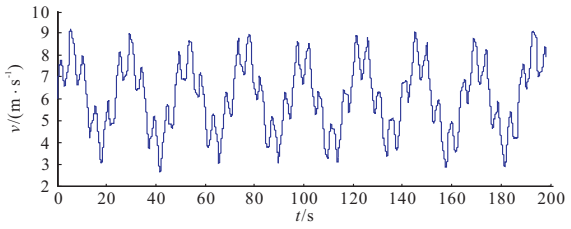
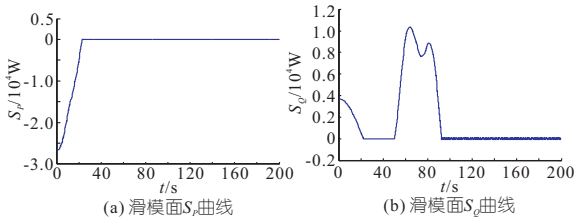


图 4　风速曲线

Fig. 4　Wind speed curve

图 5 为滑模面变化曲线(式(18))。由图 5 可看出,在 50 s 考虑参数不确定的影响后,滑模面 S_Q 出现了较大波动,但在较短时间内重新达到稳态。



(a) 滑模面S_P曲线　(b) 滑模面S_Q曲线

图 5　滑模面曲线

Fig. 5　Sliding surface curve

图 6 为风功率曲线,图 7 为控制律 V_{rd}、V_{rq} 随时间变化的关系曲线。由图 6、7 可看出,在控制器的作用下,风机输出功率随实际风速发生变化,且两者变化趋势一致,说明双馈风电系统在保证稳定安全的运行模式下,能实现对最大功率的跟踪控制。

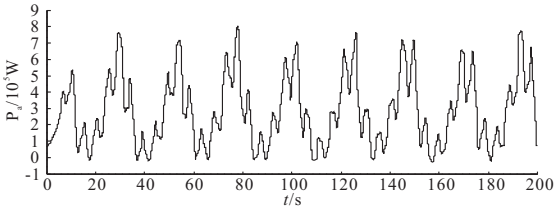
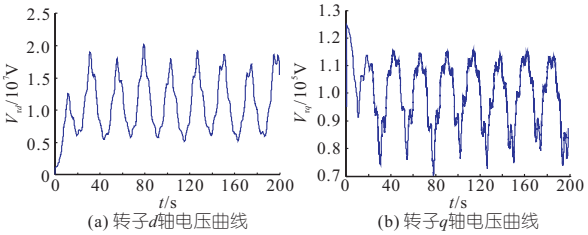


图 6　功率 P_a 曲线

Fig. 6　Power P_a curve



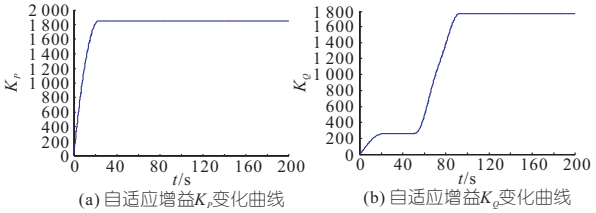
(a) 转子d轴电压曲线　(b) 转子q轴电压曲线

图 7　控制律曲线

Fig. 7　Control law curve

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图 8 为控制增益的自适应动态调整曲线。由图 8 可看出，自适应律能实现系统在线实时估计扰动的边界值，在 50 s 出现干扰后，能很快恢复稳态，说明系统具有良好的鲁棒性。



(a) 自适应增益K_P变化曲线　　(b) 自适应增益K_Q变化曲线

图 8　自适应控制增益曲线

Fig. 8　Adaptive control gain curve

5　结论

a. 在充分考虑双馈型风机组的参数不确定和外界干扰因素的条件下，建立 MPPT 滑模控制器和跟踪目标，使系统更贴近于实际的工作状态。为进一步消除抖振和实现扰动边界值的在线实时估计，在滑模控制器中引入自适应控制增益，保证了 MPPT 控制有更好的鲁棒性和自适应性。

b. 与传统的 MPPT 控制器相比，本文设计的自适应滑模控制器需获取的系统参数和状态量较少，更易于工程实现。

参考文献：

[1] 张维奇，李富盛，余涛. 双馈感应电机最大功率跟踪鲁棒滑模控制设计[J]. 电力系统保护与控制，2020，48(4)：47-56.

[2] MEGHNI B，SAADOUN A，DIB D，et al. Effective MPPT technique and robust power control of the PMSG wind turbine[J]. IEEJ transactions on electrical & electronic engineering，2015，10(6)：619-627.

[3] 刘向杰，王诚诚，韩耀振. 基于二阶滑模控制的变速双馈风力发电系统最大功率点跟踪[J]. 自动化学报，2017，43(8)：1434-1442.

[4] PRATAP B，SINGH N，KUMAR V. Robust control of variable speed wind turbine using quasi-sliding mode approach[J]. Procedia computer science，2018，125：398-404.

[5] JING YANWEI，SUN HEXU，ZHANG LEI，et al. Variable speed control of wind turbines based on the quasi-continuous high-order sliding mode method [J]. Energies，2017，10 (17)：1626-1636.

[6] 茅靖峰，吴博文，吴爱华，等. 风力发电系统最大功率跟踪自适应鲁棒控制[J]. 电力系统保护与控制，2018，46(22)：80-86.

[7] 孙志辉，郝万君，尚友涛，等. 基于自适应非奇异快速终端滑模的风力发电机最大功率跟踪控制[J]. 热力发电，2020，49(1)：48-54.

[8] MAZOUZ F，BELKACEM S，HARBOUCHE Y，et al. Active and reactive power control of a DFIG for variable speed wind energy conversion[C]// the 6th international conference on systems & control (IEEE). Batna，Algeria，2017：27-32.

Adaptive Sliding Mode Control for Maximum Power Point Tracking of Doubly-Fed Wind Turbine

HUANG Xin[1]，WANG Jie[2,3]，XING Kan[4]

(1. Electric-mechanical Engineering and Automation School，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China；
2. School of Artificial Intelligence，Hebei University of Technology，Tianjin 300401，China；
3. Control and Test Engineering Research Center of Wind Power System of Hebei Province，Tianjin 300130，China；
4. Gezhouba Hydropower Plant，China Yangtze Power Co.，Ltd.，Yichang 443000，China)

Abstract：For the inherent nonlinear characteristics of doubly fed wind turbine and the influence of external disturbance on the system，a sliding mode controller with adaptive control gain was designed，so that the system can realize maximum power point tracking (MPPT) control under external disturbance and parameter uncertainty. Firstly，The MPPT control characteristic curve was analyzed by the aerodynamic model，and the model oriented controller of doubly fed wind turbine was established based on the vector transformation method of stator oriented magnetic field. Secondly，considering the problem that the uncertain upper bound of system is bounded and unknown，an adaptive sliding mode controller was designed. Finally，a 1.5 MW doubly fed wind turbine was selected for simulation. The results show that the adaptive sliding mode controller not only can realize the stable tracking control of maximum power in the presence of unknown parameters disturbance，but also can effectively suppress the chattering and has strong robustness.

Key words：doubly-fed wind turbine；maximum power point tracking；stator oriented magnetic field；sliding mode control；adaptive control

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

太阳能供热采暖在小型办公楼的应用与分析

逯彦红 / 天津职业大学 机电工程与自动化学院

摘　要：在小型办公楼中应用太阳能电辅助加热系统供热采暖，以天津地区 900m² 的三层办公楼为例，计算热负荷和集热器面积，设计集热器安装方案，计算蓄热水箱体积。利用 TRNSYS 软件对本系统进行模拟，分析得出在采暖和生活热水方面均能满足用户需求，在节约能源和减少碳排放方面体现出了经济优势和环保效益。

关键词：太阳能；电加热；办公楼；TRNSYS；模拟

该建筑是一座新建的办公楼，位于天津市，高 3 层，层高 3.6 米，南北向，总建筑面积为 900 ㎡，建筑外围护结构符合节能 50%标准，建筑耗热量指标为 20.5W/ ㎡ [1]。采用地板辐射采暖，采暖季的室温需达到 18℃以上，生活热水温度全年达到 40℃以上。天津地区采暖期为 120 天；热水负荷设计最高日用热水定额取 100L/ 人，平均日用热水量取 5L/ 人 / 班。计算得采暖负荷和生活热水负荷总量为 63000kJ。

1 集热器设计

集热系统采用平板式太阳能集热器，集热器集热面积计算公式为：

$$Ac = \frac{fQ_H}{J_T \eta cd(1-\eta_L)}$$

其中，Ac 为直接式太阳能供热采暖系统总面积；Q_H 为日平均采暖负荷；太阳能保证率 f 一般取 0.3-0.8[2]；J_T 为当地采暖期在集热器安装倾斜面上的平均日太阳能辐射，天津地区为 10586kJ/m²[3]，集热效率为 0.47，系统平均集热效率 ηcd 一般取 0.25-0.5；系统管道及储热水箱热损失率 η_L 一般取 0.2-0.3[4]；集热器面积计算结果为 242m²。采用太阳能集热器与建筑的一体化设计，使太阳能集热器作为屋顶或幕墙的一部分，减少地面占地面积，而且可以减少原有的建筑材料，进而降低建筑费用 [5]。集热器选择正南放置，倾角为 40 度。将一部分太阳能集热器安装于朝南的幕墙或女儿墙，另一部分安装于楼顶。

2 蓄热系统设计

由于本项目侧重于冬季采暖，综合考虑造价和节能效果等因素，采用热水蓄水池的方式，蓄水池设置在冻土层以下。季节蓄热供热采暖系统对应每平方米太阳能集热器采光面积的蓄热水箱，水箱容积选取范围为 1.6-2.0m³/m²[6]，考虑造价因素，取 242*1.65=400m³。水箱使用聚氨酯等保温材料保温，底部不设保温。

3 系统效果模拟分析

采用 TRNSYS 软件进行模拟分析，在 TRNBuild 中设置相应参数。建立建筑模型和仿真模型。

地下蓄热水箱共分 5 层，采暖季水箱日平均温度达到 40℃以上，最高达 60℃以上，见图 1。生活热水末端供水温度基本达到 40℃以上，只有在 1 月下旬和二月上旬室外温度达到最低值时，生活热水稍低于 40℃，但在 6 月初，在日照的影响下会上升到 60℃以上，见图 2；室温方面，8 点到 18 点三层楼的室温基本均在 18℃以上，见图 3。

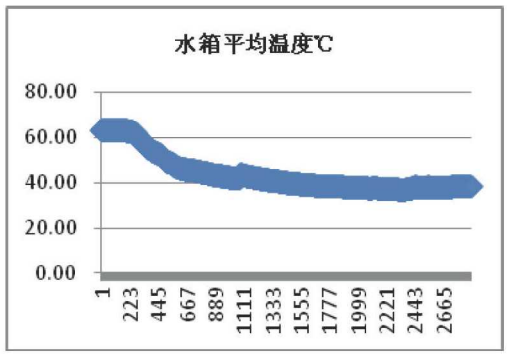


图 1 水箱日均温度

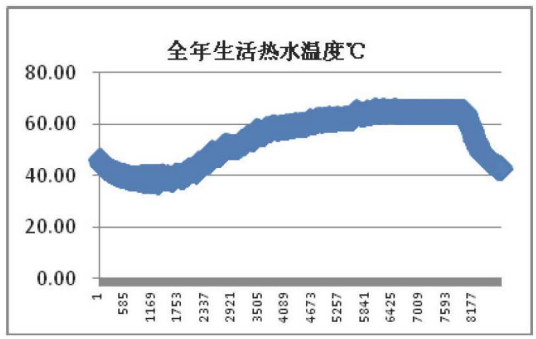


图 2 全年生活热水日均温度

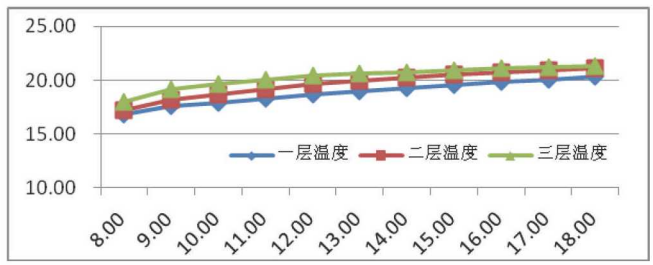


图 3 典型天三层楼的室内温度

4 系统能耗分析

整个系统采暖季包括生活用水在内 COP 基本集中在 2-3 之间，见图 4，刚开始采暖时 COP 达到 13.9，然后逐

中图分类号：TU832；TU822；TU18

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

渐降低到 1.8，因为开始供暖时水箱积蓄了春夏秋一年的热量，随着供暖季的时间延续，蓄热水箱中一年积蓄的热量基本耗尽，COP 也逐渐趋于平稳。全年 COP 均值达到 3.3。另外，本系统采用太阳能电辅助加热，自动化程度高，安全系数远高于燃气等辅助系统，初投资远小于地源热泵辅助系统，采暖季耗电量日均值达到 606845KJ，见图 5，约合每天耗电量达到 168.6kWh，整个采暖季采暖电辅助方面需要电量 19514kWh，约 9756 元，如果采用集中供暖，采暖费为 900*25=22500 元，每年经济节约达到 1.3 万元。

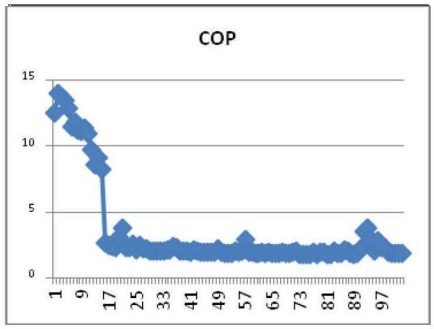


图 4 采暖季系统 COP

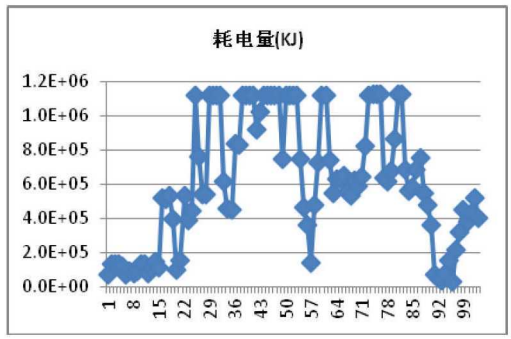


图 5 整个供暖季日耗电量

5 结束语

（1）在天津地区采用太阳能电辅助采暖应用于小型办公楼是可行的。

（2）采暖季三层办公楼的室内温度基本都达到 18 度以上，全年有生活热水供应。

（3）全年包括生活用水在内 COP 均值达到 3.3，系统性能良好。

（4）太阳能采暖系统采用可再生能源，每年可节约费用约 1.3 万元。

参考文献：

[1] JGJ134-2010. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 [S].

[2] 吕萍秋. 太阳能采暖和热水组合系统的研究 [J]. 甘肃科学学报, 2009 (01): 151-153.

[3] 中国气象辐射资料年册 [M]. 北京: 国家气象中心出版, 2001.

[4] 赵世明, 高峰. 生活热水太阳能集热器面积的确定 [J]. 中国给水排水, 2009 (20): 28-31.

[5] 刘继者. 热管平板式太阳能集热器和太阳能热水系统的研究 [D]. 天津大学, 2007.

[6] 孙峙峰, 徐飞. 太阳能供热供暖系统季节蓄热水箱的计算机模拟分析 [A]. 全国暖通空调制冷2008年学术年会论文集 [C]. 北京: 中国制冷学会, 2008.

作者简介：逯彦红（1980.05-），女，河北人，讲师，博士，研究方向：新能源与节能技术。

作者单位：天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410

《《《《《《上接第 131 页

线人员也可以根据系统提供汇总功能，来管理自己工作进展，从而达成自己的工作目标。

4 结束语

今天，云计算、大数据以及移动应用是信息应用领域的热点，众多的应用系统正在向云计算方向发展。客户无需为管理客户对话和信息而购买昂贵的服务器和软件，可以使用基于“云”的 SASMP 应用程序，平滑投资、提高投资回报率。而大数据应用需要积累，SASMP 的应用毫无疑问地会积累海量的数据。

从理论上来看：所有产业都会从大数据的发展中受益。而在我国，由于数据缺乏以及从业人员本身的原因，第一、第二产业的发展速度相对于第三产业来说会迟缓一些，如果 SASMP 能在企业得到广泛而持续的应用，将会对我国第二产业的大数据应用起到很大的帮助。

需要进一步强调的是：类似 SASMP 系统的应用不但要求一线应用者都将系统作为管理自身业务活动的工具，更要求管理者深刻理解这类系统的内在逻辑，将汇总出的数据用于指导生产计划和物料需求计划的制定与调整，坚持使用，一定会使生产过程更加“平滑与稳定”，这样就能充分体现系统对生产过程控制“智慧的支持”。

参考文献：

[1] 颜安. 企业ERP应用研究 [M]. 成都: 西南财经大学出版社, 2006.

[2] 维克托 迈尔 舍恩伯格. 大数据时代 [M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2012.

[3] 陈启申. 成功实施ERP的规范流程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

作者简介：谢鹏（1964.04-），男，山西永济人，教师，讲师，硕士，主要从事客户关系管理和企业资源管理等方面的研究与实践。

作者单位：西安石油大学 计算机学院，西安 710065

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

探索适应社会需求下的高职院校素质教育途径

王丽颖 （天津职业大学）

摘要：伴随着我国经济的快速发展，社会对于人才的需求量与日俱增，高职院校如何为社会培养出既具备较高的职业素质，又具有较好的专业技能的高素质技能型人才，以适应社会发展的要求，成为了一个摆在我们面前非常紧迫的任务。笔者结合近几年的工作实践，提出了一些加强高职学生素质教育的有效途径。

关键词：社会需求　高职院校　素质教育　途径

近年来，随着我国经济持续地快速发展和科学技术的不断进步，与之而来的，社会对各行业所需的人才数量进一步扩大，同时要求人才的质量也进一步提升。现代社会要求人才要具有高素质、坚持不断地对知识的获取、运用和创新能力。作为个人来讲，应该与时俱进，不断地提高自身综合素质，扩充知识面，培养能力，达到人与自然、个体与社会的持续和谐发展，以真正实现个人的全面发展。

因此，这一切都要求高等职业院校除了培养学生具备良好的理论知识与专业技能外，更应加强大学生的素质教育，以适应社会发展的需要。2010年《国家中长期教育改革和发展纲要（2010-2020）》中明确指出了全面实施素质教育是教育改革发展的战略主题。对于高职教育来说，人才培养工作的核心要求是要进一步加强大学生的素质教育。高职院校要以社会需求为导向，以企业要求为己任，始终坚持把培养高素质技能型人才作为学校的根本任务，努力实现大学生素质的全面提高。

实施素质教育的途径是教育者创造性地运用教育规律促进受教育者素质发展的过程，同时也是受教育者在教育者指导和促进下，自主构建和完善自身素质的过程。因此，高等职业院校应根据当前社会对人才的需求变化，在素质教育的实践中一方面要紧扣高职院校的教育模式和高职学生的特点，另一方面要积极探索开展素质教育的有效途径。做好大学生的素质教育工作，培养高素质技能型人才，是高等职业院校思想政治辅导员工作的重要使命和责任。笔者结合近几年的工作经验，认为可以从以下几种途径加强学生的素质教育。

1 加强大学生的思想政治教育，提高思想政治素质

新生入学时绝大多数年龄在十八、九岁左右，对社会才刚刚有朦胧的认识。作为高职院校的辅导员要引导他们重视思想政治学习，使其在大学期间，尽可能多地了解马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”的重要思想，同时还要将“中国梦”融入大学生思想政治教育中，帮助他们树立正确的、全面的世界观、人生观、价值观，这是人才培养的重要基础。人们常说要在大学里学会如何做人与如何做事，这也充分说明了“做人”教育在人才培养工作中的重要性。学校可将思想政治教育融入到课堂教学中，提高教育效果。辅导员还可以开展系列的主题教育活动，让学生从中领悟出做人的道理。学生只有具备正确的世界观、人生观、价值观，才能选择正确的人生道路，才能成为为党和社会主义现代化事业做出贡献的人。

2 以夯实大学生专业素质为中心，培养高素质技能型人才

2.1 积极开展技能大赛，使专业教育与素质教育融为

（上接第252页）

加没有兴趣去研究业务，提高工作技能。

这类学生需要在实习前参加实习就业指导，多了解从学生到社会人的角色转变需要具备的素质，做好心理准备，学校还应对其进行爱岗敬业教育，使其较快实现由学生到准职业人的角色转换。

5 学生实习成绩及整体实习效果的评价问题

学生顶岗实习整体系统的最后一环，是对学生实习成绩及整体实习效果的评价，这是对本期实习结束的总结，也是下一期学生顶岗实习管理的参考。成绩评定一般由企业和学校实习指导教师共同进行。由实习指导教师根据学生的实习表现、实习日记、实习报告等综合评定其实习成绩。实习成绩评定采用五级分制，即优秀、良好、中等、及格、不及格。

现在的问题是实习效果评价系统的设计还需要更加完善，应该采用“过程＋结果”的实习考核方法，从而使评价更加科学、客观。本环节做好了，才能使实习管理更加完善，一方面提高学生们实习的积极性，一方面及时吸取实习中的经验教训，及时学习总结，实现我们高职院校“校企结合，顶岗实习”的培养目标。

另外，我们可以召开顶岗实习交流总结大会，通过总结交流评价，有助于毕业生提升综合素质，并可以对大二的学生开展实习前教育。

以上是在我们顶岗实习指导过程中发现并总结出的常见问题及一点思考，希望能够得到相关方面的重视，并得到及时的解决，使高职学生的顶岗实习真正达到预定目标，提高大学生专业技能和实践能力，培养职业精神，提高职业竞争力，为社会经济发展提供合格的技能型人才和有创新精神、持续发展的人才。

参考文献：

[1]刘明生，王玲，李建华.论高职校企合作长效机制的构建[J].教育与职业，2013.1(2).

[2]张三月，王华，庞洪秀.高职会计教育校外实训（实习）基地管理初探[J].中国乡镇企业会计，2009.12.

[3]孙吉春，刘凤.高职院校学生顶岗实习存在问题及对策研究[J].价值工程，2010(22).

课题项目：

高职财经类大学生创新与实践能力现状及培养的研究，济南职业学院一般课题，项目编号Y13025。

作者简介：

王传慧（1975-），女，山东临沂人，讲师，硕士研究生，研究方向：会计理论与实践；黄玉娟（1978-），女，甘肃民勤人，讲师，硕士学位；姜晨（1976-），女，河北故城人，本科，济南市历下国税局办公室副主任；渠水华（1973-），女，江苏丰县人，本科，济南市历下国税局政策法规科副科长。

中国知网 https://www.cnki.net

一体。高职院校开展具有专业特色的素质技能大赛活动，一方面有利于提高学生的专业技能，另一方面也有助于形成良好的学风、班风，营造了学生乐学技能、巧练技能的良好氛围，真正达到了以赛促学、以赛促教的良好效果。近年来，通过学校开展的素质技能大赛活动，我校印刷工程系多名学生在中国包装创意大赛、全国印刷行业职业技能大赛中均取得了不错的佳绩，为系里和学校争得了荣誉。这些成绩的获得和参赛经历也可以成为他们今后就业的“敲门砖”。

2.2 培养学生自主学习能力，推进素质教育。在知识经济的时代，科学知识和技术更新的周期逐步缩短，这就需要个体能够不断地学习，不断地完善自己，不断地发现自身的潜能，以适应新时代发展对人才的需求。因此，在教学改革的过程中，高职院校要更加重视大学生的自主学习能力的培养。作为辅导员除了要搭建学生自主学习平台外，还要注重学生自主学习意识的培养，同时要帮助学生优化学习策略和掌握学习方法，使学生越来越主动学习，对自己的学业负责。

3 加强大学生的心理素质培养，提高其心理承受力

学生的心理健康素质既是学生健康成长的需要，也是素质教育的内在要求，更是学生今后适应社会的必然需要。有的学生刚入校时认为自己只考入了专科院校，在同龄人面前觉得抬不起头，有一种自卑的心理不敢主动与老同学交往，而且在学习上也缺乏动力，不愿意参加集体活动，长此以往易导致性格孤僻，久而久之可能会产生心理问题。针对此情况，辅导员可以通过心理咨询与辅导、开展心理健康教育活动等，帮助大学生排解心理困惑，提高他们的心理素质，增强其心理承受能力。所以说，大学生不仅要树立正确的世界观、人生观、价值观，积极进行人生实践，努力创造人生价值，还要具备良好的心理素质，这些是社会对高素质技能型人才的基本要求。

4 加强大学生能力的培养，促进素质教育发展

在提高大学生专业素质的前提下，高等职业院校还应重视培养学生的社会实践能力、就业创业能力等，以此完善大学生自身的综合素质，适应社会发展对高素质技能型人才的迫切需求。

4.1 社会实践能力的培养。1999 年《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》中就指出，高等学校要加强社会实践。学校为使学生毕业后更好的适应社会，在开展素质教育时，积极创造条件，让学生走出校园，走向社会，关注社会，了解社会，服务社会。首先，学生在课余时间可以参加学校社团活动，这是提高大学生社会实践能力的一个重要载体。学生工作管理者可依托院系的专业为背景，结合专业特点和学生的实际情况，成立以专业为特色的学生社团，由学生工作管理者和专任教师共同担任社团的指导教师。学生通过参加社团活动，一方面使其切身感受到理论与实践相结合的重要性，另一方面以社团活动为载体，提高社会实践能力。我校印刷工程系成立的“成功 1+1”社团，是依托于系包装技术与设计专业、印刷技术专业、印刷图文信息处理专业，以锻炼学生的动手能力，提高专业技能为主要目的的学生社团。该社团定期开展社会实践活动，如开展的以“低碳生活，绿色包装”为主题的活动，学生们向广大群众普及了低碳包装的知识，宣传了环保理念。通过此次社会实践活动，学生提高了将所学的理论知识转化为解决实际问题的能力，在实践中充分展示了自我，而且还培养了创新意识和团队协作意识。其次，开展勤工助学活动，让学生实践在岗位。通过开展勤工助学不仅有利于培养大学生勤俭节约、吃苦耐劳的优良品质，而且使学生能够意识到对家庭、社会和国家的责任，切实感受到通过个人的努力实现自我目标、为社会作贡献的成就感和自豪感，同时也有利于培养他们经济上自立、生活上自主、精神上自强的意识，增强他们面对困难和挫折的承受力。通过调查了解勤工助学活动在培养学生树立正确的职业观念，提高职业道德水平，养成珍惜时间，以及学会与人合作等方面具有特殊的不可替代作用，是提高学生实践能力更有效的途径。此外，高职院校还可以组织学生积极参加青年志愿者的服务活动，使学生在为社会服务中学习、锻炼和成长，并体现出强烈的社会责任感和无私的奉献精神。

4.2 就业创业能力的培养。为社会培养所需的就业人才，切实解决大学生的就业问题，是高等职业院校素质教育的主要内容和目标。因此，高职院校应从新生入学开始，就要对其进行相关的就业知识教育，使学生做好大学期间的学业和职业生涯规划。而且这种教育不仅仅通过职业发展与就业指导课程来完成，而是应该时时进行，包括创业能力。学校可以邀请企业的人力资源主管开展就业指导讲座，分析当前的就业形势和指导大学生如何做好就业前的准备工作，可以聘请优秀校友为在校大学生开设讲座、做报告，传授学习和工作经验，还可以开展就业与创业实践活动，如我校每年举办的创业大赛，有助于提高学生创新、创造、创业能力，帮助学生积极投身创业实践。

高等职业教育的根本任务是培养高素质技能型人才，而素质教育是以塑造学生综合素质为目标的复合型教育。只有在综合素质全面提升的基础上，高职院校才能培养出一专多能的，符合时代要求的高素质技能型人才。辅导员要坚持不断地学习，勇于探索高职院校素质教育新途径，进一步促进大学生的全面发展。

参考文献：

[1]杜晓红.论社会需求视域下大学生素质教育的途径[J].吉林工商学院学报，2011(6).

[2]李薇.浅论高职学生素质教育培养[J].才智，2010(15).

[3]曾剑.浅议高职学生综合素质现状及素质教育的途径和方法[J].新课程(教育学术)，2011(4).

[4]石慧.社会需求视角下大学生职业素质的培养[J].中国成人育，2008(20).

[5]黄曼霞.高职院校学生社团活动对提升大学生综合素质的促使初探[J].时代教育，2008(Z1).

[6]张宏伟，苏丽萍.浅析高职素质教育的实施途径[J].河北能源职业技术学院学报，2004(3).

[7]李勇蕾.高职院校学生素质教育的实施途径和方法[J].包头职业技术学院学报，2012(1).

中国知网 https://www.cnki.net

doi:10.13301/j.cnki.ct.2019.06.054

碳纤维增强塑料切削加工刀具磨损研究

李建国
（天津职业大学，天津 300410）

摘 要：以碳纤维增强塑料为研究对象，运用理论结合实验的方法，分析了切削加工过程中不同切削参数对切削刀具磨损的影响。研究结果表明：切削速度对切削刀具磨损的影响小于切削深度和进给量；室温、高速、大进给量切削条件下，切削刀具磨损量较大，而在冷空气条件下，切削刀具磨损量明显降低；切削刀具磨损量理论计算值与实验值相对误差在 10%以内；该研究为新型复合材料的切削加工及切削刀具寿命的延长提供了重要的依据。

关键词：碳纤维增强塑料；切削加工；刀具磨损；冷空气
中图分类号：TG501；TH161 文献标志码：A 文章编号：1008－8725(2019)06－0159－03

Research on Cutting Tools Wear of Automobile Carbon Fiber Reinforced Plastic

LI Jian-guo
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The carbon fiber reinforced plastic has been regarded as the research object; the effects of different cutting parameters on the cutting tool wear during the cutting process have been studied by the theoretically combined with experimental method. The results show that the cutting speed of automobile carbon fiber reinforced plastic in the cutting process has less effect on the cutting tool wear than the depth of cut and feed; the cutting tool wear is large under the condition of room temperature, high speed and large feed; and the cutting tool wear is obviously lower under the cold air condition; the relative error between the theoretical calculation value and the experimental value of the cutting tool wear amount is 10%; the research can provide an important method and basis for the car new complex material cutting process and cutting tool life extension.

Key words: carbon fiber-reinforced plastic; cutting process; tool wear; chilled air

0 引言

碳纤维是 20 世纪 50 年代初应用于火箭、航空、高端等尖端科技及工业的需要而产生的。碳纤维增强塑料应用范围很广，涉及航空航天、工业制造、新能源等多个领域。碳纤维增强塑料可以显著降低相关产品的质量，因此成为提高能源利用率的理想材料之一。由于碳纤维增强塑料较难加工，伊斯卡研制出了高硬度的硬质合金刀具；王强华等人分析了碳纤维增强塑料在零件上的主要应用；彭斐称碳纤维增强塑料将在汽车领域掀起一场革命；毕雪峰等以金属切削为研究对象，对切削刀具磨损特性进行研究。虽然众多学者对碳纤维增强塑料及切削刀具磨损特性进行了研究，取得了一定的成果，但是上述研究方法基本都是单一的理论或单一的实验方法，对比性及可代表性较差。基于此，本文运用理论和实验的方法对碳纤维增强塑料切削加工过程中切削刀具磨损进行研究和分析；通过理论及实验研究为难加工材料切削刀具的磨损、碳纤维增强塑料零件加工制作提供重要的参考。

1 实验原理、方法

本文以 205 mm×300 mm×3 mm 碳纤维增强塑料为实验材料，选择硬质合金刀具为切削刀具，进行常温和冷空气 2 种实验条件下的切削实验，实验碳纤维增强塑料材料及硬质合金刀具化学成分如表 1 所示。

表 1 碳纤维增强塑料材料及硬质合金刀具化学成分

化学成分	碳化钨 WC/%	Co/%	VC+Cr_3C_2/%
硬质合金刀具	89.5	10	0.8
化学成分	**碳纤维/%**	**树脂复合/%**	**其他/%**
碳纤维增强塑料	12.5	85.5	2

根据表 1 中的化学成分进行实验，在冷空气切削实验中，利用 0.525 MPa 的压缩空气模拟不同切削速度、切削深度、进给量对碳纤维增强塑料试件切削刀具磨损的影响，其中冷空气是通过涡流管直接喷射到切削刀具上。本文进行的冷空气切削加工原理图如图 1 所示。

实验采用 1 台主轴功率 7.5 kW、最大进给速度 12 000 mm/min 的数控车削机床作为碳纤维增强塑

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

料切削加工的机加设备，利用上述数控车削实验设备在室温及冷空气 2 种不同切削实验条件下，进行碳纤维增强塑料试件切削实验。每次选取切削 100 mm 后刀具的磨损量为实验数据；测量刀具磨损量时，采用酒精和棉签对刀具切削刃进行清洁处理，清除刀具表面的多余碎片或颗粒，确保测量结果的准确性。

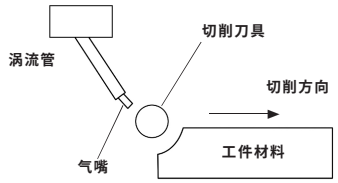


图 1　冷空气切削加工原理图

2　理论计算及实验结果

2.1　理论计算结果

根据上文理论模型、材料参数，设置切削速度 100~250 m/min，进给量 0.015~0.045 mm/r，切削深度 0.25~0.75 mm，运用 MATLAB 进行编程数值求解，得到室温切削刀具磨损量与切削速度、进给量及切削深度之间的关系如图 2、图 3 所示。

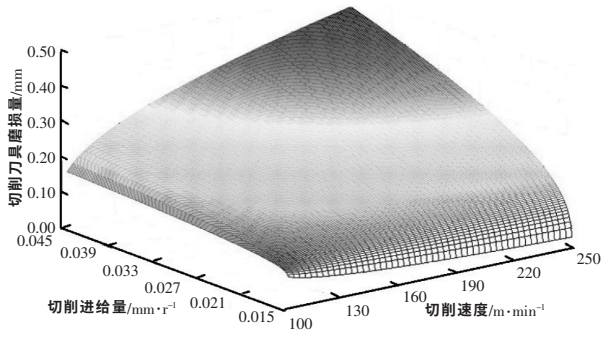


图 2　不同进给量与切削速度下切削刀具磨损量

由图 2 可知，随着切削进给量增加，刀具磨损量逐渐增加；而随着切削速度增加，切削刀具磨损量呈现逐渐减小的趋势且减小幅度小于进给量增加幅度。由于切削速度对切削刀具磨损的影响小于切削进给量，才会产生上述现象。

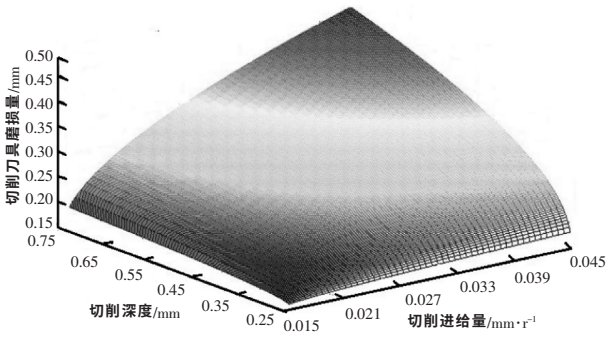


图 3　不同切削深度与进给量下切削刀具磨损量

由图 3 可知，随着切削深度增加，刀具磨损量逐渐增加；随着切削进给量增加，切削刀具磨损量也呈现逐渐增加的趋势，且两者增加趋势的幅度值基本一致，说明切削深度与进给量对切削刀具磨损量影响大小基本一致。

2.2　实验结果

由于文章篇幅有限，本研究切削实验工艺参数选择上述仿真中的部分工艺参数其值如表 2 所示。根据表 2 实验参数进行切削加工实验，所有实验研究中切削深度 0.5 mm 保持不变，分析室温及冷空气对不同切削速度、进给量切削条件下，刀具磨损量的影响。

表 2　切削实验工艺参数

切削速度/m·min⁻¹	进给量/mm·r⁻¹	切削深度/mm
100、175、250	0.015、0.030、0.045	0.5

根据上文实验原理、实验材料、实验方法、实验装置及实验条件得到实验结果如图 4~图 7 所示。由图 4 可知，在切削初始阶段，切削进给量 0.030 mm/r 时，切削速度 100 m/min 刀具磨损量明显比较高的切削速度 250 m/min 刀具磨损量大。随着切削加工的不断进行，较高切削速度 250m/min 刀具磨损量开始急剧增加，切削加工后期刀具磨损量高于较低切削速度 100 m/min 刀具磨损量；当切削速度恒定为 175 m/min 时，较高进给量 0.045 mm/r 刀具磨损量明显比稍低进给量 0.015 mm/r 刀具磨损量大。

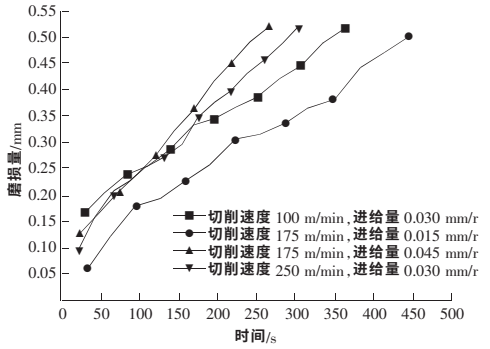


图 4　室温切削加工刀具磨损量

由图 5 可知，在冷空气切削加工过程中，硬质合金刀具的磨损量随着切削速度的增加呈现逐渐降低的趋势；在切削速度恒定时，随着进给量的增加刀具磨损量逐渐降低；在高速切削过程中冷空气可以降低刀具磨损；然而随着切削速度的降低，冷空气却增加了刀具的磨损。产生上述现象的原因是因为在低速切削条件下，切削热产生的较少，工件温度低于高速切削，低速切削热传递效率低于高速切削。尽管切削参数之间的变化较小，但是图 5 实验结果表明，冷空气对切削刀具的磨损量改善比较明显。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图 6 为恒定进给量 0.030 mm/r 时，不同切削速度下，室温、冷空气切削刀具磨损情况。由图 6 可知，在低速切削加工时，室温、冷空气切削刀具磨损量基本一致；然而随着切削加工的继续进行，室温切削加工刀具磨损比冷空气切削加工刀具磨损量的变化明显；在高速切削加工过程中，加工初期室温切削刀具磨损比冷空气磨损量小，这是由于在室温切削加工初期，切削热软化工件基材较缓慢，使得切削屑更加容易、平缓地脱落；随着切削的继续进行，切削热不断增加，大量的切削热逐渐影响切削刀具，从而导致冷空气切削加工刀具磨损比室温切削加工刀具磨损量小。

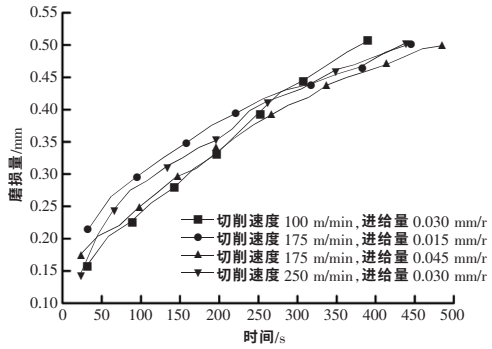


图 5　冷空气切削加工的刀具磨损量

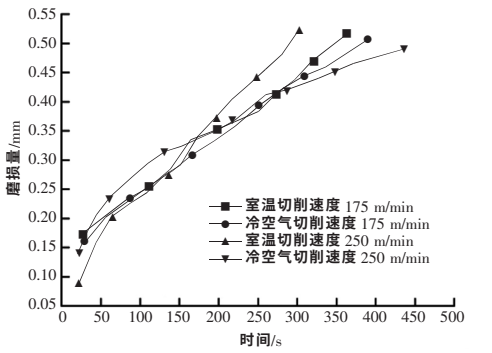


图 6　室温及冷空气在不同切削速度下刀具磨损量

图 7 为恒定切削速度 175 m/min 时，不同切削进给量下室温、冷空气切削刀具磨损情况。由图 7 可知，在低进给量 0.015 mm/r 时，2 种加工条件下的刀具磨损没有明显差异；然而随着进给量的增加，冷空气切削刀具磨损比室温切削刀具磨损明显偏低且变化较稳定。

为了验证理论模型准确性，选取几种典型代表室温切削工艺参数组合进行对比分析，切削时间都取 150 s，得到切削刀具磨损量理论计算值与实验值对比结果如表 3 所示。

由表 3 可知，切削刀具磨损量理论计算值略小于切削刀具磨损量实验值，其主要原因为切削刀具磨损量理论模型中忽略了温度、切削液等参数的影响，从而理论计算值比实验值偏小；切削刀具磨损量理论计算值与实验值对比相对误差均在 10%以内，相对误差在合理数值范围内，验证理论模型的正确性，为碳纤维增强塑料切削加工及其切削刀具寿命的延长提供重要的参考。

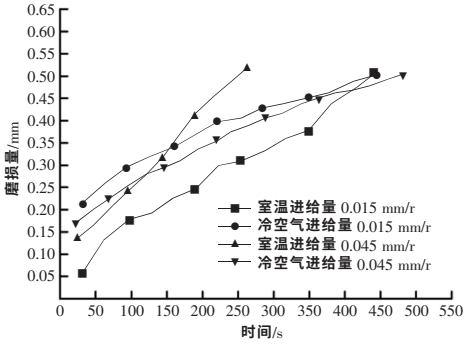


图 7　室温及冷空气在不同进给量下刀具磨损量

表 3　切削刀具磨损量理论计算值与实验值对比

切削速度/m·min⁻¹	进给量/mm·r⁻¹	切削深度/mm	切削刀具磨损量理论计算值/mm	切削刀具磨损量实验值/mm	相对误差/%
250	0.045	0.5	0.37	0.38	2.63
100	0.015	0.5	0.17	0.18	5.56
175	0.030	0.5	0.25	0.27	7.41

3　结语

根据上述数值仿真及实验研究可知：在室温条件下，碳纤维增强塑料在高速、大进给量切削参数下的切削刀具磨损量较大；在相同切削条件下，冷空气作用可以明显改善高速、大进给量切削刀具的磨损量；切削刀具磨损量理论计算值与实验值相对偏差较小，验证了研究的准确性。冷空气有利于改善和提高碳纤维增强塑料极限切削深度和切削刀具的磨损量；为轻量化高强度复合材料零部件的切削加工工艺的改善、切削刀具寿命的延长及实际碳纤维增强塑料零部件的加工提供了有意的借鉴。

参考文献：

[1]佐藤洁，张松. 用碳纤维增强塑料实现车辆车体的轻型化[J]. 国外机车车辆工艺，1994(5)：30-35.

[2]钱伯章. Voith 为奥迪未来车型接收碳纤维增强塑料组件大批量生产订单[J]. 合成纤维，2015，44(8)：55.

[3]王强华. 碳纤维增强塑料在汽车上的应用[J]. 玻璃钢，2004(1)：35-38.

[4]彭斐. 碳纤维增强塑料将在汽车领域掀起一场革命[J]. 汽车与配件，2011(46)：34-35.

[5]毕雪峰，刘永贤. 金属切削中刀具月牙洼磨损模型的研究[J]. 中国机械工程，2012，23(2)：142-145，207.

作者简介：李建国(1973-)，河北邢台人，高级实验师，从事产教融合数控技能实训和数控加工技术的教学与研究，电子信箱：13821853826@sina.cn.

责任编辑：李富文　收稿日期：2018-05-22

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

提高机械数控加工技术水平的对策探究

季顺延[1,2]，孙国坤[3]

（1.天津职业大学，天津　300410；2.天津市汇通仪器设备公司，天津　300410；3.天津工业职业学院，天津　300400）

摘　要：当前，生产力发展水平得到大幅度的提升。在机械数控加工技术方面，也得到很大的发展，但是由于诸多问题的影响，国内机械数控加工技术与发达国家相比，仍然还存在着一些不足。为此，探讨提高机械数控加工技术水平的有效策略。

关键词：机械加工　数控加工技术　有效策略

中图分类号：F407.4　　文献标识码：B　　DOI：10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2019.09D.54

0　引言

在当前的发展阶段中，数控加工技术得到广泛的应用，涉及到各个方面，机械加工行业在进行不断的发展创新，社会也对数控加工技术提出更高水平的要求，所以企业应该及时地采取措施进行机械加工水平技术的提升，使其与时俱进，不落后于相关行业的工作进度。当前国内机械数控加工技术的发展现状与国外一些先进国家相比仍有许多不足，而且与制造业不能进行较为同步的发展，这一情况严重阻碍工业化进程。所以，相关的企业应该及时进行创新，努力提升自身的机械数控加工技术水平，提升自己的市场竞争力，为社会和国家以及自身带来更大的经济效益和发展资源。通过对机械数控加工技术的探讨，给国内后期的关于机械数控加工技术方面的研究提供一些参考依据。

1　数控加工技术的定义

数控加工技术属于控制管理技术的范畴。在实际生产过程中，企业利用数字化程序来对工作体系进行较为科学且合理的管理，目的是促进企业的生产效率提高，增加企业的经济效益。这项技术具有准确度和自动化程度较高的发展优势，并且简便易操作。但是，还是存在着一些不足的地方。所以在具体工作中，为达到合理的生产结果，企业的相关人员一定要及时纠正错误，努力提升产品的实际质量。在具体的机械加工工作中，大部分企业在实际工作中还是比较看重生产成本的高低，有些责任感缺失的企业会为牟取私利而故意缩减生产成本。比如：在实际的工作中，一些设备较为陈旧，但是，企业仍然坚持使用，这样就会造成后期部门对生产设备的修理费持续增加，最终得不偿失。除此之外，与其相关的专业人员缺乏一定的责任感以及职业素养。数控加工技术的效率并没有得到有效的提高。在机械数控加工技术应用到实际过程中时，相关的编程是最为主要的实现方式，而且，数控加工技术的使用效果和实际产品的质量都与编程有着较为密切的联系。在实际工作当中，有时候会因为程序编写出现失误而对产品的质量造成一定的影响。除此之外，还有一项重要的因素就是操刀问题。操刀步骤是整个数控加工技术实际工作的主要环节，相关的工作人员在进行换刀时，如果速度达不到工业标准，就会对机床的精确程度造成一定的影响。所以，有关的人员在进行具体工作时，企业应合理地安排操刀的线路，尽量避免事故的产生。

2　机械数控加工技术的重要性及其意义

机械数控加工技术是一种新型的加工生产技术，数字化技术需要贯穿于整个生产环节之中来进行控制。在机械设备运行之中，企业把电子信息技术与数字化技术进行结合，促进机械加工技术的发展。施工人员结合预定的设计方案，将其灌输到机械设备之中实现设备的自动化生产。机械数控加工技术不仅可以大幅度降低人力、物力资源的消耗，有效地提高生产效率。不仅可以创造巨大的经济利益，还促进机械数控加工技术行业的迅猛发展，同时，也推动工业化的自动化进程。

与传统的机械加工技术相比，机械数控加工技术具有更加突出的优势特征，机械数控加工技术很大的优势就是可以对一些工序进行简化处理，提高企业生产产品的使用效果，而且还降低工人的操作难度，确保整个加工工作的顺利进行。企业利用这项技术，在降低人力物力资源投入的同时，还对资源进行一定程度的加工与处理，在与其他对手的竞争中拔得头筹，实现自身的良好发展。不可忽略的是，机械数控加工技术还是需要许多现代化设备的支持，相关部门应该采取先进的计算机网络技术，进而进行企业加工环节的管理与监督，这一举措对于企业的工作效率提高具有很大的意义。

3　影响机械数控加工技术发展的主要因素

3.1　机床设备问题

在设备进行工作中，由于长时间的使用，会有一些腐蚀老化的现象产生。这也就增加工作中出现故障的概率，严重地影响工作的实际进度。一些生产厂家盲目追求工作进度，并不关注设备的老化问题，这会导致后期的维修损失。

3.2　操作路线选择

操作路线的选择至关重要。机械数控加工的效率以及精确度都会受到操刀路线的影响，与加工成本和工作效率均密切相关。所以，企业应该加强对机械数控加工设备的操作路线选择，及时关注工作状况并且进行数据的调节，尽量降低不必要的生产成本，这也对后期降低工作失误提供保障，有些企业只注重生产进度而忽视生产成本和工作效率。大多数企业的机械数控加工工作所应用的主要设备如果得不到更换，那么将会频繁出现

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

故障，进而使得企业的良好发展得不到保障。

3.3 程序因素

机械数控加工技术在发展中不断进行着自身的改革。为确保机械数控加工设备的运转，编程就显得至关重要，一些编程人员由于缺乏必要的职业素养，会影响工作质量，对于机械数控加工设备的工作造成一定的影响，有的甚至降低工作的精密度。因此，企业要加强机械数控加工设备的程序编程，为其提供相应的保护措施。在一些制度的管理下，确保机械数控加工设备顺利进行工作。同时，不断发展的机械数控加工设备自身的精度要求也在不断发生改变，所以提高设备编程人员的水平至关重要。完成以上准备工作之后，就可以编写出较为合理的程序，将其投入到机械数控加工的具体工作当中，可以有效地降低企业生产成本，同时还可以避免一些工作失误。

4 提高机械数控加工技术水平的有效对策

4.1 注重对编程人员的技术培训

机械数控加工技术有着非常突出的技术优势。利用多项先进技术可以实现自身的自动化生产。在实际运行工作之中，要依靠于计算机编程来实现设备的工作运转，这与过去的人工生产方式大相径庭，他可以大幅提高生产效率，保证产品的精确度，还可以降低人为因素对工作所造成的失误。编程工作是这项技术的主要环节，所以在工作之前要做好编程工作。企业应该提高机械数控加工设备编程人员的技术能力和应对问题的能力，对他们进行定期的培养以及考察，给企业营造一种合适的运行氛围，促进工作人员主动学习专业的知识技能，不断完善自身的素质，为产品质量提供保障。在进行员工的技术性培养时，除了让他们学习专业的知识技能之外，企业更要引导他们熟悉设备的运行原理和实际的情况，做到把理论和工作相结合，确保政策以及理论在实际工作中得到应用，这也是工作设备顺利运行的重要保障，企业还应该注意机械数控加工技术要与时俱进，不断进行自身的改革和创新，提升自己相关的技术水平，增强自身的市场竞争力。同时，也应对相关的编程人员提出更高的要求，安排他们与机械数控加工技术发达国家的人才进行技术上和经验上的交流，从而对自己的发展体系进行不断的完善与调整。

4.2 科学化的管理控制

机械数控加工技术和传统的机床有着完全不一样的特点。如果在对机械数控加工工作进行管理时仍然沿用传统的管理方法是不可行的。一旦与实际情况不符合，就会对设备造成损害，不利于加工工作的顺利进行。企业在对机械数控加工管理时应该换用较为新型的管理模式，利用科学的方法对设备进行定期的维护与处理。在电子信息技术高速发展的背景下，机械数控加工技术的监督管理也要紧跟时代的发展潮流，及时利用先进的计算机技术，对企业进行较为科学的控制管理，实现数控设备和信息收集一体化的目标。这样可以减少机械设备的二次安装费用，提升机械设备的使用年限，提升加工技术的准确度。在对机床设备进行管理的具体工作中，适当地采用计算机科学的方法进行控制，利用信息化管理模式，在工作当中进行管理。此外，工作人员还要及时发现隐患，争取做好企业的风险规避工作。

4.3 机床刀具选取的合理性

机械数控机床的刀具选取是较为重要的工作程序，对于机械数控加工机床技术水平的高低都有着很大的影响。铝合金刀片与一些陶瓷刀的耐磨性很好，尤其是比一些钢刀要好。机床在工作时生产的产品质量较为稳定，要加强注意的是，一种刀具并不是万能的，不是所有的设备都适用于这种工具。操作人员应该对不同的加工方式进行分类整理，然后选取相对应的刀具进行装置配备。比如：一种球头刀具在进行切削工作时的使用频率并没有平头刀具那么高，但是在加工阶段时，这种刀具就凸显出了自己的优势，他并不会出现切削过度的情况。所以，很多时候企业为了提高工作效率，就会对不同的刀具与不同的加工方式进行整合，使得他们可以充分发挥自己的工作性能。

4.4 引进先进的控制技术

机械数控加工技术需要很多先进的技术理论支持，所以企业引进新型的计算机设备可以在很大程度上提高工作效率，并且，还可以减轻员工的实际压力，保障操作的科学性和准确性。除此之外，互联网技术还可以提升信息的传播速率，使得企业内部之间信息通畅，及时对施工中出现的问题进行讨论并且制定出相应的对策，及时控制施工情况。比如：在实际工作中，借助于传感技术，促使操作人员把整合到的信息在前期就通过数字化的模式展现出来，提高工作效率。

4.5 加强对设备的定期维护和保养

机械数控加工机械设备在工作阶段，长期的工作时间会导致设备出现磨损老化现象。如果企业不能及时对这些问题采取对应的措施就会使得问题加重，严重时候还会产生故障，甚至导致设备完全损害，降低设备的使用寿命，增加生产成本。所以，企业应该对设备进行定期的维护与保养，全面检查每一台设备，做好更新换代的工作。设备出现故障，应该请维修人员进行维修，保证生产工作顺利进行。要想达到这一要求，维修人员要按照企业的制度与要求进行工作，维护人员还要具备较强的专业能力，有着极高的责任意识，为加工精度提供保障。此项工作的顺利完成，可以给企业塑造良好的形象，提升企业在竞争市场的竞争力，促进自身的良好发展。

4.6 加大对程序编写人员能力培养的力度

程序编写人员的技术水平与工程质量有着密切的联系，为提升他们的综合素养，保证机械数控加工工作的质量水平，企业就要对他们进行培训，提高他们的专业知识技能。促使机械数控加工技术水平走向更高的发展层面，迅速实现企业自身的发展目标。为提升企业的生产效率，从而获得更大的利益，就要加大对人才的培训力度，引领着企业与社会向更好的方向发展。当前的企业的发展之中，人才的资源储备数量是外界评定企业发展潜力的一个比较重要的标志。外界的投资企业可以依据人员的数量以及他们的专业知识水平对企业进行评价，在整个机械加工产业为他们贴上符合自身能力的标签。

4.7 数控加工设备的规范化管理

在机械数控加工技术中，数控设备是工作顺利进行的基础。为保证数控设备在工作当中高效运转，企业应该借助于外力，采取措施进行设备的规范化管理，并且要强化内部人员的责任意识与设备维护意识，定期对加工设备进行检查。出现故障，就要

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

天然气压缩机自动控制技术概述

黄燕辉
(中海油(福建)应急维修有限责任公司,福建莆田 351100)

摘 要:资源的优化配置至关重要,要想改变天然气运输的现状,就必须对各个管道进行合理调整,这对天然气压缩机自动控制技术提出了更高的要求。分析天然气压缩机自动控制技术要求与设计。

关键词:天然气压缩机;自动控制;功能要求
中图分类号:TE832 文献标识码:B DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2019.09D.55

0 引言

在我国天然气被越来越多的地区使用,它需要从不同的产区输送到各个地区的用户家中。天然气不仅仅是用于运输,它也需要对天然气资源进行补气、抽气。在当前的天然气运输过程中,仍存在着一些问题,如天然气运输调配的很多不便,需要依靠天然气压缩机自动控制技术来解决。

1 压缩机控制功能的具体要求

要想更好地发展天然气运输业务,压缩机的自动控制技术就要不断提高。根据需要,天然气压缩机自动控制技术应该注重功能要求和系统设计。

(1)防喘振控制。该要求就是:当有一个不开启入口或出口时,每一台工作的压缩机都不能出现喘振的情况;当设备的入口和出口均不开启时,任何一台压缩机喘振次数绝对不可以超过一次,否则会出现严重的问题。

(2)控制出口的压力。在这种高技能操作中,一定要保持操作状态稳定,出口压力既不能高于设定目标的0.5%、也不可以低于设定目标的0.5%。

(3)控制压缩机的负荷分配。压缩机有一定的承载量限制,无论是投入系统还是退出系统时,压缩机都要在一定的时间内恢复稳定的操作状态,并且把时间控制在30 min之内,使压缩机状态更加稳定。

(4)控制燃气轮机的速度和限幅。为了确保安全,必须对燃气轮机的速度进行控制,使之与设定的目标点相差不多,既不能高于目标的0.5%、也不能低于目标的0.5%。同时,也要控制燃气轮机限幅。根据传感器的量程适当降低转速,保障工作的安全。

2 控制系统的设计

2.1 对燃气轮机温度限幅

因为不能及时测量燃气轮机的排气温度,出于对工作安全和压缩机温品的考虑,所以对压缩机进行温度限幅是一个很好的方法。为了不断增强燃气轮机的使用动力,对温度设定一个“门槛”,根据“门槛”的接近程度自动控制速度。

安排维修人员到现场进行维修,确保数控设备的安全程度。同时,工作人员高度的责任意识是促使机械设备运转的强有力保障。除此之外,企业还应该加大资金投入力度,有资金的支持才可以确保机械设备零件的及时更换,维护工作的正常进行。在具体的生产过程中,企业要选取一些专业人员,对机械设备零件进行系统的分类。结合实际的工作情况与加工的需求,对于每项重要的施工程序进行规范管理,形成较为科学且合理的管理体系,确保整项加工工作的顺利进行。

5 结束语

通过上述分析可知,企业始终都走在谋求提升生产力水平的发展道路上,就机械数控加工这一行业而言,国内水平稍显落后。所以,基于全面发展的基本国情要求,努力推动工业和装备的创新已经成为整个时代的发展潮流。大部分企业已经把机械数控加工技术应用在自身的生产之中,并取得明显的成绩。企业不仅仅提高自身的生产效率,也提升自身产品的质量,制造行业由此迈出很大一步。企业为得到更好的发展,机械数控加工技术行业还在不断谋求新的发展体系,一步步找出工作中隐藏的问题,不断探讨可以有效解决问题的方案,企业借助于科学化管理体系吸收外来的优秀技术。同时,加大自身企业人才的培养力度,还能提高企业对于人才选取的标准,不断促使着机械数控加工技术水平的提高,为制造行业提供更为广阔的发展空间。由此可见,只要做好各项改革措施工作,方可确保机械加工技术具有很好的发展前景。

参考文献

[1] 吉琳.基于提高机械数控加工技术水平的有效策略研究[J].山东工业技术,2019(7):55.
[2] 顾伟明.分析提高机械数控加工技术水平的有效对策[J].科技风,2019(7):135.
[3] 董婷婷.浅谈数控加工在机械加工技术中的具体应用[J].湖北农机化,2019(2):56.
[4] 许云兰.提高机械数控加工技术水平的有效策略[J].现代制造技术与装备,2019(1):201,203.
[5] 张波.浅谈提高机械数控加工技术水平的有效策略[J].民营科技,2018(12):93-94.
[6] 闫梅.提高机械数控加工技术水平的有效策略[J].智库时代,2018(45):165,182.

〔编辑 毕来金〕

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提质培优建设背景下高职院校内部治理的现状及策略研究

周晶晶,邹吉权

(天津职业大学,天津 300410)

摘 要:在职业教育提质培优建设的背景下,提升内部治理水平是当前高职院校治理的重要命题。运用扎根理论,以25所"双高计划"建设单位为样本,基于质量年度报告并采用三级编码方法,对院校治理的改革发展现状进行深入研究,总结其建设的成功经验和存在问题,并从善治、自治、法制、长治四个维度提出高职院校内部治理能力提升策略,旨在为我国高职院校治理能力现代化建设提供借鉴参考。

关键词:高职院校;内部治理;治理能力;扎根理论

中图分类号:G710 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-9290(2022)0019-0075-10

一、问题的提出

《国家职业教育改革实施方案》出台以来,职业教育大改革大发展的格局基本形成。当前,职业教育正处在提质培优、增值赋能的关键期,大力推进职业院校治理体系和治理能力现代化是与国家治理同向而行的必然选择。2020年9月,教育部等九部门印发《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》(以下简称《行动计划》),提出了职业教育改革发展的举措和行动,通过构建"国家宏观管理、省级统筹保障、学校自主实施"的管理机制,引导院校转职能、提效能、增活力。高职院校作为高素质技术技能人才培养的新高地,在国家现代化治理加速推进、职业教育实施提质培优行动的背景下,健全内部治理体系、提升治理水平、推进治理能力现代化是推动其高质量发展的治本之策,是促进职业教育提质培优的重要路径,也是加快推进职业教育治理体系和治理能力现代化的内在要求。

近年来,众多学者从"双高计划"建设、内涵发展、混合所有制办学、体系建设、教学诊改等诸多角度对高职院校内部治理理念、机制、主体、环境等进行研究和分析。《2018年中国高等职业教育质量年度报告》中总结了高等职业教育面临的三大挑战,其中之一即为"提升整体质量亟待改善高职治理能力",报告指出提高人才培养质量需要将教育教学改革和治理能力改善相结合,并提出高职

收稿日期:2022-01-12

基金项目:2019年度全国教育科学规划教育部重点课题"基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究"(项目编号:DJA190347,主持人:邹吉权);天津职业大学"十三五"教育教学改革研究项目"基于京津冀协同发展的职业教育教学资源共享模式研究与实践"(项目编号:E2,主持人:周晶晶)

作者简介:周晶晶(1987—),女,硕士,助理研究员,主要研究方向为职业教育;邹吉权(1965—),男,博士,教授,主要研究方向为职业教育。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

院校治理能力目前仍存在诸多问题，具体包括：院校章程效力发挥不够，依法办学、按章办事还存在很大差距；建设机制不科学，院校内部行政与学术、教学与科研、行政机关与二级学院之间的资源配置、教师发展等分配与激励机制不合理。[1]《2019年中国高等职业教育质量年度报告》中对院校治理现状进行了专门研究，大部分院校能够做到按章办学，构建了行业企业、科研院所、社会组织多方参与的理事会，探索多主体育人机制；梳理完善了学校制度体系，优化了校内组织机构，理顺了内部治理关系；院校办学自主权逐渐扩大。但在院校治理过程中，反映类型教育特征的职称评审标准、程序仍未建立，面向多元生源结构的教学管理制度仍待探索；部分院校质量主体意识不强，缺少制度化、系统化设计，没有把诊改作为构建内部质量保证体系和推进院校治理能力现代化的重要抓手。[2]因此，高职院校要不断寻求更高水平的内部治理能力，激发改革发展的内生动力，实现内涵式发展。

2019年12月10日，教育部、财政部公布《中国特色高水平高职学校和专业建设计划建设单位名单》，其中，高水平学校建设高校56所（A档10所、B档20所、C档26所）。“双高计划”项目遴选以扶优扶强、质量为先、效率优先且兼顾教育公平、区域和产业布局为原则，“双高计划”建设单位（以下简称“双高”院校）在一定程度上反映了我国高等职业教育的最高水平，是我国职业教育向类型教育发展的引领者。因此，以“双高”院校为例探究我国高等职业院校内部治理的建设进展与面临的挑战具有重要价值。通过运用扎根理论，对25所“双高”院校治理改革发展现状进行三级编码，力求客观呈现其中的建设经验和存在问题，以期为新时代我国高职院校提高内部治理水平提供策略，推进职业教育治理体系和治理能力现代化建设。

二、高职院校内部治理的基本内涵

“治理”理论被广泛应用于政治学、经济学、社会学、国际关系学、管理学、教育学等不同领域中。1995年全球治理委员会发表《我们的全球伙伴关系》的研究报告中对“治理”定义为：个人和机构管理其共同事务的诸多方式的总和，是一个妥协处理各方利益促进多方合作的持续过程。[3]治理是为满足人的发展需要，通过改变外部环境、完善自身等使各利益冲突主体之间通过调和而实现统一目标的集体活动。国内外学者对于治理的定义方式主要体现在以多元主体参与、主体平等以及协同共治为理论要点，通过互动、协调等开展的管理和实践活动。[4]

在职业教育领域，因职业教育具有区域性、实践性、开放性的基本属性，职业院校内部治理更注重多元协同，主要体现在学校内部各个治理主体之间，以培养高素质技术技能人才为目标，实施管理的方式和方法。2014年6月，国务院印发的《关于加快发展现代职业教育的决定（以下简称《决定》）》中指出了职业院校的“治理”内涵：一是强调治理的过程，通过章程、制度、建立学校理事会或董事会等规范行政管理，倡导依据制度建设、标准建设等推动依法治理；二是鼓励多元主体共同治理，通过建立治理联合体协同共治。[5]为贯彻《决定》有关要求，加快实现学校治理能力现代化，教育部印发了《职业院校管理水平提升行动计划（2015—2018年）》，对职业院校“治理”定义为“管理”的升华，强调管理的规范化、精细化、科学化。[6]教育部、财政部出台的《关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见》中将提升学校治理水平作为十大改革发展任务之一，对“治理”的内涵做了详细界定：强调结构、机制和体系对于治理能力的重要作用，提出健全、完善内部治理体系、制度体系，建立完善的大学章程，发挥理事会、学术委员会、教职工代表大会及跨专业教学组织的咨询、协商、议事和监督作用。[7]《行动计划》中对职业教育治理的内涵做了进一步界定：强调治理能力对职业教育质量的作用，提出通过建立标准、完善机制和建设高素质管理队伍等路径提升职业教育治理能力，指出了构建政府、行业企业、学校、社会等多元主体的治理模式。[8]高职院校的治理能力主要体现在各个治理主体运用治理工具或治理手段来参与高职院校公共事务决策时所形成的强大合力。[9]由此可以得出，高职院校内部治理的具体含义，即通过建立完善治理机制、制度标准，划分多元主体的权责利，协调参与治理的

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

院校内部层级主体力量，解决高职院校发展中存在问题，满足可持续发展需求而采取的管理过程。

三、研究设计

（一）样本选取

本研究基于时间与空间两个维度对高职院校内部治理改革进程进行考察。在时间节点的选择上，2020年是“十三五”规划的收官之年，也是“双高计划”建设的开局之年，各项改革成果丰富。此外，2020年也是全球新冠疫情肆虐的第一年，又是实施高职扩招三年计划的中期，此时各专项治理问题最为突出，故本研究选取2020年数据进行研究分析。在空间维度上，我国目前区域经济发展的不平衡现象较为突出，为了全面分析高等职业院校内部治理改革现状，规避因地域、产业、经济发展等因素造成的数据偏差，鉴于A、B档“双高”院校在办学水平、育人能力、社会声誉等方面表现得更为突出，且基本涵盖了我国依经济区域的划分标准的四大地区（东部、中部、西部以及东北地区），因此，本研究选取的分析样本为A、B档“双高”院校。其中，因山东商业职业技术学院、天津医学高等专科学校、杭州职业技术学院、重庆电子工程职业学院、重庆工业职业技术学院数据难以获取，本研究最终选取了除以上5所院校之外的25所A、B档“双高”院校。

（二）数据来源

2012年，教育部建立了高等职业教育质量年度报告制度，要求高等职业院校每年要按要求编制并公开教育质量报告。质量年度报告是高等职业教育履行责任担当、确立质量发展观、宣传发展成绩、接受社会监督的重要制度载体。具体内容应至少包含：学生发展、教学改革、政策保障、国际合作、服务贡献、面临挑战等六个部分。其中，教学改革、政策保障部分较为详细地描述了一学年院校治理的成效。质量年报是我国目前可供获取关于职业教育办学成效数据的重要公开渠道，且数据具有较高的真实性和权威性。因此，本研究的数据均来源于25所A、B档“双高”院校官网信息公开栏目中2020年度教育质量年度报告。

（三）研究方法

扎根理论是一种质性研究方法，采用扎根理论进行研究时，一般没有预设的具体研究问题、理论和结论，针对现象系统地收集和分析资料，从资料中发现、生成理论。[10]区别于通过对现有文献的阅读和回顾来发现现有研究的不足而提出研究问题，扎根理论则是研究者带着某方面问题笼统、模糊的兴趣进行研究，通过观察情景以及对情境中不同参与者的互动，发现和提出研究问题。[11]无论是职教20条、“双高计划”还是《行动计划》，都对职业院校治理水平提出更高的要求。因此，研究者以“院校治理”作为研究“兴趣点”入手，通过文献研究初步厘清相关概念和研究现状，产生研究问题，即高等职业院校内部治理的改革发展现状，进行数据收集与处理，得出研究结论，提出改革策略。

本研究主要聚焦于高职院校如何通过一系列改革举措和行为提升治理水平、增强治理能力等问题，采用“从研究参与者中产生研究问题”“从研究参与者的行为中产生理论来解释这种行为模式”的理念和研究方法，具体研究过程如图1所示。

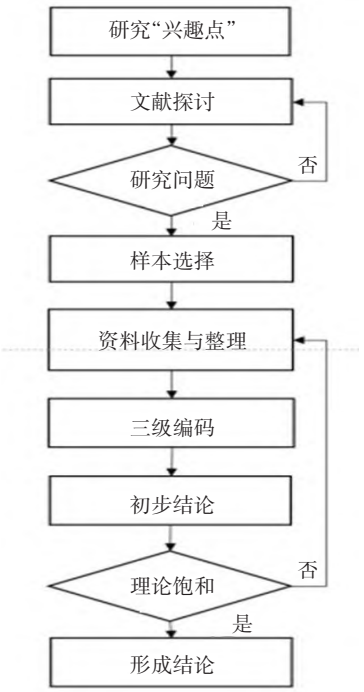


图1　扎根理论研究过程

（四）研究过程

本研究按照“理论性取样—收集资料—资料逐级编码并从中产生概念—反复进行比较—形成理论性概念并建立典型关系—构建理论并进行评

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

判”的步骤对样本进行数据分析。其中，最为核心的过程是运用“三级编码”对资料进行反复分析，“三级编码”的第一级为开放式编码，第二级为轴心式编码，第三级为选择式编码。

1.一级编码

开放式编码以原始资料为出发点，用开放的态度对比、寻找资料中反复出现的行为、现象、概念，并对其进行命名和定义类属，进行编码整合，具体包括“贴标签—概念化—概念范畴化”三个阶段。贴标签即将质量年报中与内部治理相关，且相对独立、信息完整的语句选择出来贴上标签，用“AXXX+原始表述”表示；概念化即对遴选出的原始表述反复比较、界定，提炼出相关概念，用“BXXX+概念”表示；概念范畴化即对提炼出的概念进行识别、分析与归并，形成现象化、概念化的范畴，用“CXX+范畴”表示。开放式编码及范畴化过程示例见表1。本研究通过样本资料进行编码，从中提炼出131个原始语句，对应抽取出155个概念，归纳出39个范畴。

2.二级编码

轴心式编码是以建立范畴之间的联系为目的，在一级编码的基础上，筛选出频次和重要性较高的范畴，找出其中的潜在关联，如过程关系、因果关系、类型关系、结构关系等，归纳形成主范畴，用“DX+主范畴”表示。本研究对39个范畴归纳出四个主范畴，见表2。

3.三级编码

选择式编码基于一级和二级编码所归纳的范畴、主范畴确定核心范畴，厘清核心范畴与主范畴之间内在联系，整理出“故事线”，从而将研究的原属现象和脉络条件描绘出来，展现出主范畴的典型关系结构，这种典型关系结构就是本研究理论模型的核心体现。根据本研究的研究目的，确定核心范畴是“高职院校内部治理建设路径”。通过对原始资料和各级编码反复分析，形成典型关系结构框架，见表3。

表1　开放式编码及范畴化过程示例

原始表述	概念	范畴
A001加强党对学校工作的全面领导，健全党委领导下的校长负责制、完善二级党组织议事决策制度，将党建与事业发展融合，提升领导干部治理能力	B001党的全面领导	C01党的建设
	B002党委领导下的校长负责制	C02党委领导下的校长负责制
	B003二级党组织议事决策制度	C03议事决策制度
	B004领导干部治理能力	C04管理队伍建设
A002构建多元共治的治理格局，健全民主管理机制、专家治教机制	B005多元共治	C05多元治理
	B006民主管理机制	C06治理机制
	B007专家治教机制	C06治理机制

表2　轴心式编码形成的主范畴

范畴	主范畴
C01党的建设、C02党委领导下的校长负责制、C03议事决策制度、C04管理队伍建设、C38意识形态建设	D1党建全面引领
C05多元治理、C09治理结构建设、C13现代化治理体系、C15信息化建设、C17权责关系、C18治理效能、C21自我治理、C22管理模式、C24数据治理、C27治理主体建设、C30“放管服”改革、C32绩效改革、C36人事制度改革	D2治理模式改革
C06治理机制、C07制度建设、C08章程建设、C10法制文化建设、C11管理体制改革、C12校院两级管理体制、C16新形势响应机制、C19管理机制、C23信息公开机制、C25文化治理、C26意识建设、C29校企合作机制、C35“废改立”改革、C37运行机制	D3体制机制建设
C14标准开发、C20内部质量控制、C28内控机制、C31诊改平台建设、C33内部质量保证体系、C34监督机制与保障体系、C39流程构建	D4内部质量控制

表3　范畴的典型关系结构

典型关系结构	关系结构的内涵
党建引领→治理要素的有机统一	党建引领是实现“善治”的根本要求
治理模式改革→治理成员的主体性发挥	治理模式改革是实现“自治”的必然要求
体制机制建设→管理制度的完善与运行	体制机制建设是实现“法治”的本质要求
内部质量控制→决策的执行力	内部质量控制是实现“长治”的内在要求

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.饱和度验证

为验证理论饱和度，本研究利用北京、辽宁、浙江、甘肃四个省市的年报进行验证。之所以选择以上四个省市是因为其具有以下特性：北京为京津冀经济圈的核心建设城市，浙江是长三角一体化发展的重要参与省份，辽宁属于东北三省之一，甘肃则代表中国西部地区，并且与辽宁省被教育部认定为2020年职业教育改革成效明显的省份。以上四个省市既代表了我国东西南北四个地区的职业教育发展水平，又涵盖了国家重大战略承接地区，且既有经济建设相对发达区域的代表省份，又有职业教育改革成效凸显的省份，最大程度避免主观、客观等因素带来的分类选择错误。通过饱和度检验，原始资料中没有产生新的范畴，理论饱和。

四、研究结论

基于三级编码所归纳出的概念、范畴、主范畴和典型关系结构，可以发现“D1党建全面引领”“D2治理模式改革”“D3体制机制建设”“D4内部质量控制”这四个主范畴将高职院校内部治理的关键要素与建设路径关联并展现出来。本研究以主范畴为核心，将其涵盖的范畴、概念以及分解的资料数据重新整合，得出样本院校的建设经验和存在问题。

（一）建设经验：优化内部治理要素

各高职院校通过一系列改革举措不断提升治理能力，通过加强党的建设，促进各要素有机统一；通过改革治理模式，促进各利益主体最大程度参与治理过程；通过完善体制机制建设，构建科学的管理体系；通过建设内部质量保证体系，实施质量控制，提高决策执行力。

1.强化党建引领，将党的建设落实到办学治校全过程

高职院校在建设过程中，充分认识到党建引领的重要作用。主范畴“D1党建全面引领”主要包括：“C01党的建设、C02党委领导下的校长负责制、C03议事决策制度、C04管理队伍建设、C38意识形态建设”等范畴，即高职院校强化党建引领的主要措施。一是落实党委领导下的校长负责制，注重党政权责分工，通过制定实施办法、议事规则等，形成党政协调的高效分工、协调运行的工作机制，确保高等职业院校内部治理体制机制的不断健全和有效运转。如A060：“坚持和完善党委领导下的校长负责制，健全和落实党委会议事规则、校长办公会议事规则；促进宏观决策权与具体执行权的相对分离，提升内部领导和管理机制的科学化水平；形成密切合作、团结奋斗和运转高效的领导班子工作机制。”二是进一步重视二级党组织的基础作用，结合专业设置改革，优化基层党支部设置，积极探索学习型党组织的建设，建设“双带头人”党支部，增强党建与专业的“粘合度”，基层党组织的组织能力显著提升，充分挖掘治理主体的决策执行能力。如A010：“结合专业设置改革，优化基层党支部设置，将支部建立在专业上，让支部成为推动改革发展的坚强战斗堡垒。”三是充分发挥党委“选人”“用人”“育人”作用，注重制度建设和作风建设，加强干部思想淬炼、政治历练等，为内部治理提供优质人力资源；加强意识形态阵地管理，不断探索意识形态安全治理方法创新，以积极、正向的价值观为内核引导各多元主体对院校治理的目标产生共鸣，实现行为的统一化，推进各多元主体充分发挥主人翁意识。如A012：“制定干部队伍培训计划，加强干部思想淬炼、政治历练、专业训练、实践锻炼，采取领导导学、专家讲学、集体研学、实践悟学、考试督学等多种方式，推动广大干部严格按照制度履行职责、行使权力、开展工作。”A129：“完善意识形态领域年度研判、节点研判、专题研判及排查处置工作程序，着力加强校园意识形态阵地建设‘九个一’管控。”

2.创新治理模式，促进各利益主体最大程度参与治理过程

主范畴“D2治理模式改革”中包含13个范畴，按照范畴出现的词频来看，主要集中在“C09治理结构建设、C22管理模式、C05多元治理和C15信息化建设”四个方面。其中，高职院校主要追寻多元治理结构建设，信息化建设是管理模式改革的重要载体，由此可见，高职院校主要通过完善多元治理结构和创新管理模式两个层面，力求找到改革“突破口”。一是构建和完善多元共治的治理结构。一方面，在院校内部，协调好政治权利、行政

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

权力、学术权力和民主权力之间的管理，通过组建理事会、学术委员会、专业建设指导委员会、教材选用工作委员会、专业技术职务评审委员会、督导评价委员会、安全委员会、校院两级教职工代表大会、学生会等组织团体，推进构建“党委领导、校长负责、教授治学、民主参与”的多元治理结构。另一方面，在院校外部，探索实施二级学院股份制混合所有制改革，构建二级法人、项目法人治理结构，提高行业企业参与办学程度。如A116：“构建了党委领导下的校长办公会、学术委员会、理事会、教代会、学代会五位一体的民主治校模式。”二是以新技术赋能内部治理，实施治理方式的数字转型，开展智慧校园建设，实现大数据自动采集、智能分析，打破信息孤岛，实现数据共享；建设多终端的一站式师生服务大厅，建设智能决策体系，搭建校情分析与决策支持平台，推进数据可视化管理，提供综合性、多维度数据分析、自动预警、趋势判断和决策支持。如A020：“搭建源头数据实时采集的信息化平台，形成用数据说话、过程有记录、办事有流程、执行有效率、决策有依据的治理体系。”A113：“建成了基于大数据分析的‘五中心一平台’的智慧校园网络管理平台。”

3.完善体制机制，提升高职院校规范化办学水平

编码结果显示，主范畴“D3体制机制建设”对应的原始语句有88个，占比高达67%，充分说明各高职院校均重视内部治理的体制机制建设，其主要概念集中体现在“B008依法治校、B009依章治理、B013院校两级管理体制、B029制度体系、B030校企合作机制”等方面。一是优化校院两级管理体制，扩大二级学院办学自主权，通过实施办学绩效相衔接的经费投入、资源配置方式，构建二级学院重大问题决策的支撑体系，建立健全党政分工合作、共同负责的领导机制，在经费投入、人事聘任、专业建设和人才培养等方面给予二级学院更大的自主权。如A089：“制订校院两级职权清单，修订校级部门职责、办事程序，制订二级学院办事程序；优化完善考核机制，推动考核权限向二级学院下放，加强工作团队、项目团队建设，集中力量攻克、突破关键任务和重大项目。”二是健全依章治理机制，制定和完善职业教育类型定位清晰的学校章程，以学校章程为统领，全面开展规章制度“留立改废”工作，实现用制度管权管事管人。如A081：“章程的制定坚持了职业教育类型定位，遵循了职业教育发展规律和技术技能人才成长规律，完善了产教融合办学体制、创新校企合作办学机制，构建了社会力量深度参与的多元办学格局”。三是推动现代大学制度体系建设，通过构建科学完善的制度体系，支持、保障和规范了行政权力、学术权力、教师权力、学生权力的运行，实现了教学、研发、社会服务及教师发展等机构的高效运行，培训中心、资产管理中心、校办企业等法人组织的合规、协调、科学运行，使学校办学行为更加规范、办学活力显著增强；通过制定干部、教师差异化评价考核评价办法、“双师型”教师考评办法，探索构建了符合职业教育办学特点的职务评聘制度等；通过建立专业群调整机制，优化群内专业结构，健全了专业群资源共建共享和集群化协同建设发展机制；通过探索建立混合所有制办学体制机制，打通了校企双方在管理理念、运行机制、培养模式等融合壁垒。

4.建设内部质量保证体系，推进质量诊断改进

各高职院校纷纷落实教育部办公厅关于建立职业院校教学工作诊断与改进制度的通知要求，按照各省市教育厅的相关安排，推进内部质量保证体系建设。高职院校主要通过“C14标准开发、C28内控机制建设、C31诊改平台建设”等方面建设内部质量保证体系，开展内部质量保证体系诊断与改进工作。学校层面，通过建立常态化的内部质量诊断与改进工作机制，实现对重点工作指标以及专业、课程、教师、学生等关键办学要素的动态监控和持续改进；通过建立诊改数据平台，发挥数据管理和应用在诊改工作中的基础作用。专业和课程层面，重点实施标准建设，制定专业（群）建设标准、课程建设标准、顶岗实习标准、实训教学条件建设标准等标准体系。在教师层面，其中近三分之一的高职院校探索优化考核评价机制，推行教师教学工作、师德师风、职称评定量化诊断考核评价方式，将考核评价与绩效、晋升挂钩；促进干部教师更新理念，构建院校内部自主发展创

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

新机制，真正激发内生动力，持续提升高职教育人才培养质量。如A006："每年都开展五层面的动态预警和阶段自诊，经过三轮自诊，全员、全方位、全过程的诊改工作思维已经成为无锡职院各项工作推进的行为习惯。"A078："建立管理有理念、人人有目标、事事有标准、过程有诊断、诊断有改进、改进有成效、保证有力度的'七有'诊改运行机制。"A055："信息化诊改平台以教学诊改系统、大学生成长导图、教师成长导图为主体，消除教学核心部门信息孤岛；建立数据中心，推进数据共享，为常态化自主性教学诊改和师生自主诊改提供网络基础平台保障。"

（二）现实问题：治理能力和效能尚不能满足高质量发展所需

1.党建引领治理结构存在薄弱环节

高校是培养社会主义建设者和接班人的重要阵地，高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分，高职院校党建工作亦是党的建设新的伟大工程的重要组成部分。2021年4月全国职业教育大会上，习近平总书记对职业教育工作做出重要指示强调，要坚持党的领导，坚持立德树人。坚持党的领导首要任务就是要坚持党委领导下的校长负责制。然而，本研究通过对"D1党建全面引领"主范畴对应的原始语句分析发现，近四分之一的院校对这一根本制度的具体实践中仍存在一定问题，具体表现在：虽然学校层面通过制定议事规则、明晰权责划分等，实现了党政关系协调高效运行，但在二级院（系）层面，党政关系还不够清晰，基层党建责任传导机制还不健全，基层党组织在全面从严治党主体责任落实、纪委履行监督职责落实、从严执行制度、基层党支部战斗堡垒作用发挥等方面，存在着弱化和延伸不到位的问题；[12]在党支部层面，没有充分引导教师、学生等组织团体积极参与院校治理过程，基层党组织功能发挥还不够充分，这从客观上忽视了教师、学生等主要主体参与治理的责任感与积极性。

2.多元主体的治理效能有待提升

多元参与、协商共治是高职院校内部治理追求民主性、合法性的基本治理形式。然而在实践中，一方面，部分高职院校尚未构建多元治理的组织架构，如A021："学校办学由单一主体向多元投入、多元治理转变，需要建立适应高水平高职学校发展的组织架构。"另一方面，多元共治的治理结构增加了治理主体间的协调难度，治理结构出现碎片化现象，即行政管理人员、教师和学生等治理主体相互割裂、断裂甚至出现相斥的现象，使得治理效率低下，如A007："还存在内部壁垒尚未完全破除、部门协同不完全顺畅等问题。"A080："对照现代职教治理体系建设要求，治理结构尚需完善。"此外，在扩大二级学院办学自主权的趋势下，高职院校治理中心沿纵向下移，权力下放中伴随而来的管理层级增加，对治理成本和治理效率均提出了挑战，如A112："组织架构、人事安排、待遇薪酬等管理与运行方面还不够顺畅，专业群负责人权责不明。"最后，在信息化平台搭建中，仍存在数据挖掘、信息通讯与数据共享的低效能化，平台的整合和使用还有待加强，如A123："信息化水平对学校数据治理水平提升的支撑度需要进一步强化。"

3.制度建设与文化塑造尚未有机融合

编码结果指明了我国高职院校对于院校内部治理体制机制建设的理性设计已经趋于完善，而内部治理体系成效的检验，不在于机制、制度设计的多么完美，更在于治理过程中主体关系的彰显、人的主动性调动以及高职院校育人目标和价值追求的实现。[13]一方面，内部治理制度的落地执行层面还缺少科学有效的运行机制，主要体现在治理主体和治理载体两个方面。一是师资队伍建设中高层次人才缺乏状况仍未缓解，在"C27治理主体建设"概念类属中，存在问题均为教师结构问题，主要表现在专业领军人才缺失；二是企业参与治理的积极性仍有待提高，"C29校企合作机制"概念类属中提出的问题占比与具体举措占比基本持平，主要表现在产教融合长效运行机制尚未形成，深化产教融合、校企合作还缺乏操作层面的具体实施细则；三是应对新形势的运行机制尚未形成，包含的概念主要有"B036疫情防控、B037技术产业演进、B066高职扩招、B061国际合作"，如A129："高职院校百万扩招、本科层次职教办学、数字化三教改革、产教融合模式探索等都对学校的总体发展提出了新的挑战。"另一方面，文化建设直接

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制约着高职院校内部治理的价值取向。概念类属“C25文化治理”在词频角度分析发现，其在D3体制机制建设主范畴中占比仅为2.5%，说明当前高职院校内部治理中更注重制度建设，而文化塑造较为薄弱，尚未形成独特的职业院校核心文化，缺乏对治理中文化建设的系统设计，各治理主体的价值取向未能有效践行学校核心价值，创新发展责任意识和现代质量文化意识不够。如A080：“内涵建设核心指标还需优化，常信精神和校园文化整体特色需进一步凝练。”

4.内部质量保证体系缺乏整体性和系统性设计

高职院校普遍认识到内部质量保证体系建设的基础性作用，尤其在提高教育教学质量和治理效率方面发挥了积极作用。然而针对《2019年中国高等职业教育质量年度报告》中提出的“部分院校质量主体意识不强，缺少制度化、系统化设计”问题，在研究资料却中鲜有解决举措。在质量保证体系建设中，缺乏从整体性角度对学校、专业、课程、教师和学生等主体层级进行目标分类；部分学校尚未建立质量诊改相关的激励机制，参与内部治理的多元利益主体自我诊断主观意识不强，主动性、积极性和创造性还没有被充分激发。院校内部各部门之间缺乏有效的联动机制，外部多元主体参与诊改的程度和深度不足。质量诊改的信息化数据共享和分析还有待进一步完善，诊改结果应用的有效性还有待加强。如A027：“有利于办学绩效显著提升的评价机制、保障体系还不健全。”A073：“服务诊改的信息化水平有待进一步提高。”

五、提质培优建设背景下高职院校内部治理能力提升策略

在职业教育提质培优的建设背景下，提升高职院校内部治理能力日益成为推进职业教育治理能力现代化的重要环节。当前，我国高等职业教育亟须深入思考和研究如何以《行动计划》为指引，提高现代化治理水平，而“双高”院校的建设经验对此具有重要参考价值。通过研究发现，当前高职院校在党建引领治理结构、多元主体的治理效能、制度文化建设以及内部质量保证体系建设等方面仍存在一些亟待解决的问题。基于此，提出我国高职院校内部治理能力的提升策略。

（一）善治：坚持党建全面引领，注重基层党组织建设

“善治”是使公共利益最大化的管理过程，本质特征在于各治理主体实现合作管理。[14]“共同的信仰和价值观”是实现高等职业院校民主管理、协商共治的根本前提。“党建引领”使高职院校内部治理主体确立了共同信念，使管理制度的科学完善和运行、决策的执行力以及治理成员主体性发挥三方面有机统一。[15]高职院校必须坚持党建全面引领，将党建通过柔性的引导、服务有机融入院校治理体系。必须长期坚持并不断完善党委领导下的校长负责制，形成党政协调的高效分工机制、教授治学机制、系统化的整体协作机制；必须坚持抓基层强基础，增强基层党组织的活力、创造力和战斗力，充分发挥基层党组织的战斗堡垒作用，深入开展思想建设，使每位党员增强党性修养，带动广大师生树立主人翁意识，推动主动参与院校治理的局面；必须不断健全完善党的组织体系、制度体系和工作机制，发挥党指方向、立规矩、树正气的作用，推进治理现代化。

（二）自治：坚持有效治理，激发多元利益主体能动性

各利益主体能够平等、主动、有效地参与院校治理过程，才能真正实现高职院校的自我治理。在结构调整方面，高职院校应减少管理层级，强化部门合作，给予二级学院更大的自主权，实现扁平化、民主化、专业化和科学管理；充分设计可操作可落地的实施细则，如经费投入、人事聘任、专业建设和人才培养等下放的具体权力、下放的比例和分权的具体方案等。在治理主体方面，高职院校应聚焦四个问题：一是能力提升问题。治理水平的高低取决于治理主体能力的大小，管理干部是主要参与院校治理的主体之一，教师作为从事教学、科研和社会服务的主体具有关键地位。教师除了掌握专业知识外，还应该具备参与治理的能力，而提高教师的公共责任意识是促进教师参与院校治理的潜在动力。高职院校一方面应加大对管理干部培训力度，注重培训实效，在实践中锻炼塑造管理人才，构建一支素质过硬的管理队伍；另一方面应注重教师公共责任意识养成，科学合

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

理建立激励机制。二是活力激发问题。活力可以激发创新力，高职院校应建立以业绩贡献和能力水平为导向的绩效工资动态调整机制，优绩优酬，激发师资队伍活力。三是动力发掘问题。动力可以带来治理自主性，充分调动二级学院改革创新发展的积极性、主动性、创造性，进一步挖掘企业参与办学的动力，创新以利益为基础、以资本为纽带、以市场为动力、以共赢为目标的校企合作机制，构建校企命运共同体，使企业深度参与人才培养。四是合力凝聚问题。一方面，高职院校应健全民主管理机制、教代会、学术委员会、学生会等自治组织，保障落实教职工和学生参与民主管理和监督，使各利益主体形成治理合力；另一方面，要明确权责利关系，提高部门内部和部门之间的协调配合，在部门内部营造积极向上的文化氛围，部门之间加强沟通，密切配合，对照职责，不推不拒，树立主人翁意识。

（三）法治：坚持凝练核心文化，在制度建设中实现文化自觉

治理能力的提升取决于学校制度能够发挥规范、约束、激励、保障等作用，最关键的还是要看能否落实到行动中。[16]高职院校应注重三个建设：一是制度建设。制度是规矩、是规则、是依据。高职院校应建立满足现代化需求的治理制度，适时出台完善绩效考核分配制度，打破平均主义，调动积极性，探索实现以岗位差异、工作量差异、贡献度差异为基础的薪酬分配体系；稳步推进内控管理制度，建立完善管理工作体系，保障安全高效运行；建立校企合作项目评价标准，科学、综合、有效评估合作项目建设绩效和可持续发展能力，提升校企合作项目持续实现业绩目标的状态和能力，以期形成校企合作长效机制。二是文化建设。文化是意识、是环境，是人心。文化建设要以师生为中心，通过开展形式多样的思想教育，组织健康向上的文体活动，营造和谐文明的治理氛围；通过教育、激励和引导，形成正确的价值取向；构建作风评比体系，畅通问题反映渠道；组织和开展好中华优秀传统文化教育，全面开展课程思政建设，培育学生爱国主义精神，实现“立德树人”的教育根本。三是人才队伍建设。人才是资源、是潜力、是动力。高职院校应构建体现职业教育特点、灵活多元的“固定岗+流动岗”教师资源配置机制，建设一支专兼结合的高水平双师队伍；通过外联内培，建设高层次人才队伍，引领专业群建设；此外，在高职院校不断的改革发展中，现阶段专任教师数量基本与学生规模相适应，人才引进的加速度逐渐放缓，释放现有人才红利，除了人才本身因素外，高职院校应同样考虑外在的管理因素，管理精准、服务到位，对于吸引、留住、用好人才至关重要。

（四）长治：坚持实施内部质量控制，用好用足诊改工具

《行动计划》提出：“健全职业院校内部治理结构，深入推进职业院校教学工作诊断与改进制度建设，切实发挥院校质量保证主体作用。”高职院校应以系统性思维，围绕学校办学宗旨、发展理念和核心文化，全面树立质量观念，建立质量主体分类目标标准体系，对照“8字形质量改进螺旋”模型，构建对应目标体系的阶梯形递进的量化标准，深入推进教学诊改制度建设，自觉进行实时监测，通过寻找问题、改进问题、提升质量，最终提升院校自主办学、自主发展的能力，使内部治理结构效用最大化。加强大数据管理，推动治理形态向数字化变革。数据化是技术形态发展的主要趋势，随着人工智能、区块链、大数据、虚拟现实等新兴技术出现，技术的智能性程度逐渐提高，依托数字化的常规性治理比以往的人力资源模式更加高效，更低成本，更少冲突，更便决策。[17]一方面，高职院校应设立专门的现代信息技术机构，在体制与机制上实现信息化与内部治理现代化的贯通；另一方面，高职院校应重视大数据的采集、分析和信息公开透明，建立大数据中心和智能决策分析平台，搭建基于信息化平台的内部质量评价模型和评价体系，利用大数据支撑院校进行科学决策与管理。

参考文献：

[1]上海市教育科学研究院，麦可思研究院.2018年中国高等职业教育质量年度报告[M].北京：高等教育出版社，2018：76.

[2]上海市教育科学研究院，麦可思研究院.2019年中国高等职业教育质量年度报告[M].北京：高等

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

教育出版社,2019:27-28.

[3]全球治理委员会.我们的全球伙伴关系[M].牛津:牛津大学出版社,1995.

[4]许翠芳.治理与人的发展研究[D].北京:北京交通大学,2021:28.

[5]国务院关于加快发展现代职业教育的决定[EB/OL].[2022-01-04].http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/22/content_8901.htm.

[6]教育部关于印发《职业院校管理水平提升行动计划(2015—2018年)》的通知[EB/OL].[2022-01-04].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_950/201509/t20150917_208794.html.

[7]教育部、财政部关于实施中国特色高水平高职学校和专业建设计划的意见[EB/OL].[2022-01-04].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/moe_737/s3876_qt/201904/t20190402_376471.html.

[8]教育部等九部门关于印发《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》的通知[EB/OL].[2022-01-04].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/202009/t20200929_492299.html.

[9]韩连权,吴玉剑.高职院校治理能力现代化的时代价值与路径选择[J].职教发展研究,2021(4):66-71.

[10]陈向明.扎根理论在中国教育研究中的运用探索[J].北京大学教育评论,2015,13(1):2-15+188.

[11]贾旭东,谭新辉.经典扎根理论及其精神对中国管理研究的现实价值[J].管理学报,2010,7(5):656-665.

[12]郭为禄.党建引领视域下大学治理现代化实践路径探析[J].国家教育行政学院学报,2021(10):9-18.

[13]张衡,眭依凡.大学内部治理体系:现实诉求与构建思路[J].高校教育管理,2019,13(3):35-43.

[14]俞可平.全球治理引论[J].马克思主义与现实,2002(1):20-32.

[15]周海燕,卞谢瑜.从管理到治理:高校党建引领高等教育治理现代化[J].高校教育管理,2021,15(5):55-63.

[16]姚贵平.高职院校内部治理优化:制度建设与文化塑造[J].职教论坛,2016(28):35-38.

[17]张海生.智能技术赋能下的大学治理形态变革[J].高校教育管理,2021,15(5):46-54.

(上接第67页)

[4]第八届全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国职业教育法[EB/OL].[2022-04-21].http://www.moe.gov.cn/jyb_sjzl/sjzl_zcfg/zcfg_jyfl/202204/t20220421_620064.html.

[5]高展望,姚福义.劳动价值观视域下高校劳动教育评价体系研究[J].继续教育研究,2021(7):100-105.

[6]李红婷.新时代劳动教育课程评价:导向、问题与策略[J].现代教育,2021(7):25-28.

[7]孙翠香.从碎片化到整体性:新时代我国职业教育评价改革策略研究[J].职教论坛,2021(7):32-39.

[8]高文红,郭丽萍,靳慧龙.高等职业学校劳动教育教程[M].保定:河北大学出版社,2021:25-26.

[9]丁瑞,夏少辉.基于CIPP模式的高职劳动教育评价[J].中国职业技术教育,2021(28):68-72.

[10]彭谦.职业院校劳动教育实施路径的创新与实践[J].中国职业技术教育,2021(14):87-91.

[11]吕玉曼.职业院校劳动教育的时代审视与实践路径[J].职教论坛,2021(11):23-29.

[12]邓红彬,曹刚.新时代职业院校劳动教育的三重维度[J].中国职业技术教育,2021(21):39-43.

[13]李永生,蔡芳.新时代职业教育评价改革及其体系的构建[J].中国职业技术教育,2021(28):5-12.

[14]郭达,杨婷.论高等职业院校开展劳动教育的主要障碍与推进路径[J].职业教育研究,2022(2):22-26.

[15]汪路艳,孙佳文.高职院校劳动教育实践育人导向的缺失与复归[J].职业教育研究,2021(3):9-13.

[16]刘银景.我国职业院校劳动教育研究的回顾与展望——基于Citespace的可视化分析[J].天津中德应用技术大学学报,2021(6):88-94.

[17]李曦方,娄玉花,李新泉.基于跟岗实习的新时代高职学生职业劳动素养培育研究[J].四川职业技术学院学报,2021(6):58-62.

[19]刘小惠.新时代劳动素养评价体系构建与课程实践路径选择[J].创新人才教育,2021(2):35-41.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

微信时代下高职院校班级管理工作探究

王丽颖

（天津职业大学，天津 300410）

【摘要】新时期下，移动互联网的快速发展，微信作为当代大学生获取信息和社交沟通的主要媒介，已经深入到大学生生活的各个方面。本文对微信时代下，高职院校班级管理工作中出现的问题进行了梳理，并分析了造成上述的主要原因，提出了解决对策。

【关键词】微信；高职院校；班级管理

【中图分类号】C931.2 【文献标识码】A 【文章编号】2096-1847（2018）06-0074-002

DOI:10.19373/j.cnki.14-1384/f.2018.06.031

伴随着移动互联网技术的不断发展，微信作为一种新兴媒介已经进入到人们生产生活的各个方面，而高职院校学生作为使用微信的主要群体之一，一方面微信方便快捷的使用方式积极促进着学生获取知识和接受教育，另一方面也对学生养成良好学习习惯、树立正确价值观带来重要影响。

一、微信时代下高职院校班级管理中存在的问题

（一）班级管理目标的缺失

在高职院校班级管理工作的过程当中，缺失班级管理目标容易导致学生以自我为中心，缺乏团队精神，心理素质变差等一系列问题。部分普通学生认为大学更强调自我意识，对班级事务漠不关心，对集体活动不感兴趣，他们认为“好事都是学生干部的，和普通同学没关系”，长此以往，他们的积极性会日益消退，丧失集体荣誉感。还有部分班级管理者，存在脱离学生群众的情况，没有做到急学生之所急，想学生之所想，对于班级管理只是应付差事，完全不能达到班级管理的最初目的。

班级活动是学校教育教学工作的重要环节，是学生课堂之外的另一片天地，是学生进行专业拓展，发挥个人能力的重要空间。然而，在一些学校里，班级活动却成为了例行公事的行为，长此以往学生对班级事务的热心程度会大大降低。各类奖学金、助学金的评定发放，各类学生荣誉的授予等也是班级矛盾发生的诱因，会在一定程度上影响班级的团结，如果学生的不满情绪通过微信媒介传播，会对班级管理工作产生更为消极的影响。

在微信网络文化的影响下，班级管理工作容易变为一种面子工程。为了扩大影响，在一些高职院校都建立了院系微信公众平台进行推广，为了得到教师的夸奖，一些学生干部在学生活动中更注重活动的正面报道和新闻播发，却对活动的实际意义和对同学们的深远影响缺乏关注，此类报喜不报忧的情况应该引起学生工作管理者的重视。

（二）班级管理方式有待改进

现阶段，高职院校的学生大都是“95后”，他们更强调自我，更注重公平合理的竞争环境，更喜欢平等自由的生活氛围，他们喜欢接受新的思想，有着强大的信息资源获取能力。而传统的班级管理方式方法，显然已经无法良好的满足学生的此类要求。微信的出现为班级管理提供了便捷的工具，学生通过微信群接受班级通知，通过微信公众平台了解院系各项活动，这都无不体现着信息化管理软件的先进性。但是，通过笔者的调研发现，有很大一部分学生表示长期使用微信会对他人的信任度降低，不喜欢和现实中的朋友进行交流。当代大学生在现实生活中同学间的交流本来就少，与老师间的沟通也不频繁，微信的使用就使得这种现象更为明显，学生之间、师生之间的互动缺失，会使得班级同学的集体归属感和荣誉感降低，从而导致班级管理工作效率低下的问题，影响学生工作的开展。

（三）微信文化给学生思想带来的负面冲击

自高职院校学生班级管理工作中的网络时代开启伊始，互联网的便捷、及时、资源强大等特点就无不体现着其先进性。近年来，移动互联网的大量普及，人手一部智能手机已经成为高职院校学生的标配，这种先进性就体现的更为明显。然而，学生在利用移动互联网进行学习、互动、娱乐的同时，也容易受到网络文化的负面腐蚀。网络资源的虚拟性和隐藏性，会使得学生感觉网络世界无诚信，特别是一些别有用心的人在微信朋友圈发布的一些消极言论，极易使高职院校学生丧失自我判断能力，给他们的价值观带来负面影响。还有一些学生“微信成瘾”，他们总是无法克制的总感觉手机再震动，间隔很短的时间就会掏出手机查看微信信息，移动互联网新鲜、有趣的内容对高职院校学生充满着诱惑，因为迷恋手机导致学习成绩下降，缺乏社交能力的现象屡见不鲜。辅导员、班主任，对学生日常行为的关注不仅仅要在现实生活中，更要在网络环境中实时掌握学生思想动态，这就使得学生管理的工作的难度和任务量大大提高。

二、高职院校班级管理中存在问题的原因分析

（一）微信文化对传统文化的冲击

在移动互联网时代，传统文化的权威性受到挑战，各种个性鲜明的观点和独立意识更加受到关注，流行文化开始慢慢占据当代历史的舞台，个人主义得到了发展的环境，每个人的思想、感情、行为都不在是独立存在的，而是通过微信展现在个人社交圈之中的。传统的班级管理主要任务是帮助学生树立正确的“三观”，而微信文化下的班级管理则更要求管理教师满足学生的个性需求，培养学生多方面的素质。微信朋友圈、微信公众平台中的内容，具有观点鲜明、表述简洁的特点，十分适合现代人生活节奏快，休闲时间碎片化的特点，也使得学生们越来越崇尚“自我独立”的美德。

（二）班级管理制度陈旧化

合理、新颖的现代班级管理制度，既能调整个人和集体的关系，实现共同参与的目的，又能保证集体活动中的个人利益。而传统的班级管理过程中，管理教师更多的是依靠学校、学院的各项规章制度去约束学生日常行为，这种程序化的管理模式显然已经远远落后于现代高职院校民主、和谐、尊重学生个性发展的管理理念，这种陈旧的模式常会把学生的日常行为是否符合学校制度规定来作为管理效果的好坏唯一评价标准，这种现象容易引起个人与集体的对立。微信时代下，班级管理制度的先进与否，可以直接通过移动网络平台进行反馈，陈旧的管理制度倘若影响到学生个人发展，必定引起网络不良后果，使得管理者处于被动地位。

（三）学生仍处于成长阶段，心理发展尚不成熟

“95后”高职院校学生多处于青春期后期阶段，其个性热情而开放，喜欢接受新鲜事物，喜欢独立自主思考问题，同时他们又常沉默孤寂，对父母有着强烈的依赖性，心理承受能力差，现实生活中人际交往能力存在缺失，承受着学业和就业多方面压力。智能手机的普及使得移动互联网成为大学生进行获取知识、休闲娱乐、社交沟通的主要媒介，而大学阶段正是一个青年智力水平、心理素质、价值观逐渐走向成熟的阶段，他们的社会经验相对欠缺，对信息资源的辨识能力低，无法控制自己的上网时间，这就严重影响到学习生活的效果。

三、微信时代下高职院校班级管理工作对策

（一）强调主流文化的导向作用，加大校园文化建设

微信时代下的信息资源传播有着鱼龙混杂的特点，容易分散学生精力，形成负面思想，大力推进校园文化建设，强调主流文化的导向作用，可以提高学生的思想道德水平，促进良好行为习惯的养成。管理教师应该用辩证的思维，积极的心态引导学生正确的看待各类社会现象，大力整合既有的校园文化

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

资源，加强文化载体建设工作，形成正面、积极、优秀的校园人文精神。管理教师应该鼓励学生走出教室，进行社会实践活动，感受社会的变迁与世界的发展，应该深入学生生活，帮助学生树立正确的人生观。只有这样，高职院校班级管理工作才能更上一层楼，班级同学才能拥有共同进步的不懈动力。

（二）更新管理观念，创新管理方法

传统的纵向垂直管理模式显然已经不能适应微信时代下的高职院校学生日常管理，高职院校管理教师必须有与时俱进的管理观念和不断创新的管理方法。传统的班级管理往往一味强调集体荣誉，并以取得班级荣誉为最终目标，这就容易损害部分学生的个人利益。而在微信时代下，就要杜绝原先的那种为了班级整体利益而忽略学生个性发展的现象，班级管理必须尊重学生的个人诉求，讲究民主平等，借助于微信，让更多的普通同学参与到班级管理工作中去，对学生为班级做出的贡献进行公允、积极的评价，形成教师和学生之间的良性互动，让学生有更多的自我发挥空间。高职院校的学生工作管理者还要制定符合实际的管理办法，疏通班级各项信息传递的渠道，并在班级内部形成良好的竞争机制，让学生在不断的良性竞争中，提高自己的各项能力。

（三）高职院校班级“微”管理理念的提出

微信的出现使得每个学生都能成为“自媒体”，其低门槛，私有化的特点，大大增加了信息传播者的数量，每天都在产生着大量的信息资源，传统的班级管理者对“信息源控制”的能力正在逐步衰弱。而大学生对不良信息的甄别能力较弱，容易将一些负面内容跟风转发，这就会容易削弱大学生的思想信念和社会责任感。面对上述问题，管理教师要深入学生的网络生活中去，时刻关注学生的最新思想动态，关注学生转发的各类信息是否存在不实和负面内容，做到防微杜渐。适时适度的和学生进行微信互动，评论学生的微信“朋友圈”所发布的内容，还可以增加师生情谊，淡化教育者的角色意识，对学生的道德倾向、社会责任、价值观点给予正确引导。

因此，微信的出现为班级管理工作提供了无限便利，同时也对高职院校的学生工作管理者提出了更高的要求。相信在教育工作者的不懈努力之下，高职院校班级管理工作会越发积极良性的发展。

【作者简介】王丽颖（1985-），讲师，硕士，研究方向为思想政治教育。

【参考文献】

[1] 林闽，代飞．微信平台在班级管理工作中的探究 [J]. 信息系统工程 ,2015(12):43-43.

[2] 毛讯．微信在高校学生管理中的应用 [J]. 卫生职业教育 ,2015(14).

（上接第 73 页）

对于高职院校来说，单单依靠政府的财政拨款以及学生缴纳的学费是不足以支撑其管理体制和运行机制的改革工作的，这就要求高职院校能够转变思路，自立自强，注重拓宽经费来源渠道，以获取更多的资金。要想实现这一目的，高职院校可以与企业加强合作，按照企业的岗位要求来培养订单式人才，既可以帮助学生快速就业，又可以满足企业对人才的渴求。资金还可应用于科研方面，研发出更多的先进科技，促使企业的生产技术得到革新，这也不失为吸引企业合作的一个有效途径。除此之外，高职院校还可以开办夜校，让社会上有学习需求的人员能够接受到高等教育，有助于提高国民综合素质，保持了社会的稳定繁荣发展。

（六）尊重人才发展

教师作为高职院校教学工作的组织者和实施者，他们的个人素质和教学水平对于管理体制的运行有着决定性的影响，鉴于当前高职院校教师流动性较大，离职率较高，之于高职院校的发展造成了不良影响，因此高职院校必须重视师资力量，充分尊重优秀人才，提高对科研创新的鼓励，完善鼓励机制。树立人文观念，在平时多与教师进行沟通交流，关心老师生活与工作上的需求，竭尽所能的满足教师在物质和精神方面的实际所需，以增强教师对学校的归属感，培养教师的主人翁意识。除此之外，也需要给予学生足够的尊重，革新课堂与管理模式，突显高职院系自身办学特色，满足社会发展过程中对人才提出的各种需求，促进学生的个性化发展，那么学生在就业中就会更具优势。

五、结语

高职教育管理体制和运行机制的改革创新是一项长期艰巨的任务，需要地方政府、主管部门、高职院校都能充分认识并主动履行各自职责，加大资金和政策的支持，加强制度的建设和完善，同时打造品牌效应，尊重人才发展，鼓励科研创新，给高职教育的发展创造一切有利条件，在此情况下高职教育的发展道路必然会是一片坦途。

【作者简介】王朕（1981-），男，本科，助理研究员，研究方向为高职教育管理研究。

【参考文献】

[1] 熊景强．对我国高职教育管理体制与运行机制的若干思考 [J]. 亚太教育 ,2015(06):10.

[2] 李刚．高职校企合作管理体制和运行机制的探索 [J]. 物流工程与管理 ,2011(05):26.

[3] 曹俊明．论高职院校教育管理的基本内容、管理体制与运行机制 [J]. 职业教育 ,2015(02):34.

（上接第 72 页）

这种训练必然有其不容质疑的标准，如果你们看过军人脚面顶砖头顶日的训练场面，那么你就会明白，军队的规矩是必须遵守的，没有也不允许任何人找借口去逃避。

（二）不同之处

1. 准军事化管理的刚性效果

军事化管理是刚性的，文化是柔性的，如果一味的以刚性手段去管理，而忽略了以柔性的手段去固化，那么这样的管理成果是经不起时间考验的。实行准军事化管理的目的就是为了解决这一问题。准军事化管理可以来规范员工、提高行为标准，并结合企业文化，建立具有企业特色的管理模式，通过丰富员工的感情和意识，真正的实现“要我干转变成我要干”。使企业成为一个敢于承担任务，积极思考问题，同时具备高效执行力的集体或团体。中车精益生产相比于准军事化管理，两均能够通过文化将形成的习惯、思想进行固化，但中车精益生产缺少了以刚管理手段形成标准的强制力。

2. 中车精益生产的柔性特点

中车精益生产能够依据企业不同的发展时期，对已形成的相关标准进行优化调整，并且可根据实际情况，对于生产异常状况进行响应。就企业而言，因不同时期的生产任务变化较大，准军事化管理必然存在其局限性，而中车精益生产管理模式可以灵活的针对企业现状进行优化调整。此外，军人与企业员工有一个不可忽视的区别，就是企业员工不稳定性较大，除了人员流动以外，还需考虑员工缺勤的不定因素。而中车精益生产的柔性特点可以有效的解决这一问题。

三、结论

准军事化管理能够为企业文化的建立保驾护航，强调制度文化，大力推进精神文化，将企业文化建设落到实处，并形成企业本身的特色文化，最终全面提高企业的综合管理水平，提升企业的核心竞争力。因此，准军事化管理模式是企业必然经历的管理阶段，其实行对企业发展具有重要意义。按照企业不同的管理阶段，准军事化管理的强制性及其文化将是企业管理的初期管理模式，而中车精益生产应该存在在企业发展中期，其依靠准军事化管理成果，不断对企业的管理进行强化。当企业发展到一定规模后，企业的精神内涵将作为主导管理力量，其刚性管理制度必将减弱，也就是说企业最终将在人性化管理下进一步发展。

【作者简介】陈伟超（1988-），男，硕士，中级工程师，研究方向为冷却单元组装、铝合金焊接、水冷基板钎焊

【参考文献】

[1] 张雪峰．军事化管理在企业中的实践研究——以华为公司为例 [M]. 上海：安泰经济与管理学院 ,2012.

[2] 吴玉清．准军事化管理访谈 [M]. 北京：北京黄埔大学校刊 ,1996.

[3] 曹强．枣庄矿业集团军事化管理研究，北京 [M]. 北京：中国人民大学 ,2007.

（上接第 71 页）

[1] 姜震，郭健新．搭建多元化互联网金融平台提升农村信用社核心竞争力 [J]. 吉林农业，2017(1):105-105.

[2] 陈菁菁．农村信用社内部控制分析 [J]. 中国市场 ,2016(4):210-211.

[3] 杨东亮，张倩男，王科惠．互联网金融时代下农村信用社发展研究 [J]. 中国集体经济 ,2017(12):87-88.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

我国高职课程改革的策略研究

张海伟

（天津职业大学，天津　300410）

摘要：目前我国很多高职院校在对课程的构建和改革过程中还存在一些问题和不足，如课程目标定位过于宏观，课程设置未能突破学科框架，学科本位的课程模式依然占主流，教师课程角色规范意识淡薄等。在分析以上问题成因的基础上，提出我国高职课程改革的一些有效对策与建议，以加快我国高职院校课程改革的发展进程。

关键词：高职；课程；改革；策略

我国从20世纪80年代开始引入国外的CBE、MES和双元制等职业教育模式，特别是近十年来，高职院校在课程改革方面做了大量的尝试，也取得了一定的成效，但是客观地说，由于我国的高职教育起步较晚，在课程改革实践中还存在诸多问题。高职教育作为高等教育中的一个类型，其人才培养规律不同于学术人才培养规律，当前高职教育所面临的核心任务是课程的改革。

一、我国高职课程改革存在的主要问题

1.课程目标定位过于宏观。目前，对高职比较常见的一种批评是，看不到高职“高”在哪里，认为其课程与中职没有太大区别，往往重复中职的内容。这说明高职课程一直没有很好地解决自己的定位问题。其实“定位”是高职发展中人们讨论最多、争论最多的问题。然而人们往往只从宏观角度讨论高职的定位，即高职应当培养技术应用型人才还是高技能人才。这些讨论对于确定高职课程改革的总体方向是有价值的，但对于高职课程的具体开发来说基本是无价值的，因为课程开发更为关注的是理念在操作中的技术实现方式，而不仅仅是人才类型这样一些宏观概念。用人才培养模式中的人才类型思维方式来定位高职课程目标，以致对具体的微观内容模糊不清，是高职课程改革难以深入下去的首要原因。在方法上，高职课程目标应当通过其所面向的工作岗位来定位。职业教育是面向职业的教育，职业岗位纵横交错构成一个复杂的体系，其层级差别决定了所需教育的差别，因而职业教育课程开发应使用“岗位”这个参照点来定义课程目标。工作岗位能够给课程目标提供最为清晰和准确的答案，这就要求高职课程改革首先要细致分析、明确定位专业所面向的职业岗位。在确定岗位时有3个重要思考维度：

（1）它应当是学生就业后若干年内能达到的预期职业岗位，而不是起点职业岗位。

（2）所确定的职业岗位在层级上要有鲜明的高职特色。

（3）有些口径过宽的专业，可依据地方经济特色选择其某一个方向作为课程目标。

2.课程设置未能突破学科框架。我国在20世纪90年代曾系统研究和局部实践过能力本位课程。然而当时只关注如何以工作任务为依据重新选择课程内容，没有深刻认识到依据工作任务重新设置课程、确定新课程结构的重要性。受这一思想的影响，许多高职院校没有深刻认识到重新设置课程对于取得课程模式突破的关键意义，而教师受其职业习惯的影响，也往往只关注传授学生什么知识、技能，没有认识到围绕什么来传授这些知识、技能的重要性，这必然进一步削弱对调整课程设置的关注。许多经过改革的高职院校课程仍然基本是依据学科边界设置的。但是，重新设置课程在课程模式转换中具有关键意义。课程设置并不仅仅是课程名称的确定，不同的课程设置反映了课程设计者不同的课程内容分割思想；同时，课程设置是组织课程内容的第一个环节，如何设置课程，直接决定了这门课程里面的内容能够采取什么组织方式。如果课程本身是依据学科边界设置的，那么要以任务为中心来组织这门课程的内容基本上是不可能的。因此，项目课程开发非常注重课程设置这个环节，要求依据工作任务来设置课程，具体表现为课程名称要彻底抛弃原有的“基础”、“实务”、“概论”、“学”等表述方式，直接采用动宾结构的工作任务来表述课程名称。按

收稿日期：2013-03-27

基金项目：天津职业大学“十二五”教育教学改革研究项目“高职院校课程设置的优化研究——以天津市数控加工专业为例”、天津市高教学会“十二五”高等教育科学研究课题‘政校企’合作开发高职课程的探索与实践（125q209）阶段性成果

作者简介：张海伟（1980-），男，天津职业大学机电工程与自动化学院讲师，研究方向：机电工程与职业教育学。

中国知网　https://www.cnki.net

照这一理念，没有把握好课程设置这个环节的高职课程改革，要取得重大突破是很难的。

3.学科本位的课程模式阻碍了高职课程改革的实施。我国职业教育的课程体系最初移植于普通教育，其后引进、借鉴了西方发达国家职业教育课程模式，目前正处于本土创生阶段。由于普通教育长期受前苏联凯洛夫教学思想的影响，因此，脱胎于普通教育的职业教育短时间内也不能摆脱学科论的桎梏。尽管已经进行了一定的改良，但目前大多数高职的课程设置仍是以学科体系为中心，而不是以学生的职业活动为中心。大多数高职院校是按学科体系来设置课程，通常的做法是将理论课程划分为普通文化课、专业基础课和专业课三大块，强调的是知识的完整和系统性，不太考虑学生的个性特征，也很难发挥学生自主学习的主动性。高职教育需要打破传统的学科体系，建立行动导向的课程模式，这在理论上已经得到大多数研究者和教师的认同，但是一旦进入实践层面，部分教师自觉或不自觉地返回到学科本位的老路，在认识上还有很多误区，比如突出职业教育的职业性和实用性是否会影响学生的可持续发展，职业教育知识以够用、适度为原则是否可以保障知识的系统性？由于存在种种疑虑，工作过程导向的课程模式大多只是停留在概念层面。事实上，现在许多高职院校还在大量使用诸如“基础课、专业基础课”等学科本位课程中经常使用的概念，而这些概念在工作过程导向的课程模式中是不存在的。在高职专业培养计划中，大多数院校还在沿用学科本位的课程体系和课程形式，教学实施还是使用传统的灌输式教学，理论与实践脱节现象严重。

4.教师课程角色规范意识淡薄，师生素质难以满足高职课程改革的要求。教师作为课程开发共同体中的一员，自然被赋予各种特定的权利和义务，即“角色规范”。所谓角色规范就是角色的权利义务统一体。大部分高职院校的教师对自己在课程开发中的角色定位不当，角色规范意识淡薄。根据有关调查统计，有30%左右的教师完全不知道自己在校本课程开发中的权利与义务，认为自己仅仅是课程的执行者，课程决策的事是学校领导的事，自己只要“实施好”就行了。这种课程角色意识使得教师很少意识到自己的课程决策权、课程话语权，以及课程开发实践中相应的权利和义务等，容易导致校本课程开发中的“权威主义”等现象产生。高职课程改革对教师提出了更高的要求，需要教师转变课程理念、掌握新的课程理念及新课程开发与实施的技能，而很多的高职教师还没有做好这方面的准备。对于学生而言，已习惯了被动的“填鸭式”的学习，当对课程进行激进式变革，创设主动学习的情境时会无所适从。

二、我国高职课程改革对策

对于以上问题，高职如何才能走出课程改革困境，真正达到以课程改革为主提高内涵建设的目的？答案是除了要调动教师积极性，鼓励更加优秀的教师参与课程改革外，尤其要注意以下五个方面。

1.加强基础课，开设选修课。宽厚的基础知识是适应职业发展的保证。加强基础课教学，要求学生根据实际选修不同学科的知识，使其基础知识更具有广泛性和灵活性，从而保证学生在基础课的基础上建设纵横交错的知识联系，提高职业适应的能力。

2.加强文理学科的相互渗透和相互结合。高职院校的课程体系同样要贯彻文理渗透的原则，同时要不断增加人文素质教育课程。有条件的院校要探索设置复合型课程，以更好地适应科学技术综合化发展的趋势。

3.加强信息技术与课程改革的联系。信息技术改变了人们的思维方式和获取知识的途径，信息高速公路、多媒体技术、计算机网络、网上通信等打破了传统的课堂教学格局，可以迅速更新教学内容，增加单位时间的信息传递量，提高课时效率和教学质量。在高职教育的课时计划中，要适当增加计算机应用的课程。

4.注重实践训练，培养学生的实践动手能力。实践训练是学生的专业知识与实践相结合的综合教育课程，是学生职业能力基本训练的重要教学环节。在实践训练中，通过具体的工程训练，培养学生独立获取和理解职业知识的能力、独立工作和协调工作的能力，提高技术开发和创新的能力。

5.加强综合教育，建立综合教育体系。综合教育是以提高学生素质、增强学生能力为中心的知识教育与实践活动相结合的一种教育活动。课内教育与有组织的社会实践是进行综合教育的主要渠道。加强综合教育，应重视学生的第二课堂，对课外教育和实践环节要规范化、系统化，建立综合教育体系，使学生获得全面发展。

总之，经过近几年的努力，高职课程改革已取得了重要进展。实现基本转型后，高职课程将进入全面深化阶段，即在更加科学、系统、精细的层面上构建课程体系，这是高职课程改革的重要跨越。相对于以打破学科体系为核心内容的初级阶段来说，实现这一跨越的难度更大，也更具有实质性。要实现这一跨越，必须把课程改革与课程研究结合起来。

参考文献：

[1] 徐国庆.职业教育项目课程开发指南[M].上海：华东师范大学出版社，2009.

[2] 王利明.高等职业教育课程开发与实施技术[M].北京：中国轻工业出版社，2011.

[3] 赵志群.职业教育工学结合一体化课程开发指南[M].北京：清华大学出版社，2009.

中国知网 https://www.cnki.net

[4] 黄春麟.面向可持续发展的高等职业教育课程改革行动研究［M].杭州：浙江大学出版社，2011.
[5] 朱德全，张家琼.职业教育课程与教学论［M].重庆：西南师范大学出版社，2010.
[6] 周建松.高等职业教育专业建设理论与探索［M].杭州：浙江大学出版社，2010.

Strategies of Higher Vocational Curriculum Reform

ZHANG Hai-wei

Abstract: There are still some problems and deficiencies in the building and curriculum reform process of many vocational colleges at present, such as courses targeting too macro, failed to break the disciplinary framework curriculum, discipline-based curriculum model is still mainstream, specifications weak awareness of the role of teachers in curriculum. The article analyzes the causes of the above problems, and propose effective countermeasures and suggestions of Vocational Curriculum Reform in China, in order to speed up the development process of curriculum reform in higher vocational colleges.

Key words: vocational; courses; reform; strategy

（上接第12页）

合或定岗实习等职业素质等为主要内容的评价指标结构；采取定性分析与定量分析相结合、过程评价与结果评价相结合、校内评价与校外评价相结合的多种形式，科学确定评价方法，开发评价工具。确定职业素质评价流程，有序进行职业素质评价，不断总结经验，发现并纠正评价过程中存在的问题。

（3）研发学生职业素质评价应用软件。利用学校数字化、信息化平台，研发学生职业素质评价电子系统，力争校内学生职业素质评价信息准确及时。采集学生在工学结合、顶岗实习期间的职业素质评价信息，采集学生社会实践活动评价信息，力争使评价达到全方位、全覆盖。探索学校、企业、社会三者对学生进行职业素质评价数据信息化的途径、方式、方法，为建立学生职业素质评价数据库打下基础。

三、结束语

没有一流的技工，就没有一流的产品。随着科技发展的日新月异，经济增长方式的快速转变，产业结构的调整升级，对技术人才特别是高技能人才量的需求越来越大、质的标准越来越高，技工院校应始终坚持高端引领、特色发展、内涵发展、可持续发展，立足成人在先，积极探索“现代技工”的素质教育，努力把学生培养成全面发展的“职业人”、健全的社会人。

参考文献：

[1] 翟惠根.职业素质教育论［M].长沙：中南大学出版社，2006.
[2] 邓勇.高职院校职业素质教育实践与探索［J].中国职业技术教育，2010，(2).
[3] 贾茹.探析高职院校素质教育［J].商情，2010，(4).
[4] 张连绪.基于职业发展的高职院校素质教育体系的构建［J].番禺职业技术学院，2006，(1).
[5] 朱中华.关于构建素质教育评价体系的思考［J].教育探索，2006，(3).

The Mechanic Research the College Students' Vocational Quality Education System

——Take Jiangsu Yancheng Technician Institute for Example

LI Cheng-fei, WU Yin-hua, WANG Jian-lin

Abstract: promoting the comprehensive qualities of students professional quality, in particular, is the mechanic colleges and universities in developing facing an important issue. Taking yancheng technician institute in jiangsu province as an example, expounds the mechanic colleges and universities to strengthen the necessity of cultivation of professional quality, gives a relatively feasible and accord with the characteristics of the mechanic colleges professional quality education system model, for the mechanic colleges comprehensively and effectively carry out professional quality education provides a new way of thinking and operating experience.

Key words: the mechanic colleges and universities; professional quality; system construction

中国知网 https://www.cnki.net

我国职业技能竞赛公平性研究

□邹吉权

摘　要：全国职业院校技能大赛已连续举办六届，对职业教育改革和发展起到了重要的引领作用，但人们对其公平公正性也产生了越来越多的质疑，这些质疑有些确实是大赛本身存在的问题，有些是人们认识上的偏差。从教育对象、比赛场地、赛题、评判及校企合作等几个方面探讨了大赛的公平公正性，既有理论层面的探索，也有操作层面的建议，以期进一步完善大赛的机制体制，使大赛健康良性发展。

关键词：技能竞赛，教育公平，职业教育

作者简介：邹吉权（1965－），男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士，研究方向为职业教育。

基金项目：2013 年度天津市哲学社会科学规划课题 “职业技能大赛的国际比较研究”（编号：TJJX13－021），主持人：邹吉权；天津市教育科学“十二五”规划项目“高职院校教师专业发展的国际比较研究”（编号：VE3014），主持人：邹吉权。

中图分类号：G710　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001－7158（2014）19－0015－03

举办全国职业院校技能大赛是我国职业教育的一项重大制度设计与创新，是各职业院校展示其教育教学成果的重要平台。该赛事由教育部和天津市政府等 31 家单位举办，至 2014 年已经连续举办七届。2013 年大赛设置的赛项有 14 大类 100 个赛项，参赛选手近万人，除天津主赛场之外，还有 15 个分赛场。职业技能大赛的举办，对职业教育起到了重要的引领作用，促进了校企合作、工学结合，提升了教育教学水平，对我国职业院校良性发展产生了广泛而深远的影响。然而，随着赛事规模的不断扩大和影响力的不断提升，人们对大赛的公平公正性提出越来越多的质疑，这些质疑有的确实是大赛本身存在的问题，而有些是人们的认识存在偏差。本文就人们质疑的一些热点问题做一梳理，以期进一步完善大赛的组织工作并使人们正确看待大赛的公平性。

一、大赛的教育公平性

人们质疑的热点之一是，大赛既然具有教育功能，就应该面向人人，而目前的省赛、国赛只是少数人的游戏，是精英教育，大部分学生并没有受益，有悖教育的公平公正性。这一看法是有失偏颇的。

（一）教育公平理论

教育公平是教育的一种基本价值观念与准则，对于实现教育发展的基本宗旨、保证社会的正常运转和健康发展有着极为重要的意义[1]。什么是教育公平？从范畴意义上看，教育公平反映相对性，而不反映绝对性或确定性，反映教育的质，而不是反映教育的量。从教育本体看，教育公平是指教育活动中对待每个教育对象的公平和对教育对象评价的公平。从教育对人的个性化的作用来看，对受教育者施以适合其能力发展的教育，即我们通常说的“因材施教”。从教育的结果来看，教育本身就是生产不均等的（即应是有个性的）人的手段[2]。因此，教育公平是教育对待对象和评价对象的合情合理。

教育平等包括教育权利的平等和教育机会的平等，应遵循以下原则：

1.基本教育权利的均等原则。基本教育权利的均等原则亦称保证原则，强调人人享有的基本权利应该完全平等。对职业教育而言，基本教育权利即我国《教育法》规定的受教育者享有的权利，例如“（学生）参加教育教学计划安排的各种活动，使用教育教学设施、设备、图书资料”，“在学业成绩和品行上获得公正评价，完成规定的学业后获得相应的学业证书、学位证书”等等。无论什么层次的教育，只要学生具有该校的正式学籍，他就应该享有相应的基本教育权利，只有对受教育者的基本教育权利予以切实保证，才能够体现起码的公平正义。

2.非基本教育权利的比例平等原则。“既然公

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

正是平等,基于比例的平等就是公正的”(亚里士多德)。这一观点在现代教育公平理论中仍为广泛引用。非基本权利是人们生存和发展的比较高级的权利,由于教育资源的有限性、受教育者能力(才能)存在差异、受教育者接受教育的需求不同,社会应该按比例分配非基本教育权利,这一原则既公正地分配了有限的教育资源,体现了教育公平,又可以促进社会进步和个人发展,提高教育效率。

3.教育机会均等原则。基本教育权利不存在教育机会问题,是人人都有的,教育机会平等是相对于非基本教育权利而言的。当代著名思想家萨托利在其《民主新论》一书中将机会平等分为平等进入和平等起点,平等进入就是在进取和升迁方面没有歧视,为平等的能力提供平等的进入机会,而平等起点即如何平等地发展个人潜力。这要求我们在确立教育机会平等时,既要关注竞争权利的机会平等,也要注重发展潜力的机会平等。

4. 补偿原则。非基本权利的比例平等原则表明,社会应该按比例分配每个人的非基本权利,但需要采取补偿性原则。美国哲学家罗尔斯说:“社会和经济的不平等(例如财富和权利的不平等),只要其结果能给每个人,尤其是哪些最少受惠的社会成员带来补偿利益,它们就是正义的。”[3]补偿原则立足于教育的整体利益,促进教育质量的整体提高。

(二)大赛的教育公平性

根据上述教育公平理论,我国职业院校技能大赛若要实现教育公平,应该做到以下几点:

1.大赛不能冲击正常教学。按照教育公平的保证原则,全体学生正常的教育教学活动属于其基本教育权利,学校承办大赛或参加大赛均不得冲击正常的教育教学活动。例如学校在承办赛事期间给学生放假,或由于参赛选手培训期间占用教学场地和教学设备而影响了正常教学,都有悖教育公平原则。

2.按学生能力分配参赛机会。从发表的文献看,很多人认为既然职业技能大赛面向人人,那就应该人人参赛才符合教育公平性原则,这样的理解是片面的。由于资源限制,不可能使所有的人都参加大赛,参加技能大赛属于非基本教育权利,根据教育公平的比例分配原则,参加大赛的机会只能按比例进行分配,能力最强的学生参加国赛,能力次之的参加省赛,再次之的参加校赛,还有一部分可能没有机会参赛。这样做是符合教育公平性原则的。

3.大赛的选拔机制应做到机会平等。既然参加大赛的机会按学生能力进行分配,那么能力评价的公正性显得至关重要。根据教育公平的机会平等原则,必须给每一位有意愿参与大赛的同学以平等的机会,这就要求从学校层面制定出科学严密的选手选拔制度,杜绝指导教师自行指定选手,确保机会平等。

4.充分发挥大赛的引领作用。我国的职业院校技能大赛如果只是为了竞赛而竞赛,赛后没有详尽的总结,没有将大赛成果转化到教育教学,那么大赛就真正成了少数人的游戏,就有悖教育公平原则。根据教育公平的补偿原则,应充分发挥职业技能竞赛的引领作用,使大赛引领教育教学理念更新、引领教育教学方法改革、引领教学内容更新,进而引领师资队伍水平提升、引领校企合作、工学结合的教学模式改革,使职业教育教学质量得到整体提升,使全体学生受益,这样才符合教育公平原则。

从以上四点看,我国职业院校技能大赛的整体设计框架是符合教育公平原则的,但在具体的落实上,还有待完善和提升。

二、竞赛场地的公平性

在全国职业院校技能大赛中,承办院校参赛的公平性问题也引起人们的广泛质疑。表 1 给出了 2013 年全国职业院校技能大赛承办院校参赛获一等奖的统计[4,5],可以看出承办院校获一等奖比例远远高出平均值,是平均值的 3~4 倍。当然,承办院校的总体水平较高,自上至下都比较重视,但这并不足以打消人们对承办院校占有“地利”的质疑。

表 1 承办院校参赛获奖情况

组别	高职	中职
承办院校参加的赛项数	48	40
承办院校参赛并获一等奖的赛项数	32	18
承办院校参赛并获一等奖的比例	66.7%	45%
一等奖平均比例	15%	15%

为了使技能大赛比赛场地更具公平性,可以借鉴世界技能大赛和日本全国技能竞赛的做法,将比赛场地设在体育馆或展览馆,这样不但可以保证比赛场地的公平性,还便于市民参观和媒体转播,使竞赛更具开放性。此外,也可以将中职组比赛场地设在高职院校,高职组比赛场地设在中职院校。当然,这样做可能会挫伤承办院校的积极性,国家应对承办院校予以经费补贴。

三、赛题的公平性

目前,全国职业院校技能大赛赛题均为比赛现场发布,因此其保密工作对保证大赛的公平性至关重要。但在现有相关文件中还没有看到针对赛题保密的制度,即使有这样的制度,实施起来难度也相当大。“普通教育有高考,职业教育有大赛”这句话被经常引用,但技能大赛赛题的保密工作远没有高考做得好。因此,应根据《中华人民共和国保守国家

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

秘密法》确定赛题的秘密等级，制订严格的保密制度，加强对涉密人员的管理，赛题载体的制作、收发、传递、使用、复制、保存、维修和销毁，应当符合国家保密规定。

除了加强赛题的保密工作外，还可以改变我们现有命题方式和流程，从而提高大赛命题的公平公正性：(1)对技能性为主的赛题，可以借鉴世界技能大赛和日本全国技能竞赛的做法，增加试题难度，提前发布赛题。(2)技术性较强的赛题，不适合提前发布，在不影响大赛准备工作的前提下（设备、工具、量具、材料、软件、文具等），可以组织命题专家在开赛前的一段时间内进行封闭命题。(3)一个赛项，多套赛题，随机抽取。

四、评判的公正性

评判工作与大赛的公正性直接相关，为了确保职业院校技能大赛的公平公正，大赛执委会出台了许多与裁判和仲裁相关的文件，最新的文件是《2013年全国职业院校技能大赛裁判与仲裁工作规定》[6]，该文件规定了裁判的任务、义务和权利、工作流程、资格认证、工作原则，裁判人员管理等等，非常具体详细。问题是怎样落实和监督裁判工作？例如，文件规定“不安排参赛院校教师担任本赛项的裁判长或副裁判长”、“选用与比赛无利害关系的专业人员作为裁判”、“(裁判)人选具有一定的代表性和广泛性”等等，这些规定是否得到落实，人们不得而知。文件规定“裁判人员名单属保密文件，严禁对外公布”，这一规定也值得商榷，是否可以借鉴韩国技能竞赛的做法，裁判名单“赛前保密，赛后公开”？因为裁判名单不公开，人们就无法监督，因此也无法确保比赛的公平公正。同时，必须建立丰富的裁判专家库，每年随机抽取，保证每年比赛裁判人员都有较大的变化，这是裁判名单赛后公开的前提。

五、校企合作的公正性

《2013年全国职业院校技能大赛企业合作管理办法》[6]确定了大赛合作企业的权利和义务、准入条件，企业合作的实施过程和合作内容，保证了大赛企业合作有章可循，但若要确保大赛企业合作的公平、公正、公开，我们还需要完善大赛企业合作的机制体制。

1.在确定设备供应商时，应考虑该设备类型技术参数的通用性和市场占有率，尤其是职业院校已有设备情况，以避免赛前培训时设备重复购置，减轻学校经济负担。注意，这里强调的是设备技术参数，而不是指某一品牌的市场占有率。

2.各赛项的合作企业应相对稳定。各赛项设备供应商一旦确定，就不要频繁更换，一个合作期可定在三年左右，根据双方意愿，最多可再延长一个合作期，两个合作期之后必须更换合作企业，给其他企业更多的机会。

3.设备供应商不能参与大赛的评判工作。《2013年全国职业院校技能大赛企业合作管理办法》明确规定合作企业“不直接或间接参与赛事结果的评判”，因为设备供应商与参赛院校均有直接的利害关系，那就是参赛院校是否购置了其设备，购置数量的大小。但这一规定落实得并不理想。

4.大赛企业合作的过程和结果均应公开。公开是公平公正的基础，一方面要公开各合作企业的合作内容(经费支持、设备器材支持、技术服务支持等)，另一方面应出台大赛企业合作年度报告并公开，让社会监督合作企业的履约情况。

5.加强调查研究。大赛执委会应成立专门的研究调查机构(可挂靠在职业院校)，对企业合作情况进行调查研究，撰写大赛企业合作年度调查报告，以供社会监督和领导决策。

公平、公正、公开是保证我国职业院校技能大赛良性发展的基石，其重要性不言而喻，必须加强理论探索、制度创新和组织建设，确保职业院校技能大赛程序公正、过程公开、结果公平。

参考文献：

[1]田正平，李江源.教育公平新论[J].清华大学教育研究，2002(1):39-48.

[2]郭元祥.对教育公平问题的理论思考[J].教育研究，2000(3):21-24.

[3]约翰·罗尔斯.正义论[M].何怀宏译.北京:中国社会科学出版社,1988.

[4]教育部关于公布2013年全国职业院校技能大赛获奖名单的通知[EB/OL].http://www.chinaskills.org/news-nr.asp?anclassid=105&nclassid=661&id=2656，2013-9-13.

[5]教育部关于举办2013年全国职业院校技能大赛的通知[EB/OL].http://www.chinaskills.org/news-nr.asp?anclassid=105&nclassid=450&id=2479.2013-5-22.

[6]关于发布《2013年全国职业院校技能大赛规章制度汇编》的通知[EB/OL].http://www.chinaskills.org/news -nr.asp?anclassid =105&nclassid = 450&id=2480.2013-5-22.

责任编辑　韩云鹏

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI: 10. 3969 / j. issn. 1009-9492. 2019. 08. 040

无人机用无刷直流电机矢量控制系统设计*

李　强，张永飞，郑　伟

（天津职业大学机电工程与自动化学院，天津　300410）

摘要：为了消除无刷直流电机的脉动转矩、振动和噪声大等缺点，使其满足无人机系统的需求，设计了一种基于滑模观测器的无刷直流电机矢量控制系统。该系统在使用双闭环矢量控制的情况下，加入了基于滑模观测器的无位置传感器，最后和无人机自驾仪进行连接。通过在无人机上的实际应用，该控制系统消除了无刷直流电机的脉动转矩，所设计的无位置传感器估计误差小、启动速度快、抖动小，适用于多种起飞方式。此外，其恒速运行平稳，加减速过渡平滑，可以满足无人机的高机动飞行要求，适合在无人机上使用。

关键词：无刷直流电机；矢量控制；滑模观测器；无人机

中图分类号：TM351　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1009－9492 (2019) 08－0112－03

Design of Brushless DC Motor Vector Control System for UAV

LI Qiang，ZHANG Yong-fei，ZHENG Wei

（School of Mechatronical Engineering and Automation，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China）

Abstract: In order to eliminate the shortcomings of BLDCM such as ripple torque,vibration and noise，making it meet the requirements of UAV system，a brushless DC motor vector control system based on sliding mode observer was designed. In the case of double closed-loop vector control，a position-free sensor based on sliding mode observer is added to the system. Finally，the system is connected with the UAV self-driving instrument. Through the practical application on UAV，the system eliminates pulsating torque of the brushless DC motor，and the designed without position sensor error is significantly decreased.Its quick start and small jitter characteristics are suitable for various takeoff modes.In addition，BLDCM runs at a constant speed and has a smooth transition between acceleration and deceleration，which can meet the high maneuvering requirements of UAV and suitable for UAV.

Key words: brushless DC motor；vector control；sliding mode observer；UAV

0 引言

无刷直流电机在低速转矩、运行效率、转速精度、调速性能等方面具有无可比拟的优势[1]。此外，无刷直流电机还具有体积小、重量轻、功率大、耐用性强、转矩特性优异等优点[2]，因此在需要具备高敏调速转向特性的无人机上有着广泛的应用。

无人机上的无刷直流电机大部分采用方波控制算法，在该算法控制下，控制系统只需要判断反向电动势是否过零点，若过零点则对控制电路进行“通”、“断”操作，在使用过程中，这种控制策略存在脉动电流峰值大、产生脉动转矩、振动和噪声大、低速和启动性能差等缺点[3]，这些缺点会降低无人机飞行的稳定性、安全性，还可能出现电机原地抖动、发热、无法启动等不正常现象。

无人机在设计时往往对电机的重量、体积、效率、功率、精度、快速性、稳定性等方面提出严格要求，高性能的电机控制系统会对无人机的性能有质的提升[4]。文献[5]提出了一种无人机无刷直流舵机的控制方法，更多地考虑了对舵回路的控制，而没有对作为动力的无刷直流电机进行分析。文献[6]提出了一种四旋翼无人机无刷电机的矢量控制方案，在稳定运行时性能良好，但动态性能一般。对无刷直流电机矢量控制系统的研究中，文献[7]通过对d轴电流的二次谐波进行处理得到转子极性位置。该方法不需进行额外操作并降低了电流采样的要求，但实现复杂。文献[8]通过注入高频旋转电流估计转子位置，此外对供电电流进行检测从而判断转子位置的极性进行角度补偿从而确定转子实际位置，但此方法更适用于凸极式无刷直流电机。文献[9]在注入脉振载波信号估计转子位置的基础上，进一步同时解算响应电流，确定转子位置。此方法加快了检测效率，降低了检测信号延迟带来的误差，但加大了实现的难度。

为此，本文提出了一种基于滑模观测器的无刷直流电机矢量控制方法，该方法可以提高电机的性能，使电机不仅能在全速范围内平稳运行，以零速度产生额定转矩，还具备良好的高速动态性能，做到快速地加减速。从而让无人机能够平稳、高效地完成各种飞行动作。

1 矢量控制策略

无刷直流电机结构上主要由电动机本体、位置传感器（本文用基于滑模观测器的无位置传感器代替）和电子开关模块3部分构成。无刷直流电机定子上绕有互为120°的三相绕组，经由6只MOSFET组成的逆变器供电。安装在转子表面的永磁体建立转子磁动势，而位置传感器通过一定的方法检测转子的位置，得到准确的换相时刻，为电子开关模块线路的切换提供依据。经过计算后，电子开关模块以此来控制三相定子绕组的通电时序。MOSFET采用两

* 天津市企业科技特派员项目资助（编号：18JCTPJC55000）

收稿日期：2019－04－09

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

两导通的方式控制三相定子绕组形成旋转磁动势，从而驱动转子旋转。当MOSFET按次序换相时，则推动转子向前运转。由于三相坐标系的电压方程具有非线性、强耦合等特点，因此在三相坐标系下进行控制性能研究并不可行。

无刷直流电机的矢量控制，即是将普遍采用的三相坐标系（A–B–C）转化为两相静止坐标系（α–β）和两相同步旋转坐标系（d–q）。在无刷直流电机矢量控制过程中将三相坐标系转换到d–q坐标系时，对复杂的非线性、多耦合的变量进行解耦，最终表现为电磁转矩仅与交轴电流i_q有关（控制$i_d=0$）。变换后可大大简化数学模型，方便对无刷直流电机进行磁链和转矩控制。在这种控制策略下，电机的交轴电流全部用于产生电磁转矩，定子产生的旋转磁场与永磁磁场的夹角为$\pi/2$，因此通过控制i_q就可以实现电磁转矩的独立控制。

2 基于滑模观测器的转子转速和位置估计

无人机用无刷直流电机的转子电、磁结构对称，所以其数学模型更加简洁，在此基础上采用基于滑模观测器的转速和位置估计法代替位置传感器，可以在不改变无刷直流电机功率的前提下减小体积并降低成本，很好地契合了无人机的特点，非常适合在无人机上使用。

基于滑模观测器的转速和位置估计基本结构如图1所示，在无刷直流电机的α–β两相静止坐标系下，将定子电压和电流输入滑模观测器得到反电动势，由于采用了饱和函数使得估计得到的反电动势含有高频噪声，为了提取正确的转速和位置信息，添加了一个低通滤波器去除高频噪声，从而得到光滑的反电动势估计值。再通过对反电动势估计值取反正切，得到转子位置，通过添加补偿抵消因低通滤波使位置滞后的因素，对位置进行微分运算即可得到转速估计值，再反馈给矢量控制系统。

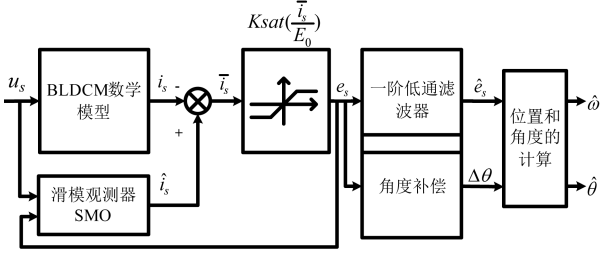


图1　基于滑模观测器的转速和位置估计基本结构框图

3 基于$i_d=0$的矢量控制

基于$i_d=0$矢量控制策略的结构框图如图2所示，系统主要包括：转速和电流调节器模块、逆Park变换模块、Park变换模块、Clark变换模块、SVPWM模块、转子转速和位置检测模块（本文采用基于滑模观测器的估计算法）、三相逆变器和电机本体。$i_d=0$矢量控制执行过程如下。

首先，通过滑模观测器估计电机的转速和位置，将转速ω与给定转速ω^*作差比较后输入速度调节器得到q轴电流参考量i_q^*，角度信息θ则用于Park变换；然后，相电流i_a、i_b、i_c经过Clark变换得到α–β两相静止坐标系电流分量i_α、i_β，再利用角度信息θ经Park变换得到d–q两相同步旋转坐标系电流分量i_d、i_q；接着，i_d、i_q与各自的参考量（$i_d^*=0$）比较作差后输入电流调节器得到d–q两相同步旋转坐标系电压分量u_d、u_q，再经过逆Park变换得到α–β两相静止坐标系电压分量u_α、u_β；最终，SVPWM模块根据u_α、u_β进行空间矢量脉宽调制，生成6路PWM信号输入三相逆变器中，最终实现无刷直流电机按矢量控制运行。

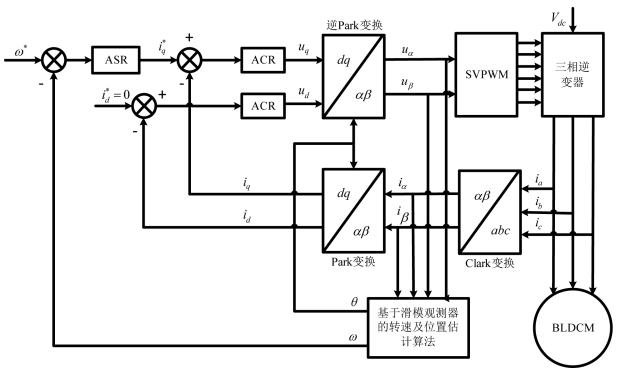


图2　基于$i_d=0$矢量控制策略的结构框图

4 无人机与无刷直流电机的连接

无人机自驾仪主控MCU选用Atmel公司的SAME70Q21，由于SAME70Q21具有极高的性价比、丰富的接口、大容量存储空间以及多元处理能力，成为无人机的主流选择。为了减轻MCU的负担，无人机自驾仪一般不承担无刷直流电机的控制工作，而是只负责输出目标转速，具体控制工作由分系统完成（本文为TMS320F2812组成的控制电路）。

SAME70Q21外部通过I²C扩展了一个16路LED背光调节控制芯片PCA9685，用于输出电机的转速及舵机的位置信息，并在手动模式下接收RC接收机输出的遥控信息。根据控制无人机类型的不同，会有若干路送入无刷直流电机的控制电路。控制电路主控芯片选用的是TI公司的TMS320F2812，它的计算能力强大、运算精度高，适用于电机控制。在以上核心器件的基础上，再加入电源变换模块、驱动及逆变电路、电流采样电路，最终得到的无人机系统电机控制框图如图3所示。

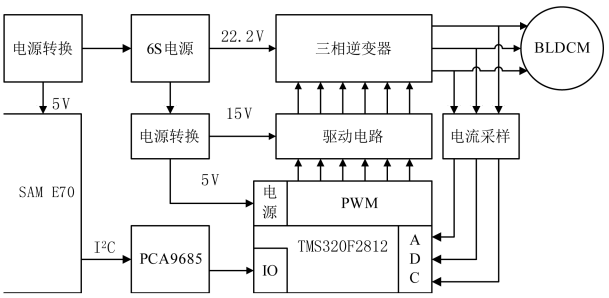


图3　无人机与无刷直流电机连接系统框图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

SAME70Q21接收外部传感器的信息，通过一定的飞控算法（一般为PID控制）计算出当前的飞行姿态，结合飞行指令进行综合处理，将执行机构下一步要进行的动作通过I^2C发送给PCA9685，PCA9685再按照地址分发给不同的执行器。其中有若干路会将转速信息分发给各自的电机控制单元。TMS320F2812接收到到转速信息后，会按照以上分析的控制策略生成6路PWM信号控制6只MOSFET的通断，通过三相逆变器实现相应电流的输出。同时，电流采样模块将实时监测的电流信号通过ADC返回给TMS320F2812，后者对无刷直流电机的实际转速和转子位置进行估计，经过转速及电流反馈形成双闭环调速，实现对转速的动态调整。

经验证，在使用本文设计的无刷直流电机矢量控制系统后，电机的振动显著减小甚至消失，启动时速度快、抖动小，恒速时运行平稳、抗干扰能力强，加减速过渡平滑、快速，无刷直流电机经过矢量控制后，其性能稳定、优良，满足了无人机的诸多需求，非常适合在无人机上使用。

5 结论

为了提高无人机的性能，针对无刷直流电机采用方波控制算法存在脉动转矩等缺点，本文提出了一种加入滑模观测器的矢量控制策略，在此基础上对整个无人机电机控制系统进行了设计。该设计能够有效减小无刷直流电机的脉动转矩，提高抗干扰能力，实现无人机的平稳飞行。与此同时，采用无位置传感器代替传统的霍尔位置传感器，有效降低了电机体积和重量，大大提高了无人机飞行的可靠性及带载荷能力。另外，本文设计的无人机用无刷直流电机控制系统虽然解决了脉动转矩等缺点，但在启动及快速加减速方面还存在上升空间，也是今后研究的一个重点。

参考文献：

[1] 钱平.交直流传动控制系统［M］.北京：高等教育出版社，2015.

[2] 刘兴艳，上官璇峰，董洋洋，等.基于P-模糊自适应PID控制的无刷直流电动机调速系统［J］.工矿自动化，2010，36（07）：45-49.

[3] 李同豪，王友仁，吴勇，等.无刷直流电机无位置传感器矢量控制系统［J］.微电机，2016，49（10）：20-24.

[4] 何建霖，李则辰.多旋翼无人机直流电机驱动系统优化［J］.电子世界，2018（06）：166-167.

[5] 魏林，陈欣，吕迅竑.无人机无刷直流数字式舵机控制器设计［J］.微电机，2008（05）：46-48.

[6] 蔡刚.基于FOC的四旋翼无人机电机驱动系统设计与实现［D］.西安：长安大学，2016.

[7] Bing Liu，Bo Zhou，Jiadan Wei，etal.A rotor initial position estimation method for sensorless control of SPMSM. Industrial Electronics Society.Industrial Electronics Society，Dallas，TX，2014：354-359.

[8] Seilmeier M ， Piepenbreier B . Initial start-up and magnet polarity estimation method for HF test current injection based sensorless control of PMSM ［C］// Power Electronics & Motion Control Conference & Exposition. IEEE，2014.

[9] Tang Q ， Shen A ， Luo X . Pulsating signal injection-based sensorless initial rotor position detection of PMSM using three symmetrical injection axes ［C］// IEEE International Symposium on Industrial Electronics. IEEE，2014.

第一作者简介：李　强，男，1990年生，硕士，助教。研究领域：嵌入式技术和飞行控制理论，已发表论文4篇。

(编辑:麦丽菊)

（上接第84页）

5结束语

对系统中使用的截割变频调速系统EBZ260变频掘进机进行工业试验后，可以得出该设备具有较强的截割能力以及截割效率，同时设备工作过程中的振动以及截齿消耗较小，设备工作能耗也相对较小等优势。然而在实际的运行过程中依然存在稳定性方面的问题，这些问题的改进需要进行后期的研究才能实现产品的改进。

参考文献：

[1] 王旭启，杜振华.基于模糊算法的掘进机截割机构变频控制策略研究［J］.现代电子技术，2017（11）：31-33.

[2] 聂倩.煤矿变频调速控制系统中PLC技术的应用研究［J］.山东工业技术，2016（17）：20-22.

[3] 王慧，张笑，赵迪.基于PLC的掘进机恒功率变频调速系统仿真分析［J］.电子测量与仪器学报，2013（10）：71-73.

[4] 赵丽娟，范佳艺.基于遗传算法的掘进机截割头多目标优化设计［J］.机械强度，2018（06）：50-52.

[5] 蔡文安，杨兆建，王义亮.截割头运动参数对掘进机截割性能影响的试验研究［J］.矿业研究与开发，2017（08）：66-68.

[6] 刘亚南，刘阳.掘进机截割头结构的改进设计分析［J］.现代工业经济和信息化，2017（13）：49-51.

[7] 白宇.基于截割力与截割功率计算对掘进机截齿工作的研究［J］.当代化工研究，2019（01）：80-82.

[8] 魏斌.刍议硬岩掘进机的截割机理及截齿力学特性［J］.山东工业技术，2018（21）：60-62.

作者简介：崔治国，男，1975年生，山西高平人，大学本科，助理工程师。研究领域：矿井通风与安全工程。

(编辑:阮　毅)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

县域中职热何以可能

——基于青县中等职业教育高质量发展的案例研究

周晶晶,邹吉权,古光甫

[摘　要] 中等职业教育是构建现代职业教育体系的基础,我国接近一半的中职学校分布在县域,县域中职具有更严峻的发展环境和更迫切的发展需求。以高质量发展的县域中等职业教育为研究对象,分析其行动者网络的构建过程及建设机制,探索其高质量发展的内在逻辑,可为我国县域职业教育改革发展提供决策参考。县域教育主管部门应在网络构建中起主导作用,通过问题呈现、利益赋予、征召与动员、异议等环节,将职业学校、企业等其他行动者纳入行动网络中。其"领导力"是职业教育改革与发展的关键,多元行动者参与职业教育的"程度"是职业教育发展的基础,良好的发展环境是县域职业教育崛起的先决条件。据此,县域中等职业教育应坚持高位谋划、政府统筹协调、产教深度融合、强化服务功能、用好"政策智囊"和"人才智库"的行动策略。

[关键词] 县域;中等职业教育;职教中心;高质量发展

[基金项目] 2023年度天津市教委科研计划项目"政策冲击视角下京津冀职业教育协同发展实证研究"(项目编号:2023SK164,主持人:周晶晶)

[作者简介] 周晶晶,硕士,天津职业大学职业教育研究所,助理研究员;邹吉权,博士,天津职业大学职业教育研究所所长,教授;古光甫,硕士,天津职业大学职业教育研究所副所长,副研究员。

中图分类号:G710　文献标识码:A　文章编号:1004-9290(2024)0025-0073-09

一、问题的提出

职业教育与经济社会发展紧密相连,对促进就业创业、助力经济社会发展、增进人民福祉具有重要意义。近年来,国家相继出台《国家职业教育改革实施方案》《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》等一系列文件,强调夯实"中等职业教育基础作用"。构建现代职业教育体系的基础在中职,而我国接近一半的中职学校分布在县域。

县域是我国基本的资源分配框架和政体基础,是密切城乡连接、实现城乡共荣的关键环节。据统计,全国的2 844个县制单位(县市区)涵盖了全国93%的国土面积;按户籍人口来算,县域容纳了8.91亿人口,占全国总人口的63%。[1]县域教育既有地市、省城等高阶城区教育的一般特点和功能,又承担着县域社会教育期待和教育出口的功能,有其自身的独特性和特殊功能。[2]相比较地市、省城的产业,县域产业仍处在转型升级进程中,对中低端劳动力需求更大,需要一定规模的中等职业教育为基础以形成合理的劳动力结构。[3]因此,发展好县域中等职业教育事关现代职业教育高质量发展,事关县域经济高质量发展,事关人民群众对优质均衡教育的美好期盼。县域中职经历了20世纪90年代的辉煌、21世纪高等教育扩招后的衰落、新时代办学定位的迷茫与质疑,使其在很长一段时期内处于"地位不高、规模偏小、办学条

中国知网 https://www.cnki.net

件较差”的状态。与此同时，省级和市级学校凭借其位于市级以上城市的区位优势，相较于县级往往拥有更优质的师资、生源和基础条件，这也加剧了县域优质生源逃离、优质师资匮乏的现状。

伴随着人口的变动趋势和县域产业向高端提升，招生难度增加、就业机会减少、办学条件落后等现实问题将愈发凸显；相反，伴随着中职学校“撤改并”政策的不断推出，县域中职极大程度上避免了竞争性教育资源、人才资源掠夺，并在政策红利下与其他职业教育主体开展非竞争性资源的合作开发。2024年3月，江西省教育厅在省属职业学校技工院校资源优化整合工作答记者问中提出，“省级原则上不再举办中等职业学校。”省级中职学校的“撤改并”江西省并非唯一。同期，云南省综合考虑人口变化趋势、区域产业发展需要以及区域职业教育资源布局，决定全面优化整合其州市职业教育资源，云南省人民政府办公厅印发的《云南省职业教育提质效实施方案》指出，“推动省属中职学校优化整合，省级不再举办中职学校。”2024年1月，浙江省委办公厅和浙江省人民政府办公厅印发的《关于加快构建现代职业教育体系的实施意见》提出，将“优化中职学校办学定位和功能”，并定位于“提升县域职业教育发展能级”。由此可见，由地方举办中职学校、中职学校布局下沉至县域，俨然成为中职发展的新风口。在这样的机遇与挑战下，加快破解县域中职发展困境是目前现代职业教育体系改革和深化县域城乡融合发展亟待解决的重要议题。

在学理上，中等职业教育办学问题正面临从外部竞争到学理质疑的转折，在理念层面对中等职业教育的必要性进行否定，比招生困难、生源质量不高等因素对中等职业教育办学带来的影响更为深远。[4]一方面，技能人才的政治地位、经济地位、社会地位处于较低水平；[5]另一方面，高考录取率不断攀升，相较之下，中职生接受高等教育的比例和类型劣于普高生，使得中职教育的预期终身受益低于普通高中教育，进而出现中职教育“政府热”与“民间冷”并存的中职教育“需求鸿沟”。[6]在实践上，我国一些县域中职应对当前的发展困境已经积极行动，并衍生出不同的行为策略。一是聚焦职业基础教育功能，将升学作为中职生的主要“出口”。以上海为例，2023年中职毕业去向落实学生中，升学占比达78.68%，升学渠道以职教高考（43.87%）和贯通培养升学（30.23%）为主。[7]福建省2023年中等职业学校学生升学率更是达到了80.34%。[8]学界普遍认为，我国中等职业教育已经从单纯“以就业为导向”转变为“就业与升学并重”。[9]二是丰富人才培养模式促“入口”。大部分中职学校与高水平高职院校开展“3+2”贯通培养、五年一贯制培养等，并以此作为招生宣传的“王牌”。河北省在此基础上，创新实施“中职2年+企业2年+高职2年”贯通培养试点项目，备受考生青睐。云南省更是在《云南省职业教育提质效实施方案》中指出，到2026年，实现中高职“3+2”贯通培养在中职学校全覆盖。三是延伸教育功能，强化社会服务能力。不少中职学校探索将服务对象拓展到农民、务工人员和县城居民等，通过校地合作开展职业教育和培训服务；通过校社合作培养新型职业农民、致富带头人等；通过校村合作送教下乡、送课入户等。[10]

我国县域中等职业教育具有较强的在地性以及复杂的生态和脉络，综观学界的讨论和中职学校自主探索的实践经验，单纯依靠某单一主体（中职学校、县政府等）或单一策略（吸引优质生源、拓宽学生成长通道、加强院校内涵建设、提升服务县域经济发展能力等）为依托的发展模式并不能切实提升县域中等职业教育的质量、适应性和吸引力。因此，需要从根本上探讨实现县域中等职业教育再次崛起的可能性问题，县域中职发展应该由谁来主导？如何使不同利益诉求的主体产生共同行动？如何破解多元主体之间的价值冲突？可持续、高质量发展的县域中职教育网络如何建构？鉴于此，基于行动者网络理论，拟选取青县作为分析案例，通过广泛调查和深入分析，剖析青县中等职业教育高质量发展的机理，进一步拓展县域中职创新发展的构建策略，以期为我国县域中等职业

中国知网 https://www.cnki.net

教育转型发展提供经验参考。

二、研究案例概况

青县位于河北省沧州市，地处京津冀协同发展的重要位置，全县常住人口约42万人。随着京津冀协同发展、雄安新区规划建设等重大战略叠加的政策红利效应不断放大，其产业不断转型升级，全县高新技术企业达到46家，科技型中小企业达到1 069家，形成了以电子机箱、石油管道装备、高端食品、化妆用具等为主导产业，以新能源业、高端智能装备业以及信息技术装备制造业为新兴产业的“4+3”现代产业体系，是河北省食品产业强县、河北省农业特色产业发展先进县。青县职业技术教育中心（以下简称“青县职教中心”）是沧州市人民政府批准建立的一所公办中等职业学校，始建于1989年，是国家级重点职业学校、全国职业教育先进单位、全国中等职业教育改革与发展示范学校、河北省质量提升工程精品学校（沧州市唯一一所）。作为青县技术技能人才培养的核心主体，青县职教中心拥有信息技术、机电、涉农、汽修、现代服务等五个专业群，围绕青县支柱产业和新兴产业发展需要，不断调整专业结构和人才培养方案，被青县授予“支持经济发展先进单位”。

研究选择青县职业教育作为县域中职转型发展的研究对象基于以下两点考虑：一是案例具有中职教育改革发展代表性。沧州市共有教育系统管理的中职学校31所，其中县域中职19所。与普遍情况下市域中职资源更优不同，青县职教中心是沧州市办学条件、办学水平、财政投入等最高的中职学校。青县职教中心在近几年的教学改革中，不断探索“因材施教”分类培养模式，在学生升学和就业两大方向精准施策，既满足学生发展需求，又为青县经济发展稳定输送优质技术技能人才，在服务区域经济发展和学生的全面发展方面成效显著。近五年，青县本土企业求人倍率均超过100%，而青县职教中心学生就业去向虽以升学为主，近75%，但其直接就业率长期保持在25%左右，在全国中职学校中处于较高水平，学生平均月薪约3 500元，其中，电子机箱产业等企业就业需求更高，月薪可达7 000元以上，远超沧州市中职学生平均月收入（2023年毕业半年后平均月收入2 960元）。可见，青县职教中心在高质量发展方面取得了较好的成效，具有较强的典型性。二是案例资料的可获取性。笔者所在团队受青县职教中心委托，为其研制高质量发展三年行动计划，从青县教育局获得了诸多相关资料，从青县职教中心获得了诸多衡量学校发展的相关指标数据，确保资料的准确与可获取性。

三、理论与研究方法

（一）行动者网络理论及其适用性

行动者网络理论（Actor Network Theory，简称ANT）是当代社会技术科学领域中的新哲学体系架构，由法国社会学家拉图尔（Latour，B.）等人在“技术的社会建构论”思想上建构的一种既能够让技术发挥其功效，又可以照顾到其他参与主体热情，同时还能很好地与刚性的制度结构相互调适的一种解释框架。[11]行动者网络理论聚焦于多元关系主体的构成与互动，被广泛应用于社会学、组织和管理学、技术学等社会科学的诸多领域，[12]我国学者已尝试将该理论引入教育研究、政策执行等领域。行动者网络理论主要由“行动者”“转译”和“网络”等核心概念组成，行动者包括人类行动者和技术、观念、物体等非人类行动者，在行动者构建的网络中，包括核心行动者和其他行动者，核心行动者在网络构建中起主导作用，[13]异质性是行动者最基本的特性，它代表不同的行动者在利益取向、行为方式等方面的诉求；网络是行动者通过转译联结起来的具有特定功能的聚合体并具有特定的功能，是动态变化而富有政治色彩的过程；转译是行动者网络的核心环节，是在行动者之间、行动者和场所之间进行谈判、动员、代表和置换的过程。[14]通过转译，核心行动者将各异质行动者的利益得以协调进而达成共识，建立网络。本质上，转译就是联系，是普遍联系的内在机制。[15]转译环节包括四个阶段：问题呈现、利益赋予、征召与动员，[16]四个阶段只是概念性步骤，并不是按时间顺序列出的，它们可以以重叠的方式进行，[17]任何一个环节不畅通都有可能阻碍

中国知网 https://www.cnki.net

行动者网络的联结，而核心行动者的身份、影响力、意愿、利益诉求等都会影响转译的效果。[18]各行动者之间存在的矛盾与歧义可通过强制通行点（OPP）达成共识，行动者网络建构的过程[19]如图1所示。作为一种分析工具，一方面，行动者网络理论将科技、环境、制度等非人类因素纳入社会分析中，即重视人与物、人与其所处环境的交互作用；另一方面，行动者网络理论更加关注转译过程中异质行动者之间的利益博弈与行动协作，即着重观察网络的产生过程，更适用于中微观范畴的研究，可以有效揭示网络构建的动因和机理。县域中职转型发展的合作网络构建中，不仅包括县教育主管部门、学校、教师、企业、学生等多主体，县域产业的发展环境、职业教育发展的相关政策和制度、学校的治理体系等非人类行动者在网络中同样重要。县域中职的发展需要整合不同主体之间的利益与资源，构建协同共进、融合发展的合作网络。因此，行动者网络理论为县域中职转型发展研究提供了新的视角。

（二）研究方法

本文以青县职业教育为典型案例，综合采用实地调研、结构访谈、政策文本分析、数据分析和网络文本分析等方法，对各异质行动者开展研究和分析。

首先，项目组与青县县委县政府相关领导、青县教育局主管领导等进行座谈，并赴青县职教中心开展实地调研，与青县职教中心和幼儿师范联合党委书记，青县职教中心校长、副校长，以及教务、招生就业、校企合作部门负责人及专业教师进行交流，探讨学校发展的现状、成果及问题，获取了省、市、县三级职业教育相关政策文件、学校基础条件、规划文本、中等职业教育质量年报等基础资料，包括青县人口、产业、“十四五”规划等文件资料，并对青县人力资源现状、产业发展现状和职业教育发展现状进行整理分析。

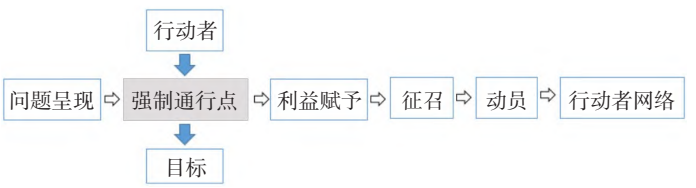


图1　行动者网络建构过程

2023年11月23—24日，项目组围绕青县电子机箱、石油管道和高端食品等特色产业发展现状，对相关龙头企业负责人、人力资源经理以及企业实践负责人等进行结构访谈。访谈内容涵盖企业发展情况、企业人力资源结构、未来企业发展方向、校企合作情况、青县职教中心毕业生反馈及社会需求等。

此后，项目组在天津市第一商业学校、天津市机电工业学校等典型中职学校进行调研，调研内容主要围绕学校育人模式、养成教育、特色专业建设、校企合作、实训基地建设、招生就业情况、贯通培养等，与学校副校长、教务、招生就业、校企合作等部门负责人进行座谈，并与青县职教中心相关内容进行对比分析，比较研究县域与市域中职的发展模式、机遇与挑战、建设经验等。

四、青县职业教育行动者网络解析

与笔者的最初认知不同，青县职业教育高质量发展行动者网络构建中，青县教育局是核心人类行动者，而非青县职教中心。青县教育局具有较强的引导作用，为各异质行动者参与网络构建搭建平台，对其他行动者进行转译，赋予利益，形成稳固的行动者网络。青县职教中心是主要行动者，是县域技能人才的主要来源，在青县教育局的指导下，主动协同企业、教师、学生、村民等多个行动者解决问题，推动行动者网络动态发展。教师、本土企业、企业职工、村民和学生等是共同人类行动者，受到职业教育政策、企业增效及人民增收等征召，被赋予相应权益，加入县域中等职业教育高质量发展行动者网络，参与具体事务。此外，青县产业转型升级程度、职业教育发展政策，职教中心办学条件、数字技术、课程体系等非人类行动者也参与到网络构建过程中，并发挥不同作用。

（一）问题呈现

问题呈现是行动者网络创建的首要环节。[20]在该阶段，核心行动者首先要明确自

中国知网 https://www.cnki.net

身现状与发展目标之间的差距，即问题，并关注其他行动者的利益诉求和存在问题，提出能够解决各异质行动者问题的有效措施，即强制通行点（OPP），以达成所有行动者各自的目标并实现共同利益。

在青县职业教育高质量发展网络构建初期，各异质行动者面临不同的困境。该阶段，作为核心行动者的青县教育局，存在职业教育服务经济社会发展的能力不强的问题，主要表现为县域本土企业转型升级对技能人才结构和数量的需求与中职升学导向不断强化的培养错位的矛盾。青县职教中心作为青县技能人才供给的主要来源，在招生数量不断增加的现状下，办学空间严重不足，教师缺口大，尤其是实训指导教师严重缺乏。亟须提升现有办学条件，提高企业参与职业教育的积极性，且存在部分专业建设与产业实际需求脱节等问题。青县企业与城市中的企业发展阶段不同，大部分还未完成转型升级，该阶段对中级技能人才需求不断提升，存在招工难以及现有职工的技能水平较低的问题。如，电子机箱产业近年来不断推进“装芯进电”，由原来的“空壳”向数控化、智能化等高科技整机产品拓展，企业对职工的技能需求不断提升。在走访的企业中，他们大部分将研发环节放在与高水平大学的合作、企业研究中心等，而将生产和检测环节放在青县，因此对高层次人才需求并不高，反而迫切需要具备电气、机械等相关知识的中级技能人才，以满足电焊、数控、组装等各项工作需求。同样，调研的电器企业在产业升级的带动下，原来由外来务工人员、农民工等从事的低技能、重复性操作岗位已经被机器人替代，而懂电器原理、电器设备维修与维护的中级技能人才短缺问题已经严重掣肘企业发展。青县职教中心大部分教师是由原初中教师转行而来，这部分教师主要承担“普教化”的文化课课程，使得这部分教师参与专业课程资源建设、职业院校教师能力比赛等重点项目的机会不多，取得的业绩成果也因此受限，进而影响职称晋升、待遇提升等。对于学生而言，明显分化为两类，一类是憧憬继续深造，希望通过中职的三年学习，能够考取普通本科学校或高水平高职院校；另一类是所谓的“兜底”式学生，对学习明显没有“兴趣”和期待，希望毕业后可以找到一个稳定的工作。企业职工受到企业设备的更新换代以及技术升级的加速，失业风险不断增加，迫切需要提升自身技能水平。作为河北省农业特色产业发展先进县的青县，其所辖的曹寺乡、司马庄村等不断探索现代农业发展新路径，当地村民在智慧农业、休闲农业等建设中均呈现出对新技术、新设备、新工艺等的技术服务与培训需求。青县教育局作为核心行动者，提出通过青县职业教育高质量发展作为强制通行点（图2），在满足所有行动者自身需求的基础上，推动职业教育改革与发展。

（二）利益赋予

核心行动者通过相关利益呈现，使各异质行动者相信加入网络并通过强制通行点，自身的需求就可以得到满足，促使问题分解，进而达成自身目标。网络中各异质行动者的问题和利益诉求不尽相同，统筹各异质行动者的不同利益诉求是核心行动者必须解决的关键一环。通过职业教育高质量发展，健全多元参与的办学格局，实现产教高度融合。一方面，可以为区域经济社会发展持续不断的输送与“产业强县”建设相适应的技术技能人才；另一方面，通过组建高水平技术服务团队，服务企业产品升级和技术革新，服务技能乡村建设。

青县职教中心作为县域内唯一一所中职学校，得到县委县政府在用地、教师引进等各项政策的大力支持，如，面对办学空间不足的困难，通过划拨、盘活教育闲置资源等方式，使其在建设期内占地面积和建筑面积达到河北省精品校标准；在县委书记的部署下，委派副县长、教育局局长等带领职教中心领导班子赴河北省职业技术教育研究所、天津职业大学等高水平智库单位，充分利用外脑，为青县职教中心研制发展规划，并积极争取沧州市教育局在相关项目中给予政策支持，推进青县职教中心办学能力提升。企业通过积极参与职业教育，通过共建产业学院、职教集团等，开展订单培养，提高企业

中国知网 https://www.cnki.net

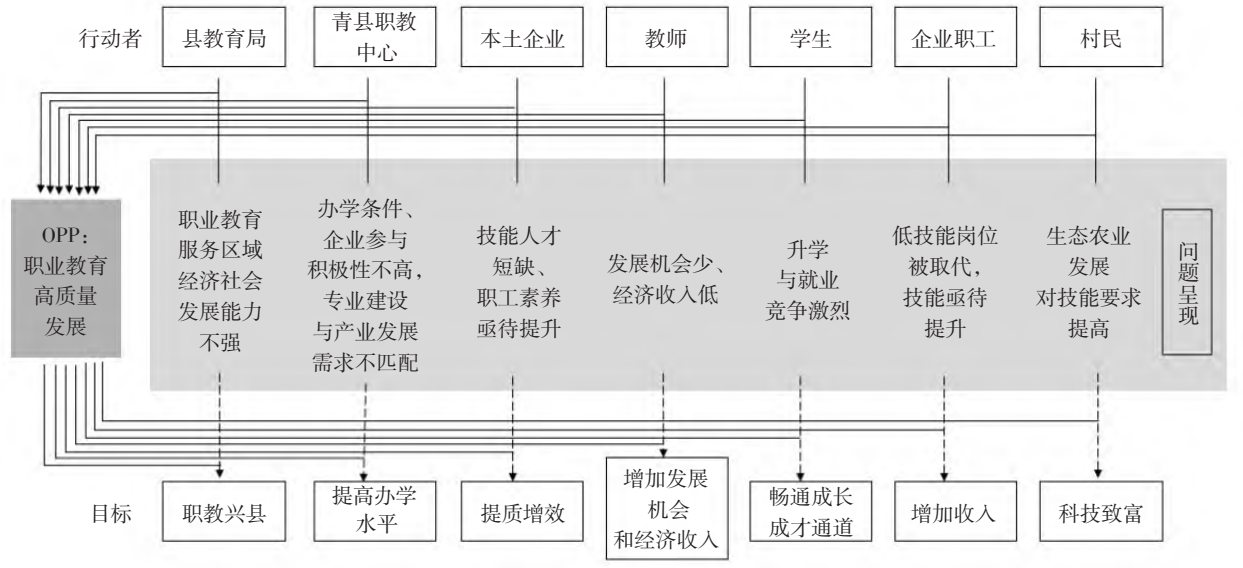


图2　青县中等职业教育高质量发展行动者网络与强制通行点

人力资源储备，助推企业构建内部技能生态，并提升企业的知名度和美誉度，增强企业核心竞争力。教师依托政府、学校和企业对职业教育高质量发展的支持，增加参与“国培”“省培”、研究生学历提升项目和企业实践等机会，提高自身专业教学和服务能力。学生通过职业教育高质量发展，一方面，受益于青县职教中心搭建的多样化人才培养体系；另一方面，受益于校企深度合作的技术培养和岗位提供，促进学生多样成才。企业职工通过青县职教中心与企业或产业村共建的委托培训项目，提升自身技能水平，实现增收。村民则依托青县职教中心组建的科技服务团队、“一村一大户”农机定向生培养项目、数字素养培训、农业生产技术培训等，提升自身与生态农村建设相适应的素质与技能。

（三）征召与动员

征召与动员是核心行动者利用“强制通行点”这一关键策略，有效地整合所有行动者，通过制定系列实施措施和激励机制，赋予行动者相应的利益，提升他们的参与热情和主动性，确保各自履行职责，共同完成目标并形成稳定的利益联盟。

青县教育局作为核心行动者，通过行政征召、市场征召、组织征召等方式，对青县职教中心、青县本土企业等所有行动者进行征召。一是进行行政征召。青县教育局向青县人民政府申报职业教育高质量发展项目，使县委县政府成为政策支持者，由县委书记亲自挂帅，在硬件提升方面，规划青县职教中心改扩建项目；在内涵建设方面，制定青县职教中心高质量发展三年行动规划，统筹县委办、政府办、财政局、发改局、资规局、审批局、创城办、教育局、农业农村局等协同推进项目落地。二是进行市场征召。青县教育局吸纳市场企业参与青县中等职业教育高质量发展合作网络，通过组建“共同体”“产业协会”等方式，征召电子机箱、石油管道等行业龙头企业与青县职教中心开展全方位合作，培育和助推企业纳入产教融合型企业名录，享受“金融+财政+土地+信用”组合式激励政策支持。三是进行政策征召。一方面，青县教育局积极争取县委、县政府在专项经费、师资队伍建设、校企合作等方面给予政策支持，划拨土地进行青县职教中心改扩建，新建职业培训学校；设立专项经费改善职业院校实习实训条件、建设实训基地等，建立职业院校机构编制、人才引育、教师待遇等方面绿色通道。另一方面，青县教育局积极争取沧州市教育局在中高职贯通培养项目、师资培训项目、技能竞赛项目等方面予以政策倾斜。负责教务的老师在访谈中指出，“学生通过对口高考，可以考入十几所河北省的

中国知网　https://www.cnki.net

普通高校。在河北省高考的激烈竞争下，从中职考入河北师范大学似乎比从普通高中参加高考竞争更小一些，这也是吸引学生就读中职的重要因素之一。”四是进行项目征召。通过支持青县职教中心建设电子机箱研发中试中心、农产品检验检测中心以及大运河文化研究展示中心等，面向社会开展成果转化、职工培训、惠农检验检测与科普教育等。在助力乡村振兴项目中，有效提升青县职教中心在村民中的声望和美誉度，这些村民有一部分即为潜在的“准学生家长”。在这一阶段，各个行动者成为青县中等职业教育高质量发展网络中的一员，遵循青县教育局既定的方案进行分工协作。

（四）异议处理

由于行动者的异质性这一特性，使得网络在运行过程中各行动者往往会由于不同资源和利益诉求而产生一些问题和冲突。因此，处理异议是协调各方利益、维持网络良性运行的重要保障。

在青县中等职业教育高质量发展网络运行中需要处理的异议主要包括：职业教育供给与企业需求的不完全匹配；专业设置、人才培养结构与县域重点产业发展不衔接；学生升学需求的提高，使企业难以获得大量人力资源，因此参与职业教育积极性不高；服务学生可持续发展和多样化成才的路径尚不明朗，人才培养的特色不够鲜明等。在青县教育局的动员下，县委县政府拟扩大县域职业教育规模，除改扩建现有职教中心外，拟新建职业学校或引入外省优质中职学校设立分校，以此扩大技能人才培养规模；青县职教中心在青县教育局的征召下，组织教师开展企业调研，对现有专业进行评估，根据产业发展需求，动态调整专业设置，进行针对性的职业教育供给侧改革，切实满足企业的用工需求；组建项目团队，聘请职业教育专家对青县职教中心现有人才培养体系进行梳理和优化，充分依托河北省完善的现代职业教育体系，探索各类贯通培养模式，构建基于学生需求的分类培养体系。在此过程中，不断推进各异质行动者间的沟通和协作，进而形成稳定的利益联盟排除异议。

五、结论与启示

（一）研究结论

本文引入行动者网络理论对青县职业教育的高质量发展进行分析，研究发现：

第一，职业教育高质量发展是实现县域多元主体多样化利益诉求的有效通行点，青县教育局作为核心行动者，通过问题呈现、利益赋予、征召与动员、异议等环节，将其他行动者吸纳入行动网络中，使得发展职业教育急需的土地、资金、人力等要素得以充分整合。

第二，核心行动者的“领导力”是职业教育改革与发展的关键。肯·斯普尔思（Ken Spuers）教授在技能生态系统模型（VET）建构中提出了“生态系统领导力”这一概念，指出领导力应该包括三种核心能力，即“看到更大系统的能力”“培养反思和更具创造性的对话”“将集体的焦点从被动地解决问题转移到共同创造未来上”。[21]青县教育局作为核心行动者，将上述三种能力充分展现出来，坚持“跳出教育看教育”，从对产业转型升级的功能角度重构县域职业教育的地位，在县委县政府层面、沧州市职业教育整体部署层面科学谋划职业教育发展路径。在对其他行动者的征召与动员过程中，依托教育局与县政府其他部门之间的协调、对直属职业院校的组织征召以及对县域企业的市场征召等，使各行动者积极参与到合作网络中。

第三，多元行动者参与职业教育的“程度”是职业教育发展的基础。这一“程度”不仅关乎各主体参与的数量，更在于其参与的质量、积极性以及相互间的协同作用。职业学校作为主要行动者，应在核心行动者的征召下，主动作为，积极构建与行业需求紧密对接的课程体系，革新教学理念，引入先进的教学方法和实训设备，确保教学内容的前沿性和实用性。加强与企业的合作，为学生提供更多的实践机会，为企业员工提供更多优质社会培训课程等。同时，学校应强化服务意识，扮演好县域职业学校在乡村振兴中的重要角色。此外，学校还应重视师资队伍的建设，鼓励和支持教师参与行业实践，提

中国知网 https://www.cnki.net

升教学能力。

第四，良好的发展环境是县域职业教育崛起的先决条件。在京津冀协同发展、雄安新区建设等多重战略叠加的政策红利下，青县在抢抓国家重大战略机遇过程中积累的特色产业发展优势、文化优势、政策优势等为青县中等职业教育改革与发展营造了良好的环境。一是青县形成了“中国蔬菜之乡”“中国红木家具之乡”“中国化妆刷之乡”“中国电子机箱制造基地”“河北省食品产业强县”五张名片，产业的迅速发展，使得企业对一线生产的专业技术人才需求缺口巨大，为了育才、引才、留才，技能人才待遇与河北省其他市县相比，存在一定优势，无形间提升了本土技能人才的社会地位；二是河北省在推进现代职教体系建设改革中，建立了完备的横向融通、纵向贯通体系，在职教高考、对口高考、贯通培养等方面形成了较为成熟的模式，中职学生通过对口高考可以考取普通高校，通过对口高考可以升入职业本科院校、高职院校等，搭建了多形式衔接、多通道成长的路径，规范指导中职与高职、职业本科和企业联合开展“3+2”“3+4”“5年一贯制”“2+2+2”等贯通培养模式，极大提升了中等职业教育的吸引力和适应性。

（二）启示

基于本文的研究结论，得出如下启示：

第一，坚持高位谋划。县委县政府要将职业教育摆在经济社会发展和教育改革的突出位置，加大对职业院校的政策及经费支持力度。

第二，坚持政府统筹协调。推进职业教育高质量发展，需要发挥县域教育主管部门的统筹作用，上接市级教育主管部门和县委县政府谋发展，下沉县域职业院校、企业、教师等抓落实；巩固中等职业教育的基础地位，综合考量人口、产业、教育状况，科学设置中等职业学校办学规模，优化职业教育资源布局；完善政校企行共同参与、协商共治的机制，优化职业教育发展保障。

第三，坚持产教深度融合。充分发挥企业在技术技能人才培养和人力资源开发中的重要主体作用，促进产教要素有效集聚和整合，主动对接县域重点产业和特色产业，开展精准人才培养，推广现代学徒制、新型学徒制、工学结合等模式，鼓励企业与职业学校共建产教融合实训基地，探索建立县域产教联合体、行业协会等“政行校企”合作的新模式。

第四，强化服务功能。一是服务学生的全面发展和多样化成长需求，建立“面向行业企业开展订单培养，面向高等职业学校开展定制培养，面向普通高校开展定向培养”的分类培养体系，让学生就业有能力、升学有优势、发展有通道。订单培养聚焦就业，深化校企合作，共同制定培养方案、共同开发课程、共同实施教学等；定制培养和定向培养均聚焦升学，定制培养强调与职业本科、高职专科建立全方位衔接的培养体系，定向培养则强调拔尖人才选拔，实施专业基础理论、专业知识和专业操作技能全方位培养，为普通高校输送具有合格文化基础和扎实技术技能基础的生源。二是服务县域经济发展，瞄准县域特色产业，建设集科研、孵化与培训于一体的研发中心，聚焦工艺创新、研发成果转移转化，开展工艺验证、技术推广等，面向企业职工开展技术培训，助力产业转型升级，同时依托研发中心，为散户、小微企业提供加工制造、技术协作等服务；瞄准乡村振兴对电子商务、生态农业等建设需求，组建服务团队，将课堂开在田间、技术送到农家。

第五，用好“政策智囊”和“人才智库”。充分发挥省级职业教育研究所、高水平高职院校等在职业教育政策解读、建设经验等方面的优势，借助“外力”、启用“外脑”对县域中职教育内涵建设精准“问诊”、有效“开方”。

参考文献：

[1]王春光.地方性与县域现代化实践——基于对太仓与晋江持续近三十年的调查[J].社会学研究，2023，38(3)：1-22+226.

[2]杨华.县域教育的兜底功能：社会基础与实现路径[J].南通大学学报(社会科学版)，2024，40(3)：125-136+160.

[3]刘晓.技能型社会构建与中等职业教育的发展定位——再论新时期中等职业教育要不要发展？如何发展？[J].中国职业技术教育，2022(4)：12-19.

[4]徐国庆.中等职业教育的基础性转向：类型教育的视角[J].

中国知网 https://www.cnki.net

教育研究,2021,42(4):118-127.

[5]李春玲.中国社会分层与流动研究70年[J].社会学研究,2019,34(6):27-40+243.

[6]吴克明,胡月,阮艺华.中职教育“需求鸿沟”困境研究:理性人假设的视角[J].职业技术教育,2024,45(16):51-58.

[7]上海教育.上海中等职业教育质量报告(2023年度)[EB/OL].(2024-02-29)[2024-06-18].https://edu.sh.gov.cn/xxgk2_zdgz_zyjy_01/20240229/26b186feeb8a4789964ee0808ece6c18.html.

[8]福建省中等职业教育质量年报(2023)[EB/OL].(2024-03-01)[2024-06-18].http://jyt.fujian.gov.cn/xxgk/jhzj/202404/W020240402350792918427.pdf.

[9]李娟.困局·布局·破局:中职生升学问题刍议[J].职业技术教育,2024,45(12):38-44.

[10]职教校长说丨于东泽:为县域职业教育服务乡村振兴贡献“甘南方案”[EB/OL].(2023-03-10)[2024-06-20].https://www.sohu.com/a/652160679_362042.

[11]周文伟,卓泽林.迈向行动者网络:中小学在线教学模式的重构[J].全球教育展望,2024,53(5):104-117.

[12]沈培,李建清.行动者网络理论的研究热点和前沿趋势[J].自然辩证法通讯,2021,43(11):117-126.

[13]周孟杰,卢金婷,张晔.动员与共栖:行动者网络理论下反贫困传播研究——基于湘西十八洞村的田野考察[J].未来传播,2022,29(5):27-36.

[14][18]李东泉,王晨哲,李雪伟.基于行动者网络理论的社区韧性研究:理论框架与应用分析[J].同济大学学报(社会科学版),2023,34(5):60-71.

[15]左璜,黄甫全.行动者网络理论:教育研究的新视界[J].教育发展研究,2012,32(4):15-19.

[16]LATOUR B. Postmodern? No, simply amodern! Steps towards an anthropology of science[J]. Studies in history and philosophy of science Part A,1990,21(1):145-171.

[17]张玉磊.跨界公共危机治理行动者网络:一种新的解释框架[J].上海大学学报(社会科学版),2023,40(1):74-92.

[19]黄建红,蒋艳辉.行动者网络理论视域下乡村治理数字化转型合作网络建构——基于长沙县果园镇的田野考察[J].湖南农业大学学报(社会科学版),2024,25(2):59-68.

[20]刘奉越,李燕.乡村成人学校何以助推乡村振兴——基于行动者网络的审思[J].教育学术月刊,2022(8):27-33.

[21]SPOURS K. A social ecosystem model: Conceptual developments and implications for VET[J/OL].(2019-09-01)[2024-04-27].https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10082170/3/Spours_Social%20ecosystems%20Final.pdf.

How is It Possible for County-Level Secondary Vocational Education to Become Popular ——A Case Study on the High-Quality Development of Secondary Vocational Education in Qingxian County

Zhou Jingjing, Zou Jiquan, Gu Guangfu

[**Abstract**] Secondary vocational education is the basis of building a modern vocational education system. Nearly half of China´s secondary vocational schools are located in counties. County secondary vocational schools have a more severe development environment and more urgent development needs. Taking the high-quality development of county secondary vocational education as the research object, this paper analyzes the construction process and mechanism of its actor network, and explores the internal logic of its high-quality development, which can provide decision-making reference for the reform and development of county vocational education in China. The county education authorities should play a leading role in the network construction, including vocational schools, enterprises and other actors into the action network through the aspects of problem presentation, benefit giving, recruitment and mobilization, objection and so on. Its "leadership" is the key to the reform and development of vocational education, the "degree" of multi actors´ participation in vocational education is the basis for the development of vocational education, and a good development environment is the prerequisite for the rise of county vocational education. Therefore, the county secondary vocational education should adhere to the action strategies of high-level planning, government coordination, in-depth integration of production and education, strengthening service functions, and making good use of "policy think tanks" and "talent think tanks".

[**Keywords**] county level; secondary vocational education; vocational education center; high-quality development

中国知网 https://www.cnki.net

现代机械制造工艺及精密加工技术研究

李子齐[1], 谢学浩[2]
（1. 天津市机电工艺学院，天津 300350;2. 天津职业大学，天津 300410）

摘 要：自进入21世纪以来，我国的科学技术不断进步，在很多领域都取得了优异的成绩，为我国人民的日常生活和工作提供了便利条件。随着科技的进步，机械制造技术也在不断的发展，以往传统的机械制造工艺已经逐渐的被社会淘汰，为了使用社会的发展，我国的机械制造工艺经过不断的创新已经形成了新型的工艺技术而且在机械制造业中也取得了广泛的应用。本文以现代机械制造工艺与精密加工技术的特点为依据，深入探讨了现代机械制造工艺和机密加工技术，仅供参考。

关键词：现代机械；制造工艺；精密加工；技术
DOI：10.16640/j.cnki.37-1222/t.2017.23.001

1 引言

“科技是第一生产力”，随着科技的不断发展，给我国的机械制造业带来了更多的机遇和挑战，机械制造中的机械设备在不断的进行改造和创新，传统的制造技术已经不能适用于当今的机械制造设备，并且越来越多的问题出现在机械制造的过程中，想要在当今市场竞争如此激烈的条件下获得更大的进步就需要将机械制造工艺和精密加工技术有效的结合在一起，取长补短，促进机械制造业的发展。

2 现代机械制造工艺与精密加工技术的特点

2.1 具有关联性的特点

在我国的机械产品的设计、开发、研究和生产中，甚至是销售环节，很多方面都涉及到了机械制造和精密加工的结合，虽然机械制造工艺和精密加工技术在我国的很多领域都有体现，但是在机械制造业中，现代机械制造工艺和精密加工技术的结合是必不可少的一部分。尤其是在生产和销售的联系方面，一定要引起足够的重视，一旦出现失误很可能造成非常大的产品质量问题，对机械制造企业的经济效益也产生影响，甚至制约了机械制造业的发展。因此，在机械制造过程中的各个环节都要加强管理，对每个环节的联系上要进行充分考虑，做到让机械制造工艺和精密加工技术的各个方面都不出现差错，提高机械制造和精密加工之间的关联，促进生产效益。

2.2 具有系统性的特点

我国对于科技发展方面的投资是非常大的，也就是说明国家对科技的发展非常重视，如果机械制造企业想要在这种情形下获得更好的发展，就一定要重视企业内部的工艺发展，不断的引进先进技术，学习国际上的先进经验，与自身的技术相结合，促进机械制造工艺的创新，帮助企业获取更大的经济效益，使企业在竞争中立于不败之地。在机械制造的过程中，企业要致力于将先进技术应用到机械制造的各个方面，尤其是对产品的设计、生产和销售中。所以说，现代机械制造工艺和精密加工技术之间存在一定的系统性，企业只用充分的认识到这一点，将两者之间的系统性正确的融入到机械制造当中，发挥两者的价值。而在机械制造的过程中提高机械制造工艺的系统性才能真正意义上提高机械制造的水平，从而保证生产的效率。

2.3 具有全球性的特点

随着市场经济的发展，我国的很多方面，比如说科学技术、文化知识等产业都在不断的向全球化方面发展，而全球化趋势已经成为了社会发展的必然趋势。而我国的机械制造工艺和精密加工技术也在不断向全球化方向发展，其主要的原因就是经济和技术的全球化，致使经济和技术之间的竞争逐渐加大，各个国家对经济和技术的发展高度重视。而在竞争如此激烈的市场条件下，机械制造业要想取得更大的发展空间，就必须要加强对先进技术的引进、开发和研制，提高机械制造产品的种类和设计质量等，使其能够名列前茅。但是，我国由于机械制造业的发展比较晚，很多的技术方面相对于其他国家还比较落后，机械制造业想要发展就必须要依托于科技的发展，因此，我国在机械制造方面也要加强对先进技术的引进，同时不断加强对自身技术的开发，只有自身的技术实力提高了，才能从根本上提高机械制造业的发展，才有希望超越其他国家，立于世界的顶端。

3 现代机械制造工艺

3.1 气体保护焊焊接工艺

气体保护焊接技术是将电弧作为热量的来源，用气体作为保护的介质进行焊接。在焊接的过程中，气体会发挥自身的保护作用，形成一层保护层，对电弧进行保护，同时，气体保护焊接工艺可以防止电弧分割时有害物质的出现，可以在一定程度上保护焊接工人不受到有毒气体的伤害，使焊接施工能够顺利的进行。一般情况下，在我国的机械制造业中应用的大多为二氧化碳保护焊，采用这种形式可以促进电弧的稳定，在二氧化碳气体的保护作用下，电弧也可以得到充分的燃烧，提高了焊接的效率。

3.2 螺柱焊焊接工艺

螺柱焊是在进行板件或者是管件的表面焊接作业时，螺柱的一端可以与要焊接的构件进行接触，当接触面经过高温而出现构件融化时，螺柱在压力的作用下，对将要进行焊接的构件进行焊接作业。一般来说，螺柱焊接工艺可以分为两种：一是拉弧式，另一种是储能式，这两种焊接方式都可以实现对构件表面的焊接。在不同的作业种类下选择不同的焊接方式，比如说，在重工业的焊接中，一般会采用拉弧式的焊接方式，这样的焊接方式更能确保构件的性能；在对一些厚度较小的构件焊接时，可以采用储能式的方式。无论哪种方式都可以确保构件不出现渗漏的现象，正因为如此，螺柱焊接方式在机械制造工艺中取得了广泛应用。

3.3 搅拌摩擦焊焊接工艺

搅拌摩擦焊接工艺一般应用在汽车和飞机的制造中，搅拌摩擦焊接工艺的技术非常完善，在焊接的过程中可以使用更是的焊接材料进行更大面积的焊接作业，在铝合金材料的构件进行焊接时，搅拌摩擦焊接工艺可以对焊缝较大的部位进行焊接作业，并且在焊接的过程中不会出现大量的高温。搅拌摩擦焊接的这种优势也促进了其在其他领域的应用，也是这项技术得到了更好的发展。

3.4 电阻焊焊接工艺

电阻焊接工艺是将需要被焊接的构件放在征服两个电极之间，在对电极进行通电之后，在电流的作用下，与电极接触的构件表面就会发生融化从而达到焊接的效果。这种焊接方式在应用过程中，焊接的效率非常高，在机械化水平高的焊接作业中被广泛应用，电阻焊接的方式优点很多，可以很好的保障需要进行焊接作业的构件的焊接质量，加热的时间非常短，采用这种方式进行焊接作业，提高了机械化焊接的水平，在我国的汽车和航空航天行业应用比较普遍。

4 精密加工技术

4.1 精密切削技术

在进行精密切削时，需要采用切削的方式进行作业，切削作业时要格外注意切削产品的精度，必须要确保切削产品的精度符合规定的要求，在符合产品表面粗糙度的情况下，还要尽可能的减少切削机床、刀具等对表面粗糙度的影响，同时为了确保切削产品的加工精度，在进行作业时，要尽可能的提高切削机床的性能，确保机床不易受到热

中国知网 https://www.cnki.net

变的影响，同时还要提高切削机床的抗振性能。

4.2 超精密研磨技术

以往的传统工件的研磨和抛光技术已经不能满足当前工件的生产要求，想要在工件加工的过程中，提高其精度的要求，就要在加工中一定要控制好工件的表面粗糙度，当前我国主要使用的是原子级的研磨跑光技术，这种技术在我国的工件加工中应用非常广，利用这种技术能够更好的对工件表面粗糙度进行控制，在工件生产中发挥中至关重要的作用。

4.3 模具成型技术

模具成型技术在我国的很多工业生产中应用，利用模具可以完成对零件的粗加工和精加工两种，但是目前大多数还是只能完成粗加工，只有一小部分可以实现精加工，无论是零件的哪种生产方式，都离不开模具成型技术。模具成型技术是衡量一个国际机械制造业发展和技术能力的重要指标，一般情况下，模具成型技术主要应用在各种仪表、汽车和飞机的零部件生产过程中。

4.4 细微加工技术

当前，我国的精密加工技术在不断的向电子元件方向发展，电子元件在机械制造生产的过程中，运行速度和效率在不断的提升，而且已经逐渐的形成了对微型元件的生产。我国目前还出现了一种超微细离子技术，这种技术主要应用与对半导体的生产和加工中，使半导体的精度得到了大幅度的提高。

5 现代机械制造工艺与精密加工技术改善

5.1 现代机械制造工艺及精密加工技术的重要性分析

随着科技的不断进步，现代机械制造技术和精密加工技术已经取得了很好的发展空间，在我国的机械制造业中的前景也非常广阔，当前，我国乃至世界上的很多国家都对机械制造工艺和精密加工技术非常重视，也在不断的进行技术的改革和创新，在国家的大力支持下，我国的机械制造技术一定能够取得更好、更快的发展。

5.2 有效提高现代机械制造工艺与精密加工技术

我国的机械制造和精密加工技术在发展中的最大问题就是工艺和技术不够先进，还有很大的提升空间。要想促进我国的机械制造业的发展，就是使机械制造工艺不断的向精密化方向迈进。目前我国机械制造业中应用较为精密的技术就是微细加工技术和纳米技术。虽然目前我国的机械制造行业已经实现了机械设计的电子技术和微型电子技术，也在不断的向更加精密的方向发展，但是这些技术的应用范畴有限，并没有在机械制造业中取得广泛的应用。精密技术是人们日常生活中的不可缺少的一部分，当前的精密技术在我国的很多家用电器和电子产品中都取得了一定的成果，并且在不断的从各个细节方面进行优化，不仅表明了精密技术的进展速度也意味着人们的生活方式更加细腻。

5.3 增强现代机械制造工艺与精密加工技术的自动化程度

在我国的机械制造领域中，机械制造工艺和精密加工必须要不断的向自动化方向靠拢，节约生产中的人力和生产时间，同时在保证产品质量的前提下加快速度，为机械制造企业创造更大的经济价值。为了确保自动化工艺的实现必须要做到以下几点。首先，多重加工。多重加工就是实现对工件生产的多种方式相结合，通过计算机系统对其进行控制，有效减少加工的时间。其次，提高切削加工的速度。在对工件进行切削作业是，需要有各种刀具进行辅助，这种作业无法直接有人力来完成，因此为了提高切削的速度，可以利用一些硬质合金、涂层的刀具进行作业，加快切削的速度。最后，应用新工艺。在对一些比较难加工和需要特殊加工的工件作业时，需要在制定的加工环境下进行，可以采用新型的操作工艺，比如说，利用激光、电火花等进行加工；加温或震动中进行切削。

6 结束语

综上所述，将机械制造技术工艺和精密加工技术有效的结合在一起可以促进我国机械制造业的发展，提高机械制造企业的市场竞争力，促进企业的经济效益。在我国各行各业都在不断进步的情形下，机械制造业要想取得一席之地，就必须要不断的引进新技术，加强产品质量，并且确保我国的机械制造技术不断的向国际化方向发展，从而提高我国机械制造业在经济市场中的地位和作用，为机械制造业的发展奠定基础。

参考文献：

[1] 房贵如．从“机械制造工艺”到“现代机械制造技术”——“工艺”概念的扩展及其技术发展趋势（上）[J]．机械工艺师，1994(11)：2-4.
[2] 庞仲春．从毛坯制造新工艺的应用看现代机械制造技术的发展——机械制造工艺基础教学体会 [J]．新课程（教育学术），2010(08)：81.
[3] 刘旭勤，王冬明，赵小英．关于常见机械制造工艺和精密加工技术的相关分析 [J]．中小企业管理与科技（上旬刊），2015(05)：241-242.
[4] 郑德星，阳程．机械制造工艺与夹具综合实践教学改革与探索 [J]．黑龙江教育（高教研究与评估），2012(08)：73-74.
[5] 李峰，吴波，曹建树，蔡晓君，赵杰．基于真实工程环境下的“机械制造技术基础”实践教学改革 [J]．实验室研究与探索，2012(3108)：323-325+370.
[6] 秦健，邓银舟，江帆，林镱琳．基于绿色制造的新型机械制造工艺及装备技术研究 [J]．中国锰业，2016(3404)：129-131.
[7] 李衡．冲压模具 CAPP 技术中零件信息管理和工艺生成方法的研究 [D]．长春工业大学，2010.
[8] 郑德星．基于应用创新能力培养的机械制造综合实践教学改革探索 [J]．考试周刊，2015(40)：14+22.
[9] 王新荣，王俊发，王萍，杨丽华．“机械制造工艺与夹具设计”精品课程建设的探索与实践 [J]．中国电力教育，2012(29)：62-63.
[10] 王东．破碎设备液压控制系统的优化设计及故障诊断专家系统初探 [D]．昆明理工大学，2002.

作者简介：李子齐（1989-），男，天津人，本科，一级实习指导教师，研究方向：数控加工技术及实训教学。

（上接第 17 页）

在轧制过程中，周围钢基体由于塑性较好，经过轧制，基体不断流动、延伸，而 Al_2O_3 夹杂不易形变，两者产生拉应力，形成微观的开裂区域，且钢坯经过热轧和冷轧两道轧制工序，压缩比大，因此，夹杂物所在区域在经过冷轧后的钢卷表面容易产生粗糙的线状裂缝形貌，经过镀锌工序，由于存在裂缝的区域与锌液接触面更大，容易产生锌堆积，最终形成宏观上的线状缺陷，造成产品降级改判。

5 结论

（1）产生冷轧钢卷表面线状粗糙裂缝缺陷主要原因是炼钢过程中产生的 Al_2O_3 夹杂在轧制过程中由于延展性较周围基体差，通过不断轧制，两者形成拉应力，最终形成表面粗糙裂缝缺陷。

（2）镀锌钢卷表面线状缺陷的产生主要原因：冷轧后钢卷基体存在粗糙的线状裂缝，经过镀锌，由于裂缝与锌液接触面增大，导致锌液堆积所造成。

参考文献：

[1] 舒朝晖．我国冷轧板带材发展中存在的问题和建议 [J]．钢铁，2002(03).
[2] 庄迎，王贵平．316L 不锈钢冷轧板表面缺陷分析和工艺改进 [J]．特殊钢，2017(02).
[3] 孙宇，张增胜，范建伟．低温催化剂在不锈钢酸洗 NO_x 废气 SCR 处理的应用 [J]．中国冶金，2015(12).

作者简介：唐志刚（1972-），男，四川遂宁人，研究生，工程师，主要从事轧钢工艺质量控制。

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.19392/j.cnki.1671- 7341.201624036

项目教学法在数控实训教学中的应用

许 超[1] 陈振国[2]

1.天津机电职业技术学院 天津 300350 ;2.天津职业大学 天津 300410

摘 要 在数控实训教学发展的过程中引进项目教学法,培养学生的实际操作能力,锻炼学生的操作技能。在传统的数控实训教学过程中,教师比较重视学生对数控理论方面的学习,数控实训教学的方式比较单一,很难激发学生的学习兴趣,学生的学习积极性和主动性也很难调动起来,从而导致数控实训教学的教学效率比较低下。本文主要针对项目教学法在数控实训教学中的实际运用进行分析,调动学生的学习主动性,培养学生的数控实训兴趣,活跃数控实训课堂教学氛围,提高数控实训教学的效率和质量。

关键词 项目教学法 数控实训 应用

项目教学法属于一种新型的教学方法，在一定程度上具备着调动学生学习积极性和主动性的优势,可以有效的提高教学效率。在数控专业发展过程中,数控专业是比较重视理论性和实践性的,单一的纯理论性已经很难满足学生的发展需求,教师的教学方式比较单一,学生的学习兴趣不高,导致数控教学的效率低下。

因此,在实际的数控实训教学过程中,教师需要不断转变自己的教学方法,采用项目教学法,可以培养学生的学习兴趣,给学生提供实践的机会,还能有效的培养学生知识实践运用能力,锻炼学生实践操作技能,促进学生的全面发展。

一、项目教学法的概述

项目教学法最早产生于十八世纪欧洲的劳动教育思想、工读教育,随着十九世纪美国合作教育进一步的发展,直到二十世纪中后期,才逐渐形成一个完整的体系。随着现代化职业技术学院的快速发展,项目教学法开始被广泛的运用于职业技术教育过程中，成为一种重要的职业技术教育教学理论。

所谓的项目教学法,主要是指教师在实际的教学过程中,要将项目教学法作为一种教学指导思想,并把所教授的课程,按照相关的划分标准进行分化,分化成几个独立的实践操作技能单元,根据学生的实际学习情况,将独立的实践操作技能单元分配给学生,让学生自己独立的收集资料,并设计出每个操作技能单元的实施方案,在每一个实践操作技能单元中,都设置相应的单元教学目标。这样一来,学生就可以在单元学习的过程中,掌握相应的技能和技巧,熟练把握每一个技能的实际操作细节,可以有效的提高学生的学习效率。

在数控专业实训教学的过程中,项目教学法的运用,主要是为了调动学生的学习积极性,将每个学习单元的任务作为学生学习的动力,在每个学习单元中适当的添加一些实际性内容,增强数控专业的实用性,提高数控实训教学的效率。

项目教学法,不仅可以培养学生的实践操作能力,适应未来教育发展的方向,还能提升学生学习的自主性,培养学生的团队合作精神,促进学生的全面发展。同时,项目教学法比较注重对学生能力和技能方面的培养,将“以人为本”的教学理念贯穿于数控专业教学的始终,体现出了现代化教育的价值。

二、项目教学法对教师的具体要求

将项目教学法运用于数控实训教学过程中，对教师的教学方法和教学观念也提出了新的要求。在数控实训教学过程中,教师的教学任务不再只是单方面对学生进行知识的传授，还要为学生的学习创设一个良好的外在环境,营造一个轻松、愉悦的学习氛围,可以有效的提高学生的学习效率。

在整个教学过程中,教师是作为教学引导者和指导者而存在的,在学生自主学习的过程中,对学生进行有序的组织的学习方法引导,给学生的自主学习提供更广阔的空间。在学生进行单元操作技能学习的过程中,教师要时刻关注学生的学习过程中,学生做得好时要给予肯定和鼓励,一旦学生遇到困难,要能及时的给学生提供帮助,这样可以有效的提高学生的学习效率,注重学生实践操作技能的培养。

在项目教学法使用的过程中，教师是作为一个教学引导者而存在的,为学生的任务学习提供咨询服务的。将项目教学法运用于实际的数控实训教学过程中,教师需要对教学任务进行深入的研究,选择适合学生的学习任务,要在项目教学开始之前,对学生的学习实际情况有个准确的掌握,选择合适的教学方法,与项目教学法协调使用。教师要形成自己的教学特色，这样才能调动学生的学习兴趣，激发学生的学习热情,提高学生的学习效率。

此外,教师还要挖掘项目教学法中的教学价值,全面掌控学生自主学习的全过程，开发学生的潜在发展能力，在项目任务成果评价过程中,教师要秉承客观的态度,尊重每一个学生的实际劳动成果,对学生进行客观性的评价。对于表现好的学生要给予肯定和鼓励,对于学生成效比较差的学生,要进行有效的指导,帮助学生改善学习成果,培养学生自主学习能力,实现学生的全面发展。

三、项目教学法在数控实训教学中的具体运用

(一) 确定项目教学任务,搜集任务资料

将项目教学法运用于数控实训教学中,首先,要确定每一个项目的教学任务,在项目课题选择的过程中,要注重理论与实际之间的联系,选择合适的课题,可以有效的提高项目学习的效率。课题是项目任务学习的基础和根本,在实际的选择过程中,要注重课题的难易程度,要根据学生的实际学习情况,选择合适的项目教学任务,在学生原有的技能和知识的基础上,做出适当的提高和调整,确保课题符合学生最近发展区的需要,培养学生的创新能力,促进学生的全面发展。其次,在课题选择的过程中,需要对数控专业的市场加工工艺、数控作业模式、作业技能、市场发展需求等多方面的因素进行综合考虑,搜集各个方面的资料和信息，制定出符合现代企业发展需求和市场人才需求的工作技能操作学习单元,提高数控教学的实效性。最后,在项目教学组织形式上,要将项目教学的共性和数控专业的个性特点结合起来，根据教学内容的实际情况,集中选择课题。也可以采取分散选题的形式来选择课题,选择出最佳的课题。此外,教师还要引导学生搜集课题资料,可以多渠道采集信息,并能对所选择的信息数据进行科学化的筛选,提高学生的信息辨别能力。

(二) 根据学习项目任务,制定任务计划

将项目学习课题确定下来之后，教师要和学生共同研究项目课题完成的方法,制定相应的任务计划。根据课题任务的难易程度,选择任务完成的流程、制作工艺、组织形式等方面内容,要从学校现有的实践教学设施出发,对于同一个零件可以从工作制作、刀具等方面进行不同角度的分析和比较,制定出合理的实施计划,可以有效的提高学生的学习效率。

例如,在陀螺加工的项目学习中,教师要注重对陀螺加工流程进行分析,让学生制定出陀螺加工的程序,首先要设计出陀螺零件图,对陀螺加工程序进行编制,在数控机床进行仿真操作,最终实现陀螺数控机床的加工,这样就将陀螺的加工程序规划出来了。教师在组织学生进行小组讨论,在每个小组内对学生的学习任务进行合理的分配,并制定出自己的加工方案,在展示出来。教师要对学生的设计方案中的创新点进

中国知网 https://www.cnki.net

行鼓励，并帮助学生不断优化加工方案，在教师与学生之间形成一种良好的师生关系，可以有效的培养学生的团队协作能力和沟通能力。

（三）根据制定任务计划，做好计划实施

制定好相应的任务计划之后，就需要将计划进行实施。在数控实训教学过程中，对某一个零件进行加工时，都是学生独立完成操作的，可以有效的培养学生独立解决问题的能力，在学生实际操作过程中，可以将所学习知识运用于实际操作过程中，指导自己的实际操作，可以不断完善学生的理论知识框架，提高学生的学习效率。学生在计划实施的过程中，要根据计划中规定的时间，对每一个阶段的任务进行逐一完成，教师要在此过程中，为学生提供相应的指导，同时，学生还要详细记录每个阶段自己所操作的技能，学习到知识，既要对零件加工的工艺流程进行记录，又要对零件加工的参数等方面的内容做好记录，并记录自己零件加工的成果。

例如，在陀螺数控加工的任务学习过程中，学生要考虑到陀螺零件加工工艺流程，做好切削用量工作，选择合适的刀具等等，在整个陀螺零件加工过程中，教师承担着一个指导者和引导者的作用，对学生独立完成的陀螺加工成果进行评价。同时，学生还要写任务报告，对项目任务完成的每个细节都要进行详细报告，这样可以让学生将实践操作与理论知识联系起来，提高学生的学习效率。此外，学生还能在实践操作过程中，积累实践操作经验，丰富学生的知识内涵，促进学生的全面发展。

（四）展示项目任务成果，做到客观评价

在项目任务实施过后，就要对项目任务完成的成果进行展示和评价。在项目任务展示过程中，学生可以将自己制作的陀螺加工成品展示出来，与班级上其他学生制作的成品进行对比分析，不断完善自己的成品。在成果展示的过程中，学生可以与其他学生进行相互交流和学习，取长补短，不断完善自己的作品，有些学生还可以从其他学生的作品中，获得启发，培养学生的思维能力，学生也可以学会多角度考虑问题。在学生作品成果的展示过程中，教师是主要的评价者，教师既可以组织学生对对其他学生的作品进行评价，又可以秉承客观的态度，对学生的成果进行评价，帮助学生不断优化零件数控加工的工艺，寻找学生作品中的创新点，对学生的创新成果进行表扬和鼓励。此外，在学生任务实施的过程中，教师还要注重对学生创新能力的培养，多鼓励学生进行工艺创新，重视学生对作品成果的情感体验，为学生的进一步学习提供动力，提高学生的综合素养，促进学生的全面发展。

四、项目教学法在数控实训教学中的运用成效

（一）对教师产生的作用

将项目教学法运用于数控实训教学过程中，可以帮助教师实现专业化发展。运用项目教学法对教师的专业技能提出了更高的要求，教师不仅需要具备丰富的专业基础知识，还要具备良好的应变能力，要能对学生任务学习过程中存在的突发性情况，可以进行及时的解决。同时，教师还要具备良好的课堂组织管理能力，在学生进行项目学习的过程中，要能给学生提供专业性的指导服务，提高学生的学习效率。此外，在项目课题选择的过程中，教师还要具备良好的市场洞察力，能将自己的专业知识运用于课题选择过程中，对每个阶段的教学任务进行详细解读，并将教学内容转化为项目任务课题。在整个项目教学使用过程中，教师的专业能力和知识素养都会有所提高，对教师的专业化发展具有重要的推动作用。

将项目教学法运用于数控实训教学过程中，还可以建立良好的师生关系。在项目任务学习的过程中，学生是课堂实践操作学习的主体，可以有效的调动学生的学习积极性，教师在学生学习的过程中，为学生提供相应的指导和引导，增强了教师与学生实践的有效互动，有利于构建和谐的师生关系。

（二）对学生产生的作用

在项目教学法运用的过程中，可以有效的培养学生各方面能力。所组织的项目学习任务，比较贴近于学生的生活实际，可以激发学生的学习兴趣，培养学生的自主学习能力，在项目学习任务制定实施计划过程中，可以培养学生信息筛选能力，在项目任务实施过程中，学生之间的小组合作学习和探究，可以有效的培养学生的团队协作能力和探究能力。在项目成果展示的过程中，学生通过对其他同学作品的学习和评价，可以进一步完善学生原有的知识框架，启发学生的思维，培养学生社会适应能力。在整个项目教学法中，学生是项目任务学习的主体，学生主动的参与到项目学习过程中，分析课题、探究课题、解决课题，培养学生的实际动手操作能力，提升学生的综合素养，促进学生的全面发展。

五、结语

综上所述，在数控专业教学过程中，运用项目教学法，可以有效的提高数控实训教学的效率，培养学生的学习兴趣，给学生带来一种全新的学习体验，注重学生实际操作能力的培养，有利于学生的全面发展。将项目教学法运用于数控实训教学过程中，教师需要转变自己的教学观念，要将学生作为课堂教学的主体，给自己进行准确的定位，注重学生学习主动性和积极性的培养，帮助学生形成独立自主学习的好习惯，促进学生的全面发展。同时，项目教学法在实际的运用过程中，还是存在着或多或少的问题，教师要在实际的运用过程中，不断总结教学经验，完善数控实训教学，提高项目教学法的使用效率，推动数控专业的可持续性发展。

参考文献：

[1] 张爱明.项目教学法在数控实训教学中的应用[J].科技风,2015(12):232.

[2] 王震宇.探索项目教学法在数控实训教学中的应用[J].轻工科技,2013(2):142- 143.

[3] 董光宗.项目教学法在数控车工实训课中的应用[J].现代教育,2012(Z2):93.

[4] 李晓梅.项目教学法在数控车床实训教学中的应用[J].成才之路,2012(18):77- 78.

[5] 吴传合.谈项目教学法在数控实训教学中的应用[J].中小学电教:下,2011(10):42.

[6] 王莹.项目教学法在高职数控实训中的应用[J].中国教育技术装备,2011(15):130- 132.

作者简介：

许超（1986-），男，汉族，山东人，本科，助教，研究方向：产学研一体化数控加工教学；

陈振国（1982-），男，汉族，天津，本科，助理工程师，研究方向：产学结合数控加工实训教学。

中国知网 https://www.cnki.net

新型汽车花键轴锻造温度的优化

张 敬[1], 迟 涛[2]

(1. 天津职业大学 机械工程实训中心, 天津 300410; 2. 天津职业技术师范大学 工程实训中心, 天津 300222)

摘　要:对 40Cr-0.6V0.3W 钢汽车花键轴的室温和高温磨损性能进行了测试和分析。结果表明:随始锻温度和终锻温度的升高,花键轴的室温和高温磨损体积先减小后增大。与 1160℃始锻温度相比,1220℃始锻温度下的试样室温和高温磨损体积分别减小了 35 %%、44.74%;与 780 ℃终锻温度相比,840℃终锻温度下的室温和高温磨损体积分别减小了 27.78%、41.67%,室温和高温磨损性能先提升后下降。40Cr-0.6V0.3W 汽车花键轴的锻造工艺参数优选为:1220℃始锻温度、840℃终锻温度。

关键词:汽车花键轴;40Cr-0.6V0.3W 钢;磨损性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001–3814. 20190580

中图分类号:TG301　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001-3814(2021)9-0109-04

Optimization of Forging Temperature of New Automobile Spline Shaft

ZHANG Jing[1], CHI Tao[2]

(1. Mechanical Engineering Training Center, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. Engineering Training Center, Tianjin Vocational and Technical Normal University, Tianjin 300222, China)

Abstract: The room temperature and high temperature wear properties of 40Cr-0.6V0.3W steel spline axles for automobiles were tested and analyzed. The results show that with the increase of initial forging temperature and final forging temperature, the room temperature and high temperature wear volume of the spline axle first decrease and then increase. Compared with those of the initial forging temperature at 1160℃, the room temperature and high temperature wear volume at 1220℃ decrease by 35% and 44.74% respectively. Compared with those of the finish forging temperature at 780℃, the room temperature and high temperatu re wear volume at 840℃ decrease by 27.78% and 41.67%, respectively. And the room temperature and high temperature wear properties increase first and then decrease. The optimum forging process parameters of 40Cr-0.6V0.3W automobile spline shaft are the initial forging temperature of 1220℃ and the final forging temperature of 840℃.

Key words: automobile spline shaft; 40Cr-0.6V0.3W steel; wear property

花键轴是用来传递扭矩、动力的零件,它将扭矩传递给另一个轴,并使之与外层连接,在机械传动方面的应用愈加普及和广泛,尤其是在汽车行业[1-2]。特别是近年来汽车产业发展迅猛对汽车的需求量与日俱增,花键轴作为汽车不可缺少的零件,其需求也不断增加;同时随着人们对汽车整体性能、安全性、舒适性等要求不断提升,因而对花键轴的质量、性能也提出了更高的要求[3]。汽车花键轴主要用于齿轮、离合器、底盘、前后桥等,通过不同花键轴的搭配、组合进行调档位,可以实现调速、转向[4-5]。由于汽车花键轴工作时易受扭转应力与摩擦影响,因而对花键轴的硬度、强度等有较高的要求[6]。花键轴的生产工艺主要为切削加工和塑性成形, 由于传统的切削加工所用原材料较多且生产工序复杂, 已不能满足高性能花键轴的需求[7-8]。在塑性变形中,锻造能生产出外形尺寸精度高、传动性、耐磨性等综合性能均佳的花键轴,生产效率高[9-10]。锻造时,锻造温度是极其重要的工艺参数,本文采用不同锻造温度进行了新型汽车花键轴的成形,以期优化新型汽车花键轴的质量、使用寿命和性能。

1　试验材料及方法

研究对象为 40Cr-0.6V0.3W 钢新型汽车花键轴,化学成分如表 1 所示。汽车花键轴的加工工艺流程为:步骤 1,按照 40Cr-0.6V0.3W 化学成分进行配料、均匀搅拌,置于中频电炉进行精炼、加热,铁模浇注获得锭坯,锭坯大小为 ϕ72 mm×110 mm,形状为圆棒状;步骤 2,加热锭坯,并预热好模具,随后对锭坯进行锻造;步骤 3,锻造后以水冷 + 空冷方式进行

收稿日期:2019-03-02

作者简介:张敬(1976–),男,天津人,实验师,硕士,从事产教融合数控加工实训教学和研究工作;电话:15902266627;
E-mail:zhang9802@sohu.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

冷却;步骤 4,冷挤花键。锻造时,保持模具预热温度 350℃和锻造比 5 不变,改变始锻温度和终锻温度,其中锻造比指花键轴锭坯端部的横截面积在锻造前后的比值。花键轴的锻造工艺参数如表 2 所示。锻后所有试样均进行了相同工艺的热处理:850℃×2.5h,炉冷。花键轴如图 1 所示,主要尺寸参数:总长 97mm,花键齿数 8,小径和大径分别为 32、36mm、键宽 6mm。

表 1 新型汽车花键轴的化学成分(质量分数,%)
Tab.1 Chemical composition of new automobile spline shaft (wt%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu	Mo	V	W
0.41	0.24	0.67	0.93	0.26	0.023	0.021	0.16	0.09	0.6	0.3

表 2 新型汽车花键轴的锻造温度
Tab.2 Forging temperatures of new automobile spline shaft

试样编号	始锻温度 /℃	终锻温度 /℃
1	1160	840
2	1180	840
3	1200	840
4	1220	840
5	1240	840
6	1260	840
7	1220	780
8	1220	800
9	1220	820
10	1220	860



图 1 新型汽车花键轴
Fig.1 New automobile spline shaft

磨损试验仪器选用 MG-200 型销盘式高温摩擦磨损试验机,磨损试验分别在室温 25℃和高温 350℃测试环境下进行,对磨材料选用 45 钢,工作载荷 450N、磨轮转速 2400r/min,磨损时间 5h。磨损试验后,分别用 EVO18 型扫描电镜和 OlympusCX15 型金相显微镜观察花键轴试样在磨损试验后的表面形貌。

2 试验结果及讨论

2.1 室温磨损性能

图 2 是在 840℃终锻温度下经不同始锻温度成形的 40Cr-0.6V0.3W 新型汽车花键轴试样的室温磨损性能测试数据。从图 2 获悉,在键轴试样的锻造过程中,始锻温度是非常重要的工艺参数,对试样的室温磨损体积影响极大。随始锻温度从 1160℃上升至 1260℃,室温磨损体积先减小后增大,在(20～13)×10^{-3}mm^3 区域间变化,室温磨损性能性能先提升后下降。1160℃始锻温度下,试样的室温磨损体积最大,值为 20×10^{-3}mm^3,此时试样的室温磨损性能最差;1180、1200℃始锻温度下,试样的室温磨损体积分别为 16×10^{-3}、14×10^{-3}mm^3,分别较 1160℃始锻时减小了 20%、30%,室温磨损性能有所提升;当始锻温度达到 1220℃时,试样的室温磨损体积降到最低值 13×10^{-3}mm^3,较 1160℃始锻时减小了 35%,此时试样的室温磨损性能最佳。但随着始锻温度的继续上升,试样的室温磨损体积有所增大,1240、1260℃始锻温度下试样的室温磨损体积分别为 15×10^{-3}、18×10^{-3}mm^3,较 1220℃始锻时增大了 15.38%、38.46%,室温磨损性能下降。

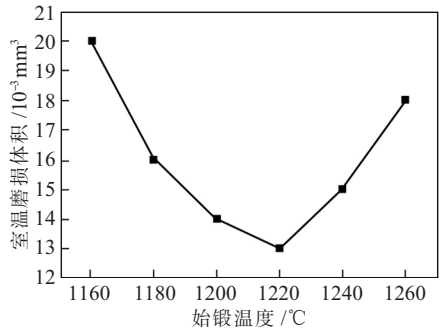


图 2 不同始锻温度下试样的室温磨损测试结果
Fig.2 Room temperature wear test results of the samples at different initial temperatures

图 3 是在 1220℃始锻温度下经不同的终锻温度成形的花键轴试样的室温磨损性能测试数据。从图 3 获悉,随终锻温度从 780℃上升至 860℃,室温磨损体积先减小后增大,在(18～13)×10^{-3}mm^3 变化,室温磨损性能先提升后下降。780℃终锻温度下,试样的室温磨损体积最大,为 18×10^{-3}mm^3,此时试样的室温磨损性能最差;800、820℃终锻温度下,试样的室温磨损体积分别为 16×10^{-3}、15×10^{-3}mm^3,分别较 780℃终锻时减小了 11.11%、16.67%,室温磨损性能有所提升;当终锻温度达到 840℃时,试样的室温磨损体积降到最低值 13×10^{-3}mm^3,较 780℃终锻时减小了 27.78%,此时试样的室温磨损性能最佳。但随着终锻温度的继续上升,试样的室温磨损体积有所增大,860℃终锻温度下试样的室温磨损体

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

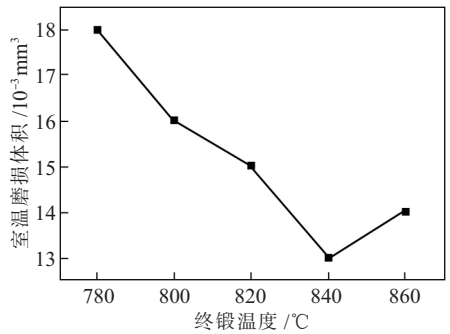


图 3 不同终锻温度下试样的室温磨损测试结果

Fig.3 Room temperature wear test results of the samples at different final forging temperatures

积分别为 14×10^{-3} mm³，较 840℃终锻时增大了 7.69%，室温磨损性能下降。

图 4 是经不同的锻造工艺参数成形的花键轴试样在室温磨损试验后的磨损表面形貌 SEM 照片。从图可以得知，试样 1 的表面磨痕密集、粗大，起皮严重，磨损程度最为严重；而试样 4 的表面磨痕细小、轻微、稀疏，磨损程度最轻；试样 6 的磨痕大小则介于试样 1 和试样 4 之间，磨损程度居中，室温磨损性能为试样 1＜试样 6＜试样 4。这和花键轴试样的室温磨损性能测试结果相吻合。综上所述，为了提升

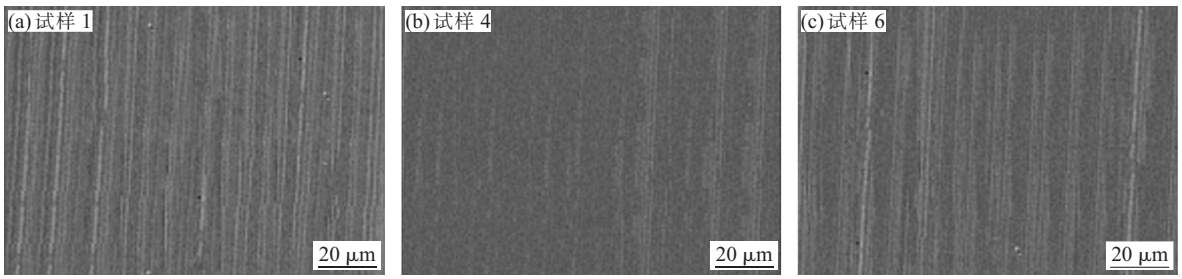


图 4 汽车花键轴的室温磨损表面形貌 SEM 照片

Fig.4 SEM photos of the wear surface morphologies at room temperature of automobile spline shaft

汽车花键轴的室温磨损性能，始锻温度优选为 1220℃、终锻温度优选为 840℃。

2.2 高温磨损性能

图 5 是在 840 ℃终锻温度下经不同的始锻温度成形的花键轴试样的高温磨损测试数据。从图 5 获悉，在花键轴试样的锻造过程中，终锻温度是非常重要的工艺参数，对 40Cr-0.6V0.3W 新型汽车花键轴试样的高温磨损体积影响极大。随始锻温度从 1160 ℃上升至 1260℃，高温磨损体积先减小后增大，在 $(38\sim21)\times10^{-3}$ mm³ 区间变化，高温磨损性能先提升后下降。1160℃始锻温度下，试样的高温磨损体积最大，值为 38×10^{-3} mm³，此时试样的高温磨损性能最差；在 1180、1200℃始锻温度下，试样的高温磨损体积分别为 32×10^{-3}、25×10^{-3} mm³，分别较 1160 ℃始锻时减小了 15.79%、34.21%，高温磨损性能有所提升；当始锻温度达到 1220℃时，试样的高温磨损体积降到最低值 21×10^{-3} mm³，较 1160℃始锻时减小了 44.74%，此时试样的高温磨损性能最佳；但随着始锻温度的继续上升，试样的高温磨损体积有所增大，1240、1260℃始锻温度下试样的高温磨损体积分别为 26×10^{-3}、29×10^{-3} mm³，较 1220℃始锻时增大了 23.81%、38.10%，高温磨损性能下降。

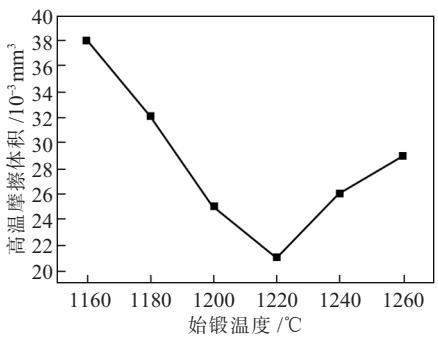


图 5 不同始锻温度下的花键轴试样的高温磨损测试结果

Fig.5 High-temperature wear test results of spline shafts sample at different initial temperatures

图 6 是在 1220 ℃始锻温度下经不同的终锻温度成形的花键轴试样的高温磨损测试数据。从图 6 获悉，随终锻温度从 780 ℃上升至 860 ℃，高温磨损体积先减小后增大，在 $(36\sim21)\times10^{-3}$ mm³ 区域间变化，高温磨损性能性能先提升后下降。780℃终锻温度下，试样的高温磨损体积最大，值为 36×10^{-3} mm³，此时试样的高温磨损性能最差；800、820℃终锻温度下，试样的高温磨损体积分别为 30×10^{-3}、25×10^{-3} mm³，分别较 780 ℃终锻时减小了 16.67%、30.56%，高温磨损性能有所提升；当终锻温度达到 840 ℃时，试样的室温磨损体积降到最低值 21×10^{-3} mm³，较 780℃终锻时减小了 41.67%，此时试样的高温磨损性能最佳；但随着终锻温度的继续上升，试样的高温磨损体积有所增大，860 ℃终锻温度下试样的高温

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

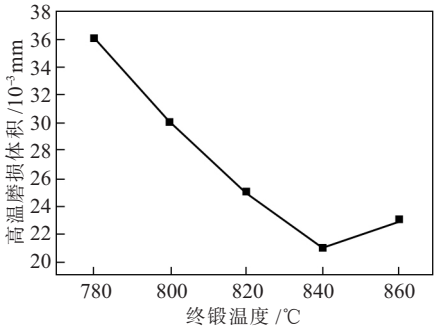


图 6 不同终锻温度下花键轴试样的高温磨损测试结果

Fig.6 High-temperature wear test results of spline shaft samples under different final forging temperatures

磨损体积为 23×10^{-3} mm³，较 840 ℃终锻时增大了 9.52%，高温磨损性能趋于下降。

图 7 是经不同锻造工艺参数成形的花键轴试样在高温磨损试验后的高温磨损表面形貌金相显微镜照片。从图可以得知，试样 7 的犁沟粗而深，伴有较多而大的片状剥落块和密集的犁屑，磨损程度最严重；而试样 4 的犁沟细而浅，犁屑也较少，磨损程度最轻微；试样 10 的犁沟大小则介于试样 7 和试样 4 之间、伴有一定的犁屑和剥落，磨损程度居中。这和花键轴试样的高温磨损性能测试结果相吻合。综上所述，为了提升新型汽车花键轴的高温磨损性能，始锻温度优选为 1220 ℃、终锻温度优选为 840 ℃。

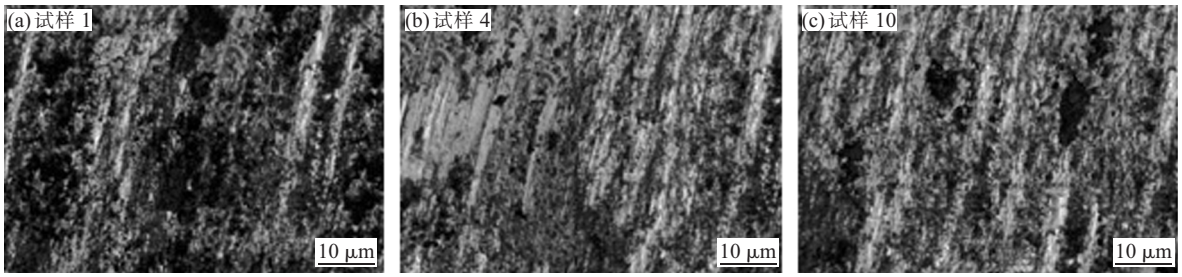


图 7 花键轴试样的高温磨损表面形貌金相显微镜照片

Fig.7 Metallographic micrographs of the wear surface morphologies at high temperature of spline shaft samples

3 结论

（1）40Cr-0.6V0.3W 汽车花键轴的室温和高温磨损体积随始锻温度和终锻温度的升高而先减小后增大，室温磨损性能和高温磨损性能均先提升后下降。

（2）1220℃始锻温度下的室温和高温磨损体积分别为 13×10^{-3}、21×10^{-3} mm³，与 1160℃始锻温度相比，分别减小了 35%、44.74%。

（3）840℃终锻温度下的室温和高温磨损体积分别为 13×10^{-3}、21×10^{-3} mm³，与 780℃始锻温度相比，分别减小了 27.78%、41.67%。

（4）从提升 40Cr-0.6V0.3W 新型汽车花键轴的室温和高温磨损性能出发，始锻温度优选为 1220℃、终锻温度优选为 840℃。

参考文献：

[1] 李泳峄，赵升吨，孙振宇，等．花键轴高效精密批量化生产工艺的合理性探讨[J]．锻压技术，2012，37(3)：1-6.

[2] 刘年富，刘锦标，岳峰．花键轴毛坯表面开裂原因分析[J]．热处理技术与装备，2015，36(2)：17-20.

[3] 金林奎，焦东风．机械花键轴断裂原因分析[J]．金属加工(热加工)，2014(21)：48-50.

[4] 赖凌祥．改善长花键轴机械加工质量的工艺装置[J]．内燃机与配件，2018(6)：105-106.

[5] 徐国权． 基于 Isight 的汽车传动轴前花键轴尺寸的优化设计[J]．中国科技论文，2017，12(4)：408-411.

[6] 崔凯，姜波，李航宇．花键轴类零件的感应淬火技术[J]．汽车工艺与材料，2012(8)：20-24.

[7] 史小园．花键轴头焊接与焊接工装台设计[J]．金属加工(热加工)，2009(14)：50-51.

[8] 赵升吨，李泳峄，范淑琴，等．汽车花键轴零件的生产工艺综述[J]．锻压装备与制造技术，2012，47(3)：74-77.

[9] 苏州优金金属成形科技有限公司．一种汽车花键轴齿轮锻造工艺：CN201410399717.8[P]．2015-10-28.

[10] 杨慧，李振红，张质良．汽车花键轴温热控制精锻工艺[J]．锻压技术，2005，30(5)：55-57.

(上接第 108 页)

[6] 莫玉梅．基于神经网络的镁合金汽车车轮锻压工艺优化[J]．轻合金加工技术，2016，44(5)：28-32.

[7] 郭威，王宏颖．稀土 La 对汽车用 AZ91D 镁合金腐蚀行为的影响[J]．轻合金加工技术，2016，44(9)：67-71.

[8] 吴杏，陈飞．汽车用 AZ91D 镁合金表面改性实验研究[J]．电镀与环保，2017，37(3)：6-8.

[9] 金霄，汤梓铭． 车用镁合金性能对汽车轻量化发展的影响[J]．新技术新工艺，2015(11)：100-103.

[10] 王清泉．锻压机械在汽车工业中的应用[J]．电子制作，2015(12)：212-212.

[11] 杨添雯，宋生奎．低温多向锻压对电动机外壳用 AZ80 镁合金组织与性能的影响[J]．轻合金加工技术，2016，44(11)：31-35.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

doi: 10.3969/j.issn.1001-8794.2020.08.009

新中国 70 年职业教育产教融合政策变迁逻辑与发展理路

古光甫，邹吉权
(天津职业大学高职教育研究所，天津 300410)

【摘　要】产教融合是推动我国职业教育高质量发展的重要举措，也是构建现代职业教育体系的有效发展途径。新中国 70 年来，我国职业教育产教融合经历了萌芽初创期、恢复重建期、改革探索期、创新发展期四个阶段。从职业教育产教融合的历史变迁逻辑，分析职业教育产教融合存在的问题，提出政府立法和出台搭建产教融合平台相关政策，院校应积极主动对接地方行业企业发展、融入先进职业教育理念，改革教育管理机制和运行体系、规范行业企业职业资格认证，积极推动员工专业技能培训、建立和健全职业教育的产学研合作机制等发展理路。

【关键词】职业教育；产教融合；政策梳理；发展理路
【中图分类号】G71　　【文献标识码】A　　【文章编号】1001-8794(2020)08-0059-08

自新中国成立以来，我国职业教育逐渐走出了一条具有时代特征、中国特色教育发展的道路。产教融合是职业教育发展的根本方向，在历史的发展过程中经历了一个长期的、不断发展的历史演进过程。在不同的历史发展阶段，我国职业教育产教融合有不同的发展表述及发展内涵。职业教育，曾提出过工学交替、半工半读、校企合作、工学结合、产教融合、产教结合等不同概念。这些概念是我国职业教育伴随社会经济发展而不断产生的，尽管其演绎及外延的层次及表述不同，但其职业教育内涵和发展本质是一致的。系统总结我国职业教育在产教融合领域的实践经验，厘清现代职业教育“产”与“教”之间的逻辑起点与内涵实质关系，对于完善新时代我国职业教育产教融合、校企合作政策支持及建立长效机制具有十分重要的意义。

【收稿日期】2019-12-19
【基金项目】2019 年度全国教育科学规划教育部重点课题“基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究”，课题编号为 DJA190347
【作者简介】古光甫(1977—)，男，河南信阳人，硕士，天津职业大学高职教育研究所副研究员，研究方向为高等职业教育；邹吉权(1965—)，男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，博士，教授，研究方向为职业教育。

一、我国职业教育产教融合发展政策的历史梳理

(一) 萌芽初创期(新中国成立—1977 年)

新中国成立初期，国家社会建设及文化教育事业处于百废待兴的状态，在学习借鉴苏联等欧美发达国家教育建设成功经验基础上，通过大力发展我国重工业，来提升国家社会经济的发展步伐。[1] 为进一步培养大批社会主义初期国家现代化技能型劳动者整体素质，调整了国家原有教育体制机制的人才培养模式，初步确立了“职业学校要为工农广泛开展社会服务，教育要为国家社会主义经济建设发展服务”的教育方针，这为我国职业教育产教结合的萌芽奠定了基础。1952 年，政务院印发《关于整顿和发展中等技术教育的指示》，明确指出“支持教育管理机构、地方政府、相关单位、主要厂矿机构、各企业及各社会农场合作共办”。①1955 年 4 月，国家劳动部等部委联合召开第一届全国技术学校校长会议，印发《关于提高教学工作质量的决议》，明确指出“职业学校大力开展生产实习教学，要坚持社会生产劳动与职业教育相结合”，提出社会生产实习是技工学校教学的重要构成部分。②1958 年中共中央、国务院印发《关于教育工作的指示》，明确指出支持大型厂矿、行业企业、合作企业等单位积极参与

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

职业学校办学，确立职业教育校办工厂（或农场）的产教结合办学新模式。这是我国职业教育产教合作发展的萌芽初创期，为以后职业教育发展奠定了坚实基础。随后，由于受动乱影响，职业教育办学方式遭受到严重的错误批判，职业教育产教结合陷入十年的停滞时期。

（二）重建发展期（1978—1990 年）

1978 年是我国恢复高考的第二年，职业大学诞生，专科教育随之恢复，也是国家逐步开始恢复全国教育事业发展的元年，是中共十一届三中全会拉开经济体制改革序幕之年。[2] 由于深受动乱影响，全国的教育事业发展基本处于停滞状态，在此期间成长起来的广大青年基本没有接受过学校的系统教育，全社会知识和技术人员都十分短缺。如何给当时的社会上广大适龄劳动者提高专业文化基础知识和职业技术水平，为社会主义建设服务，成为政府一项紧迫而重要的政治任务。1979 年颁布的《国家劳动总局技工学校工作条例（试行）》提出“职业学校教学应大力与社会实际生产劳动相结合，努力培养学生的专业实践应用能力”，[3] 并强调学校教学生产实习应尽可能地贴近企业生产实际，着重培养学生的实际操作技能和解决企业生产实际问题的能力；要求学校的行政主管部门应该安排好相关企业专责协助学生的生产实习。这一规定性条文首次以国家文件的形式明确了教学与社会生产不可分割的关系，以及职业教育要秉承教学与社会生产实践相结合的教育理念，初步勾画出我国职业教育在产教融合政策上的基本雏形。[3]

1985 年中共中央颁布《关于教育体制改革的决定》，明确指出“鼓励各单位合办联办、各行业企业个人及集体、各部门自办或与教育部门联合开办各种职业技术学校”。[4] 提出注重充分调动企事业单位和业务部门办学的积极性。《决定》在《国家劳动总局技工学校工作条例（试行）》的基础上将学校教学与区域社会生产实际结合的产教融合上升到教育部门与行业产业部门联合办学的发展战略目标。1989 年国家劳动部印发《关于技工学校深化改革的意见》，明确提出技工（技术）学校要深入实施院校专业教育和社会生产实际相结合，加强对学生的专业基础基本知识及专业技能方面的培养。

（三）改革探索期（1991—2013 年）

1991 年，国务院印发的《关于大力发展职业技术教育的决定》指出，在发展职业技术教育过程中，大力倡导工学结合、产教结合，提出企业支持并配合各类职业技术和培训中心实习活动，秉承职业技术教育“大家来办”的方针，发展企业、行业、事业单位的联合办学，指出职业教育要积极为区域经济发展服务，在农村要重视办好直接为农林牧业服务，在城市要根据国家产业政策加强技术工人水平培养。1993 年，中共中央国务院印发《中国教育改革和发展纲要》，提倡校企联合办学，走产教结合的发展之路，逐步做到以厂（场）养校教育理念。该文件的颁布，标志我国职业教育产教结合正式进入一个新的改革探索期，也表明国家已经意识到需要进一步丰富职业教育产教融合的内涵。

1995 年 10 月，国家教委印发的《关于推动职业大学改革与建设的几点意见》指出，加强高等职业技术学校与社会生产单位的联合办学，积极探索实行校企结合办学模式，同时指出大力探索职业学校的校办产业等产教结合实践，不断增强职业学校的办学活力与自我发展能力，以提升学校在区域社会发展中的影响力和社会促进作用。这是自 1978 年我国改革开放以来，首次在国家宏观政策层面上，要求教育与社会产业联合办学的明确表述，我国职业教育产教融合正式进入了历史发展的新阶段。1996 年 9 月，国家《职业教育法》正式颁布和实施，明确职业教育发展应当实行产教结合教学模式，支持职业学校由社会多主体联合举办，进一步确立了职业教育产教结合的法律地位，为现今职业教育开展混合所有制办学提供了良好借鉴。该法律的颁布和实施，标志着我国职业教育产教融合从国家政策的层面上升到国家法律的层面，职业教育地位得到明显提升，从此职业教育拥有了自己的法律。在国家首部职业教育法律实施的基础上，随后相继出台了更多职业教育产教融合政策措施，推动职业教育不断创新发展和深化。[4]

2002 年，国务院印发《关于大力推进职业教育发展与改革的决定》，明确提出发挥行业企业举办职业教育的重要作用，企业行业和职业学校要加强校企合作，形成政府主导、依靠企业、社会力量、充分发挥行业作用的多元办学格局，实行多种形式的联合办学，同时确立了政、行、校、企协同联动的职业教育产教融合组织布局。2004 年，教育部印发《关于深化高等职业教育改革的若干意见》，要求区域内社会行业企业积极参与职业学校“订单式”人才培养，全面配合职业学校关于人才培养方案制订工作，开创了职业教育产教结合的人才培养新模式，丰富了我国职业教育不断发展的内涵。2005 年，国务院印发《关于大力发展职业教育的决定》，提出职业院校大力创新工学结合、校企合作的人才培养发展新

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

模式，并指出广泛依靠社会行业企业发展职业教育，开展半工半读、工学交替教育试点，推动职业院校与企业的密切结合，并给予参与企业相应税收优惠政策；对社会行业协会及行业企业主管部门提出了大力开展职业教育和职业培训工作的新要求。[3] 2010年，国务院印发《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》，指出将职业教育发展纳入国家产业发展规划及社会经济规划当中，进一步建立健全政府统筹主导、行业指导、企业全程参与职业教育的联合办学机制，进一步推进职业教育校企合作法制化、制度化，鼓励企业行业加大对职业教育办学的投入力度。

2011年，教育部印发的《关于推进中等和高等职业教育协调发展的指导意见》提出，职业教育产教合作要充分发挥社会企业行业的指导性作用，促进企业生产过程与教学过程对接。2013年，中共中央印发的《关于全面深化改革若干重大问题的决定》提出，职业院校大力开展产教融合、校企合作，培养具有高素质技能人才。这是国家层面首次提出职业教育“产教融合”，是对我国职业教育产教结合的进一步深化。

（四）创新发展期（2014年—至今）

自新中国成立以来，我国职业教育经过七十年的发展历程，已基本形成了东部及东南沿海快速发展的层次分明、纵向贯通、横向衔接的职业教育发展新格局。职业教育已占我国整个教育事业规模的一半以上，人们的观念从开始的职业教育是“有学上”到职业教育是“上好学”转变，职业教育从外延式规模型向内涵质量发展型转变。

从2014年以来，我国职业教育产教融合的形式主要体现在三个方面：一是突出了一些行业企业与国家职业院校共同制订人才培养方案、共同育人的主体地位。2014年，教育部等部门联合印发《现代职业教育体系建设规划（2014—2020）》，首次提出要进一步发挥社会行业企业参与职业教育的主体办学作用，并提出职业教育以产教融合为发展主线，建立行业企业、地方各级政府等共同参与职业教育制度创新教育平台，建立重点产业技术积累创新联合体，标志着行业企业参与职业教育领域的地位发生了根本性变化，从过去社会上红花“配角”变成现代职业教育发展的绿叶的“主角”，也意味着职业教育已经从教学模式、教学方法和教学形式等创新的具体层面，进入到职业院校和企业共同治理、协同发展、协同育人的制度化层面。二是推进职业院校师资队伍的专业化，构建职业教育校企共建共管“双师型”教师队伍的管理机制。2014年，国务院印发《关于加快发展现代职业教育的决定》，提出“深化职业教育产教融合、校企合作，推动职业教育校企共建‘双师型’教师培养培训基地”，[5]这是从国家层面首次提出职业教育“产教融合”的新要求，是对职业教育产教结合发展的再提升，进一步丰富了我国职业教育发展内涵。2014年8月，教育部印发《关于开展现代学徒制试点工作的意见》，明确提出了职业教育校企共同培育、共同管理，成为职业教育向纵层深处合作的新发展。

“十三五”时期，我国经济社会进入高质量发展阶段，进一步加强了职业教育发展的顶层设计，制定了职业教育校企合作、产教融合的相应法律法规和指导意见，构建职业教育校企合作、产教融合长效管理机制。2017年10月，党的十九大报告明确提出深化区域社会行业企业与地方职业院校的产教融合实质内涵。2017年12月底，国务院又印发《关于深化产教融合的若干意见》，促进职业教育资源和区域社会产业联动发展。提出健全国家多元化的职业教育办学体制，用大约十年左右时间构建区域社会产业和职业教育统筹融合发展的新要求，并对国家发改委、人力资源和社会保障部、教育部和各省级人民政府及有关行业协会等进行了重点任务分工，要求教育与产业、学校与企业的协同联动进一步加强。2018年，教育部等六部委联合发布《职业学校校企合作促进办法》，该文件是关于我国职业教育实施产教融合首个法规性管理文件，为职业教育实施校企合作、产教融合发展提供了具体操作性依据和法律保障。2019年1月，国务院印发的《国家职业教育改革实施方案》提出，到2022年培育数以万计的职业教育产教融合型企业，推动建设300个具有辐射引领作用的职业教育集团化、专业化的高水平产教融合实训教育基地。因此，产教融合能更好发挥职业教育对产业转型升级支撑引领作用，促进职业教育与区域经济社会健康、协调发展。

职业教育进一步深化产教融合是适应新常态下我国经济社会发展的有效路径。由于我国高等职业教育起步较晚，目前正经历由政府主导的办学模式逐步向多元化合作办学主体模式的转变。为适应我国产业结构转型升级和经济结构调整优化的新要求，职业教育办学体制改革进一步优化升级，企业、行业、政府、院校等多主体联合办学模式成为新时期职业院校办学的新趋势，这一模式为促进职业教育改革与发展、激发职业教育办学活力、适应新常态经济发展发挥了积极作用。[6]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

目前大多数职业院校都在积极探索产教融合、校企合作发展新模式，并取得了较好的效果。通过对我国中东部和西部职业院校校企合作、产教融合的调查研究，可以看出东部地区职业院校开展产教融合、校企合作的时间较早，合作形式更加多样灵活，合作的层次和水平也较高，融合的程度也较深。相比之下，中部和西部地区职业院校在校企合作、产教融合的形式、层次和水平上相对较低，这与区域经济社会发展的现实及产业结构转型升级的社会需要密切相关。

二、我国职业教育产教融合发展存在的主要问题

职业教育作为与社会经济发展、产业转型升级紧密相关的教育类型，担负着服务区域经济社会发展和培养国家现代化发展进程中所需要的高素质技术技能型人才的历史重任。因此，职业教育产教融合是校企合作的重要衔接途径，是作为职业教育体系构建的必然选择。近些年来，随着国家提出“大力发展职业教育”，我国职业教育产教融合、校企合作得到快速发展，产教融合模式也进入到职业教育稳步发展历史阶段，现阶段职业教育虽然呈现出比较好的发展趋势，但仍存在诸如发展空间不足等问题。

（一）可操作性的有效治理法律体系缺乏

目前，从整体形势来看，虽然我国职业教育关于产教融合的法律及相关政策的文件较多，但缺乏具有可操作性、针对性、实践性文件。我国职业教育的产教融合政策颁布数量从 2008 年开始不断增加，从内容分析上看，大多数政策基本上是关于指导性及建议性的政策，配套性、落实性的政策很少。有关校企育人的政策实施性意义不大，很多文件只是涉及产教融合，很难详细地制定该如何落实下去的具体措施，导致企业在产教融合校企合作中不知道该如何发挥其有效作用，使相关参与主体处于较为冷淡的状态。同时有些与职业教育产教融合直接相关的法规基本缺失及缺乏具体法律法规支撑和保障的指导作用，无法形成有效的监督管理和激励机制，职业教育产教融合的执行力也相应变得较弱，故无法客观、有效进行检测和评估职业教育产教融合的具体实践成效，校企双方的合作也未能得到地方政府机构、人力资源部门及教育行政管理部门的大力支持，从而极大制约了职业教育产教融合的联动发展。

当前，国家虽然出台了许多关于职业教育产教融合政策文件、相关法规，明确提出了产教融合、校企合作是职业教育发展必由之路，同时高职院校也开展了一系列试点实践探索，但事实上职业教育产教融合更多停留在表面的会议上、签订协议上及少量的实习实训和订单就业上，没有真正开展深层次合作，使得职业教育产教融合的实践往往流于形式，产教融合政策带有一定的随意性。没有真正制定能支撑产教融合的涵盖政府、职业院校、行业企业的法律和政策，没能形成有效的长效机制，没能很好激励企业行业融合职业教育的动力机制。在体制机制上，由于产教融合涉及教育行政管理部门、人力资源管理部门、行业企业主管部门等多个条块分割的职能部门，协调成本较高，使得职业教育产教融合程度不够深。在职业教育校企合作、产教融合的过程中，企业广泛、积极参与尤为重要，如果参与企业仅想在合作中获得利润价值，职业教育的“产教”就无法真正实现有效深度融合。除了国家法律体系及相关政策之外，职业教育产教融合的评价机制、标准体系、绩效体系等配套制度也相应缺失，不能有效为职业教育产教融合提供足够的法律支撑。在当今社会信息技术高速发展的浪潮下，大数据时代对经济社会发展的全局性引领作用逐步加强，在这种情况下，通过加强职业教育产教融合的绩效体系、分析体系、评价机制等配套制度建设，进一步强化现代信息技术在产教融合实践中的运用，能及时快捷反映职业教育产教融合的社会经济效益与实际应用水平。2017 年，国务院印发《关于深化产教融合的若干意见》，提出支持第三方评价机构积极参与现代职业教育产教融合社会实践评价当中，进一步健全职业教育产教融合评价机制。

（二）政府主导作用相对较弱

积极发挥政府主导作用是职业教育产教融合健康发展的关键。目前，在产教融合校企合作的治理体系建设中政府主导作用发挥还不够充分。职业教育产教融合治理体系的构建需要政府的统筹规划，更需要政府实行优惠政策或设立专项资金。新形势下我国各地区职业教育发展存在不平衡现象，东部及沿海地区职业教育发展好于中西部地区，且地区之间职业教育发展差距也比较大，校企双方普遍表现为“有合无融”的社会局面。[7] 对产教融合深层次合作认识不足，基本上还是停留在校企合作形式上的关系，没有真正形成深层意义“我中有你，你中有我”的职业教育双方利益共同体关系，人才链、产业链与专业链彼此相互脱节现象比较严重。政府对于职业教育产教融合主导的管理成效不是太高，近几年虽然我国对于职业教育与产业发展之间建立了联

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

动协调机制，但在统筹职业院校和企业持续健康发展的功能上，政府作为行政主导部门还有待进一步加强。

（三）职业院校管理体制不完善

要深化职业教育校企合作、产教融合，需进一步探索职业教育校企合作新模式、新发展、新方法。首先，企业市场化的运行体制与职业院校的管理机制难以在实践运行过程中形成有效衔接；其次，职业院校要培养满足行业企业需求的高素质技术技能型人才，不能仅依靠院校一方的办学力量。企业参与职业院校专业人才培养计划积极性不高，参与度也比较低，总认为人才培养是职业院校的事。同时职业院校人才培养、课程设计、专业建设的全过程与行业企业互动少，也难以形成职业院校与行业企业人才输送的长效管理机制；最后，职业院校“双师型”教师是保证教学质量的关键因素之一。经过职业院校多年内涵建设，特别是经过国家示范校、骨干校及优质校内涵建设，目前我国职业教育发展迅速，基本每所职业院校已拥有一定规模数量的“双师型”专业教师队伍。但职业院校“双师型”专任教师缺口数量仍然较大，大多教师在专业知识传授、实践操作、实训教学、专业指导能力等方面普遍居于中等水平，与职业院校需要的既有丰富的专业理论基础知识又有较强实践教学经验的“双师型”专业教师差距甚远。

（四）企业的“产”与职业院校的“教”不相适应

在职业教育校企合作背景下，通常是由地方政府主导，职业院校主动寻求区域合作企业，学生培养和管理也是由院校负责，院校在产教融合当中发挥积极主动的作用，企业相对处于从属地位。

同时，政府在制定校企合作、产教融合办学的相关法律法规方面，对社会行业企业的激励政策不够。由于企业参与职业教育的主要目的是获得最大化利益，事实上，企业不但没有获得相应利益，反而会增加成本。因此，企业参与的积极性不高，责任意识也不强。于是出现职业院校和企业之间的产教融合缺乏深度运营和交流管理平台，也就出现我们平时所说的“企业冷、学校热”的尴尬社会现象。院校的培养目的倾向于学生学术成果、知识创新、专业技能等社会价值。我国职业教育总体文化层次较低，院校教育没有完全打破解放和发展个人能力的传统，院校毕业生进入职场工作岗位往往不能满足行业企业技术技能人才需要；由于受新现代社会市场经济大潮影响，企业更注重的是新设备技术投入及经济效益和社会效益，缺乏与职业院校合作开展办教育意识，因此二者彼此利益诉求存在严重分歧，造成大部分企业合作意识淡薄，并停留在表面上，缺少深层合作积极性。校企合作、产教融合是职业院校和企业两个维度的合作共赢体，要充分发挥产教融合的作用，双方共同致力于院校专业人才培养的全过程，不能仅靠职业院校的“一头热”，企业要积极深度参与其中。

（五）院校服务区域经济社会发展能力不足

产教深度融合的表现之一是职业院校更好地为区域经济社会发展服务。但是，由于目前校企合作方面及职业院校办学目标存在机制体制性障碍，使得职业院校在人才培养、课程设置、专业设置等方面不能与区域经济社会的支柱产业有效衔接，人才培养方式以及教学过程等方面都滞后于社会及企业的人才发展需求，职业院校在人才培养规格方面没有契合区域经济社会发展的需求。此外，职业院校缺乏大量真正具有“双师”素质的专业教师，也影响了其社会服务能力的提升。

三、深化我国职业教育产教融合发展的实施策略

为解决当前我国职业教育校企合作、产教融合的主要问题，我们可以学习和借鉴发达国家职业教育产教融合的成功经验，认真贯彻教育部《关于深化职业教育教学改革全面提高人才培养质量的若干意见》、国务院《国家职业教育改革实施方案》等文件精神，在以下几个方面进行实施探索：

（一）政府立法和出台搭建产教融合平台相关政策

政府和市场是推动职业教育校企合作、产教融合机制建设的两大基本力量，既要充分发挥政府管理部门的统筹主导作用，又要尊重市场在产教融合中起决定作用的规律，明确地方政府、职业院校、学生、行业企业等各方的责任、义务和权利。由于我国现行法律法规没有将很多鼓励企业行业参与职业教育办学的优惠政策纳入其中，更没有明确规定企业、行业参与职业教育的具体责任和义务，造成行业、企业参与职业教育的积极性总体不高。[8]

因此，国家政府主管部门应尽快修订和完善《职业教育法》，要进一步明确地方政府、职业院校、行业、企业等各相关部门在职业教育产教融合中的主体职责，加大对违法行为的惩戒力度，完善与之相配套的辅助法规体系。同时，应尽快出台国家《职业教育促进法》。规定产教融合经费投入比例不低于国家 GDP 总量的 1%；[9] 通过量化措施强调各类

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

机构承担职业教育产教融合的具体任务，如地方政府设立职业教育产教融合专项管理基金及成果转化担保管理机构；对行业企业参与职业教育联合办学的予以部分财政补贴、税收减免等优惠政策。

通过利益的合理分配、知识产权的共享、税收信贷方面的优惠减免等方面的政策细节来制订可操作性的实施细则。以法律法规及相关制度的手段来调节职业教育产教融合各方的相关利益，鼓励行业、企业尤其是国有大中型企业、上市企业、中外合资企业等率先参与到职业教育校企合作、产教融合办学当中来，同时国家可探索建立由行业指导、企业参与、政府主导的职业教育办学管理机制，充分发挥各自在产业发展规划、经费投入、教学管理、实训基地等方面的优势，让行业企业在职业教育体系建设中发挥指引性作用。

地方政府牵头职业院校、行业企业等部门，成立区域经济社会行业职业教育指导委员会，对地方职业院校的发展规划、招生就业、人才培养、专业与产业发展对接、课程开设等进行指导，负责为职业院校与区域社会行业企业之间的校企之间深度合作和学生顶岗实习实训等牵线搭桥，更好地为地方经济社会发展服务。

（二）院校应积极主动对接地方行业企业发展需求

目前，我国大多数高职院校是由原来普通中等职业学校（或职业技工学校）转型升格而发展起来，大部分高职院校具有一定的行业企业发展背景，因此，导致部分高职院校办学定位不够准确，在院校人才培养、招生规模和专业设置等方面上追求多而广、大而全，与区域经济社会产业发展联系不够紧密，跟不上国家产业转型升级、结构调整的步伐。在未来职业教育改革发展中，建议国家教育行政主管部门根据区域产业发展情况和发展战略，对高职院校的专业设置进行资源整合，明确各职业院校人才培养、办学定位、专业发展方向，将有限的教育资源集中投入到职业院校人才培养、专业建设、课程改革、师资队伍和实训设施建设当中上，防止院校教育资源分散投资或者重复投资造成资源巨大浪费。[10] 具体如下：

1. 专业建设对接区域经济社会产业发展需求

专业建设是职业教育开展教学工作的载体，职业教育要围绕区域经济社会发展的重点工程和重大项目、区域支柱产业、特色产业、新兴产业发展需要，建立动态调整机制，不断调整优化职业院校专业设置和结构布局，重点建设社会需求旺盛、社会服务结合紧密、人才需求量高的专业。从我国职业院校毕业生的就业调查情况来看，大部分毕业生在区域经济社会行业企业就业，这符合职业教育人才培养发展的客观规律。因此，职业院校的专业招生类型、招生规模、人才培养等必须精准对接区域社会产业人才发展需求。只有这样，职业院校才能培养符合行业企业发展需要的高素质劳动者和专业技术技能人才，才能进一步发挥职业教育为区域经济社会产业发展，提升职业教育产教融合的经济效益和社会效益，进一步赢得社会对职业教育的普遍认可度。因此需做好以下两点：第一，职业院校在制订招生计划、专业设置、人才培养目标等之前，要广泛深入行业企业进行专业人才需求调研；第二，应实施专业动态调整运行管理机制，及时撤销社会淘汰及就业率较低的专业，设立新兴市场专业，合并相近专业，不断强化行业产业与职业院校专业建设的联系，使专业建设紧跟区域经济社会发展和产业转型升级的发展步伐，增强职业院校在区域经济社会的发展认可度和吸引力。

2. 课程建设对接职业岗位能力发展需求

课程建设是专业建设的核心内容，也是职业院校学生学习专业基础知识和职业技能水平提高的关键所在，这就决定了职业院校专业建设应与区域经济产业人才需求精准对接，并从职业岗位的“行动导向”、“能力本位”的需求出发，构建以知识、能力、素质三个系统相互支撑专业课程体系，将职业教育产教融合、校企合作办学模式不断深化。第一，课程建设中对专业核心能力课程，应由企业一线技术人员、高级管理人员及职业院校专业骨干教师共同开发制定。校企共建专业技能核心课程既能增强专业课程设置的实用性和科学性，又能确保专业课程内容的使用效果。第二，课程建设应充分吸纳区域经济社会产业的新工艺、新标准、新技术和新要求。同时教材内容不断更新也是课程建设的核心要素，因此职业院校专业骨干教师要高度关注行业企业的最新科技成果和发展动态，将企业的新标准、新工艺、新技术、新要求引入职业院校专业核心课程教学当中，以培养更加适合区域社会产业发展需求的高素质技术技能人才。第三，职业院校专业课程标准要对接区域社会产业职业岗位能力标准。在制订课程标准的过程中，依据不同工种岗位、不同级别的职业资格认证，参考借鉴区域经济社会行业企业各职业的技能标准，制订不同阶段的学生课程标准。同时课程标准也是对学生完成一定阶段学习成效的评估标准。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3. 院校师资队伍对接行业企业的专家技术能手

专业建设的基础是师资队伍建设，职业院校应着力建设一支与办学目标发展相适应的师德高尚、结构合理、业务精湛、专兼结合的高素质专业化师资队伍，这是推进职业教育产教融合的重要抓手。多年来，我国职业院校师资队伍数量严重不足，尤其是既具有讲授实践技能，又具有讲授专业理论知识课程的“双师型”教师队伍更是严重匮乏，严重制约了职业院校人才培养质量。因此，职业院校必须大力推进产教融合、校企合作，以职业院校专业骨干教师对接行业企业骨干人员、专家技术能手等模式拓宽职业院校师资队伍的引进渠道，同时职业院校应加强自身培养，提高院校师资队伍的授课能力，达到整体提高职业院校师资队伍教学水平。第一，职业院校要改变新教师招聘方式，改革教师人事管理制度，不断引进区域经济社会行业企业专家技术能手、骨干人员等充实到职业院校专业教师队伍当中。第二，职业院校要通过培养、培训、进修等方法，不断提升自身院校教师队伍的教学及管理水平，积极鼓励职业院校一线教师深入行业企业顶岗实习、挂职锻炼等形式，到企业了解现代企业的生产管理、经营理念、技术开发等模式，不断学习企业新工艺、新技术、新方法，同时职业院校专业教师利用自身的专业理论知识为区域行业企业的技术研发和生产经营提供咨询服务，实现不断提高自我与创造社会价值的“双丰收”。通过行业企业的专家技术能手对接院校师资队伍建设，不仅能让学校人才和社会性人才相互融合、互为补充、形成合力，还能改善职业院校师资队伍的来源、结构和素质，从而构建起的职业院校更加强劲的“双师型”师资队伍。

4. 职业院校实践教学平台建设对接区域经济产业的产研需求

职业教育是培养学生以实践动手能力、技术服务为主的一种类型教育，实践教学是职业院校专业核心技能课程的主要教学环节。因此，职业院校在进行产教融合的过程中，要注重实践教学建设平台对接区域经济社会产业产研社会发展需求，不断完善职业教育实践育人体系建设。第一，职业院校实习实训平台建设要精准对接区域社会产业职业岗位的发展需求。一方面，职业院校在基础设施建设上，要不断根据行业企业的实际生产需求和工作情境来购买相关实践设备和实践场地；另一方面，教师在日常实践教学内容上要根据行业企业的职业技能水平来确定教学内容，且应充分体现行业企业工作岗位的具体技能要求。第二，职业院校实践教学建设平台对接区域社会行业企业的技术研发需求。通过有效对接，既能深化职业院校实践教学“产学研一体化”的程度，又能降低职业院校研发基地和实验实训基地的投入，进一步提升职业院校为区域经济社会技术服务能力和社会影响力，可谓一举多得。

（三）融入先进职业教育理念，改革教育管理机制和运行体系

校企合作、产教融合是职业教育向其内涵发展本质的回归。将产教融合的理念贯穿到职业教育改革发展当中，将“知行合一、工学结合”“产教融合、校企合作”作为深化院校职业教育教学改革，提高专业人才培养质量。[11] 将职业教育与区域经济社会产业发展紧密联系起来，充分发挥行业企业对职业教育的指导作用。职业院校要将对新招聘专业教师且具有3—5年企业实际工作经历（或经验）作为准入的必备条件之一，确保职业院校专业教师的理实一体化教学实施。教育行政管理部门要就区域经社会产业（行业）人才培养要求、规格要求、评价标准等方面，主动联系行业协会、企业主管部门，作为职业教育发展规划必要决策程序和实施依据。地方政府应深入推进职业院校和行业企业产教深度融合，汇聚产、教两方面力量和资源，建立相应的工作约束机制，共同提高职业教育人才培养质量。

（四）规范行业企业职业资格认证，积极推动员工专业技能培训

我国现正处于产业转型升级和经济结构调整发展期，原来的劳动密集型、资源能耗型的低端、社会污染大产业正逐步退出历史舞台，产业结构转型升级后，原有的一部分没有经过正规职业技能培训的下岗工人、农民工、产业工人等人员无法适应现代企业职业岗位用工的需要。同时大多数社会行业企业对从业人员资格技能有一定的要求，且对从业人员岗位的职业资格证书需求有明确的要求和规定。目前我国除一些特殊职业岗位需持证上岗之外，大部分职业岗位还没有要求从业人员需有资格证书的规定，因此从业人员对获取岗位技能资格证书和参加职业技能培训的积极性不高，制约了我国劳动力整体技能水平的提高。我们可以学习欧、美等发达资本主义国家的先进成功经验，行业委员会及国家行业管理部门可以逐步规范行业企业的职业岗位用人需求，逐步推行从业人员的职业资格准入制度，持证上岗。如2014年，湖南省建设厅发文，确认一批具有建筑行业职工培训资格的职业院校，要求到2016年湖南省完成一级建安资质企业职工的从业资格培

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

训;要求到2020年底全省建筑行业从业人员必须经过职业技能培训且获取行业资格证书方能上岗。职业院校可与区域经济社会对口行业企业紧密合作,大力开展行业企业职业技能和职业资格培训,形成职业院校从过去单一学历教育到区域社会行业企业从业人员职业资格培训、职业技能等级证书、学历教育、企业在职人员职业技能提升培训于一体的现代职业教育体系,真正实现职业教育的校企合作、产教融合发展局面。

(五)建立和健全职业教育的产学研合作机制

为顺应区域经济社会高质量发展和建立创新型国家的要求,建议加快建立和健全我国职业教育产学研合作机制。第一,在职业教育领域牢固树立产学研合作的教育理念,引导和鼓励职业院校、行业企业和科研院所广泛开展产学研合作创新联动机制。第二,加快建立健全我国职业教育产、学、研合作的相关法律法规,对职业教育产、学、研合作过程中政府、行业企业、学校等的各自权利和义务、责任,应制订具体可操作化的管理办法。第三,建立和健全职业院校与区域社会行业企业联合制定院校专业人才培养方案、联合开设专业、联合开发校本课程的合作管理机制,使职业院校的教学内容与区域社会行业企业需求紧密结合。

【注释】

①周恩来.中央人民政府政务院关于整顿和发展中等技术教育的指示[J].人民教育,1952(5):56.

②第一次全国工人技术学技校长会议.第一次全国工人技术学技校长会议关于提高教学工作质量的决议[J].劳动,1955(10):1.

③国家劳动总局.国家劳动总局技工学校工作条例(试行)(〔1979〕劳总培字6号)[Z].1979-02-20.

④中共中央.关于教育体制改革的决定(国发〔1985〕21号)[Z].1985-05-27.

⑤国务院.关于加快发展现代职业教育的决定(国发〔2014〕19号)[Z].2014-05-02.

【参考文献】

[1] 彭莉洁.职业教育产教融合的历史演进、逻辑起点与战略要点[J].教育与职业,2019(3):19—25.

[2] 高文静,傅琳.改革开放四十年我国职业教育产教融合政策演变与若干建议[J].南通职业大学学报,2018(9):23—26+48.

[3] 祁占勇,王志远.改革开放40年企业参与职业教育办学政策的演进与展望[J].河北师范大学学报(教育科学版),2019(1):83—89.

[4] 葛道凯.中国职业教育二十年政策走向[J].中国教育科学,2015(10):3—13+81.

[5] 李玉静,程宇,董衍美.职业教育科研:激荡思想、理性成长——改革开放40年来中国职业教育科学研究发展报告[J].职业技术教育,2018(11):6—19.

[6] [7] 汤智华.我国职业教育产教融合的经验、瓶颈及出路[J].成人教育,2019(1):71—75.

[8] 吴建新.职业教育产教深度融合的实践与思考[J].现代职业教育,2018(11):38—41.

[9] 翟志华.职业教育产教融合的路径优化[J].安徽商贸职业技术学院学报,2019(6):52—55.

[10] 陈志杰.职业教育产教融合的内涵、本质与实践路径[J].教育与职业,2019(3):35—41.

[11] 欧阳河,戴春桃.产教融合的内涵、动因与推进策略[J].教育与职业,2019(7):51—56.

The Logic of Policy Change and the Way of Realization of Industry-education Integration of Vocational Education in 70 Years of New China

GU Guang-fu, ZOU Ji-quan

(Educational Institute of High Vocational Technology, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

【Abstract】The industry-education integration is an important measure to promote the high-quality development of vocational education in China, and also an effective way to build a modern vocational education system. In the past 70 years of new China, the industry-education integration of vocational education has experienced four stages: the initial stage, the recovery and reconstruction stage, the reform and exploration stage, and the innovation and development stage. Based on the history of the industry-education integration in vocational education, this paper analyzes the existing problems of the industry-education integration in vocational education, and puts forward that the government should legislate and issue relevant policies to build the integration platform of industry and education; colleges and universities should actively connect with the development of local industry enterprises, and integrate advanced vocational education concepts; reform the education management mechanism and operation system; standardize the vocational qualification certification of industry enterprises; actively promote employees professional skills training, and establish and improve vocational education industry university research cooperation mechanism and other development strategies.

【Key words】vocational education; industry-education integration; policy carding; way of realization

(编辑/关永承)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

信息化技术在高职新工科专业教学设计中的应用路径探索

韩晓冬[1]，姬 君[1]，王丽颖[2]
（1.天津城市建设管理职业技术学院 建筑工程学院，天津 300134；2.天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410）

摘要 数字时代下，将信息化技术应用于高职新工科专业教学设计中能够提升教学效果，激发学生学习兴趣。基于此，本文首先阐述了信息化技术发展促进高职新工科专业教学设计优化的内在逻辑，然后以典型的视觉传达专业中“装饰艺术设计基础”课程的项目为例，进行了教学设计案例展示。最后从借助信息技术创新教学理念，变革教学模式，优化教学方法；提升新工科教学中的数字信息技术应用水平；创设线上线下相结合的任务实践教学模式；打造线上线下互融、多元化的综合评价体系四个方面提出了信息化技术在高职新工科专业教学设计中的应用路径。

关键词 数字时代；信息化技术；高职新工科专业；教学设计
中图分类号 G642 **文献标识码** A **文章编号** 2097-2474(2023)04-67-07
DOI 10.19370/j.cnki.cn10-1886/ts.2023.04.010

Exploring the Application Path of Informatization Technology in Teaching Design of New Engineering Majors in Higher Vocational Education

HAN Xiao-dong[1], JI Jun[1], WANG Li-ying[2]
(1. *Department of Building Engineering, Tianjin Urban Construction Management & Vocation Technology College, Tianjin* 300134, *China*; 2. *College of Mechanical and Electrical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin* 300410, *China*)

Abstract Under the digital era, applying informatization technology to the teaching design of new engineering majors in higher vocational colleges can improve teaching effect and stimulate students' interest in learning. Based on this, firstly, the inner logic of the development of information technology promoting the optimization of teaching design for new engineering majors in higher vocational colleges was elaborated in this paper. And then, taking the typical course project of the “fundamentals of decorative art design” in the visual communication majors as an example, teaching design was carried out. Finally, the application path of information technology in the teaching

收稿日期：2023—05—10 修回日期：2023—06—08
项目来源：天津职业大学教育教学改革专项课题(No.JGZX2023125)
本文引用格式：韩晓冬，姬君，王丽颖．信息化技术在高职新工科专业教学设计中的应用路径探索[J]．印刷与数字媒体技术研究，2023，(4)：67—73，167．

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

design of new engineering majors in higher vocational colleges was proposed from four aspects including using of informatization technology to innovate teaching concepts, transforming teaching models, and optimising teaching methods; enhancing the application level of digital informatization technology in new engineering teaching; creating a task practice teaching mode that combines online and offline teaching; and developing a comprehensive evaluation system that integrates online and offline integration and diversification.

Key words Digital age; Informatization technology; New engineering major in higher vocational education; Teaching design

0 引言

2021年《“十四五”规划和2035远景目标纲要》从数字经济、数字社会、数字政府、数字生态四个维度提出了我国要加快数字化发展、建设数字中国的总体目标。与信息技术相关的一系列数字化理念、技术、方法已经成为不同行业、不同领域、不同学科专业发展的重要影响因素。同时，伴随着大数据、AI技术、物联网、云计算等技术的发展，先进的信息化技术在教育教学中的广泛应用已成为我国教育现代化的重要标志。与上述情况相关联的是，教育部于2017年提出了指导高校改造升级传统工科专业发展新兴工科的发展目标。其目的是以互联网和工业智能为核心，对传统工科专业进行改造升级，倡导多学科相互交融，培养多元化的创新型人才。

而作为培养职业人才重要力量的高等职业院校，也势必会响应国家数字化建设的总体要求，调整传统专业设置，推行跨学科改革，以满足高职新工科专业的数字化转型要求。2019年国家出台了《国家职业教育改革实施方案》，倡导开发信息化资源，并运用现代信息技术改进教学方法。2020年教育部重新修订《职业院校数字校园规范》，从数字资源、教育教学、评价指标等方面对高职院校数字化转型提出了新要求。上述政策文件，为数字时代下的高职新工科专业建设指明了方向。

天津城市建设管理职业技术学院的视觉传达专业（装饰工程技术方向）以科学为基础，信息技术为手段，视觉传播为特点，培养德智体美劳全面发展的高等职业技术人才，在教学过程中涉及工、文、理、管理学等不同门类的知识，是典型的集艺术设计、数字媒体、工程技术等为一体的跨学科专业。该专业综合应用各种科学和艺术手段，在发展中逐步形成了实践性强、应用性广、综合性高的特点。本文将信息化技术应用于该专业的教学设计过程，对促进其人才培养模式的数字化转型，具有典型意义。

1 信息化技术发展促进高职新工科专业教学设计优化的内在逻辑

1.1 信息技术赋能高职新工科专业的整体发展

新工科是教育部为顺应新时代数字信息与经济社会高速发展的挑战、服务国家整体战略发展和行业产业进步而实施的一项高教改革行动。这一理念的提出充分反映出高教领域对我国“百年未有之大变局”的现实应对，也反映出我国时代发展的现实特征。

众所周知，新工科专业主要包括新兴、新型和新生三个维度的内容。高职院校是高等技能型人才培养的重要基地，以视觉传达专业为例，涉及“艺术学”“数字技术”“材料学”“建筑学”等课程。面对新工科理念开展的新工科教学，需要整合其他专业的知识、技术，构建新的知识体系和教育教学模式。而将5G通信、大数据、VR（虚拟现实）、AR（增强现实）、人工智能等现代数字信息技术与视觉传达专业相融合，正好能改变单一教

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学模式，丰富课程体系，使专业教学呈现出创新引导、多元互动、学科交叉、知识互融、强化实践等特征，从根本上提高教学效率，满足学生日益增长的个性化需求。

1.2 信息技术提升高职新工科专业人才培养效率

数字时代的高职新工科专业的教师在实际教学过程中能够充分利用网络、大数据、云计算、虚拟现实等先进的信息技术来提高教学效果。通过各类教育软件系统，教师可以随时随地指导学生的学习活动，快速、高效地巩固学生的学习效果。学生在教师的指导下，借助精品课程、慕课、微课、教育APP等平台来开展学习活动，切实突破了教材与课堂的局限性。同时依托网络平台的优质学习资源，学生可以结合自身的实际需求来收集和利用有效的内容，提升学习的自主性、便捷性。由此，高职新工科专业的人才培养效率大大提高。

1.3 信息技术激发高职新工科专业学生学习兴趣

以往的学习模式具有较为显著的发展局限性。数字时代的高职院校正努力推动着教育观念、资源、方式的创新性改革。其新工科专业通过多元化的教学手段与评价方式来促进移动教学、个性化教学的快速发展。现阶段，线上线下学习活动融合度越来越高，移动式学习方式也得到了大多数学生的认可，使得教育具备更为显著的个性化属性，能够在很大程度上促使师生角色的转变，教师从以往的满堂灌输教学方式逐渐成长为教学的引导者。多元化的信息技术手段、创新性的教学模式和理念，让学生变被动为主动，增加了对专业课程的学习兴趣。

1.4 信息技术助力高职新工科专业课程教学质量的提升

数字时代的高职新工科专业教学内容设计环节，非常关注学生“体验感”的提升，而信息技术与教学活动的结合，最显著的优势就体现在能够为学生打造一个更为健康的学习成长情境。教师根据学生的身心发展特征应用不同的信息技术手段，制定不同的教学策略，让学生获得不同的学习体验，在多元化的教学模式中感知学习的价值和意义。形式多样、内容丰富的学习活动营造了良好的课堂氛围，从而真正提高了教学水平和效果。

2 信息化技术在高职新工科专业课程教学单元设计中的应用实践案例

天津城市建设管理职业技术学院的视觉传达专业是一个紧随时代变化、伴随着科技进步和人类社会需求不断发展的专业，其教学过程需要交替使用逻辑思维和形象思维，具有非常明显的跨学科特征。本文对该专业所设置的“装饰艺术设计基础”课程中的住宅空间材料选用项目进行分析展示。

2.1 教学分析

2.1.1 “装饰艺术设计基础”课程性质

“装饰艺术设计基础”是视觉传达专业的一门专业必修课。本课程依据人才培养方案、课程标准，参考课程教材，将教学内容重构，创设相应学习情境。本文选取课程内容项目四“空间设计”中的任务六——住宅空间材料选用作为案例，具体探讨课程教学设计中的应用路径。

2.1.2 学情分析

授课对象为视觉传达专业二年级学生，通过先导课程“数字媒体设计”“制图与识图”“图像处理”，使学生读懂设计案例中的设计图，并会使用数字化软件进行简单的制图。同时，通过前一个项目的学习，学生掌握了查找资料的途径和方法，具备一定的项目分析基础。学生也愿意进入企业进行市场调研，具备了对装饰材料的直观感知和一定的生活经验，乐于使用VR仿真软件进行体验式学习。

2.1.3 教学目标

根据人才培养方案，结合课程性质及学情分析，确定本课程教学目标，见表1。

2.1.4 教学内容重难点

依据教学目标和学生的认知规律，确定了教学重点为：室内装饰材料常见的品种、性能特点、规格尺寸及应用场所。教学难点为：根据三大界面（天棚、墙柱面、楼地面）对材料的要求，合理选用装饰材料进行方案设计。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 “装饰艺术设计基础”课程教学目标
Tab.1 Teaching objectives of “fundamentals of decorative art design” course

教学目标	基本要求
知识目标	能阐释装饰材料的质感、肌理等视觉审美特征；能描述室内装饰材料常见的品种、性能特点、规格尺寸及应用场所
能力目标	能够合理选用装饰材料进行方案设计。素质目标为：锻炼搜集资料、自主探究、独立思考的能力
素质目标	锻炼搜集资料、自主探究、独立思考的能力；培养团队合作的集体意识；增强职业认同和行业归属感

2.2 教学策略

2.2.1 理论依据

1）建构主义学习理论

建构主义主张学生不是被动地接受知识，而是借助他人或其他手段来学习新的知识。建构主义认为，学习必须与自身的文化背景相结合，创造一个适合学生学习的环境。当今信息化社会对学生的学习环境产生了很大影响，学生可以充分利用各类信息化资源进行自主学习。而面对复杂多样的信息化资源，学生需要自行选择，并在此基础上构建自己的知识体系。因此，如何有效地激发学生的主动性和以人为本的教育就显得非常重要。

2）人本主义学习理论

人本主义强调尊重人的价值和主观能动性。在教学过程中，应注重教学手段，以及学生自主学习；教师要尊重学生、充分认识学生；发掘其特征、发挥其特长，促进其全面、个性发展，培养其创新能力。

2.2.2 教学方法

以立德树人为根本任务，遵循“学生主体，教师主导”的教学理念，采用线上线下混合式教学模式，调研市场所需，以真实空间设计中材料的选用为载体，体现“做学教合一”，针对学习和实践反馈及时调整教学，灵活运用教学组织形式，激发学生学习兴趣。

依据教学内容和教学目标合理组织教学，以真实设计案例为载体，分别利用数字信息化软件演示及材料样本展示的方法，丰富教学内容，提高学生的兴趣，有效化解教学难点。根据学情分析，因材施教，将学生合理分组，分工合作完成任务。适时加入思政元素培养学生良好的职业道德和精益求精的工匠精神。采用项目教学法、任务驱动法、调研法，借用多种信息技术和媒体资源组织具体教学活动。

2.2.3 考核评价

为更好地考查高职学生实践能力，改变了既往单纯地注重理论、忽视过程的考核形式，考核评价内容设计见表2。

表2 考核评价
Tab.2 Evaluation

评价内容	占比（%）
课前市场调研	10
课中PPT汇报调研成果	30 （师评60%+自我评价20%+小组互评20%）
课中笔记	10
材料样板制作	30
课后习题和拓展	20

2.3 教学实践

本教学设计中，整个教学流程分为：课前——明任务；课中——做学教；课后——固本领。三个主要步骤如图1所示。

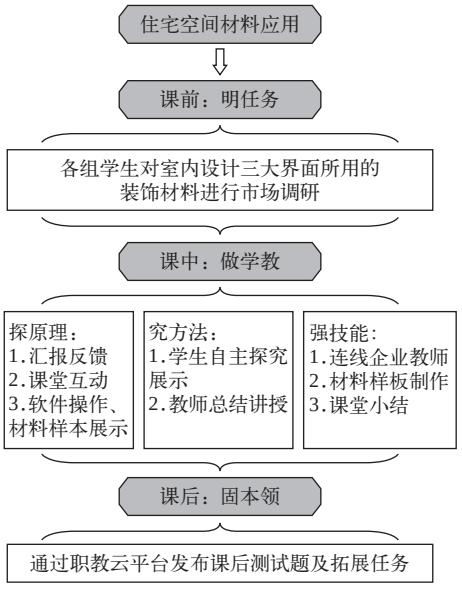


图1 教学流程
Fig.1 Teaching process

2.3.1 课前——明任务

1）分组，通过信息化平台发布任务

对学生进行分组，通过职教云平台发布任务。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以祖孙三代同堂的大户型住宅为例，对学生进行实践演练。学生线下完成，收集视频、图片和文字资料等。

2）任务调研

开展各组的任务调研，任务类型分别为：顶棚装饰材料的选用、墙面装饰材料的选用、楼地面装饰材料的选用。学生分组到材料市场调研了解三大界面装饰材料各生产厂家的信息、材料发展的最新信息、材料价格的变动情况以及材料选购方面的相关经验。依托教学平台，拓展学习时间和空间，培养学生自主探究和独立思考的能力。

2.3.2 课中——做学教

1）环节1——探原理

汇报反馈：教师复盘课前任务，组织每组学生对课前领取的任务单（如顶棚装饰材料、墙柱面装饰材料、楼地面装饰材料）进行市场调研情况汇报，并对各小组调研情况进行点评。汇报过程中，组间互相聆听调研方案，听取老师的点评意见。学生参与课堂设计和组织，在任务汇报中探究新知，培养学生团队意识和课堂主人翁意识。

课堂互动：教师针对本次项目祖孙三代同堂的大户型案例，让学生思考在进行材料选择的时候应注意的问题。学生从住宅空间的适用性与居住者的精神文化需要等方面，思考并回答教师提出的问题。

数字化软件操作、材料样本展示：教师引导学生使用酷家乐数字绘图软件演示各种装饰材料的品种、花色以及在空间设计中的运用效果，组织学生进行虚拟仿真体验，并进行材料样板展示。

学生通过酷家乐数字绘图软件公共素材库中各种材质的使用，了解装饰材料在空间设计中的价值。戴上VR眼镜，身临其境地体验材料的应用变换对空间设计产生的具象效果。通过观看、触摸装饰材料，感受其颜色、质感、肌理等视觉审美特征。同时可以较为容易地掌握装饰材料的规格、性能等技术指标。

通过置换软件素材库中不同的材料，以演示各种材料在空间设计中的装饰效果，丰富教学内容，提高学生的兴趣，突破教学难点。教学中针对抽象的知识进行样本展示，增强了教学的生动性与直观性。在学与做的过程中能够增强学生的自信心，改变学生的接受方式，增加参与度。

2）环节2——究方法

教师根据学生自主探究成果，讲解室内装饰材料的分类、性能特点、三大界面装饰材料的选用。使学生了解装饰材料在颜色、形态、肌理、情感诉求、文化传递等方面的审美属性与文化属性。

各小组学生剖析自己在调研报告中存在的问题和易错点，共同讨论，总结出三大界面装饰材料选用的关键点，并在印记云笔记APP上总结学习收获。学习笔记及时反思总结，使学生记录通过自身努力取得成就和发展的过程，记录个人纵向发展，实现评价的激励和促进作用。同时，向学生强调了教学重点。

3）环节3——强技能

连线企业教师：邀请企业设计师对学生就空间设计中装饰材料的应用原则进行指导，对接企业标准，联系实际要求，提升学生的职业素养。学生近距离学习企业标准和行业精神，及时总结反思。企业导师给学生以最贴近工作岗位需求的引导，增强学生的职业认同和行业归属感，使学生体会精益求精的工匠精神。

材料样板制作：教师组织学生以小组为单位，制作材料样板，要求充分体现设计意图，表达材料搭配形式。学生根据设计理念和住宅空间意境要求，收集与之相关的装饰图片或材料，将其整理，标注标签，表明使用地点并配以相应的文字说明。

课堂小结：教师组织学生整理易错点，巩固教学重点难点知识。学生在印记云笔记APP上反思总结自我存在的问题和积累的经验，自我激励，巩固提升。

2.3.3 课后——固本领

教师在职教云平台发布课后测试题，检验教学效果。根据课程平台数据反馈，对成绩优异同学发布拓展任务——建筑装饰材料的发展趋势调研；对

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

后进生的情况进行跟进，从兴趣和能力双入手，给予分层个性化指导。学生完成课后测验题，并进行交流学习，将拓展任务的调研结果发送至职教云平台，同学之间相互讨论、评价、学习。利用教学软件的评分系统，综合学生各环节学习情况，计算教师评分、学生互评分数。

合理利用有效充裕的课后时间，完成拓展任务、强化重难点、巩固本领。通过分层指导，保证同步学习进度，增强学生的学习自信心。

2.4 教学效果

以真实大户型空间设计中材料的选用为载体，学生以小组方式在边学习、边实践的过程中习得知识。突出“学为主体，教为主导，疑为主轴，动为主线”的宗旨。教师变教为启、变教为导；学生变学为思、变学为悟。

虚拟仿真技术在沉浸式学习、多维交互性操作实践中，能够发挥较大优势，突破教学难点、重点，让学生快速提升住宅空间设计水平，增强创新实践能力，值得在教学中推广使用。

3 信息化技术在高职新工科专业教学设计中的应用路径

3.1 创新教学理念，变革教学模式，优化教学方法

信息技术与高职新工科专业教学工作的紧密结合，在很大程度上推动了教学流程的创新发展，有利于增强学生自主学习能力，促进个性化学习模式的形成。这就要求教师合理借助信息技术的优势来转变落后的教学观点，创新教学方式和手段，树立正确合理的教学理念。

高职院校的学生普遍理论知识基础差，但思维活跃，更愿意接受新奇的事物。教师合理借助信息资源的优势来拓宽教学素材的获取渠道，完善自身的教学内容，切实提高教育效果，就能够将学生吸引回课堂。首先，教师要根据教学进度和所授知识的逻辑关系，采取合理的教学理念，如翻转课堂、自主学习、可视化学习、团队协作等。其次，教师要根据不同的教学项目选择不同的教学模式如任务驱动、问题导向、个性化教学、混合式教学、虚拟现实等。最后，教师要结合实际的教学需要应用最为高效的教学方法如启发式、案例研究式、虚拟现实式等。

3.2 提升新工科教学中的数字信息技术应用水平

首先，数字时代下的高职新工科专业教师必须要熟练运用各类先进的信息技术手段，要依托互联网平台上各类优势教育资源和共享平台，如国家级教学资源库等来获取所需的优质资源；要借助信息技术的优势来组织线上教学活动，努力推动信息化课堂的建设和完善，形成具有个性化、创新性的教学方式，突破时间与空间的局限性。只有推动线上与线下、现实与虚拟、课内与课外教学工作的真正融合，才能使得学生的学习活动变得更加自由和高效。

其次，教师要将信息技术融入到课前、课中、课后各个教学环节之中。在课前环节，教师可以将准备好的教学视频、课件、学习任务、作业设计等资源都共享到线上教学平台之中，引导学生开展在线预习与互动活动，结合学生在线上平台所提出的建议来调整教学的重点、难点，合理完善教学方式和手段。在课中环节，教师要合理发挥在线教学平台的功能优势，如检查考勤、公布学习任务、共享学习资源、检查作业、录制教学视频等。要将课堂上网页端、手机端、企业专家点评一体化紧密结合，VR教学视频也应融入到学习活动中，有弥补传统课堂教学体验感不足的弊端，进一步拓宽教学渠道，激发学生参与的积极性。在课后环节，教师将教学视频、课件、案例、微课设计等教学资源共享到在线教学平台，引导学生合理利用课后时间做好复习、线上检测等工作。教师也能够在平台上及时解答学生提出的问题，检查课后作业，并开展评价工作，从而能够及时掌握、追踪、评估学生的实际学习情况。

3.3 创设线上线下互融的任务实践教学模式

以视觉传达专业为例，其作为典型的高职新工科专业，关键是要增强学生的实践动手能力。这就要求教师在教学中遵循“校企合作、产教融合、工

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学结合”的育人理念，采取科学有效的实践教学策略，与校外企业建立完善的校企共育机制，构建一系列校外实践教学基地，切实提高学生的职业能力素养，合理借助校企资源共享的优势来提高教学效果，通过企业的实际案例以及工程项目来丰富实践教学的内容，构建一套理论学习、技能强化、素质培育与实践工作内容为一体的教学机制。

数字时代下的高职新工科专业线上线下相结合的任务实践教学模式的创设，不应该只局限于一堂课，而应该形成引入管理学中的“全过程”管理理念，即从学生入学到毕业顶岗实习均引入“任务实践”模式。此模式有利于更加有效地贯彻产教融合、工学结合的教学原则，切实增强学生的实践动手能力，提高学生的职业素养和能力，也可更好地适应未来的职业角色，满足职业发展的实际需求，促进学生全面发展。

3.4 打造多元化的综合评价体系

第一，从评价指标的角度，要结合学生课堂成绩、考勤情况、作业表现、平时检测结果、期末检测结果等指标进行考核，同时也要结合团队协作能力、竞赛获奖情况、实践实习情况等指标来丰富评价内容，使学生不仅重视课堂的学习，还能引导学生努力增强自身的团队协作能力，广泛地参与到专业竞赛活动中去，切实增强专业实践能力。第二，从评价主体的角度，不仅要进行教师评价，同时也要开展学生自评、生生互评、企业教师评价等活动，进一步拓宽评价主体范围，并利用线上平台评价方式更准确高效地收集和整理相关的评价数据，提高多元主体参与评价活动的效率，突破传统评价模式过度依赖教师这个单一的评价主体的弊病；进一步提高评价结论的可靠性和合理性。第三，从评价方式的角度，要改变落后的评价方式，借助信息化平台的优势，合理利用集体式、流水式、交换式的评分方法来提高评价的客观性和科学性。第四，从教学效果评价的角度，要转变过于注重学生成绩的传统评价方式，结合学生抬头率、听课率、任务参与度、信息化教学软件的使用率等因素，掌握学生学习效率的情况，促使教师不断进行教学改革，切实增强专业能力。

总之，在整个评价过程中，要合理借助信息技术的优势来开展线上评价活动，创建完善高效的评教体系，准确及时地追踪各个环节的实际教学情况，做好教学反思工作，才能促进教学改革工作的开展，真正提升教学效果。

4 结语

高职新工科专业“数字化升级”中的一项重要任务就是构建具有跨学科内容整合特征的信息化教学设计框架，其有助于提升专业人才培养效率，激发学生学习兴趣及助力课程教学质量提升，更有助于高职新工科专业的整体发展。本文以视觉传达专业课程为例进行了实践研究，提出了信息化技术在高职新工科专业教学设计中的应用路径。希望促进数字时代信息化技术在高职新工科专业教学工作中的发展。

参考文献

[1] 许艳丽, 张钦. 智造时代新工科人才培养模式变革的诉求、困境与选择[J]. 黑龙江高教研究, 2022, 40(9): 47-52.
XU Yan-li, ZHANG Qin. Appeals, Difficulties and Choices of New Engineering Talents Training Mode Reform in Era of Intelligent Manufacturing [J]. Heilongjiang Researches on Higher Education, 2022, 40(9): 47-52.

[2] 高波, 霍凯, 陈羽, 等. 新工科背景下提升学生创新实践能力的探究[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(6): 178-181.
GAO Bo, HUO Kai, CHEN Yu, et al. Research on Methods of Improving Students’ Innovative and Practical Ability under the Background of New Engineering [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2022, 41(6): 178-181.

（下转第167页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

院学报, 2023, 22(1): 4-7.
LI Shuang. Research on the Enlightenment of Huang Yanpei's Labor Education Thought on the Reconstruction of Labor Education System in Higher Vocational Colleges in the New Era [J]. Journal of Changzhou College of Information Technology, 2023, 22(1): 4-7.

[7] 陈业秀. 从陶行知“生活教育”视角看高职劳动教育困境的三维超越[J]. 职业技术教育, 2022, 43(27):76-80.
CHEN Ye-xiu. The Three-dimensional Transcendence of the Plight of Higher Vocational Labor Education from the Perspective of Tao Xingzhi's “Life Education” [J]. Vocational and Technical Education, 2022, 43(27): 76-80.

[8] 余宏涛, 胡斌武, 孔晓燕. 新时代高职院校劳动教育：应然逻辑、现实挑战与发展策略研究[J]. 高等职业教育探索, 2022, 21(4): 48-53.
YU Hong-tao, HU Bing-wu, KONG Xiao-yan. Labor Education in Vocational Colleges in the New Era: Research on the Logic of Necessity, Practical Challenges and Development Strategies [J]. Higher Vocational Education Exploration, 2022, 21(4): 48-53.

[9] 宋词, 吕勇, 咸政卫, 等. 基于MOOC的“平面设计”课程柔性化设计探讨[J]. 数字印刷, 2019, (3): 47-51.
SONG Ci, LV Yong, XIAN Zheng-wei, et al. Discussion on Flexible Course Design of Graphic Design Based on MOOC [J]. Digital Printing, 2019, (3): 47-51.

主要作者



宋词（1987年-），硕士，副教授；主要研究方向为印刷包装设计及工艺。
SONG Ci, born in 1987. She got the master degree and now is an associate professor. Her main research interests are design and technology of printing & packaging.



吕勇（1983年-），博士，教授；主要研究方向为印刷包装材料与工艺。
Prof. LV Yong, born in 1983. He got the doctor degree. His main research directions are printing and package materials and processes.

（上接第73页）

[3] 曾丽娜. 信息化视阈下高职教育高质量人才培养路径探析[J]. 江苏高教, 2023, (5): 93-96.
ZENG Li-na. An Analysis of High-Quality Talent Cultivation Path in Higher Vocational Education from the Perspective of Informatization [J]. Jiangsu Higher Education, 2023, (5): 93-96.

主要作者



韩晓冬（1985年-），硕士，副教授；主要研究方向为建筑材料、高职教育等。
HAN Xiao-dong, born in 1985. He got the master degree and now is an associate professor. His main research directions include building materials, vocational education, etc.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

信息化教学背景下“空调工程”课程的改革与实践

李景丽

（天津职业大学 天津 300410）

摘 要 文章对“空调工程”课程的项目化教学方案进行了整合设计。并通过 BlackBoard 教学云平台、微课程、教学视频等多种信息化手段辅助项目化教学过程的实施，达到强化实践教学与理论教学的有机结合，提升教学质量，增强学生实践能力的目的。

关键词 空调工程 信息化 项目化 课程改革

中图分类号：G424 **文献标识码**：A DOI:10.16400/j.cnki.kjdkz.2016.01.057

Reform and Practice of "Air Conditioning Engineering" Course in Information Teaching Background

LI Jingli

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410)

Abstract This article made integrated design on project teaching program "Air conditioning Engineering" course. And through the implementation of various information technology tools to assist project teaching process Blackboard teaching cloud platform, micro curriculum, instructional videos, etc., to strengthen teaching practice and theoretical organic combination of teaching, improve teaching quality, the purpose of enhancing students' practical abilities.

Key words air conditioning engineering; information; project; course reform

1 课程教学项目的开发

为紧密结合社会对暖通空调专业的需求，使学生能力更符合职业岗位要求，我校空调教研室组织专业教师，在天津市暖通行业进行就专业技能要求、专业发展潜力、企业对毕业生基本素质要求及毕业生综合评价等方面的调查分析；同时，参考第三方麦克思评估机构对本专业的报告分析，毕业生主要从事制冷与空调系统的设备调试、安装、运行维修及工程设计、产品销售等工作，整合、归纳专业的典型工作项目分析如图 1 所示。



图 1 供热通风与空调工程技术专业典型工作任务

本校近几年招生主要是天津本地生源，学生毕业后 90% 以上服务于本市暖通及相关行业。而天津的暖通空调行业市场上，冷水机组占据主导地位。天津出台《关于鼓励绿色经济、低碳技术发展的财政金融支持办法》，鼓励利用财政金融政策发展绿色经济、低碳技术。对利用地源热泵的项目，按照供热（冷）面积给予 30~50 元/m^2 的财政补助，大大推动了地源热泵产品在天津市场的发展。根据天津区域中央空调市场调研报告显示，冷水机组的市场占比 2012 年：26.9%，2013 年：27.3%；多联机空调机组的市场占比 2012 年：24.5%，2013 年为 26%；水地源热泵空调系统的市场占比 2012 年：14.5%，2013 年为 13%；空调末端产品的市场占比 2012 年：11%，2013 年为 10.6%，等等。

结合以上分析，对“空调工程”进行基于工作过程的课程开发，建设并实施教学做一体化课程教学。课程内容以空调系统应用为主线，以人在空调房间的舒适要求为切入点，从空调设备的使用到空调系统的运行，直至空调系统的设计，由浅入深，分为三个典型的学习项目——项目一房间内空调参数的调节（20 学时），包含湿空气的主要性质分析、i-d 图的绘制与使用、典型产品的空气处理及空调系统送风参数的确定四个工作任务；项目二常用空调系统的运行调节（24 学时），包含集中式空调系统的运行调节、半集中式空调系统的运行调节及多联机空调系统的运行调节三个工作任务；项目三常用空调系统的设计与选型（20 学时），包含机加工车间一次回风空调系统的设计与选型、写字楼风机盘管加新风系统的设计与选型及小型办公楼多联机空调系统的设计与选型三个工作任务。通过各自对应的能力训练任务，组织学习并进行能力训练操作，最终达到本课程所制定的知识目标和能力目标要求，为工程实践奠定良好的基础。

2 结合课程改革，完善实训条件

通过近几年的专业建设发展，专业实训设备在不断增加，

中国知网 https://www.cnki.net

技能训练任务也在逐步扩展，使得专业课程实训更加面向现实职业岗位。

根据天津空调机组市场占有率情况、毕业生就业技能需求以及课程改革开发需求，除空调安装调试实训装置、空气处理过程实训装置等模拟教学仪器设备，专业教师与企业多次交流商讨，经过开发、设计、安装建设了水源热泵空调综合实训系统、空气源热泵空调综合实训系统、多联机空调综合实训系统、风机盘管实训装置等（见图 2 所示）。



图 2　供热通风与空调技术专业部分实训系统

在此基础上，开发多个实训项目，设计相应的工作实训任务。如针对工作任务半集中式空调系统的运行调节，以空气源热泵空调综合实训系统为依托，把传统的章节内容如风机盘管的基本组成、新风引入方式及空气处理方式等知识点重组到空调系统组件识别、风机盘管的性能测试、风冷热泵空调系统的运行调试等子任务中。再如，针对一次回风空调系统和风机盘管空调系统的水环路设计与选型时，以水源热泵空调综合实训系统和空气源热泵空调综合实训系统等装置为依托，完成空调水系统组件识别、空调冷冻水水管路设计、冷却水系统附件维护保养、空调冷水机组的选型、水泵及冷却塔设备的选型等子任务，使理论知识与实践技得以更好的融合，更符合高职学生的学习特点。

针对课程项目化教学改革而进行的设计、安装实际系统工程极大丰富了课堂教学内容，调动了学生的学习热情，更好达到“掌握基本理论、强化应用、培养技能”的教学做一体化的教学目标。

3 BlackBoard 教学云平台及微课程的开发

由于实训资源受到资金投入或外部环境的制约，实物模型并不能完全展示实际生产，本专业一方面购买仿真动画、制作授课视频、照片等来形象展示设备内部结构，工作原理，或相关工艺流程辅助教师课堂教学；另一方面积极建设和使用 BlackBoard 教学云平台及进行微课程的开发制作。

利用 BlackBoard 强大的网络课程管理功能，“空调工程”课程建设时重点突出教师管理的灵活性：自主管理、实时更新；突出学生与教师的互动性：在线作业，在线讨论，实时测试，题库管理。它已经不是纯粹的课程展示，而是能充分调动学生的积极性，创建师生互动、生动活泼的网络课堂。

通过使用 BlackBoard 云平台空间，可以实现资源全面共享，拓宽教师获得信息的渠道，师生利用云平台空间资源教学，可以实现教学相长。比如书本上没有，又受到课程学时的限制，不能在课堂中播放的多种优酷、土豆等相关专业影像视频可以直接链接到网络课程中，让学生观看，课堂讨论，这样把多姿多彩的课外知识引进入教学中，拓宽了学生的视野，为学生提供了更为广阔的自主活动空间和时间。与此同时，教师细化每个学习任务，将需要的教学资源（知识点/技能点、专业英语词汇、教学课件、动画、教学案例、教学录像）放到每个学习任务中，不断丰富了教师的网络教学资源，进一步提高了教师的教学设计能力。

微课程是“云计算”背景下大数据变革信息化教学的一种产物，已经开始引发资源观、教学观和教师发展观的重大变革。它以 5~8 分钟左右的教学视频为主要载体，反映教师在教学过程中针对某个知识点或教学环节而开展的教与学活动。“空调工程”课程经过分析、设计，使用录屏软件制作 i-d 图的绘制、空气处理过程的测试与处理、夏季送风量的确定等 20 个“微课”视频，解决学生在学习过程中的重点和难点问题，学生可以按需选择学习，既可查缺补漏，又可强化巩固所学知识，真正做到线下线上随时随地地学习。

4 结语

课程项目化教学设计是实现学生课堂学习“做中学”的前提，完善的实训设施和先进的信息化教学手段是课堂学习的重要补充和拓展，是实现“学中做”的重要保障。教师通过精心的项目化教学设计，充分采用多种信息化教学手段，“做”“学”交叉，才能使课程教学更精彩，才能抓住习惯于互联网时代学生的学习脉搏。

参考文献

[1] 田娟荣，刘婷婷. 高职通风与空调工程课程项目化教学改革初探[J]. 中国现代教育装备，2012(3).
[2] 刘仙萍，郝小礼，李永存. 项目学习模式在暖通空调教学中的应用[J]. 当代教育理论与实践，2014.4.
[3] 江亿，姜子炎. 以培养工程实践能力为目标的建筑自动化教学[J]. 暖通空调，2011.
[4] 王昕，陈剑波. 以工程实践为导向的空调工程课程教学初探[J]. 中国教育技术装备，2014.10.

中国知网 https://www.cnki.net

信息化教学在高职机械制造类课程中的应用分析

黄连宝①;陈猛②
(①天津职业大学,天津 300410;②航天精工股份有限公司天津制造分公司,天津 300300)

摘要:本文主要研究了在高职机械制造这类课程当中引入信息技术的效果,深入分析了当前信息技术在高职制造类课程当中的实际应用现状,并通过高职信息化的教学,对信息化教学在高职机械制造这类课程当中的应用提出了相关策略。

关键词:信息化 教学 高职机械制造 课程

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.08.120

0 引言

机械制造是制造业的重中之重,也是影响着我国经济体系的重要因素,发挥着非常重要的作用,机械制造以一种实体化经济的模式支撑起国家的经济运行,并且,为我国各个领域的顺利发展和有效运行都提供了保障。而且,作为传授技术类专业的高职院校,更要注重对机械制造类专业人才的培训,如此一来,才能确保我国的机械制造能够稳步的提高,推动我国各领域的发展。

1 高职信息化教学课程的概述

高职信息化教学通常是以现代化教学理念为基础,按照综合高职院校职业教育的教学特征以及教育内容的特殊性,按照学生的教学需求所从事的一项有效的教育信息活动。随着信息技术的飞速发展以及互联网技术的普及,全球进入了新型的新型化时代。在新时代,信息交流成为了人们沟通的主要方式,提高了人们的生活质量。

在当今新时代背景下,信息化、数字化等高新技术的迅速发展,推动了信息化逐渐融入各行各业。特别是在教学领域,“实现信息化教学,就是要做到为现代教学理念为指导方案,在信息技术的支持下,应用新型的教学模式和教学方法尽情教学”。在信息化教学模式当中,不仅要求课堂内容和教学模式向着信息化转变,而且要求从教师观念、组织方式、技术应用、评论探讨以及课堂环境等各种方面出发,做到教学的信息化。高职院校应用信息化的教学理念和教学方法,能够推动高职院校更加符合时代的发展趋势,提高高职信息化教学的水平,因此,高职院校信息化教学成为了当前高职院校主流的教学模式和未来发展趋势。

作者简介:黄连宝(1985-),男,天津人,工程师,本科,研究方向为产教融合数控实训教学;陈猛(1990-),男,陕西周至人,数控车工三级,大专,研究方向为机械设计与加工。

应不应该算是额外加班,指导教师的企业人员是否应该支付相应的报酬等,问题看似很小,然而都关切每一个老师的生活、生存,是非常现实的,因此需要有关部门进行政策与制度的完善,目前来看,这些都缺少一个明确的指导文件和方向。政府在制定相关的文件中,对于学校和教师往往做出较多的要求和规定,但是对于企业参与方面的配套制度却很少,相关的激励、保障机制不健全,使教师企业实践制度难以实质性推行。

在笔者亲身参与的这次 2017 年陕西高职院校教师素质提升计划企业实践项目中,笔者作为本专业学习机械电子工程,从教模具设计与制造专业的教师,在企业实践的项目确是机械制造。

2.3 “工学矛盾”引发教师积极性不高

“知行合一”是我国著名教育家陶行知先生所倡导的,讲求将教师的“知”和“行”进行统一,在实践中学习,最后到实践中去检验知识。职业教育作为高等教育的一种特殊形式,其肩负的使命就是将学生教育为会学会做,从做中学,到学中做的新型技能型人才。然而,现代高职教育又是一种畸形发展,学校的管理部门严格考察老师的在岗时间,规范老师讲台上的行为,而忽视了老师需要大量的时间去工厂、去企业、去实践。由于教学时间与企业实践时间存在冲突,老师深入了企业得不到应有的工作考核,影响老师的报酬,因此老师面对企业实践往往积极性也不高。

2.4 企业缺乏合作自主性呈现“不作为”态度

不管是作为发起企业实践这一项工作的学校,还是作为承接这个工作的企业都是站在自己的角度去要求老师符合自己的要求。学校要求老师到企业了,必须坚守在生产一线,必须学习最新的生产技术,必须学会某项技能,而企业作为生产厂家是为社会其他厂家提供产品的,往往存在赶工期,预防安全事故,甚至有的厂家为了保密自己的生产技术禁止外泄而拒绝向老师展示。随之而来的就是老师在企业实践过程中不作为的现象。笔者在秦川机床厂企业锻炼时,生产组长说,以未来的眼光看企业,实践单位欢迎老师来,但以现今就短时间培训来说,单位提供了岗位、设备、培训后,老师就要走了,啥也学不到还增加了额外的损耗。

3 解决办法

①不断的完善细化政策法规,提高教师企业实践的制度保障。②学校和企业要积极沟通,做好对应专业实践的对接工作。③学校和企业要将实训教学融入到教师企业实践学习当中去。④企业实践当中对教师的考核制度也应灵活处理。⑤职业院校增强交流拓展“合作化”平台[3]。

参考文献:

[1]季莉.强化企业实践提升青年教师的教科研能力[J].纺织服装教育,2016,31(06):446-448.

[2]杨光芬.关于高职教师企业实践对于职业教育教学的影响探究[J].中国培训,2016(16):139.

[3]刘静静.职业院校专业教师企业实践现状与对策研究[D].沈阳师范大学,2016.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高职信息化的教学指的是通过应用多媒体课件或网络等信息技术，将课堂内容以动画模拟、现场图像图形、加工录像或声音等信息传达方式传达给学生，以满足学生多样化课堂的教学需求，确保教育信息化能顺利开展。

2 信息化教学在高职机械制造类课程的应用现状

2.1 高职信息化教学的重要意义

高效的机械制造类专业属于制造业，它是我国经济体系的重要组成部分之一，也是保障我国经济有序和稳定的发展的重要基础，更是能够推动我国高职院校制造类专业课程良好发展的有效途径。通常意义上，高职类学校的宗旨就是为社会培养更多的高水平的人才，高职院校也有能力向社会输出人才。机械制造类课程本身比较理论化，各层内容包含众多的理论知识，需要将理论与实际情况有机地融合在一起，才能培养出综合型人才。但正是由于机械制造类专业过于理论化的专业特征，使得学生很容易在课堂之中感受到专业的乏味、枯燥，丧失学习的热情和积极性。将信息技术应用于高职院校机械制造这类课程当中，就是为了提高学生对于课程的学习兴趣，改善课堂内容和课堂氛围，增加课堂互动，从而提高学生对于学习的持久吸引力，使得高职院校机械制造类课程能够更加合理且高效地进行教学，因此，引进信息化的技术非常重要。利用信息化的技术助力，机械制造类课程有利于推动学生更好地完成学习任务，从而在良好的学习课堂氛围当中真正学习到机械制造类专业的课堂内容。

2.2 高职院校信息化教学存在的问题

2.2.1 信息资源分配不平衡

由于我国贫富差距较大，受到地区文化和经济发展水平的制约，信息化的教学在高职院校机械制造类专业中开展的情况所呈现的状况突出显示为区域分布不平衡。应用信息化技术更多的是依靠信息化的硬件设备，因此设备是开展信息化教学的有效前提。但是，由于各个区域经济的发展水平并不相同，经济发展水平差异过大，使得信息化硬件设备在配置方面存在一定的差异。例如 在我国东南部沿海地区，由于经济水平总体上较高，位于该地区的各个高职院校基本上实现了信息化教学的全覆盖，但是我国的中西部地区由于经济比较落后，很难全面推广信息化的教学，仅仅有部分的高职院校试点学校在逐渐应用信息化技术来完成教学。不仅如此，由于中西部地区和东南部沿海地区教师的文化素质水平和文化思想观念存在的差异也影响着高职院校信息化教学的应用，东南部沿海地区的教师在经济飞速发展的地区能够更多地接受到高科技产带来的便利，因此他们在主观意愿上更愿意去接触和应用信息化教学这一新型的技术。但是，对于中西部的教师来说，他们的思想比较保守和传统，更多的将信息化的教学看做一种教学负担，或者，从某种意义上来说是一种可有可无的附加教学手段。

2.2.2 教学形式单一，缺乏创新性

存在一些高职院校虽然先引入了一些信息化的设备，但是，由于教学形式比较单一，缺乏创新性，因此很难真正做到在教学当中应用信息化教学。投入大量的教学资金，用于购买信息化的硬件设备，甚至还投入资金建设了多间应用信息技术的一体化多媒体教室，虽然在硬件设施上非常完善，但是，由于对教师的相关信息技术培训不够充分，使得大部分教师并不能够准确地应用信息化的技术进行教学，大部分教师更愿意用自己熟悉的方法和熟悉的多媒体操作来进行教学。虽然能够通过应用多媒体技术在课堂上通过图片或视频的形式具体展现出课堂的内容和知识，进而进行辅助教学，但是长时间的多媒体的单一应用，也使得学生在学习过程中逐渐适应也逐渐地缺乏了对于知识学习的新鲜感，久而久之，也使得学生的学习转于枯燥。因此，教师除了应用多媒体进行信息化的教学之外，还可以有效地开展互动式的教学模式，让学生的课堂教学与信息化的技术充分地融合在一起，将信息化的技术贯穿于整个课堂当中，创造良好的课堂氛围，使得课堂内容更具新鲜感，并使课堂更具创造感，从而推动学生对于机械专业知识的学习，为培养综合型人才提供保障。

3 高职机械化专业课程应用信息技术的应用策略

3.1 搭建网络信息平台

与传统的教学课堂相比，新型的网络信息平台更容易引起学生的学习兴趣，值得学生更乐于接受课堂的学习内容，因此，就是要充分地借助信息化的技术形式将课堂的学习内容转移到网络平台，以新型的教学形式来提高学生自主学习的积极性。详细来说，可以将提前预习的内容以及课后复习的内容等，以学习任务的形式转移到网络平台上，例如 在讲解机械类专业课程的钳工教学实习之前，可以将虚拟的教学场景提前放到网络平台上，进而为学生提供预习材料，通过网络学习平台能够直接给学生呈现出钳工在各种机械制造类当中所应掌握的技能和技巧，通过视频和情景模式的形式展现出来。并且，针对每一个小视频的讲解内容，提出一个对内容具有概括性的问题，不断帮助学生总结视频中的内容，帮助学生在课前做好课程实践教学内容的预习。如此一来，不仅能够让学生清楚地了解接下来课堂所要展现的教学内容，还方便教师进行课堂的内容讲解。除此之外，在经历了机械类的专业课堂教学之后，教师们也可以将课后作业以及课堂内容的资料放到学习平台之上，方便学生完成作业，同时，也有助于为学生提供课后复习的平台，在平台之上，学生可以提出对课后作业和教学内容的不解之处，教师可以在线及时回答，也发挥了信息技术应用下的网络平台解疑答惑的重要作用。

3.2 利用微课教学

微课是指对学生课堂教学内容的补充和延伸，不仅可以弥补学生对课堂内容的了解，而且还能够加深学生对机械制造课程内容和知识的掌握程度。举例而言，在学习车床的传统系统时，由于这一章节学习的内容比较多又是重点，学生通常很难在有效的课堂教学上完全掌握课堂内容，在这时，应用微课模式的优势就可以很好地调解这种问题。教师可以在课后对车床传统系统的动力、组合以及运动等内容做重点和选择性讲解，由于微课堂的教学时间比较短，因此就要求做事做到内容的详实可靠，深入挖掘每一个重点内容，帮助学生分析和理解重点知识，以及掌握整个章节的内容。另外，在进行微课教学的过程中，也可以适当地应用形象、活泼的教学方法，增加微课堂的生动

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性和灵活性，从而引发学生的学习兴趣。除此之外，微课堂由于保存在网络系统当中，学生们随时可以通过信息终端设备自由的进入学习，为学生学习提供了便利，能够有效地获得机械制造课程的信息课堂内容，提高学生学习的学习效率，并节省了学习的时间。

3.3 优化信息化教学课堂的管理

在信息化技术为机械制造专业课堂提供便利的资源教学的基础上，信息化教学对于教师来说不仅是压力，更是挑战。在应用信息化技术的背景下，教师更加要注重教学管理模式的差异，适应信息化教学模式。由于进行信息化教学时，教师不能够随时地在身边监督学生的学习状况，就使得大多数学生产生侥幸学习的思想。为了防止这种现象再次发生，教师可以通过一些定位软件，例如 通过签到的方式记录学生的学习状况以及上课的情况，教师可以自由地在信息终端设备来查看学习的情况以及课堂状况，并且能够实时地记录在终端设备当中，能够集合产生学习档案和相关数据，使教师能够及时地督促未参与的学生及时进行学习。另外，还可以掌握学生的学习情况和学习进度，教师可以将信息化的记录数据与最终课程的考核分数相联系，保证学生能够积极地投入到机械制造课程的信息化教学当中。例如 在信息化技术的软件当中，将学生的学习状况与学生的经验相联系，学生可以通过完成学习活动和签到来获取经验，并且能够将这些数据及时的反馈给教师，实现了督促学生积极学习的关键目的。

3.4 创建教学资源

教师可以根据所掌握的数据来了解学生的学习状况，并根据不同学生的学习差异性来考虑到学生的学习接受情况，制造出与课堂内容相融合的导学案、图件以及案例等，从而为学生提供优秀的信息化学习资源。可以利用信息化技术来润色 PPT 模板和课件，增加学生的学习途径和学习方法，为学生提供更加广泛且更加实际的学习知识和学习内容，从而保障学生能够更加深入且全面地了解机械制造这类课程的内容和精髓，将理论知识与实践相融合。学生只有通过不同渠道学习到专业内容，并且充分利用学习资源，其学习状况才会越来越好。

4 针对高职院校机械制造类课程应用信息教学的建议

4.1 重视信息化教学，优化教学条件，开展教学活动

高职院校的院校领导需要增强对于信息化教学的认识和了解，并明确信息化教学的发展意义，深入地重视信息化教学在机械制造类课程当中的开展。现代社会由于高职院校数量较多，因此存在着很强的竞争形势，其中，教育教学的质量就是核心就能力。因此，高职院校只有抓住教育教学质量的核心内容，才能够提高学院的综合竞争实力。在现代化社会当中，信息教学逐渐成为了主流的教学模式。因此，将信息化教学深入到高职院校的课程教育当中，特别是机械类专业非常重要，更是提高学校教学质量和优化教学效果的有效方法。

另外，高职院校应该要以积极的态度，完善信息教学设备和教学条件，优化学校的信息化教育的开展。从信息化教学的硬件设备来说，学校要为信息化教育设备以及网络设备等硬件设备的投资和建设提供物质基础和保障。依据我国高职院校信息化教育落实的现状来看，中西部地区的高职院校新西化教育设备不足的问题依然存在，并且急需解决。另一方面，根据从事信息化教育的教师资源来说，需要对教师进行专业的培训，提高教师的信息化，教育水平和能力，从而保障信息化教学的长远发展，落实信息化教育。

4.2 深入教学研究，丰富教学形式，构建教学体系

对于一般的职业院校来说，在掌握一定的信息化教育模式之后，需要鼓励各个课程的教师深入开展信息化教学的研究，积极地探索和落实信息化教育模式，并将其应用于课堂的实践形式，丰富教学内容和教学方法，积极完善构建信息化的专业教学体系。当前，存在一些高职院校对于信息化教育应用相对单一，逐渐丧失信息化教学的优势和效果。因此，教师团队要不断地丰富信息化教学的形式，在信息化教学的基础上，建立起完善的教学体系和教学机制。

4.3 深入重视教师信息化教育能力的培养

教师作为信息化教学落实的主体，教师的教学水平与信息化技术的应用紧密相关，因此要培养教师的信息化教育能力，不断地提高和优化教师的教学水平，从而有利于保障教学课堂质量的提升。教师信息化水平的提高需要建立在自愿的基础上，在一些高职院校的课程教学当中，不仅要求教师掌握传统的教学方法，还要了解和掌握新型的信息化教学模式。教师水平的提高，这要求教师对于信息化技术在课堂当中的应用有充足和充分的认识，能够熟悉地掌握多媒体设备的操作方法，学会应用信息技术和计算机技术来制造教学课件，利用网络平台整理学习内容和学习资源，从而丰富课堂的教学内容。此外，教师在进行相关各种的信息化教学时，一定要将教学内容与信息化教学形式恰当的融合在一起，只有充分发挥信息化教学的优势，才能够真正地提高教学质量，优化教学课堂的氛围，取得良好的信息化教学效果。

5 结束语

信息化技术的教学模式对机械制造类课程的影响非常大，它不仅仅为学生提供了更加宽广的学习平台，让学生通过信息技术和网络平台来获得广泛的学习资源和学习知识，而且使得学生能够在浓厚的学习兴趣下实现高效的学习。信息化教学有利于提高高职院校的教学管理水平，同时，也能够在极大程度上为教师传授知识和文化提供助力和便捷，从而适应新时代的发展潮流，实现现代化的教学理念和教学模式。总而言之，将信息化的教学模式融入到高职院校的机械制造专业课程当中，有利于学生提高对知识的掌握程度。

参考文献：

[1]张友刚.信息化背景下机械制造技术专业课程教学方式变革的研究[J].数码世界，2018（02）.

[2]杨豪虎，张娴.信息化教学在高职机械制造类课程中的应用[J].时代农机，2017（11）.

[3]靖娟，程志清，熊玲鸿.信息化教学模式在高职《机械制造技术》中的研究与应用[J].科技创新导报，2017（11）.

[4]高展，艾军.信息化教学在高职机械制造类课程中的应用[J].河南农业，2016（30）.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI：10.13228/j.boyuan.issn1006-6543.20150019

压机对粘结NdFeB磁体质量的影响

秦万忠
(天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘　要：模压成形是粘结NdFeB磁体制造的最主要方法。分析了粘结NdFeB磁体的特点；在实验研究和大量生产实践的基础上，介绍了模具结构、压机结构和压制成形动作对磁体质量的重要影响；总结了控制粘结NdFeB磁体质量的关键技术。

关键词：压机；模压成形；粘结NdFeB磁体；质量
文献标志码：A　　**文章编号：**1006-6543-(2015)06-0072-04

Effects of press on the quality of bonded NdFeB magnets

QIN Wan-zhong
（College of Mechanical and Electrical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China）

Abstract: Mould pressing is the most important preparation method for bonded NdFeB magnets. Characteristics of bonded NdFeB magnets were analyzed. Based on experimental research and lots of production practices, the important effects of die structure, press structure and compacting actions on magnets quality were introduced. The key techniques for controlling the quality of bonded NdFeB magnets were also summarized.

Key words: press; mould pressing; bonded NdFeB magnet; quality

粘结NdFeB是近年来发展起来的高性能磁性复合材料，具有磁性能高、性价比高、生产率高和精度高等特点[1-2]。磁体的成形方法主要有模压成形、注射成形和挤压成形。模压成形产品主要有薄壁环形和薄壁瓦形，其生产工序主要包括：复合粉制备、模压成形、表面涂装和充磁等[3]。

1　模压成形粘结NdFeB磁体的难点

模压成形制造磁体的优点是能大批量生产尺寸精确、复杂形状、薄壁形状和有磁特性的高等级磁体。但是，磁体的形状、精度和特性上都有限制。压制磁粉的压力为700～1 400 MPa，所以模具强度制约了磁体形状和取向磁场；压制时由于磁粉之间、磁粉和模具之间的摩擦力很大，所以有除加压方向外粉末几乎不移动造成的对磁体形状的制约；还有一般成形压机只能单轴加压对磁体形状的制约，因为压制方向长、压制面大、薄壁形状的产品难以使密度均匀，所以设计磁体时以成形为中心考虑是很重要的；磁场方面的制约是在磁场强度、均匀取向和加磁场的时间上有限制。

2　各向同性粘结NdFeB磁体的模压成形

2.1　成形特点

决定模压粘结NdFeB磁体强度和磁特性的是磁体密度。为了使强度、精度稳定在一定水平上，必须使薄壁形状磁体各部分密度均匀，因此，要考虑独特的送料器装置、模具结构和压制成形动作[4]。压制成形动作不合理，在脱模时会产生裂纹，并且该裂纹在固化时也不能消除而造成缺陷。

基金项目：天津市科委自然科学基金重点资助项目（12JCZDJC27200）
作者简介：秦万忠（1964—），男，学士，教授，主要从事磁性材料及粘结磁体成形技术的研究。
收稿日期：2015-03-02

中国知网　https://www.cnki.net

密度与成形压力有关，还与磁粉颗粒大小、粒度分布、润滑剂、压缩性的配合有关。通过增加压力可使磁体密度增大，超过1 400 MPa时磁体密度达到饱和。但在批量生产时，从模具强度考虑采取这样高的压力是不合适的，应该想办法降低压力。

用同一种复合粉制造粘结磁体，产品高度越高、壁厚越小，越难压制，主要体现在装填料和脱模上，由此影响了生产效率和产品质量。解决办法是分2次装粉和分别脱模，必要时采用脱模保护动作。

2.2　模具结构

压制成形是粘结NdFeB磁体生产中最重要的工序，因为除粉料因素外，产品质量主要取决于压机和模具的结构及制造精度。模具的强度、硬度、耐磨性及加工精度要求极高。在大量生产磁体时，模具材料应选择硬质合金，模具硬度超过64 HRC，寿命超过30万次。考虑热膨胀系数的影响，模具中与磁体接触的各部分零件应选用相同的材料。

2.3　压机结构和成形动作

各向同性粘结NdFeB磁体的压制成形一般选用粉末冶金专用机械压机。根据压机结构不同，可实现单向压制、凹模浮动双向压制或上下压头同时双向压制。图1是其中一种典型压机结构[5]，成形部分包括模架、上压头、浮动下压头、浮动芯杆和送粉装置。

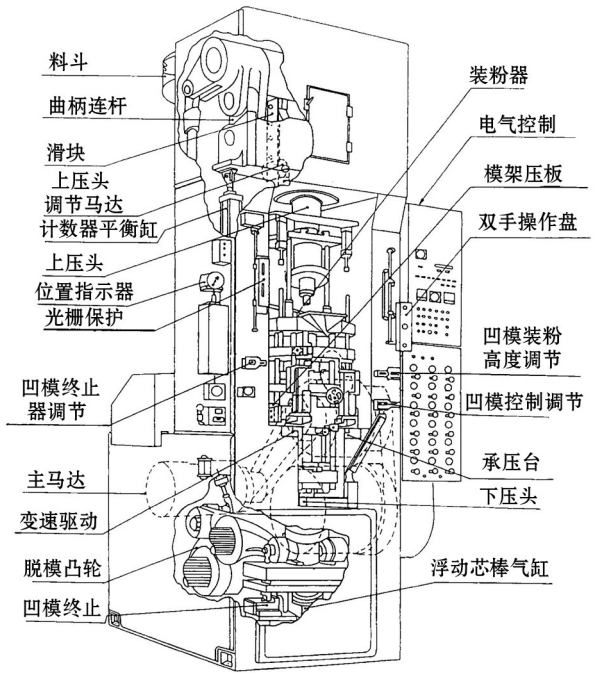


图1　压机的结构

根据磁体形状的复杂程度，典型的成形动作有2种。设薄壁磁环高度为 H，磁环外径为 D。当 $H<0.5D$ 时，可选用动作A：凹模和芯棒同时装粉→双向压制→凹模和气动芯棒同时脱模；当 $H\geqslant 0.5D$ 时，可选用动作B：凹模装粉→浮动芯棒装粉→双向压制→凹模脱模→浮动芯棒脱模，见图2。当然，根据磁环高度和壁厚不同，可以进行装粉和脱模动作的不同组合，以保证磁体质量和生产效率。图3是图1所示压机的压制曲线，展示了随着压机曲轴旋转角度的变化，上模冲、下模冲、凹模、送料器、脱模凸轮、过装粉、欠装粉的运动过程。

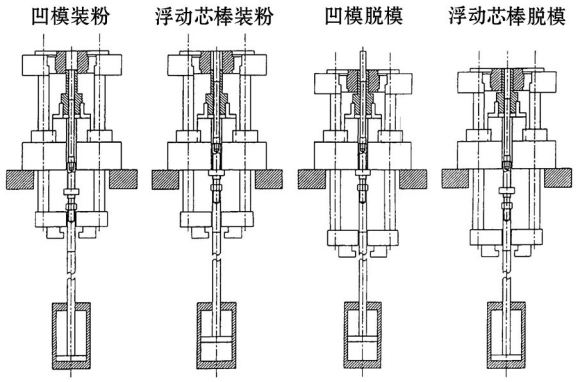


图2　带有浮动芯棒的装粉-脱模过程

3　各向异性粘结NdFeB磁体的模压成形

3.1　成形特点

各向异性磁体成形的特殊之处只是加了磁场，根据各种原料的特性不同，磁场强度也不同，磁场强度弱时取向不好。例如：稀土永磁原料，采用20 mm间隙，ϕ20 mm模具时，磁场强度应为1 035～1 194 kA/m。加磁场的时机要适当，开始加压后再加磁场会造成取向不良。成形压机的机械精度、模具精度、取向磁场和退磁磁场的强度是影响磁体质量的重要因素。磁场成形工序的检验点包括：成形压力、磁场强度、磁场的定时、磁体的尺寸、磁体的单重和加压状态。

3.2　磁场压机结构和成形动作

在磁场成形时，根据磁场方向不同，可分为不同的压制方法[6]，见图4。包括纵磁场成形法（压制方向与取向方向平行）、横磁场成形法（压制方向与取向方向垂直）、辐射磁场成形法（取向方向沿半径方向并与压制方向垂直）、多极磁场成形法（多磁极沿圆周分布，取向方向与压制方向垂直）。

中国知网　https://www.cnki.net

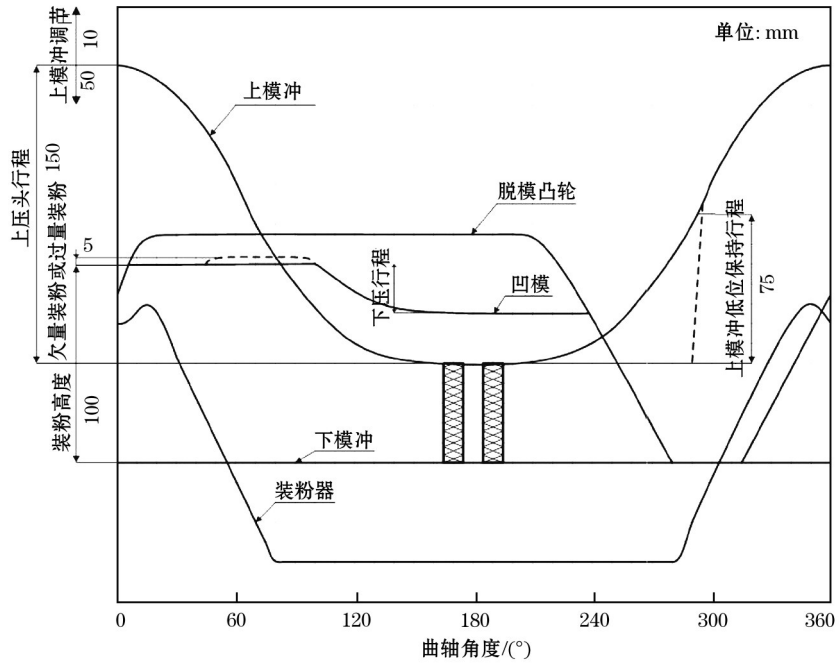
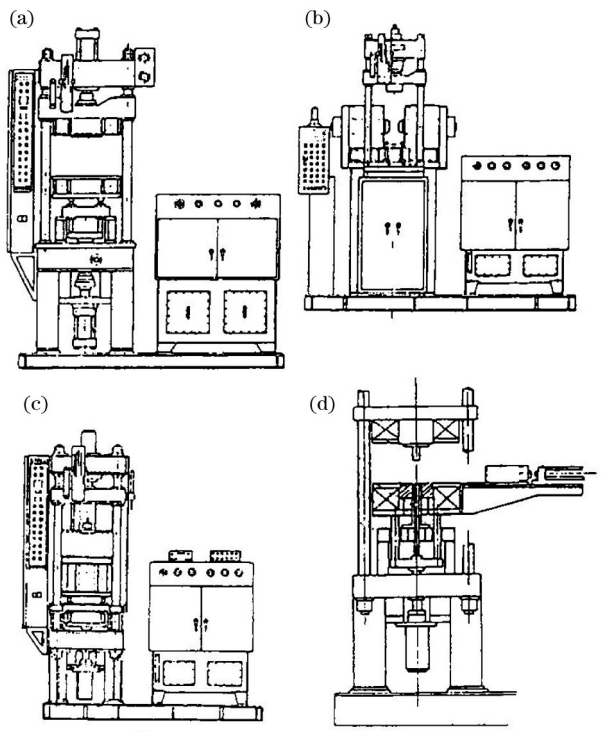


图3　压机的压制曲线

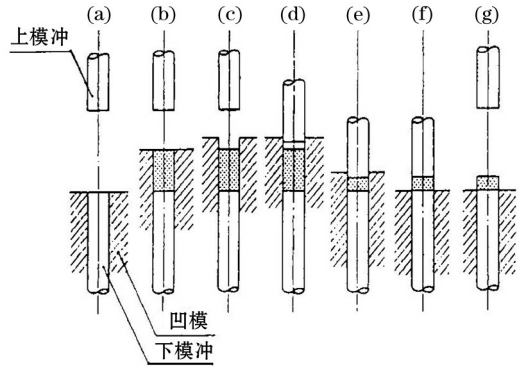


（a）纵磁场成形法；（b）横磁场成形法；
（c）辐射磁场成形法；（d）多极磁场成形法。

图4　具有不同磁场方向的成形液压机

由于压制周期长、磁场压机宜选用液压机。由上压机、下压机、粉末填充装置和油压机构组成，全部动作用控制盘控制。磁场发生装置和磁场线圈用来产生取向磁场和退磁磁场。压机压力越大，线圈直径也越大。另外，励磁磁通势依磁性材料不同而不同，必须将线材、匝数、励磁电流等设定在最佳条件。在将压坯退磁时，压坯和模具应选择不同的退磁磁场[7-8]。

纵磁场压制成形时，模具（包括上模冲、凹模和下模冲）动作见图5。磁体移除完成（a）→凹模上升装粉（b）→送料器退回→凹模上升（欠装粉（c））→上模冲合模（d）→开始励磁并定时→上压头和凹模同时下降（双向浮动压制）→定压或定程成形终止



（a）磁体移除；（b）凹模上升装粉；（c）欠装粉；（d）上模冲合模；（e）定压或定程成形终止；（f）上压头加脱模保护凹模脱模；（g）上压头上升后凹模脱模。

图5　纵磁场压制成形的模具动作步骤

中国知网　https://www.cnki.net

(e)→加退磁磁场→上压头加脱模保护时凹模脱模(f)(或上压头上升后凹模脱模(g))→移除磁体，完成1个动作循环。磁场液压机的压制曲线见图6，图中从上到下4条曲线分别表示成形磁场、上压头、下压头、送料器在1个压制成形周期中的动作变化过程，展示了压制曲线的变化趋势。

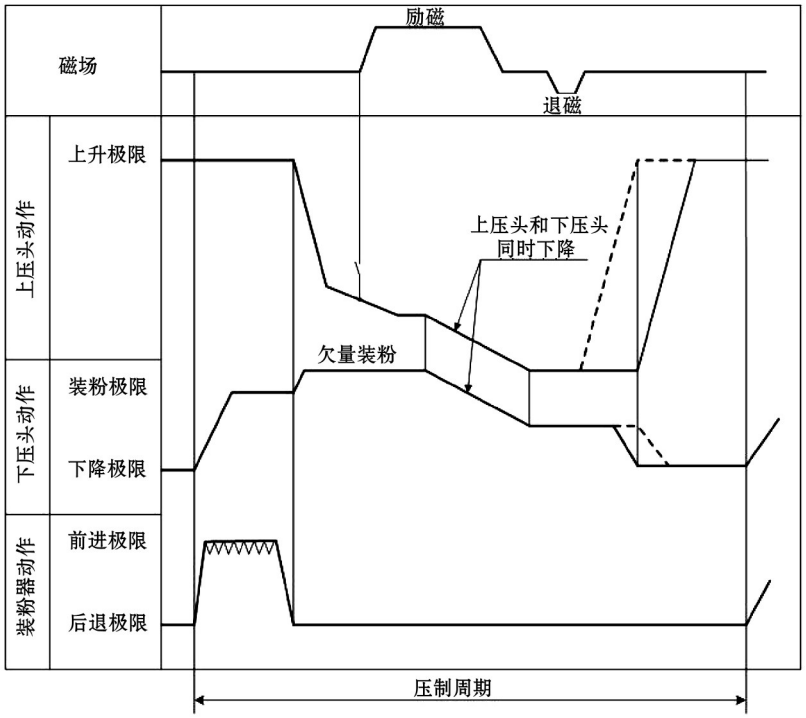


图6　磁场成形液压机的压制曲线

4　粘结NdFeB磁体质量控制的关键

（1）当磁体 $H<0.5D$ 时，采用凹模及芯棒同时装粉或过量装粉，双向压制，凹模及气动芯棒同时脱模，以提高生产效率。

（2）当磁体 $H\geqslant 0.5D$ 时，为保证磁体密度和质量均匀，采用凹模和浮动芯棒分别装粉，双向压制方式；为减小脱模力并消除微裂纹，采用凹模和浮动芯棒分别脱模的方式。

（3）为保证高的磁粉取向度，励磁磁场强度要足够高，并且准确控制励磁开始和结束时间。

参考文献：

[1] 周寿增, 董清飞. 超强永磁体——稀土铁系永磁材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.

[2] 罗阳. 全球NdFeB磁体产业变化与发展的25年[J]. 磁性材料及器件, 2008, 39(6): 9-18.

[3] 周维娜, 李文学, 王玉峰.工艺因素对粘结NdFeB磁体磁性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2006, 25(2): 31-34.

[4] 朱锦忠, 李东. 粘结NdFeB薄壁环(瓦)的芯杆多点定位压制技术[J]. 磁性材料及器件, 2002, 33(6): 36-40.

[5] The writing group. S-200 compacting press operating manual [M]. Tokyo: Tamagawa Machinery Co., Ltd., 2004.

[6] Hamada N, Mishima C, Mitarai H, et al. Development of Nd-Fe-B anisotropic bonded magnet with 27 MGOe[J]. Magnetics IEEE Transactions, 2003, 39(5): 2953-2955.

[7] 罗阳. 中国NdFeB磁体产业的进一步发展[J]. 粉末冶金工业, 1999, 19(6): 7-17.

[8] 王永根. 采用一次模压成形工艺生产高性能烧结NdFeB磁环[J]. 粉末冶金工业, 2002, 22(1): 38-41.

热诚欢迎广大读者踊跃投稿，刊登广告

中国知网　https://www.cnki.net

引用格式:郑伟,路向琨.压力采集滤波系统在铝合金电阻点焊中的研究及应用[J].热加工工艺,2024,53(15):49-52+58.

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001-3814. 20213342
http://www.rjggy.net rjggy@vip.163.com

压力采集滤波系统在铝合金电阻点焊中的研究及应用

郑 伟[1], 路向琨[2,3]

(1. 天津职业大学 机电工程与自动化学院, 天津 300410; 2. 天津七所高科技有限公司, 天津 300409; 3. 中国船舶集团有限公司第七〇七研究所, 天津 300131)

摘 要:为了采集铝合金点焊过程中的压力变化量,实现实时监测熔核状态,提高焊点质量,设计了一种铝合金点焊压力采集的滤波系统。第一步,设计采集电路,实现对压力信号的实时采集和电平转换;第二步,通过对压力信号干扰源的分析,设计硬件滤波和软件滤波相结合的方法,以解决压力信号受干扰的问题。实验结果表明,采用本系统得到的压力波形变化平稳,能够准确反映焊接过程中的压力变化和熔核状态。采用本系统后焊点熔核直径平均值提高了 10%,而且焊点无裂纹,气孔也较少。

关键词:铝合金点焊;压力采集;巴特沃斯滤波器;滑动均值滤波法

中图分类号:TG453+.9;TG438.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-3814(2024)15-0049-04

Research and Application of Pressure Acquisition Filter System in Resistance Spot Welding of Aluminum Alloy

ZHENG Wei[1], LU Xiangkun[2,3]

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering and Automation, Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China; 2. Tianjin Qisuo Hi-tech Co., Ltd., Tianjin 300409, China; 3. No.707 Research Institute of CSSC, Tianjin 300131, China)

Abstract: In order to collect the pressure change in the process of aluminum alloy spot welding, realize real-time monitoring of nugget state and improve the quality of welding joint, a filter system for pressure acquisition of aluminum alloy spot welding was designed. The first step, the acquisition circuit was designed to realize the real-time acquisition and level conversion of pressure signal; the second step, based on the analysis of the interference source of pressure signal, the method combining hardware filtering and software filtering was designed to solve the problem of pressure signal interference. The experiment results show that the pressure waveform obtained by the system changes smoothly and can accurately reflect the pressure change and nugget state in the welding process. After the use of the system, the average nugget diameter of the solder joint is increased by 10%, and the solder joint has no cracks and fewer pores.

Key words: aluminum alloy spot welding; pressure collection; Butterworth filter; moving mean filtering

新能源车的发展推动了铝合金材料及其连接方法的应用。铝合金材料具有导电率高、导热率高、热膨胀系数大、表面易形成氧化膜等特点。电阻点焊效率高, 被广泛应用于汽车行业。铝合金材料在点焊过程中,由于其氧化膜熔点高、不易熔化,所以,一般采用大电流、高压力的焊接工艺[1-2]。在氧化膜熔化后,内层的铝合金材料熔点低、热膨胀系数大,会迅速形成熔核,并随着加热进一步膨胀,在冷却阶段熔核体积又会快速收缩, 此时容易形成气孔或裂纹等缺陷[3-4]。因此,在铝合金点焊过程中,需要实时监测熔核变化,进而调整电流、压力等参数,以保证焊点的质量。

熔核在膨胀过程中会对焊钳电极臂形成反作用力,导致焊钳电极臂上的电极压力发生变化,同时在焊钳电极臂上将产生成比例的变形量[5-6],如图 1 所示。因此,可以通过监测焊钳电极臂的变形量,实现对熔核形成过程的有效控制。本文设计了一种铝合金点焊压力采集系统, 通过测量焊接过程中电极臂的变形量,以及对测量信号的抗扰滤波处理,实现对熔核状态的精准监测, 为铝合金点焊中熔核的控制

收稿日期:2021-12-03

作者简介:郑伟(1983-),男,天津人,副教授,硕士研究生,主要研究领域为电气自动化、数据分析等;E-mail:da_zhengwei@126.com

通信作者:路向琨(1988-),河北石家庄人,高级工程师,硕士研究生,主要从事焊接过程先进控制方法研究及先进焊接装备研制等

中国知网 https://www.cnki.net

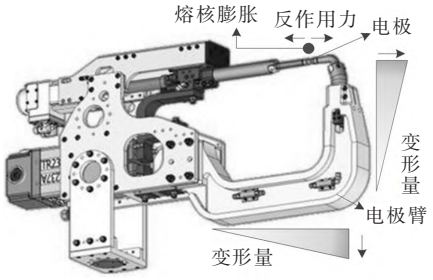


图 1 点焊过程焊钳受力分析
Fig.1 Force analysis of welding tong during spot welding

提供支撑,进而保证焊点的质量。

1 系统设计

本铝合金点焊压力采集系统包括压电传感器、放大器、焊钳、机器人、焊接控制器。焊接控制器集成了采集电路和滤波电路。系统连接框图如图 2 所示。

本文通过在焊钳电极臂上安装的压电传感器测量电极臂变形量,图 3 为本系统实物连接图。

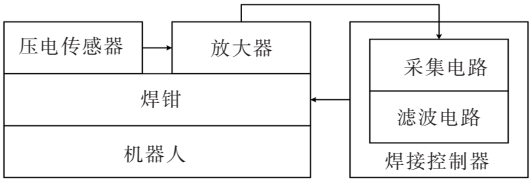


图 2 系统连接框图
Fig.2 System connection block diagram



图 3 系统实物连接图
Fig.3 System physical connection diagram

2 采集电路设计

焊接控制器采用微控制器(micro-controller unit,MCU)实现信号采集以及焊接过程的控制,采用 MCU 的片上 AD 进行焊接过程中的信号采集。本系统设计了信号采集转换电路,其主要由反相比例放大电路和反相加法电路构成,实现了将放大器输出的–10～+10V 信号转换为 0～3 V 的可直接被 MCU 采集的电压信号。

2.1 反相比例放大电路设计

反相比例放大电路具有放大输入信号和反相输出的功能,并将输出信号的一部分返回到输入,实现负反馈。本系统首先进行电压信号 0.15 倍的反相比例放大,将 –10～+10 V 的信号反相放大到 –1.5～+1.5V。反相比例放大电路如图 4 所示,R_7 阻值配置为 R_5 的 0.15 倍,通过 R_7 实现了信号的负反馈,信号输入 V_{Input} 与输出 V_{Out1} 关系可以通过公式(1)进行计算。

$$V_{Out1}=-0.15V_{Input} \quad (1)$$

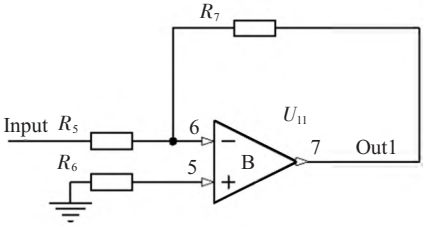


图 4 反相比例放大电路
Fig.4 Inverse proportional amplifier circuit

2.2 反相加法电路设计

由于 MCU 的 AD 无法采集负电压,因此设计了加法电路在–1.5～+1.5V的信号的基础上加 1.5V 的偏置电压,将其转换到 0～3V。另外,同相加法器输入阻抗高、输出阻抗低,反相加法器输入阻抗低、输出阻抗高,本文采用反相加法器,信号容易流入加法器中,并实现信号的反相,保持与放大器输出信号极性的一致。反相加法器电路如图 5 所示,VREF+ 是 3V 的参考电压,R_{33}、R_{35}、R_{36}、R_{37} 数值相等,信号输入与输出关系可以通过公式(2)进行计算。

$$V_{Out2}=1.5-V_{Out1} \quad (2)$$

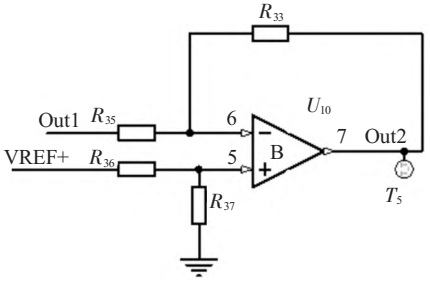


图 5 反相加法电路
Fig.5 Inverse addition circuit

3 硬件滤波设计

信号在传输过程中难免会受到干扰,因此在实现采集后还需要观察信号的实际波形并设计相应的滤波电路及方法,滤除信号中的干扰。图 6 为通过示波器采集的焊接过程的信号波形,曲线 *a* 为采集的

中国知网 https://www.cnki.net

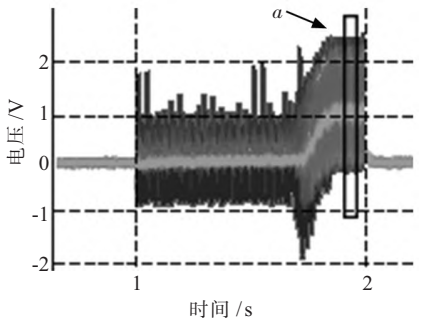


图 6 焊接过程的信号波形图

Fig.6 Signal waveform diagram during welding process

焊接过程信号波形，其中夹杂了大量有规律的干扰信号，需要对信号干扰来源进行分析和滤除。

3.1 干扰源分析

从曲线 *a* 中可以发现，在前 1 s 时间内没有焊接电流输出时波形稳定，而有焊接电流输出时干扰较大，将曲线 *a* 进行放大得到图 7 的曲线 *aa*，放大区域为图 6 中矩形框部分。

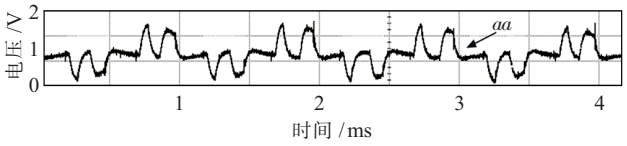


图 7 焊接过程放大的信号波形图

Fig.7 Amplified signal waveform during welding

在图 7 中可发现干扰脉动，周期为 1 ms，频率为 1 kHz，与电源逆变频率一致，因此干扰主要来自两部分：

（1）电磁干扰：铝合金点焊工艺中，焊接电流通常高达 40～50 kA，压电传感器和放大器都是直接安装在焊钳电极臂上，焊接过程中电极臂流过的大电流会产生强大的电磁干扰，影响信号传输。

（2）逆变谐波干扰：中频逆变焊接电源输出的电流是一个方波而不是连续电流，其频率为 1 kHz，该逆变频率会形成谐波反馈到电网，对网内的其他用电设备产生影响。由于所选放大器在设计中将其电源负极和输出信号负极在内部进行了短接，因此输出信号会受到电源逆变谐波的影响。

3.2 硬件滤除

3.2.1 电磁干扰滤除

针对电磁干扰，一方面，采用金属外壳可以有效屏蔽电磁干扰；另一方面，在放大器与焊钳之间增加绝缘装置，防止流过焊钳的电流将壳体磁化。

3.2.2 逆变谐波干扰滤除

真实的输出信号变化缓慢远低于谐波干扰频率，本文设计了有源二阶低通巴特沃斯滤波实现了对逆变谐波的抑制。它的最大特点是通频带内的频率响应曲线最大限度平坦，没有纹波，在阻频带则逐渐下降为零，振幅对角频率单调下降并趋向负无穷大，二阶巴特沃斯滤波器的衰减率为每倍频 12 dB[7-9]。

图 8 为设计的有源二阶低通巴特沃斯滤波电路，通过设定 R_{20}、R_{21}、C_7、C_8 的数值即可实现不同的截止频率。

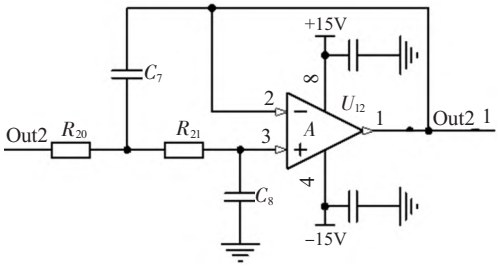


图 8 滤波电路

Fig.8 The filter circuit

本文对图 8 的滤波电路进行了仿真，图 9 为仿真波形的波特图。在频率为 1 kHz 处，信号衰减增益达到−50 dB，可满足实际应用需求。

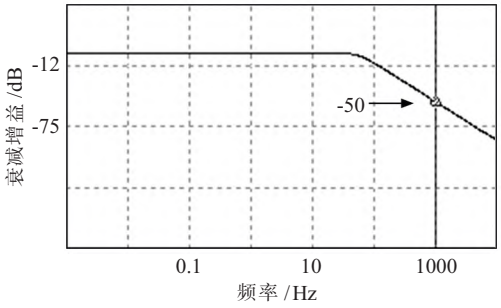


图 9 滤波电路的仿真波特图

Fig.9 Simulated Bode diagram of the filter circuit

4 软件滤波

滑动均值滤波适用于信号在某一数值范围附近上下波动，对周期性干扰有良好的抑制作用[10-12]。通过把连续 *N* 个采样值看成一个队列，每次采样到一个新数据放入队尾，并按照先进先出原则，扔掉原来队首的数据，再把队列中的 *N* 个数据求算术平均值，就可获得新的结果，图 10 形象地说明了该方法的进栈出栈过程。

本系统采用 C 语言编写，程序流程如图 11 所示。在接收到外部启动信号后开始焊接流程，首先控制伺服电机将焊钳夹紧并施加设定的焊接压力，压力达到设定值后输出电流，并同步采集压力数值。在硬件滤波的基础上，软件程序再通过滑动均值滤波

中国知网 https://www.cnki.net

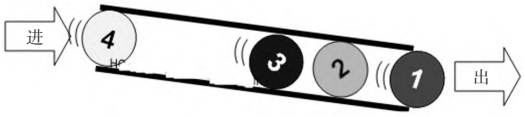


图 10 滑动均值滤波示意图
Fig.10 Schematic diagram of sliding mean filtering

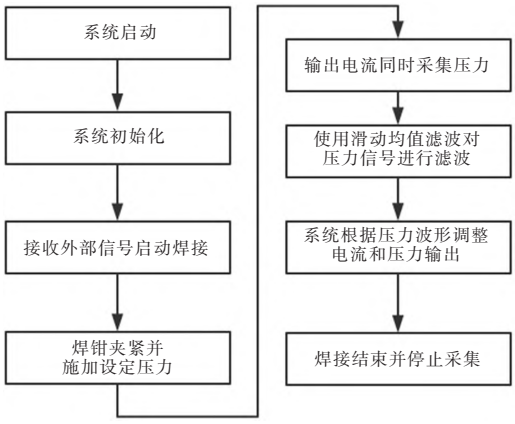


图 11 程序流程图
Fig.11 Program flow chart

对信号进行平滑处理，系统根据信号的动态变化调整输出电流以及压力，控制熔核形成过程，得到稳定的焊点熔核。

5 系统验证

通过对1.5 mm 厚的 6012 铝合金板进行点焊和压力信号采集进行本系统的验证。焊接工艺采用预热电流 10 kA、预热时间 100 ms、焊接电流 45 kA、焊接时间 180 ms，预热段与焊接段的过渡选择电流递增模式，递增时间设定为 300 ms。图 12 是通过本系统采集的焊接过程压力信号变化波形。可以看出，采用软硬结合的滤波方法后波形明显地变化平稳，还能够准确反映焊接过程中电极压力的变化，达到了本系统设计的目的。

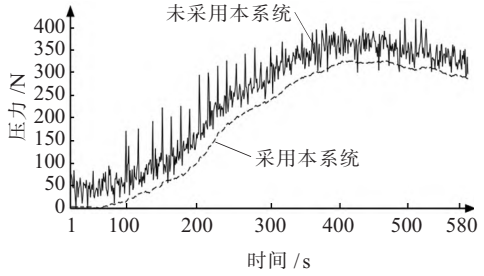


图 12 压力信号变化波形图
Fig.12 Pressure signal variation waveforms

最后，将本系统应用于实际铝合金点焊的焊点质量控制中，焊接控制器根据本系统采集的准确压力信号，实现对焊接过程中电流和压力的自适应调节，达到了提高焊点质量的效果。图 13 为运用本系统进行焊接质量控制后得到的焊点横切面的图片。表 1 为未运用本系统前焊点熔核直径统计表，熔核直径均值为 5.465 mm，焊点中有裂纹以及大量气孔。表 2 为运用本系统后焊点熔核直径统计表，熔核直径均值为 6.045 mm，提高了 10%，而且焊点无裂纹，气孔也较少，焊接质量得到了有效提升。

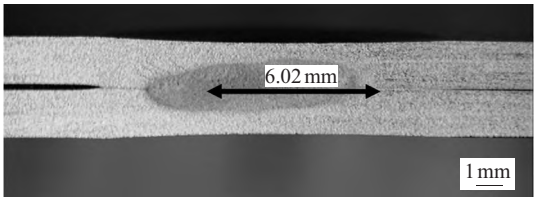


图 13 焊点横切面的图片
Fig.13 Image of cross section of the solder joint

表 1 未采用本系统的焊点熔核直径统计
Tab.1 Statistics of nugget diameter of solder joints without this system

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
熔核直径 /mm	5.5	5.2	5.3	5.7	6.0	5.8	5.2	5.4	4.7	5.6
编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
熔核直径 /mm	5.2	5.3	5.2	5.3	5.7	4.9	5.8	6.0	5.8	5.7

表 2 采用本系统的焊点熔核直径统计
Tab.2 Statistics of nugget diameter of solder joints using this system

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
熔核直径 /mm	6.2	6.5	6.3	5.7	5.8	6.0	5.8	6.9	5.9	5.7
编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
熔核直径 /mm	5.6	6.4	6.1	6.1	6.0	5.8	5.9	5.7	6.2	6.3

6 结语

本文设计了一种铝合金点焊压力采集的滤波系统。第一步，设计了采集电路，实现对压力信号的采集和电平转换；第二步，采用有源二阶低通巴特沃斯滤波以及滑动均值滤波的方法，解决压力信号受干扰的问题。通过实验验证了本系统的有效性，并通过使用本系统前后熔核直径的对比发现采用本系统后焊点熔核直径平均值提高了 10%，而且焊点无裂纹，气孔也较少。因此，本系统既能够准确反映焊接过程中的压力变化和熔核状态，还在铝合金点焊的质量控制应用中取得了良好效果。

参考文献：

[1] 韩立军，林鹏宇，张更伟，等．Study on asymmetric thermo-physical effect mechanism of intermediate frequency DC resistance spot welding for aluminum alloy [J]．China Welding，2021，30(1)：48-56.

(下转第 58 页)

中国知网 https://www.cnki.net

了焊缝晶粒。

（3）采用感应钎焊工艺，基于优化的锌基钎料和化学镀镍磷层工艺的铜铝接头的力学性能得到显著提升，剪切强度达 37MPa，疲劳寿命达 85000 次。

参考文献：

[1] 张满．铝 / 铜异种材料焊接的研究现状 [J]．热加工工艺，2009，38(9)：122-125．

[2] 夏兆辉，姚辉，孙谊媚，等．铜铝复合材料在电力电气行业的研究和应用[J]．热加工工艺，2016，45(22)：24-28．

[3] 杨军伟．铜铝过渡线夹事故分析及预防措施[J]．科技创新与应用，2017(9)：213．

[4] 杨可，苏尚流，林文贵．配电网设备线夹施工工艺与铜铝过渡分析[J]．电器与能效管理技术，2021(3)：36-40．

[5] Carlone Pierpaolo，Astarita Antonello，Palazzo Gaetano S，et al．Microstructural aspects in Al-Cu dissimilar joining by FSW [J]．International Journal of Advanced Manufacturing Technology，2015，79：1109-1116．

[6] Yang X W，Li W Y，Xu Y X，et al．Effect of welding speed on microstructures and mechanical properties of Al/Cu bimetal composite tubes by a novel friction-based welding process [J]．Welding in the World，2019，63：127-136．

[7] 吴雁，郭立新，肖礼军，等．激光焊接工艺参数对铜 / 铝异种材料焊缝成形及力学性能的影响[J]．热加工工艺，2021，50(17)：46-49．

[8] Hoseini Athar M M，Tolaminejad Behzad．Weldability window and the effect of interface morphology on the properties of Al/Cu/Al laminated composites fabricated by explosive welding[J]．Materials & Design，2015，86：516-525．

[9] 曹凯，刘新宽，刘平，等．无镀镍铜 / 铝低温钎焊工艺优化[J]．热加工工艺，2020，49(3)：48-52．

[10] Lei Zhenglong，Zhang Xinrui，Liu Jinge，et al．Interfacial microstructure and reaction mechanism with various weld fillers on laser welding-brazing of Al/Cu lap joint [J]．Journal of Manufacturing Processes，2021，67：226-240．

[11] 熊志林，张义福，陈朵云，等．焊接能量对铜铝超声波焊接接头界面元素互扩散的影响 [J]．热加工工艺，2021，50(17)：118-121．

[12] 魏艳妮，李辉，肖鹏，等．铜 / 铝搅拌摩擦焊工艺及组织研究进展[J]．热加工工艺，2020，49(1)：1-5．

[13] 张璐瑶，武小娟，孙焕焕，等．镀镍层对铜铝金属间化合物的影响[J]．沈阳理工大学学报，2019(1)：16-19．

[14] 李伟洲，李月巧，胡治流，等．化学镀镍磷层对铜焊接性能的影响[J]．广西大学学报(自然科学版)，2010(2)：367-371．

[15] 李一楠，崔壮，吴志远，等．Ni/Al/Zn 钎料层对 AZ31/2024 异种金属钎焊接头组织及性能的影响 [J]．中国有色金属学报，2021(6)：1526-1535．

[16] 王蒙，张冠星，钟素娟，等．Mg 对 Sn-0.7Cu 钎料组织及性能的影响[J]．材料导报，2021(10)：10147-10151．

[17] 成龙，王洪礼．铝铜异质焊接用新型复合锌基的制备及性能研究[J]．化工管理，2017(3)：199．

(上接第 52 页)

[2] 陈晓辉，钟志平，陆辛．车用铝合金连接技术的研究进展与应用[J]．热加工工艺，2016，45(11)：5-8．

[3] Ren C，Dan W J，Gou R B，et al．Effect of bake hardening treatment on the mechanical behaviors of aluminum alloy spot welding joints[J]．Russian Journal of Non-Ferrous Metals，2017，58(5)：500-508．

[4] 徐杏杏，兰小刚，周海，等．Ti230 合金电阻点焊接头组织与显微硬度研究[J]．热加工工艺，2019，48(1)：183-184．

[5] 陈树君，郝键，李方，等．铝合金电阻点焊压力信号的动态特征分析[J]．焊接学报，2020，41(3)：1-6．

[6] 陈树君，李天明，邬娜，等．分时压电振动对铝合金电阻点焊强度的影响[J]．焊接，2020(6)：1-4．

[7] 王大伟，贾荣丛，王划一．基于 Matlab 的巴特沃斯滤波器设计[J]．现代电子技术，2012，35(21)：71-72．

[8] 晏春海，田蔚风，王俊璞．巴特沃斯低通滤波器的设计 [J].弹箭与制导学报，2003(S2)：106-108．

[9] 牛燕炜．有源低通滤波器的设计与仿真分析[J]．现代电子技术，2007(12)：181-183．

[10] 黄健，张善文，周端．基于 STM32 的 A/D 采样软件滤波改进算法研究[J]．仪表技术与传感器，2016(3)：83-85．

[11] 王科俊，熊新炎，任桢．高效均值滤波算法 [J]．计算机应用研究，2010，27(2)：434-438．

[12] 王吴建华，李迟生，周卫星．中值滤波与均值滤波的去噪性能比较[J]．南昌大学学报(工科版)，1998(1)：33-36．

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2013.19.086

高 新 技 术

用于水下机器人抛载装置的水下电磁铁总体设计

廉正光
(天津职业大学 天津 300410)

摘 要:抛载装置是水下机器人的重要安全保障措施,要求具备良好的可靠性和维护性能。与目前广泛采用的多种抛载方式相比较,采用水下电磁铁触发机械抛载装置具有动作可靠,结构简单,使用和维护方便的优点。本文通过分析和提出水下机器人对于电磁铁设计参数和使用工况的具体需求,对电磁铁的各个部分进行了总体设计。

关键词:水下机器人 电磁铁 抛载装置
中图分类号:TP242 文献标识码:A 文章编号:1672-3791(2013)07(a)-0001-01

水下机器人抛载装置的作用是抛弃压载重物,使水下机器人获得正浮力,研制小型化可靠释放机构对水下机器人的安全运行具有重要意义[1,2,3]。目前已有的各种抛载方式都有一定的技术局限性和作业局限性。电磁铁应用于水下机器人具有一定的优势:结构简单,体积小、行程大、安全可靠性高;能源消耗较小;实时触发,无延时;更换重物操作简便,维护需求低。目前采用电磁铁触发抛载的水下机器人系统都根据自身情况量身定做,不具备通用性,参考资料也少有公开。

本文面向大中型水下机器人的抛载需求,开发设计出一种新型、具有模块化特点、高可靠的通用型水下机器人电磁铁。该电磁铁设计为低压24 V启动,尽管这样增加了线圈的尺寸和重量,但可靠性高,响应速度快,而且具有结构紧凑和轻量化的优点。

1 电磁铁抛载方案的设计

电磁铁是一种通电后对铁磁物质产生吸力,把电磁能转换为机械能的装置。电磁铁的应用范围很广,而且结构不十分复杂,制造简单,也便于后续加工。电磁铁一般由线圈、铁心和衔铁三个主要部分所组成。其工作原理在于给线圈通以一定数值的电流后,在铁心、衔铁和气隙之间产生一定数量的磁通Φ。在磁通的作用下,产生一定大小的电磁吸力,将衔铁吸向铁心,将他们之间的气隙减到最小。由此可知,线圈是电磁铁获得电磁能量的源泉,通了电流的线圈就会产生一定的磁势。本文选用螺管式电磁铁,在对螺管式电磁铁通电后,催动衔铁发生直线位移,从而打开释放锁。

由于此次设计的电磁铁会应用于水下机器人中,工作的环境是成分复杂同时具有腐蚀性的海水中,因而必须对电磁铁系统进行一定的密封和抗腐蚀设计。

基于上述考虑,结合实际抛载要求,初步确定抛载系统的工况参数:抛载重物为30 kg;衔铁行程为20 mm;推力为2 kg。

图1为该装置的外观图。该方案将电磁线圈、衔铁、铁心都容纳到铝合金舱体中,铁芯推杆制造成活塞形式以实现往复行程和滑动密封,内部充变压器油实现压力补偿和内外压力平衡。

为了能够使电磁铁通电后避免因为补偿器处O型密封圈的摩擦力迟滞推杆响应速度,压力补偿活塞杆处采用弹簧施加预压力。为保证完成触发行程后推杆能回到初始位置,在后推杆处增加恢复弹簧,以克服回程时的摩擦阻力;前、后推杆上设计了回油孔,以补偿推杆移动时舱体内部油液的空间分布变化。

2 电磁铁的设计

在确定好方案后,参照电磁铁的计算步骤和方法,对电磁铁的各个部分进行初步的计算。根据水下机器人所使用的电源类型可以确定电磁铁为直流电磁铁,额定工作电压$U_H=24$ V,由于抛载系统只有在上浮和紧急状况下才工作,故一般为单次触发,工作时间较短;且在海水中散热条件好,温升问题不突出,按照短时工作制设计。

根据释放锁打开棘爪所需要推动距离和克服弹簧的拉力可以确定电磁铁推杆的工作行程d=2 cm,净推力F=4 kg。进行电磁铁关键参数的计算。

最后,计算线圈工作电流,线圈磁势和消耗功率,为周边电路的设计和电子器件的选择提供参考。

线圈平均匝长:

$$l_{cp}=\frac{p(D_1+D_2)}{2} \quad (1)$$

线圈电阻:

$$R=r\frac{l_{cp}W}{\frac{p}{4}d^2} \quad (2)$$

根据式(1)可求得$l_{cp}=0.132$ m,代入式(2)求得$R=5.8$ Ω。

电压为额定值时线圈的电流为$I=\frac{U}{R}=\frac{24}{5.8}$ A=4.2 A;电压为额定值时的线圈磁势$IW=4.2\times806=3386$安匝;电压为额定值时线圈消耗的功率$P=\frac{U^2}{R}=\frac{24^2}{5.8}=99$ W。

3 结语

本文的主要内容为水下机器人抛载电磁铁结构研究和优化。本文从研究国内外水下机器人抛载装置技术发展现状入手,提出专用的水下机器人抛载装置触发电磁铁设计方案。

该方案考虑了压力补偿机构和耐腐蚀性能,使其能够适应深海环境和长期使用的需求。在此基础上,本文以20 mm推杆行程和4 kg触发力为技术要求,进行了详细设计计算。该方案及其计算过程为同类装置的设计提供了参考。

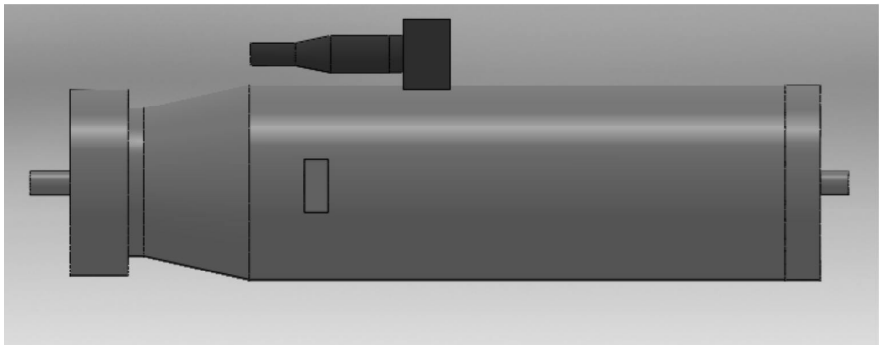


图1 电磁铁触发装置方案外观

参考文献

[1] 朱继懋.潜水器设计[M].上海:上海交通大学出版社,1992.
[2] (苏)米特里耶夫,著.深潜器设计[M].凌水舟,译.北京:国防工业出版社,1978.
[3] 封锡盛,刘永宽.自治水下机器人研究开发的现状和趋势[J].高技术通讯,1999,13(9):55-59.

DOI:10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2014.15.121

在实训教学中推行“5S”管理

Implementation of the "5S" Management in the Practice Teaching

张敬① ZHANG Jing;张倩颖② ZHANG Qian-ying
(①天津职业大学,天津 300410;②天津市汇通仪器设备公司,天津 300410)
(①Tianjin Vocational Institute,Tianjin 300410,China;②Tianjin City Huitong Instrument and Equipment Company,Tianjin 300410,China)

摘要:起源于日本的“5s”管理,是指在对生产现场的生产要素,如:人员、机器、材料和方法等进行的有效管理,这是日本企业独特的一种管理办法。由于应用此方法能够有效推动企业的良好发展,因此,现在已广泛应用于我国的各类型企业中,但是以职业技能教育为主的高职学院各类实训中心却少有应用,本文将介绍“5S”管理的作用及如何应用于实训中心教学管理中。

Abstract: The "5S" management originated in Japanese refers to the factors of production to the production site, such as: effective management of the personnel, equipments, materials and methods, this is a kind of unique management method of Japanese enterprise. Due to the application of this method can effectively promote the sound development of enterprises, various types of enterprises now has been adopted it in our country, while it is rarely used in all kinds of training center of higher vocational colleges which set vocational-technical education as core. This article will introduce the function of "5S" management and how to apply to the teaching management of practice teaching center.

关键词:"5S";管理;实训

Key words: "5S";management;practice

中图分类号:G647 文献标识码:A 文章编号:1006-4311(2014)15-0246-02

1 “5S”的起源与发展

“5S”作为日本企业独特的一种管理办法,是指对生产现场中的人员、机器、材料、方法等生产要素进行有效的管理。日本“5S”在1955年的宣传口号为“安全始于整理整顿,终于整理整顿”,当时由于仅是为了保证作业空间以及安全,所以仅推行了前2S。后来随着生产控制以及品质控制的需要逐步提出了“清扫、清洁、修养”的3S,从而进一步扩展了其应用的空间和适用范围。首本5S著作于1986年问世,巨大了冲击了整个日本现场的管理模式,从而掀起了5S热潮。日本企业将5S运动作为工厂管理的基础从而推行各种品质管理手法,随着二战后产品品质的迅猛提升,从而奠定了经济大国的地位。“5S”作为现场管理的有效工具之一,已经受到国内外众多企业的广泛认同。

2 “5S”的含义

“5S”指的是英文SEIRI(整理)、SEITON(整顿)、SEISO(清扫)、SEIKETSU(清洁)、SHITSUKE(修养)这五个单词,因为五个单词前面发音都是“S”,所以统称为“5S”。

①整理:将现场物品区分为必需品和非必需品,现场不允许放置非必需品。将现场混乱的状态收拾成井然有序的状态,由于“5S”和整理的目的都是有效地改善企业的体制,因此,两者相辅相成。

②整顿:为了将寻找必需品的时间减少为0,应当确保在30s内找到要找的东西,除了包括迅速取出和立即使用外,还要保证其处于节约状态。

③清扫:确保岗位处于无垃圾、无灰尘以及干净整洁的状态。清扫的对象除了包括地板、天花板、墙壁以及工具架和橱柜等外,还包括机器、工具和测量用具等。

④清洁:将整理、整顿和清扫进行到底,并且管理公开化、制度化以及透明化。

⑤修养:大家务必要认真遵守执行已经规定了的事情。通过严守标准以及强调团队精神,最终养成良好的“5S”管理的习惯。

在生产场所实施“5S”管理除了有效改善生产环境外,还能切实提高生产效率、产品质量、服务水准和员工士气等,因此,不仅是减少浪费和提高生产力的基本要求,更是有效开展其他管理活动的基础。

3 开展“5S”管理的目的

实施“5S”管理可以改善其实训环境、降低成本、确保安全生产实训及保持教职工高昂的士气。

3.1 改善和提高实训中心形象 整齐清洁的工作环境不仅容易吸引学生的实习训练以及提升学生学习的热情,同时通过良好的口碑,还能够成为其他学校实训中心学习的对象。

3.2 促成工作效率的提高 广大教职员工身处良好的实习环境和工作氛围中,工作战友修养较高,不用浪费过多的时间寻找物品,因此,能够更加集中精力去工作学习,自然有效提高了工作的兴趣以及教学的成绩。

3.3 改善实训工具、材料在库周转率 通过彻底执行最低库存量的管理即整洁的工作环境和有效的布局和保管,从而对于需要的物品能够立刻取出并应用。物料间由于物流通畅,从而有效减少甚至消除了寻找和滞留的时间,因此,工具和材料的在库周转率得到了有效改善。

3.4 保障实训中心安全生产 通过对生产现场实行“5S”管理,物品存放明确,工作处行所宽敞明亮以及通道畅通,在地上也不会随意摆放不该放置的东西,有条不紊的实训场所有效地减少了意外伤害的发生,从而有效保证了安全生产。

3.5 降低运营成本 现场通过实施“5S”管理能够有效地减少场地、人员、设备以及时间等方面的浪费,从而大大降低了实训中心运营的成本。

作者简介:张敬(1976-),男,天津人,本科,实验师,主要从事实训教学工作;张倩颖(1983-),女,天津人,本科,助理工程师,研究方向为机械加工。

中国知网 https://www.cnki.net

物流职业教育可持续发展模式探讨

Discussion on the Sustainable Development Model of Logistics Occupational Education

周斌 ZHOU Bin
(江苏农牧科技职业学院,泰州 225300)
(Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China)

摘要:随着市场经济的发展我国物流市场庞大,并且仍在快速增长中,物流市场的庞大促进了物流人才的需求。本论文从分析我国物流人才培养中存在的瓶颈问题着手,借鉴上海、江苏等地职业教育衔接发展的经验,提出适应我国中高职-应用本科物流人才贯通式培养的途径和方法。

Abstract: With the development of market economy, China's logistics market is huge, and is still in rapid growth. The huge market promotes the logistics demand for logistics personnel. This paper analyzes the bottleneck problems existing in China's logistics personnel training, on the basis of Shanghai, Jiangsu and other places occupation education development experience, it also puts forward training ways in accordance with our country's demand of higher vocational applied logistics talents.

关键词:物流人才;衔接教育;培养模式;可持续发展

Key words: logistics personnel; link up education; training mode; sustainable development

中图分类号:G420 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-4311(2014)15-0247-02

1 物流人才培养对应的教育层次

当前物流人才的需求一般包括4个层次(表1)。

表1

中职层次	节点性、作业性初级管理人才
高职层次	综合性、高技能操作管理人才
应用本科层次	学科性、物流策划、管理人才
研究生层次	研究型人才、学术性高级管理人才

2 我国物流人才培养中存在的瓶颈问题

一方面,随着市场经济的发展我国物流人才缺口很大。我国物流市场庞大,并且仍在快速增长中,物流市场的庞大促进了物流人才的需求。据相关部门预测,截止2012年我国高级物流人才每年需求3万-4万。中国的物流市

作者简介:周斌(1973-),男,江苏泰州人,日本关东学院大学经济学研究科毕业,硕士,江苏农牧科技职业学院讲师,主要从事物流教学科研工作,研究方向为国际物流、物流营销。

3.6 改善教师精神面貌,使组织充满活力 人人都提高自身修养,有尊严和成就感,对自己的工作尽心尽力,并带动改善意识,实施合理化提案改善活动,增加组织的活力。

3.7 合理安排时间,提高实训质量 由于实施了"一目了然"管理,使异常现象明显化,减少教师、设备、材料、时间的浪费,实训过程顺畅,提高了实训效率,缩短了实训周期,从而确保实训质量。

3.8 融入实训教学,培养职业素养 培育学生的职业素养,在实习阶段就可以接触企业的管理理念和方法,提前了解和适应企业的工作需求。不仅使学生在实训中心学会操作技能,也培养学生的职业素养,为企业输送合格的技术人才。

4 "5S"管理的高职实训中心的应用

"5S"管理的目的就是通过改善实习环境从而有效提高教学质量以及提升教职员工的工作能力,除了整理、整顿和清扫彻底外,还给予制度化的管理等,都是为了有效减少浪费并提高工作效率,从而成为有效开展其他管理活动的基础。

具体操作方法如下:

4.1 将"5S"活动纳入岗位责任制 要使高职实训中心每一部门、每一个人员都有明确的岗位责任和工作标准。以实训教学每日课程结束清扫设备为例。

将实习学生按照学号的单双号分为两个小组,为了使学生都能得到锻炼的机会,可将其清扫内容每天进行轮换。比如说单号的学生擦机床等配套设施,双号的学生就可以负责全部地面的卫生,转天再进行轮换。擦拭机床的学生按照机床的清扫要求及工具箱的整理要求,将机床清扫干净,工具、刀具摆放整齐。清扫地面的学生将设备周围及走道的地面打扫干净,并将清扫工具放回清扫工具架。

4.2 严格执行检查、评比、考核制度 能够保证"5S"活动不断改进的重要措施包括检查、评比和考核。检查和考核的方法有很多,在应用的过程中应当根据各个单位的实际情况来决定。实训教学中通过考核反映各组学生的执行能力,找出各组学生之间的差距,将考核成绩纳入学生实习成绩。根据考核成绩适当更改教学内容,在实训教学中进行职业素质教育,注重学生的职业道德培养。

4.3 坚持"5S"循环、不断提高现场的"5S"水平 "5S"活动需要不懈的坚持、改善以及循环,而素养是循环的中心,因此,实训教学在开展"5S"活动的过程中,必须牢牢抓住这个中心。

通过"5S"活动使教职工的自觉性明显提高,按照"5S"的内容规范自身的行动,使实习现场保持良好的实训环境和实训秩序,防止现场"脏、乱、差"和不文明生产的现象发生,使其不止是写在墙上的标语,也成为一种行动准则深深印在了每一个教职工的心里。

参考文献:

[1]浅淡5S管理[J].现代企业教育,2008(17).

[2]姜建军,王光荣.5S管理向前走[J].中国质量,2005(12).

[3]丛培兰."5S"管理在高职实训中的应用[J].科技信息,2008(17).

中国知网 https://www.cnki.net

增加辅助压紧工艺凸台工艺在典型铸造件机械加工中的应用

张　敬

（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：结合典型铸造件的实际情况，采用增加辅助压紧工艺凸台工艺（便于机械加工），分析总结某典型铸造件的外形特征以及尺寸特征，确定毛坯状态，促使整个机械加工过程由繁变简，全面的提高机械加工效率，且保证产品质量。

关键词：增加辅助压紧工艺；凸台工艺；典型铸造件；机械加工；应用

机械加工的常用方法为铸造，且具有成本低、工艺灵活性强等特点，能够有效的获取复杂或者大型零件，因此，在机械加工中占据着重要地位。随着现代制造技术的不断发展，对机械加工的精度要求越来越高，但是，在实际铸件过程中，往往由于定位基准、装夹方式等因素的影响，容易出现不合格品，造成产品报废，最终导致成本增加、延误生产节点。基于此，本文对增加辅助压紧工艺凸台工艺在典型铸造件机械加工中的应用展开具体的分析，期望能够产生一定的积极效用。

1 零件加工技术的选用

选择本公司某典型铸造件（图 1），该典型铸造件由多个零件装配而成，因此，其机械加工的精度会对整个装配系统造成最直接的影响，关系到整个装配系统能否正常运行。该典型铸造件的结构形状比较复杂，且尺寸比较繁多，为了加工出合格的零件，需要选用便捷的装夹以及正确的加工基准。

该典型铸造件的毛坯材料为 ZM5A－T4，且铸造的精度设置为 HB6103－1986CT10，在整个机械加工的过程中，为了保证整个装配精准度，我们严格的设置布局了图 1 中的 A、B、C、D 四个孔的位置，与此同时，保证孔距之间的尺寸精度为±0.05mm，将 H8 级设置为孔径尺寸精度，另外，几何形状公差中的平面度参数为 0.05mm，且 R_a=1.6um 为表面粗糙度，角度公差为±10′。

另外，考虑到装配要求以及零件使用方面的需求，发现，该典型铸造件的机械加工重点在于四处孔的加工，而且在机械加工的过程中，为了有效的减少加工面，继而缩短加工时间，选用精密铸造方式，且要将加工部位减到最少，其加工主要集中在 A、B、C、D 四个孔，以及部门装配安装零件时所需要用到的面、孔等。

2 精基准的选择

该典型铸造件机械加工中，选择精基准，所谓的精基准是指：在最初的几道加工工序中加工出来，为后期做好定位以及相应的装夹准备，与此同时，在后期机械加工中，以其为基准，对其他部门进行精准的加工。

该典型铸造件由于形状比较复杂，且没有规则的面可以提供我们选用，比较图 1 中的 A、B、C、D 四个孔，发现 A、B 两孔更加适合做精基准（与 C、D 两孔相比较），具体体现在：（1）A、B 两孔均属于装配孔，在机械加工的过程中，以这两孔为精基准，能够与设计工艺相重合，即符合“基准重合”原则，而且在此过程中，可以有效的减少尺寸换算，继而有效的避免因基准不重合所引起的误差，提高生产质量。（2）与 C、D 两孔相比较（均属于空间孔，不易定位、装夹），A、B 两孔的坐标系关系相对比较简单。

3 粗基准的加工处理

该典型铸造件机械加工中，其粗基准的选用，主要是用来加工精基准所使用的定位面，且科学的选用粗基准，能够保证在后续的加工中，促使各个加工面的加工余量保持均匀，继而满足后续加工、夹紧牢固等要求。

从图 1 和上述的分析，可知该典型铸造件结构比较复杂，而且发现能够供加工中装夹压紧的部位几乎不存在，在此情况下，C、D 两孔较长，在没有可靠的刚性支撑条件下，极易发生振刀，从而影响整个孔的加工精度，最终影响整个产品加工质量。因此，在确定毛坯状态时，需要充分的考量各种因素，科学的选择粗基准，为后续加工做好相应的准备，以便达到事半功倍的加工效果。

为了达到最佳的加工效果，需要对粗基准进行加工，具体做法为：（1）在图 1 上增加两处带有凸台的 E、F 面，这样做的目的为：方便压紧零件。

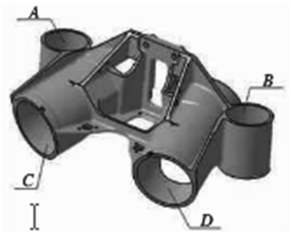


图 1



图 2

（2）在图 1 上增加了 4 处圆柱凸台 F，这样做的目的为：有效的扩大定位面的作用，且在辅助压紧的过程中，起到支撑的作用。在实际改动过程中，需要按照一定的尺寸要求先将 E、F 面加工出来，并且将其视为粗基准，然后做后续加工，改动后的铸造件形态如图 2。

4 精基准的深度加工处理

在精基准的选用以及粗基准的加工完成之后，需要对精基准进行深度加工处理，在深度加工过程中，首先需要加工面定位，并且以典型铸造件的中心线以及 A、B 两孔中心平分线为准，对 A、B、C、D 四个孔进行粗加工，A、B、C、D 四个孔进行粗加工需要保证加工质量，稍有不慎便意味着整个典型铸造件机械加工的失败，在此基础上，为了有效的检验所设置的基准线是否符合相关要求、是否准确无误，需要在加工过程中，时刻注意观察记录零件余量分配是否合理，一旦发现任何不合理的地方，需要及时的纠正和修改，避免误差的产生。另外，在毛坯试加工中，一旦发现不合理装配，需要通过调节尺寸来拯救加工的精准度，然后开展后续加工工作。

后续加工的具体步骤体现在：（1）在 A、B、C、D 四个孔粗加工完成之后，需要对零件进行翻面，翻面后，需要对 A、B 两孔进行定位精加工，其定位设置在图 2 中的凸台 E 面上。（2）对图 2 中的凸台 E 面上 A、B 两定位孔进行精加工之后，需要对零件所剩余的所有加工部位进行精加工。（3）所有需要精加工的部位加工完成之后，需要对零件进行翻面，将图 2 中的 E、F6 处凸台去除。

5 结语

典型铸造件机械加工重点在于：毛坯基准的科学准确选择以及增加辅助压紧工艺凸台工艺应用，正确的使用增加辅助压紧工艺凸台工艺，使得整个零件机械加工程序由繁化简，而且从本文的整体分析来看，增加辅助压紧工艺凸台工艺在典型铸造件机械加工中的应用，体现在典型铸造件机械加工的各个环节，渗透在每一个加工细节，如：零件加工技术的选用、选择精基准、粗基准的加工处理以及精基准的深度加工处理等，在整个机械加工的过程中，保证零件加工质量。

增加辅助压紧工艺凸台工艺在典型铸造件机械加工中的应用，需要保证基准的科学合理性，在铸造图的设计中，且需要综合的考量各种因素的影响，在后续加工中，注重装夹是否便利、可靠，尽可能的将复杂的加工程序简单化，且保证加工质量，从而有效的缩短加工时间，提高机械加工效率，与此同时，保证典型铸造件机械加工质量，推动我国机械加工行业的健康发展。

综上所述，在实际操作中，增加辅助压紧工艺凸台工艺在典型铸造件机械加工中的应用是一个比较复杂的过程。本文的分析阐述只是通过一个典型铸造件机械加工的分析，来摸索出一些铸造件的机械加工经验，可能存在一定的片面性，但是不可忽视其研究价值，期望能够为我国现行铸造件机械加工工作提供一定的参考与指导。■

参考文献

[1]张业俊.典型铸造件机械加工工艺方法研究[J].金属加工（冷加工），2015,(3):37－38.

[2]余琨,薛新颖,毛大恒等.超声铸造对 AZ31 镁合金铸锭及热轧板材组织与性能的影响[J].中南大学学报（自然科学版）,2011,42(7):1918－1922.

[3]蒋文明,樊自田,刘德均等.铝、镁合金真空低压消失模壳型铸造的缺陷分析[J].特种铸造及有色合金,2012,32(4):311－314.

[4]陈丙熹,袁晓光,曹阳等.基于典型曲面结构铸件凝固过程收缩量的模拟研究[J].铸造,2014,63(2):152－155.

[5]Qin Fangcheng yong－tang li. Casting rolling composite forming flange slab of high temperature deformation behavior and image processing [J]. Journal of mechanical engineering, 2016,52 (4) : 45－53.

[6]yong－long Chen. Large ball iron wind planet carrier molding process optimization design research [J]. Journal of thermal processing, 2011, 40 (21) : 50－52.

[7]樊自田.从典型砂型铸造方法的环境特征看铸造粘结剂的发展趋势[J].金属加工（热加工）,2014,(9):16－19.

[8] 王礼凤. 铝合金铸件机箱四孔定位加工工艺方法研究 [J]. 机械,2014,41(3):62－64.

中国知网　https://www.cnki.net

窄间隙矩形通道内填充泡沫金属后的换热性能分析与应用*

逯彦红[1,2]，段国林[1†]
(1. 河北工业大学 机械工程学院，天津 300132；2. 天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘　要： 本文以窄间隙矩形通道内填充泡沫金属后与空气强制对流的换热效果为研究对象，建立了窄间隙矩形通道内填充泡沫金属的多孔介质三维散热模型，采用ANSYS-FLUENT软件对该模型进行了模拟，并进一步分析了截面速度分布、表面换热系数、努塞尔数等参数对泡沫金属内部流动与换热特性的影响．最后，以电动汽车电池模块为验证对象．在同等风速下，在矩形电池单体间隙内填充泡沫铝后，电池壁面温度最高可下降4.3°C，最大温差可下降3.2°C，验证了利用泡沫金属对电动汽车电池模块散热的可行性与有效性．

关键词： 窄间隙矩形通道;金属泡沫;强制对流; 换热特性；电池
DOI： 10.13568/j.cnki.651094.2016.04. 022
中图分类号： TK124　**文献标识码：** A　**文章编号：** 1000-2839(2016)04-0491-04

Analysis and Application of Heat Transfer Characteristics for Metal Foam Filled in Narrow Rectangular Channel

LU Yanhong[1,2], DUAN Guolin[1]

(*1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China; 2. School of electric-mechanical engineering and automation, Tianjin vocational institute, Tianjin 300410, China*)

Abstract： Taking heat transfer effect of air forced convection after filling foam metal into the narrow rectangular channels as the research object, a three-dimensional thermal model of porous medium was built for metal foam filled into narrow rectangular channel, and was simulated by ANSYS-FLUENT software.Then influence of the internal flow and heat transfer characteristics about some parameters such as the sectional velocity distribution, surface heat transfer coefficient, Nusselt number and temperature was anallysed. For battery pack of EV, at the same wind speed, the wall temperature can drop 4.3 °C the maximum temperature difference decreased 3.2 °C after filled foam aluminum into the batteries gap. The feasibility and effectiveness of heat dissipation by filling foam metal into EV battery module.

Key words： narrow rectangular channel; metal foam;forced convection; heat transfer characteristics; battery

泡沫金属（开口）质量轻，比表面积大．作为换热材料，流体流过时与流动方向相垂直的孔棱可将边界层隔断强化流体湍动[1,2]，增强湍流效果[3]，增强固体壁面与流体的表面换热系数，在高强度电子设备散热方面应用前景广阔．

目前对于泡沫金属换热的研究大多集中在圆形管道和二维平板方面．清华大学的姜培学等、西安交通大学的李盈海等、华中科技大学的黄志峰等利用数值分析的方法研究了在圆形管道内填充泡沫金属后的强制对流换热效果，研究结果表明添加金属泡沫大幅度减薄了边界层厚度，努塞尔数增大[4−6]．中国石油大学的黄善波、徐会金等对二维结构平板内的对流换热进行数值研究，也得出了填充泡沫金属后可以增强换热的结论[7,8]．迄今为止，在矩形腔内填充泡沫金属散热的研究较少，尤其是狭窄缝隙处填充泡沫金属的散热研究几乎没有报道，而新能源汽车的电池模块等很多高强度电子设备都是多个单体的阵列，间隙都属于窄间隙腔体．本文就基于在窄间隙矩形腔体内填充金属泡沫后的强制对流散热机理进行分析，并在电动汽车锂离子电池模块中填充泡沫铝来验证窄间隙矩形通道内填充泡沫金属后的散热效果．

* **收稿日期：** 2016-07-08
基金项目： 河北省自然科学基金(F2014202241)．
作者简介： 逯彦红（1980-），女，博士，副教授，研究方向为电动汽车电池散热，E-mail:luyanhong80@126.com．
† **通讯作者：** 段国林(1963-)，男，博士生导师，教授，E-mail: glduan@ hebut.edu.cn

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0 建模对象分析

本文研究的泡沫金属填充于窄间隙矩形通道的情况如图1所示，矩形通道的左右两侧为恒定热流密度q. 冷却流体本文指空气，从通道入口进入，出口流出，空气的入口温度和入口速度均匀分布. 为了消除回流的影响以及与电动汽车电池模块结构的一致性，在入口处加长一段空间为入口段. 窄间隙泡沫金属通道尺寸为200mm*4mm*40mm，宽高比为1:10.

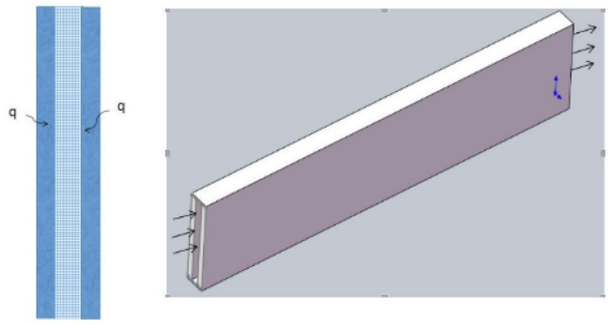


图 1 矩形通道内填充金属泡沫的几何模型

1 数学模型

采用Brinkman- Forchherier- extend Darcy模型和多孔介质局部热平衡模型.

泡沫金属属于多孔介质的一种. 多孔介质模型包括连续介质模型和非连续介质模型. 非连续介质模型以微观结构为基础，计算精度高，但泡沫金属的结构信息获取难度大，计算存储量需求大，故一般不采用. 而连续介质模型是忽略具体孔隙结构，通过定义微元控制体，求解包含平均孔隙率的Navier-Stocks方程组，进而获得近似解. ANSYS-FLUENT中的多孔介质模块就是基于连续介质模型的，本文也采用连续介质模型.

2 网格划分与边界条件

本文采用ICEM软件进行非结构性网格划分，网格数量达10^6，为保证计算结果的准确性，进行了网格无关性检验. 泡沫金属采用铝材质，孔隙率分别取0.85、0.9和0.95三种，导热系数λ为218 W/(m·K)，各向同性. 假设空气不可压缩，密度为1.205kg /m^3，无相变，忽略自然对流和辐射，忽略热弥散. 流固接触面为静止无滑移. 上下壁面绝热. 在入口处加长的入口段部分四面均绝热. 速度入口，取值从0.5m/s到3m/s，压力出口，出口压力为0Pa. 速度压力耦合求解采用SIMPLE算法.

利用ANSYS-FLUENT软件多孔介质模型求解时，两个关键参数粘性阻力系数和惯性阻力系数的计算可按下面公式定义.

$$D=\frac{\varepsilon^2}{K},\quad C=\frac{2C_F\varepsilon^3}{\sqrt{K}}.$$

式中D和C分别表示粘性阻力和惯性阻力，K和ε分别代表多孔介质的渗透率和孔隙率，C_F为惯性系数，是无量纲数，取0.1[2].

3 结果与分析

3.1 速度分布

窄间隙矩形通道内充分发展阶段某一界面的无量纲速度分布如图2，u_m是截面平均速度. 由速度分布图可以看出，填充金属泡沫后，窄间隙矩形通道内速度分布更均匀，说明填充金属泡沫后，通道内边界层厚度减小，这与文献[8]中报道的平板内流体通过泡沫金属和文献[9] 中报道的圆形管道内填充泡沫金属的速度分布和边界层厚度变化趋势一致. 但由于窄间隙矩形通道的长宽比值太小，本文模型的宽高比值为0.1，所以截面速度分布没有圆形管道和平板内填充泡沫金属的速度分布均匀性改善明显.

3.2 表面换热系数

多孔泡沫金属的强化传热主要是通过增强流体与多孔泡沫金属的对流传热来实现的，所以研究多孔泡沫金属窄间隙矩形通道内固体项和流体项两相界面间的对流传热系数对于分析多孔泡沫金属强化传热性能具有重要意义. 由图3可以看出，在等热通量条件下，窄间隙矩形通道内添加泡沫金属后，同样的入口速度下，表面换热系数增大约10倍. 同样的入口速度下，孔隙率越小，表面换热系数越大. 因为孔隙率减小，意味着固体骨架增多，流体与固体界面之间的比表面积增大，导热增强，换热能力提升. 这与文

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

献[10]报道的研究结果相符.

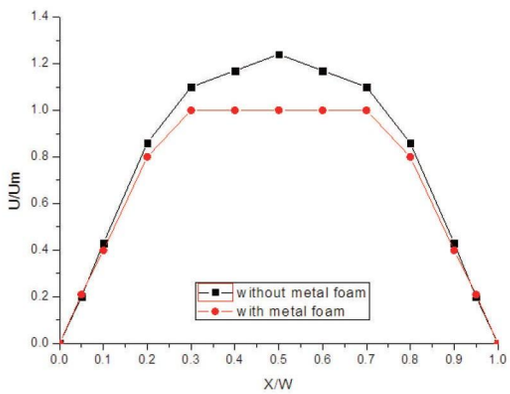


图 2　截面无量纲速度分布

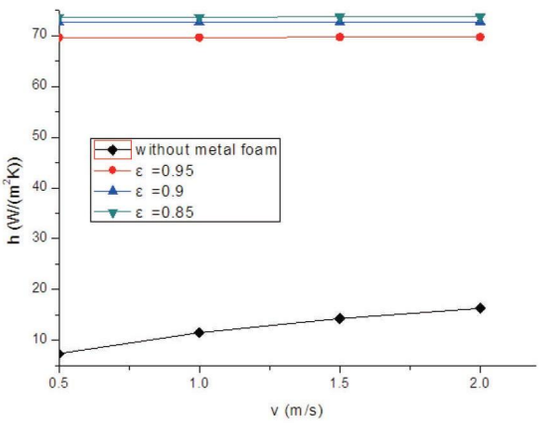


图 3　表面换热系数的变化

3.3　努塞尔数

努赛尔数（Nusselt number）是表示对流换热强烈程度的无量纲准数，是流体层流底层的导热阻力与对流换热阻力的比值，Nu越大，表示换热系统的对流换热能力越强. 由图4可以看出，添加泡沫金属后，窄间隙矩形通道内的努塞尔数相比不填充泡沫金属时大幅增大，说明对流换热强度明显增强. 这是由于空气流过通道时，受到泡沫金属复杂孔棱的扰动，空气流速的大小和方向不停地发生改变，增强了湍流效果，从而起到强化换热的效果. 其次是由于金属骨架的热导率高，骨架间的导热和骨架与空气间的对流换热相互作用提高了传热速率. 从图5可以看出，当渗透率一定时，随着泡沫金属材料孔隙率的减小，努塞尔数呈增大趋势. 分析认为孔隙率越小，金属泡沫的比表面积越大换热面积增大，导致增强换热. 而且孔隙率越小，对流空气的扰动越强，湍流程度越强.

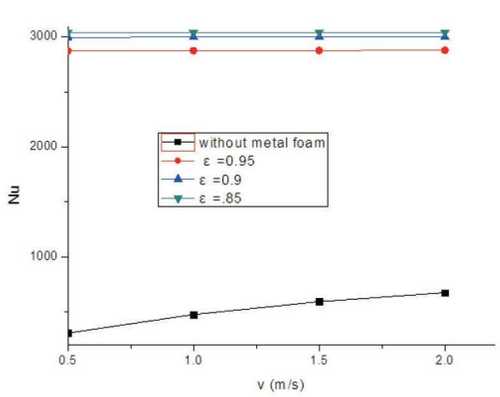


图 4　努塞尔数随入口速度的变化

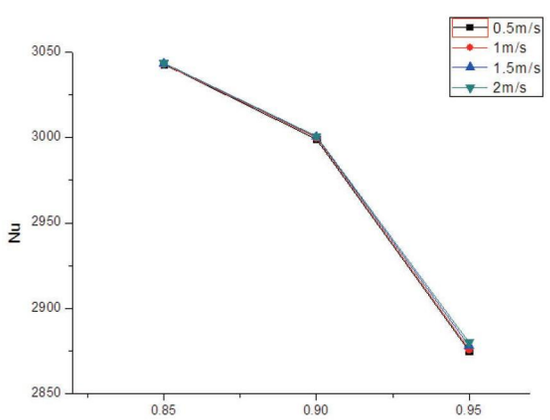


图 5　努塞尔数随孔隙率的变化

3.4　电动汽车电池模块的温度分布

基于环境保护和节约能源的角度考虑，电动汽车进入飞速发展的阶段. 锂离子动力电池性能稳定，可作为电动汽车良好的动力来源，但锂离子电池对工作温度非常敏感. 当电池在充放电过程中会有大量热量产生，会导致电池内部温度升高和单体电池之间温度不均匀，造成电池性能下降，循环次数减少，寿命缩短，严重时会影响到电池的使用安全. 国内电池包的设计在这方面考虑较少.

在矩形电池间距内填充泡沫铝后，形成窄间隙矩形泡沫金属空冷通道. 泡沫铝的填充长度分为5种，分别是无填充、填充长度占电池长度的1/4、2/4、3/4、4/4. 从图6和图7可以看出，填充泡沫金属后对电

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

池的最高温度和最大温差都有不同程度的降低. 对于最高温度, 仓内填充泡沫铝的长度越长, 电池最高温度越低, 最高温度可下降4.3°C. 对于最大温差, 随着填充长度的增加, 先减小后增大, 最多可下降3.2°C. 因为填充的泡沫铝长度越大, 散热面积也越大, 与流动方向相垂直的孔棱将边界层隔断强化流体湍动的效果更明显, 所以填充的长度越大最高温度下降的越多. 而温度均匀性对电池包的散热也至关重要, 否则会引起个别电池性能衰减进而引起整个电池包的动力下降, 续航里程缩短. 所以利用泡沫金属对电动汽车电池模块散热的可行性与有效性得到了验证.

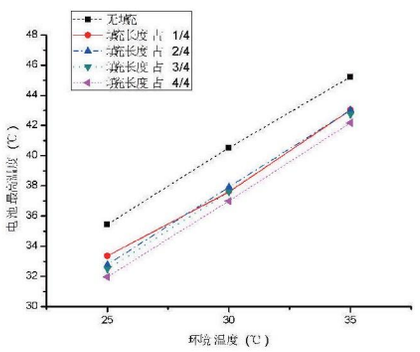


图 6 泡沫铝对电池最高温度的影响

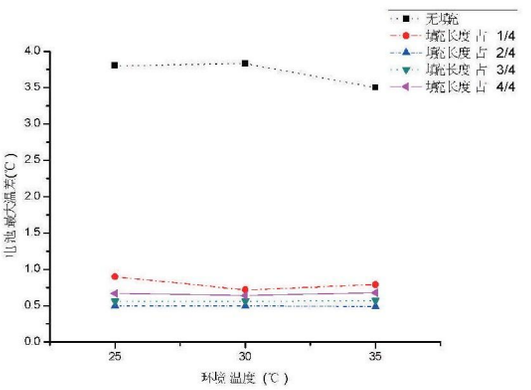


图 7 泡沫铝对电池最大温差的影响

4 结 论

(1) 在窄间隙矩形通道内填充泡沫金属后, 截面速度分布更均匀, 边界层厚度减小, 湍流程度加剧, 换热效果增强.

(2) 在窄间隙矩形通道内填充泡沫金属后, 表面换热系数和努塞尔数大幅增大. 对于孔隙率较大的多孔材料用于窄间隙矩形通道散热时, 孔隙率的大小对换热效果的影响不明显.

(3) 将窄间隙矩形通道内填充泡沫金属可加强散热的原理应用于电动汽车电池模块的散热, 进一步证明了在矩形通道内填充泡沫金属后, 散热效果增强, 仿真结果同时证明了该方法应用于电动汽车电池模块散热的可行性和有效性.

参考文献:

[1] Gong Liang, Zhao Jin, Huang Shanbo.Numerical study on layout of micro-channel heat sink for thermal management of electronic devices[J].Applied Thermal Engineering,2015,(88):480-490.

[2] Shahabeddin K, Mohammadian, Seyed Moein Rassoulinejad-Mousavi, *et al*. Thermal management improvement of an air-cooled high-power lithium-ion battery by embedding metal foam[J].Journal of Power Sources,2015,(296):305-313.

[3] 李勇铜,徐会金,巩亮,等. 金属泡沫微流道热沉内流体流动与传热特性的数值研究[J].应用数学和力学, 2014,35(3):287-294.

[4] 李盈海,陶文铨,孙东亮.金属泡沫管内强制对流换热的数值模拟[J].西安交通大学学报,2008,42(3):261-264.

[5] 姜培学,王补宣,罗棣庵.单相流体流过饱和多孔介质的流动与换热[J].工程热物理学报,1996,17:90-94.

[6] 黄志锋,刘伟,杨昆.圆管内插入环状多孔介质的换热性能研究及其场协同分析[J]. 工程热物理学报,2009,30(5): 844-846.

[7] 徐会金,巩亮,黄善波,等.金属泡沫内纳米流体强化传热研究[J].工程热物理学报,2014,35(8):1586-1590.

[8] 黄善波,翟薇,徐会金,等.金属泡沫平板结构内对流传热的数值研究[J].热科学与技术,2015,14(4): 272-277.

[9] 王会,郭烈锦.非平衡条件下金属泡沫管内的流动与传热分析[J].工程热物理学报,2015,36(12): 2699-2702.

[10] 刘晓丹,冯妍卉,杨雪飞,等. 泡沫金属矩形通道中对流换热的实验和模拟[J]. 中国电机工程学报,2010,30(14):56-60.

责任编辑: 闫新云

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

窄色域抗打印扫描全息水印算法

张雯，王丽颖
（天津职业大学，天津 300410）

摘要：目的 为了提升水印抗打印扫描攻击的鲁棒性，提出一种窄色域抗打印扫描全息水印算法。**方法** 制作打印机的ICC特性文件，应用特性文件转换宿主图像到CMYK颜色模式，从而获得适应该设备的窄色域，将制成全息图的水印嵌入到宿主图像的DWT域内。**结果** 实验表明，该算法经历打印扫描后可顺利提取水印，且打印扫描后获得的水印图像保真度较高。与在RGB颜色模式中嵌入水印相比，该算法水印的鲁棒性和宿主图像的保真度均具有明显优势；相较于嵌入水印到默认转换的CMYK颜色模式，鲁棒性相当，该算法宿主图像的保真度具有明显优势。**结论** 该窄色域算法可提升打印扫描过程中颜色传递的一致性，结合全息图不可撕毁的优势权衡了鲁棒性与保真度的关系，该算法有益于数字水印在防伪印刷领域的应用。

关键词：全息水印；窄色域；打印扫描；特性文件
中图分类号：TS805.4；TS853^{+}.6 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2020)07-0234-07
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.033

Holographic Watermarking Algorithm for Print-and-Scan Process in Narrow Colour Gamut

ZHANG Wen, *WANG Li-ying*
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a holographic watermarking algorithm for print-and-scan process in narrow color gamut, so as to enhance the robustness of watermark against print-and-scan attacks. The ICC device profile of printer was generated and used to convert the host image into CMYK color space, in order to obtain the narrow color gamut suitable for the device, and the watermarks in the hologram were embedded into DWT domain of the host images. The experiments showed that, after the print-and-scan process, the watermarks could be smoothly extracted by the proposed algorithm with high fidelity of watermarked images. Besides, compared with the watermark embedded in RGB color space, the proposed algorithm showed advantages in watermark robustness and host image fidelity. Compared with CMYK color space with embedded watermark from default conversion, the proposed algorithm showed clear advantage in host image fidelity with basically same robustness. The proposed narrow gamut algorithm can improve the consistency of color transfer in the print-and-scan process and balance the relation between robustness and fidelity with the advantage of hologram integrity. Therefore, the proposed algorithm is conducive to the application of digital watermarking in the anti-counterfeit printing.

KEY WORDS: holographic watermark; narrow color gamut; print-and-scan; device profile

收稿日期：2019-08-04
基金项目：2018年度教育部人文社会科学研究项目（18YJCZH171）
作者简介：张雯（1989—），女，硕士，天津职业大学讲师，主要研究方向为印刷品全息水印防伪技术。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数字水印技术采用加密的嵌入算法将水印标记嵌入多媒体对象，应用与嵌入算法相对应的提取算法提取水印标记[1]，可应用于数字版权保护[2—4]、音频取证[5]和医学图像安全[6—7]等领域。近年来，学者们聚焦数字水印在防伪印刷领域的移植应用，即在印前的数字图像中嵌入人眼不可见的水印信息，经印刷后以扫描（或拍照）的方式再次将印刷品转为数字图像，由该图像中提取水印信息，从而鉴别印刷品真伪。

在印刷品中植入人眼不可见的水印，大大降低了水印被仿造的风险；数字水印可以被机器读取，提升了防伪识别效率；数字水印技术的实施主要集中于印前对数字图像的处理，无需在印刷过程引入新材料或新工艺，低成本且低碳环保，因而，这种应用于防伪印刷领域的数字水印技术具备“难仿制、易识别、低成本、无公害”的特点[8]。

目前，对数字水印技术算法的研究比较充分，如算法对抗几何[9—10]、抗剪切[11]、抗 JPEG 压缩[12—13]等攻击的鲁棒性与保真度的研究，这些研究为水印由数字版权保护到印刷防伪领域的移植应用奠定了基础。此后，针对印刷（或打印）、扫描（或拍照）攻击的研究也相继展开，例如，在印前过程，研究颜色空间转换、嵌入通道选择对水印的影响[14]；在印刷过程，研究不同印刷工艺对水印的影响[15]；在印后图像提取过程，研究图像像素值失真或几何失真对水印的影响[16—17]。上述研究涉及到了印前、印刷和印后扫描过程，而这 3 个过程实际就是颜色在不同介质间传递的过程，该过程对图像的攻击属于多元异类攻击，如印刷过程颜色空间的转换、图像的半色调化，扫描过程中颜色空间的再次转换与图像的几何形变等。由于印刷（或打印）的色域较小，能表现的颜色数量较少，因而 2 次颜色空间的转换必然会造成像素值的失真。换言之，即使在大色域中嵌入水印，印刷（或打印）后也不一定能表现出电子稿中的颜色，反而会降低印品质量。

文中主要研究在确定打印机能表现的色域后，如何在相对窄的色域中嵌入水印，不同色域转换方式对水印质量和图像保真度的影响，提出一种窄色域抗打印扫描全息水印算法，从而权衡水印算法的鲁棒性和保真度的关系。

1　关键技术

1.1　色彩管理

印刷品本身不能发光，依靠网点反射光线呈现色彩，遵循色料减色法；数字图像在发光的显示屏上表现色彩，遵循色光加色法，因而印刷品与数字图像所能表现的色彩范围不同，即色域不同。不仅如此，即使同是数字图像，在不同设备上呈现的色彩也不尽相同，每台设备都有自己表现色彩的能力。为了在不同设备之间实现颜色的忠实传递，色彩管理技术应运而生。

由于每台设备所能表现的色彩范围不同，为实现颜色在设备之间的忠实传递，需要在印前完成色彩管理。色彩管理包括设备校正、特征化和转换 3 个步骤，即通过校准实现设备在稳定而优良的状态下工作，以 ICC 特性文件为载体记录设备的色彩特征，从而降低色彩在不同设备之间转换的损失，其中 ICC 特性文件是色彩管理的核心。

1.2　全息图

计算全息图包括了图像的振幅和相位信息，具备由部分可复原整体的优点，借助这种不可撕毁性可提升水印鲁棒性。不仅如此，全息图同时有助于提升水印的透明性和安全性[11]，因而将水印制为全息图后嵌入宿主图像，博奇编码的傅里叶全息图制作过程如下所述[18]。

1）输入水印图像后，归一化得到 $f(x,y)$。

2）为模拟毛玻璃漫反射作用，将 $f(x,y)$乘以随机相位，再进行傅里叶变换，如式（1），获得傅里叶频谱 $F(x,y)$。

$$F(x,y)=\mathrm{FFT}\left\{f(x,y)\exp\left[j\phi(x,y)\right]\right\} \tag{1}$$

3）根据 $F(x,y)$得到振幅信息 $A(x,y)$和相位信息 $\varphi(x,y)$，见式（2）。

$$\begin{aligned}A(x,y)&=\sqrt{\mathrm{real}[F(x,y)]^2+\mathrm{imag}[F(x,y)]^2}\\ \varphi(x,y)&=\arctan\left\{\frac{\mathrm{real}[F(x,y)]}{\mathrm{imag}[F(x,y)]}\right\}\end{aligned} \tag{2}$$

式中：real[ ]和 imag[ ]分别为取复波面的实部与虚部操作。

4）在线性记录条件下，光学离轴全息图的透过率函数 $h(x,y)$为：

$$\begin{aligned}h(x,y)&=\left|F(x,y)+R(x,y)\right|^2=\\ &\left|A(x,y)\exp\left[j\varphi(x,y)\right]+R(x,y)\exp\left[j2\pi\alpha x\right]\right|^2=\\ &\left|A(x,y)\right|^2+R_0^2+2R_0A(x,y)\cos\left[2\pi\alpha x-\varphi(x,y)\right]\end{aligned} \tag{3}$$

式中：$R(x,y)$为离轴平面参考光波；$A(x,y)$和 R_0 分别为物光波和参考光波的振幅信息；$2\pi\alpha x$ 表示相位信息。

归一化操作，使$|A(x,y)|_{\max}=1$，再令参考光波$|R(x,y)|=1$ 则有：

$$h'(x,y)=0.5\left\{1+A(x,y)\cos\left[2\pi\alpha x-\varphi(x,y)\right]\right\} \tag{4}$$

式（4）为博奇编码的傅里叶计算全息图算法。

1.3　离散小波变换

采用离散小波变换可以同时展现图像的空间和频域特性，二次 haar 小波分解见图 1。经一次分解后

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

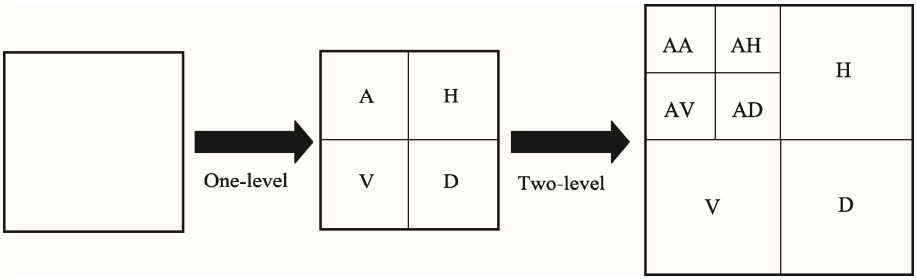


图 1　二次 haar 小波分解示意

Fig.1 Wavelet decomposition diagram of 1-level and 2-level haar

获得图像的低频（A）、水平高频（H）、垂直高频（V）和对角高频（D），在此基础上对低频（A）进行二次小波分解，获得二次小波分解的低频（AA）、水平高频（AH）、垂直高频（AV）和对角高频（AD）。低频部分集中了图像的主要信息，在此嵌入水印会降低水印的透明性，而在高频部分嵌入的水印相对脆弱，因而，文中将取二次分解的对角高频（AD）嵌入水印。

2　嵌入与提取水印

2.1　材料与软硬件设备

水印嵌入前，采用的色彩管理软件为 Profile Maker Professional 5.0.10，色标采集硬件为 Eye-One iSis，使用 Photoshop 软件转换颜色空间；水印嵌入阶段，采用 Matlab 2012b 嵌入水印；打印设备为柯尼卡美能达 C6501 四色打印机，承印物为 128 g 铜版纸，扫描设备为中晶 9800XL 扫描仪。

2.2　嵌入水印

文中选择包含文字为“防伪印刷”的水印，测试图“Monarch”为原宿主图像，见图 2，其中水印为 64 像素×64 像素灰度图，原宿主图像尺寸为 512 像素×512 像素，RGB 颜色空间。



a 水印　　b 原宿主图像

图 2　水印与原宿主图像

Fig.2 Watermark and original host image

制作适用于柯尼卡美能达 C6501 四色打印机、128 g 铜版纸的 ICC 色彩特性文件，从而确定适合该设备、承印物的窄色域。包括 3 个步骤如下所述。

1）打印色标文件。配合 Eye-One iSis 设备，文中以“IT8.7-3 CMYK ISis（A4）”（见图 3）为颜色标准文件。开启柯尼卡美能达 C6501 打印机，预热 30 min 后，在 128 g 重铜版纸上打印颜色标准文件，获得色标文件的打印稿。

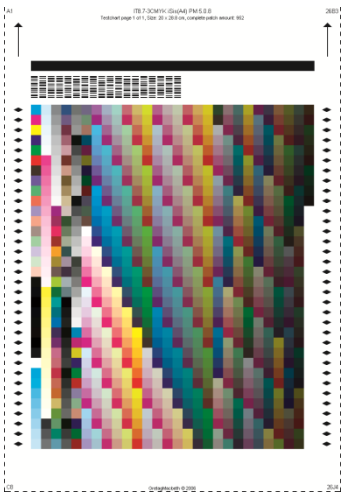


图 3　IT8.7-3 CMYK ISis（A4）

Fig.3 IT8.7-3 CMYK ISis (A4)

2）色标打印稿静置 30 min 稳定后，使用 Profile Maker Professional 5.0.10 软件与 Eye-One iSis 设备扫描色标文件的打印稿并生成 ICC 色彩特性文件。其中涉及的参数如下，“Profile Size”为“Large”，“Perceptual Rendering Intent”为“Paper-colored Gray”，“Gamut Mapping”为“LOGO Classic”，“Viewing Light Source”为“D50”。

3）在 Photoshop 软件中，以步骤 2）制作的 ICC 色彩特性文件作为配置文件，将宿主图像由 RGB 颜色模式转为 CMYK 颜色模式，其中“再现意图”为“可感知”，获得新宿主图像（见图 4）。与原宿主图像相比，新宿主图像所处的色域相对较小，尤其亮调部分能表现的颜色数量有限。

将水印制为博奇编码的傅里叶全息图，见图 5。

对全息图进行 1 次 haar 小波分解，获得其对角高频 D 子带。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图 4　新宿主图像
Fig.4 Developmental host image



图 5　全息图
Fig.5 Hologram

将新宿主图像分为 C，M，Y 和 K 等 4 层，在 C 层嵌入水印[19]，将 C 层进行二次 haar 小波分解，取二次小波分解的对角高频（AD）子带，采用代换方式，将全息图的对角高频子带 D 嵌入新宿主图像的 AD 子带，嵌入方程见式（5）。

$$M'(i,j)=\alpha m'(i,j) \tag{5}$$

式中：$M'(i,j)$为水印嵌入后 AD 子带的系数值；α 为强度因子，α=1.0；$m'(i,j)$为全息图对角高频 D 子带的系数值。

进行二次逆小波运算，合并图层，获得含有水印的图像，见图 6。



图 6　含水印图像
Fig.6 Watermarked image

2.3　打印扫描

使用柯尼卡美能达 C6501 打印机，承印物为 128 g 铜版纸，打印含水印图像，获得打印稿。

使用中晶 9800XL 扫描仪，分辨率为 300 ppi，RGB 颜色模式，存储为 TIFF 格式文件，扫描打印稿，在 Photoshop 软件中截取到打印扫描图，见图 7。采用峰值信噪比（Peak Signal to Noise Ratio, PSNR）评价打印扫描图像（图 7）与原宿主图像（图 2）之间的保真度，其 PSNR 值为 18.66 dB，由此可知，经历打印扫描过程后，含图像质量明显下降。



图 7　打印扫描图
Fig.7 Print-and-scan image

2.4　提取水印

应用 ICC 特性文件作为配置文件，将打印扫描图由 RGB 颜色模式转为 CMYK 颜色模式，应用与嵌入算法相对应的提取算法，由打印扫描图的 C 层提取水印。提取到的水印如见图 8，可清晰识别“防伪印刷”文字，其 NC 值为 0.71。



图 8　提取水印
Fig.8 Extracted watermark

3　实验结果分析

3.1　打印扫描攻击

在打印扫描过程中，由于打印机的呈色原理决定了打印过程的颜色模式为 CMYK，扫描仪自身采集颜色的元件决定了扫描过程的颜色模式为 RGB。因而，不论是在 RGB 还是 CMYK 颜色模式中嵌入水印，水印在经历打印扫描过程中，都将伴随着颜色空间的转换。值得注意的是，不同颜色空间能表现的颜色范围不同，即色域不同。如图 9 所示，白色边框中描绘的色域是 sRGB 颜色空间，这是在数字条件下能表现的色域；红色框中描绘的是以默认配置文件（Japan Color 2001 Coated）转换为 CMYK 颜色模式的色域；蓝色框中描绘的是文中制作的 ICC 特性文件的色域。如图 9 可知，sRGB 颜色模式中能表现的颜色范围最广，其次是 Japan Color 2001 Coated，文中采用的设备能表现的颜色最少，当然，也存在文中采用的设备能表现的颜色不能被 sRGB 颜色模式表现的情况。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

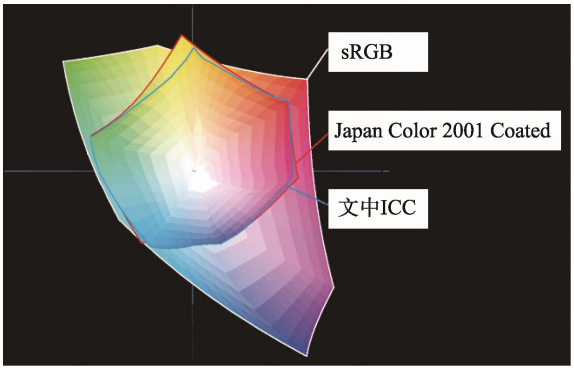


图 9　色域

Fig.9 Color gamut

为实现印品的“所见即所得”，同时为减小颜色模式转换对水印造成的攻击，采用了色域最窄的文中 ICC 进行颜色模式之间的转换。

此外，在打印扫描过程中也伴随着几何攻击，如打印过程中非绝对套准引起的小角度倾斜，扫描过程中引起的旋转、倾斜等几何攻击。当承印物较薄时，甚至会出现卷曲的现象。打印扫描图的局部放大见图 10。

3.2　不同色域嵌入水印的对比试验

为验证文中算法的稳定性，选取了 2 张宿主图像，分别是测试图“Monarch”和“Lena”，2 种水印分别是文字水印和二维码水印。为对比在不同色域中嵌入水印的保真度和鲁棒性，分别试验了在 sRGB 颜色模式的 R 层[18]、在 CMYK 颜色模式的 C 层（配置文件为 Japan Color 2001 Coated）、在 CMYK 颜色模式的 C 层（配置文件为文中 ICC）中嵌入水印，打印扫描后，计算了打印扫描图与原宿主图像之间的 PSNR 值，见表 1。

在经历打印扫描后，图像的 PSNR 值普遍偏低，说明打印扫描攻击对图像造成了较严重的攻击，图像质量明显下降。经窄色域操作后嵌入水印，图像 PSNR 值偏高 23%以上。

为考察在不同色域中嵌入水印对鲁棒性的影响，采用归一化相关系数（Normalized Coefficient，NC）度量提取的水印质量，计算了不同宿主图像、不同水印、不同色域嵌入水印的 NC 值，见表 2。



图 10　局部放大

Fig.10 Locally enlarged image

表 1　不同色域嵌入水印的 PSNR 值测试结果

Tab.1 Test result of PSNR value of watermarked images in different color space

宿主图像	水印	打印后扫描图像 PNSR/dB		
		sRGB 颜色模式	CMYK 颜色模式（应用默认 ICC：Japan Color 2001 Coated）	CMYK 颜色模式（应用步骤 2 中 ICC 特性文件）
Lena	文字	15.8539	15.5958	20.3405
	二维码	15.7845	16.0596	20.1728
Monarch	文字	16.1388	15.7075	18.6598
	二维码	14.3284	16.1581	19.0244
平均值		15.5264	15.8803	19.5494

表 2　不同色域嵌入水印的 NC 值测试结果

Tab.2 Test result of NC value of watermarks in different color space

宿主图像	水印	打印后扫描图像 NC		
		sRGB 颜色模式	CMYK 颜色模式（应用默认 ICC：Japan Color 2001 Coated）	CMYK 颜色模式（应用步骤 1 中 ICC 特性文件）
Lena	文字	0.6341	0.7194	0.7246
	二维码	0.7523	0.8410	0.7935
Monarch	文字	0.6789	0.7037	0.7126
	二维码	0.7509	0.8502	0.8723
平均值		0.7041	0.7786	0.7758

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

窄色域中提取到的二维码水印可成功扫描提取信息，见图 11。



图 11　由窄色域打印扫描图像中提取的水印
Fig.11 Extracted watermark from print-and-scan image in narrow color gamut

在 CMYK 颜色模式中嵌入水印，其 NC 值相对 RGB 颜色模式较高，具备明显优势，见表 2。为结合图像保真度综合分析，将 PSNR 与 NC 的平均值一同绘制于图 12 中。

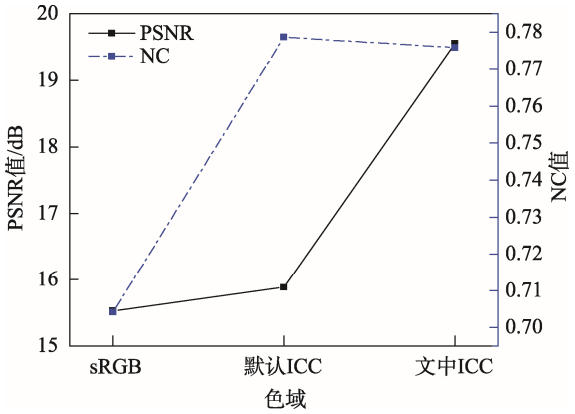


图 12　不同色域下 PSNR 值与 NC 值
Fig.12 PSNR and NC values in different gamut

如图 12 所示，综合保真度和鲁棒性 2 个指标，在应用文中 ICC 特性文件转换颜色模式后嵌入水印，与在 sRGB 颜色模式中嵌入水印相比，鲁棒性与保真度均有明显优势；文中 ICC 与以默认 ICC 相比，鲁棒性相当，保真度具有明显优势。这种通过为设备量身定制 ICC 特性文件从而确定窄色域的方法具备可移植性，可移植应用于其他印品水印防伪算法。

4　结语

文中提出了一种窄色域抗打印扫描全息水印算法。制作打印机的 ICC 特性文件，从而获得适合该设备的窄色域，在窄色域中嵌入水印，利用窄色域提升颜色在不同介质之间传递的一致性，从而提升水印对打印扫描攻击的鲁棒性。采用全息水印，结合全息图独特的不撕毁性和高频干涉条纹的编码形式，权衡水印鲁棒性与不可见性之间的关系。打印扫描试验表明，相对直接在 CMYK 或 RGB 颜色模式中嵌入水印，文中算法的鲁棒性和不可见性均具备明显优势，说明算法有益于数字水印在防伪印刷领域的应用。该算法的不足之处是：算法不具备几何不变性，而拍照方式采集图像会产生倾斜、透视，因而算法限制了水印图像采集方式为扫描；没有考虑、测评算法对不同印刷方式、工艺参数及常用印后工艺攻击的鲁棒性，如上光、烫印、覆膜等。今后的研究可以从如下 2 个方面着手：结合尺度不变特征、极谐变换等算法优化水印抗几何攻击的鲁棒性；进行不同印刷方式及工艺参数条件下的水印性能试验，建立原稿、水印算法和印刷方式、工艺参数之间的关系模型，从而为不同特征的原稿选择适合的水印算法和印刷工艺参数。

参考文献：

[1] HEBAH H O N. Digital Watermarking a Technology Overview[J]. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 2011, 6(1): 89—93.

[2] TRÉMEAU A, MUSELET D. Recent Trends in Color Image Watermarking[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2009, 53(1): 1—15.

[3] VENI M, MEYYAPPAN T. Digital image Watermark Embedding and Extraction Using Oppositional Fruit Fly Algorithm[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(19): 27491—27510.

[4] YAZDAN B F, MOGHADDAM M E. A Robust HDR Images Watermarking Method Using Artificial Bee Colony Algorithm[J]. Journal of Information Security and Applications, 2018, 41: 12—27.

[5] RENZA D, LEMUS C. Authenticity Verification of Audio Signals Based on Fragile Watermarking for Audio Forensics[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 91: 211—222.

[6] QASIM A F, MEZIANE F, ASPIN R. Digital Watermarking: Applicability for Developing Trust in Medical Imaging Workflows State of the Art Review[J]. Computer Science Review, 2018, 27: 45—60.

[7] ARAGHI T K, MANAF A A. An Enhanced Hybrid Image Watermarking Scheme for Security of Medical and Non-medical Images Based on DWT and 2-D SVD[J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 101: 1223—1246.

[8] 张雯，孟婕. 数字水印技术在印刷防伪领域应用的研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(15): 143—148.
ZHANG Wen, MENG Jie. Progress of Applying Digital Watermarking Technology in Printing Anti-counterfeiting[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(15): 143—148.

[9] XU H, KANG X, CHEN Y, et al. Rotation and Scale Invariant Image Watermarking Based on Polar Harmonic Transforms[J]. Optik, 2019, 183: 401—414.

[10] 严敏，陈军. 基于 QR 分解的 Contourlet 域抗几何攻击水印算法[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(9): 2813—2818.
YAN Min, CHEN Jun. Anti-geometric Attack Wa-

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ter-marking Algorithm Based on QR Decomposition in Contourlet Domain[J]. Application Research of Computers, 2016, 33(9): 2813—2818.

[11] TAKAI N, MIFUNE Y. Digital Watermarking by a Holographic Technique[J]. Applied Optics, 2002, 41(5): 865—873.

[12] OKMAN O E, AKAR G B. Quantization Index Modulation Based Image Watermarking Using Digital Holography[J]. Journal of the Optical Society of America, 2007, 24(1): 243—252.

[13] MOOSAZADEH M, EKBATANIFARD G. A New DCT-based Robust Image Watermarking Method Using Teaching-learning-Based Optimization[J]. Journal of Information Security and Applications, 2019, 47: 28—38.

[14] 肖颖喆, 张雯, 谢勇. CMYK 与 RGB 颜色空间数字水印在印刷品中的应用比较[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 11—15.
XIAO Ying-zhe, ZHANG Wen, XIE Yong. The Application of Digital Watermarking Technology for Printings in CMYK and RGB Color Space[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 11—15.

[15] 张金龙. 平版印刷工艺对全息水印防伪信息的影响与评估[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2015: 17—48.
ZHANG Jin-long. The Impact and Assessment of Li-thography Process for Holographic Watermark Security Information[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2015: 17—48.

[16] THONGKOR K, AMORNRAKSA T, DELP E J. Digital Watermarking for Camera-captured Images Based on Just Noticeable Distortion and Wiener Filtering[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2018, 53: 146—160.

[17] PRAMILA A, KESKINARKAUS A, SEPPÄNEN T. Increasing the Capturing Angle in Print-cam Robust Watermarking[J]. Journal of Systems and Software, 2018, 135: 205—215.

[18] 谢勇, 谭海湖, 王凯丽. 基于 DWT-QDFT 的硬拷贝彩色图像全息水印[J]. 光电子·激光, 2016, 27(10): 1086—1093.
XIE Yong, TAN Hai-hu, WANG Kai-li. A Hologram Algorithm Based on DWT-QDFT for Hardcopy Color Image[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2016, 27(10): 1086—1093.

[19] XIAO Ying-zhe, ZHAGN Wen, XIE Yong. Influence of Different Color Space on Digital Watermarking for Anti-counterfeiting Printed Images[C]// Control and Decision Conference(CCDC), Qingdao, China: IEEE, 2015: 1535—1539.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粘结钕铁硼磁体压制成型模具设计

秦万忠
(天津职业大学 机电工程与自动化学院，天津 300410)

摘　要：压制成型是获得高质量粘结钕铁硼磁体最重要的方法，其生产工序包括复合粉制备、模压成型、表面涂装和充磁等。结合实验和生产实践，分析了压制成型动作、模具结构和模具材料对磁体质量的重要影响。在此基础上优化了磁环和磁瓦的模具结构。最后，提出了控制粘结钕铁硼磁体成型质量的关键技术。

关键词：粘结钕铁硼磁体；压制成型；模具设计
中图分类号：TM273; TG76　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3830(2015)06-0063-04

Design of the compression mold for bonded NdFeB magnets

QIN Wan-zhong
School of Mechatronical Engineering and Automation, Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China

Abstract: Compression molding is the most important method for bonded NdFeB magnets, the process of which includes preparation of composite powder, compression molding, coating and magnetizing. Based on test and mass production practice, the important effects of compression molding actions, mould structure and mould material on magnet quality are analyzed. The molds were designed for ring- and arc-magnets. The key techniques controlling the quality of bonded NdFeB magnets are summarized.

Key words: bonded NdFeB magnets;　compression molding;　mould design

1 引言

粘结 NdFeB 磁体是近年来发展起来的高性能磁性复合材料，与烧结钕铁硼相比具有磁性能一致性好、性价比高、生产效率高、精度高、工艺成本低等优点， 因此广泛应用于计算机、移动电话、音响设备、微特电机等行业[1-2]。与注射成型和挤压成型方法相比，模压成型方法获得的粘结磁体的磁性能最高，其产品形状主要有薄壁环形和瓦形。

粘结 NdFeB 磁体的生产流程是：磁粉粒度调整→磁粉表面预处理→加粘结剂混炼→造粒→混合→复合粉→压制成型→固化→磁体表面处理→磁体→充磁→产品。压制成型的特点是适合大量生产尺寸精确、薄壁形状的高性能磁体[3-4]。但是，在将磁粉压制成型的形状、精度和特性上都受到一定的限制。压制磁粉的压力高达 7~14 t/cm^2，所以模具强度限制了磁体形状。压制时由于磁粉之间、粉末和模具之间的摩擦力很大，除加压方向外粉末几乎没有横向移动，所以造成磁体密度不均匀，影响精度和性能。还有一般成型压机只能单轴加压，也限制了磁体形状。

收稿日期：2015-04-09　　**修回日期：**2015-06-04
基金项目：天津市科委自然科学基金资助重点项目(12JCZDJC27200)
通讯作者：秦万忠　　E-mail: qinwanzhong1964@126.com

2 粘结 NdFeB 磁体压制成型

2.1 压制成型特点

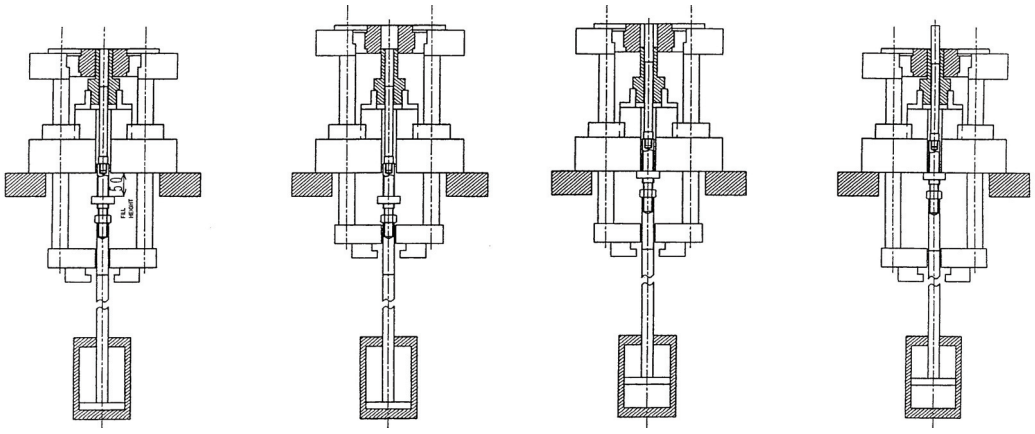
模压粘结 NdFeB 磁体强度和磁特性的决定因素是密度。为了使强度、精度稳定在一定水平上，必须使薄壁形状磁体各部分密度均匀，因此，要考虑独特的送料器装置、模具结构和压制成型动作[5]。压制成型动作不合理，在脱模时会产生裂纹，并且该裂纹在固化时也不能消除而造成缺陷。密度与成型压力不仅有关，还与磁粉颗粒大小、粒度分布、润滑剂、压缩性的配合有关。磁体高度越高、壁厚越小越难压制，主要体现在装填料和脱模上，由此影响了生产效率和产品质量。解决办法是两次装粉

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

和分别脱模，必要时采用脱模保护措施。

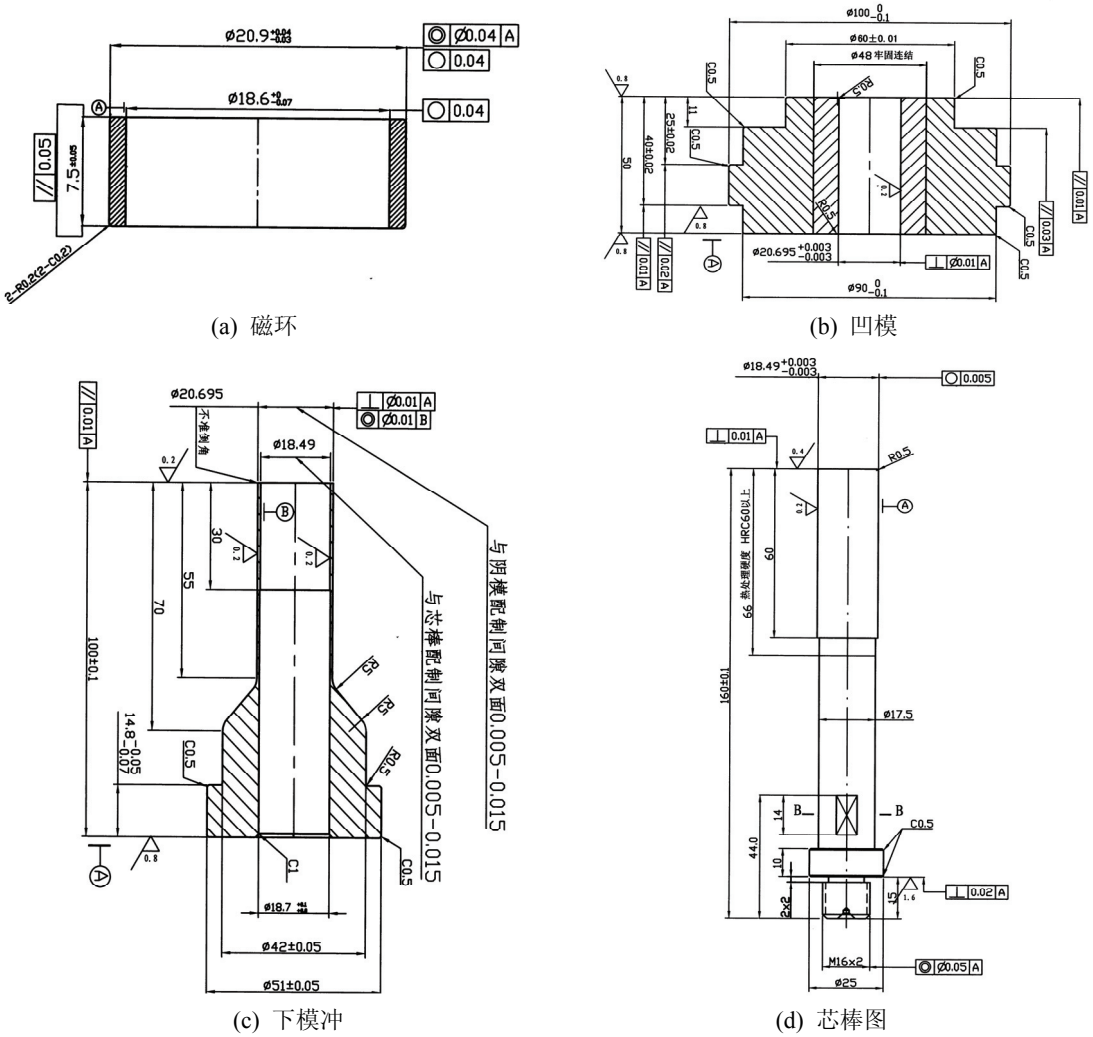
2.2 压制成型过程

粘结 NdFeB 磁体的压制成型一般选用粉末冶金专用压机。根据压机结构不同，可实现单向压制、凹模浮动双向压制或上下压头同时双向压制。根据磁体形状复杂程度不同，有两种不同的典型成型方式。设薄壁磁环高度为 H，磁环外径为 D。当 $H<0.5D$ 时，流程为：凹模和芯棒同时装粉→双向压制→凹模和气动芯棒同时脱模。当 $H>0.5D$ 时，流程为：凹模装粉→浮动芯棒装粉→双向压制→凹模脱模→浮动芯棒脱模，如图 1 所示。当然，根据磁环高度和壁厚不同，可以进行装粉和脱模动作的



(a)脱模完成　(b)凹模装粉　(c)浮动芯杆上升　(d)凹模脱模

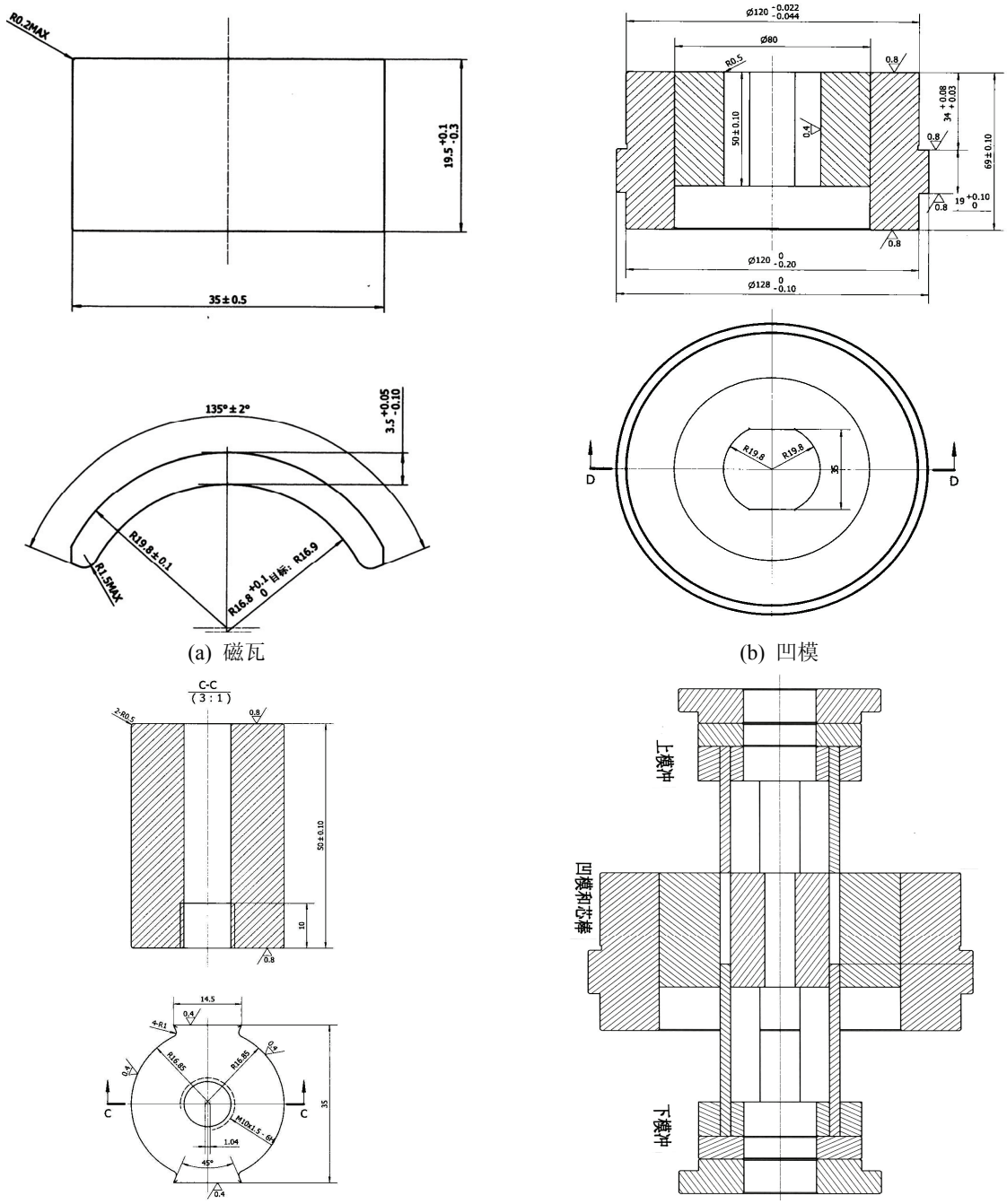
图 1　带浮动芯杆的压制成形过程



(a) 磁环　(b) 凹模　(c) 下模冲　(d) 芯棒图

图 2　磁环及其压制成形模具

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 磁瓦　　(b) 凹模

(c) 芯棒　　(d) 组合模具

图 3　磁瓦及其轴向压制成型模具

不同组合，以保证磁体质量和生产效率。

3　粘结 NdFeB 磁体压制成型模具

模具的强度、硬度、耐磨性及加工精度要求极高。在批量生产磁体时，模具材料应选择高合金工具钢热处理硬度超过 HRC60，寿命超过 20 万次；或选择硬质合金，硬度 HRC70，寿命超过 30 万次。由于热胀冷缩的原因，模具的各成型零件应选用相同的材料。模具间双面配合间隙 0.005~0.015mm。精度 IT6~IT7。

3.1 磁环成型模具

图 2 是粘结 NdFeB 磁环及其压制成型模具，模具材料为高速钢。硬质合金质硬而脆且价格昂贵，仅用于模具与磁体接触部分，并与模具其它部分铜焊连接。

3.2 磁瓦轴向压制成型模具

图 3 是粘结 NdFeB 磁瓦及其轴向压制成型模具。与磁体接触部分模具材料选用高合金工具钢，硬度 HRC60；其它部分选用低合金工具钢，硬度 HRC30；两部分热装连接。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

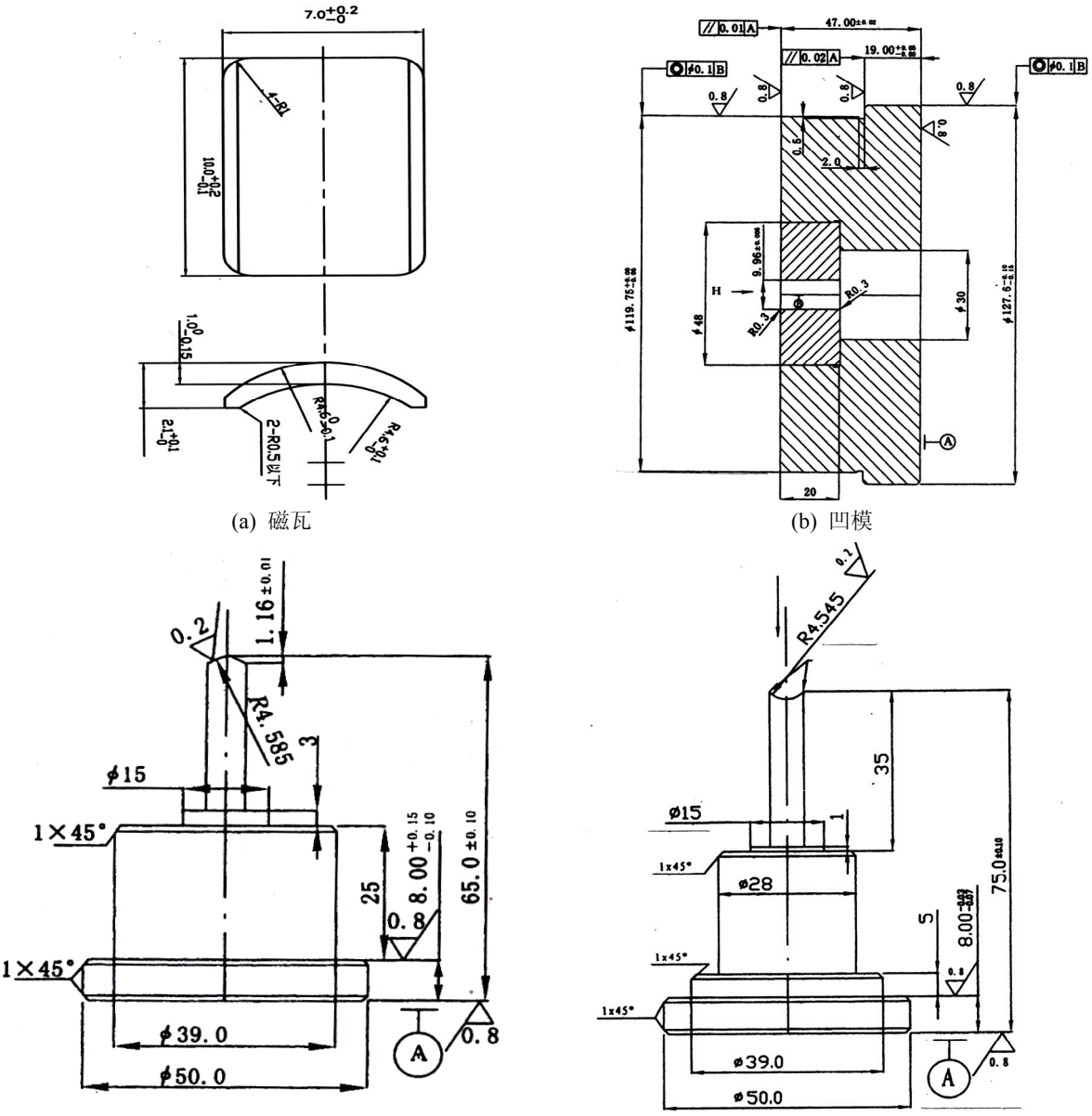


图 4　磁瓦及其径向压制成形模具

3.3 磁瓦径向压制成型模具

图 4 是粘结 NdFeB 磁瓦及其径向压制成型模具。模具材料选用高速钢，硬度大于 HRC60。

4 总结

(1)对于 $H<0.5D$ 的磁环或径向压制的磁瓦，采用凹模及芯棒同时装粉，或过量装粉，双向或单向压制，凹模及气动芯棒同时脱模方式，以提高生产效率。

(2)对于 $H>0.5D$ 的磁环或轴向压制的磁瓦，采用凹模和浮动芯棒分别装粉，双向浮动压制，凹模及气动芯棒分别脱模方式，以保证磁体密度和重量均匀，并消除微裂纹。

(3)应仔细分析磁体产品的结构和性能特点，制定合理的生产工艺，选择与产品相适应的压力机。

(4)批量生产磁体时，应保证模具结构和材料的合理性，磁环宜采用硬质合金模具，磁瓦宜采用高合金工具钢模具；高的制造精度(IT6~IT7)及优良的耐磨性(＞HRC60)十分重要。

参考文献：

[1] 周寿增，董清飞. 超强永磁体—稀土铁系永磁材料[M]. 北京：冶金工业出版社, 2004.

[2] 罗阳.全球 NdFeB 磁体产业变化与发展的 25 年[J].磁性材料及器件, 2008, 39(6): 9-18.

[3] 李军，刘颖，高升吉，等. 粘结钕铁硼磁体阴极电泳

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

工艺研究[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2005, 17(2): 121-124.
[4] 周维娜，李文学，王玉峰. 工艺因素对粘结 NdFeB 磁体磁性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2006, 25 (2): 31-34.
[5] 朱锦忠，李东. 粘结 NdFeB 薄壁环(瓦)的芯杆多点定位压制技术[J]. 磁性材料及器件, 2002, 33(6): 36-40.

作者简介：秦万忠(1964－)，男，学士，教授；研究方向为磁性材料及粘结磁体成型技术。

****

(上接 62 页)

在永磁铁氧体的制备过程中，由于含金属 Co 元素的化合物具有与助熔剂相类似的作用，过量 Co 化合物的添加，容易出现过烧现象使产品气孔率增高，致密度反而下降，此外晶粒的过度生长还将导致材料 H_{cj} 和矩形度的下降。

实践表明，$CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$ 难溶于水，在 900～1185℃为液体状态，由于永磁铁氧体的固相反应温度为 1050℃，因此，适量 $CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$ 的添加有利于提高磁体的剩磁和矫顽力。究其原因，(1)有利于促进产品的液相烧结，液态的 $CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$ 首先进入晶界，在高温状态下，将有利于排除气孔提高材料的致密度，从而改善磁体的剩磁 B_r。(2)在传统永磁铁氧体的生产工艺中，B 元素以 H_3BO_3 或 B_2O_3 的形式添加，在生产过程中，所添加的 H_3BO_3 或 B_2O_3 将全部溶于水中，料浆滤水、成型排水等生产过程中，溶于水中的 H_3BO_3 将会随水流失，材料中仅含有微量的 B^{3+}。$CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$ 难溶于水，有利于按预先设计的足量 B^{3+}取代磁铅石结构中八面体晶位上的 Fe^{3+}，提高材料的 M_s，另一方面，由于 H_3BO_3 是一种弱酸，因此，这种直接添加 H_3BO_3 或 B_2O_3 的工艺，容易酸化生产企业周边的土壤。(3)适量 Si 元素的加入，可以抑制晶粒长大，细化晶体颗粒，对提高样品的 H_{cj} 有利。(4)烧结时，作为液相的 $CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$，它包裹在晶粒的晶界周围，可以降低永磁铁氧体的固相反应温度，细化晶体颗粒，提高样材料 H_{cj}。(5)作为液相的 $CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$，有利于促进 $CoFe_2O_4$ 中的 Co^{2+} 与永磁铁氧体中的 Fe^{3+}之间的离子取代，从而获得磁性能优异的永磁铁氧体。

4 结论

通过适量添加 $CoFe_2O_4$ 和可促进永磁铁氧体液相烧结的 $CaB_2Si_{0.67}O_{5.34}$ 助熔剂，制备的 $Ca_{0.218}Sr_{0.43}La_{0.432}Fe_{12}O_{19+\delta}$ 永磁铁氧体显微结构明显改善，从而获得了优异的磁性能。当 $CoFe_2O_4$ 的添加量为 7.8wt%时，在空气中 1190～1200℃下保温 2h，产品的 H_{cj} 为 416kA/m，B_r 为 0.458T。

参考文献：

[1] 长冈淳一, 森田启之, 森宜宽, 等. 铁氧体磁性材料[P]. 中国专利: CN201080030725.5, 2010-07-02.
[2] Yamamoto H, Nagakura M, Terada H. Magnetic properties of anisotropic Sr-La system ferrite magnets [J]. IEEE Trans Magn, 1990, 26 (3): 1144-1148.
[3] 周文运. 烧结永磁铁氧体[M]. 绵阳: 中国电子科技集团公司九所信息中心, 2004. 83-84, 85-87.
[4] 王自敏, 李春明, 贺大松, 等. 永磁铁氧体材料添加剂、其制备方法及应用[P]. 中国专利: CN 201110056504. 1, 2011-03-05.
[5] 王自敏, 李春明, 古文伟, 等. 一种钙永磁铁氧体的制备方法[P]. 中国专利: CN 201110161564, 2011-06-11.
[6] 王自敏, 蒋世强, 谢瑞兵, 等. 用铁鳞制备 Y33H-2 永磁铁氧体预烧料工艺稳定性的探索与实践[J]. 磁性材料及器件，2010, 41(5): 51-56.
[7] 黄凯, 刘先松, 周圣强, 等. La、Co 取代对 M 型锶铁氧体结构和磁性能的影响[J]. 磁性材料及器件，2006, 37(4): 17-19.
[8] 韩志全. 铁氧体及其磁性物理[M]. 北京: 航空工业出版社，2010:31.
[9] 小岛浩. 硬质磁性材料[M]. 日本:丸善株式会社, 1976: 100-121.
[10] Kools F, Morel A, Grossinger R, et al. LaCo-substituted ferrite magnets, a new class of high-grade ceramicmagnets; intrinsic and microstructural aspects [J]. J Magn Magn Mater, 2002, 242: 1270-1276.
[11] 皆地良彦, 伊藤升, 油川祐基, 等. 铁氧体磁性材料[P]. 中国专利: CN200610169039.1, 2006-12-19.
[12] 刘先松, 都有为. M 型永磁铁氧体的现状与进展[J]. 磁性材料及器件, 2001, 32(1):27-33.

作者简介：王自敏(1972－)，男，宜宾市技术拔尖人才，学术、技术带头人，1996 年毕业于电子科技大学电子材料与元器件专业，一直从事磁性材料产品的生产、工艺、新品开发等相关工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

蒸发浓缩过程中梨汁芳香物质损失研究

杜玉雪 (天津职业大学)

摘要:以梨汁为实验原料,对蒸发过程中芳香物质的损失进行了研究,建立了恒容热过程中梨汁芳香物质的动力学模型,并分析了梨汁中的主要芳香物质,本文得到的损失动力学模型对新型蒸发器的开发设计以及浓缩果汁的参数优化具有一定的参考价值。

关键词:梨汁 蒸发浓缩 损失动力学 芳香物

液体食品加工,一般都要经过加热、冷却、杀菌等过程,这些过程往往会影响食品的品质,因此近年来关于食品品质损失动力学的研究一直是国内外研究者广泛关注的课题,与此相关的报道也较为常见[1,2]。浓缩是生产果汁的重要单元操作之一,浓缩汁褐变、后浑浊、营养物质损失和芳香物质的逸散是浓缩过程中较为常见的问题。其中,芳香物损失是最难解决的问题之一,加热过程使果汁原料中小分子芳香物质逸散,热敏性的芳香物质分解失去天然水果的自然风味,从而严重影响了果汁的品质。近年来,国内外风味科学家都积极地进行风味品质的研究工作,主要在梨、苹果、哈密瓜、猕猴桃等水果成熟与储藏等非热力浓缩状态下芳香成分的散失等方面开展工作[3,4,5],多数研究者注重测量在不同的操作工艺下,芳香物质组分含量多少或者寻找使芳香物质损失减少的操作工艺,而忽略了研究操作中造成损失的原因[6]。对热加工中芳香物损失的研究,虽已涉足,但还很不充分[7]。本文以梨汁为实验介质,在化学反应动力学的基础上,研究在恒容热过程中梨汁芳香物的损失,建立其品质损失动力学模型,为进一步开发新型蒸发器和优化果汁浓缩工艺提供一定依据。

1 实验研究

1.1 实验装置及方法

本实验采用德国生产的 Heidolph LABOROTA 4001 型旋转薄膜蒸发器作为主体设备,该装置包括循环冷凝器、水浴旋转加热器、冷凝水收集器三个主要部分。由于果汁为热敏性物料,为了保证果汁品质,采用真空浓缩,为测量水浴温度,在装置中加入 XMZ 型数字测温仪,精确测取水浴温度。

在实验过程中,首先采用离心榨汁机将梨榨汁,后进入蒸发器进行浓缩,研究在不同处理量、不同温度、不同转速下梨汁中芳香成分的损失情况,制备各种实验条件下的浓缩汁,再将制备好的浓缩汁通过 VARIAN 4000 型气相色谱 - 质谱联用仪测定其芳香物成分和含量,并用面积归一法表示,最后建立芳香物损失动力学模型。

1.2 实验条件

通过分析影响梨汁中芳香成分的主要因素,本实验确定的具体操作参数见表 1。

表 1 芳香物质损失实验条件

蒸发时间 t/min	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0	
转速 ω/r/min	90											
初始糖度	11%											
pH 值	4											
蒸发温度 T/℃	75	83	87	75	83	87	75	83	87			
初始物料量 W/ml	100			130			150					

2 恒容热过程中梨汁芳香物质的损失动力学模型

为了研究蒸发浓缩过程中芳香物质的损失,首先要建立恒容热过程中其损失的模型,对于热敏性物料,在遭受热破坏的过程中,是符合一级反应动力学规律的,其模型可用下式表示:

$$A=A_0\times e^{-kt} \quad (1)$$

式中:A——果汁中芳香物质的含量,μv·s/ml;

A_0——果汁中芳香物质的初始含量,μv·s/ml;

t——时间,min;

k——芳香物质损失速率常数。

营养物质损失速率常数 k 表明在食品加工过程中营养物质的损失快慢程度,较为常见的有 Arrhenius 模型、Z 值模型、H-E 反应速率模型、Kooij 模型等[8~11]。在恒容热过程中,影响果汁中芳香物质损失的因素很多,如温度、加工时间、物料处理量、转速(流速)、果汁 pH 值、周围环境和贮藏时间等。为了更好地描述芳香物质的损失情况,采用将 Arrhenius、Z 值、H-E 反应速率、Kooij 四种关系式统一起来的新建关系式描述损失速率常数,即:

$$\ln^k=m+n\ln^T+pT+qT^{-1} \quad (2)$$

式中:T 为蒸发温度,m、n、p、q 均为转速 ω、物料处理量 W 的函数,可通过实验数据回归得到。由数据回归分析可知,1/T 对损失速率常数影响很小,可忽略不计,则 q 值为 0,而系数 m、n、p 的值通过回归表示如下:

$$m=520.2421-3.83443\omega-6.33078W+0.046499\omega\cdot W \quad (3)$$

$$n=-153.423+1.128664\omega+1.870727W-0.01377\omega\cdot W \quad (4)$$

$$p=1.89597-0.0139\omega-0.02327W+0.000173\omega\cdot W \quad (5)$$

式(1)、(2)、(3)、(4)、(5)为恒容热过程中梨汁芳香物质损失动力学模型。

3 恒容热过程梨汁芳香物质损失动力学模型验证

采用与恒容热实验相同的实验装置和实验方法,以 W=130ml,T=83℃,ω=90r/min 条件下的恒温恒容实验数据与理论模型得出的预测值进行比较,结果如图 1 所示。

由图 1 可以看出:预测值与实验值吻合良好,说明模型的精度较高。

4 梨汁中芳香物质主要成分分析

本实验中所测得的梨汁芳香物质有 20 种化合物(见表 2)通过计算机检索与标准质谱图对照,鉴定出 18 种化合物,其中 10 种酯类物质、2 种烷类物质、2 种醇类物质、2 种烯类物质、2 种醛类物质,主要芳香成分有:乙酸乙酯、

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

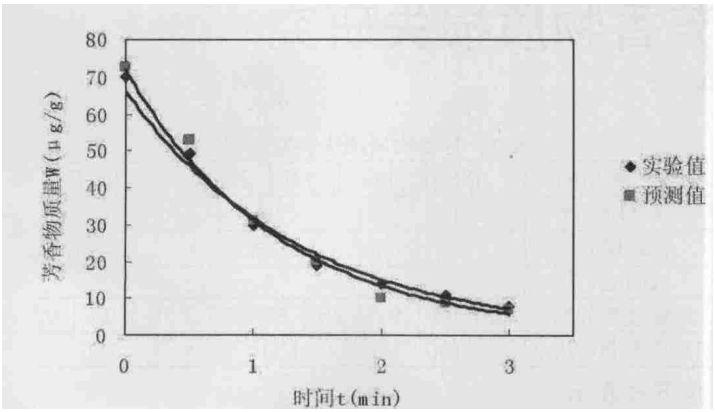


图 1　恒容热过程梨汁中芳香物质实验值与预测值的比较

乙酸丁酯、己醛、丁酸乙酯、2- 甲基丁酸乙酯、己醇、辛酸乙酯、1-(1- 甲氧基 -1- 丙氧基) - 乙烷、1- 辛烷等。

在蒸发浓缩过程中，梨汁中大多数芳香成分如乙酸乙酯，丁酸乙酯等含量呈下降趋势，且趋势较为明显，但辛酸乙酯、反 2- 顺 4- 癸二烯酸乙酯两种物质，随着时间的延长含量无明显变化，说明这两种物质不具有热敏性和时敏性。

表 2　梨汁芳香物质含量测定结果

芳香物质	相对百分含量 (%)
乙酸乙酯	18.62
乙酸丁酯	9.56
丙酸乙酯	1.52
丁酸乙酯	17.98
2- 甲基丁酸乙酯	6.55
己醇	10.25
辛酸乙酯	2.06
1-(1- 甲氧基 -1- 丙氧基) - 乙烷	10.63
1- 辛烷	2.34
己醛	6.32
反 2- 顺 4- 癸二烯酸乙酯	1.63
乙酸辛酯	0.67
1- 己醇	1.08
4- 乙烯基环己烯	2.35
戊酸乙酯	1.96
癸醛	0.69
α - 法尼烯	1.89
苯甲酸乙酯	1.68
其余	2.22
合计	100

香气值是说明一种物质对食品香气影响程度高低的一个参数，在数值上它等于香气成份在某一食品中存在的浓度与该成分香气阈值的比值。当香气值等于 1 时，表明该组分对食品的香气起着直接的作用，当香气值小于 1 时，说明凭借人体直接嗅觉无法感觉到该物质的存在，香气值越大，说明该组分对食品香气的影响越大。从表 3 中可以看到梨汁中，人体嗅觉能直接感触的芳香物质主要为己醛、丁酸乙酯、2- 甲基丁酸乙酯。

5 结论

①在实验条件下，建立了恒容热过程中梨汁芳香物损失动力学模型：

$A=A_0\times e^{-kt}$

表 3　梨汁中部分芳香物质的香气值

序号	芳香物质	香气值
1	乙酸乙酯	0.1608
2	己醛	32.859
3	丁酸乙酯	41.402
4	乙酸丁酯	0.0541
5	2- 甲基丁酸乙酯	9.9533
6	己醇	0.0043

$\ln^k=m+n\ln^T+pT+qT^{-1}$

$m=520.2421-3.83443\omega-6.33078W+0.046499\omega\cdot W$

$n=-153.423+1.128664\omega+1.870727W-0.01377\omega\cdot W$

$p=1.89597-0.0139\omega-0.02327W+0.000173\omega\cdot W$

其中：$q=0$。

②在实验条件下，得出梨汁的主要芳香物质有乙酸乙酯、乙酸丁酯、己醛、丁酸乙酯、2- 甲基丁酸乙酯、己醇、辛酸乙酯、1-(1- 甲氧基 -1- 丙氧基) - 乙烷、1- 辛烷等，人体嗅觉能直接感触的芳香物质主要为己醛、丁酸乙酯、2- 甲基丁酸乙酯。

参考文献：

[1]田玮，徐尧润.食品品质损失动力学模型[J].食品科学，2000，21(9)：14-18.

[2]徐尧润，高彦祥，刘振义.红甜菜萃取液蒸发浓缩过程研究(II) 红甜菜萃取液蒸发浓缩过程质量评估[J].食品科学，2000，21(3)：13-15.

[3]Chen J L,Yan S J,Gao H Y.Changes in the Volatile Compounds and Chemical and Physical Properties of Xinjiang Kuerle Fragrant Pear (Pyrus serotina)during storage [J].CIGR International conference,Beijing session II,2004：126.

[4]涂正顺，李华.猕猴桃果实采后香气成分的变化[J].园艺学报，2001，28(6)：512-516.

[5]陈计峦.梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[D].中国农业大学，2005.

[6]陈计峦，周珊，闫师杰.丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析[J].园艺学报，2005，32(2)：301-303.

[7]杜玉雪，宋继田，刘振义.果汁芳香物提取与分离研究初探[A].过程装备与控制工程[C].北京：化学工业出版社，2006：215-218.

[8]Hirai T.and Komasawa I.Separation of Rare Metals by Solvent Extraction Employing Reductive Stripping Technique[J].Min.Pro.Ext.Met.Rev.，1997(17)：81-107.

[9]Hiroshi Fujikawa and Takeshi Itoh.Thermal Inactivation Analysis of Mesophiles Using the Arrhenius and Z-value Models[J].Food Protection，1998，61(7)：910-912.

[10]Chen C.S.and Wu M.C..Kinetics Models for Thermal Inactivation of Multiple Pectinesterases in Citrus[J].F ood Sci.，1998，63(5)：747-750.

[11]Combes E.Sella C.Bauer D.et al.Precitation-Stripping of Yttrium Oxalate Powders from Yttrium-Loaded HDEHP Organic Solutions Using an Ultrasonic Stirrer[J].Hydrometallurgy，1997(40)：1-12.

作者简介：

杜玉雪(1982–)，女，天津人，天津职业大学，讲师，硕士，研究方向：机械制造。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

支承辊淬硬层条带状疲劳裂纹的扩展动力研究

刘建红　王　炜　姜德鹏　赵美兰
(天津重型装备工程研究有限公司,天津 300457)

摘要: 支承辊淬硬层内部条带状疲劳裂纹的形成以及由此引起的大面积剥落是支承辊危害最大的失效形式之一。本文通过对淬硬层应力状态的计算分析得出径向残余拉应力是条带状疲劳裂纹主要扩展动力的结论,并进行了疲劳裂纹扩展实验验证。在保证使用性能前提下降低支承辊淬硬层残余应力水平有利于遏制条带状疲劳裂纹发展。

关键词: 支承辊; 淬硬层; 条带状疲劳裂纹; 疲劳裂纹扩展实验; 残余应力

中图分类号: TG316.1+92　　**文献标志码:** B

DOI:10.14147/j.cnki.51-1396/tg.2016.04.003

Research on Propagation Motivity of Stripped Fatigue Crack in Quench-Hardened Layer of Backup Roll

Liu Jianhong, Wang Wei, Jiang Depeng, Zhao Meilan

Abstract: One of the most harmful failure types for backup roll are the stripped fatigue cracks appeared in the quench-hardened layer and the widespread spalling caused by the fatigue cracks. By calculating and analyzing the stress state of quench-hardened layer, the conclusion that the radial residual stress is mainly the propagation motivity of stripped fatigue cracks has been obtained. Meanwhile, the experimental verification for fatigue crack propagation has been performed. Under the condition to ensure the operational performance, reducing the residual stress in the quench-hardened layer of backup roll is beneficial to keep the propagation of stripped fatigue cracks with limits.

Key words: backup roll; quench-hardened layer; stripped fatigue crack; experiment of fatigue crack propagation; residual stress

支承辊在工况环境中承受动载荷,辊身表面始终处于摩擦状态,因此存在持续的工作层损耗,在这种接触疲劳的过程中容易诱发一系列裂纹、剥落等失效问题,而条带状疲劳裂纹的形成以及由此引起的大面积剥落则是其中最为严重的失效方式之一,典型案例如图 1 所示,这种失效方式大部分情况下会直接导致支承辊报废。



图 1　支承辊条带状疲劳裂纹诱发辊身边部大面积剥落实例

Figure 1　Photos of widespread spalling on the roll body caused by stripped fatigue cracks of backup roll

收稿日期: 2016—02—24

作者简介: 刘建红(1983—),男,工学硕士,工程师,主要从事大型锻钢支承辊材料研究、锻造工艺及失效分析工作。

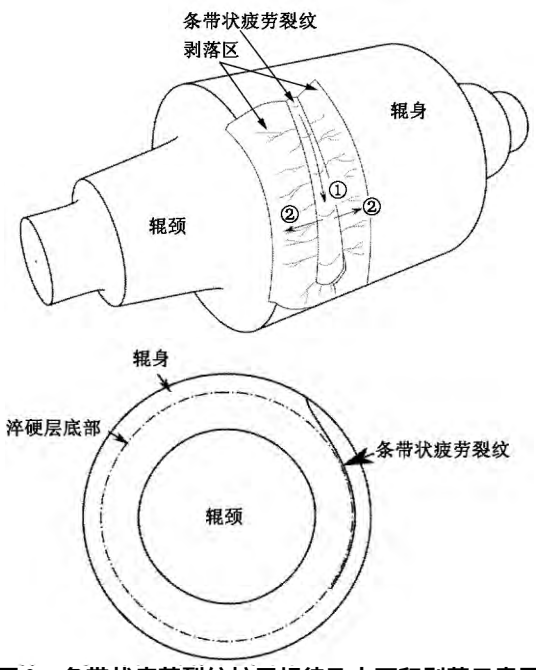


图 2　条带状疲劳裂纹扩展规律及大面积剥落示意图

Figure 2　Sketch of widespread spalling and stripped fatigue crack propagation rule

对于失效行为(如图 2),裂纹扩展前期以疲

中国知网　https://www.cnki.net

劳方式(表现为贝壳状条纹)沿辊身周向进行(图2中①处),轴向宽度变化较小,表现为条带状,在扩展到一定规模后,条带状裂纹向外围组织快速扩展(图2中②处),形成大面积剥落。受淬硬层和轧辊心部组织、硬度差异的影响,条带状疲劳裂纹通常先沿斜面向淬硬层底部扩展,扩展过程中逐渐趋于同轧辊表面平行,进而以平行于圆周方向的方式形成长裂纹。

针对条带状疲劳裂纹,T. Mizoguchi 等人曾对冷轧工作辊中的类似剥落问题进行过原理性分析,并认为轧辊表面高水平残余应力的存在促进了轧辊条带状剥落的发生[1]。美国联合电钢的轧辊失效手册对条带状疲劳裂纹引起的剥落有大量案例照片,并将裂纹扩展过程进行了示意性描述。其他研究工作多侧重裂纹萌生机理研究[2-4],如碳化物的影响、裂纹部位的微观组织特征等。上述研究均认为预防条带状疲劳裂纹的出现依赖于支承辊的下机检测和磨削工作,将疲劳裂纹始终控制在萌生阶段,然而,受当前国内人员和设备状况的限制,目前很多厂家对条带状疲劳裂纹的控制并不理想,由此引起的轧辊报废频有发生,造成极大损失。

本文利用有限元计算和疲劳试验,通过分析支承辊淬硬层的应力状态与实验检测相结合的方式,分析支承辊淬硬层内部应力分布状态以及条带状疲劳裂纹的扩展动力,从而从制造角度寻找限制条带状疲劳裂纹扩展的措施。

1 裂纹受力状态分析

1.1 支承辊工作层残余应力分布状态

支承辊辊身从结构特征上分成表面淬硬层和心部组织两部分,其中淬硬层通常采用淬火+低温回火处理,硬度较高,心部组织则属于调质状态,硬度相对较低,沿辊身表面向支承辊心部会存在一个硬度降落特性,如图3所示。目前支承辊自辊身表面到淬硬层底部的硬度降落的水平大致控制在4~5HSD。

由于支承辊辊身相对于轴线呈旋转对称状态,淬硬层内部的残余应力根据结构特点可以按照柱坐标系分为轴向应力 σ_z、周向应力 σ_θ 和径向应力 σ_r,如图4所示。根据实际残余应力测试仪检测结果,目前国产连轧机支承辊周向应力 σ_θ 大致在300 MPa~500 MPa范围,轴向应力 σ_z 与此接近,这两个应力分量均表现为压应力状态。为考察径向应力 σ_r,根据辊身旋转对称的特征,

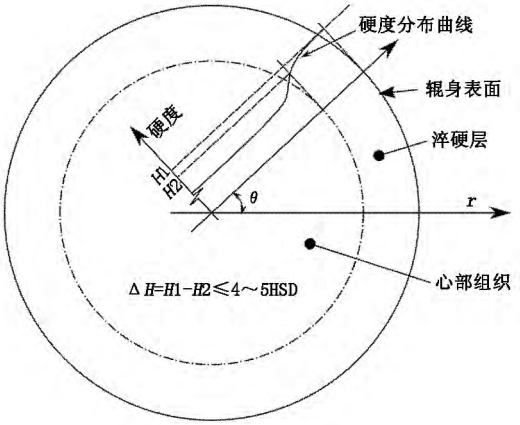


图3 支承辊硬度降落特性

Figure 3 Decreasing character of hardness for backup roll

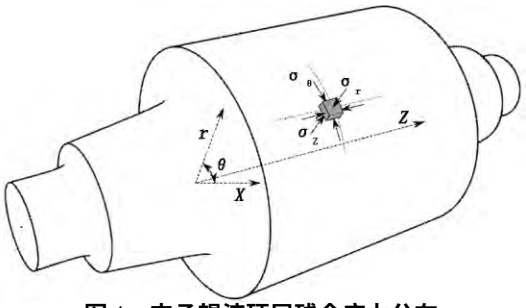


图4 支承辊淬硬层残余应力分布

Figure 4 Residual stress distribution in the quench-hardened layer of backup roll

建立有限元模型,如图5所示。

以图5所示的支承辊简图为基础,假设辊身轴向应力保持恒定,从而将辊身简化为平面应变状态。

以支承辊淬硬层(80 mm厚)为研究对象,在所得到的平面圆环内表面加载均匀的拉应力分布载荷 P,载荷大小由20 MPa逐渐过渡到70 MPa,其余部位不受力。

在 P=12 MPa、30 MPa、60 MPa时,提取任意半径上的周向应力 σ_θ 和径向应力 σ_r 随位置点距辊身表面的距离之间的变化规律,最终结果参见图5。根据计算结果:

(1)周向应力是压应力时,径向应力为拉应力,在周向应力 σ_θ 约为-500 MPa时,径向应力随距表面深度自0逐渐上升到60 MPa;

(2)周向应力随距表面深度增加会逐渐增大,但变化量相对周向应力数值很小,可以近似认为周向压应力在淬硬层范围大致保持恒定;

(3)径向应力随距表面深度增加会逐渐增大。对于当前支承辊模型,淬硬层底部径向应力约为周向应力的1/10。

类似的,通过对1 420 mm~2 050 mm范围内其他尺寸连轧机支承辊的计算,可以得到如下半

中国知网 https://www.cnki.net

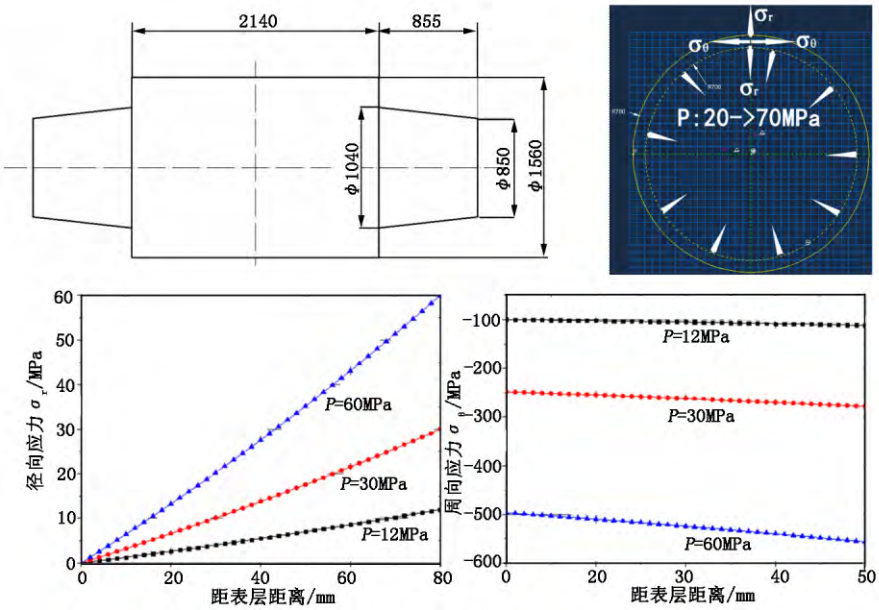


图 5　支承辊周向应力与径向应力计算

Figure 5　Calculation of circumferential stress and radial stress for backup roll

定量的结论: 在周向压应力位于 300 MPa ~ 500 MPa 范围时,淬硬层内部径向应力为拉应力,约为 30 MPa ~ 60 MPa。

1.2　支承辊淬硬层工作应力分布状态

支承辊所承受的工作应力主要表现为与工作辊(或中间辊)之间的接触应力。如图 6 所示,以支承辊为固定的参照物,服役过程中工作辊(或中间辊)可以看做是围绕支承辊旋转。以淬硬层内部某一点(图 6 中的黑点)为考察对象,在远离工作辊时,径向主要承受残余拉应力的作用,而当工作辊临近时,径向同时承受残余拉应力和同工作辊接触引起的工作压应力,压应力通常较大,从而导致淬硬层内部 σ_r 随轧制过程的变化曲线表现为图 6 的锯齿状。

为了验证上述分析结果,参照图 7,采用如下计算模型:

(1) 以∅1 580 mm 支承辊、∅600 mm 工作辊进行配对,假设所承受的轧制力为 24 MN,辊身长以 2 000 mm 计算;

(2) 支承辊、工作辊均简化为平面应变状态,工作辊为主动,相互之间摩擦系数设为 0.1,依靠摩擦力带动支承辊转动;

(3) 支承辊、工作辊模型心部∅100 mm 做成空心,并在中心位置放置约束参考点,分别约束空心部位结点的平动自由度,同时在工作辊中心的参考点上施加 12 000 N/mm 的压力载荷以及恒定的角速度。

最终计算结果如图 7 所示,在淬硬层内部 20

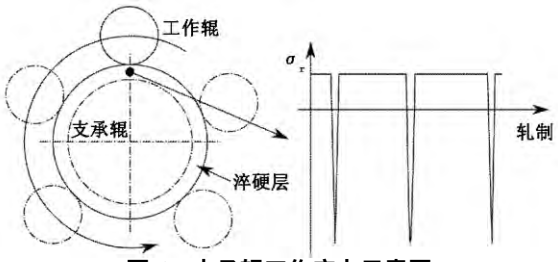


图 6　支承辊工作应力示意图

Figure 6　Sketch of operating stress of backup roll

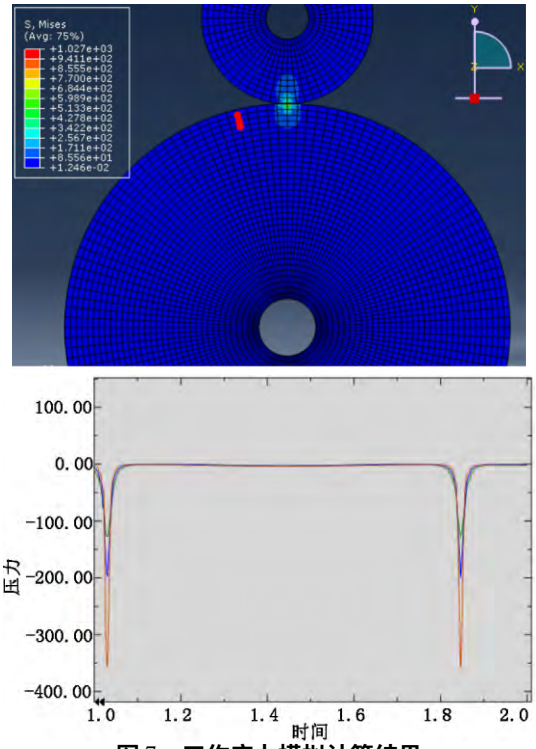


图 7　工作应力模拟计算结果

Figure 7　Simulated results of operating stress

中国知网　https://www.cnki.net

mm、40 mm、60 mm 深位置上分别取三个参考点，径向应力 σ_r 随时间的变化同图 6 中的预测规律基本一致。在工作辊/中间辊的作用下，因接触产生的压应力呈现为尖峰状，大小同位于工作层的厚度有关系，距离表层越近，应力峰值越大，淬硬层底部附近压应力约为 -100 MPa，比残余拉应力量值要大。

1.3 条带状疲劳裂纹的应力环境

对于支承辊中出现的条带状疲劳裂纹，除最终的快速扩展阶段以外，裂纹沿条带裂纹的两侧受到未开裂金属的约束，扩展过程依赖于条带裂纹的前沿。根据前述对支承辊淬硬层内部残余应力与工作应力的计算分析，对于条带裂纹的前沿，只有径向残余应力为裂纹尖端提供了拉应力作用，工作应力仅提供了压应力。由于压应力并不能导致裂纹扩展，因此径向残余拉应力是条带状裂纹扩展的主要动力来源。

如图 8 所示，以平面应变模型对裂纹尖端进行模型简化，截取小矩形范围作为研究对象，条带状疲劳裂纹尖端的应力环境与张开型裂纹(Ⅰ型裂纹)的状况极为相似。据此，可以采用紧凑拉伸(CT)试样进行疲劳裂纹扩展实验来验证前述计算确定的约 30 MPa ~ 60 MPa 残余应力是否足以造成支承辊淬硬层条带状疲劳裂纹扩展。

2 疲劳裂纹扩展实验

2.1 试验参数

紧凑拉伸裂纹扩展试样如图 9 所示。

试样尺寸：60 mm × 62.5 mm × 8 mm。

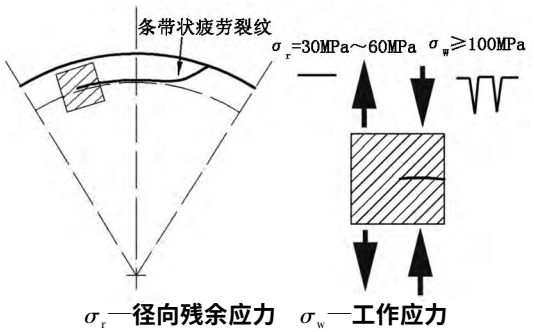
试样材质与硬度：Cr5 锻钢材质，通过淬回火得到 71HSD 硬度。

样品数量：2 块(1#，2#)。

实验方式：裂纹扩展实验 + 拉伸断裂。

实验设备：MTS810 材料试验机。

实验过程：本实验依据 GB/T 6398—2000 执行，采用降 K 实验方法，疲劳过程采用拉拉疲劳，加载频率 5 Hz，应力比 R 按 0.3 控制，受设备控制精度影响 R 有所浮动。整个实验分成预置裂纹、疲劳裂纹扩展、拉伸断裂三个阶段。



σ_r—径向残余应力　σ_w—工作应力

图 8 疲劳带裂纹

Figure 8 Stripped fatigue crack

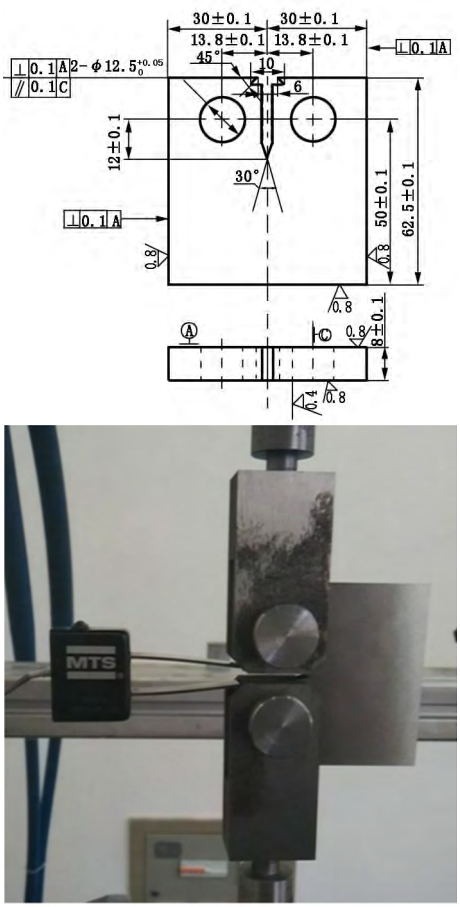


图 9 疲劳裂纹扩展试样加工图与试验装配

Figure 9 Machining drawing of fatigue crack propagation sample and its testing assembly drawing

预置裂纹阶段采用最大应力强度因子 K_{max} 约为 28 MPa·$m^{0.5}$，应力强度因子范围 ΔK 约为 20 MPa·$m^{0.5}$ 进行疲劳加载，如果裂纹不扩展则进一步加大 K_{max} 和 ΔK，直至裂纹扩展量大于 1 mm 后停止。本阶段主要排除早期扩展的不稳定因素。疲劳裂纹扩展阶段在预置阶段所采用的载荷基础上分阶段降低 K_{max} 和 ΔK，每个阶段裂纹扩展均需要超过 1 mm，每个试样完成 3 ~ 4 个阶段的裂纹扩展。拉伸断裂阶段直接采用单向拉伸，采集载荷峰值数据，从而计算断裂韧性。

为了获得 ΔK 更宽范围内的裂纹扩展速率数据，试验中每一阶段的载荷降落比 GB/T 6398—2000 规定的 5% ~ 10% 要大，约在 10% ~ 20% 之间，但由于本材料屈服点 ≥ 1 000 MPa，因此根据标准给出的塑性区半径计算方法，每个阶段扩展 1 mm 可以确保裂纹扩展超出了塑性区影响范围，

中国知网 https://www.cnki.net

获得的数据能够充分反映裂纹扩展速率同 ΔK 之间的关系。

2.2 实验结果

2.2.1 裂纹扩展数据

实验设备直接记录的为应变规检测的张口位移 V_x 与循环数 N 之间的关系，根据 GB/T 6398—2000 附录 B 中给出的公式可以转化为裂纹长度 a 同 N 之间的关系，结果如图 10 所示。从结果来看，裂纹扩展阶段 a-N 关系的线性程度较好，裂纹预置阶段末期 a-N 关系也表现出线性。

通过对图 10 计算斜率可以获得 $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$，其中裂纹预置阶段对应的两条曲线选取最终阶段线性较好的数据求斜率，最终 $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$ 同 ΔK 的关系如图 11 所示。

根据图 11 数据整理结果：

(1) 受实验误差影响，1#、2#样品的数据略有出入。对于单个试样，数据符合 Paris 公式，在双对数坐标下呈线性关系；

(2) 在 $\Delta K=(12\sim23)$ MPa·$\mathrm{m}^{0.5}$ 的范围内，Cr5 锻钢材质(71HSD) 的裂纹扩展速率 $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$ 在 $(2\times10^{-5}\sim2\times10^{-4})$ mm/cycle 范围内。

2.2.2 断裂韧性数据

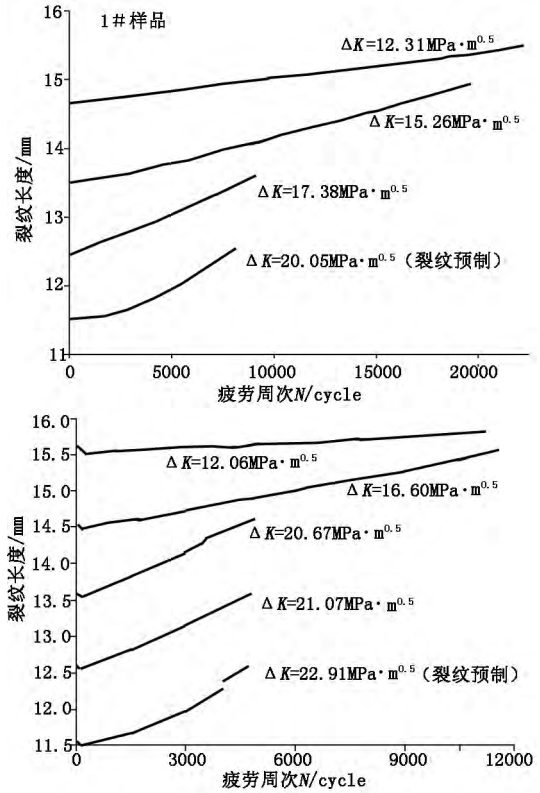


图 10 裂纹长度与循环数的关系曲线
(ΔK 采用本阶段最终裂纹长度计算)

Figure 10 Relation curve between crack length and cycle number

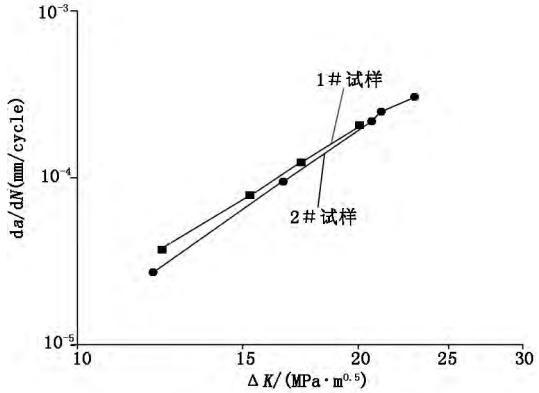


图 11 双对数坐标下裂纹扩展速率 $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$ 与应力强度因子范围 ΔK 的关系

Figure 11 Relation between crack propagation rate $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$ and stress intensity factor range ΔK under the log-log coordinate

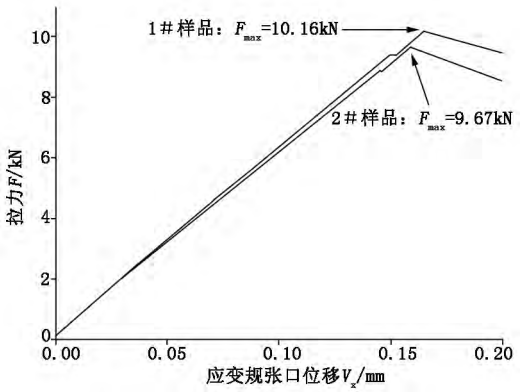


图 12 拉伸断裂峰值数据

Figure 12 Peak data of tensile fracture

拉伸断裂阶段采集的数据如图 12 所示。1#样品在 $F=10.16$ kN 时裂纹开始快速扩展，此时裂纹长度 $a=15.5$ mm(参照图 10)，2#样品在 $F=9.67$ kN 时裂纹开始快速扩展，此时裂纹长度 $a=15.8$ mm(参照图 10)。根据 GB/T 6398—2000，由 F、a 及 CT 试样尺寸即可计算出裂纹开始快速扩展时的应力强度因子 K，即断裂韧性 K_{IC}，从而得到：

1#样品：$K_{IC}=32.76$ MPa·$\mathrm{mm}^{0.5}$

2#样品：$K_{IC}=31.67$ MPa·$\mathrm{mm}^{0.5}$

因此对于当前材质，在淬回火态 71HSD 硬度条件下，断裂韧性 K_{IC} 约为 32 MPa·$\mathrm{mm}^{0.5}$。

2.3 分析与讨论

结合紧凑拉伸试样特征，根据 1.3 中分析结论，可以将支承辊淬硬层内部条带状疲劳裂纹应力环境近似为图 13 所示的有限尺寸下的单边裂纹模型。实验过程中裂纹长度 a 在 12 mm ~ 18 mm 之间，上下表面的均布载荷峰值参照残余拉应力 30 MPa ~ 60 MPa。由于压应力对裂纹扩展没有贡献，可以认为均布载荷最小值为 0。

中国知网 https://www.cnki.net

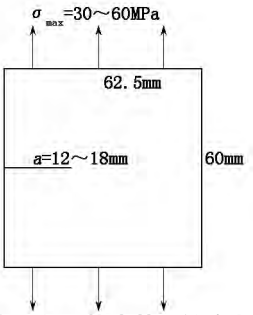


图 13　淬硬层内部条带状疲劳裂纹应力环境近似模型
Figure 13　Approximation model of stress environment for stripped fatigue crack in the quench-hardened layer

上述条件下，裂纹尖端应力强度因子范围为：

$$\Delta K = F\Delta\sigma(\pi a)^{0.5}$$

其中 $F = 1.12 - 0.23(a/62.5) + 10.6(a/62.5)^2 - 21.7(a/62.5)^3 + 30.4(a/62.5)^4$。

$a = 12$ mm、$\sigma = 30$ MPa 时，$\Delta K = 7.89$ MPa·$m^{0.5}$。

$a = 18$ mm、$\sigma = 60$ MPa 时，$\Delta K = 23.17$ MPa·$m^{0.5}$。

即：ΔK 在(7.89～23.17) MPa·$m^{0.5}$范围内。

同图 11 的计算结果相对比，12 MPa·$m^{0.5} \leqslant \Delta K \leqslant 23.17$ MPa·$m^{0.5}$时，裂纹会在残余拉应力的作用下发生疲劳扩展，而在 7.89 MPa·$m^{0.5} \leqslant \Delta K < 12$ MPa·$m^{0.5}$时，可能发生扩展，但缺乏实验数据。同时应力强度因子最大值 $K_{max} = \Delta K < K_{IC} \sim 32$ MPa·$mm^{0.5}$，即残余拉应力产生的裂纹尖端应力强度因子达不到材料断裂韧性值，不会造成裂纹快速失稳扩展。

上述结果表明，在目前残余拉应力水平下，对于当前所考察的 Cr5 锻钢材质，条带状裂纹前沿不足以发生失稳扩展，但具有较大的疲劳扩展动力，从而在疲劳条件下极易导致条状疲劳裂纹的稳定扩展，形成条带状疲劳裂纹。结合 1.3 中对疲劳裂纹的应力环境分析，锯齿状的工作压应力并不直接导致疲劳裂纹扩展，但它的存在将稳定的残余拉应力转化为周期变化的疲劳应力，因此对条带状疲劳裂纹的扩展起到了“催化”作用。

需要指出的是，上述分析与实验建立的基础是条带状疲劳裂纹已经扩展到距辊身表面深度接近恒定的阶段，此时深度多接近淬硬层底部，即约 50 mm～80 mm。在此阶段之前，除残余拉应力作用外，支承辊与工作辊的接触应力会在裂纹尖端产生切应力作用，裂纹尖端同时具有张开型、错开型裂纹的特征，扩展行为复杂，难于开展分析与实验。

3　结论

本文通过对支承辊淬硬层应力状态分析与疲劳裂纹扩展实验相结合，得到如下结论：

(1) 支承辊淬硬层内部径向残余应力表现为拉应力状态。对于目前普通连轧机支承辊，如果周向压应力在 300 MPa～500 MPa 范围，则淬硬层底部径向残余拉应力大约处于 30 MPa～60 MPa 范围，并且自辊身表面向淬硬层底部由 0 逐渐增大。

(2) 支承辊淬硬层条带状疲劳裂纹进入沿周向扩展且裂纹面距辊身表面深度接近恒定的阶段后，径向残余拉应力是裂纹扩展的主要动力来源。服役过程中的接触应力对条带状裂纹的萌生和前期扩展影响较大，但对后期裂纹扩展仅起辅助作用，特别是它的大小对后期裂纹扩展速率没有影响。

通过本文实验与分析结果，避免条带状疲劳裂纹以及大剥落的形成，除了需要做好下机维护与检测工作以外，从制造角度看，在保证硬度、强度等性能指标不变的前提下，适当降低支承辊淬硬层内部残余应力水平有利于遏制条带状疲劳裂纹的扩展，可以作为提升支承辊品质的一个研究方向。

参考文献

[1] T. Mizoguchi, K. Yoshikawa, S. Ohta. Fracture mechanics of spalling cracks in cold work rolls [J]. International Conference on Fracture, ICF5, Cannes(France), 1981: 653－660.

[2] Soma Ghosh, Pankhuri Sinha, Shivanandan Indimath. Ribbon fatigue spalling of a forged work roll used at a cold rolling mill [J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2014, 14(6): 707－714.

[3] Amitava Ray, M. S. Prasad, S. K. Dhua, S. K. Sen, S. Jha. Microstructural features of prematurely failed hot-strip mill work rolls: some studies in spalling propensity [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2000, 9(4): 449－456.

[4] Qiong Wu, Da-le Sun, Chang-sheng Liu, Chun-guang Li. Analysis of surface and sub-surface initiated spalling of forged cold work rolls [J]. Engineering Failure Analysis, 2008, 15(4): 401－410.

编辑　杜青泉

中国知网　https://www.cnki.net

直接铸造成型导板的合金元素分布研究

周建波[1],张锡祯[2],常林林[2],李丁卯[2]
(1.天津职业大学 机电工程与自动化学院,天津 300410;2. 天津机辆轨道交通装备有限责任公司 技术开发部,天津300232)

摘　要:对国内外铸造成型的热轧无缝钢管孔型控制用导板,进行了金相组织观察,测试了使用寿命;对基体和强化相中的合金元素,进行了 X 射线能谱分析和微区面扫描分析。结果表明:直接铸造成型导板的析出相中主要合金元素是 Cr 和 C,Ni 基本分布在基体中。Cr、C 在析出相中的含量明显高于基体中的含量,说明铸造冷却过程中,Cr、C 明显向析出相集聚。

关键词:铸造成型;导板;合金元素;分布
中图分类号: TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2014)04-0775-04

Research on Distribution of Alloy Elements in Guide Plate by Directly Cast Molding

ZHOU Jianbo[1], ZHANG Xizhen[2], CHANG Linlin[2], LI Dingmao[2]
(1. Department of Mechanical & Electrical Engineering and Automation, TianJin Vocational Institute, Tianjin 300410, China; 2. Technology Development Department, Tianjin JL Railway Transport Equipment Co., Ltd., TianJin 300232, China)

Abstract: The microstructure was observed and the service life was tested for domestic and foreign guide plate. The alloy elements in matrix and reinforced phase of the guide plate were analyzed with the help of EDS and SEM. The results show that Cr and C are mainly alloy elements in the precipitated phase of direct casting molding guide plate, Ni is distributed in the matrix. The content of Cr and C element in the precipitated phase is significantly higher than that in the matrix. Cr and C are precipitated to reinforced phase of the guide plate in casting cooling process.

Key words: cast forming; guide plate; alloy element; distribution

无缝钢管穿孔导板是穿孔机上的易磨损件,穿孔时管坯在轧辊作用下高速旋转前进。轧制压力为 400~500 kN,导板受其压力的 1/3;管坯温度高达 1 250 ℃左右,管坯经过导板时,由于承受高压摩擦和严密的接触,使得导板表面温度很快升高到 500~700 ℃。穿管之后,导板要立刻受到冷却水冲淋冷却,表面由高温急剧下降,这样成百上千次的冷热变化,导板要经受反复的热胀冷缩。可以看出导板的工作条件是十分恶劣的。

目前国内导板质量较好的一次可以完成 2 600 支以后发生失效,而较差的导板大体一次 1 600 支失效,甚至更低就发生了失效。无疑导板的质量对于钢管的顺利生产至关重要,导板失效修复难度较大,给企业带来很大的经济损失。由于现在使用的导板合金元素较多,一般是直接铸造成型后经过必要的机械加工后投入使用,这种制造工艺的好处在于一次基本成型,后续经过必要的机械加工即可达到生产要求,工艺相对来说比较简单,但是在实际生产中,会出现有时导板穿孔数量较多,而有时穿孔数量较少即失效,相同工艺下制造的导板使用寿命时高时低,说明目前在合金的成分、工艺等还有不清楚之处,本文从合金成分分布及使用寿命方面进行较为系统研究,以在稳定提高导板使用寿命方面起到积极的促进作用。

1　试验材料与方法

将配好的原料进行冶炼,然后浇注成型,随后机械加工最终成型,通过这种工艺制备了导板,即表 1 中代号为 a 的合金;而合金 b 为从国外进口铸造成型的导板。表 1 中给出了两种导板的化学成分。利用 AXIO 电子金相显微镜、Hitachi-S- 3400N 扫描电镜和附带的能谱仪,对以上两种导板的组织和成分、元素分布进行了分析,并对实际热轧无缝钢管现场生产进行了测试。

收稿日期: 2013-07-10
作者简介:周建波(1964-),天津人,工学硕士,教授,高级工程师.主要从事高温合金力学行为的研究.
电话:022-60585159,E-mail:jzhouianbo@163.com

中国知网　https://www.cnki.net

2　试验结果与分析

2.1　导板金相组织分析

对表 1 中的两种导板进行了金相组织分析，见图 1，图 1 中合金 a、b 对应表 1 中的序号。图 1 中合金 c 为以前生产使用寿命较好的导板组织（穿孔寿命达到 2 600 支）。

从图 1 可以看出，三个导板金相组织特征相近，均是在基体组织上分布着一些析出相，这些析出相起到强化作用。高镍铬钢导板高温硬度低，高温耐磨性差，基体组织是奥氏体[1]。铸造结晶过程中，沿着奥氏体的晶界析出了析出相，对比三张金相组织，发现析出相的分布状态不完全一致，国内合金 a、c 导板的析出相没有明显方向性，而国外合金 b 导板的析出相具有显著的方向性，表明导板制备工艺上可能有些区别，也可能国外导板在铸造后有锻造工艺。

2.2　导板使用寿命测试

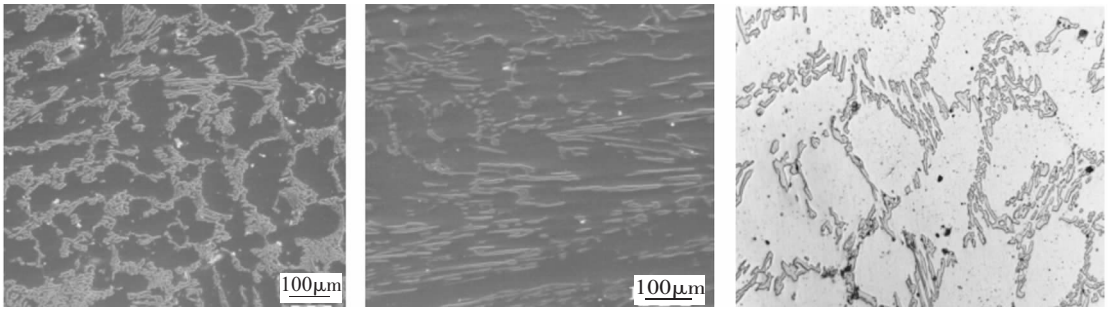
对合金 a、b 导板进行了热轧无缝钢管现场生产测试，测试的结果均不太理想，合金 a 导板大体穿孔在 1 600 支断裂，合金合金 b 导板穿孔大体在 1 500 支失效。与以前较为理想合金 c 导板的 2 600 支断裂数量均有较大距离。这样的实际生产测试结果表明，国外合金 b 导板的析出相具有方向性，并没有提高导板的使用寿命，在这三个导板中寿命最低。对比表 1 中的成分，主要区别在于国外导板的 Si 含量明显比国内导板的高，进而说明导板中的 Si 含量可能不宜过高。

表 1 导板材料的化学成分 w(%)

Tab.1 The chemical composition of guide plate material

合金代号	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe
合金 a	0.92	0.023	0.009	0.57	0.20	27.68	50.78	4.05	Bal.
合金 b	0.94	0.019	0.009	1.35	0.76	27.09	46.66	4.12	Bal.

注：合金 a 为国内生产的导板，合金 b 为国外进口的导板，均为铸造成型。

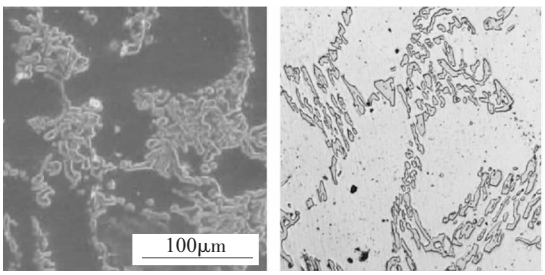


合金 a（国内）　合金 b（国外）　合金 c（国内）

图 1 铸态导板的金相照片

Fig.1 Microstructure of as-cast guide plate

图 1 中合金 a、c 均为国内同一工艺生产的导板，两个导板属于不同时间生产的，在实际生产测试中结果相差较大，合金 a 导板的使用寿命为 1 600 支，合金 c 导板的使用寿命为 2 600 支，由于两个导板的成分、制造工艺相同，但是使用寿命的结果不同，有必要对这两个导板的金相组织进行对比，见图 2。图中的组织照片取图 1 中合金 a、c 照片中的部分视场。从图 2 可以看出，寿命较低的合金 a 导板金相组织中的析出相，沿奥氏体晶界析出不如寿命较高合金 c 导板析出的均匀，局部位置析出聚集程度很大，有些位置析出量较少；而合金 c 导板的金相组织中的析出相，沿奥氏体晶界析出较为均匀，且延晶界析出特征很明显。这样的结果表明两个导板由于强化相沿奥氏体晶界析出的分布状态有区别，均匀分布的使用寿命更长。



合金 a　合金 c

图 2 铸造导板上的强化相分布

Fig.2 Strengthen phase distribution of as-cast guide plate

2.3　铸造导板的微区分析

众所周知，合金中的强化相特别是碳化物对合金的耐磨性具有重要影响，通过实际无缝钢管现场生产测试，合金 a、b 导板的使用寿命较低，说明这两个导板的耐磨性都较差，因此为了了解合金元素在导板中的含量和分布情况，以便更好地改进，对导板进行了能谱分析。

中国知网　https://www.cnki.net

2.3.1 X 射线能谱曲线分析

对国内合金 a 导板和国外合金 b 导板选择了微区,进行 X 射线能谱分析,结果见图 3 和图 4。从中可以看出,国内外的导板从微区 X 射线能谱曲线结果看,其成分分布是一致的,强度也基本相近。

2.3.2 面扫描分析

对国内合金a 导板和国外合金 b 导板进行了面扫描,结果见图 5 和图 6。可以看出,国内外的导板从微区面扫描元素分布结果看,其元素分布是一致的。C 在析出相的含量明显高于基体中的含量,Cr 主要分布在析出相中,Ni 则主要分布在基体中,说明析出强化相中主要是由 C 和 Cr 组成的,可能是 Cr 的碳化物,也有可能是 Cr 的固溶体。对两个导板析出相中的元素进行原子含量分

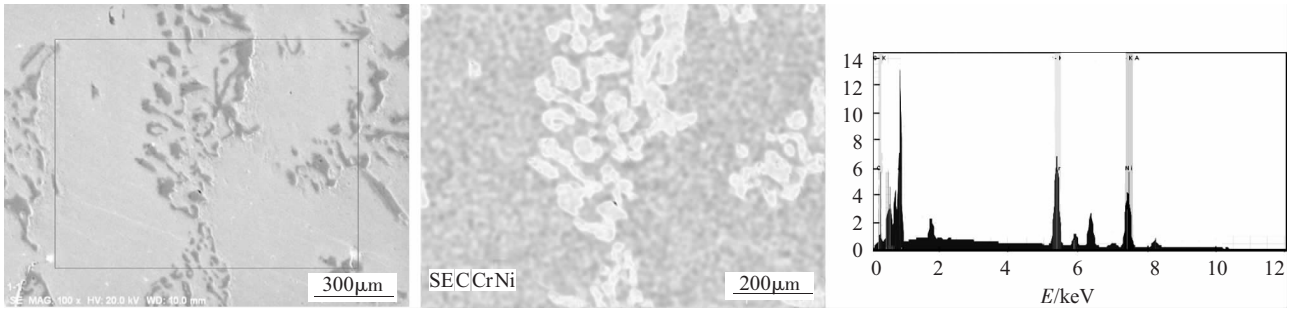


图 3 国内合金 a 导板能谱分析结果

Fig.3 EDS analysis result of guide plate of alloy a

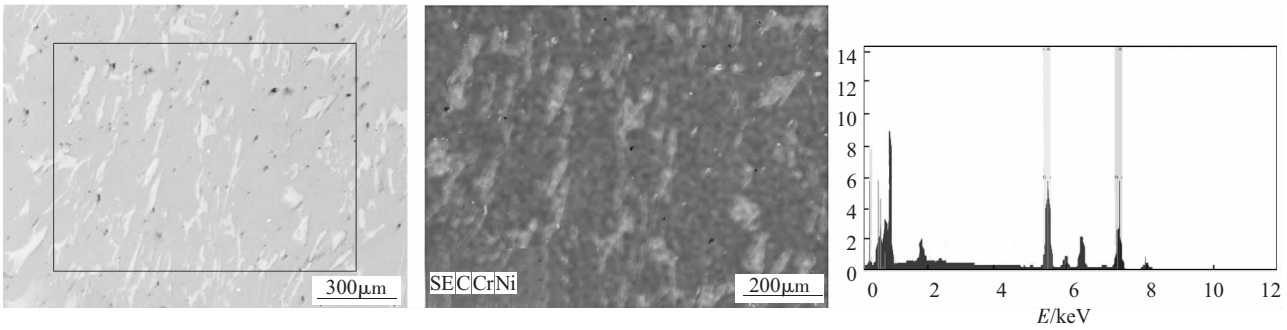


图 4 国外合金 b 导板能谱分析结果

Fig.4 EDS analysis result of guide plate of alloy b

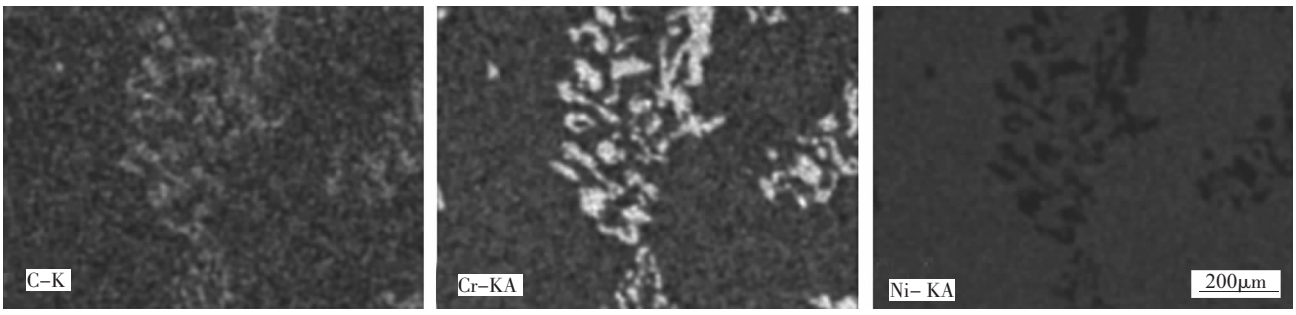


图 5 国内合金 a 导板面扫描分析结果

Fig.5 Face scanning analysis result of guide plate of alloy a

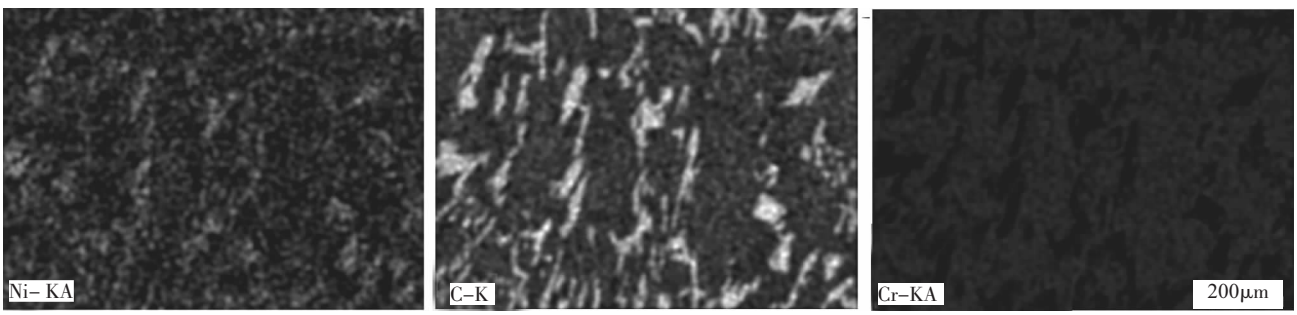


图 6 国外合金 b 导板面扫描

Fig.6 Face scanning analysis result of guide plate of alloy b

中国知网 https://www.cnki.net

析，发现两个导板的析出相不是 Cr 的碳化物，而是 Cr 的固溶体，这样导板的强化效果就会大打折扣，由前面实际测试结果也得到了验证。

高铬镍合金钢从液态冷却到室温，其铸态组织中存在过饱和奥氏体[2]，在随后时效过程中会析出均匀分布的二次碳化物，这种碳化物硬度高、熔点高，从而提高了导板的热强性和耐磨性。

3 结论

（1）直接铸造成型的导板析出相主要元素是 C 和 Cr，Ni 基本分布在基体中。

（2）C 在析出相中的含量明显高于基体中的含量，说明铸造冷却过程中，C 向析出相中扩散速度大于向基体扩散速度。

参考文献：

[1] 付寒光. 变质处理高速钢轧机导板的研究和应用 [J]. 钢铁, 2002, 37: 454-457.

[2] 殷黎丽, 杨彬, 石满英. 热工具导板变质后的时效实验及结果研究[J]. 铸造技术, 2011, 33(4):471-473.

书讯

铸造实用生产技术集锦

由沈阳铸造研究所李德臣教授级高级工程师编著。作者积几十年科研与生产成果，现场经验与心得，对铸造实际问题，生产技术分析和论述，具有直接实用价值。全书共7章：1.重大铸件生产技术；2.耐热耐磨产品生产技术；3.耐蚀耐磨产品生产技术；4.耐磨产品生产技术；5.铸造工艺设计；6.铸造用辅助产品生产技术；7.铸造与哲学。全书154页，16K本，邮购价97元。

邮购地址：邮编：710048 西安理工大学608信箱 铸造技术杂志社

电话传真：029-82312140 029-82312421 13609155628

《感应炉冶炼500问》

《感应炉冶炼500问》根据感应炉冶炼的基本原理与相关内容，从中提炼出有关的500多个问题并作简明解答。其内容包括：感应炉的工作原理；感应炉冶炼用设备、坩埚、原材料知识；增压感应炉、等离子感应炉、工频感应炉、中频感应炉和真空感应炉的工艺知识和操作经验；感应炉冶炼产品的质量分析等内容。该书全面地介绍了感应炉冶炼的相关知识和操作经验，适合于从事特殊钢与合金生产的一线职工学习参考，也可作为冶金、金属材料专业的高等职业技术院校的师生参考用书。定价45元，特快专递邮购价：65元。

邮购地址：710048 西安理工大学608信箱 铸造技术杂志社

联 系 人：刘晓辉 18729237741 邮购咨询：13609155628

电 话：029-82312140 传 真：029-82312292

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2016.30.102

直流稳压电源教学策略与制作过程分析①

安海霞　兰宇飞
（天津职业大学　天津　300410）

摘　要：该文以“直流稳压电源制作”为例，进行了针对高职学生教育的教学策略设计，并通过教学做一体的实施方式，进行电路制作与分析。该模式是提高教学质量、激发学生学习热情、培养学生创新意识的有效途径，同时为其他课程学习提供指导意义。

关键词：教学做一体　直流稳压电源　电路调试
中图分类号：TM44　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672-3791(2016)10(c)-0102-02

《电子产品设计与制作》是高职学生电类专业的一门基础课程。通过该门课程的学习，使学生掌握常用的二极管、三极管、集成运放、数字芯片等器件的选型与使用，学会简单电路如：直流稳压电源电路、触摸延时电路、三角波产生电路、计数器等电路的设计、安装与调试。为培养生产一线、从事电子产品设计与制作的技术技能型人才打下坚实基础。

根据教育部2006年出台的《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》所提出的“教学做一体化”是高等职业教育培养职业人才的教学模式[1]，该课程进行了项目化教学设计，并在实训室通过“教学做一体”的方式进行了教学实施。

该文以“项目一直流稳压电源电路的制作与调试”为例，进行教学策略的设计，同时分析电路制作、调试过程中的操作要点与故障原因。

1　项目教学策略设计

周军在《教学策略》一书中指出：教学策略是指为了实现一定的教学目标对教学方法、教学媒体和教学形式等的选择及组合。因此，教学策略是施教者(教师)在受到一定教学观念影响下，对教学方法进行统摄、控制和调节的教学决策活动，从而实现对整个教学活动的调控[2]。

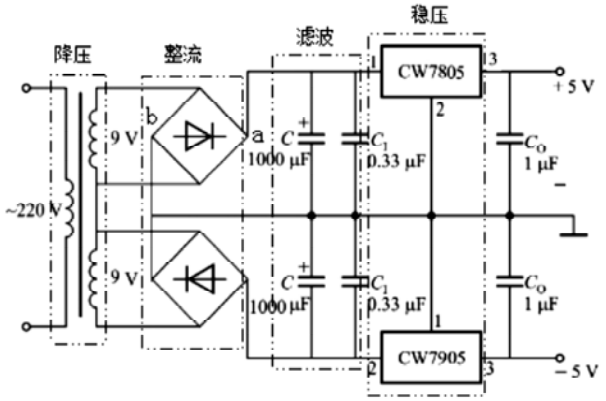


图1　正、负对称输出直流稳压电源电路

施良方、崔允漷教授将课堂教学策略分成5部分：课堂教学准备策略、主要教学行为策略、辅助教学行为策略、课堂管理行为策略和课堂教学评价策略[3]。笔者将中间的3部分综合为课堂教学行为策略进行该项目的教学策略设计与实施。

1.1 课堂教学准备

(1)信息资源准备：直流稳压电源的结构、组装、工作视频，各类二极管、稳压块等元器件图片，元器件参数资料(pdf格式)，具有针对性的行业、专业网站等。

(2)设备及元器件准备：电工实训台、万用表、示波器、变压器等实验设备，多种类型二极管、稳压块、电容、电阻等器件。

(3)学生分组准备：将学生按动手及组织能力分组，每组不超过3人。

1.2 课堂教学行为设计与实施

该项目采用直流集成稳压器设计电路，输出电压±5 V、电流0.5 A。电路原理图如图1所示[4]。从图中可以看出，电路由4部分组成，因此将教学过程分为4个任务进行。教学活动设计如表1所示。

1.3 课堂教学评价

教学评价是高职院校技能训练教学活动中一项重要抓手，具有多方面的作用，是对技能训练教学过程与目标是否达成的一种价值判断，能控制、调节教学的实施，确保技能训练任务的达成[5]。

按照技能训练教学过程与目标是否达成，进行3方面的评价：

①基金项目：本文是中国高等教育学会“十二五”教育科学规划一般课题“高等职业教育‘教学做一体化’教学实践中的问题与对策研究”的阶段性研究成果(课题编号：11YB081)。

作者简介：安海霞(1975—)，女，汉，河北易县人，硕士，副教授，研究方向：电气自动化技术应用。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1 教学行为设计与实施

直流稳压电源电路制作								
任务引入	提出要制作一个5 V直流电源用于数字电路供电，从而引入电路原理图。按原理图进行制作，并通过示波器观察每部分的波形，得出每部分电路功能，最后完成电路的搭建与调试。							
任务分解	降压电路		整流电路		滤波电路		稳压电路	
任务实施	教	展示降压变压器，变压器的分类、检测。	教	二极管识别与检测方法，桥式整理电路在实验台上搭接的方法。	教	电容器识别与检测方法。	教	集成稳压器识别与检测方法。
	做	检测变压器，用示波器测试变压器输出波形的幅值和频率。	做	识别并检测二极管，搭接二极管半波、桥式整流电路，用示波器测试波形。	做	识别并用万用表检测电解电容，搭接滤波电路，用示波器测试电路输出波形。	做	识别并用万用表检测集成稳压器，连接稳压器电路，用示波器检测输出波形。
	学	降压原理，波形读取及分析。	学	半导体知识，二极管单向导电性，整流原理，输出电压电流计算，电路故障分析方法。	学	电容知识，滤波原理，输入与输出波形分析，电路故障分析方法。	学	各种类型集成稳压器性能，稳压电路原理，输出电压检测方法，故障分析方法。
知识链接	认识其他类型变压器。		认识各种类型二极管；引入仿真，验证电路构成及信号流向。		认识各种类型电容；仿真验证滤波电路。		从网络上查找多种集成稳压器及电路连接图，并仿真分析电路。	
评价总结	按小组汇报每个任务测试结果及实施过程中的创新思路，将测试结果拍照并上传教学云平台，供师生、生生之间交流。描述故障现象，分析故障原因，讲述故障排除方法，教师评价总结。							

(1)技能目标达成评价。根据电路的安装与调试要求，对学生的动手能力进行评价，采取学生自评、互评、教师评价进行；(2)知识目标达成评价。教师根据学生组装电路进行答辩考核，了解学生掌握知识情况，进行评价；(3)素质目标达成评价。根据学生的参与状态、协作程度、情感状态及职业素养进行互评和教师评价。将评价结果记录在教学云平台，课程完成后做总体评价。

2 电路制作、调试过程及故障分析

电路制作过程中，应根据电路原理边制作、边调试，用示波器观测每一部分电路的波形，进而判断元件有无损坏，电路连接是否正确。下面根据电路的4部分进行电路的制作与调试分析。

2.1 降压电路的调试

将变压器连接在交流220 V电源上，用示波器观测输出端波形，应为正弦波形，振幅在13 V左右。图像不正确时，查找变压器故障，可参考变压器检测知识。

2.2 整理电路调试

整流电路可采用4个整流二极管搭接，或者集成整流桥。按图搭接好整流电路后，并连接电阻作为负载，正弦波形的下半周翻到坐标轴上面，电路正确。如若没有波形，检测连接电路是否正确及二极管的好坏。

2.3 滤波电路调试

按照电路图将整流后的电路接在电解电容上，注意电解电容正负极的接法，输出波形为一条在正半周的直线。如果没有波形，检测电容是否烧坏。

2.4 稳压电路的调试

整流模块7805及7905管脚的接法是重点也是难点。7805的1管脚为输入端，2管脚为接地端，3管脚为输出端；7905的1管脚为接地端，2管脚为输入端，3管脚为输出端。对应图1，进行整流模块的连接与调试。用万用表测量输出电压时，红表笔接7805的3管脚，黑表笔接2管脚，得出电压为+5 V；红表笔接7905的3管脚，黑表笔接1管脚，得出电压为−5 V。

3 教学反思

项目化教学设计与教学做过程实施相结合，使学生在做中学、做中悟，引导学生自主探究、自主学习，极大地提高了学生的学习兴趣。通过4个学习单元的逐层递进，不断发现问题、分析问题，到最后通过实践操作解决问题，增强了学生的成就感和自信心，同时提高了创新能力。小组内部的分工合作，与小组之间的评价，培养了学生合作、竞争的能力与意识，为走上工作岗位奠定了坚实的知识技能和文化素养。

参考文献

[1] 教育部.教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见(教高〔2006〕16号)[Z].
[2] 周军.教学策略[M].北京：教育科学出版社，2007.
[3] 施良方，崔允漷.教学理论：课堂教学的原理、策略与研究[M].上海：华东师范大学出版社，2001.
[4] 付植桐.电子技术[M].4版.北京：高等教育出版社，2014.
[5] 谢新峰.有效课堂教学评价研究[D].东北师范大学，2009.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

职业本科工程教育人才培养的理论逻辑、现实困境和推进策略

包丽丽　邹吉权

摘　要　职业教育作为与产业发展联系最紧密的教育类型，在实现制造强国、科教兴国战略中肩负着重要使命。职业本科工程教育作为职业本科优先发展的方向，是一种新兴的工程教育类型，其人才培养符合职业带理论和共同体理论。然而，现阶段职业本科工程教育还面临着人才培养同质化、人才供需不匹配、评价指挥棒失灵及政策资源供给不足等现实困境。因此，职业本科工程教育人才培养应加强校校协作，明确培养目标定位；深化校企合作，开展工程身份建构；加强校社紧密衔接，启动“认评”流程再造；统筹校政协调，优化外部环境。

关键词　职业本科教育；工程教育；人才培养

中图分类号　G712　**文献标识码**　A　**文章编号**　1008-3219（2025）26-0032-07

一、问题提出

党的二十大报告提出，要深入实施人才强国战略，努力培养造就更多大师、战略科学家、一流科技领军人才和创新团队、青年科技人才、卓越工程师、大国工匠、高技能人才。2024年，政府工作报告明确提出，要大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力。这就需要集聚高水平创新型人才，特别是需要卓越强大的工程师队伍。工程师队伍是国家战略人才力量的重要组成部分，是推进中国式现代化的基础性、战略性人才支撑。2023年5月，习近平总书记在中共中央政治局第五次集体学习时强调，加快建设教育强国，进一步加强科学教育、工程教育，加强拔尖创新人才自主培养，为解决我国关键核心技术攻关提供人才支撑。我国工程教育起步较晚，自2016年成为《华盛顿协议》正式缔约成员以来，先后启动“卓越工程师培养计划”“新工科行动计划”“现场工程师专项培养计划”等项目。然而，与发达国家相比，我国技术技能人才占就业者的比重较低，尤其是高级工、技师、高级技师等高层次技术技能人才的数量尤为不足。2016年，教育部、人力资源和社会保障部、工业和信息化部联合发布的《制造业人才发展规划指南》显示，到2025年，中国制造业十大重点领域人才需求缺口将达3000万人，缺口率高达48%，高层次技术技能人才短缺已成为制约经济社会持续发展和阻碍产业升级的“瓶颈”。

职业教育作为与产业发展联系最紧密的教育类型，在实现制造强国、科教兴国战略中肩负着前所未有的重要使命。因此，迫切需要优化教育供给结构，培养与现代化产业体系相适配，爱党

作者简介
包丽丽（1986-　），女，天津职业大学职业技术教育研究所副研究员，研究方向：职业教育（天津，300410）；邹吉权（1965-　），男，天津职业大学职业技术教育研究所所长，教授，博士，研究方向：职业教育

基金项目
2021年度天津市教育科学规划重点课题“‘双高计划’院校试点职业教育本科专业培养研究”（BJE210032），主持人：刘斌；2021年度天津市教育科学规划课题“大国工匠精神视域下高职环境艺术设计高素质技术技能人才培养路径与实践研究”（HJE210414），主持人：李琳

中国知网　https://www.cnki.net

报国、敬业奉献、具有突出技术创新能力、善于解决复杂工程问题的高水平工程师队伍。高水平的人才培养需要高质量的教育体系，而职业本科教育是构建现代职教体系的关键一环。习近平总书记在2024年全国教育大会上强调，稳步发展职业本科教育，建设一批高水平职业院校和专业，推动职普融通，增强职业教育适应性，加快构建现代职业教育体系，培养更多高素质技术技能人才、能工巧匠、大国工匠。2021年10月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》明确要求将“稳步发展职业本科教育”作为职业教育类型特色加以强化，到2025年，职业本科教育招生规模不低于高等职业教育招生规模的10%。

职业本科工程教育作为职业本科优先发展的方向，是一种新兴的工程教育类型，是职业教育支撑国家战略的重要路径。当前，面向不同类型工程师如何采取分层分类培养的相关研究较少，致使不同类型高校工程教育培养定位不清、培养规格趋同。沙鑫美指出，职业本科与应用本科的边界重叠模糊，严重掣肘我国工程教育高质量发展，因此，分类定标是工程教育可持续发展的必要导向[1]。朱俊提出职业本科的人才培养定位于工程技术应用岗位[2]。方泽强认为职业本科培养的高层次职业技术型人才与应用型本科培养的工程型人才是高等工程教育培养的两种人才类型，存在交叉和重合[3]。基于此，职业本科工程教育在人才培养过程中如何改革创新蹚出一条有别于研究型本科和应用型本科的新路子，科学找准自身定位，探索形成职业本科工程教育办学特色[4]，以适应新质生产力的发展需求，支撑我国制造强国战略目标的实现，是目前亟需解决的问题。

二、职业本科工程教育人才培养的理论逻辑

（一）职业带理论：明确职业本科工程教育人才培养目标定位

1981年，联合国教科文组织（UNESCO）出版的《工程技术员命名和分类的若干问题》一书首次提出了“职业带”理论。此理论将工程领域的技术职业范围划分为一个既连续又分区域的连续带，如图1所示，不同类型的人才分布在职业带的不同区域，从左往右依次是技术工人、技术员、工程师[5]。通过对不同类型人才应掌握的理论知识和操作技能的比例研究，建立起反映技术人才结构类型与职业内涵和教育类型的对应关系。例如，像职业带中“技术工人”这类技能型人才，主要由中等职业教育培养；而像“技术员”这类技术型人才，主要由高等职业教育培养；“工程型”人才则由普通高等教育培养。由此形成了中等职业教育、高等职业教育和普通高等教育三级培养体系，并系统地进阶衔接培养工程人才[6]。

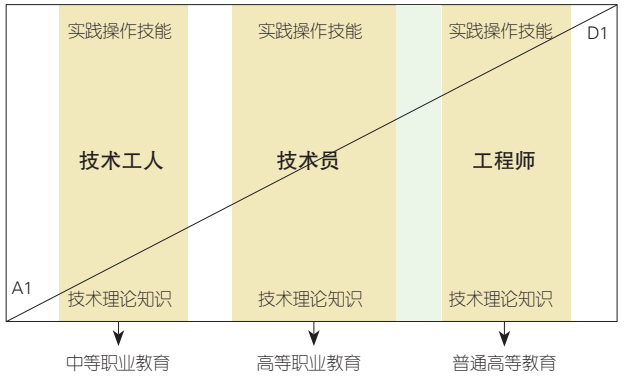


图 1　职业带理论示意图

在职业带理论视角下，不同区域的职业对知识和技能的需求存在差异。当前，智能化、信息化导致了规则性体能劳动被非规则性智能劳动所替代，为满足社会对高素质技术技能人才的需求，学习者需掌握更多理论知识和多种岗位技能，这决定了人才结构必须向深度和广度延伸。因此，职业带逐渐由左向右递进发展，职业带中的“技术员”区域不断扩大并持续高移的同时，“技术员”“工程师”这类人员在“职业带”上的分布也继续高移，出现了技术员向工程师的演变，对本科层次职业教育的诉求也随之产生。职业本科是普通高校转型发展和职教层次升级的交汇点，也是职普融通的必然结果。职业本科院校作为一种高等教育类型，培养的人才在职业带中处于技术型与工程型的交叉部分，是“技术员+工程师”岗位职能的叠加。基于此，职业本科工程教育的人才培养目标定位应是对接产业一线与生产现场需求，既要具备较强工程技术理论知识，又要具备实践操作能力和创新意识的应用型技术人才，即“现场工程师”。职业带理论为职业本科工程教育提供了科学的分析框架，有助于系统识别不同职业的技能和知识需求，从而更精确地定位人才培养目标，提高教育的针对性和有效性。

（二）共同体理论：解析职业本科工程教育人才培养的运行机制

共同体理论（Community of Practice）是由瑞士学者莱夫（Lave）和温格（Wenger）于20世纪90年代提出的一种学习理论。该理论认为，学习是一个社会参与过程，个体通过参与实践共同体，与他人互动、分享经验、解决问题，从而实现知识、技能和认同的建构。作为一种社会学理论，其应用迅速扩展到诸多学科，如“科学共同体”“学习共同体”“实

中国知网　https://www.cnki.net

践共同体”等[7]。例如，英国学位学徒制以工程人才培养为结合点，校企形成了“文化—情感”共同体、“理论—实践”教学共同体和“质量—责任”共同体[8]；荷兰由独立的非政府组织对企业资质进行认定，具备资质的企业与学校进行联合培养[9]；美国非政府组织通过组织改革研究、传达市场信息、参与高校改革、提供经费资助等参与工程教育改革[10]。欧美典型国家经验表明，多元主体的紧密协作和参与，能有效提升工程教育质量。

工程活动的社会性、系统性、实践性决定了工程教育的育人多元性，而共同体理论为工程教育提供了一个新的分析和阐释路径。为实现职业本科工程教育人才培养目标，高校、企业、社会组织和政府需共同参与，形成“工程教育共同体”。高校作为人才培养主体，承担着人才培养方案制定的任务，包括课程、评价标准等方面的设计，以确保学生能够获得必要的理论知识和技能训练，同时为社会提供技术服务和解决方案，解决实际工程问题。企业作为人才需求主体，参与到人才培养全过程，有助于确保教育内容与行业需求紧密对接，促进工程教育的质量和效果。同时，还能为工程教育提供丰富的实践平台，有助于将理论知识和实际应用相结合，提高学生实践能力。社会组织作为连接不同利益相关者的桥梁，能够促进各方的沟通与合作，通过专业认证、标准制定、工程师认证等推动工程教育的发展，确保教育内容和质量符合行业需求。政府在工程教育共同体中需要发挥引导、支持、监督和推动作用，为培养高素质的工程人才创造良好的环境。政府的参与有助于为工程教育提供政策支持和制度保障，确保人才培养目标的实现与社会需求相匹配。共同体理论为解析职业本科工程教育人才培养的运行机制提供了一个概念框架，有助于明确各方在合作培养过程中的角色和责任。通过这种多方合作的模式，可以更有效地培养出符合社会需求的高质量工程师人才。共同体理论下工程教育人才培养运行机制见图2。

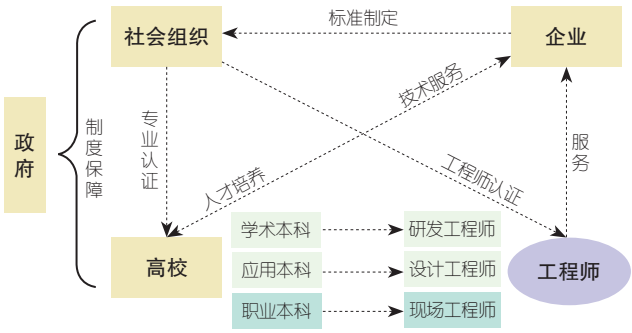


图2　共同体理论下工程教育人才培养运行机制

三、职业本科工程教育人才培养的现实困境

（一）校校之间缺乏协同，人才培养同质化

随着职业本科教育稳步发展，我国工程教育已经进入到学术本科、应用本科和职业本科“三元并举”阶段，不同类型高校应具有独特的培养目标和教学特色。例如，学术本科应以基础理论研究、重大攻关项目为主，培养学术型、研究型人才；应用本科应以培养应用性技术研发与应用技术型人才为主；职业本科应以培养高层次技术技能和专业技能型人才为主。然而，当前三种类型的高校未能发挥各自的优势，也缺乏有效协同，存在人才培养同质化现象。

首先，专业设置同质化。在工科领域，三种类型的本科院校都大量开设如计算机科学与技术、机械设计制造及其自动化、土木工程等热门专业，这些专业名称几乎相同，缺乏体现不同类型本科特色的差异化命名，即使部分专业有细分方向，差异也不显著。以电子信息工程专业为例，学术本科设有通信技术方向，应用本科和职业本科也设有类似的通信方向，只是在课程深度和实践要求上略有区分，从专业目录看，难以体现各自的类型优势。

其次，人才培养目标同质化。通过职业带理论可以看出，不同类型的人才具有不同的知识、能力结构，职业本科培养的现场工程师在动手能力或实际工作能力方面的要求要高于普通本科培养的设计工程师和研发工程师，更加注重培养学生将理论知识转化为应用技术的能力，但实际培养目标上未突出这一点。以电子信息工程专业为例，在电路设计课程中，职业本科与普通本科的培养目标都涉及掌握电路设计原理与方法，但对于职业本科学生如何基于实际电子产品生产流程和工艺标准进行电路优化设计，并快速转化为可生产的技术方案这一关键目标，缺乏明确阐述和独特设定，使两者培养目标同质化，使得职业本科的特色无法凸显。

最后，课程体系同质化。在公共基础课程方面，三种类型本科院校都设置了如高等数学、大学英语、计算机基础等公共基础课程，且课程内容和教学要求基本一致。在专业基础课方面，如土木工程专业的建筑力学课程，三种类型本科院校的教学内容都包括静力学、材料力学和结构力学的基础知识，没有根据不同类型本科的人才培养方向调整教学内容，如学术本科对力学理论模型构建的深化、职业本科对力学原理在建筑施工中应用的强化来构建有区别的课程体系。这种同质化培养使得毕业生在知识结构和专业技能方面缺乏差异化竞争优势，难以满足工程行业对不同类型、不同层次工程人才的多样化需求。

中国知网　https://www.cnki.net

（二）校企之间缺乏合力，人才供需不匹配

校企合作是工程教育人才培养的关键环节，国外成功的工程教育模式均特别注重学校与工业界的互动融合，开展基于企业真实工程项目的教学，形成了成熟的校企协作模式[11][12]。然而，我国工程教育双元育人还处在浅层次状态，未能深入开展有效的交流与合作，这一现状直接致使高校既定的培养计划与企业对人才的实际需求脱节，进而引发了工程人才供需不匹配的问题。

一是合作形式表面化，缺乏实质内容。多数情况下，校企合作仅以签署合作协议和举行挂牌仪式作为开端，之后便无实质性的合作举措。例如，部分职业本科院校与制造企业签订合作协议后，未建立常态化、深层次的沟通机制。企业未能充分参与学校的教学计划制定、课程开发以及教材编写等核心环节，学校也未依据企业生产实际情况对实践教学环节进行优化与更新。这种流于形式的合作，无法使学生在校园学习中接触到企业的前沿技术和实际生产需求，难以有效提升人才培养质量，使得校企合作无法发挥其应有的作用。

二是需求信息传递不畅，培养计划与实际脱节。企业对于人才的实践技能、创新能力、团队协作以及快速适应生产环境等方面的实际需求，未能精准、有效地传递给高校。这就导致高校的人才培养计划与企业实际岗位要求之间存在较大偏差。例如，在电子信息领域，企业急需能够熟练操作新型电子设备、快速解决生产过程中各类故障的现场工程师，但职业本科院校的电子专业教学计划却依旧侧重于传统理论知识的传授，实践课程内容陈旧且与实际生产脱节。如此一来，毕业生入职后往往需要较长时间来适应岗位需求，甚至可能因能力不匹配而难以胜任工作，难以满足企业岗位需求，严重影响了工程人才的供需平衡。

三是实践教学与生产实际不符，人才成长受阻。学校的实践教学环节往往与企业的生产流程、技术标准以及管理模式存在较大差异。以汽车制造专业为例，学校的实训设备可能滞后于企业生产线技术的更新换代，实践教学仍按照旧有的工艺标准和操作流程开展。这使得学生在学校所掌握的知识和技能无法与企业现行的智能制造技术和工艺规范相衔接，毕业后进入企业需要重新学习和适应，延长了人才的成长周期，降低了人才培养的效率和效益。同时，也使得企业在招聘人才时难以招到符合岗位要求的毕业生，制约了产业的快速发展和升级。

（三）校社之间缺乏衔接，评价指挥棒失灵

英、美、德等发达国家均构建了完备的工程教育质量保证体系及相应的工程师注册制度，使人才培养与工程教育专业认证、注册工程师认证有机衔接[13][14]。然而，我国在职业本科工程教育人才培养进程中，学校与社会组织之间存在诸多困境。

一是在工程教育专业分类认证方面。认证标准针对性不足，现有的工程教育专业认证标准大多是基于传统本科教育制定的，对于职业本科教育的特殊性考虑不够充分，未能充分体现职业本科教育强调实践技能和职业素养的特点，导致职业本科院校在认证过程中难以完全契合标准。同时，认证过程缺乏灵活性，为了适应市场需求的变化，职业本科教育的专业设置和课程体系更新较快，但认证过程相对僵化，对于新专业、新方向的认证缺乏及时有效的应对机制，导致一些新兴领域的职业本科专业在认证方面面临困难。

二是在工程师分类评价机制方面。评价标准不够细化，现有的工程师评价标准往往较为笼统，没有充分考虑不同类型、不同层次工程师的工作特点和职业需求，难以准确衡量职业本科毕业生作为现场工程师的专业能力和实践水平，同时还存在重学历轻能力的现象，在工程师评价中，学历仍然占据重要地位，对于职业本科毕业生存在一定的歧视。这种现象导致职业本科毕业生在工程师职业发展中面临瓶颈，难以获得与自身能力相匹配的评价和晋升机会。

三是在工程教育专业评价机制方面。工程教育专业认证、工程师评价和人才培养各自的目标设定缺少协同，存在一定的脱节现象。专业认证主要关注教育质量的保障和提升，工程师评价侧重于对工程师个人能力和业绩的考核，而人才培养则需要兼顾教育质量和人才的职业发展需求。在当前状况下，学生为了满足注册工程师认证的要求，不得不花费大量时间和精力去学习额外的知识与技能，这不仅增加了他们的学业压力，而且容易使他们在学习过程中产生迷茫与困惑，不清楚所学知识如何与未来职业有效对接。对于工程人才的培养质量来说，这种脱节导致学校教育成果与职业市场需求之间的契合度大打折扣，使得工程人才在进入职场初期难以迅速适应工作要求，其专业水平在实际工作中的表现不尽如人意，进而影响了社会各界对工程人才的认可度，削弱了工程人才队伍在国家建设与社会发展中的整体效能。

（四）校政之间缺乏沟通，政策资源精准度不足

在职业本科现场工程师培养过程中，学校与政府之间存在着诸多困境。首先是政策精准度不足。当前国家已经实施“职业教育现场工程师专项培养计划”，但就该计划的实际操作层面而言，缺乏明确详细的规范和实施细则，使得

中国知网　https://www.cnki.net

各参与主体在协同合作时缺乏清晰指引。学校不知如何与企业精准对接，企业也不清楚自身在人才培养各环节的具体责任，最终导致培养资源无法高效利用，培养质量难以保证。其次是协调机制不完善。政府在平衡学校和企业的利益诉求上仍需发力。学校期望企业给予充足的实践岗位以及前沿的技术资料，以提升学生的实践能力和知识储备；而企业则将重点置于所培养人才能否迅速契合其用人需求并保障自身经济利益上。社会学家格兰诺维特（Granovetter）的“嵌入性理论”强调，企业与学校之间的合作关系是深深嵌入于社会网络与制度环境之中的，需要政府作为有效的协调者。但目前政府缺乏强有力的协调机制，致使校企合作中矛盾频发，难以实现人才培养的双赢。最后是监督环节薄弱。政府对职业本科院校现场工程师培养质量的监督缺乏全面性和深入性。在实践教学这一关键环节，未建立起严格且完善的监督机制，无法保证学校教学紧密贴合企业实际与行业标准。以实习环节为例，部分职业本科院校存在形式主义现象，仅仅是为了完成教学任务而走过场，而政府在此过程中难以及时察觉并予以纠正。这种监督不力的状况，与现代教育质量保障体系所倡导的全过程、全方位监督理念背道而驰，严重影响了现场工程师培养的质量与成效。

四、职业本科工程教育人才培养的推进策略

工程教育是一项涉及多主体、多层面的系统工程。它不仅要求高校提供高质量的教育培养计划，还需要政府、企业、社会组织等各方面的共同参与和支持，最终目标是形成一个循环互动、自我完善的工程教育共同体。只有这样，才能培养出既符合产业发展需求，又具备创新能力和实践经验的高素质工程人才，推动社会经济的持续健康发展。

（一）加强校校协作，明确培养目标定位

在工程教育领域，学术本科、应用本科和职业本科各自承担着独特的使命，共同为工程人才的培养贡献力量。随着产业升级和技术进步，对工程人才的需求呈现出多样化和精细化的趋势，这就要求三类本科院校加强协作与衔接，形成完整的人才培养链条。职业本科作为工程人才培养的重要一环，如何与其他两类本科院校做好衔接，是当前工程教育面临的关键问题之一。

一是专业设置衔接。职业本科的专业设置应紧密对接区域产业集群中的具体职业岗位，以市场需求为导向，与学术本科和应用本科形成互补。例如，针对智能制造产业，学术本科设立智能制造相关的基础理论专业，研究智能制造系统的原理、算法等；应用本科设置智能制造工程设计专业，专注于智能工厂的规划、生产线的设计等；职业本科则开设工业机器人技术、智能控制技术等专业，重点培养能够操作、维护和简单编程工业机器人，以及调试和维护智能控制系统的一线技术技能人才。通过这种方式，职业本科的专业精准定位在生产一线的实际岗位技能需求上，与学术本科和应用本科的专业设置形成从理论研究到实际应用的完整链条，确保工程人才在不同层次的专业学习中能够逐步深化对工程领域的理解和实践能力的提升。

二是人才培养目标衔接。职业本科着重培养现场工程师，其人才培养目标紧密围绕生产现场的实际需求，注重实践能力和职业素养的强化培养，使学生在掌握一定理论知识的基础上，重点发展实际操作技能和现场应对能力，培养具备扎实的专业技能、良好的职业素养和较强的现场问题解决能力的人才。

三是课程体系衔接。职业本科课程应与学术本科和应用本科课程形成有机联系。对于基础理论知识部分，职业本科课程可以选取学术本科课程中与实际应用紧密相关的核心内容，进行简化和通俗化处理，使其更易于职业本科学生理解和掌握，为后续的技能学习奠定必要的理论基础；在专业技能课程内容方面，职业本科应与应用本科课程相互补充，应用本科课程为职业本科课程提供工程设计和应用方面的思路和方法，职业本科课程则为应用本科课程提供实际操作技能和现场经验的反馈，使课程内容在理论与实践、设计与操作之间形成良好的衔接与互动，共同促进工程人才的知识和技能的全面提升。

（二）促进校企深度合作，开展工程身份建构

在职业本科现场工程师培养中，企业作为主要参与者，对人才需求和技能要求有着最直接的了解，校企的深度合作对于现场工程师的培养具有重要战略意义，校企要紧密围绕新一轮科技革命和产业变革带来的学科交叉、知识融合、技术集成等岗位特征开展合作。

一是共同制定课程标准。企业应深入分析现场工程师岗位群的技能需求、职业素养要求以及行业发展趋势，将实际生产中的典型工作任务、工艺流程和技术标准转化为课程内容模块，确保课程紧密贴合岗位实际，使企业能够更深入参与人才培养，例如，在机械制造专业中，依据数控加工岗位操作流程，明确编程、刀具选用、机床调试等核心技能点，融入课程大纲，并与学校教师共同设计教学情境和实践案例，使学生在学习过程中熟悉真实工作场景，掌握实用技能，提升就业竞争力。

中国知网 https://www.cnki.net

二是合作开发真实工程项目。企业将实际工程项目引入校园，与学校师生共同组建项目团队，实施项目驱动式教学与实践。如建筑企业将小型建筑项目的部分设计、施工管理任务交付团队，学生在教师和企业工程师联合指导下，参与项目方案制定、工程预算编制、现场施工组织等环节，在真实项目中锻炼综合能力，培养团队协作、沟通协调和问题解决能力，企业则在项目推进中收获创新性解决方案和潜在人才，实现校企双赢，提升人才培养的实效性和针对性。

三是搭建多元合作平台。企业积极参与校企合作理事会等决策平台，为合作提供行业动态、市场需求信息，参与制定人才培养战略规划，确保合作方向与企业发展需求契合；搭建产学研用信息共享平台，及时发布企业技术创新成果、人才需求信息以及学校科研项目进展，促进资源高效配置与转化；组织校企文化交流活动，向学生传播企业价值观、管理理念和职业文化，增强学生对企业的认同感和归属感。同时为企业员工提供学校培训资源，提升员工理论素养，全方位构建紧密互动、互利共赢的校企合作生态，推动工程教育人才培养实践共同体的可持续发展，为企业和行业发展提供坚实人才支撑与技术保障。

（三）加强校社紧密衔接，启动“认评”流程再造

在职业本科现场工程师人才培养过程中，社会组织扮演着至关重要的推动角色，为职业本科工程教育的专业化、规范化发展提供有力支撑。

首先，在工程教育专业分类认证机制方面，要完善认证标准，充分调研职业本科教育的特点和需求，结合行业企业对职业本科人才的技能要求，对现有工程教育专业认证标准进行修订和补充，增加实践技能、职业素养等方面的针对性指标和权重。例如，可设置实践教学占总课程的最低比例，明确职业素养的具体考核内容等。此外，要增强认证灵活性，建立定期审查和更新认证标准的机制，及时关注职业本科教育的新专业、新方向和新需求，对于新兴领域的专业认证，可采取特殊的认证程序或设立试点项目，给予一定的政策支持和指导。例如，对于人工智能、大数据等新兴专业，可先在部分有条件的职业本科院校进行试点认证。

其次，在工程师分类评价机制方面，要细化评价标准，根据不同类型、不同层次工程师的工作内容和职业要求，制定详细、具体的评价标准，将职业本科毕业生所具备的现场工程师能力和实践水平纳入其中，如操作技能、解决实际问题的能力、团队协作能力等。同时，要破除学历歧视，建立以能力和业绩为导向的评价体系，淡化学历在工程师评价中的比重，注重考察工程师的实际工作能力、创新能力和对企业、行业的贡献。例如，对于在工作中取得突出技术创新成果或解决了重大工程问题的职业本科毕业生，应给予同等甚至更高的评价和晋升机会。

最后，在衔接机制方面，可由教育部门、行业协会和企业等各方协商，明确工程教育专业认证、工程师评价和人才培养的目标，使其相互衔接、相互支撑。例如，将工程师评价中的能力要求融入工程教育专业认证标准和人才培养方案中，确保人才培养与工程师职业发展紧密结合。同时，优化课程体系，以职业本科教育的人才培养目标为导向，结合工程教育专业认证标准和工程师职业能力要求，对课程体系进行优化和整合，增加实践教学环节的比重，开设与企业实际需求紧密结合的课程和项目，实现课程体系与认证要求和职业能力的无缝对接。建立信息共享平台，利用现代信息技术，建立工程教育专业认证、工程师评价和人才培养的信息共享平台，各方可以在平台上及时发布和获取相关信息，例如专业认证结果、工程师评价标准和人才需求信息等，实现相互反馈和协同改进。

（四）统筹校政协调，优化外部环境

政府在工程教育共同体中发挥着统筹协调作用，为培养高素质的工程人才创造良好的环境。首先，制定完善的实施细则。政府应牵头组织教育专家、企业代表和职业院校骨干教师，共同研讨并制定“职业教育现场工程师专项培养计划”的详细实施细则。明确包括职业本科院校、企业、行业协会等各参与主体的权利和义务，规定人才培养目标、课程设置标准、实践教学环节要求、师资队伍建设指标等具体内容，为各方协同合作提供清晰的行动指南，确保计划在实施过程中有章可循，避免因规则不明导致的混乱与低效。其次，加强资源整合与调配。政府应整合各类教育资源，建立职业教育资源共享平台，将分散的实训基地、实验室、师资等资源进行统筹管理和调配，提高资源的利用效率。例如，通过政府购买服务或补贴等方式，推动企业开放其先进的生产设备和技术研发平台，供职业本科学生实习和实践，同时协调高校之间的优质课程资源共享，促进教育公平与质量提升，使学生能够接触到更广泛、更先进的工程教育资源。再次，优化政策激励机制。出台具有吸引力的政策激励措施，鼓励企业深度参与职业本科工程人才培养。一方面，给予参与企业税收优惠、财政补贴等直接经济利益，例如，按照企业接收学生实习的人数、提供的实习岗位质量以及参与教学的程度等给予相应的税收减免额度；另一方面，在企业荣誉、项目招投标等方面给予政策倾斜，如将企业参与职业教育的情况作为评选优秀企业、政府项目优先合作对

中国知网　https://www.cnki.net

象的重要指标，提高企业参与人才培养的积极性和社会责任感。最后，强化质量监督与评估。建立健全独立、权威的职业本科工程教育质量监督与评估体系，政府应定期组织专业评估机构对院校和企业的合作项目、人才培养质量进行评估和考核，评估结果向社会公开，并与政府的资源分配、政策支持挂钩。对于培养质量高、成效显著的院校和企业给予更多的资金支持和项目扶持，对于不达标的则进行督促整改或减少资源投入，通过强化质量意识，保障职业本科工程人才培养的质量，为国家工程建设提供坚实的人才保障。

参考文献

[1]沙鑫美.分类定标：应用型本科教育持续发展的必要导向[J].高等工程教育研究，2023(3)：102-107.
[2]朱俊，梁可苗，雷志成.职教本科：工程教育与职业教育在生产系统中的形塑[J].职教通讯，2020(10)：1-9.
[3]方泽强.本科层次职业教育的人才培养目标及现实问题[J].职业技术教育，2019(34)：6-11.
[4]崔岩.类型定位视域下职业本科教育办学特色创建研究[J].中国职业技术教育，2022(4)：28-32.
[5]李斌，郭广军.加快构建中国特色现代职业教育体系的理论框架与实践路径[J].教育与职业，2022(1)：28-35.
[6]黄波，于森，黄贤树.职业带理论与现代职业教育体系建设[J].职业技术教育，2015(1)：23-27.
[7]张志旻，赵世奎，任之光，等.共同体的界定、内涵及其生成——共同体研究综述[J].科学学与科学技术管理，2010(10)：14-20.
[8]袁琳，雷庆.校企命运共同体构建：本科层次职业教育“双元”育人模式研究——戴森工程科技学院的启示[J].高等工程教育研究，2022(3)：166-171.
[9]金星霖，周娜，张欣.荷兰应用技术大学工程教育人才培养模式及其启示[J].高等工程教育研究，2021(6)：157-162.
[10]李江霞.积极倡导、主动参与、深化合作、全程协助——美国企业界在工程教育改革中的作用[J].高等工程教育研究，2012(2)：121-126+155.
[11]林健，彭林，BRENT JESIEK.普渡大学本科工程教育改革实践及对新工科建设的启示[J].高等工程教育研究，2019(1)：15-26.
[12]沈黎勇，齐书宇，费兰兰.高校产教融合背景下人才培育困境化解：基于MIT工程人才培养模式研究[J].高等工程教育研究，2021(6)：146-151.
[13]黄梅.我国工程师制度改革中工程教育的创新发展：经验借鉴与制度因应[J].国家教育行政学院学报，2017(08)：70-76.
[14]郑娟，王孙禺.英国工程教育专业认证与工程师职业资格衔接机制研究[J].中国大学教学，2017(2)：88-96.

Theoretical Logic, Realistic Dilemma and Promotion Strategies of Talent Cultivation in Vocational Undergraduate Engineering Education

Bao Lili, Zou Jiquan

Abstract As the type of education most closely linked to industrial development, vocational education shoulders an important mission in realizing the strategies of building a powerful manufacturing country and rejuvenating the country through science and education. As a priority development direction within vocational undergraduate education, vocational undergraduate engineering education represents an emerging type of engineering education, and its talent cultivation aligns with the theories of the occupational belt and community. However, at the current stage, vocational undergraduate engineering education still faces practical dilemmas such as the homogenization of talent cultivation, a mismatch between talent supply and demand, a malfunctioning evaluation system as a guiding force, and insufficient policy resources. Therefore, to improve talent cultivation in vocational undergraduate engineering education, it is essential to strengthen collaboration among vocational institutions to clarify training objectives and positioning; deepen school-enterprise cooperation to facilitate the construction of engineering identity; enhance close ties between vocational institutions and communities to initiate the reengineering of the “recognition and evaluation” process; and coordinate efforts between vocational institutions and governments to optimize the external environment.

Key words vocational undergraduate education; engineering education; talent cultivation

Author Bao Lili, associate researcher of Research Institute for Vocational and Technical Education of Tianjin Vocational Institute (Tianjin 300410); Zou Jiquan, professor of Research Institute for Vocational and Technical Education of Tianjin Vocational Institute

中国知网 https://www.cnki.net

DOI:10.16298/j.cnki.1004-3667.2017.11.18

职业教育产教融合的逻辑起点与应然之态*

刘 斌 邹吉权 刘晓梅

摘 要:产教融合是职业教育的本质要求,是现代职业教育发展的重要方向,是构建现代职业教育体系的关键,是建设中国特色、世界水平现代职业教育的核心。以职业教育三个本质属性即职业性、技术性和终身性为逻辑起点,系统阐述职业教育产教融合的应然之态,厘清产教融合的内涵,界定产教融合的概念,指出职业教育在院校布局、专业设置、人才培养目标确定过程中专业结构要与产业结构对接,在培养学生职业能力过程中教育资源要素与产业资源要素融合,社会培训与技术服务是提升产业劳动力素质的重要举措,同时提出制定"教育职业标准"的必要性。

关键词:职业教育;本质属性;产教融合

一、引言

产教融合是职业教育的本质要求,是现代职业教育发展的重要方向, 是构建现代职业教育体系的关键,是建设中国特色、世界水平现代职业教育的核心。党的十八届三中全会通过的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确指出:"加快现代职业教育体系建设,深化产教融合、校企合作,培养高素质劳动者和技能型人才"。自 2014 年起我国有关产教融合的研究文献骤增,代表性文献如下。杨运鑫[1]从操作层面探讨了产教深度融合的机制建设,包括统筹督导机制、法规保障机制、激励补偿机制、多元配置机制、协调联动机制和质量评价机制等。和震[2]认为产教融合不仅是教育制度,更应该是经济制度、产业制度的组成部分,指出了政府、行业、企业、院校、学生等五个主体的作用与现实中的缺失,并从立法、制度、政策等方面提出了深化产教融合的建议。杨善江[3]认为产教融合中的"产教"包括两层含义,即产业与教育、生产与教学,并提炼出产教融合的六个特征:双主体性、跨界性、互利性、动态性、知识性和层次性。曹丹[4]认为产教融合的本质是生产和教育一体化,在生产中教学,在教学中生产,生产和教学密不可分、水乳交融。刘立新[5]系统总结了德国职业教育产教融合的理念、机制和特点,并对我国职业教育深化产教融合提出了建议。

但目前我国产教融合的基本理论研究还不够深入,如产教融合的内涵及逻辑起点是什么,产教融合的应然之态又是什么,等等,这些问题均有待深入研究。进而从实践层面看,我国职业教育产教融合还存在诸多问题,如相关支撑法律法规缺位,体制机制不健全,行业的指导作用不强,企业作为育人主体的积极性不高,产教融合共同发展职业教育远未成为我国经济界和教育界的共同责任和行动。对职业教育产教融合基本理论问题的澄清有助于更好地指导实践。

二、职业教育产教融合的逻辑起点

产教融合不仅是国家政策要求,同时也是职业教育的本质要求,这就涉及职业教育的本质属性究竟是什么。职业教育的本质属性是职业教育学的一个基本理论问题,它蕴含着职业教育的逻辑起点[6],当然也是职业教育产教融合的逻辑起点。黄炎培最早提出了职业教育的本质属性是社会性,而近十几年来关于职业教育本质及本质属性的争论一直在持续。表 1 列出了 11 位学者关于职业教育本质和本质属性的主要观点,归纳起来共有 11 种,包括社会性、多样性、适应性、中介性、产业性、职业性、技术性、工作性、实践性、人人性、生利性等。此外俞启定、和震认为社会性、终身性、全民性是职业教育的派生属性。

笔者认为,职业教育是教育的一种类型,因此揭示职业教育的本质属性应该从教育的本质入手。我国著名教育家胡德海先生认为,"教育的本质是通过文化传承使个体社会化的活动,并促进社会的发展和个

* 本文系 2017 年度全国教育科学规划教育部重点课题"京津冀高职教育与产业结构协调性研究"(DJA170314)的研究成果

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　职业教育本质及属性主要观点

序号	学者	本质属性	时间
1	黄炎培[7]	社会性	20 世纪 20 年代
2	杨金土[8]	多样性	2001
3	周明星[9]	适应性、中介性和产业性	2003
4	刘育锋[10]	“一般职业”导向性	2004
5	欧阳河[11]	本质是帮助人们获得技术应用型技能型职业的能力和资格，本质属性为：技术技能职业性	2005
6	孙琳[12]	职业性、社会性、实践性	2006
7	徐国庆[13]	本质分析基于工作体系——职业、工作、技术	2007
8	徐涵[14]	职业导向性	2007
9	俞启定和震[15][16]	本质属性为职业性、技术性，派生属性为社会性、终身性、全民性	2009
10	刘晓[6]	本质是“技艺授受”，本质属性为：人人性，生利性，中介性	2013
11	唐锡海[17]	技术性	2014

体的全面发展”[18]。因此，要揭示职业教育的本质属性，就要看它传承的主要内容是什么，使个体社会化的手段和途径是什么。对于职业教育而言，教育内容主要是技术技能，是文化传承的主要内容；而职业教育的目的是使学生具备相应的职业能力和资格，毕业后能够获得一份满意的职业（工作），从而实现个体的社会化，职业化是个体社会化的重要手段。因此，笔者认为“职业性”和“技术性”是职业教育的本质属性。而正是由于技术的不断进步和职业的不断变化，使得职业教育具有“终身性”。

（一）职业教育的本质属性：职业性

职业是职业教育存在的前提，职业性是职业教育的本质属性，自从职业教育孕育的那一刻起，就决定了职业性必将伴随着职业教育从萌芽、发展到成熟的整个过程[19]。职业产生于社会分工。第一次社会大分工产生了农业和畜牧业，第二次社会大分工产生了手工业，第三次社会大分工产生了商业。之后，随着社会的发展，还产生了社会公共管理部门及其相应的职业，如政府、军队、司法等部门。最初的职业性教育主要是家庭教育，即父子相传。随着手工业的出现，原始工艺技术的传授日趋专门化，要求手工业者必须经过严格的训练，才能掌握本职业所垄断的知识和技能，这使得家庭内部的技艺传承已无法满足生产力发展与社会分工的需要，职业教育随之开始走出家庭，形成了最初的学徒制。在西方，自中世纪到近代，行会的学徒制是职业性教育的主要形式。社会分工的逐渐扩大导致了职业的不断细化，尤其 18 世纪第一次产业革命的出现，需要大批掌握技术和操作技能的产业工人，学徒制已不能适应这种社会需求，最终导致学徒制崩溃，催生了近代真正意义上的职业教育。

职业教育属于为了职业、关于职业、基于职业的教育，为经济社会发展培养生产、建设、服务、管理一线的技术技能人才，其人才培养目标、教育教学内容、教育教学方式均围绕职业而展开，使学生掌握职业技能、获取职业知识，了解职业规范，培养职业情感，健全职业人格[20]，完成从自然人到职业人的转变，通过从事专门的职业，在特定的社会生活环境中与其他社会成员相互关联、相互服务，从而实现人的社会化。

职业教育的职业性规定了职业教育应以职业为导向：职业教育以形成学生的职业能力为培养目标；课程开发以典型的职业活动为核心；教学内容以技术知识和工作过程知识为主体；教学方式强调行动导向；教学环境强调职业情境的真实性[21]。

（二）职业教育的本质属性：技术性

职业教育支撑技术传承与创新，技术进步反过来推动职业教育发展。人类在农牧业生产劳动和原始工具制作中，逐渐形成了原始时代的技术。随着手工业的出现，造就了一批最初的工匠。人类为了生存和发展，需要传承生产劳动经验和技术技艺，这就决定了人类最早的教育形态就是技术性的。原始时代的技术虽然都蕴含着一定的科学原理，但并不能被古人认知，因此这时的技术是经验性技术或操作技能，技术的传承主要通过家传方式和师傅带徒弟方式（学徒制）进行。

随着第一次产业革命的来临，生产工具发生了革命性转变，机器大生产代替了手工劳动，技术具备了科学形态，科学日益成为技术的先导，技术与科学结合更加紧密，技术已经形成了由技术原理、技术手段、工艺方法和技术操作等要素组成的一个复杂系统[22]。工业革命使得技术的复杂程度提高，同时社会需要大批能熟练操作机器并且懂得生产的科学原理的技术工人，使得传统的学徒制难以为继，近现代意义上的技术与职业教育应运而生（学校教育）；另一方面，大工业生产的发展和科学技术的进步产生了现代工艺学。工艺学使得劳动者有可能掌握生产过程的基本原理和基本技能，并为专门的职业教育机构进行广泛的培训提供了便利和可能[23]。

传统的技术教育中，人们对技术的理解大都立足于“硬技术”，即机器、工具和操作程序、工艺流程、技术标准等方法和手段。20 世纪 90 年代，人们提出了“软技术”的概念，并在全球范围内得到了广泛关注。邵建伟、陈向阳认为，“软技术”不仅指的是非物质形态的智能化技术，更应该涵盖人们合理理解、使用、制

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

造技术的软性因素，即在实施硬技术过程中所体现的价值观念、制度文化、伦理精神等[24]。基于此，在技术教育中，需要将技术思想、技术价值、技术伦理等“软技术”同“硬技术”整合，使学生在形成技术应用能力的同时，提升技术素养，实现技术教育由“制器”向“育人”的转变。

（三）职业教育的本质属性：终身性

保罗·郎格朗于 20 世纪 60 年代首先提出 “终身教育”的理念，1970 年代联合国教科文组织在《学会生存》一书中鲜明提出终身学习和终身教育的思想，由此终身教育思想成为 20 世纪最重要的教育思潮。首先，从历史起点看，终身教育思想的产生与职业教育有着重要渊源。终身教育开始出现的时候，主要与成人教育、职业培训联系在一起，后来逐渐扩展到所有教育，而且逐渐向终身学习的概念转化。由此看来，终身教育首先是职业教育的本质属性，这种属性向其他教育类型渗透、延伸，才成为教育的属性。其次，从逻辑起点看，终身教育的产生与“技术性”和“职业性”有着密切关系，正是由于人们需要适应职业的变化和技术的进步，打破了前半生学习、后半生工作的传统教育模式，催生了终身教育理念。现代社会随着大批新兴技术密集型产业的兴起，对从业人员技术技能的要求越来越高，迫使劳动者必须根据劳动岗位的需要不断学习，以增强自身的社会适应能力。从人的职业生涯发展看，其一生可能需要经历多次职业的变化与升迁，为了适应这种职业变化，必须不断学习，这也是终身教育的逻辑起点之一。再次，职业教育是终身教育最重要的载体，拥有终身教育最广泛的人群和最高的频次。职业教育的“人人、时时、处处”的理念贯穿学习者个体职业发展全过程，包括职业准备教育，就业培训，岗位培训，晋级、转业、再就业培训等各种教育培训形式[25]。因此，在社会性涵盖下的职业教育应是“大职业教育体系”，也就是全民职业教育，职业教育已经从正规学校教育的一个特定阶段转变为终身教育的重要组成部分[12]。

三、职业教育产教融合的应然之态

综上所述，职业性、技术性和终身性职业教育的本质属性，我们应以此为逻辑起点，探究职业教育产教融合的应然之态，全面阐释产教融合的内涵。

（一）基于职业性的产教融合

职业包括三个维度，即职业能力、职业资格和职业形态，职业性要求职业教育必须坚持职业导向性原则，使学生毕业后具备相应的职业能力，获取相应的职业资格证书，并找到一份理想的工作，即适应职业形态。

1. 职业形态。职业教育专业结构与产业结构对接是产教融合的第一要义，包括二者的区域结构、层次结构、类别结构和规模结构对接，这种对接既包括国家和区域层面的顶层设计，也包括学校层面的具体规划。职业教育在进行院校布局、专业设置、专业定位、人才培养目标以及人才培养规格制定时，要做好顶层设计，充分调查研究区域产业发展现状和趋势，围绕区域经济发展和产业需求，把职业教育放在供给侧结构性改革和促进区域就业格局中谋划，深化教育链与产业链融合，主动服务动能转换和产业升级，促进高职教育和产业结构之间的协调发展。然而，就现实情况看，我国职业教育结构与产业结构对接并不理想，在专业设置上缺乏全面系统的产业发展数据，存在盲目跟风的现象。我国职业教育一直倡导“以服务为宗旨、以就业为导向”，也有人说职业教育就是就业教育，强调学生毕业后找到一份合适的工作，但从结果看，职业院校毕业生就业的专业对口率并不高。

2. 职业能力。一般认为，职业能力包括职业知识、职业技能和职业态度三个方面，同时强调知识、技能和态度的培养必须在特定的职业情境中开展，即情境性的综合能力培养。在培养学生职业能力过程中，不应只关注操作技能，因为操作技能至少是知识运用、心理运算和操作行为三者的有机结合，此外还包括默会和情感的成分，因此必须从更复杂的关系中理解职业能力，从更多元的维度构建职业能力观[26]。

在学校的课堂或实训室中，我们可以让学生学习知识、习得技能、培养职业态度，但这并不意味着学生已经具备了职业能力，知识、技能、态度必须经过类化迁移与整合，才能形成职业能力，而这种迁移、整合，必须以职业性为导向，在真实的职业情景中才能得以实现，也就是说，职业能力的培养必须有产业的全面参与，产业资源与教育资源深度融合，包括学校实训室与企业车间融合、学校教师与企业技术人员融合、教学过程与生产过程融合、教学内容与职业标准融合、校园文化与产业文化融合。

3. 职业资格。职业资格证书制度是目前发达国家职业教育的通行做法，是认证劳动者从事相应职业所具备的职业能力的手段，它对于劳动者技能形成和促进就业具有重要作用，也是产教融合的重要纽带。

然而，我国职业资格证书制度还存在诸多问题，难以与职业教育实现深度融合。首先，职业资格证书体系与职业教育体系没有有效对接，即纵向衔接、横向融通的国家资格框架尚未形成；其次，目前的职业

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

技能标准大部分针对一个工种,无法与职业院校的专业对接;第三,职业技能标准制订及职业技能鉴定由人社部主导,缺少行业部门和职教部门的参与,既在行业中缺乏权威性,又很少考虑教育教学规律;第四,职业技能标准的制订缺少科学、严格、规范的程序,职业技能鉴定管理不严格,职业资格证书含金量不高,缺少权威性和公信力。职业标准与专业教学标准对接、毕业证书与职业资格证书对接是职业教育发展的必然趋势,是构建现代职业教育体系重要一环,也是实现产教深度融合的关键点。这方面我们可以借鉴德国的做法,由行业协会联合教育部门对现有国家职业标准进行二次开发,形成与职业院校专业对应的"教育职业标准",从而架起社会职业标准与专业教学标准的桥梁[27]。

(二)基于技术性的产教融合

基于技术性的产教融合主要包括两个方面:一是将行业、企业最新的技术原理、技术手段、技术工艺、技术操作引入学校,学生吸收内化为自己的技术思维、技术行为、技术态度和技术文化,提升学生的技术素养,从而为产业提供高素质技术技能人才;二是职业学校的教师要加强技术研发,促进产业技术进步。

技术知识传承是职业教育的主要内容,而技术知识又分为显性知识和默会知识[28]。显性知识,例如技术原理、技术工艺、操作程序以及产品(材料)的功能性质等,均可以用语言、符号、图表表达,这些知识适合课堂学习。而默会知识(隐性知识),例如工匠的特殊技巧、技能、创意、诀窍、经验等,它依赖于特定的技术主体,很难用言语、符号等手段完全清楚地表达。默会知识的习得只能寓于行动之中。

技术(默会)知识的特性决定了职业教育必须实施产教融合、校企合作、工学结合、知行合一的人才培养模式,技术知识的构建逻辑要遵循情境实践性和工作导向性原则[29]。一是充分发挥企业的主体作用,让学生到企业实习、实践,使学生在企业的真实环境中学习技术,学生通过较长时间的技术实践,才能真正将技术吸收、内化;二是将企业真实的工作任务引入课堂,即生产过程与教学过程融合。技术知识建构过程必须与工作过程的组织顺序一致,才能保证知识建构的完整性,才能使学生在今后工作时更容易联系所学过的知识,提升其技术应用能力;三是双师队伍建设。职教教师应掌握产业前沿技术,具有丰富的实践经验,同时通过经常性的教师间交流和教学反思,将默会知识变为显性知识,使默会知识得以共享。

基于技术性的产教融合还体现在职业院校教师为企业提供技术服务、技术咨询和技术研发,以促进产业技术进步。教师在为企业提供技术服务的同时,了解产业行业技术发展最新动态,了解企业真实的技术工艺、设备,将企业的真实项目带进课堂,提高教育教学质量,也有利于双师素质提升。

(三)基于终身性的产教融合

随着科学技术的不断进步和产业升级,新工艺、新方法、新设备、新材料、新产品、新服务不断涌现,对产业劳动者的理论和技能提出新的要求,同时,企业员工自身职业也在不断发展,转岗、晋升成为常态,他们需要不断更新知识和提升技能。职业院校需要密切关注产业转型升级和技术创新的动态,积极调研企业员工技能提升需求,主动对接行业、企业,为企业在职员工提供及时、优质的培训。除了企业员工在职培训,还可以开展各种岗前培训、转岗培训、就业培训、创业培训以及农村剩余劳动力转移培训,既解决了各种社会问题,又能为产业提供高素质的劳动者。

目前我国职业院校基于终身教育理念的产教融合尚缺乏深度,社会培训开展得并不理想,这既有宏观层面的影响因素,如法律保障缺失、机制体制不健全、基于终身教育理念的现代职教体系尚未建立;也有学校层面的因素,如学校主动对接产业的意识不强、跟踪产业转型升级和企业技术创新不及时、培训信息不对称、培训资源缺乏针对性、培训教师能力欠缺等,需要加大探索并深化改革的力度。

(刘 斌,天津职业大学校长、教授,天津 300410;邹吉权,天津职业大学职业教育研究所副所长,天津 300410;刘晓梅,天津职业大学职业教育研究所助理研究员,天津 300410)

参考文献

[1] 杨运鑫,罗频频,陈 鹏.职业教育产教深度融合机制创新研究[J].职业技术教育,2014(4).
[2] 和 震.推动产教融合制度创新建立现代职业教育治理体系[J].中国职业技术教育,2014(21).
[3] 杨善江.产教融合:产业深度转型下现代职业教育发展的必由之路[J].教育与职业,2014(33).
[4] 曹 丹.从"校企合作"到"产教融合"——应用型本科高校推进产教融合的困惑与思考[J].天中学刊,2015(1).
[5] 刘立新.德国职业教育产教融合的经验及对我国的启示[J].中国职业技术教育,2015(30).
[6] 刘 晓.职业教育的本质、属性及其发展的界域[J].中国职业技术教育,2013(27).
[7] 李 松.黄炎培对职业教育本质认识研究[J].南京工业职业技术学院学报,2016(2).

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[8] 杨金土.论高等职业教育的基本特征[J].教育研究,1999(4).
[9] 周明星.现代职业教育本质属性探析[J].教育与职业,2003(1).
[10] 刘育锋.论职业教育的本质属性[J].职教论坛,2004(10).
[11] 欧阳河.职业教育基本问题初探[J].中国职业技术教育,2005(12).
[12] 孙 琳,李 里.职业教育的本质属性与发展模式选择[J].中国职业技术教育,2006(4).
[13] 徐国庆.工作体系视野下的职业教育本质[J].职业技术教育(理论版),2007(1).
[14] 徐 涵.论职业教育的本质属性[J].职业技术教育(理论版),2007(1).
[15] 俞启定,和 震.职业教育本质论[J].中国职业技术教育,2009(27).
[16] 和 震.论现代职业教育的内涵与特征[J].中国高教研究,2008(10).
[17] 唐锡海.职业教育技术性研究[D].天津:天津大学,2014.
[18] 胡德海.教育学原因[M].兰州:甘肃教育出版社,2006:223.
[19] 张成涛.在"职业性"与"教育性"之间——论职业教育价值取向[J].职教通讯,2010(4).
[20] 邓宏宝.论职业教育人的社会化功能及其实现[J].职教论坛,2015(15).
[21] 徐 涵.论职业教育的本质属性[J].职业技术教育(理论版),2007(1).
[22] 管晓刚.关于技术本质的哲学释读[J].自然辩证法研究,2001(12).
[23]王 川.论西方近代学校职业教育产生的社会条件[J].职业技术教育,2008(1).
[24] 邵建伟,陈向阳.国际视野下的技术教育范式重建——让"硬技术"与"软技术"在技术教育中融合[J].外国教育研究,2011(7).
[25] 霍丽娟.终身教育理念下现代职业教育体系构建的思考[J].中国职业技术教的角度[J].江苏高教,2010(1).
[26] 匡 瑛.究竟什么是职业能力——基于比较分析的角度[J].江苏高教,2010(1).
[27] 谢梨花.德国职业教育的"教育职业标准":职业教育条例的开发内容、路径与经验[J].外国教育研究,2016(8).
[28] 乔佩科.技术知识的特性及其对技术教育的启示[J].东北大学学报:社会科学版,2009(2).
[29] 王亚南,林克松.技术知识建构视阈下职业院校学生学习范式的转向[J].职业技术教育,2015(13).

The Logical Starting Point and Ideal State of Industry-education Integration for vocational colleges

Liu Bin Zou Jiquan Liu Xiaomei
(*Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410*)

Abstract: The industry-education integration is the essential requirement of vocational education which leads the direction of modern vocational education. It is not only the key to building the first-class vocational education with Chinese characteristics and world standards, but also the core of the Construction of modern vocational and technical education system. Using three essential attributes of vocational education, i.e. professional, technical and lifelong as the logical starting point, this paper tries to systematically elaborate the ideal state of industry-education integration, clarify its connotation and define its concept, aiming to provide a theoretical guidance for the industry-education integration practice. Author put forward such points of view as following: the specialty structure should be docked with the regional industrial structure in the determining process of colleges distribution, specialty provision and talent cultivation goal; the elements of educational resources and industrial resources should be integrated in the process of cultivating students' occupation ability; social training and technical services is an important measure to improve the quality of labor. It is necessary to establish "education occupation standard".

Key words: vocational education; essential attribute; industry-education integration

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.01.101

智能控制技术在工程机械控制中的应用分析

陈振国;张倩颖
(天津职业大学,天津 300410)

摘要:在我国经济总量不断提升,社会经济发展速度稳定增长时代背景下,工程机械领域技术进展突飞猛进,从传统工程机械控制方式转变为与智能控制技术相结合,具有高效、集约、环保等优势,是工程机械领域现有主体发展方向之一。本文探讨工程机械控制中智能化控制技术的发展进程,分析智能控制技术在工程机械控制领域中的应用情况。

关键词:智能控制技术;工程机械;应用情况;发展进程

0 引言

前些年,我国在工程机械领域中,跟西方发达国家的技术储备上还存在着较大差距,而近年来,随着经济水平和科学技术的不断发展,在工程机械控制领域中总体技术水平也得到了长足长进,取得了喜人成绩。在智能化领域蓬勃发展之余,工业产业中也对智能化技术与工程机械领域相结合工作进行了不断尝试,随着结合技术的逐渐成熟,智能控制技术在工程机械领域也开始发挥重要显著作用。现今,在工程机械领域整体行业中,主流观点为工程机械控制技术的未来发展方向是智能控制技术与工程机械相结合,提高机械设备自适应能力。在智能控制技术与工程机械控制技术结合后,将会构建一个完整、科学的工程机械控制体系,使得工程机械设备中各部位之间建立信息沟通渠道,相互之间灵活配合,提高工程机械设备的施工精度。智能控制技术和工程机械控制技术相结合,不但在提高机械使用效率、环保问题上有着显著作用,更有利于工程机械控制领域的智能化、精细化发展不断前进,提高我国整体工程机械控制领域水平,从而更好促进我国整体工业水平的发展。

1 工程机械控制技术智能化的发展与起源

1.1 工程机械控制技术智能化的发展

工程机械控制技术的特点为安全性高、机械精细化程度高和性能可靠程度强。在工程机械控制领域中,自动化控制系统是整体控制领域中的重要组成部分。自动化控制系统在机械设备控制过程中,起着重要作用,有效提高了机械设备的使用效率和精准度。但在前些年我国的整体技术水平偏低,由于整体时代背景因素,自动化控制系统技术还被西方先进国家的公司所管控,在我国工程机械控制领域中自动化控制系统没有得到推广。

在工程机械控制技术智能化发展过程中,逐渐显露出智能控制技术的一些特点,如控制系统人性化、网络化等特点,而这些特点都是传统工程机械控制技术所不具备的。

机械控制技术智能化发展的主要目的为便捷工程机械操作控制流程、提高机械设备运行效率、对机械设备严格控制,而达到以上目的首要前提为构建工程机械智能化远程网络实时通讯系统。在控制工程机械实际操作施工时,通过远距离网络通讯系统,实时下达机械设备操作指令,对机械设备运行严格控制,实现智能控制系统与工程机械设备之间的无缝对接。

目前,在我国工程机械控制领域中,智能化控制技术的总体发展水平还处于起步阶段,但在具体技术发展中已经取得一些喜人成绩。例如,在三一重工中,对道路施工设备的智能化控制技术的相关技术研究工作中不断突破现有技术,实现了装载机等工程机械设备的智能化控制,有效提升了这些设备的施工效率和安全性作业操作。但是,在整体工程机械控制智能化发展过程中,还需要相关研发人员不断论证、深入分析研究,以期在整体工程机械领域中,实现智能化系统控制。

1.2 工程机械设备智能控制技术的起源

在十八世纪六十年代,蒸汽机的诞生,开创了以机械设备代替手工生产的时代,从那以后,人类社会的生产力提高方向便从扩大生产范围逐渐转为提高科技技术。而在上世纪早期,科学界开始形成一种主流观点,认为智能是可以计算的,科学界针对此观点不断研发、尝试,在 1946 年 2 月 15 日,在美国宾夕法尼亚大学诞生了人类历史上第一台通用电子计算机 ENIAC。在 ENIAC 诞生二十余年后,工程机械设备的智能控制化观点在 Dartmouth 大学的研讨会上被首次提出,直到现今,科学界对工程机械设备的智能控制系统不断深入研究、开发、创新。时至今日,工程机械设备智能控制系统在部分设备中的已经推广、实践,极大提高了人类社会的总体社会生产力。

2 智能控制技术在工程机械中的具体应用

工程机械根据具体用途、使用方向以及运行质量等具体方面共划分为两大类别,两类工程机械都有着具体优缺点,不同类别的工程机械设备与智能控制技术的结合方式也不一致。

第一类工程机械设备的主要用途为各类对精细化程度要求低的工程作业,这类工程机械设备对操作控制系统的要求较低,这类工程机械设备的首要要求是设备运行动力充足。具体缺点为施工作业中的精细程度低,施工介质不均衡。

第二类工程机械设备的主要用途为各类高精尖工程作业,这类机械设备的优势相对第一类工程机械设备较为

作者简介:陈振国(1982-),男,天津人,助理工程师,本科,研究方向为先进制造技术应用;张倩颖(1983-),女,天津人,工程师,本科,研究方向为先进制造技术应用。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明显，如工程作业的介质均匀，机械运行时各部件之间稳定，缺点是这类工程机械设备造价相对较高。针对上述两种工程机械设备类别进行详细研究，分析智能控制技术在两类工程机械设备中的具体应用。

2.1 智能控制技术在压路机中的具体应用

早在上世纪后期，瑞士一家公司就研发出了一款智能控制技术，具体技术内容为，将机械设备中各项数据的显示器、加速度传感器以及电子指令单元三个部位相结合的智能控制技术。这项智能控制技术在工程作业中的主要作用以及内容为 在工程机械设备施工中，根据土地的软硬、干燥具体程度来对工程机械设备的振动轮速度智能控制，已达到与施工路况相较符合的振动轮运转速度，实时针对不同路况的土地坚硬程度切换相符速度。在压路机智能控制技术操纵过程中，会智能切换适合操作模式，在压路机出现问题时，在显示器中显示出现问题的具体部分，有利于操作人员对压路机进行针对性维修、保养工作。例如，在压路机实际工程作业中，某一区域的操作指标出现异常现象，超过了具体部位的参数上限，这时，智能控制系统自主切换工作模式，避免压路机出现更大损失，同时，在显示器中显示出现问题部位的具体构造图和详细参数，有效协助操作人员发现、解决压路机出现的实际问题。

智能控制技术在压路机上的实际应用，提高了压路机的作业效率和作业质量，在作业过程中作业介质变得更加均匀，设备运行更加精细化，降低了操作人员的工作强度，缓解了其工作压力。

2.2 智能控制技术在挖掘机中的具体应用

智能控制技术在挖掘机的实际应用中具体分为两种控制形式 :对挖掘机负荷功能的控制和对挖掘机动能的控制。在智能技术控制下的挖掘机，各个组成部分之间存在着相互影响的特点，如挖掘机的发动机的负载系统和动力输出系统之间就存在着相互影响的关系，只有在挖掘机动力输出系统保持不变的情况下，智能控制系统才能对挖掘机的负载系统进行有效的控制。在挖掘机实际施工作业过程中，在智能技术控制下，挖掘机的动力输出系统会根据不同施工作业的实际动力需求量供应，这也节省了挖掘机的运行能耗成本，最大程度减少了挖掘机的寿命损耗，提高了挖掘机的工作效率。

智能控制技术操作下的挖掘机相较于传统操作模式下的挖掘机，极大提高了作业工作效率。在智能控制技术应用于挖掘机之前，传统挖掘机操作模式中存在着很多问题。例如，在挖掘机施工作业中，由于挖掘机发电机部位的功效低，很难满足施工过程中的实际需求。针对此问题，挖掘机操作人员将主泵操控系统部分和挖掘机发动机部分都安装于挖掘机上，对挖掘工程实际作业中，造成了极大的困惑。

随着近年来智能控制技术的推广，在智能控制技术与挖掘机的专业操作人员深入研究下，提出了摒弃挖掘机传统控制技术，采用智能控制技术与挖掘机相结合的有效策略和发展方向，提高了挖掘机的作业效率。

在智能控制技术下，挖掘机在实际施工作业过程中，根据施工实际内容对挖掘机的具体要求，智能控制系统针对实际需求量进行动力系统供应，这有效控制了挖掘机的输出功率，提高了能源使用效率，降低了能源消耗量。

在挖掘机使用智能控制技术进行控制操作过程中，也应注意控制技术实际操作中的具体要求。例如，在挖掘机施工作业过程中，充分利用挖掘机发动机系统的油门分档，载符合要求的具体操作下，有助于控制挖掘机的平稳运行，优化挖掘机发动系统的液压燃油配置。

3 智能控制技术工程机械控制策略

针对上述两类工程机械设备的使用用途、作业精细度差异，将智能控制技术的控制策略分为两种 :一种智能技术操控策略为提高机械设备的工作效率、降低使用能耗；另一种智能技术操控策略为精细化作业施工，施工介质更加均匀。笔者以压路机与挖掘机两种工程机械设备为例，阐述两类工程机械设备在智能控制技术的控制策略上的差异。

3.1 压路机的智能控制技术控制策略

在压路机的实际施工作业中，智能控制系统的具体控制方式为 :针对作业项目中作业目标的实际质量，智能系统自身调节压路机的使用动能以及对作业效果实时检测，智能计算压路机在各类施工环境、作业目标中的最佳控制方案。

在压路机施工作业中，提前输入作业过程中各类参数，智能控制系统在施工前提前计算压路机在作业过程中的各类运行数据，针对各类作业环境以及目标适当切换相应工作模式，自动调节压路机各类参数，如发动机动力系统、振动论的振动频率等部分，以期提高压路机的工作效率和作业质量，降低压路机的使用能耗。

在压路机的施工作业中，智能控制技术对压路机整体控制中，最为重要的是对压路机铺层压实作业的控制。在压路机铺层压实作业中，控制系统需要对各方面数据加以整体计算、分析，如对作业环境的温度、沥青料的温度等数据加以分析。因压路机施工作业中，沥青的硬度受温度影响较大，智能控制技术需针对性、实时计算分析，才能选择最佳控制方案进行作业，而这需要智能控制技术的长期技术积累才能做到。在技术储备问题上，我国较之其他工业发达国家，技术储备还相对匮乏，缺少智能控制技术的实际施工经验。

3.2 挖掘机的智能控制技术控制策略

当前挖掘机的智能控制策略细分为两种控制模式，一种为“按劳分配”，一种为“按需分配”。

①挖掘机的“按劳分配”智能控制策略。挖掘机在施工作业过程中，智能控制系统根据作业实际对动力的需求，自动调整挖掘机动力系统的输出功率。在挖掘机“按劳分配”智能控制策略中，针对总体作业环境、作业目标，大致分为三种“按劳分配”智能控制模式，分别为 :发动系统超额功率控制模式、发动系统标准功率控制模式以及发动系统低成本功率控制模式。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.01.102

机械产品模块化设计的研究

孙一鸣
(淄博第四中学,淄博 255100)

摘要:激烈的市场竞争促使企业生产更多种类的产品以满足消费者的需求,传统机械产品设计的方法有产品研发周期长,改进困难的缺点,基于此,机械模块化加工设计成为了十分重要的方法。本文从模块化设计的优势分析出发,介绍了几种简单的模块设计化方法,并分析了模块化设计与现代设计技术相结合下的发展趋势,最后得出结论。

关键词:模块化设计 现代设计 虚拟仿真

0 引言

早在上个世纪初,德国就已经产生了模块化设计的雏形,当时只是在家居设计领域进行应用,直到五十年代,模块组成的铣床和车床的出现为机械产品中的模块化设计树立了新的里程碑。模块化设计在上个世纪六十年代在我国取得了显著的成果,随后得到了快速的发展。基于模块化设计的互换性,易于改善以及适用于大批量加工的优势,其在生产设计中起到了越来越重要的作用。本文在第二节中分析了模块化设计的优势,第三节中阐述了设计方法,然后针对当代现代化设计现状,分析模块化设计发展方向。

1 模块化产品优势分析

模块化后的机械产品主要具有以下几个特点:

1.1 模块化结构具有互换性

零件满足互换性是机械设计和制造中最重要的要求之一,模块化后的机械产品易于满足互换性的要求。相同工艺和要求的产品能够互相替换,维修时只需找到相关的产品,直接对其进行切换,大大简化维修程序,降低维修成本。

1.2 适用于大批量加工

机械产品加工中每个模块在设计和加工时其功能就已经被确定下来,成为能够实现某些特定功能的单元。模块化产品在设计时可以找专门的人负责,然后进行试制,最后进入大批量生产,更改和试制中可根据具体的要求对模块化产品进行改进,完善模块化产品功能,进而使得产品质量得以提高。模块化产品设计出来之后可根据工厂分工的不同,找相关技术具有优势的工厂对其进行加工,满足产品大批量加工的需求。

1.3 为新产品开发提供可能

日渐激烈的市场竞争中,产品创新成为了一个企业会不会被淘汰的一个重要指标。产品结构新颖,产品功能优化,工作效率高,企业才能够立于不败的地位。传统机械加工方法是在产品整体的基础上进行设计和优化,虽然最后能完成优化的任务,但难度高,产品开发周期长,人才需求

在上述三种智能控制模式中,挖掘机的动力系统的输出功率稳定不变,而挖掘机其他组成部分的功率曲线与之相符合。挖掘机的智能控制系统中采用了 ESS 发动系统转速度传感系统,在挖掘机施工作业过程中,将液压泵的运行参数数据设置为动力系统输出功率相匹配数据。上述 ESS 技术在挖掘机施工作业的过程中,使得液压泵充分吸收挖掘机的动力系统输出功率,降低了挖掘机的使用能耗。智能控制系统在挖掘机作业过程中,还可以通过对液压泵部位的有效调节,控制、稳定挖掘机动力系统的输出功率,避免挖掘机动力系统出现故障导致的一系列后果。

在挖掘机的实际施工作业过程中,传统控制技术在挖掘机动力系统输出功率不符实际作业需求时,需要操作人员人工更改输出功率,这相比于智能控制系统来说,增加了许多不必要的风险,而在操作人员操作不当,未将挖掘机动力系统功率模式调节正确时,也造成了额外的能耗损失,增加了施工成本。

挖掘机的"按需分配"智能控制策略。挖掘机按需分配智能控制模式中,采用设备自动运行控制方式。挖掘机动力系统针对挖掘机施工作业过程中实际需要的功率针对性调节挖掘机动力系统的输出功率。在挖掘机"按需分配"智能控制模式中,无需操作人员控制挖掘机的运行,智能控制系统根据计算、分析作业中各类参数数据,切换动力输出功率和挖掘机工作模式。

在挖掘机"按需分配"智能控制模式下,相较于传统挖掘机控制模式,挖掘机的动力系统根据作业难度、作业目标具体情况智能调节自身输出功率和工作模式,降低了挖掘机的能源消耗量,节省了人力资源,使得经济性达到最优配置。

4 总结

综上所述,从工程机械设备的传统操作模式转为智能控制模式,提高了设备的工作效率,节省了人力资源,降低了设备能源消耗,有效保护了环境资源。在今后的工程作业过程中,将智能控制技术推广开来,在其他智能控制技术尚不成熟的机械设备上针对性推广、研发,早日在各类工程机械设备上建立智能控制系统,提高社会总体生产力。

参考文献:

[1]刘念.工程机械上智能控制技术的应用[J]河北农机,2017(06):143-146.

[2]张进.智能控制技术在工程机械上的应用[J].硅谷,2016(12):188-191.

[3]何子峰.智能控制技术在工程机械控制中的应用[J].军民两用技术,2015(06):76-79.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

DOI:10.16350/j.cnki.cn12-1442/g4.2014.02.039

中国传统文化教育对高职院校学生工作的意义

王丽颖
(天津职业大学,天津,300410)

摘　要:文章立足中国传统文化的基本内涵,分析当前高职院校学生的现状及存在问题,阐述中国传统文化对于学生工作的重要意义,并探讨将中国传统文化融入学生工作的有效途径。

关键词:高职院校;学生工作;中国传统文化
中图分类号:G464　　文献标识码:A　　文章编号:2095-8528(2014)02-076-03

中国传统文化源远流长,博大精深,它凝聚着炎黄子孙无穷无尽的智慧。2011年10月党的第十七届六中全会通过的《中共中央关于深化文化体制改革推动社会主义文化大发展大繁荣若干重大问题的决定》要求我们要全面认识祖国传统文化,坚持保护利用、普及弘扬并重。党的十八大报告中强调要"建设优秀传统文化传承体系,弘扬中华优秀传统文化"。因此,将中国传统文化融入学校的教育管理中,对加强和改进高职院校的学生工作有重要意义。

一、中国传统文化的基本内涵

中国传统文化是人们在长期的社会生活实践中积累形成的宝贵精神文化遗产,它存在于人们的思维模式、知识结构、价值观念以及行为方式中。中国传统文化的主流思想是以儒家思想作为基础的,它强调以"仁、义、礼、智、信"为基本道德要求的荣辱观,是中华民族传统道德文化的精髓。人生哲理、人生理想和道德修养等内容蕴藏在中国优秀的传统文化中,这为加强和改进高职院校的思想政治教育工作提供了有效的借鉴。同时,中国传统文化十分重视教育的方法和理念,注重实践,这对于新形势下高职院校学生工作管理者来说,具有积极的意义。

二、当前高职院校学生的现状及存在问题

我国从改革开放中取得了巨大成就,同时在市场经济转型中我们也遇到各种问题,尤其是道德滑坡,金钱利益观占据很多人的思想意识。在此环境影响下,部分学生存在着理想信念模糊、诚信意识淡漠、责任感缺失、团队协作观念较差等问题。具体来说主要有:

1.文化基础薄弱,缺乏学习主体意识

近几年随着高职院校规模扩大,招生人数大大增加,然而生源质量也出现了明显下降,部分学生的学习基础较差,有些学生学习动力不足,主要表现为没有明确的学习目的和规划,缺乏求知欲。在天津职业大学组织的2013级新生适应性年度调查报告中显示,笔者所在院系有34%的学生缺乏自学方法,11%的学生贪玩,旷课较多,也有学生对于考试抱着"60分万岁"的思想,把更多的时间和精力放在娱乐活动中,有18%的学生课外时间用于上网聊天、玩游戏、看电影、浏览网页等。

2.心理素质较差,自卑感较强

相对于普通本科高校,高职院校中有相当数量的学生没有明确的学习目标和大学生涯规划,缺乏克服困难的决心与积极进取的精神。有些学生没有考上理想的本科学校,形成了较强的失落感与自卑感,尤其是发现考上的高职学校和他们梦想中的大学相差较远,他们的失落感会更为强烈。

3.自我管理能力不强,养成教育缺失

部分高职学生自我管理能力较弱,难以做到知行合一,经常沉溺于网络游戏,喜欢攀比和高消费;有的学生对老师的教育引导、同学的督促产生逆反心理,增加了学生工作管理者的难度。九零后大学生特点鲜明,他们是在相对自由、开放的社会环境中成长起来的,有着强烈的表现欲望,却常常忽略他人的想法,团队协作能力较差,集体意识缺乏,调查显示有11%的学生不适应宿舍集体生活;特别是一些从小在相对较

收稿日期:2014-09-18
作者简介:王丽颖,女,天津市人,天津职业大学印刷工程系辅导员,研究方向为学生工作管理。

中国知网　https://www.cnki.net

为优越的环境中长大的学生，事事由父母包办，抗挫能力较弱，遇到困难缺少独立解决问题的能力。

4.就业期望值偏高，缺少吃苦耐劳精神

经过 2013 级新生适应性年度调查，笔者所在院系 47%的新生认为大学期间最大压力来自就业和发展前景问题。当今，很多高职学生毕业后总是希望找到待遇丰厚、工作稳定的单位，却不愿意多付出辛苦，不希望从一线基层岗位做起，从事体力劳动工作，他们中的一些人好高骛远，缺少吃苦耐劳、爱岗敬业和奋斗拼搏的精神。

三、加强中国传统文化教育对于学生工作的现实意义

随着我国经济社会的飞速发展和改革开放的不断推进，新的思想和新的潮流在不断涌现，人们的思想观念、价值取向等都在发生重大改变，这些改变对精神塑造期的高职学生来说影响很大。在高职院校的学生工作中引入中国传统文化教育不失为一种明智之举。中国传统文化是中华民族几千年的结晶，对于促进高职学生全面发展、健康成才具有不可替代的作用。

1.有助于学生树立正确的世界观、人生观与价值观

习近平总书记在中央党校建校 80 周年庆祝大会的讲话中提到中国传统文化博大精深，学习和掌握其中的各种思想精华，对树立正确的世界观、人生观、价值观很有益处。中国传统文化是中华民族奋斗不息、休戚与共的内在凝聚力和精神动力，其中蕴含着丰富的文化内涵和崇高的理想信念，如“先天下之忧而忧，后天下之乐而乐”的豁达气度，“天行健，君子以自强不息”及“地势坤，君子以厚德载物”的积极进取精神，对高职在校生具有很大的激励作用。

2.有助于高职学生形成良好的处世心态

青年学子需要良好的心理素质来面对未来社会竞争的严峻考验。高职学生只有在校期间刻苦学习，掌握扎实的职业操作技能，才能实现人生的目标，为社会做贡献。在这个过程中，必须有正确的思想观念来为其指引，帮助他们形成积极向上的处世态度。“天将降大任于斯人也，必先苦其心志，劳其筋骨，饿其体肤，空乏其身，行拂乱其所为”，告诉青年人要用积极的心态来面对困境和挫折。“吾日三省吾身”，则告诉青年人要正确认知自我。可见，借助中国优秀传统文化，可以帮助高职学生保持积极进取和乐观向上的态度，形成良好的心理品质，为今后的学习、求职、就业打下良好的基础。

3.有助于高职学生职业道德的养成

“仁、义、礼、智、信”可解释为仁爱、忠义、礼和、睿智、诚信，贯穿于中华伦理发展史，历久弥新，能够引导人们在道德上严格要求自己，修身立人，这对于高职学生职业道德的养成具有积极的促进作用。

4.有助于丰富高职院校学生工作的方法

中国传统文化注重内敛、含蓄、潜移默化的表达方式，强调“师者，所以传道授业解惑也”的重要性。在思想政治教育和日常学生管理工作中，教师注重用自己的言行和人格魅力潜移默化感染学生，用传统文化中的有益思想影响学生，从而达到教育目的，这为丰富和完善高职院校的学生工作方法提供了参考。

四、中国传统文化融入学生工作中的有效途径

不断探索新时期下的大学生思想教育工作的方式方法是每个高职院校学生工作管理者的职责所在，把握教育的规律性、实效性和创造性，将中国传统文化丰富的教育资源和教育内容融入到学生工作中去，这是时代精神的体现。在此，笔者提出如下几点建议：

1.把中国传统文化的精髓融入高职院校思想政治教育工作中

中国优秀传统文化中蕴藏着丰富的哲学思想和人文精神，它激励着人们不断前行和进步。在高职院校思想政治教育工作中，传统文化一方面能够给青年学生提供一个了解学习祖国历史文化的平台，另一方面可以增强学生的民族自信心与自豪感，提高自身的修养道德，塑造良好心理品质。学生工作管理者要充分挖掘中国优秀传统文化的深刻内涵，找到传统文化与高职思想政治教育的契合点，实现高职院校思想政治教育工作的突破口，为国家培养出更多的高素质技能型人才。古人云“己所不欲勿施于人”，作为学生工作管理者，还要充分了解学生的心理，及时调整工作思路，在进行思想政治教育的同时充分体会学生的感受，通过换位思考达到教育目的。

2.以素质教育活动为载体，积极营造学习中国传统文化的氛围

学生工作管理者可以依托第二课堂，充分发挥团总支学生会和社团联合会的作用，在学生中积极开展宣传中国传统文化的相关活动，进一步增强对传统文化的认识和了解，激发学生浓厚的学习兴趣，提升自我修养。如河北政法职业学院举行中华传统文化节目汇演，使学生们在诵读吟唱中接受传统文化精髓的滋养，加深对传统文化的理解 济南工程职业技术学院举行“传统文化与青春同行”中国传统文化校园展，营造了传统文化学习氛围。此外，学生工作管理者也可以结合传统节日，开展相关的主题教育活动，弘扬中国传统文化。

3.以社会实践为平台，加强中国传统文化教育

社会实践是高职院校人才培养的重要途径。荀子曰，“学至于行之而止矣”。教师要将教育与社会实践

中国知网 https://www.cnki.net

“设计师素质养成计划”的构建

——基于常州机电职业技术学院艺术设计系学生教育管理的思考

徐 莹

（常州机电职业技术学院，江苏常州，213164）

摘 要：对高职艺术设计类学生的教育管理难度相对较大，文章通过构建“设计师素质养成计划”，增加教育针对性，最终实现提高教育效果的目的。

关键词：高职艺术设计类；学生教育管理；设计师素质养成计划

中图分类号：G412　　文献标识码：A　　文章编号：2095-8528（2014）02-078-03

目前，大多数高职院校都开设了艺术设计相关专业。所招收的学生在入学成绩上文化课分值偏低，加上个性强，喜欢独立思考问题，这些特点使校方对他们入校后的管理难度加大，如果沿用与高职其他专业学生一样的教育管理方式，势必不会收到良好效果。怎样设计一套适合高职艺术设计类学生的教育管理方式，使其既符合高职院校人才培养的总体要求，又符合艺术设计类学生个性特点和职业发展，是笔者在

收稿日期：2014-09-22

课题来源：本文系2014年江苏高校哲学社会科学研究基金资助项目“‘设计师’素质养成计划——基于高职艺术设计类学生教育管理的思考”（项目批准号：2014JSB503）的研究成果。

作者简介：徐莹（1981-），女，常州机电职业技术学院艺术设计系党总支副书记，讲师，硕士，研究方向为学生教育管理。

相结合，使学生零距离接受传统文化教育，进一步培养他们的思想道德意识、仁爱之心、团队意识和社会责任感等，从而坚定社会主义的理想和信念。可以加强与纪念馆、博物馆和爱国主义教育实践基地的联系，建立校外传统文化教育基地，定期组织学生开展社会实践活动，通过体验式的教育模式，增强高职学生对传统文化的切身感受，并体现在个人的日常行为中，达到“知行合一”。

4.发挥网络新媒体优势，推进中国传统文化教育

随着信息技术的飞速发展，网络对高职学生的学习、日常生活产生了重要影响。辅导员可以通过院系网站、QQ、微博、微信、飞信等途径宣传中国优秀传统文化，并在此基础上不断研究和探讨，让网络新媒体成为中国优秀传统文化的重要传播渠道。

培养大学生崇高的理想信念和高尚的道德情操，离不开中国的优秀传统文化的教育引导。新时期高职院校学生工作管理者必须加深对中国传统文化的理解和认识，不断提高从事思想政治教育和日常管理工作的效果和水平，把璀璨的中国传统文化与学生工作有机地结合在一起，依托中国传统文化，努力开创高职院校学生工作的新局面。

参考文献：

[1] 曹洁萍.论利用中国传统文化拓展高职学生素质的途径[J].烟台职业学院学报，2009（4）.

[2] 塔树强.谈中国传统文化与高校学生思想政治教育[J].学园（教育科研），2013（13）.

[3] 李德万.优秀传统文化在大学生思想政治教育中的价值及实现途径研究[D].辽宁师范大学，2013.

[4] 陈开宇.儒家思想在思想政治教育中的作用研究[D].河南工业大学，2013.

[5] 周隆.儒家优秀文化在高校大学生思想政治教育中的价值研究[D].西安科技大学，2013.

[6] 卢先明.依托中国传统文化增强高校思想政治教育实效性[J].湖南师范大学教育科学学报，2010（4）.

编辑　朱荣华

中国知网　https://www.cnki.net

Journal of Wuhan Polytechnic

中国高等职业教育质量年报2019年入选公示院校分析

陈保荣，邹吉权

（天津职业大学，天津　300410）

摘　要：以2019年中国高等职业教育质量年度报告中“育人成效”“教学资源”“国际影响”“服务贡献”4个项目为一级评价指标，以4个项目中的12个考核内容、43个考核点作为二级和三级评价指标，建立评价体系；选取各项目60所入选公示院校的各项数据作为评价指标数据，分析高等职业教育质量年度报告的考察重点和入选公示院校的项目优势、不足，为其他职业院校找到学习对比的标杆，为职业院校人才培养提供经验借鉴，全面提高高等职业院校人才培养质量。

关键词：质量年报；指标体系；数据分析；对策建议

中图分类号：G719.21　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1671-931X（2020）01-0038-05

2019年4月，中国高职高专教育网公示了《2019年中国高等职业教育质量年度报告》（以下简称《质量年报》）中“育人成效”“教学资源”“国际影响”“服务贡献”4个项目入选院校名单（公示院校为60所，最终评选出50所院校），根据各项目60所公示院校（以下简称“公示院校”）的质量报告文本，研究人员找到相关学校的文本数据，建立分析指标体系，进行逐项对比分析。鉴于图表大小限制，制图时仅列出了每项单独排序中前30的院校。

一、建立评价指标体系，分析入选公示院校

（一）建立评价指标体系

中国高等职业教育质量年度报告制度已经实施8年，2019年全国有1344所高职院校发布质量年报。本研究将进行公示的4个项目作为一级指标，4个项目中的12个考核内容、43个考核点作为二级和三级指标，建立评价指标体系，具体指标见表1。对入选公示的60所院校的数据进行对比分析。由于其中有3所入围公示院校的表格数据在其质量年报文本中没有体现，所以没有列入对比。

（二）入选公示院校总体分析

1.入选公示项目院校分布

2019年，入选4个项目公示的院校共有134所，其中，4个项目全部入选公示的院校有8所，分别是河北工业职业技术学院、江苏农牧科技职业学院、金华职业技术学院、南京工业职业技术学院、南京科技职业学院、陕西工业职业技术学院、无锡职业技术学院、重庆工业职业技术学院；入选3个项目公示的院校有27所（名单略）；入选2个项目公示的院校有28所（名单略）；入选1个项目公示的院校有71所（名单略）。

2.入选公示院校省市分布

入选公示院校涉及28个省、市、自治区，宁夏、

收稿日期：2010-02-04

基金项目：2019年天津市教育工作重点调研课题“高职院校各排行榜评价指标体系研究”（项目编号：JYDY-20193001）。

作者简介：陈保荣（1968-　），女，河南南阳人，硕士，天津职业大学副研究员，研究方向：职业教育；邹吉权（1965-　），男，内蒙古赤峰人，博士，天津职业大学职业技术教育研究所副所长、教授，研究方向：职业教育。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

甘肃、山西、西藏没有入选院校。其中，江苏 26 所、山东 16 所、浙江 13 所、广东 12 所，四川和河北各 6 所，河南、湖北、湖南各 5 所，北京、福建、重庆各 4 所，内蒙古、陕西、天津、云南各 3 所，广西、贵州、海南、吉林、江西各 2 所，安徽、黑龙江、辽宁、青海、上海、新疆各 1 所（见图 1）。数据显示，江苏省是入选院校最多的省份，这与该省高职院校较多、经济活跃有极大关系。

3.入选公示院校地区分布

按公示院校所在的东部、中部、西部[11]区域对比，显示东部多，中、西部少，地区分布不均。其中，东部有 11 个省市 88 所院校入选，中部有 7 个省市 21 所院校入选，西部有 9 个省市 25 所院校入选（见图 2）。总体来看，东部地区入选院校较多，中部、西部地区入选院校相对较少，主要原因是东部经济活跃、职业教育的基础好、高职院校较多。

二、针对每一评价指标，分析年报考察重点

对质量年报进行宏观分析还不能准确看到各高职院校人才培养水平，必须通过具体的评价指标进行互比性分析，才能对学校的人才培养水平有准确的评判，因此本文中分析会根据各项目的指标内容进行。

（一）“育人成效”评价指标内容及分析

“育人成效”是 2019 年新加入的评比项目，其目的是通过指标设置，引导高职院校坚持立德树人，在教书的同时把育人放在首位，把学生的思想品德、技能发展统一起来，提高育人成效。

1.“育人成效”评价指标内容

“育人成效”涵盖 3 个二级指标（“学生在校成长”“毕业生就业”“重要竞赛获奖”）和 15 个三级指标（略）。

从《质量年报》文本看，“育人成效”的许多评价指标没有与要求各院校提交的表格数据一一对应，而主要是采用了麦可思研究院的一些统计数据，对学生成长进行宏观考察，因此本研究在这个项目中不是对 15 个三级指标一一对应分析，而是对比《质量年报》文本中的宏观考察（麦可思研究院数据）进

表 1 评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
育人成效	学生在校成长	教书育人满意度、课程教学满意度、管理和服务工作满意度、人均参与社团数
	毕业生就业	就业率、理工农医类专业相关度、母校满意度、自主创业比例、雇主满意度、毕业三年职位晋升比例、留在当地就业比例
	重要竞赛获奖	全国职业院校技能大赛、“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛、中国“互联网+”大学生创新创业大赛、全国大学生数学建模大赛
教学资源	硬条件资源	年财政拨款水平、生均教学科研仪器设备值、生均教学及辅助行政办公用房面积
	教师与课程资源	专任教师数、生师比、双师素质专任教师比例、教学计划内课程总数、线上开设课程数
	校企合作资源	校内实践教学工位数、年支付企业兼职教师课酬、企业提供的校内实践教学设备值
国际影响	留学生与培训	全日制国（境）外留学生人数（一年以上）、非全日制国（境）外培训人员量
	服务企业走出去	在校生服务“走出去”企业国（境）外实习时间、专任教师赴国（境）外指导和开展培训时间、在国（境）外组织担任职务的专任教师人数
	专业教学影响力	开发并被国外采用的专业教学标准数、开发并被国外采用的课程标准数、国（境）外技能大赛获奖数
服务贡献	就业贡献	就业人数、就业去向
	技术研发服务	横向技术服务到款额、横向技术服务产生的经济效益、纵向科研经费到款额、技术交易到款额
	社会服务	非学历培训到款额、公益性培训服务

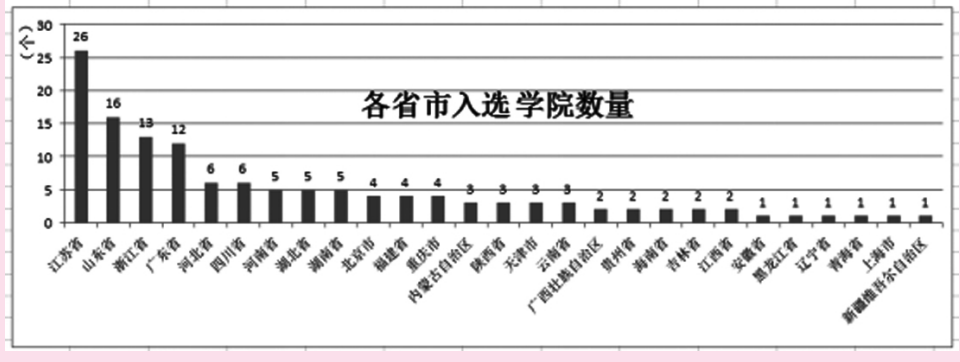


图 1 各省市自治区入选院校数量

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行说明性分析。

2.“育人成效”评价指标分析

(1)“学生在校成长”评价指标分析

二级指标“学生在校成长”包括“教书育人满意度”“课程教学满意度”“管理和服务工作满意度”“人均参与社团数”等4个三级指标。其中，三项满意度调查表中既有人次调查，又有一、二年级之分，所以分析模型数据是根据各院校填写的数据综合后的平均值数据，统称为“育人满意度”。

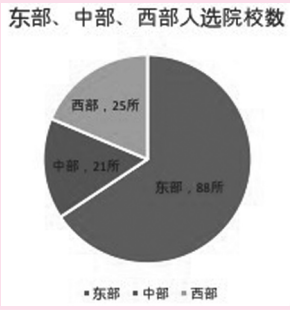


图2 东部、中部、西部入选院校数

育人满意度。各校综合后的育人满意度数据见图3–图5，数据显示，各校学生对院校的教学、课程、管理和服务比较满意，均超过95%，南京工业职业技术学院在3个项目中均位列第一；入选的60所院校这3项数据也都超过90%。整体来看，高职院校育人满意度较高。

生均参与社团数。《质量年报》统计表中没有生均参与社团数，只有学生社团数和参与各社团的学生人数，本研究采用将一、二年级参与社团总人数除

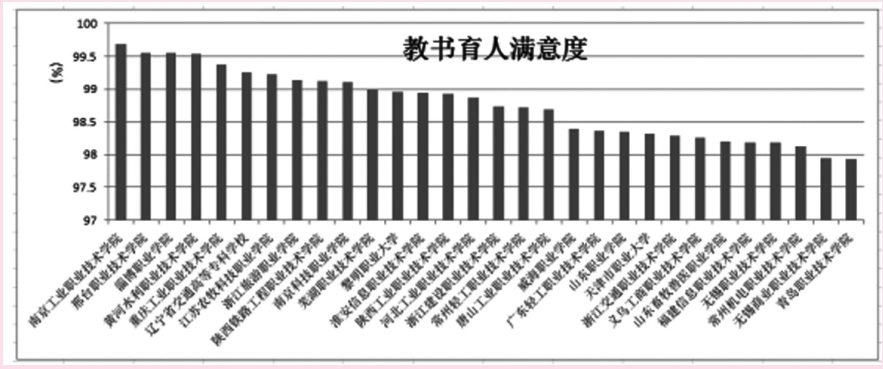


图3 教书育人满意度

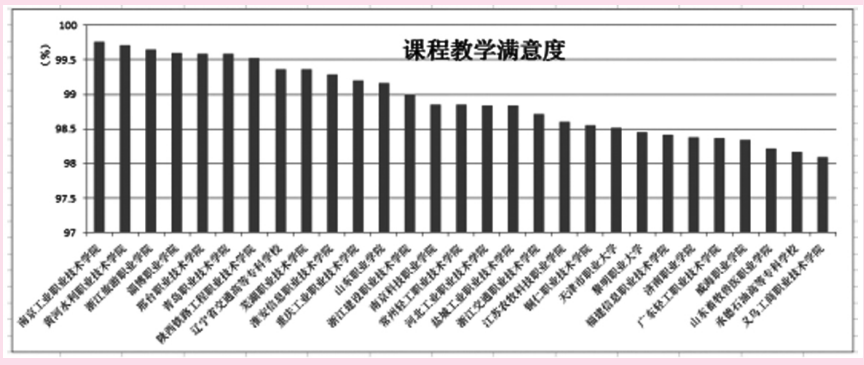


图4 课程教学满意度

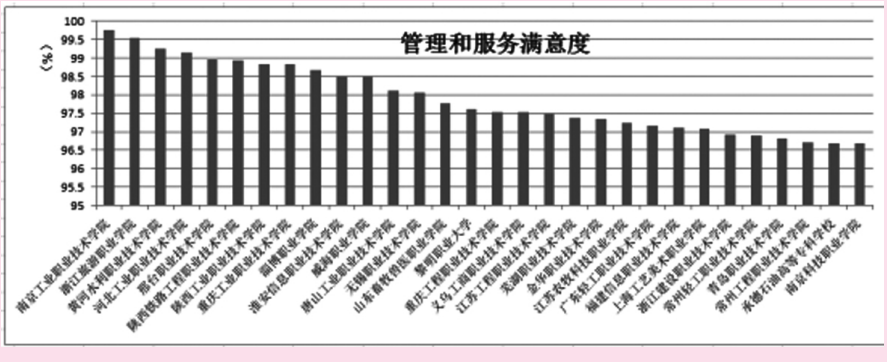


图5 管理和服务工作满意度

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以一、二年级在校生总人数的方法计算出这一数据。图 6 显示，公示院校中生均参与社团数极不均衡，有的院校生均参与社团 7 个以上，有的院校不到0.5个。从省份来看，人均参与社团中位数最高的是北京市(0.69 个)，最低的是新疆维吾尔自治区(0.12 个)，而入选公示院校的平均数为 1.451 个，说明公示院校学生参与社团活动踊跃。

(2)“毕业生就业”评价指标分析

“毕业生就业”评价指标有 7 个三级观测点，分别是：就业率、理工农医类专业相关度、母校满意度、自主创业比例、雇主满意度、毕业三年职位晋升比例、留在当地就业比例。

就业率。“2018 届全国高职学生毕业半年后就业率为 92.0%，与 2017 届基本持平”[1]。入选公示院校的就业率全部在 93%以上，也就是说均高于全国平均值。其中，济南职业学院、黎明职业大学为100%，有 17 所院校超过 99%，18 所院校超过 98%。由此说明入选院校的人才培养实力很强，毕业生广受欢迎。

理工农医类专业相关度。《质量年报》显示“近五年来，高职院校毕业生工作与专业相关度稳定在62%”[1]。图 7 显示，入选公示院校中相关度最高的是山东职业学院(98.32%)，其次是河北工业职业技术学院(98.11%)。公示院校中相关度超过 90%的院校

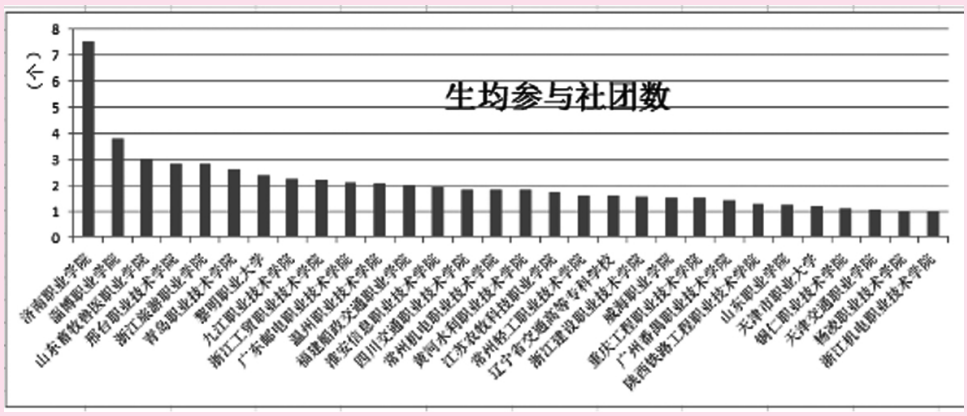


图 6 生均参与社团数

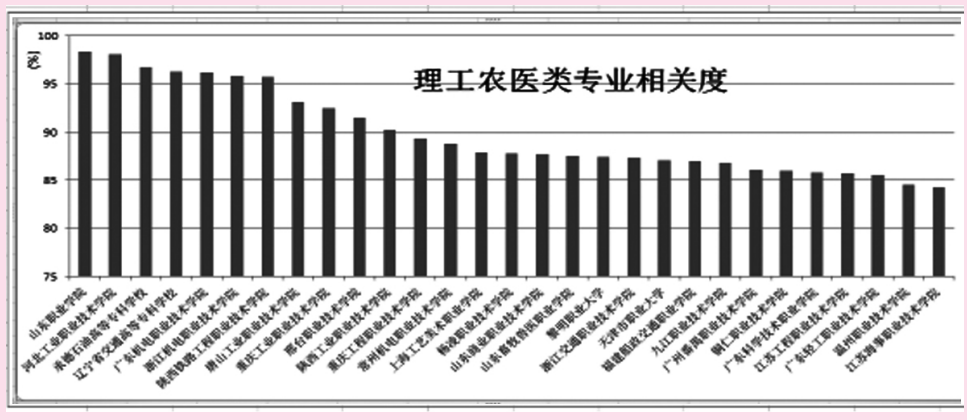


图 7 理工农医类专业相关度

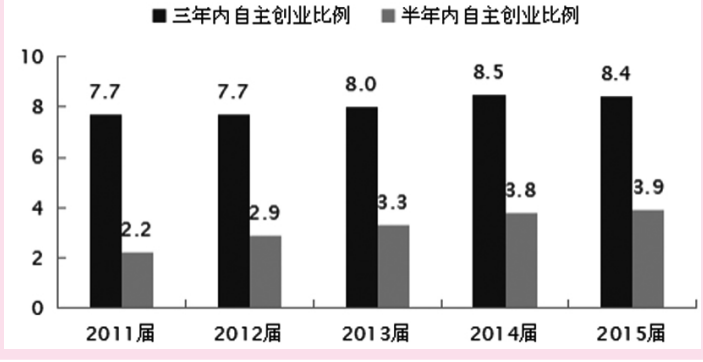


图 8 2011–2015 届高职毕业生毕业三年内与半年内自主创业比例

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有11所；超过80%不足90%的院校有25所。

母校满意度。2014–2018届，全国高职院校毕业生对母校满意度呈上升趋势。从公示院校看，对母校满意度基本在90%以上，只有1所院校低于90%，泉州幼儿师范高等专科院校和山东职业学院2所院校满意度毕业生对母校达到100%。

自主创业比例。自主创业反映学生的创新和奋斗精神，他们敢于创新、敢为人先。“2018届高职学生毕业半年后自主创业比例为3.6%，较2014届下降了0.2个百分点”[1]。虽然毕业后半年的创业比例较低，但从麦可思研究院的调查数据看，学生毕业三年内自主创业比例在上升。“2015届高职学生毕业三年内自主创业比例为8.4%，比2011届高出0.7个百分点，比同届毕业半年后自主创业比例增长了约1.2倍”（见图8）。

入选公示院校中，江、浙、鲁院校毕业生自主创业比例较高，排名前5的院校分别是义乌工商职业技术学院（11.84%）、浙江工贸职业技术学院（10%）、温州职业技术学院（8.81%）、山东畜牧兽医职业学院（8.7%）和江苏工程职业技术学院（6.75%），毕业生自主创业比例在5%–10%的院校有10所。

雇主满意度。雇主满意度反映用人单位对毕业生工作能力的认可程度，高职院校以培养技术技能人才为定位，满足了企业对技能人才的需求，因此雇

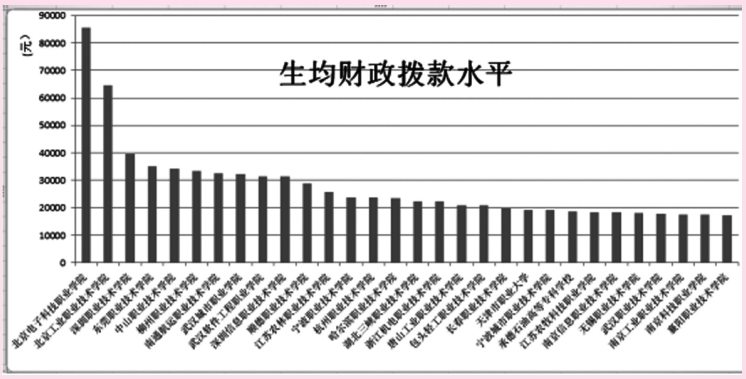


图9 生均财政拨款水平

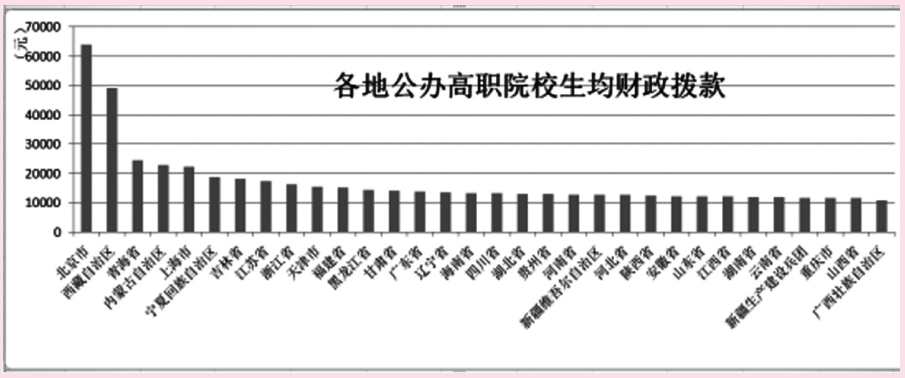


图10 全国公办高职院校生均财政拨款中位数

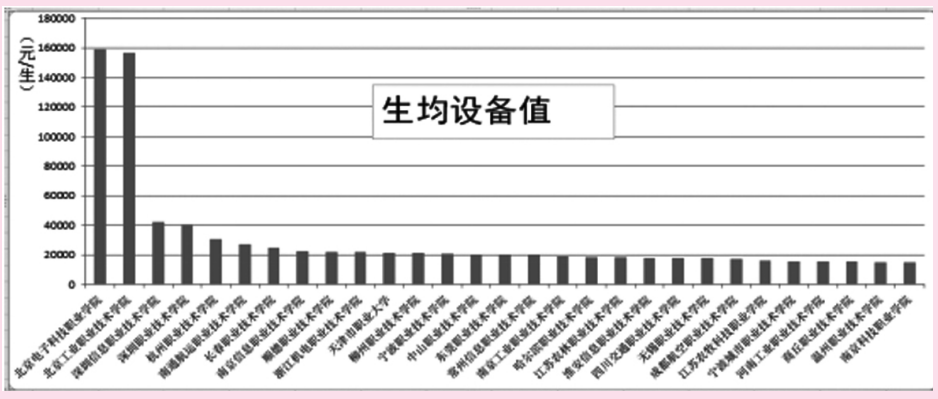


图11 生均设备值

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

主对高职院校毕业生的满意度相对较高。公示院校的毕业生雇主满意度都超过了90%，其中有11所院校达到100%，15所院校在99%以上，还有10所院校在98%以上。

毕业三年职位晋升比例。职位晋升包涵薪水增加和管理职责增加，反映的是毕业生的工作表现得到雇主认可给予晋升。在公示院校中，有3所院校的毕业三年职位晋升比例达100%，分别是福建信息职业技术学院、广州番禺职业技术学院、泉州幼儿师范高等专科院校，有16所院校超过90%，还有11所院校超过80%。

(3)“重要竞赛获奖”评价指标分析

“重要竞赛获奖”指标包括：全国职业院校技能大赛、“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛、中国“互联网+”大学生创新创业大赛、全国大学生数学建模大赛，由于这4项赛事因不是质量年报必报数据，没有文本数据可查，也不能收集到公示院校完整数据。因此，选择了全国高职院校平均值、全国示范性高职院校平均值、“2019中国高职高专院校综合竞争力排行榜”靠前的9所院校和天津职业大学数据进行对比说明(表3)。

由表3可以看出，各院校获奖数目和对各个赛项的参与程度不一样，整体看比较重视全国职业院校技能大赛，而且获奖也较多，其他3个赛项有些院校获奖数为0，还需要进一步加强。

(二)“教学资源”评价指标及分析

教学资源评价是对职业院校基础条件的考察，2019年新增“线上开设课程数”“企业提供的校内实践教学设备值”“年支付企业兼职教师课酬”3项三级指标，目的是引导学校重视信息化教学资源和企业资源建设。

1.“教学资源”评价指标内容

“教学资源”包括3个二级指标，分别是：硬条件资源、教师和课程资源、校企合作资源。“从年生均财政拨款水平、生均教学科研仪器设备值、生均教学及辅助行政办公用房面积等硬件资源，专任教师总数、生师比、双师素质专任教师比例等教师资源，教学计划内课程总数、线上开设课程数等课程资源，以及生均校内实践教学工位数、企业提供的校内实践教学设备值、年支付企业兼职教师课酬等校企合作资源，共四个维度、11项指标对院校的办学资源进行评价”[1]，而且强化生均。

2.“教学资源”评价指标分析

(1)“硬条件资源”评价指标分析

“硬条件资源”考察点包括：生均财政拨款水平、生均教学科研仪器设备值、生均教学及辅助行政办公用房面积。

生均财政拨款水平。生均财政拨款水平主要考察各省(市、自治区)对职业教育的支持度，既反映各省(市、自治区)财政拨款的水平，也反映院校在得到支持后的教育成效。图9、图10数据显示，有些地区的院校得到财政拨款较多，北京市生均拨款全国最高，达63928元，有些地区因财政有限对职业教育的支持不够。在公示院校中，北京电子科技职业学院、北京工业职业技术学院得到的拨款较多，生均分别高达85506.87元、64490.05元。

生均设备值。在公示院校中，北京电子科技职业学院达159068.1元/生，北京工业职业技术学院达156818.64元/生，显著高于其他院校；排在第3至第5的院校分别是深圳信息职业技术学院(42167.14元/生)、深圳职业技术学院(39953.7元/生)和杭州职业技术学院(30567.6元/生)。从图11、图12看，院校生均设备值严重不均，其他地区院校和北京市院校相比呈断崖式下降。

从各省(市、自治区)生均设备值的中位数看，北京市仍然是第1，达45892元，而排在第2至第5的分别是青海省(21440元)、上海市(17429元)、内蒙古自治区(16549元)、吉林省(16339元)，作为职业教育大省的江苏省、浙江省排在第7、第8名，广东排在第23名，数据显示各省市人均设备值不均衡。

生均教学及辅助行政办公用房面积。在公示院校中，北京工业职业技术学院的生均教学及辅助行

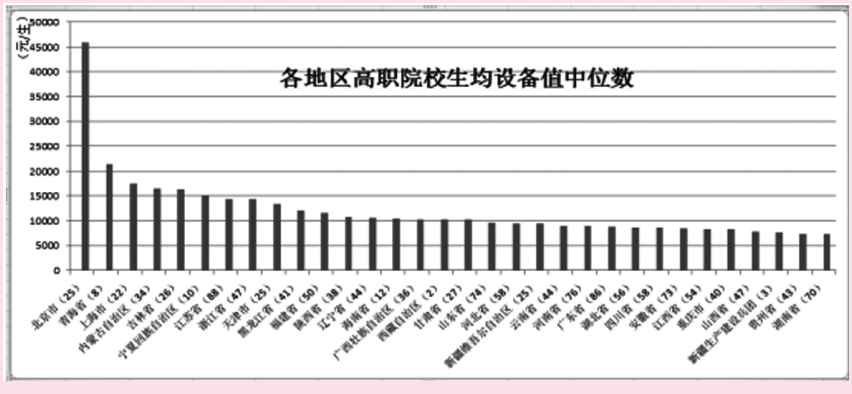


图12 各地区高职院校生均设备值的中位数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

政办公用房面积最多，达到47.92M²/生，北京电子科技职业学院达41.33M²/生；排在第3、4、5位的3所院校都属于江苏省，分别是江苏农牧科技职业学院、南通航运职业技术学院和江苏农林职业技术学院（见图13）。在公示院校中，有2所院校的生均教学及辅助行政办公用房面积不足14M²，已经低于“普通高等院校基本办学条件指标”。

（2）“教师与课程资源”评价指标分析

“教师与课程资源”包括“专任教师数”“生师比”“双师素质专任教师比例”“教学计划内课程总数”“线上开设课程数”等5个考察点，是一项考察学校办学条件的软指标。

表3 重要竞赛类指标数据比较

学校名称	“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛	全国大学生数学建模竞赛	中国“互联网+”大学生创新创业大赛	全国职业院校技能大赛
全国高职院校平均	0.010	0.263	0.135	5.556
全国示范性高职院校平均	0.082	0.979	0.433	20.73
深圳职业技术学院	1	2	2	24
南京工业职业技术学院	0	7	2	33
金华职业技术学院	0	0	3	132
无锡职业技术学院	0	0	0	27
顺德职业技术学院	1	5	0	39
山东商业职业技术学院	0	2	0	81
重庆工业职业技术学院	0	0	0	42
宁波职业技术学院	2	0	0	21
北京工业职业技术学院	0	5	0	66
天津职业大学	0	4	0	21

注：表内数据来源于2019年全国高职高专院校综合竞争力排行榜。

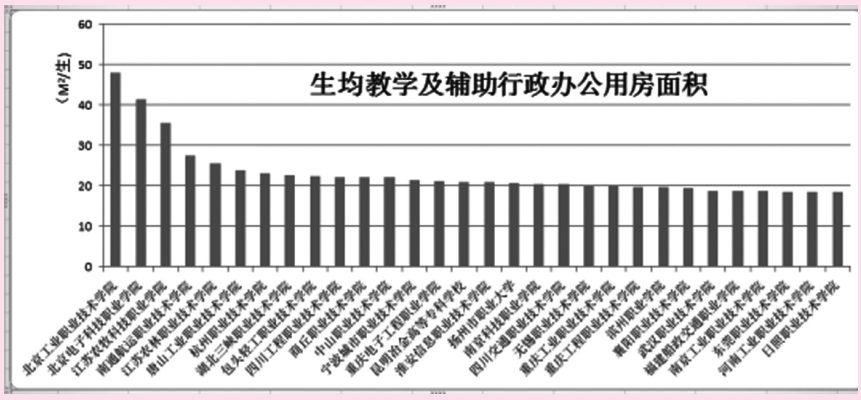


图13 生均教学及行政办公用房面积

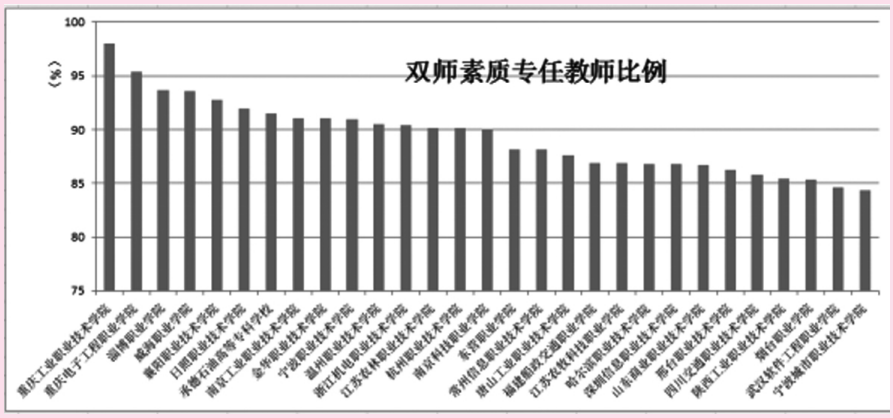


图14 专任教师总数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

“专任教师数”和“双师素质专任教师比例”。2018 年全国高职院校专兼任教师数超过 48 万，324 所院校的双师素质教师占专任教师比例超过 75%。如图 14、图 15 所示，专任教师总数最多的院校是深圳职业技术学院（1210 人），重庆工业职业技术学院虽然专任教师数排在第 30 位，但其双师素质比例最高（98%）；浙江省和江苏省高职院校双师比例的中位数分别为 85.2%、80.5%，均超过 80%。

生师比。生师比是《普通高等学校基本办学条件指标（试行）》中一项硬性条件，要求生师比不超过 18，医学院校不超过 16，体育和艺术院校不超过 11[2]。在公示院校中，北京电子科技职业学院以 7.69 的较小数值排在第一位，哈尔滨职业技术学院、南通航运职业技术学院、北京工业职业技术学院、武汉软件工程职业学院、扬州市职业大学、中山职业技术学院排在第 2 至第 7 位，数值均没有超过 11，但公示院校中也有 3 所院校生师比超过 17 接近 18。生师比高会造成教师少、学生多、增加教师工作量，也增大学校管理难度，不利于学校人才培养。

“教学计划内课程总数”和“线上开设课程数”。

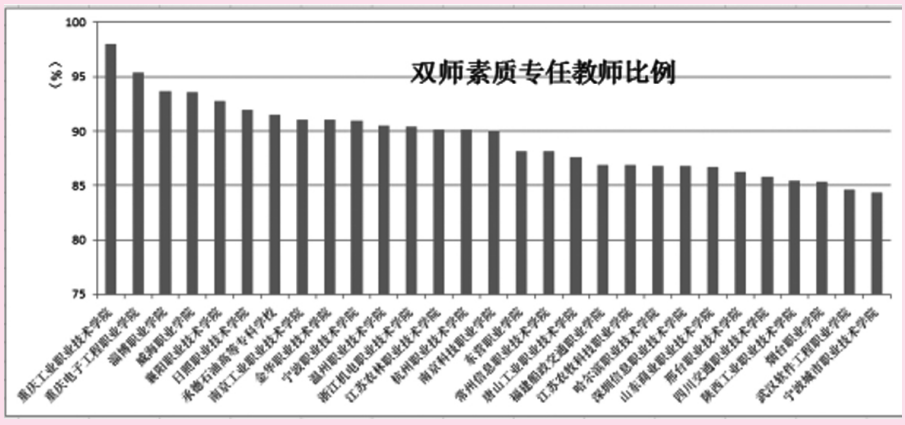


图 15 双师素质专任教师比例

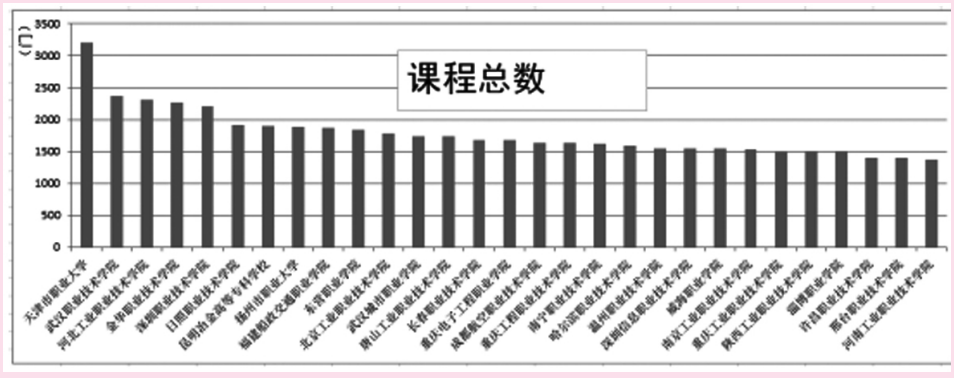


图 16 教学计划内课程总数

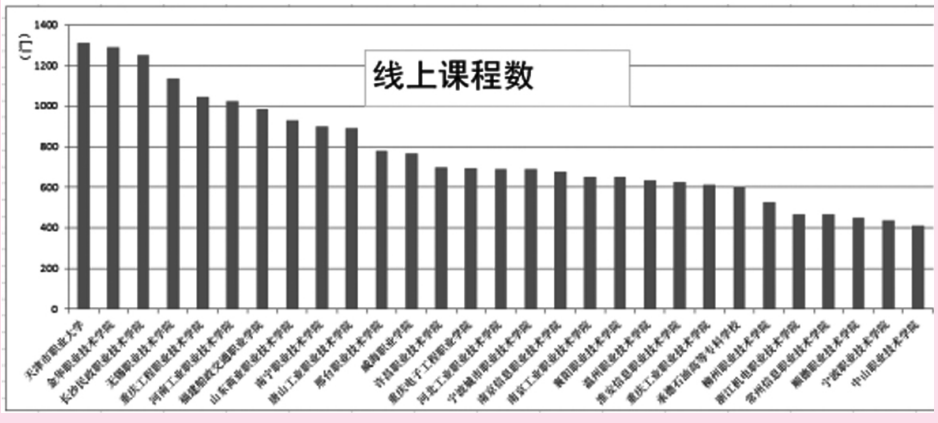


图 17 线上开设课程数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这两项指标主要是考察学校的教学资源。“2018年全国共开设线上课程24255门，其中，有42所院校教学计划内线下课程总数超过1000门”[2]。天津职业大学教学计划内课程总数3204门、线上开设课程1310门，两项数据都在入选公示院校中最高。入选公示院校中课程总数超过2000门的院校有5所，分别是：天津职业大学、武汉职业技术学院、河北工业职业技术学院、金华职业技术学院和深圳职业技术学院。入选公示院校中线上课程数超过1000门的院校有6所，分别是：天津职业大学、金华职业技术学院、长沙民政职业技术学院、无锡职业技术学院、重庆工程职业技术学院和河南工业职业技术学院（见图16、图17）。

（3）“校企合作资源”评价指标分析

“校企合作资源”包括校内实践教学工位数、年支付企业兼职教师课酬、企业提供的校内实践教学设备值等4个考察点，主要评价学校在技术技能培养和产教合作方面能提供的支持。

生均校内实践工位数。职业教育注重学生的技术技能，校内实践是必不可少的锻炼，也是学生提高技能的基础。，生均校内实践工位数最高的是顺德职业技术学院，达到56.97个/生，第二位的是杭州职业技术学院，达8.73个/生，其他院校生均校内实践工位数基本都在每生1个上下（见图18）。目前看这个数据相差太大，可能有数据不合理的地方，尤其是每生接近57个工位的数据。

企业提供的校内实践教学设备值。图19显示，四川工程职业技术学院得到企业提供的实践教学设备值最高，达13392万元。南京信息职业技术学院、成都航空职业技术学院、温州职业技术学院等3所院校得到企业提供的实践教学设备值也超过亿元，有6所学院得到的企业教学设备值虽未达亿元但也超过5000万。说明企业已经认识到校企合作的重要性，也愿意与学校进行深度合作。

年支付企业兼职教师课酬。年支付企业兼职教师课酬反映了学校与企业的合作度。支付企业兼职教师课酬最高的是顺德职业技术学院，达7985.7万元，按其“企业兼职教师年课时总量”49882课时，计算得到的课时费为每课时1600.9元，两个数值都异常高；排在第二位的是南宁职业技术学院，支付了1074万元，其他各院校支付企业兼职教师课酬均没有超过千万元（见图20）。从这个单项比较看，高职

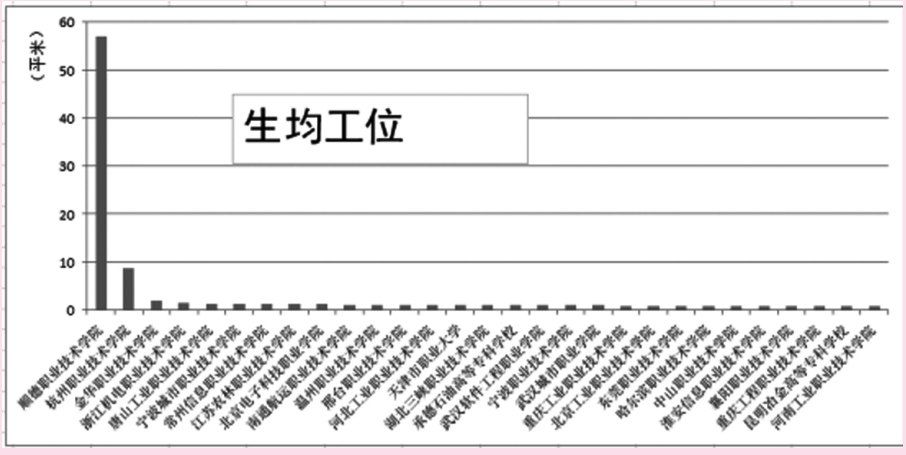


图18 生均工位数

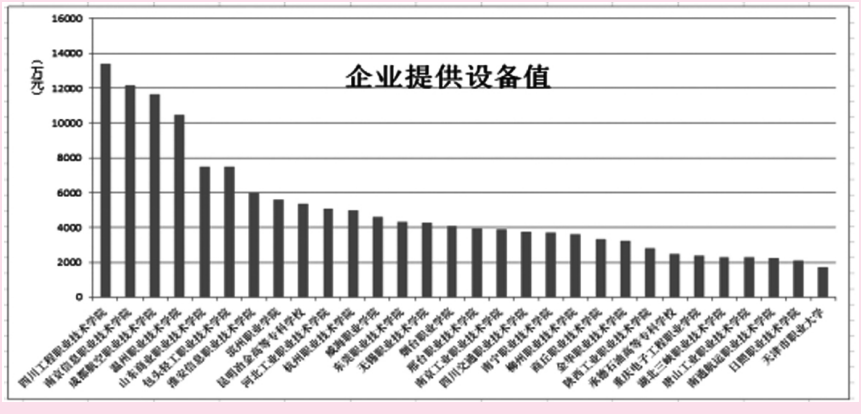


图19 企业提供设备值

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

院校支付企业兼职教师的课酬非常不均衡，顺德职业技术学院一所院校的支付相当于一些省市的总支付。

（四）“国际影响”评价指标内容及分析

“国际影响”考察的是职业院校的国际化水平、对留学生的吸引力和在国际上的影响程度，是 2017 年才开始要求提交相关数据表格。2019 年指标有所调整，更加注重内涵、重视专业课程标准采用与国（境）外服务与影响，目的是引导院校重视国际合作与交流、提升合作内涵与合作质量。

1.“国际影响”评价指标内容

“国际影响”的二级评价指标有 3 个，分别是：留学生与培训、服务企业走出去、专业教学影响力；三级考察点有 8 个，分别是：全日制国（境）外留学生人数、非全日制国（境）外人员培训量、在校生服务“走出去”企业国（境）外实习时间、专任教师赴国（境）外指导和开展培训时间、在国（境）外组织担任职务的专任教师人数、开发并被国外采用的专业教学标准数、开发并被国外采用的课程标准数、国（境）外技能大赛获奖数等，重点聚焦培育国（境）外人员、专业课程标准采用、国（境）外服务与影响等，是从三个维度综合评出高等职业院校国际影响力 50 强院校。

2.“国际影响”评价指标分析

（1）“留学生与培训”指标分析

“留学生与培训”考察点有 2 个，分别是：全日制国（境）外留学生人数（一年以上）、非全日制国（境）外培训人员量，是对学校招收留学生和进行国（境）外培训的考察。

全日制国（境）外留学生人数。2018 年“高职院校全日制来华留学规模达 1.7 万人，比 2017 年增长近 50%，是 2016 年的 2.4 倍”[1]。留学生国别也由周边国家扩展到东盟、中亚、非洲等数十个国家。2019 年全国有 26 所高职院校留学生数超过 200 人，有 50 余所高职院校留学生数量过 100 人。在公示院校中，留学生人数最多的是义乌工商职业技术学院，有 1300 人，达到在校生数（9600 人）的七分之一（见图 21）。

非全日制国（境）外人员培训量。在公示院校中，2018 年非全日制国（境）外人员培训量最高的是河北对外经贸职业学院，达 294921 人日；排名第二的南京科技职业学院是 59178 人日；超过 10000 人日的院校 15 所；5000~10000 人日的院校 19 所；1000~5000 人日的院校 15 所。但入选公示院校中也有培训量很少的院校，只有一百多人日。

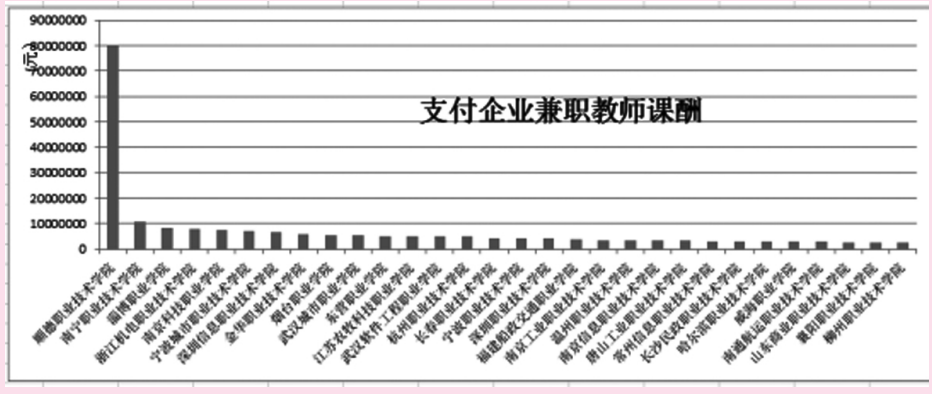


图 20 支付企业兼职教师课酬

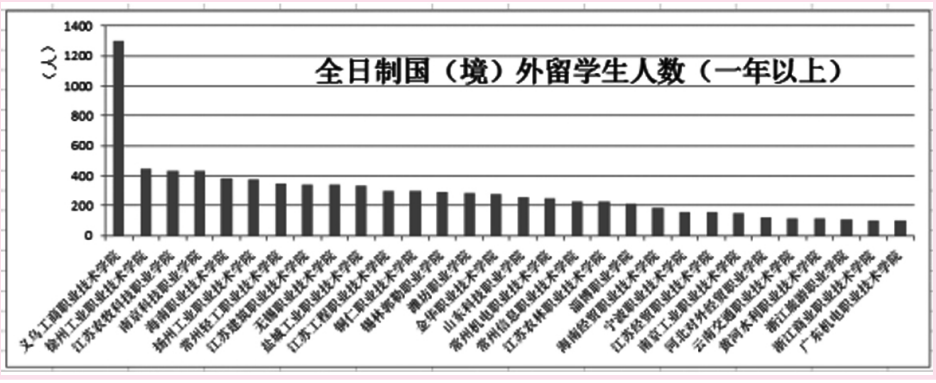


图 21 全日制国（境）外留学生人数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2)“服务企业走出去”指标分析

“服务企业走出去”包括“在校生服务‘走出去’企业国(境)外实习时间”“专任教师赴国(境)外指导和开展培训时间”“在国(境)外组织担任职务的专任教师人数”3 个指标项，考察的是学校对外影响力。

在校生服务“走出去”企业国(境)外实习时间。在校生服务“走出去”企业国(境)外实习时间反映院校与企业合作的程度，更反映院校服务“走出去”企业的程度。图 22 显示，在这方面取得最好成绩的是江苏海事职业技术学院(92065 人日)，浙江旅游职业学院排名第二(79250 人日)。在入选公示院校中，超过 10000 人日的院校和 5000~10000 人日的院校都有 13 所。

专任教师赴国(境)外指导和开展培训时间。专任教师赴国(境)外指导和开展培训时间是学校国际影响力的展现。根据图 23，这项数据最高的是烟台职业学院，其培训时间为 260610 人日；江苏建筑职业技术学院 (17578 人日) 和无锡职业技术学院(10305 人日)分列第 2、第 3。

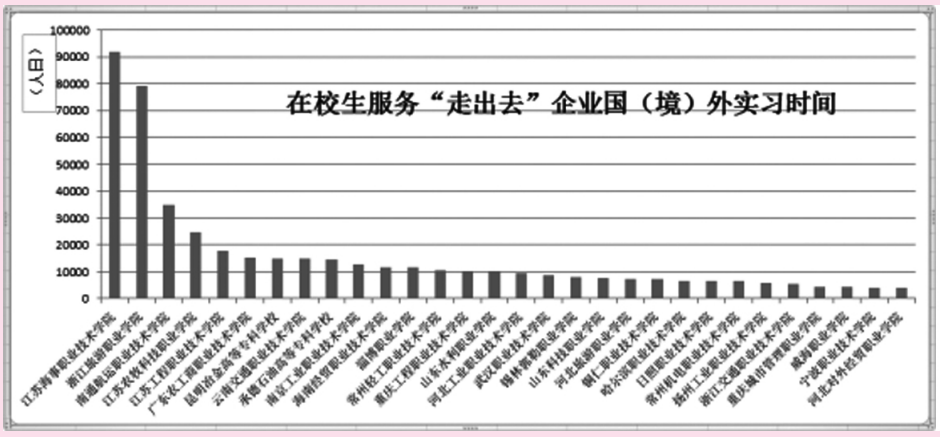


图 22 在校生服务“走出去”企业制国(境)外实习时间

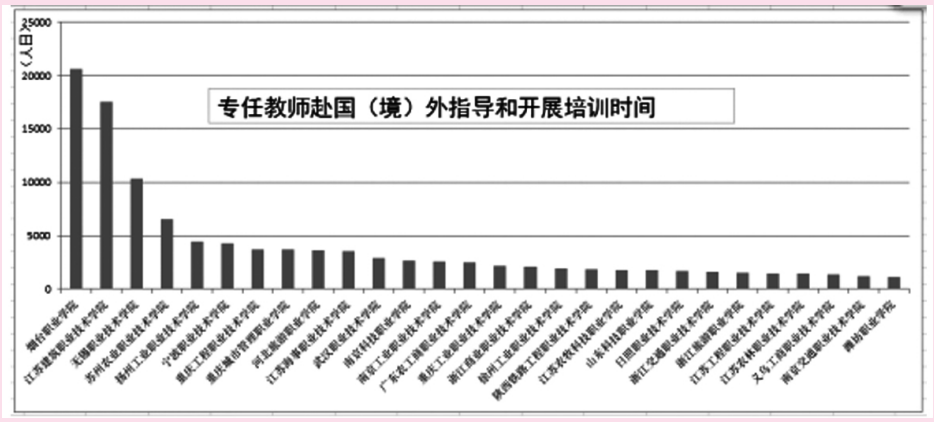


图 23 专任教师赴国(境)外指导和开展培训时间

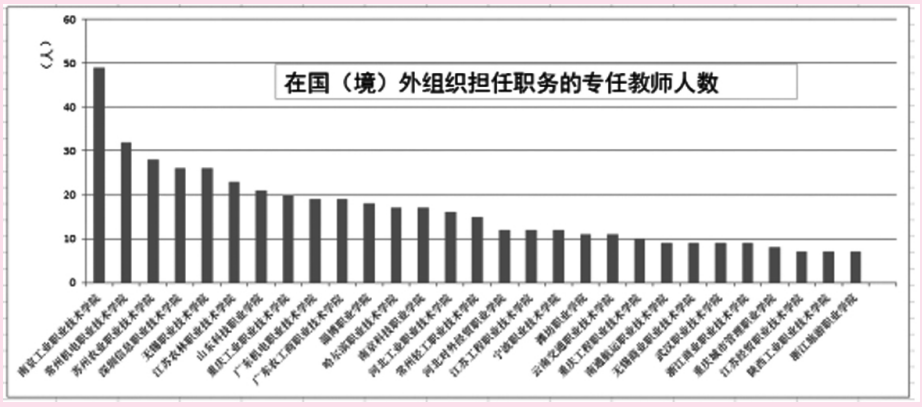


图 24 在国(境)外组织担任职务专任教师人数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在国(境)外组织担任职务的专任教师人数。专任教师在国(境)外组织担任职务显示的是专任教师的能力，更是学校在国际上的影响力。在公示院校中，南京工业职业技术学院有 49 人在国(境)外组织担任职务，常州机电职业技术学院有 32 人，有 8 所院校超过 20 人，有 13 所院校在 10~20 人之间(见图 24)。

(3)“专业教学影响力”指标分析

“专业教学影响力”包括考察点 3 个，分别是：开发并被国外采用的专业教学标准数、开发并被国外采用的课程标准数、国(境)外技能大赛获奖数。

开发并被国外采用的专业教学标准数。在公示院校中，开发专业教学标准较多的是南通航运职业技术学院(30 个)和南京科技职业学院(28 个)，他们走在了全国职业院校的前列；有 8 所院校开发专业教学标准超过 10 个，16 所院校开发专业教学标准是在 5~10 个之间(见图 25)。

开发并被国外采用的课程标准数。开发的课程标准数超过 100 个的院校有 4 所，分别是无锡职业技术学院(270 个)、南京科技职业学院(268 个)、黄河科技职业技术学院(224 个)、南京工业职业技术学院(133 个)，有 23 所院校开发的课程标准数在 20~70 个之间，11 所院校是 10~20 个之间。

南通航运职业技术学院通过海外办学，在开发国(境)外专业教学标准和课程标准方面成绩突出。该校与海外一些大学签订备忘录、与海外的企业进行合作，如在仰光成立“南通航运职业技术学院缅甸海事培训中心”，与上海中船海员管理有限公司合作在柬埔寨金边投建柬埔寨海洋人才学院，共同培养柬埔寨籍船员，其开发的专业教学标准和课程标准得到国际认可。

国(境)外技能大赛获奖数。技能大赛是检验人才培养质量的重要元素，尤其是一些国际技能大赛。2016 年《质量年报》将国(境)外技能大赛作为评价指标统计。在入选公示院校中，获得奖项较多的院校是威海职业学院，拿到 49 项奖项，福建信息职业技术学院有 31 项，获奖项目在 20~30 项间的有 8 所院校；在 10~20 间的有 9 所院校。

(五)“服务贡献”评价内容及分析

“服务贡献” 是质量年报中一项重要的指标，考察学校与社会的融入程度和对社会服务贡献程度。

1.“服务贡献”评价内容

服务贡献的二级评价指标主要是就业贡献、技术研发服务和社会服务这 3 项，三级指标有 8 个：就业人数、就业去向、横向技术服务到款额、横向技术服务

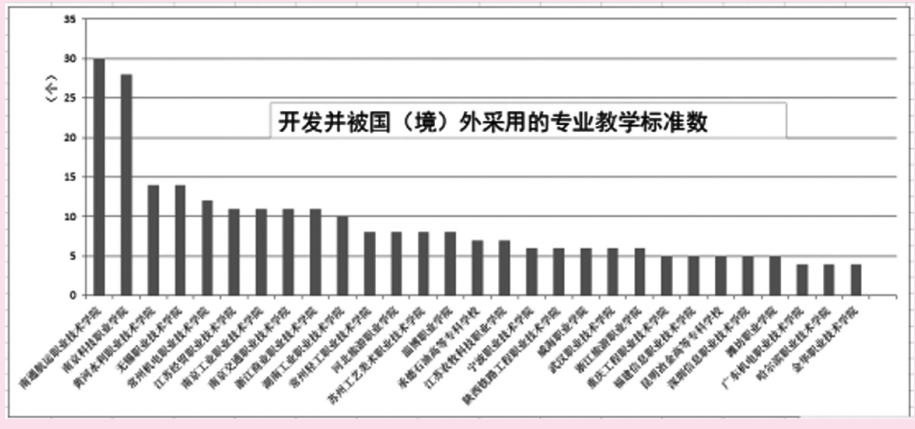


图 25 开发并被国(境)外采用的专业教学标准数



图 26 2018 年就业人数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

产生的经济效益、纵向科研经费到款额、技术交易到款额、非学历培训到款额和公益性培训服务。其中，就业去向中的 “到西部地区和东北地区就业人数”“横向技术服务产生的经济效益”2 项是 2019 年新增指标，从增加项目看，强调对西部地区和东北地区及开展职业培训、助力新兴产业发展等方面做出贡献。

“与 2017 年相比，50 强院校横向技术服务、纵向科研服务和非学历培训到款额等 3 项指标的中位数分别增长 110%、26%和 22%，这从一个侧面反映出高职院校更加重视对接市场需求、更加重视技术研发、更加重视职业培训，服务能力提升的总体态势。”[1]

2.“服务贡献”评价指标分析

(1)“就业贡献”指标内容分析

就业贡献包括 “就业人数、毕业生就业去向”2 个指标，但就业去向中的“到西部地区和东北地区就业人数”是新增的考察点。“2018 年，约有四分之一高职毕业生到西部地区和东北地区就业，其中近九成毕业生来自当地高职院校。”[1]这些毕业生填补了欠发达地区的人才短板，优化了欠发达地区的人力资源结构。

就业人数。就业人数反映学校服务地方的人才贡献度，规模越大、毕业生越多，为地方提供的人才就越多。在这项对比数据中，规模大的院校相对有优势。图 26 显示，入选公示院校中金华职业技术学院毕业生和就业人数最多，有 7700 多人，重庆电子工程职业学院和深圳职业技术学院的就业人数都超过 6000 人，大多数院校的就业人数在 3000~5000 人，只有 3 所院校就业人数不足 2000 多人。

毕业生就业去向。服务贡献表中毕业生就业去向有四个方向：留在当地就业、到西部地区和东北地区、到中小微企业和基层服务、到 500 强企业。其中“到西部地区和东北地区”是新增项目，可见国家对到西部和东北地区就业的重视。

从图 27 可以看出，在这两个地区就业的毕业生基本上就是设置在该地区的院校，排名前 12 的院校全部是西部院校，说明高职院校培养的技能人才对当地服务贡献相当大。高等职业教育在稳定就业和服务地方经济社会发展中的战略意义进一步凸显。同时也应看到，在本地就业的毕业生的比例也不低(见图 28)，从全国“本地就业中位数”看，将近有一半的学生在本地就业。

另外，2017 年、2018 年高职院校毕业生到中小

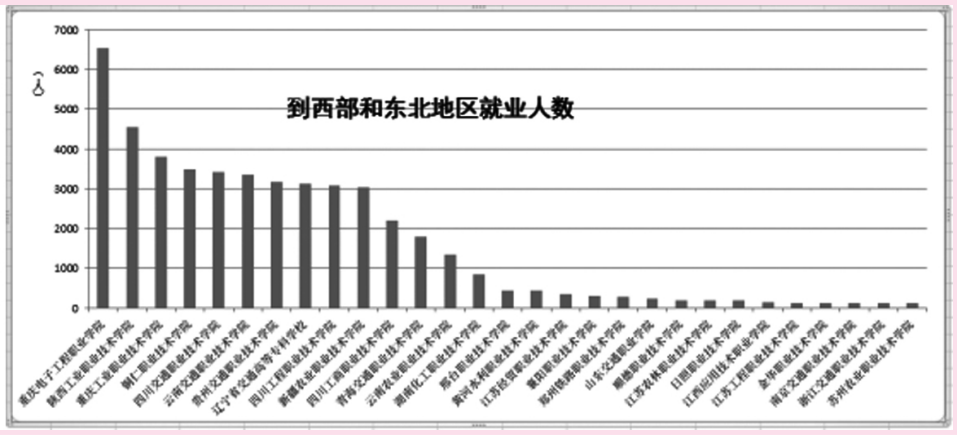


图 27 到西部和东北地区就业人数

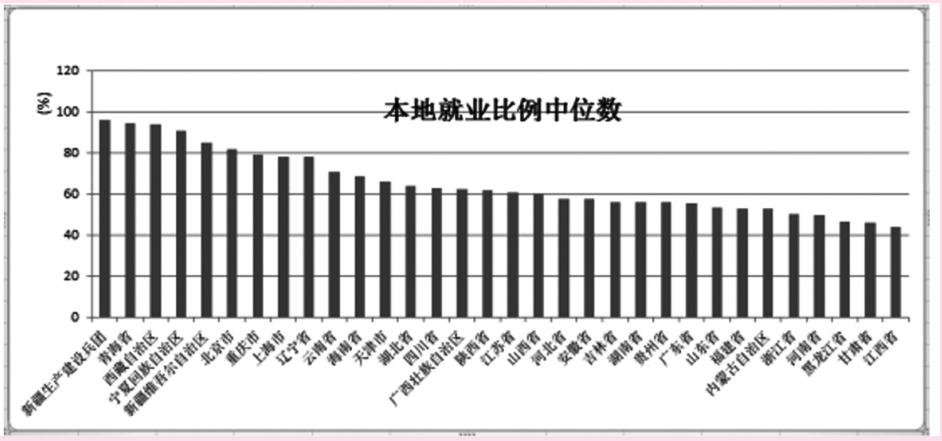


图 28 毕业生本地就业比例中位数

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

微企业等基层服务比例(中位数)分别是65%、67%，各个院校到中小微企业等基层服务人数不均、差别较大。而且大多数院校的毕业生是在中小微企业就业，但也有一部分学生是到世界500强企业就业。高职院校毕业生到500强企业就业人数最多的院校是陕西工业职业技术学院，2018年有3592人；郑州铁路职业技术学院排名第2，有2285人。超过1000人到500强企业就业的院校有6所，分别是陕西工业职业技术学院、郑州铁路职业技术学院、湖南化工职业技术学院、黄河水利职业技术学院、河北工业职业技术学院、湖南汽车工程职业学院(见图29)。

(2)“技术服务”指标内容分析

“技术服务”包括三级指标4个，分别是：横向技术服务到款额、横向技术服务产生的经济效益、纵向科研经费到款额、技术交易到款额。其中，横向技术服务产生的经济效益是2019年新增考察指标。

横向技术服务到款额。横向技术报务到款额主要考察的是学校服务地方经济发展能力，2018年有“150余所高职院校横向技术服务到款额超过500万元，占比较去年增长3个百分点，其中有100余所院校超过1000万元”[1]。在公示院校中，浙江交通职业技术学院以11109.62万元排名第1，苏州卫生职业技术学院以8557.08万元排名第2，超过5000万元的院校有10所，超过2000万元不足5000万元的

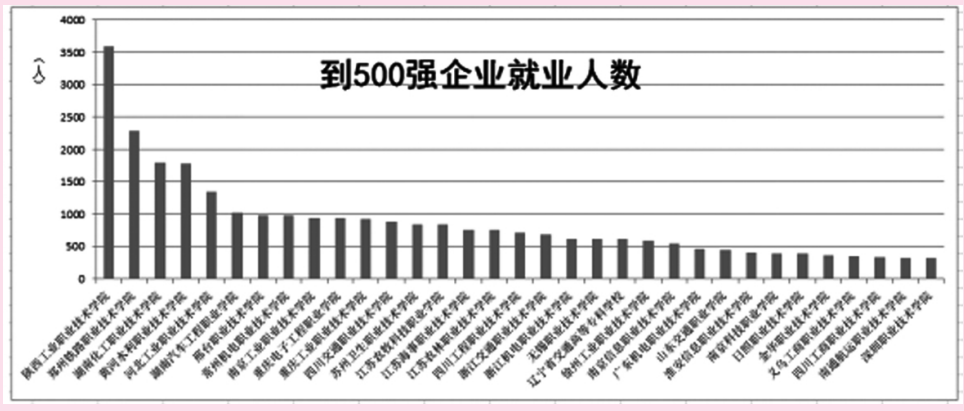


图29 到500强企业就业人数

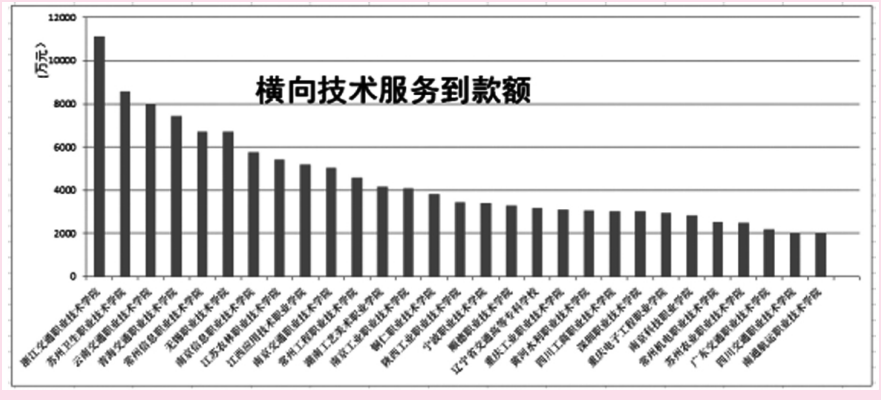


图30 横向技术服务到款额

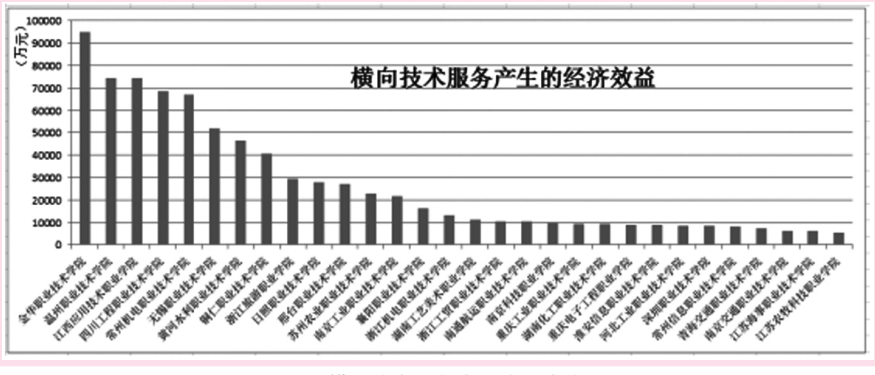


图31 横向技术服务产生的经济效益

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

院校有19所（见图30），超过1000万元不足2000万元的院校有20所。

横向技术服务产生的经济效益。此项是2019年质量年报新加项，而且要求提供企业证明材料。2018年有“150余所院校横向技术服务产生的经济效益超过1000万元，体现出较强的市场价值和应用价值”[1]。金华职业技术学院横向技术服务经济效益最高，达950004.48万元，另外有5所院校的效益超过50000万元；超过10000万元不足50000万元的院校也有13所（见图31）。

纵向科研经费到款额。在入选公示院校中，到款额最高的院校是深圳职业技术学院（5191.32万元），排在第2、3名的江苏农牧科技职业学院、山东商业职业技术学院到款都超过3000万元，有7所院校超过2000万元不足3000万元，有5所院校超过1000万元不足2000万元（见图32）。

技术交易到款额。技术交易是体现职业院校服务贡献的重要指标。在入选公示院校中，2018年技术交易服务到款额最高的是江苏农牧科技职业学院，达3718.3万元。有3所院校的技术交易到款额超过3000万元，6所院校的技术交易到款额超过2000万元，11所院校的技术交易到款额超过1000万元（见图33）。

（3）“社会服务”指标内容分析

社会服务涵盖的考察点有2个，分别是：非学历培训到款额和公益性培训服务。

非学历培训到款额。非学历培训是学校服务地方的一个方面，“2018年，全国高职院校面向社会成员的培训到款额累计超过50亿元，其中近300所院校到款额超过500万元，占比较上年增加4个百分点，130余所院校超过1000万元。”[1]

在入选公示院校中，培训到款额最高的是金华职业技术学院，达到4134万元，顺德职业技术学院以3100万元排名第2；超过2000万元不足3000万元的院校有10所，超过1000万元不足2000万元的院校有18所。说明职业院校服务地方的能力强，对社会的贡献大。

公益性培训服务。公益性培训服务反映学校对社会的公益服务。在公示院校中，日照职业技术学院、新疆农业职业技术学院、温州职业技术学院公益性培训服务均超过300000人日，超过200000人日不到300000人日的院校有7所，超过100000人日

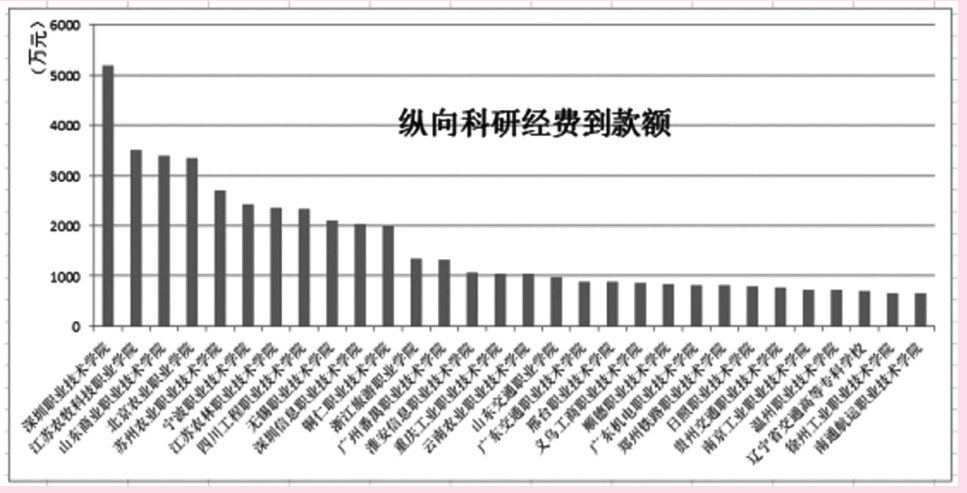


图32 纵向科研经费到款额

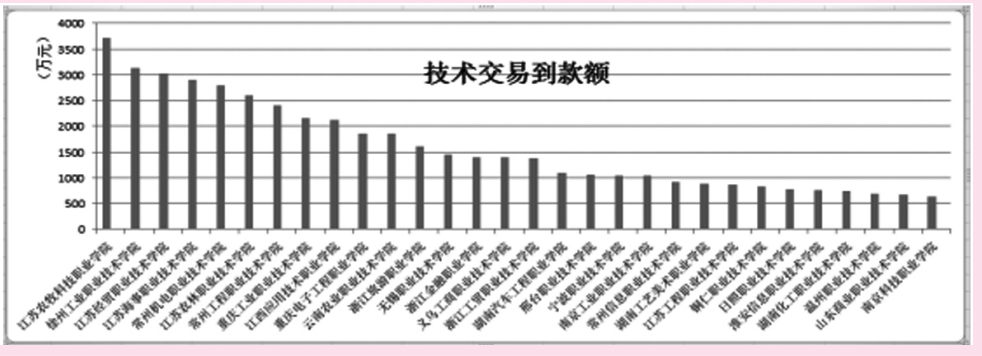


图33 技术交易到款额

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不足 200000 人日的院校有 8 所(见图 34)。

三、质量年报考察全面,职业院校发展不均

综上分析可以看到,《质量年报》主要是从学生、学校、发展、影响、贡献等方面综合考察各院校的人才培养质量,更加注重整体、生均、发展和服务。入选公示院校在这些评价指标中均有较强优势,为其他院校树立了标杆,尤其是一些项目优势非常显著的院校,引领了职业教育发展的方向。

但是,通过数据分析也发现一些问题,如:地方财政投入不足、学校规模过大、生师比数值较大、上报数据不规范、创新能力效果差、国际合作影响弱、技术服务效益低等,都需要在今后的人才培养中加以改进,争取使高职院校成为国家经济发展的人才培养基地、技术服务高地、创新发展示范地。

1.加强地方财政投入

在地方财政投入方面,由于各地区经济发展水平不一,对职业院校的投入差别巨大,直辖市中,北京市院校生均得到的财政投入最多,排名第 1,上海、天津排第 5、第 10,重庆较少,排第 30;一些边远地区对职业教育比较重视,生均财政投入较多,如西藏、青海、内蒙古自治区、宁夏、吉林,分别位于第 2、3、4、6、7,而一些职业教育大省在这方面却显得投入不足,如广东(第 14)、山东(第 25)。建议各地区重视职业教育,在财政投入上加大力度、加大投入。

2.规范上报各项数据

在查看各院校质量年报文本时,发现一些学校的上报数据不规范,既有对质量年报通知要求理解不到位,也有某些院校想让数据好看的想法,还有一些是填写错误造成了数据的不可信。如某学校把学生反馈表中“参与各社团的学生人数”的“人数”填报为“人次”,造成数据错误不可用;某学校校内生均工位达 56.97 个/生,远高于全国院校都在每生约 1 个上下这个范围,让人觉得数据不可信;还有个别生均教学和辅助办公用房面积达数十平方米,超出了正常的区间。建议质量年报撰写人员仔细理解通知要求,对数据把关的人员一定要认真细致审核。

3.重视学校国际影响指标

在国际影响这个指标中,有些学校的数据几乎在原地不动,而有些院校做得较好。“一带一路”倡议给职业院校走出去提供了极好的条件,但有些院校仍然固守在校内的“一亩三分田”不肯迈出去;还有些院校很有实力,参加国际比赛完全可能拿到奖项,但缺乏开拓思维、囿于校院。在这个方面,全国高职

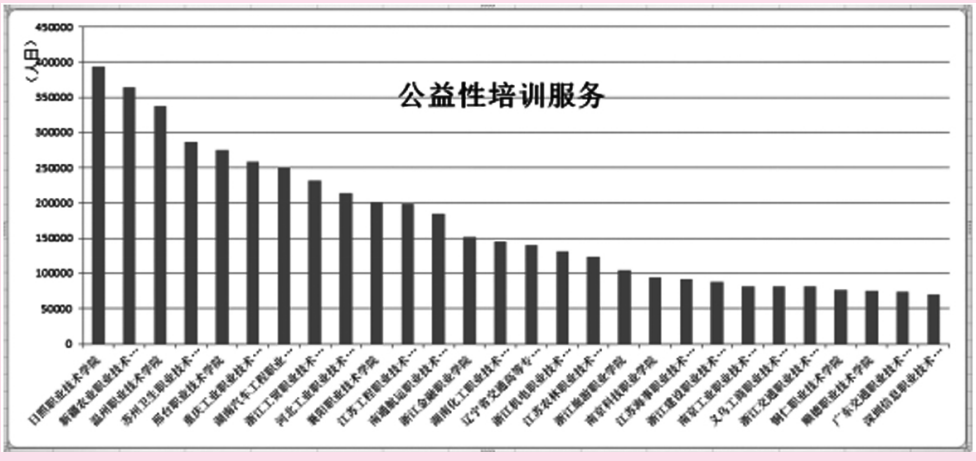


图 34 公益性培训服务

表 4 威海职业学院参加国际大赛获奖情况

序号	比赛日期	项目	获奖情况	参赛国家
1	2017.09	艺术天空设计大赛	一等奖 9 项 二等奖 8 项 三等奖 11 项	中国、俄罗斯
2	2017.11. 27	第五届远东区世界技能大赛	一等奖 6 个 二等奖 5 个 三等奖 7 个	远东各国
3	2018.4.27	第 25 届皮格马利服装设计国际大赛	高级时装系列一等奖	中国、韩国、俄罗斯 英国、新加坡、日本等

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

院校应该向南通航运职业技术学院、威海职业学院学习。威海职业学院2018年获得国际奖47项[3](见表4)，获奖较多是其参加了俄罗斯“艺术天空”设计大赛、第五届远东区世界技能大赛和第25届皮格马利翁服装设计国际大赛，极大地提升了学校在国际上影响力。而这些比赛项目其他院校学生完全可以报名参加，各高职院校都应大力支持教师和学生参加国际比赛。

4.加强横向技术服务

职业院校与产业有着天然的联系，这种联系让其在产教融合上有更大的发展空间，能产生更好的经济效益，但是在“横向技术服务到款额”和“横向技术服务产生的经济效益”两个考察指标中，高职院校的整体表现并不令人特别满意。在入选公示院校中，横向技术服务产生的经济效益超过10000万元的只有18所，一些众所周知的高职强校横向技术服务到款额并没有排在前列，有很多院校不足500万元。高职院校应该更加重视面向企事业单位的横向技术服务，进一步加强技术开发、技术服务、技术咨询、技术转让。

参考文献：

[1] 上海教育科学研究院，麦可思研究院.中国高等职业教育质量年度报告[M]北京：高等教育出版社，2019.

[2] 中华人民共和国教育部.关于印发《普通高等学校基本办学条件指标(试行)》的通知(教发〔2004〕2号)[Z].2004-02-06.

[3] 威海职业技术学院官网.威海职业技术学院2019年质量年度报告[EB/OL].https://www.tech.net.cn/column_rcpy/art.aspx,2019-12-15.

[责任编辑：陶济东]

Analysis on the Institutions Selected and Announced Publicly in the 2019 Annual Report on China´s Higher Vocational Education Quality

CHEN Bao-rong, ZOU Ji-quan
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The evaluation system established in the thesis takes the four items of “education effect”, “teaching resources”, “international influence” and “service contribution” in the 2019 Annual Report on China´s Higher Vocational Education Quality as the first-level evaluation index, and 12 evaluation contents and 43 evaluation points in the four items as the second- and third-level evaluation indexes. The thesis uses the data of 60 selected public institutions as the evaluation index data, analyzes the assessing focus of the annual quality report on higher vocational education and the advantages and disadvantages of the selected public institutions, in an effort to find a benchmark for other vocational colleges to learn from and compare with, to provide valuable experience for the talent training of vocational colleges, and thus comprehensively improving the talent training quality of higher vocational colleges.

Key words: annual quality report, index system, data analysis, countermeasures and suggestions

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中国共产党建党百年来劳动教育:政策变迁、时代内涵及实施路径

□古光甫 邹吉权

摘 要:劳动教育承载着新时代人才培养的历史使命,是全面提升人的综合素质的重要内容,是实现立德树人的重要组成部分,对培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人具有重要的里程碑意义。中国共产党建党百年来,劳动教育政策经历萌芽起步、探索发展、稳步发展、创新发展四个历史发展时期。反思中国共产党建党百年来劳动教育政策变迁,分析各时期劳动教育政策时代特征,阐释新时代加强劳动教育的内涵,提出构建"四方联动"的劳动育人协同机制、搭建实用型的劳动教育课程体系、加强劳动教育的师资队伍建设、构建劳动教育多元的实践育人平台、构建科学劳动教育综合评价体系等劳动教育的实施路径。

关键词:中国共产党;劳动教育;政策变迁;时代内涵;实施路径

作者简介:古光甫(1977—),男,河南信阳人,天津职业大学职业技术教育研究所副所长,副研究员,研究方向为高等职业教育;邹吉权(1965—),男,内蒙古赤峰人,天津职业大学职业技术教育研究所所长,博士,教授,研究方向为职业教育。

基金项目:全国教育科学规划教育部重点课题"基于德智体美劳全面发展的高职人才培养体系创新研究"(编号:DJA190347),主持人:邹吉权。

中图分类号:G710 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-7518(2021)06-0014-09

2021 年 4 月 12 日,全国职业教育大会在北京召开,这是在中国共产党建党 100 周年、"十四五"规划开局之年、开启全面建设社会主义现代化国家新征程的重要时刻召开的会议。全国职业教育大会的召开体现了党和国家对职业教育发展的高度重视。中国共产党百年历程也是党领导职业教育发展不断取得成就的一百年。当前正值教育战线掀起党史学习教育热潮之际,回顾中国共产党发展劳动教育的百年历程,对推动我国职业教育高质量发展具有十分重要的意义。一百年来,党对劳动教育规律性认识不断深化,指引职业教育紧跟实践发展步伐,与党和国家事业发展紧密结合。劳动教育承载着新时代人才培养的历史使命,是全面提升人的综合素质的重要内容,是实现立德树人的重要组成部分,对培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人具有重要的里程碑意义。劳动创造了人类物质财富和精神财富,因此,热爱劳动、崇尚劳动是中华民族的传统美德和重要的育人理念。中国共产党建党百年以来,劳动教育政策经历了一个不断发展的历史演进过程,系统梳理中国共产党成立以来劳动教育在不同历史时期的政策演进和劳动教育的特征,为深化新时代我国劳动教育的实施路径提供借鉴。

一、中国共产党建党百年来劳动教育政策的变迁

党的劳动教育政策的发展是在党的教育方针政策的指引下进行的,根据党的教育方针不同时期政策的演进历程,中国共产党建党以来劳动教育政策的变迁大体可划分为四个时期。

(一)劳动教育萌芽起步期(1921—1948 年)

1921 年 7 月,中国共产党成立初期,在党的教育纲领文献中虽然没有关于劳动教育的明确表述,但在教育实践却体现了教育必须贯彻体力劳动和脑力劳动相结合、理论必须联系实际的方针。如在 1921 年 8 月,毛泽东等人创办"湖南自修大学",在其大纲中规定:"本大学学友为破除文弱之习惯,

图脑力与体力之平均发展,并求知识与劳力两阶级之接近,应注意劳动”[1]。1932 年 5 月,湘鄂省苏维埃政府训令规定:“教育与工业生活农业生活结合,即劳动与教育结合,劳心与劳力结合,理论与实际结合……”[2]。中国工农革命时期,中华苏维埃政府将马克思主义教育思想与中国共产党革命斗争以来所获得的有益经验进行有力整合,“教育与生产劳动相结合”这一基本原理被贯彻到苏区的生产建设与文化建设中[3],并且边区各根据地举办的中小学教育基本都包含劳动教育内容。1934 年 1 月,毛泽东在第二次全国苏维埃代表大会的报告中指出,“苏维埃文化教育在于以共产主义的精神来教育广大的劳苦民众,……,在于使教育与劳动联系起来,……”[4]。“教劳结合”的思想得到社会广泛接受与普遍认可,这一教育方针是中国共产党把马克思列宁主义的教育学说运用于土地革命时期客观实际的产物。苏维埃政府重视教育与劳动相结合,规定“农业中学要靠近农村或红军公田,棉业中学要靠近棉田,纺织业中学要靠近机织工场”[2]。

1945 年 4 月,毛泽东在《论联合政府》中谈到中国国民文化和国民教育的宗旨时提出:“中国应当建立自己的民族的、科学的、人民大众的新文化和新教育”[5]。该方针虽然没有直接地将教育同劳动相结合的明确表述,但却指出新民主主义文化是为全体民众中九成以上的工农劳苦大众服务的,其中必然隐含有教育同劳动(人民)相结合的涵义,并在由中国共产党直接领导的各抗日根据地的教育实践中得以充分体现。各抗日根据地的中小学通过组织师生参加劳动,使学校适应劳动人民的需要,使教师能担负为劳动人民教育子女的重任,使学生养成劳动观点、爱国主义观点、爱护公共财物的观点。后期,随着全面抗日战争、国共内战的接连爆发,教育事业表现出“适应战争需要”的倾向,劳动教育的革命意蕴更加明显。在此期间,无论是党的领导、爱国将领,还是学校的教师、学生,共同参加生产劳动为革命斗争提供所必需的物质生活产品、共同学习革命理论为革命斗争提高必要科学技术水平,不仅在理论上得到社会普遍认可,而且在实践中也得到了广泛实际应用。党的七届二中全会后,教育方针内容的调整更是具有向 “建国” 目标发展的特点。1948 年以后,由于工业生产对劳动者文化科学素养的要求较高,“新型正规化”教育被推上了日程,劳动教育的形式也从联系农业生产逐步转向联系工业生产。劳动教育理念、模式与方法的探索却同样可为后来劳动教育的制度设计与工作部署提供重要的借鉴意义。

(二)劳动教育探索时期(1949—1978 年)

新中国成立初期,国家处于百废待兴状态,人民生活非常贫困,为改变国家“一穷二白”状况,社会急需大量的工农业生产劳动者[6]。因此,党和政府高度重视社会劳动,倡导全全社会人人热爱劳动、人人参与劳动,把崇尚劳动、热爱劳动的理念贯穿于社会主义改造的全过程,并把“五爱”之一——“爱劳动”,作为学校思想政治教育的重点,旨在教育和引导广大青少年热爱社会生产劳动。1949 年召开的第一次全国教育工作会议和 1950 年 5 月中共中央、国务院印发的《当前教育建设的方针》均明确指出“教育为工农服务,为生产建设服务”的方针,并指出以前未从事生产劳动的人通过参加生产劳动不断改造自身、提高自己。1952 年,教育部印发的《中学暂行规程(草案)》指出一切学校教学的基本原则要理论与实际相结合,为实施劳动教育指明了改革发展方向。

1954 年,中共中央宣传部印发《关于高小和初中毕业生从事生产劳动的宣传提纲》[7],提出教育同社会生产劳动绝对不可分离,指出体力劳动与脑力劳动是劳动的不同分工形式,体力劳动是一切劳动的重要基础,无论是小学、中学还是大学学生,都要积极地参加生产和社会劳动,是培养社会全面发展的重要组成力量。

1956 年底,随着我国对农业、工业和资本主义工商业三大改造基本完成,社会主义制度初步建立,实现以按劳分配为主体的分配原则。此时教育领域得到了快速发展,劳动成为具有劳动能力的公民应

尽的社会职责。1957 年,毛泽东在《关于正确处理人民内部矛盾的问题》中提出:“我们的教育方针,必须为无产阶级政治服务, 应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展,成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者”[8]。主张劳动者要“有社会主义觉悟”,要求使受教育者成为劳动者,劳动教育成为教育方针的重要组成部分。在这一教育方针指引下,全国广泛开展了生产劳动,学校办工厂、工厂办学校,实行半工半读、教育与社会生产劳动相结合的教学模式[9]。1958 年,中共中央、国务院颁布的《关于教育工作的指示》指出,教育与生产劳动相结合,教育是为无产阶级的政治服务,边学习、边劳动,劳动人民要知识化,知识分子要劳动化[10],并列入党的教育方针。劳动教育初步体现“校企合作”的办学场面,规定生产劳动“在一切学校教育中必须列为正式课程,所有学生都要参加生产劳动课程且学生依照规定须参加完成一定量劳动时间。”在课程设置上,各级学校为注重对学生动手能力的培养,中学阶段教育增设教学工厂实习(注:相当于现在学校“校中厂”实习车间)等实践课程,小学阶段教育增设“生产劳动课”和“手工劳动课”。为提高学生劳动实践动手能力培养,教育注重与农业、工业生产技术相互结合,推行半工半读、工学交替(如同现在现代学徒制)的教育形式。这一时期首次提出教育与社会生产劳动相结合,提出教育是为无产阶级政治服务。劳动教育有着较为明确的发展方向:一是劳动教育是发生在学校内的生产活动;二是明晰劳动教育是每个有劳动能力公民的责任,具有思想改造的意义;三是劳动教育的实施得到进一步扩展,如有参观访问、社会宣传、乡土调查等非生产性活动;四是劳动教育可以传授专业技术和生产基本的知识。

1963 年,我国教育模式基本照搬苏联的教育发展模式,教育一直存在着脱离社会生活实际的问题,致使劳动教育发生了一定的偏离。学校给学生增加大量社会实践课程,减少文化课和学制年限,“教育与生产劳动相结合”的方针逐步教条化、形式化。1964 年,中共中央、国务院发布关于《高等学校毕业生劳动实习试行条例》指出:“参加体力劳动应作为高等学校毕业生学生毕业实习的主要方式”[11],这使得毕业生劳动教育重心转移在体力劳动上,且毕业实习不得少于八个月,受“左”倾错误思想影响,我国劳动教育逐渐偏离了国家正确教育方针的方向,在此时“以阶级斗争为纲”的错误理论指引下,劳动教育被空前地放大,劳动教育逐渐变成为阶级斗争服务的工具,整个学校课程教学都以劳动教育为主,学生上课选择在工厂、农村及车间等地点进行,歪曲了劳动教育的内涵[12]。伴随 1966 年“文化大革命”的到来,席卷全国热潮的“知识分子劳动化”“劳动就是学习”“学校以生产劳动为中心”等不良劳动教育口号,使劳动教育不能按照正常的内在规律发展,阻碍了我国教育事业特别是劳动教育的健康发展。

(三)劳动教育稳步发展期(1978—2011 年)

改革开放后,也是我国恢复高考第二年,教育事业与人才培养进入了一个崭新的历史发展阶段[13],社会生产力的发展亟需同社会文化教育事业发展相适应。因此,应该将脑力劳动纳入劳动教育范畴,而不再局限为一般简单体力劳动,与德育、智育、体育有机结合起来。1978 年,邓小平在全国教育工作会议上纠正了“四人帮”等人错误的教育思想,深刻揭示了社会主义劳动教育的实质,重申了“培养劳动者”的教育目标,同时恢复了毛泽东同志提出的“成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者” 教育理论思想,并强调“必须造就宏大的又红又专的工人阶级知识分子队伍,必须培养具有较高科学文化知识水平的劳动者”,这对劳动教育提出了新的要求。同时党的工作重心调整以经济建设为中心和社会主义现代化建设,迫切需要提高广大劳动者的综合素质和基本技能。劳动教育重新获得审视和重塑,更加注重对劳动技术技能的教育,以促进劳动者综合素质提升。这在随后国家发布的一些教育文件中得到很好地体现。如 1982 年,教育部发布的《关于普通中学开设劳动技术教育课的试行意见》提出劳动技术教育课是中学教育不可缺少的组成部分[14]。

1993年，国务院发布的《中国教育改革和发展纲要》提出劳动教育必须与社会经济和科技发展密切结合[15]，并强调劳动教育的课程地位和学科地位，明确提出中小学生在“劳动技能、身体心理、思想道德和文化科学”等方面的素质标准要求，并将劳动教育纳入各学校教学计划当中。1995年国家颁发《中华人民共和国教育法》新增了教育要同“社会实践相结合”的具体要求。1998年12月，教育部颁发《面向21世纪教育振兴行动计划》指出，通过实施劳动技能教育等培养学生的良好道德、健康心理和高尚情操。1999年，中共中央、国务院颁布《关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》，提出了全面推进学生素质教育，将素质教育贯穿于从幼儿教育、中小学教育、高等教育、职业教育、成人教育等各学段中的教学内容[16]，进一步加强和改进学生的社会实践教育与生产劳动相结合，并从德、智、体、美、劳等方面积极提供必要物质条件保障，推动学生素质教育的实现，扭转传统应试教育思想。

进入21世纪以来，我国进入全面建设小康社会时期，随着国家政治、经济和科技等多领域的发展迈上一个新台阶，国家对劳动教育重视程度进一步提高，教育与生产劳动相结合体现出更加鲜明的时代特征，劳动创造价值加强，劳动教育得到高度重视和细化，将“教育与生产劳动相结合”扩展为“教育与生产劳动和社会实践相结合”。2010年，中共中央、国务院印发《国家中长期教育改革和发展规划纲(2010—2020年)》指出教育与社会实践、生产劳动相结合，培养学生热爱劳动、热爱劳动人民的真挚情感，并融入了新时期国家教育改革的发展当中[17]。这一时期主要是大力营造劳动教育与社会实践紧密相连，劳动教育从道德理念转变为具体的实际行动，培养青少年手脑并用、全面发展，培养广大青少年热爱劳动、热爱劳动人民的真挚情感，培养学生创新精神、实践能力和社会责任感。

(四)劳动教育创新发展期(2012年至今)

党的十八大以来，中国社会主义建设进入新时代，国家经济、政治、文化教育、军事、科技等都迈上一个新台阶，以习近平总书记为核心的党中央高度重视国家教育事业。我国教育紧紧围绕培养什么人、怎样培养人、为谁培养人的问题进行规律性认识，并把劳动教育上升到一个新的战略发展高度。同时习近平总书记在多个会议和重要场合围绕劳动、劳动者、劳模精神等内容进行深刻阐述，特别在推进劳动教育和促进人的全面发展等方面提出了新观点、新理念，指出劳动教育的重要性，并提出“空谈误国、实干兴邦”，丰富了中国传统劳动教育思想和马克思主义唯物主义劳动观，大大深化了劳动与育人的关系内涵。为深入贯彻落实立德树人根本任务，大力弘扬劳动光荣、技能宝贵、创造伟大的社会主义时代新风尚，2015年4月，国务院决定每年5月的第2周定为国家职业教育活动周，并规定职业学校要结合学校特点，组织开展劳动技能竞赛、劳动教育征文、劳动教育成果展等丰富多彩的校园文化活动，免费向中小学生、学生家长及社会人员开放，让中小学生从小感受现代职业教育的特色与崇高魅力，营造良好的劳动文化教育氛围，为他们未来职业发展启智启蒙。2015年，教育部等部门发布的《关于加强中小学劳动教育的意见》指出加强培养学生劳动兴趣、劳动爱好，促进学生身心健康和全面发展[18]，进一步丰富了“劳动教育”的内涵。2018年9月10日，在全国教育大会上习近平总书记首次明确提出“努力构建德智体美劳全面发展的教育体系”，标志着“劳动教育”成为新时代教育方针的重要内容之一，这是我国历史上第一次将“劳动教育”作为一项素质要求同“德智体美”并列为教育方针，开创了“五育并举”教育的新局面。至此劳动教育地位被大大提高，是党的教育方针在新时代理论的新发展，也是对马克思关于劳动价值理论的升华，为加强广大青少年学生劳动教育提出了行动指南和根本遵循。

2019年2月，国家发布的《中国教育现代化2035》提出要弘扬劳动精神。2020年3月，国家发布的《关于全面加强新时代大中小学劳动教育的意见》提出把劳动教育贯穿到学校教育教学全过程，

并对各级各类学校开展劳动教育进行了具体部署，规定各中小学劳动教育课每周不少于1课时；职业院校开设劳模精神、工匠精神专题教育不少于16学时(不含实习、实训课程)；本科院校不少于32学时，贯通大中小学校、社会、家庭等各方面[19]，这是党中央、国务院在新时代对劳动教育作出的一次系统性、全局性的顶层设计，丰富了新时代劳动教育的内涵。

这一时期劳动教育强调通过主体社会实践劳动，激发学生的创造力，磨练学生意志品质，培养学生热爱劳动，树立学生劳动精神、劳动意识、劳动态度和劳动责任担当[20]，彰显了劳动教育的价值理性回归需求，契合了立德树人的根本任务与全面育人的教育方针，培养对国家、民族和社会的有用之才，丰富和发展了马克思唯物主义劳动观，对实现“两个一百年”奋斗目标和“中国梦”具有重要的现实意义。

二、新时代加强劳动教育的内涵

(一)落实党的教育方针政策的要求

全国教育大会于2018年9月10日在北京召开，习近平总书记站在新时代新起点，对教育特别是劳动教育作出重要论述，首次提出将劳动教育与德智体美“四育”置于同等重要发展地位，突出劳动教育的重要地位，这是对马克思唯物主义劳动价值观的重要深化，形成了科学的教育与社会劳动相结合，体现新时代劳动教育的本质特征和发展方向，丰富了新时代教育理论体系，是党的教育方针的新发展。

加强党对教育工作的全面领导，准确把握时代的新形势、新特点，是办好我国教育的思想保证、政治保证和组织保证。高等教育是我国教育的重要组成部分，落实党的教育方针是各院校办学过程中必须遵循的基本原则。党中央对劳动教育进行科学的顶层设计，各级各类院校必须对照要求予以落实，不折不扣地完成劳动教育这一门“必修课”。

(二)促进人的全面发展的重要途径

劳动是推动人类社会进步的根本力量，劳动教育是促进人的全面综合素质提升的重要内容，是实现人的全面发展的重要途径。同时，马克思主义关于人的全面发展学说指出，劳动创造人和人类社会。人在劳动过程中，不断通过与自然和社会发生关系，展示并创造自我，最终实现自我价值。劳动可以以劳立德、增智、强体、育美，具有全方位的实践育人导向和目标指引。劳动教育的目的是培育具有健康劳动价值观、追求社会正义、实现脑力和体力劳动相结合以及养成具有自由个性的全面发展的人。从一定意义上讲，劳动作为人类社会自由创造性活动，不断推动着人类走向自由全面发展。同时，实现人的全面发展的唯一方法是教育与生产劳动相结合，人类社会发展进步的历史实践也充分证明了这一观点的正确性。教育与生产劳动相互融合、相互促进，既是脑力劳动与体力劳动内在联系的基本途径，又是理论与实践相结合的必由之路[21]。

党的十八大提出把“立德树人”作为教育的根本任务，把劳动教育纳入学校人才培养体系当中，坚持德智体美劳“五育并举”，具有时代性、现实性。新时代赋予了“五育并举”新的内涵，实现以劳立德、以劳增智、以劳强体、以劳育美，培养新时代社会主义合格的建设者和接班人，实现高素质劳动者和技术技能人才的培养目标，是对整个教育根本问题的有力回答。各院校全面推进素质教育牢牢守住劳动教育的主阵地，发挥其立德、增智、强体、育美的综合育人价值取向，促进人的全面发展。

(三)落实国家立德树人任务的根本需要

教育的根本任务是立德树人，学校应该把立德树人作为人才培养的中心工作，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。2016年12月7日，习近平总书记在全国高校思想政治教育工作会议上指出，“高校立身之本在于立德树人”。2018年5月2日，习近平总书记在北京大学师生座谈会上再次强调把立德树人内化到大学日常管理和建设各领域当中，做到以立德为根本，以树人为核心，把立德树人的成效作为评价学校一切工作的根本要求。立德树人，是解决培养社会全面发展合格人才的问题。劳动教育作为新时代教育体系的重要内

容之一，承担着国家立德树人的重大历史使命。各级各类学校要通过课堂教育主渠道对学生进行专业劳动知识教育，使其外化为课外实践的当中，培养广大青少年的劳动态度、劳动品德，提高劳动技能，积极践行新时代社会主义核心价值观，并为其未来的社会生活工作中奠定坚实的基础。根据《中国大学生思想政治教育发展报告(2017)》显示，那些参与意愿越强烈的大学生，对社会实践满意程度越高、践行状况越好，对大学生思想政治教育相关工作越认可，其思想状况综合表现越佳。因此，各学校进一步深化劳动教育，促进学生知、行、情、意的转化，既是落实新时代社会主义教育体制改革的现实要求，又是实现立德树人根本任务的客观需要。

(四)实现“中国梦”的发展需求

“人民创造历史，劳动开创未来”。只有通过劳动，才能实现人的全面发展。回顾中国特色社会主义建设的光辉历程，如航母巡洋、神舟十二号载人飞天、中国制造、高铁飞驰等取得一系列辉煌成就，都是依靠全体中国人民经过艰苦卓绝努力奋斗取得的。因此，实现“中国梦”需要全国各族人民通过一代一代人艰苦卓绝劳动、勤劳奋斗，付出更为艰巨的努力，才能创造更大社会价值，而不是一句空喊的口号。当前，我国正处于实现“两个一百年”奋斗目标关键时期，而当代青少年作为新时代国家未来发展的栋梁，是促进国家发展和社会进步的中坚力量。因此，各级学校应加强培养学生树立良好的劳动情怀，不断提高学生的劳动素养[21]，使他们在劳动的过程中自觉践行将个人理想信念融入到民族复兴、国家富强、人民幸福的社会主义建设伟大事业征程中，为早日建设社会主义现代化强国、实现“中国梦”奉献青春、贡献力量。

三、构建新时代劳动教育的实施路径

劳动教育实施如何关系到新时代我国人才培养综合素质的高低。回顾中国共产党建党百年以来劳动教育取得成就和经验，更应抓住机遇、超前布局。在新时代国家教育方针理论指引下，准确把握新形势、新特点，科学制定劳动教育的实施路径，推动新时代劳动教育迈上新台阶、步入新征程，取得实实在在的成效。

(一)构建“四方联动”的劳动育人协同机制

2018 年，在北京召开的全国教育大会提出，办好新时代教育事业，需要学校、政府、家庭、社会肩负历史重任。因此，做好劳动教育不仅仅是学校单方面的事情，还需要政府、家庭、社会的共同参与，形成劳动教育育人合力。

第一，充分发挥学校在劳动教育中的主体作用。抓好课堂教育主渠道，构建学校内部的全员、全过程、全方位劳动教育育人体系，不断推动劳动教育的开展和实施。劳动教育是一门理论性、实践性和时代性较强的应用性学科，在基础教育阶段开设专题式校本课程，注重提升劳动技术课质量；在职业教育、高等教育阶段注重专业融合。因此各类各级院校党委要高度重视劳动教育体系建设，从战略高度出发进一步加强劳动教育的顶层设计，规划好劳动教育的组织和实施。学校各职能部门要协同配合，加大财力、物力、人力等方面的物质保障。学校团委、学生干部、辅导员、专任教师等相关人员要加强在劳动教育理论课和实践课中的相互配合、相互协调，提高课程教学的亲和力以及实践的能力[22]。

第二，政府主管部门应提高对劳动教育政策的支持力度，加大对劳动教育的专项经费投入。政府应及时出台对参与社会劳动教育机构的优惠政策，积极引导行业企业、社会团体、社会机构对劳动教育的投入和支持力度，保障劳动教育的健康、可持续发展。

第三，家庭是孩子成长教育过程的第一所“学校”。家长不仅是孩子的第一任教师，而且是孩子劳动启蒙的主导者，在家长“汗滴禾下土”“足蒸暑土气”的潜移默化中，对孩子的未来成长有着巨大影响作用。家长要经常鼓励其孩子力所能及地承担家庭劳务和帮助别人，并用身边的先进劳动典范事例对孩子进行引导和教育，给孩子营造热爱劳动、崇尚劳动的家庭氛围，使孩子树立劳动光荣的价值观念。

第四，社会是劳动教育的主战场。发挥社会的

劳动育人作用,劳动教育不是简单地进行体力劳动,而且要让学生在不同类型劳动中学会生存、学会合作、学会创造、学会适应社会发展。一方面社会要真正发挥劳动教育中的支持作用,主动承担起搭建劳动教育平台的社会责任,并为不同学段学生提供劳动教育实践场所,为学生创建实践岗位,为学生创造劳动教育实践机会,满足不同类别学校学生多样化劳动实践需求。另一方面在全社会营造劳动光荣、劳动最美,关心和支持劳动教育的良好氛围。根除"重教轻劳"万般皆下品、唯有读书高"学而优则仕"的思想观念,聚焦德智体美劳全面发展,以推进全社会形成劳动教育良好的合力。

(二)搭建实用型的劳动教育课程体系

课程是专业建设的核心要素,也是劳动教育能否取得最终成效的重要内容。劳动教育要按照劳动所要实现的知识、技能和素质要求,课程以学生的发展需求为导向,应体现多元性、丰富性和立体化,课程内容应贴近社会实际生活,促进劳动教育对学生的吸引力。同时,课程内容应体现新时代特征,在继承中华民族优秀传统劳动观的基础上,积极吸收和借鉴国外先进劳动教育理论成果,进一步提升广大青少年对新时代劳动基本素养、基本技能、工匠精神的培养,使劳动意识和劳动行为同社会经济发展相适应,为培养高素质技术技能人才奠定坚实基础。

思想是行动的先导。科学设计引领学校的创新实践,加强劳动教育的统筹规划。准确把握新时代劳动教育内涵,既要体现不同层面和不同类别人员对劳动素养的目标要求和实现路径,又要体现各类各级学生劳动教育的系统性和连续性。一方面,科学构建劳动教育课程体系。将劳动教育理念融入各类各级劳动教育体系当中,如在学前和中小学义务教育阶段增加劳动技术课程,从小培养幼儿和广大青少年养成良好的劳动爱好、劳动习惯和劳动态度,不断启发学生实践动手能力,提升学生的劳动素养。在大学阶段,把劳动教育课程纳入院校专业人才培养方案的必修课。在大学一年级第一学期开设劳动教育课程,让大学生从入学时就接受劳动教育课程的学习,并掌握必要的劳动知识和劳动技能,深化对劳动的认识和对劳动热爱,促进学生养成良好的劳动行为习惯。另一方面,开展相关的专业社团、劳动兴趣小组、社区服务等社会性实践活动,并作为对学生素质教育评价的重要内容之一。院校应进一步提高劳动职业技能课的学时比例,同时鼓励职业院校实验实训室向中小学开放,并定期向中小学免费开展关于劳动的职业启蒙教育,使广大青少年从小树立对劳动教育认知,激发学生的劳动创新能力和创新意识,形成小、中、大学一体化的劳动育人课程体系。

(三)加强劳动教育的师资队伍建设

教师是实现劳动教育最终取得成效的"第一主要资源"。习近平总书记在参加北京大学师生座谈时强调,人才培养关键在教师,教师队伍素质直接决定着学校的办学水平和人才培养质量。因此,建设一支德技兼备、结构合理的高素质劳动教育专业化师资队伍, 是学校劳动教育水平提高的重要保障。当前,大多数学校从事劳动教育的教师水平还存在一些问题,如学校从事专业劳动教育的师资队伍不足、专业化程度不够高、教学经验不足,导致劳动教育质量难以得到有效保障。因此,一是要加大引进具有劳动专业(知识能力)背景的专任教师力度,不断增强劳动教育课程教师教学能力。拓宽劳动教育师资队伍的渠道来源,引进社会优秀人士,如行业企业技能大师、能工巧匠、劳动模范、大国工匠等专业人员担任院校劳动实践课程指导老师,成为劳动教育的传道者,使劳动教育更贴近生产、贴近生活、贴近行业发展,增强学生对劳动的使命感、责任感和荣誉感,为引导学生树立正确的劳动价值观奠定坚实基础。二是要不断加大对骨干或青年劳动教育教师的培养(或培训)力度,通过不断培养(或培训)真正打造一支专业性强、素质过硬的高水平劳动教育专业化教学团队,使从事劳动教育专任教师系统性掌握劳动教育课程体系的理论知识与实践技能。同时,院校定期开展劳动教育教师大"练兵"(即讲课比赛),不断促进劳动教育专任教师创新

教学方法，提高劳动教育课程的观赏性、吸引力和感染力。三是要加强对劳动教育的科学研究。教育行政管理部门应设置一定数量劳动教育专项研究课题，并给予相应资金资助，从而吸引广大教师积极投入到劳动教育相关研究当中。

（四）构建多元的劳动教育实践育人平台

劳动教育的目的既是促进广大青少年从小树立正确的劳动价值观，又是帮助学生掌握必要的劳动知识，把热爱劳动、崇尚劳动、尊重劳动内化为思想和行动当中。实践是劳动教育的最终成果，院校通过打造多元的实践育人平台，提升学生的劳动能力和劳动素养，提高学生劳动实践教学质量。

一是开展丰富多彩的校园文化活动。校园文化对院校育人发挥着重要的作用，对广大青少年起到润物细无声的感染作用。学校可以每年五月份设为校园“劳动教育文化月”。在劳动教育月期间，开展形式多样公益劳动服务，如开展劳动技能竞赛、劳模先进事迹报告会、劳动教育征文、劳动知识讲座、劳动教育成果展等校园文化活动。在校园教室走廊、宣传栏、食堂宿舍墙壁等学生学习生活公共场所，张贴关于劳动精神的标语及劳动模范的事迹，为学生营造良好的劳动教育文化氛围，使学生在浓厚的氛围中形成热爱劳动的情怀。

二是多途径拓展劳动教育实践育人平台。采用学科竞赛和创新创业活动提升学生创新能力、理论联系实际能力。学校可根据学生的专业特点打造学科竞赛和创新创业能力育人平台。充分利用节假日及寒暑假“三下乡”实践教育平台，鼓励学生走出校门，广泛开展社会调查活动，走进乡村、走进田间地头，通过自己亲身实际劳动，体验劳动成果获得的艰辛，为学生树立珍惜劳动成果、爱惜劳动成果、节约劳动成果的良好习惯，不断提高学生劳动热情。要鼓励学生积极参加学校、国家和地方省市举办的重大活动、大型会议、大型体育活动及出现的不确定重大疫情、灾害的志愿服务活动，培养广大青少年提高公共服务意识和社会责任担当。

三是加强学生专业实践的过程管控。专业实践是即将走向社会实际工作岗位前的重要“试验场”。因此，在学生参加专业实践环节中，严格要求，加强过程管理，可以提升学生在专业实践中的劳动态度、劳动精神和劳动能力。因此，院校要加强大学生专业实践的过程管控，一方面学校与学生实习单位加强沟通和协商，派选业务能力强、专业水平高、负有责任心的带教教师指导学生专业实践，发挥榜样作用、传帮带作用，从而促进大学生养成良好的劳动习惯和劳动态度；另一方面院校要加强对学生专业实践环节的监督，严格学生专业劳动实践环节，提高学生专业实践质量，真正让专业实践劳动成为塑造学生职业品质、职业精神的桥梁，促进学生专业应用水平能力提升。

（五）构建科学的劳动教育综合评价体系

健全劳动教育的评价管理机制，是确保劳动教育有序顺利开展的坚实保障。2020 年 3 月，国家颁布《全面加强新时代大中小学劳动教育的意见》，提出建立劳动教育素养评价制度。因此，构建科学的劳动教育综合评价体系，是学校劳动教育取得实效的重要建设内容。健全劳动教育评价办法，除了要求学生掌握基本劳动教育知识以外，还应把学到的知识内化为学生态度、信念、情感，将尊重劳动、崇尚劳动、热爱劳动、勇于劳动置于劳动教育评价目标首位，同时把劳动情感、劳动行为、劳动认知等方面综合起来考核，明确劳动教育在学生学业考试中的学分占比。一是制定科学合理劳动教育评价标准。劳动教育课程包括必修课和选修课，其中必修课设置 2 个学分、选修课设置 1 个学分。课外的劳动实践包括创新创业、社会志愿服务、学科竞赛、三下乡活动等，每一类型的劳动实践活动应有完整的劳动过程和劳动结果证明，并根据权重的难易程度设置 1~2 个学分。二是建立劳动教育激励机制。对在参加劳动实践、劳动竞赛、志愿服务等表现突出的先进典型给予一定物质和荣誉表彰，作为学生在校劳动教育学时（或学分）替换，并对其获得劳动成果公开宣传和报道，充分发挥荣誉的激励作用、典型

的榜样作用、成果展示的标杆作用，从而影响和鼓励更多学生积极参加劳动当中。

四、结语

加强劳动教育不仅是全面贯彻落实新时代党的教育方针的重要体现，而且是当今社会培养德智体美劳全面发展综合素质人才的价值需求，精准把握劳动教育发展的时代内涵和发展趋势，以培养担当民族复兴大任的时代新人培养为根本目标，是我国教育一项具有长期性、战略性和复杂性的任务，任重而道远。各类各级学校应该以“三全育人”理念为指导，做到德智体美劳“五育”并举，将劳动教育融入学校育人的各个环节，培养学生从小树立马克思主义劳动价值观，培养与时代发展需求相适应的能工巧匠、大国工匠，培育学生养成良好的劳动思想品德、积极向上的劳动态度、劳动精神以及掌握必备劳动知识和基本技能，促进学生身心全面发展，为实现“中国梦”提供坚实的人才保障。

参考文献：

[1]陈元晖.中国现代教育史[M].北京：人民教育出版社，1979：66.

[2]李蔺田，王萍.中国职业技术教育史[M].北京：高等教育出版社，1994：226.

[3]周继良，吴肖.寻根问路：中国共产党对高校劳动教育的百年探索与经验启示[J].重庆高教研究，2021(5)：3-16.

[4]刘燚，张辉蓉.建党百年来劳动教育的历史变迁与反思展望——基于教育方针分析的视角[J].国家教育行政学院学报，2021(4)：18-25.

[5]王铁.中国教育方针的研究——新民主主义教育方针的理论与实践(上册)[M].北京：教育科学出版社，1982：123.

[6]郑程月，王帅.建国70年我国劳动教育的演进脉络、时代内涵与实践路径[J].当代教育科学，2019(5)：14-18.

[7]中共中央宣传部.关于高小和初中毕业生从事劳动生产宣传提纲[J].人民教育，1954(6).

[8]毛泽东.关于正确处理人民内部矛盾的问题[N].人民日报，1957-06-01(01).

[9]周兴国，曹荣荣.新中国的劳动教育：观念演变与发展[J].中国教育科学，2020(3)：25-34.

[10]中共中央，国务院.关于印发《关于教育工作的指示》[N].人民日报，1958-09-20(01).

[11]中共中央，国务院.关于发布《高等学校毕业生劳动实习试行条例》的通知[Z].1964-08-19.

[12]张鹏飞，高盼望.新中国成立以来劳动教育政策的变迁与展望[J].当代教育科学，2020(2)：86-91.

[13]古光甫，邹吉权.新中国70年职业教育产教融合政策变迁逻辑与发展理路[J].成人教育，2020(8)：59-66.

[14]教育部.关于普通中学开设劳动技术教育课的试行意见[Z].1984-08-10.

[15]国务院印发《中国教育改革和发展纲要》[N].人民日报，1993-02-27(02).

[16]中共中央，国务院.关于深化教育改革全面推进素质教育的决定[Z].1999-06-13.

[17]中共中央，国务院.国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010-2020年)[Z].2010--07-29.

[18]教育部，共青团中央，全国少工委.关于加强中小学劳动教育的意见[Z].2015-07-20.

[19]中共中央，国务院.关于全面加强新时代大中小学劳动教育的意见[Z].2020-30-20.

[20]黄黎明，顾春华，马前锋.我国劳动教育发展的时空转向与未来展望[J].职业技术教育，2020(10)：6-12.

[21]宋紫月.论新时代高校劳动教育的内涵、价值及发展策略[J].西新部，2020(18)：149-151+98.

[22]祁占勇.新中国成立70年来我国劳动教育政策的价值选择及其变迁[J].国家教育行政学院学报，2019(6)：18-26.

责任编辑 韩云鹏

中国特色高水平高职院校建设的理论与行动框架

邹吉权，刘 斌

（天津职业大学，天津 300350）

摘 要：教育部即将启动“中国特色高水平高职学校和专业建设计划”，这是落实十九大精神、全国教育大会精神以及《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》的重大举措，这一计划的实施，必将对我国职业教育事业的发展产生重大而深远影响，也将为各高职院校提供难得的发展机遇。虽然相关文件还没有下发，项目尚未启动，但进行前期探讨十分必要。基于此提出“以中国特色为根基，以世界一流为目标；以立德树人为根本，以高水平人才培养体系为支撑；以服务发展为宗旨，以产教融合为主线；以专业群建设为突破口，以人才培养质量为核心；以文化建设为引领，以院校治理为保障”的理论与行动框架。

关键词：高职；立德树人；产教融合；人才培养体系；特色高水平；专业建设

中图分类号：G710 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9290(2018)0034-0035-08

习近平总书记在全国教育大会讲话指出，“要努力构建德智体美劳全面培养的教育体系，形成更高水平的人才培养体系”“要把立德树人融入思想道德教育、文化知识教育、社会实践教育各环节”，这为我们建设高水平高职院校提供了根本遵循。《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》（国发〔2014〕19号）提出，到2020年，形成“具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系”“建成一批世界一流的职业院校和骨干专业，形成具有国际竞争力的人才培养高地”。《高等职业教育创新发展行动计划（2015—2018年）》（教职成〔2015〕9号）提出“开展优质学校建设”“提升学校对产业发展的贡献度，争创国际先进水平”“支持优质专科高等职业院校争创国际先进水平的机制基本形成”“扩大职业教育国际影响”。《职业教育与继续教育2018年工作要点》（教职成司函〔2018〕24号）提出，在2018年“启动中国特色高水平高职学校和专业建设计划，坚持扶优扶强与提升整体保障水平相结合，建设一批当地离不开、业内都认同、国际可交流的高职学校”。

根据对政策文件精神的研究、相关理论研究以及优质校建设经验，中国特色高水平高职院校建设应具备以下特点：

一、以中国特色为根基，以世界一流为目标

建设中国特色、世界一流的高职教育，首先要处理好中国特色与世界一流之间的关系，使二者

收稿日期：2018-10-31

基金项目：2017年度全国教育科学规划教育部重点课题“京津冀高职教育与产业结构协调性研究”（项目编号：DJA170314，主持人：刘斌）

作者简介：邹吉权（1965—），男，内蒙古赤峰人，天津职业大学职业技术教育研究所副所长，教授，博士，主要研究方向为职业教育。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

之间保持必要张力。没有中国特色，就没有世界一流，而中国特色不面向世界，也失去其存在的价值。高职院校的国际化之路应该是突出特色、补齐短板，最后实现超越。

办好中国的教育，必须扎根中国大地，结合中国国情，办出中国特色。到底什么才是中国高职教育的特色呢？第一，国家层面的模式特色。纵观世界职业教育发达国家，无不形成了具有本土特色的职业教育模式，如德国的“双元制”模式、英国的“三明治”模式、澳大利亚的TAFE模式、加拿大的CBE模式、新加坡的“教学工厂”、奥地利“模拟公司”等。我国建设世界一流职业教育，必须形成具有中国特色的职业教育模式，而这一模式就是“产教融合”。产教融合是我国40年职业教育理论探索和办学实践的结晶，具有鲜明的原创特色，深化产教融合、校企合作是我国职业教育的根本遵循。在中国特色高水平职业院校建设中，要明晰产教融合的内涵，在国家层面通过立法保障、制度安排、机构设置以及经费支持，不断创新产教融合的模式，寻找产教融合的新路径，使产教融合的职业教育模式自立于世界职业教育之林。第二，院校层面的办学特色。产教融合的国家模式需要通过各高职院校的办学实践支撑。一所高等职业院校的办学特色是指其在长期办学实践中逐渐形成的适应经济社会发展需求 、符合高等职业教育本质规律、比较持久和稳定的发展方式，以及被社会公认的独特、优质的办学特征[1]。高职院校要遵循职业教育发展规律、办学规律和人才成长规律，坚持产教融合、校企合作，坚持工学结合、知行合一，准确把握国际职业教育发展趋势，彰显院校的办学理念特色、办学定位特色、专业建设特色、人才培养特色、师资队伍特色、高职文化特色以及学校治理特色，形成一批具有中国特色、世界一流的高职院校。第三，人才培养特色。西方国家把职业教育更多等同于培训，而我国的高职教育是以立德树人为根本，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人，面向区域经济社会发展和产业转型升级培养发展型、复合型、创新型技术技能人才，我国高职教育更注重教育的政治属性，注重社会主义核心价值观的培育，注重人的全面发展和长远发展。因此，从教育方针和教育目标看，我国的高职人才培养独具特色，更有利于杰出技术技能人才的涌现。

在凸显特色的同时，必须把中国高等职业教育放在全球发展视野之下，遵循高等职业教育普遍规律，借鉴吸收世界职业教育发达国家成功的办学经验和办学常识，补齐短板，建设“具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系”“建成一批世界一流的职业院校和骨干专业，形成具有国际竞争力的人才培养高地”。建设世界一流的职业教育，关键是提升三个层面的国际影响力：一是提升国家职业教育的国际影响力。其目标：我国职业教育质量得到国际广泛认可，产教融合模式成为国际职业教育重要一极，中国成为世界上人们最向往的职业教育留学目的地国之一，成为国际职业教育访学交流中心，中国的国际职业教育产业比重显著增加。二是提升高职院校的国际影响力。高职院校首先要在区域和行业中具有很强的影响力，做到“当地离不开，行业都认同”，在此基础上，着力提升国际化水平，向世界一流的高职院校迈进。衡量一所高职院校国际化水平，参照高职质量年报，主要指标包括：招收境外留校生数量和短期培训数量、开发国际认可的专业教学标准和课程标准数量、专任教师在国（境）外组织担任职务的人数、专任教师赴国（境）外指导和开展培训时间、师生在国（境）外技能大赛获奖数量、与国（境）外院校合作办学及交流互访情况。三是提升杰出技术技能人才的国际影响力，培养一大批具备出色的技术应用能力、职业实践能力，具有出色的个人修养与职业素养，具有国际视野、熟悉国际标准、通晓国际规则、胜任跨文化交流的杰出技术技能人才，提升我国高职人才的国际影响力。

二、以立德树人为根本，以高水平人才培养体系为支撑

习近平总书记在全国教育大会上的讲话为高水平高职院校建设提供了根本遵循——以立德树人为根本，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。要将立德树人融入思政课程、通识课程、专业课程以及实习实训各环节，围绕立德树人重新设计课程体系、教学体系、评价体系以

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

及管理体系，从而形成更高水平的人才培养体系，这是高水平高职院校建设的基础性核心工作。

高职院校人才培养体系构建，首先要深入贯彻落实党的教育方针，深入研究“德智体美劳”五育的内涵以及它们之间的关系，深入剖析高职教育“德智体美劳”的特点，秉持全人教育理念，遵循高等职业教育规律，确定人才培养目标和毕业生核心能力，进而构建新的课程体系、教学体系以及评价体系，形成更高水平的人才培养体系。人才培养体系应处在一个三维坐标系中，这三维分别是文化引领、模式支持（产教融合）和制度保障，其坐标原点就是立德树人，使立德树人融入所有教育教学环节。同时，人才培养体系要体现以学生为中心，即以学生的学习为中心，以学生的发展为中心（图1）。

三、以服务发展为宗旨，以产教融合为主线

（一）以服务发展为宗旨

一是服务国家战略。高职院校必须肩负起服务国家战略的使命，特别是制造强国战略、“一带一路”倡议和乡村振兴战略等。高素质技术技能人才是制造强国战略的重要人才支撑。我国高职制造大类人才培养在规模上还不能适应产业发展要求，据有关文献预测，到2025年，我国高端技能型人才缺口为200万人。高职院校要面向新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械等十个重点领域，大力培养面向先进制造业的发展型、复合型、创新型技术技能人才，同时在满足数量的前提下，着力提升人才培养规格与产业需求的契合度。高职院校要面向国家乡村振兴战略，对接现代农业产业体系、生产体系和经营体系，培养大批懂农业、爱农村、爱农民的高素质技术技能人才。高职院校还要面向“一带一路”倡议，紧跟产业走出去的步伐，培养大批具有国际视野、通晓国际规则、熟悉国际标准、胜任跨文化事务的技术技能人才与管理人才，大力拓展职业院校的国际空间、提升国际化水平。

二是服务区域产业转型升级。随着我国现代化经济体系建设的大力推进，区域产业转型升级步伐也在加快，人工智能、互联网、大数据等新产业、新业态会深刻影响高等职业教育人才培养的目标、规格和模式，高等职业教育必须紧随产业发展的前沿，为产业转型升级和技术创新提供人才支撑，以产教融合为主线，通过人才培养、技术研发和社会培训等助力产业转型升级，建设一批“当地离不开、业内都认同”的高职院校。

三是服务学生的全面发展。高职教育要回归“为学生发展服务”的宗旨，关注完整的人的发展，实现人的全面发展。高职教育要追求工具理性与价值理性的平衡——既观照教育的社会性，又关注教育的人本性；既注重学生职业能力的培养，又注重人文精神的教育；既注重学生科学精神的培养，又观照学生的信仰教育；既培养学生的集体意识，又要关注学生的个性发展。高职院校应对学生的发展做全面的考虑，要培养学生的表达能力、批判性思维、道德推理能力、多元文化素养、全球化素养、广泛的兴趣，并为就业做好准备[2]。

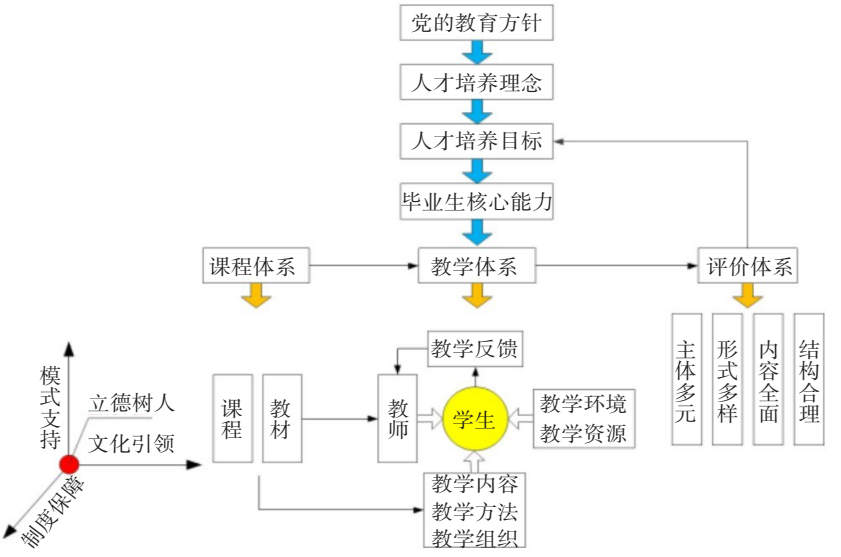


图1　高职院校人才培养体系框架

（二）以产教融合为主线

产教融合是我国职业教育的模式创新，体现中国特色，为世界

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

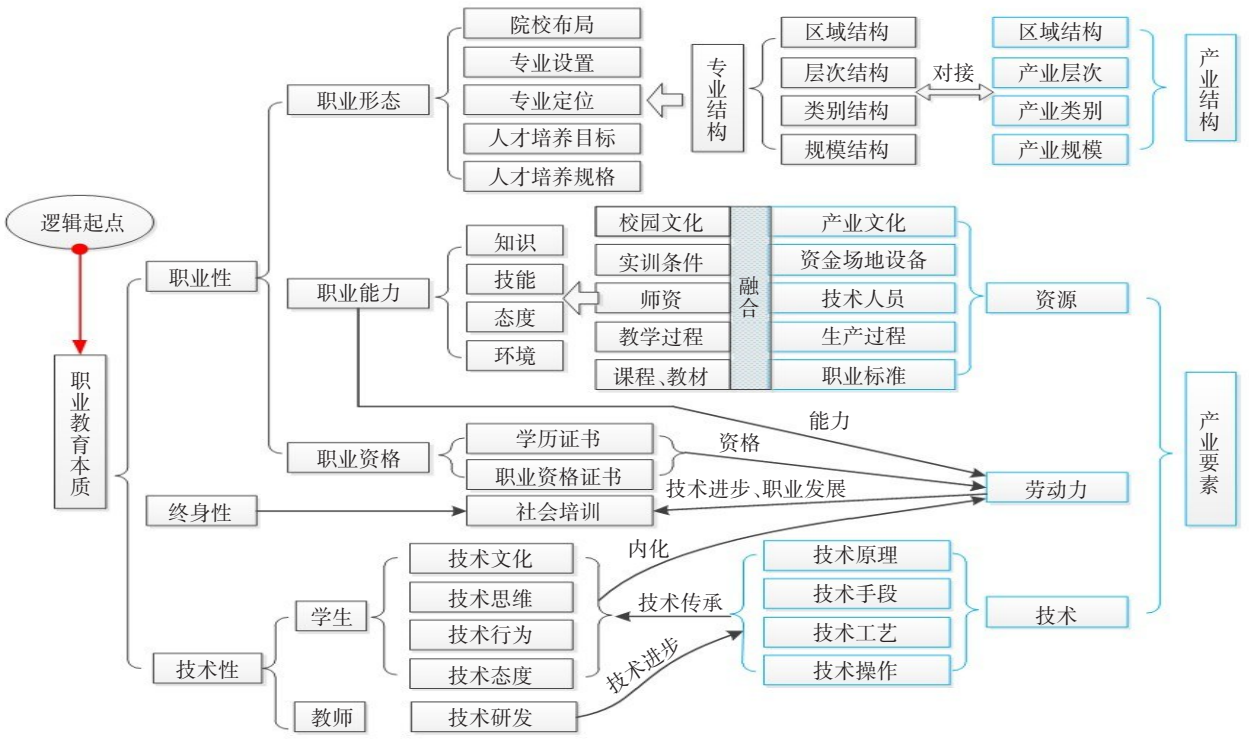


图2　职业教育产教融合的应然之态

职业教育贡献了中国方案。高职教育首先要厘清产教融合的内涵，寻找产教融合的逻辑起点，使其成为我国职业教育理论的重要组成部分。其次要以产教融合为主线，使其贯穿高职教育的院校布局、专业设置、人才培养、社会服务等各个环节，不断提升人才培养质量，服务经济社会发展。

如图2所示，以职业教育本质属性——职业性、技术性、终身性为逻辑起点[3]，将教育要素与产业要素对接，探究职业教育的内涵。一是职业教育专业结构与产业结构对接，包括区域结构、层次结构、类别结构以及规模结构等，根据区域产业转型升级和技术进步，及时调整院校布局和专业设置，科学确定教育目标和人才培养规格，使技术技能人才无论在数量上还是规格上更好地适应产业发展，体现以就业为导向的办学理念。二是将教育资源要素与产业资源要素相融合，培养学生的职业能力。将产业（行业、企业）的技术人员、设备、工艺流程、生产案例、职业标准、文化等要素资源融入教学，并创设相应的职场氛围，培养学生的知识、技能和态度，提升学生的职业能力，实现就业岗位零距离对接。三是加强技术研发，以研促教。大力提升教师的技术研发能力和行业影响力，重视教师的行业气质养成，推动教师为行业企业开展技术研发，在促进企业技术进步的同时，将行业企业的最新技术成果和案例融入课堂，以培养学生的技术思维、技术态度、技术文化和技术行为。四是面向行业企业开展社会培训。秉持终身教育和终身学习理念，密切关注企业技术进步和员工自身发展需求，面向行业企业员工开展社会培训。五是开发“教育职业标准”。目前，我国职业院校所取的职业资格证书是人社部颁发的，一方面，人社部的职业资格标准并不完全适合职业教育，另一方面，自2013年开始，国务院分7次取消了434项职业资格许可，只保留了140项，显然无法适应高职高专747个专业，因此需要行业部门联合教育部门开发适合职业教育的“教育职业标准”。

近年来，我国职业教育在深化产教融合方面进行了诸多模式创新和路径探索，国家层面，持续推进办学体制和管理体制改革，调整重组62个行指委，分三批通过了560家现代学徒制试点单位，组建了1 400多个职教集团；举办70多次产教对话

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

活动，与行业企业制订了一整套教学标准。学校层面，通过“校中厂”“厂中校”、订单培养、顶岗实习以及校企共建师资队伍、实训基地和教学资源等诸多途径，使产教融合不断深化。尽管如此，“校热企冷”的局面并没有得到根本转变，下一步应通过完善立法、创新机制、开辟途径，发挥行业协会的关键作用，建立产教深度融合的长效机制，重点是“教育型企业”的认定和“教育职业标准”的开发，实施“1+X”证书制度。

四、以专业群建设为突破口，以人才培养质量为核心

（一）以专业群建设为突破口

中国特色高水平高职院校建设要统筹考虑课程、专业和专业群的一体化建设，以课程建设为基础，以特色核心专业建设为着力点，以专业群建设为突破口。课程是教育学概念，而高职课程源于技术、职场与工作岗位并使其项目化，同时融入有用的学科知识，以培养学生的职业能力——技术知识、职业技能和职业态度；专业是一个社会学概念，指专门学业或专门职业[4]，专业是由一组课程组成的，围绕一个培养目标组成的课程群就是一个专业；专业群是教学管理概念，为了实现教学资源优化和柔性化的教学组织，对接产业链和职业岗位群，将学科同级、技术知识相近、职业领域相关的专业组成专业集群，并以此为基础组建二级学院。

高职专业群建设主要目的有三个：一是突出与产业链对接，与职业岗位群对接，使专业在服务区域经济社会发展中形成合力，具有更强的竞争力；二是优化资源配置，使课程资源、师资队伍、实训基地和校企合作平台实现共享，提升资源利用效率，避免资源重复建设；三是实现教学组织的柔性化管理，凸显灵活性、开放性和协同性，提高专业适应性。专业群建设框架如图3。

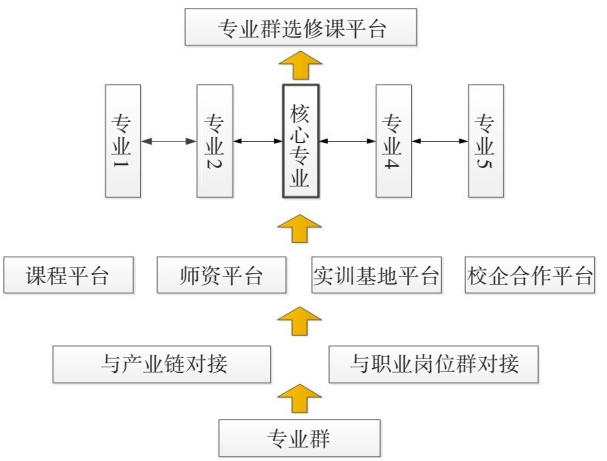


图3　专业群建设框架

专业群建设的逻辑是，首先确定一个核心专业，之后根据产业链延伸和职业岗位群扩展选择相关专业入群。专业群建设必须以特色核心专业建设为着力点，纵观世界著名职业院校，无不是以特色核心专业为支撑的，如英国诺兰学院的家政服务专业，瑞士洛桑酒店管理学院的酒店管理专业，日本京都精华大学的动漫专业，美国烹饪学院的烹饪专业等。特别是入围“特高计划”的高职院校，特色核心专业既代表学校水平，也代表国家水平和世界水平，因此必须选择产业需求旺盛、行业影响力大、师资力量强、实训条件好、教学理念先进、校企合作深入、技术技能积累深厚的专业作为专业群的核心专业。

以专业群建设为突破口，就要基于专业群开发课程体系及相应课程，这无疑对高职院校的教师提出挑战。教师要深入研究群内专业共性的技术知识点和技能点，以便开发共享平台课程；要深入研究产业链的上下衔接和各职业岗位的特点，使各专业模块课程成为有效衔接和深度融合的整体；要充分考虑学生的职业生涯规划和兴趣，开发数量充足的专业群选修课，供群内各专业学生选修，从而“构建底层可共享、中层可融合、上层可互选的专业群课程体系”[5]。基于专业群开发的课程体系是一个比较复杂的系统，需要一个课程地图，给学生提供一个清晰的学习路径，使学生能够根据自己的职业生涯规划去选择就业岗位，同时知道该岗位应具备哪些核心能力、需要修习哪些课程、修课顺序以及各课程之间的关系[6]。

课程是学校真正的产品，是专业和专业群的基本构成单元。如果我们将学校比喻成一个“展厅（超市）”，学生就是“顾客”，专业群就是“展区”，专业就是“展柜”，课程才是琳琅满目的“商品”。高职专业的课程开发应按“悉尼协议”范式，秉持以学生为中心、以成果为导向、持续改进的教学理

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

念，采用逆向设计原则，根据需求确定专业培养目标，根据培养目标确定毕业要求，而课程（体系）开发必须能够完全支撑毕业要求，一般采用课程矩阵表达二者之间的对应关系[6]。

课程资源建设是课程建设的重要组成部分，目前我国高职课程资源并不少，包括国家、地方和院校层面的专业资源库、精品资源共享课等，此外院校的各种碎片化数字资源也很多，但这些资源的利用效果并不是很理想。究其原因，一是没有充分调动教师的积极性，项目均采用招标形式，由中标企业来做，而企业技术人员对教育教学规律理解不深，脚本设计能力有限，因此资源质量不高；二是资源制作时间太短，目前资源制作项目一般是当年下拨经费，当年结项，在这么短的时间内，不可能制作出高质量的教学资源。如何充分调动教师的积极性，承认教师的劳动，使每一个资源都成为精雕细琢的精品，从而提高资源的质量、利用率和应用效果，需要政府和学校从机制上加以解决。

（二）以人才培养质量为核心

要确保人才培养质量，必须解决好两个关键环节，一是人才培养定位和面向，二是提高课堂效率和效果。高职教育首先要解决专业人才培养面向和人才培养目标定位问题。改革开放初期，高职教育还没有形成自己的教学标准，模仿普通本科教育，基于学科体系开发课程，使学生掌握系统的学科知识。国家示范校和骨干校建设期间，打破了原有的学科体系，面向岗位，开发工作过程系统化的课程体系，这一转变更符合职业教育规律，是一个巨大的进步。但经过多年实践，人们发现这一模式过于强调技能而轻视技术，强调眼前就业而忽略了学生的长远发展，强调毕业生的社会属性而忽视了人的全面发展。“十二五”期间，提出了高职教育要培养“产业转型升级和企业技术创新所需要的发展型、复合型、创新型技术技能人才”，根据这一定位还提出了“强调技术、注重技能、鼓励创新、兼顾人文、综合发展”的高职人才培养思路[7]，这一提法很好地解决了高职人才培养面向和人才培养目标定位问题，具有很强的科学性和前瞻性。尤其在今天，随着工业4.0和智能化时代的来临，业态发生了根本性变化，工作过程去分工化、人才结构去分层化、技能操作高端化、工作方式研究化、服务与生产一体化[8]，这就需要高职人才培养模式进行根本性变革，高职毕业生的发展潜质、复合特征和创新能力显得尤为重要。至于人才培养面向，从国家和院校层面说，就是面向区域经济社会发展、面向产业转型升级，而从学生个体层面说，应该是面向职场。因此，高职院校必须坚持面向未来职场的专业教育理念，坚持职业性和专业性相统一，面向未来职场，培养的毕业生要满足职场能力需求、能融入职场文化、会整合利用职场资源并接受职场检验[9]。

高职院校一切工作都应紧紧围绕人才培养质量提升这个核心，无论是专业群建设、专业建设、课程建设、课堂教学，还是师资队伍建设、实训基地建设、信息化建设、教学诊断与改进等，所有环节都是为了提升人才培养质量，缺一不可，但所有环节中，课堂教学（含实践教学，后同）无疑是最重要、最核心、最直接的环节，学生的价值观塑造、知识获得、技能提升、素质养成也主要是在课堂上实现的，一定意义上说，课堂教学质量就代表了人才培养质量，抓住课堂教学质量就抓住了人才培养质量的“牛鼻子”[10]。高职院校学生基础较差、主动学习的积极性不高，逃课、迟到现象严重，学生上课能够认真听讲的比例不高，这些都是不争的事实。因此，如何转变教师教的理念，调动学生学的积极性，提升课堂效率和教学效果，打造“金课”，是高职院校建设必过的关口。课堂改造的关键就是坚持“以学生为中心”——以学生的学习为中心、以学生的发展为中心，建立自主、探究、合作、交流的课堂，将“师本课堂”转变为“学本课堂”，将“知识传递”课堂转变为“知识建构”课堂，将“单向控制”课堂转变为“多元民主”课堂[11]，将“知识课堂”转变为“学问课堂”，将“句号课堂”转变为“问号课堂”。以学生为中心的课堂改造关键在教师，高职教师要深入研究高等职业教育教学规律和人才成长规律，转变教育教学理念，转变教学方式、方法和手段，转变角色，重塑职责，从

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

而增强课堂教学活力，提升人才培养质量。从这个角度说，对高职教师进行教学能力提升的培训显得尤为重要。

五、以文化建设为引领，以院校治理为保障

（一）以文化建设为引领

高职文化是高职院校的灵魂，也是高职院校最核心、最持久和终极的核心竞争力。高职虽然也具有高等教育属性，然而高职文化与一般的大学文化有很大差别，如大学追求的“崇尚学术、高深知识”等理念就不适合高职文化，因此高职院校必须坚定追求自己文化的自觉，并从文化自觉走向文化自信。高职文化建设还是要回到高职教育本质属性“职业性”和“技术性”的逻辑起点[3]，通过深化产教融合、校企合作，将职业文化和技术文化融入到校园文化，从而形成中国特色的高职文化。

“职业文化是人们在长期职业活动中逐步形成的价值观念、思维方式、行为规范以及相应的习惯、气质、礼仪与风气。它的核心内容是对职业使命、职业荣誉感、职业心理、职业规范以及职业礼仪的自觉体认和自愿遵从[12]。”为了使学生将来更好地面向职场、适应职场，学生在校期间应该受到良好职业文化熏陶，使职业文化像空气一样充盈校园。职业文化融入校园文化是一个长期的积淀过程，其前提是坚持产教融合、校企合作、工学结合、知行合一，使教育教学过程与企业生产过程融合，让学生在真实的职业环境和职场氛围中学习，才能使学生真正了解职业文化、尊崇职业文化，同时职业技能大赛、创新创业、技能大师工作室等也是职业文化建设的有效途径。

技术文化是关于技术实践的文化，包括技术的目标、价值、伦理、信仰、意识和创造力等[13]。高职教育的基本功能就是传承技术、创新技术，但在技术的传承与创新过程中，我们过分强调技术的工具理性，而遮蔽了技术的价值理性，忽略了技术的价值、伦理、信仰，最终会导致技术的异化。技术文化的本质就是关于技术的“真美善”，技术文化建设目的就是使人们“诗意地栖居于技术世界”[14]。在高职技术文化建设过程中，首先要培养学生的“求真”精神，即求真务实的科学精神、开拓进取的创新精神、精益求精的工匠精神；其次，培养学生的“尚美”精神，“技”与“艺”本是同根同源，在传授给学生技术的同时，要重视对技术的审美观照，挖掘技术产品（作品）的材质之美、形状之美、色彩之美和秩序之美，探究技术大师的审美观念、审美情趣和审美理想，使学生学会创造美、体验美和评价美；再次，培养学生的“向善”情怀，让学生正确理解“技”与“道”的关系，形成“由技至道”“以道驭术”技术文化理念，从而更好地协调现代技术各要素之间的关系，有利于消除技术进步带来的负面影响，有利于消解技术的异化，同时实现人的自由和全面发展。

高职文化建设需要参照大学文化，融入职业文化和技术文化，经过长时间积淀，提炼出独具特色的高职理想、高职精神、办学理念、办学定位，以社会主义核心价值观为引领并形成自己的校本核心价值观，从而形成高职的精神文化、制度文化和物质环境文化。高职文化建设的关键：一是要有具有远见卓识、善于治校的校长，有一大批德技双馨的教学名师和技能大师；二是要深化产教融合、校企合作，坚持工学结合、知行合一；三是要形成良好的教风和学风；四是要通过图书馆、校史馆、实训场地、校园环境建设，充分体现自身独特的文化符号。

（二）以院校治理为保障

高职制度文化是高职文化的重要组成部分。经过40年发展，高职院校形成了“党委领导、校长负责、教授治学、民主管理”的治理结构。高职院校提升治理水平仍然任重道远，需要进一步明确治理主体，完善治理结构，创新治理机制，逐步从“管理”走向“治理”，再走向“善治、良治”。高职院校治理包括内部治理和外部治理两个方面，因此治理主体不仅仅是校内主体，还应有外部主体，包括政府、行业企业、社会利益相关方，因此高职院校治理结构应该向“政府有限主导、党委领导、校长治校、教授治学、民主管理（监督）、企业参与、社会监督（评价）”的方向发展[5]，处理好政府、学校、市场三者的关系，明确各主体的责权利边界，充分调动各方积极性，采用民主协商的原则合作共

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

治。限于篇幅，本文只谈谈外部主体。

首先是学校治理与政府的关系。我国职业院校治理从最初的“政校合一”发展到现在“府管校办”模式，这一变化释放了高职办学活力，促进了高职的大发展。但“府管校办”模式仍然存在一些问题，政府与学校的责权边界不清，政府过度干预，使得高职院校办学自主权难以落实，在经费使用、人才引进、物资采购、校企合作、国际交流等诸多方面受到限制，严重制约了高职院校的发展[15]。因此，政府应减少通过文件的形式对高职院校的直接干预，一方面运用立法、拨款、规划、监督对高职院校进行宏观管理，另一方面通过标准制定、信息服务、协调服务等进行宏观引导，从“府管校办”向“有限主导、合作共治”转变，真正落实高职院校办学自主权。

其次是学校治理与行业企业的关系。所谓以产教融合为主线，就是行业企业参与到高职院校办学的各个环节，包括院校布局、专业设置、教育教学、招生就业、师资队伍建设、实训基地建设、技术开发、社会培训、文化建设以及学校治理等。行业企业是高职院校治理的重要主体，必须参与到学校的决策中，当前通行的做法就是建立校企合作理事会（董事会）。高职院校要认识到市场参与对学校发展的重要性，要展示出开放办学的诚意和胸怀，厘清理事会与校党委、校行政的关系，完善理事会章程，明确理事会职能，真正发挥理事会的治理决策监督作用。

第三是学校治理与社会的关系。随着高校“管办评”分离逐步落实，社会专业组织与第三方评价机构的作用将会凸显，这些机构将承担起高职院校办学的评价职能和监督职能，在政府与学校之间架起桥梁，为政府的决策提供参考，为学校的办学把脉开方。社会专业评价组织必须秉持公正性、中立性、公益性，具备专业性和权威性。

六、结语

“中国特色高水平高职学校和专业建设计划”是落实《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》（国发〔2014〕19号）的重大举措，也是继国家示范校和骨干校建设之后又一次重大行动，这一计划的实施，必将对我国职业教育事业的发展产生重大和深远影响，也将为各高职院校提供难得的发展机遇。由于相关文件还没有下发，项目尚未启动，本文只是进行前期的学术探讨，谨供参考。

参考文献：

[1]于雷，王娟.高等职业院校特色发展的路径与机制[J].高等工程教育研究，2010，(6)：109-113.

[2][美]德里克·博克.回归大学之道——对美国本科教育质量的回顾与展望[M].侯定凯，梁爽，陈琼琼，译.上海：华东师范大学出版社，2007.

[3]刘斌，邹吉权，刘晓梅.职业教育产教融合的逻辑起点与应然之态[J].中国高教研究，2017，(11)：106-110.

[4]周光礼.“双一流”建设中的学术突破——论大学学科、专业、课程一体化建设[J].教育研究，2016，(5)：72-76.

[5]任占营.新时代高职院校强化内涵建设的关键问题探析[J].中国职业技术教育，2018，(19)：53-57.

[6]邹吉权，刘晓梅，牟信妮.高职成果导向的教学设计与实施[J].中国职业技术教育，2018，(20)：26-32.

[7]董刚，邹吉权.高职教育技术技能人才培养标准及途径研究——以模具设计与制造专业为例[J].职教论坛，2014，(15)：4-7.

[8]徐国庆.智能化时代职业教育人才培养模式的根本转型[J].教育研究，2016，(3)：72-78.

[9]查建中.面向职场情境的工程教育改革研究——兼谈人力资源市场供给侧结构性改革[J].高等工程教育研究，2017，(2)：57-71.

[10]卫建国. 以改造课堂为突破口提高人才培养质量[J].教育研究，2017，(6)：125-131.

[11]韩立福.学本课堂：概念、理念、内涵和特征[J].教育研究，2015，(10)：105-110+135.

[12]王文兵，王维国.论中国现代职业文化建设[J].中共长春市委党校学报，2004，(4)：71.

[13]何兴国，王炜波.技术文化：高职文化建设新视野[J].江苏高教，2015，(5)：137-139.

[14]程宜康.技术文化——技术应用型人才培养的文化育人论[J].职教论坛，2016，(24)：14-19.

[15]赵锋.利益相关者视角下的高职院校治理机制探析[J].职业技术教育，2018，(8)：6-10.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中国制造 2025 背景下高职学生工匠精神的培养探究

李陇梅　张海伟　李建国

（天津职业大学，天津 300410）

摘　要：当前“中国制造 2025”“大众创业、万众创新”等已成为当今社会热门话题，高职院校培养具有工匠精神的高素质技术技能人才具有重要的现实意义。在分析当前高职院校工匠精神的培养现实基础上，提出中国制造 2025 背景下高职学生工匠精神培育的有效途径，从而为高等职业教育人才培养提供借鉴意义。

关键词：中国制造 2025；工匠精神；高职；培养

中图分类号：F24　　文献标识码：A　　doi：10.19311/j.cnki.1672-3198.2020.29.040

0　引言

中国制造 2025 是我国在重塑国际产业分工的格局下提升制造业，加快转变经济发展方式的重大战略。由高职院校培养的人才将是这一伟大战略的重要实践者。习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会的报告中明确指出：“建设知识型、技能型、创新型从业人员，弘扬劳模精神和工匠精神，营造劳动光荣的社会风尚和精益求精的敬业风气”。李克强总理在 2016 年和 2017 年政府工作报告中指出：“鼓励企业开展个性化定制、柔性化生产，培育精益求精的工匠精神”“要大力弘扬工匠精神，厚植工匠文化”。工匠精神是创新创业的基础，创新精神是工匠培养的必然要求。负责培养高端技术技能型人才的高职院校应将工匠精神的培养纳入职业教育全过程，全面提高适应国家强国建设需要的人才培养质量。发展的需要。在分析培养职业学生工匠精神的必要性的基础上，本文分析了现阶段高职院校工匠精神培养的现状，探索了中国制造 2025 视野下高职学生工匠精神的培养途径，以期为高职院校的人才培养提供借鉴和参考。

1　高职院校工匠精神的培育现状

第一，高职院校缺乏工匠精神培养的顶层设计和工匠精神培养的长期规划。

高职院校对工匠精神的培养没有给予足够的重视，在中国制造 2025 时代的呼唤下，一些高职院校没有意识到紧跟教育改革和培养更多工匠精神的重要性，也没有在思想上关注相应的内容。如果高职院校不加以重视和进行更多教育教学实践活动，将无法培养更多的技术熟练人才在工匠精神方面发挥作用。高职院校不重视对技术技能型人才的专业素质的培养，会使将来技术人员的专业素质和专业自豪感远远落后于国外，这也是今后需要改变的一大现象。向于强调技能，轻视素养，工匠精神通常置于教师和管理人员的教育视野之外。他们并没有真正把握中国制造 2025 内涵背景下的高职院校工匠精神的深刻性。高职院校的工匠精神不仅要继承历史工匠的优良品质，还要根据时代背景和自身特点进行创新。高职院校尚未真正建立起培养工匠精神的有效途径。

第二，高等职业教育院校的教师和行政管理人员思想观念不够重视。

高职院校倾向于强调技能，轻视素养，工匠精神通常置于教师和管理人员的教育视野之外。他们并没有真正把握中国制造 2025 内涵背景下的高职院校工匠精神的深刻性。高职院校的工匠精神不仅要继承历史工匠的优良品质，还要根据时代背景和自身特点进行创新。高职院校尚未真正建立起培养工匠精神的有效途径。

第三，办学理念注重技能和人文科学，忽视工匠精神的文化特征。

在高职院校的教学内容设计中，已经存在职业道德教育有关的内容，还应努力培养大学生的工匠精神，工匠精神是毕业生赢得长久职业发展的基本素质，在求年期间理应接受手工匠精神的教育。但是，由于一些高职院校长期倾向于教学实践活动中强调技能和人文精神，而忽略了工匠精神的文化本质，导致缺乏在校园内培养手工艺精神的土壤，没有一种文化可以培养学生的工艺精神，自然很难取得良好的教育效果。

2　中国制造 2025 背景下职业院校学生工匠精神的培养途径

2.1　打造适合工匠精神培养的校园文化

校园文化始终是学生素质教育的载体，引导学生的思想和做事方式，建设校园文化，加强校园工匠精神文化建设。丰富学生的专业精神、丰富学生的文化视

基金项目：“十三五”天津市高等职业教育教学改革研究项目“中国制造 2025 视域下高职学生‘工匠精神’的培育研究”（2018082）。

作者简介：李陇梅（1980—），女，硕士研究生，讲师，研究方向为职业教育。

中国知网　https://www.cnki.net

野、丰富学生的文化生活。因此，高职院校应积极创建校园文化，将工匠精神和企业文化以具体的教育方式融入校园文化活动中，进一步传播和弘扬工匠精神。一是开展体现工匠精神的校园文化活动，如举办以工匠精神为主题的班会、编写弘扬工匠精神的作文活动、组织学生创作各种工匠精神宣传标语等。二是积极引进优秀企业文化，开展“工匠进校园”等主题活动，邀请公司优秀员工到学校演讲，让学生深刻理解优秀企业文化和工匠精神的重要性。充分利用校园广播、校园网、微信等平台，弘扬工匠精神。高职院校应同等重视技能和素养，尤其要加强以工匠为核心内容的校园文化建设。应包括先进的企业文化，例如职业规划和 6S 管理。另外，宿舍文化和实训基地文化，车间文化和技能竞赛文化也应纳入工匠精神文化。

2.2 将工匠精神的实施与思政课程的教育相结合

在培养工匠精神的过程中，高职院校通常会越来越重视对专业课程的教学，而实施工匠精神是当前形势的需要，它不应与思想政治课程的教学分开。相反，可以利用高职思政课程锻炼学生的个人道德，使其成为培养学生职业素养的主要途径：首先，从思想政治课程体系入手，将工匠精神教育纳入《思想道德修养与法律基础》之中，在思政课程的教学大纲和教学计划中，重点向学生灌输工匠精神和职业精神的思想，使学生能够充分理解思想政治课对培养学生的意义。其次，高职院校对思想政治课给予更多的支持，开展企业参观，参与工厂的生产活动，将企业案例纳入思想政治课，或者要求各行业有代表性的能工巧匠参加思想政治课的教学，与学生分享他们的故事，并让学生在参观工匠的技术成就时感到工匠对职业的奉献和专注，使工匠精神的培养成为一种自觉，将工匠精神的培养纳入学生素质教育的重要组成部分。

2.3 深化产教结合和校企合作

校企合作、产教融合是发展高职教育的必由之路，是培养创新型人才的重要举措。高职院校要进一步深化产学研结合，加强学校和企业、行业合作。政校企行合作应建立长效合作机制，实现校企人员培训内容与企业员工培训内容的无缝衔接，让高职学生参与公司的生产实践中，对合作公司的生产活动有深刻的了解，认识到工匠精神和专业技能是人才的基本要求。通过校企合作和产学结合来培养工匠精神，校企合作和产学结合是人才培养模式的创新，是培养工匠精神的重要途径。通过校企合作，学生进入企业，将在学校学到的知识和技能整合到实践中，并进一步提高自己的实践能力。在企业中，学生感受到工匠精神更加真实和直接。在企业中，有熟练的企业技术人员作为大师，这些具有工匠精神的大师在学生日常工作中对培养工匠精神起着领导作用。校企合作，产学结合的校企合作模式，为培养大学生的工匠精神奠定了重要的平台。校企合作和定心追求工匠精神，是培养学生工匠精神的“制高点”。高职学生真正具有工匠精神，不仅要有足够的理论知识，还必须具有相关的实践技能，还必须努力求精和创新。培养和塑造学生的工匠精神还不足以仅仅依靠高职院校的培养，这也是不现实的。尽管高职院校可以模拟企业的运作项目软件和硬件，但是由于时间的原因，这种模拟操作决定了它的短期性。而且，生产和运营过程中的各种变化永远无法预测。另外，学生在实践中没有接触到企业的文化影响，企业的发展缺乏对未来趋势的全面理解和预测。因此，通过专业的行业指导是培养学生工匠精神的必由途径。

2.4 课堂教学与课外活动相结合

高职学生的学习习惯、智力类型、知识结构和学习特点决定了实践是内化工匠精神的最佳途径。只有通过实践体验，学生才能在专业技能学习中感受到真善美，理解技术的人文价值和社会意义，培养学生的技术技能和实践智慧，提高人文素养，因此，每门课程都能成为一种弘扬的载体和渠道工匠精神。在学习知识的同时，学生可以领会工匠精神无处不在。在校园内外进行丰富多彩的课外活动，通过各个专业动手能力的比赛，使学生能够积极参与，通过表彰优秀的获奖者，不仅可以提高学生的专业技能，而且可以不断地让学生在活动中下意识地体验工匠精神的实际效力，并积极地实践卓越和奉献精神。工匠精神的培养制造了推崇实践和重视技能的文化氛围。再有，高职院校的学生工作部门可以继续加大力度开展学生的各种活动，例如校园培训、志愿者活动和校园技能比赛，真正将工匠精神落在实处，运用于身边的每一件小事里。

3 结语

工匠精神不仅是行业的行为准则，而且也是企业创建品牌和提高品牌的保证，更是服务中国制造 2025，实现“中国梦”，是我国的重要保证。本文分析了当前职业院校培养工匠精神的不足，分析了中国制造 2025 背景下高职院校培养工匠精神的途径，将工匠精神融入教育平台，培养具有工匠精神的高素质技术技能人才，持续提高高职院校人才培养的质量，为把建设成制造业强国、实现中国制造 2025 战略目标和津京冀区域经济发展服务。

参考文献

[1] 付守永. 工匠精神：向价值型员工进化[M]. 北京：中华工商联合出版社，2013.
[2] 蔡湘文. 中国制造视域下高职双主体的校企深度合作的对策研究[J]. 教育，2016，(9)：265-266.
[3] 杨红荃，苏维. 基于现代学徒制的当代“工匠精神”培育研究[J]. 职教论坛，2016，(16)：27-32.
[4] 孟源北，陈小娟. 工匠精神的内涵与协同培育机制构建[J]. 职教论坛，2016，(27)：16-20.

中国知网 https://www.cnki.net

中国制造2025视域下职业院校技能竞赛与工匠精神培养的研究①

李建国,刘 洋

(天津职业大学,天津 300410)

[摘 要] 中国制造2025计划对潜藏于职业院校内部的工匠精神提出了更多更高的要求,它一直要求在我国现代职业技术教育的背景下,要通过抓住中国制造2025的机遇来进行职业教育。这就要求我国现代教育人员尤其要在未来职业教育发展的过程中全方位地培养学生的工匠精神。同时,也要充分重视广大职业院校所举办的各类技能竞赛,并在现有体制下通过调整职业教育的目标来全面培养工匠精神。

[关 键 词] 中国制造2025视域;职业院校;技能竞赛;工匠精神;培养策略

[中图分类号] G711 [文献标志码] A [文章编号] 2096-0603(2019)07-0041-03

早在2016年,全国两会就将“工匠精神”提上了日程,高职院校作为我国输送技能型人才的摇篮和场所,为培养新时代的工匠人才助力良多。高职院校使得更多有着优秀技能的学生有更多成长和发展的空间,从而为自己谋得一定的社会地位。新时代背景下,大力弘扬“精益求精”的工匠精神已经成为大家都非常重视的问题。而到了2017年,对高职教育提出了更高更新的要求,广大高职院校尤其应该在积极跟进中国制造2025计划的基础上更加全方位地培养专业的工匠代表人才。本文主要就中国制造2025视域下职业院校技能竞赛与工匠精神的培养进行全方位的研究,希望能够给大家更多的参考性意见和建议。

一、中国制造2025视域的概念

所谓中国制造2025,指的是中国政府在实施制造强国战略基础上的第一个十年行动纲领。在中国制造2025的概念里,提出要坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针,坚持“市场主导、政府引导,立足当前、着眼长远,整体推进、重点突破,自主发展、开放合作”的基本原则,并最终通过“三步走”实现制造强国的战略目标。根据中国制造2025视域的概念,我国是通过“三步走”的战略来总体实现制造强国的战略目标:第一步,到2025年迈入制造强国的行列;第二步,到2035年,中国制造业的整体达到世界制造强国阵营的中等水平;第三步,到新中国成立100年时,制造业大国地位更加巩固,综合实力跨入世界制造强国前列。

二、工匠精神的概念

工匠精神本身属于一种非常难能可贵的职业精神,它本身也是职业道德、职业能力和职业品格的完整体现,同时也是从业者一种非常重要的职业价值取向和行为表现。工匠精神的基本内涵主要包括敬业、精益求精、专注和创新等多个方面的内容。

总体而言,工匠精神是社会文明进步的一种重要的尺度,也是中国制造业最主要的精神源泉。在企业的发展过程中,工匠精神是品牌得以持续发展的根本,也同时在员工道德成长中发挥着非常重要的作用。所谓“工匠精神”指的就是员工追求卓越品质的创造精神,同时也是一种非常重要的品质精神,至诚为客户服务。

三、技能竞赛的内涵和作用

每一所高职院校本身都有自身独特的生活方式、行为规范、思维方式和价值观念,其本身也属于在这个范围内人与人交流和普遍被认可的一种意识形态。其实每一所高校在办学的过程中都会有属于自身的特色文化。又由于高职院校本身就有其特殊性,因此在人才培养的过程中更加以“职业技能性”为重,更需要在此过程中融入更多的职业特征。而高职院校的整体文化主要包括职业技能、职业素养、职业道德和有关职业的其他概念。

职业教育在其教育的过程中,主要是以技能竞赛作为检测

①天津市教委“十三五”教育教学改革研究重点项目“中国制造2025视域下高职学生创新创业与工匠精神耦合提升研究”(项目编号:JY20170102)。

作者简介:李建国(1973—),男,汉族,河北邢台人,本科,高级实验师,研究方向:产教融合数控实训教学。

刘洋(1982—),男,满族,山东人,硕士,实验师,研究方向:产教融合数控实训教学。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

人才的主要和重要手段的。而技能竞赛本身也是以国家职业技能为标准，再结合企业生产和实际经营的主要仿真流程来全面设定特殊的项目和生产经营任务，从而更加全面地规定在主要竞赛的时间内学生是否能够学习到应该有的知识和技能，并更好地帮助学生解决实际的问题。最根本的目的是能够在赛前学习、赛前培训、赛前竞技和赛后评价等整个过程中来体现师生合作和竞争的意识，从而全方位地展现高职院校学生的整体素质。

而在“中国制造 2025 视域”下，整体职业竞赛技能将会体现出团结、合作、公平和竞争精神的聚合，并有效地通过学生、院校和技能之间的较量来达到全面提高学生职业技能、职业思维和综合素养的目的[2]。最终的目的是帮助学生在确立职业理想的基础上更好地锻炼各自的职业技能，从而让更多的学生在遵守职业道德的基础上来提高其综合职业素养。应该说，在“中国制造 2025 视域”下重视职业竞赛和竞赛文化，那么也就能够在很大程度上更好地推动高职院校的专业建设和课程的改革，并在最后促进学生创新和创业能力的提升。技能竞赛文化也成为高职校园文化中非常重要的组成部分。

四、中国制造 2025 对竞赛文化提出的新要求

随着时代的不断发展和新一轮科技革命和产业革命的不断深入，新一代的信息技术正在和制造业更快更好地融合在一起，并迅速在全世界范围内引发非常深远的影响。而面对经济发展的新态势，我国的很多产业都已经成功实现了转型升级，并在此过程中更好地实现了跨越式发展。中国制造 2025 规划是结合目前中国发展的情况制定出的新规划。而在这份规划中，最根本的方针就是“以人才的培养”为根本。这其中的内涵包括以制造业的发展为基础来全方位地培养技术人才和技能人才，并在此过程中更好地强化职业教育和技能培训。

当前，我国的职业教育主要包括高职教育，培育学生最基础的理论知识和基本的职业技能。很多高职院校的学生在企业发展的过程中出现了解决实际能力不强和创业创新意识较薄弱的现象。而在“中国制造 2025”的背景下，我国高职院校的教育主要是以数字化、智能化和多变性为根本特征。这也就是说，在新时代的背景下，通过培养和训练学生来全面提高学生的职业技术已经成为最根本的目标。

五、中国制造 2025 视域下职业院校技能竞赛培养新策略

（一）通过竞赛来更好地培养学生的创新能力和技能水平

早在 2008 年，我国就已经开始举办相关的全国职业院校技能大赛。而每一届的主题多数围绕“竞赛点亮人生，技能改变命运”展开。每一所高职院校都会结合学生自身的专业特色、人才培养目标和重点工作等内容提出“技能创造生活”的主题，力争能够以以上主题为基础，更好地立足高职学生个人职业理想和个人价值展开追求。但其实这些浅层次的追求不太符合中国制造 2025 过程中提出的关于高技术人才和高层次人才的相关要求，并且也不利于最终创新定位。

即便信息化和网络时代的到来，高技能人才在国家社会的发展中依然都占有非常重要的地位。所谓的中国制造 2025，一方面是让有关人员能够有更严谨的工作态度和更良好的职业作风，另一方面也是为了培养更具有创新意识和创新能力的现代工匠。因此，在每一次技能竞赛过程中，大家都应该要考虑到这两个方面的因素。而学生本身的技能水平和创新能力对其今后的发展也有着非常重要的作用。

（二）将技能竞赛的项目和国家产业转型升级的目标更好地结合起来

中国制造 2025 中就已经有过以下的内容：世界各国都在移动互联网的基础上更好地在新能源、大数据、智能型家居和 3D 打印等方面有所突破。而其实我国制造业已经处于转型升级的关键阶段，为了能够给我国制造业的发展输送更多有用的人才，特别需要我国的高职院校全方位提供人力、物力和财力的支持。现在的高职院校技能竞赛上有关工业机器人、3D 打印和工业模具等比赛项目，以往比赛过程中所使用的模拟机器人已经被换成了工业级别的机器人，这样更多的学生都能够更好地接触企业中的真实机器人。

此外，在之后的国家级、省级、市级和院校级别的技能竞赛中，所有奖项的设计都要与制造业和“互联网+”相联系。此外，对我国职业院校竞赛中的健康生活和绿色环保也都提出了更高的要求，这在一定程度上是对中华优秀传统文化的一种继承和发展。

（三）通过让企业更多地参与技能竞赛来促进校园和企业的合作

在中国制造 2025 的战略和任务中，主要提到了与国家制造业创新能力有关的能力。在这个过程中尤其要以企业为主

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

导，市场导向为重要基础，并在最后坚持发展产学研相结合的创新体系。高职院校的发展坚持以培养高素质人才为最根本的目标。因此，所有类型的高职院校技能竞赛尤其要更加全方位地体现企业内部的文化，最终鼓励有着更加先进技术和企业文化的企业更多地参与进来。最好能够在职业院校进行技能大赛的过程中全方位提供包括训练场地、训练设备和各类先进培训人员等多种有利条件。

而企业秉持着为未来发展选拔优秀人才的理念，尤其需要在广大技能竞赛中甄选出优秀的人才，可以考虑通过与高职院校进行深度合作来更好地进行回馈和互动。例如，可以通过招聘拥有优秀技能的获奖选手，再在开设“订单班”的基础上更加深入地打造技术性人才。

六、中国制造 2025 视域下培养工匠精神的策略

（一）更新人才培养的理念

在中国制造 2025 视域下，新时期的工匠人才一定要在具备较扎实的理论的基础上有更强的实践能力和创新精神。在高职院校，知识结构上尤其要将自然科学知识、技术技能和人文修养更好地结合起来，并且相关的人才也要有很好的分析问题和解决问题的能力。广大高职院校为了能够更好地适应中国制造 2025 的要求，一定要在不断更新教育理念的基础上全面改革人才培养的模式，从而起到更好地优化人才的作用。例如，在“机床制造”教学目标设定的过程中，完全可以多增加一些实践操作的课程来更好地培养学生的“工匠精神”。广大高职院校也要在优化教学实习环境和校园文化环境建设的基础上，通过更好地培养学生的人文精神来培养学生无私奉献的精神。

老师可以在课时中多设置一些“实地考察”的课程，让学生了解之后到工厂实习的环境和重点，让他们明白生活的艰辛和不易。甚至也可以安排“一天实习”的活动，让学生明白在岗位上坚守的责任与艰辛。

（二）全面加大实践教学的力度

要想在 2025 视域下更好地通过高职院校的教学来培养学生的“工匠精神”，那么就需要加大实践教学的力度。因为高职院校的最终目的是给广大企业输送更多的技能型人才。而只有让相关人员在掌握良好的知识结构的基础上通过特定的职业环境和工作背景来进行反复提炼和创造，从而形成特定的素质，具备完全的职业素质，才能够更加适应工匠精神的要求。高职院校在培养“工匠型人才”的基础上，尤其需要在以培养学生知识、能力和素质的基础上不断地加强学生职业素质的培养[4]。一方面在学校的内部尤其要全面加大模拟，另外一方面也要在实践和教学的过程中全面构建一种全过程、立体式和开放式的实践教学体系，从而让学生更好地明白如何将自己的技能运用于工作中。

在高职院校开展教学的过程中，尤其可以通过案例教学、小组讨论和专题调研等教学方法来全方位地进行项目设计和综合实践性教学。只有这样学生才能够在学习和练习的过程中不断地提高知识运用的能力和自主学习的能力，并切实将工匠意识融入实践教学的项目中。很多教师会结合当前企业发展的情况来技术来进行教学，为的就是让学生能够更多地学习一些与职业相关的技能。例如，在电子商务实践和学习的过程中，学生每天要先按时上下班，整体的环境也是与工作环境相适应的“格子间”。在工作的过程中通过给学生布置真实的工作任务，这样才会让学生有一种身临其境的感觉。通过这样一次又一次的实践能够更加全面地培养学生的“工匠精神”。

这样一种理念本身也与德国的“双元教育”理念不谋而合。在“双元制”职业教育体系中，学生至少有四分之三的时间是在企业内部实践的，并在这个过程中慢慢培养起了优秀的企业文化和严谨的职业态度。学生在此过程中往往能够养成良好的职业道德和强大的职业能力，这正和工匠精神不谋而合。

七、结语

当前，我国职业教育的特点和形式多种多样。而我国有也正是通过这样积极探索的过程来全面研究面向“中国制造 2025 工匠精神”的线路、方法和模式，从而更好地统筹和发挥中国制造 2025 的当代工匠精神，最终目的是为了更好地实现工匠精神和职业教育的完美融合。而当代的高职院校正是要在培养职业院校学生技能的基础上，更好地培养他们“乐观敬业”“诚实守信”“团队合作”和“乐于奉献”的精神品质，最终形成中国制造 2025 的多元化高职院校工匠精神的格局。

参考文献：

[1]朱慧芹.高职院校从“校企合作”到“校企一体化”办学模式的实践研究[J].中国职业技术教育，2015(13)：83-88.

[2]李素清.高职院校实现专业课程内容与职业标准对接的研究[J].中国成人教育，2014(3)：65-69.

[3]杨开勇.校企合作模式下企业文化对高职学生职业素养培养研究[J].无锡职业技术学院学报，2015(3)：43-48.

[4]张颖.校企合作模式下高校营销人才的培养[J].教育与职业，2015(5)：102-108.

◎编辑 张 慧

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

竹塑模压异型板包装材料工艺

张云秀
（天津职业大学，天津 300402）

摘要：目的 传统塑料包装透气性较差，不利于环保，为解决这些缺陷，研发一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型外固定用包装材料，并通过实验方法确定其性能。**方法** 首先，介绍塑料-细竹丝模压异型板件新型包装材料的特点与成型工艺；其次，通过实验对塑料-细竹丝模压异型板件包装材料制造时最佳竹塑比进行确定；最后，利用概率设计理论求解出异型板件包装材料主方向的弹性模量，并通过实验对其理论公式进行验证。**结果** 当竹塑比值为 0.150 时，异型板件包装材料的各项性能较好，上异型板件包装材料单位质量的最大抗压力平均值达到 4.33 kN/kg，下异型板件包装材料单位质量的最大抗压力平均值达到 5.26 kN/kg。力学实验结果显示，所建立异型板件包装材料的弹性模量理论求解公式正确，且细竹丝的加入提高了原有包装材料的力学性能。**结论** 新型包装材料具有较好的稳定性和透气性，更加环保，是传统塑料包装材料的理想换代产品。文中研究将推进我国异型板件包装材料工业化的发展，并为异型板件包装材料产业化加工设备的设计制造提供理论和实验依据。

关键词：异型板件包装材料；细竹丝；塑料；竹塑比；弹性模量
中图分类号：TB332 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2021)17-0162-06
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.021

Packaging Material Technology of Bamboo-Plastic Molded Special-Shaped Plates

ZHANG Yun-xiu
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300402, China)

ABSTRACT: The traditional plastic packaging has poor permeability, and is not conducive to environmental protection. In order to solve these defects, we developed a new type of packaging material for external fixation of plastic-fine bamboo molded special-shaped plates, and determined its performance by experimental method. In the paper, Firstly, the characteristics and forming process of this new type packaging material for plastic-fine bamboo molded special-shaped plates were introduced. Secondly, the optimum bamboo to plastic ratio of the new packaging material during its manufacturing was determined by experiments. Finally, the elastic modulus of the main direction of the packaging material for the special-shaped plates was figured out by using probability design theory, and its theoretical formula was verified by experiments. The experimental results showed that when the bamboo to plastic ratio was 0.150, properties of the packaging material for special-shaped plates were better. The average value of the maximum pressure resistance per unit mass of the upper plate packaging material reached 4.33 kN/kg, and that of the lower plate packaging material reached 5.26 kN/kg. The results of mechanical experiment showed that the formula of elastic modulus theory was correct, and the addition of fine bamboo filaments improved the mechanical properties of the original packaging material. The new packaging material has better stability and air permeability, and is more environmentally-friendly, which is an ideal substitute for the traditional plastic packaging materials. The study will promote the development of the industrialization of packaging ma-

收稿日期：2020-12-16
作者简介：张云秀（1979—），女，天津职业大学讲师，主要研究方向为先进制造技术。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

terials for special-shaped plates in China, and will provide theoretical and experimental basis for the design and manufacture of industrial processing equipment of packaging materials for special-shaped plates.

KEY WORDS: packaging material for special-shaped plate; fine bamboo filament; plastic; bamboo to plastic ratio; modulus of elasticity

人类对包装材料的研究可以追溯到人类历史文明的初期，人们将自然界中的木、竹、藤、果壳以及动物皮毛等天然材料制作成包装容器，用来包裹或运输。随着时代发展和工业化进程的发展，包装材料种类越来越多，纸制品、玻璃、金属、塑料、木材等包装材料逐渐被应用于包装市场。随着环保意识的增强，人们逐渐意识到一些传统包装材料的不利因素。传统的塑料材料是一种由单体和添加剂组成的高分子聚合物，能有效地提升包装产品的技术性能，但一些未反应的单体和潜在的可移动添加剂可能存在于塑料制品中，成为污染源，对人体健康造成威胁，近年来，“白色污染”情况越来越严重，据调查显示，大部分的污染源为塑料。同样，纸制品包装材料也存在环保方面的隐忧，因此新型材料的开发具有实际意义[1−3]。国际上，异型板件包装材料已被广泛应用，如美国，大约 60%的异型模压板件包装材料被应用于包装行业。我国异型板件包装材料的研究较早，异型板件包装材料的工业化生产有了很大突破。异型板件包装材料研究的关键技术问题是产品的性能指标能否达标，并且研究成果能否为异型板件包装材料加工设备的设计制造提供理论和实验依据[4−5]。文中提出一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型包装材料，阐述塑料-细竹丝模压异型板件新型包装材料的特点与成型工艺，通过实验法确定最佳竹塑比，并求证细竹丝的加入能否提高原有包装材料的力学性能。

1　新型包装材料的特点与成型工艺

文中研究开发出一种新型材料（塑料-细竹丝异型模压板件包装材料）。塑料-细竹丝异型模压板件包装材料选用竹材碎料细竹丝为填充材料，以塑料为胶凝材料，并加入适量水，通过半干法模压工艺制得。塑料-细竹丝异型模压板件包装材料试验工艺流程见图 1。

此种细竹丝塑料复合异型模压板件包装材料与传统的外包装材料相比，优势较为明显。就材质来说，竹材作为一种生物材料，加入后在使用过程中会加速该复合材料的降解，符合绿色环保理念，从而推进我国异型板件包装材料工业化的发展；就工艺来说，速生竹材本身材质疏松，孔隙率大，加工成厚度为微米级、长度较长的细竹丝后，吸附性和透气性得到进一步的提高；将细竹丝与传统塑料材料混合铺装，竹丝相互交织可提高包装材料的通透性，被包装物不易腐烂变质；此外，细竹丝的加入还提高了产品的强度和韧性[6−7]。传统压缩板包装材料加工主要通过减少刨花尺寸和提高胶料比例的方法来提高压缩比，若想进一步提高压缩比，往往需要添加木粉。在细竹丝塑料复合异型模压板件包装材料的加工过程中，先通过劈裂的方式去除细胞空腔，再将去掉细胞空腔的细竹丝进行重构压缩，将所加工的细竹丝端面尺寸控制在微米级，通过此种方式得到的高压缩比板强度高于普通高压缩比板[8]，因此，塑料-细竹丝异型模压板件包装材料作为一种新型外包装用材料，具有较强优势。

2　竹塑比的确定

竹塑比指材料中细竹丝与塑料等 2 种物质的质量比。竹丝与塑料相遇有迅速固化的特性，如果配比不佳，在手工铺装时容易导致铺装不均匀，从而影响压制后包装材料的外观质量和力学性能，因此需要确定最佳竹塑比。

2.1　目的

文中实验的目的是确定生产塑料-细竹丝异型模压板件包装材料时的最佳竹塑比，为生产塑料-细竹丝异型模压板件的企业提供生产工艺依据。

在原料选取上，根据经验选取 0.05，0.10，0.15，0.20，0.25 等 5 种竹塑比的样品材料，每种竹塑比材料各压制上、下异型板件包装材料毛坯 1 套，压制好的湿板坯经过烘干、室内自然时效处理后，通过观察

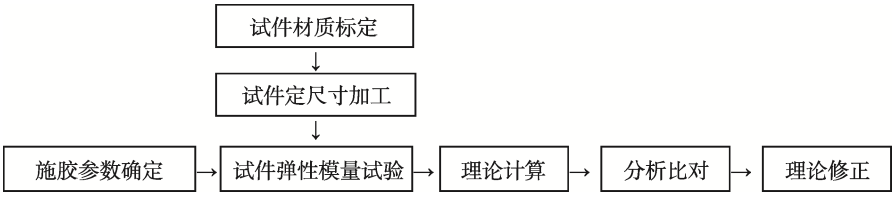


图 1　塑料-细竹丝异型模压板件包装材料试验工艺流程

Fig.1 Test process of packaging materials for plastic-fine bamboo special-shaped molded plates

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

外观质量、测试抗压性能、测算单位质量所能承受最大破坏力等方法综合分析确定出最佳竹塑比。

2.2 过程

2.2.1 材料与设备

主要实验材料：细竹丝，竹种为毛竹，切削机切削出的细竹丝厚度为 30~120 μm，宽度为 2~8 mm，长度为 40~80 mm，经再碎机再碎，取 7 目和 9 目之间的细竹丝待用，竹丝含水率约为 18%，形态见图 2；包装塑料，湖北光大塑料制品有限公司生产，PVC、热压机测定热熔温度为 185~205 ℃。



图 2 细丝竹状态
Fig.2 State of the fine bamboo filaments

主要实验设备：细竹丝切削机、冷压机、细竹丝再碎机等。

2.2.2 方法

文中实验采用高温模压成型工艺，即在高温加压状态下通过板坯压制模具分别压制上异型模压板件包装材料和下异型模压板件包装材料。该板坯压制模具为自制，见图 3。该模具造型设计原则是能最大限度满足包装物体曲线。

先在所需细竹丝中加入少量水，制成湿细竹丝，再与塑料混合并充分搅拌，将搅拌好的细竹丝塑料混合物手工铺装在下模具上，盖上上模具后一起放入压机，开动压机进行加压，见图 4。

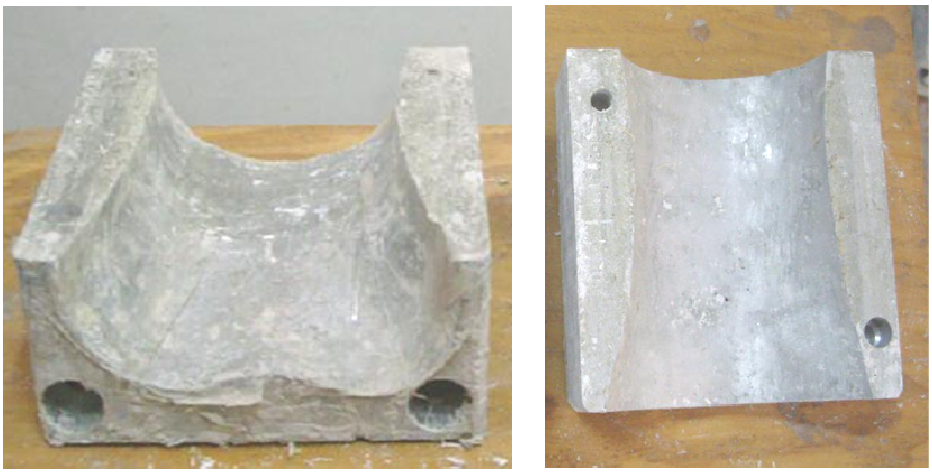
当压力为 1.2 MPa 时，将细竹丝塑料混合物在高温下加压 12 ~ 18 min 后卸压，从模具中取出已压好的异型板件包装材料，放入干燥箱中进行干燥处理，干燥箱温度为 40 ℃，烘干时间为 1 h。干燥完成后取出齐边，见图 5，置于室内 7 d 后测试其性能。

2.3 结果与分析

竹塑比对板坯力学性能的影响见表 1。由表 1 可知，竹塑比值为 0.05~0.15 时，塑料-细竹丝异型模压异型板件包装材料与纯塑料异型模压板件包装材料相比，力学性能更强，说明细竹丝起到增强作用。在整个实验过程中，随着竹塑比的增加，板坯单位质量的抗压能力呈现先增大后减少的现象，强度峰值出现在竹塑比值为 0.10 时，此时板坯强度最高，然后随着竹塑比进一步提高，单位质量抗压强度又开始下降。

当竹塑比超过 0.2 时，将毛板坯从冷压机中取出，放入烘干箱进行持续烘干，10 h 后取出，板坯呈散开状，其形态见图 6。由图 6 可知，当竹塑比值为 0.20 和 0.25 时，所制取的板坯表面粗糙，无法成型，力学性能差。这是由于细竹丝添加比例过大，压制了作为胶黏材料塑料的添加比例，致使板坯材料间的胶黏强度过低、力学性能过差，从而导致板坯无法使用。

由实验结果可知，竹塑比值为 0.15 与 0.10 时相比，板坯强度相差不大，但考虑到竹塑比为 0.15 时板坯透气性更佳，因此，从增加透气性和减轻板坯质量角度考虑，文中将最佳竹塑比值定为 0.15。



a 上模具 b 下模具

图 3 压制异型板件包装材料的模具
Fig.3 Mold for pressing the special-shaped plate packaging material

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

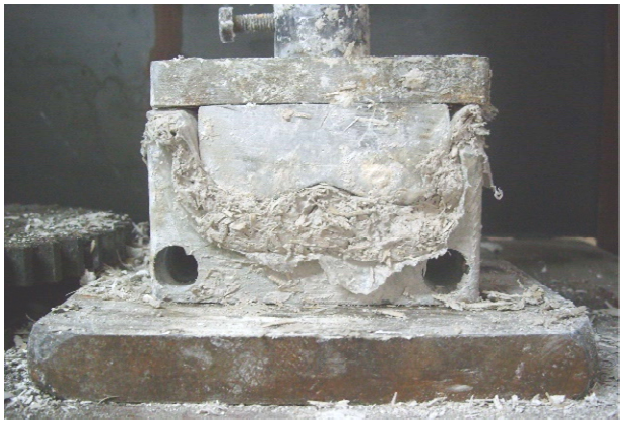
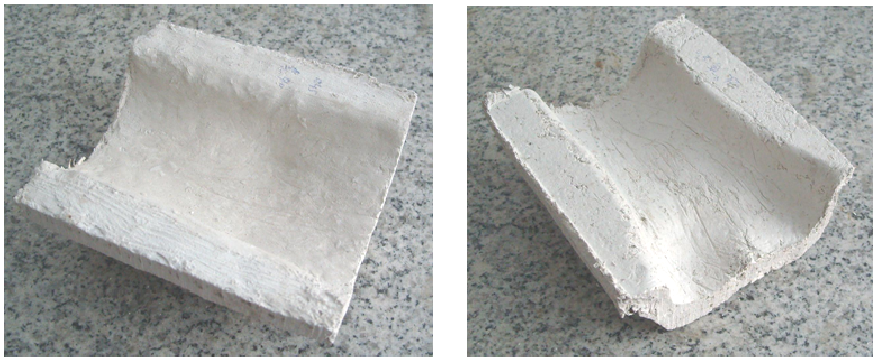


图 4　下异型模压板件包装材料加压时情况
Fig.4 Status when the packaging material of the lower plate is pressurized

表 1　竹塑比对板坯力学性能的影响
Tab.1 Effect of bamboo-plastic ratio on mechanical properties of the plate

竹塑比	板坯所受的最大抗压力平均值/kN		单位质量的最大抗压力平均值/($N·kg^{-1}$)	
	上异型	下异型	上异型	下异型
0（纯塑料）	0.291	0.447	1.14	1.79
0.05	0.446	0.568	1.71	2.28
0.10	1.112	1.357	4.33	5.26
0.15	0.848	1.176	3.39	4.63
0.20	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0



a 上异型　　b 下异型

图 5　压制的塑料-细竹丝异型板件包装材料
Fig.5 Pressedplastic-fine bamboo special-shaped plate packaging material



a 竹塑比值 0.20　　b 竹塑比值 0.25

图 6 竹塑比值超过 0.20 时板坯烘干后的形态
Fig.6 Shape of the plate after drying at a bamboo-to-plastic ratio of over 0.20

3　新型包装材料物理力学性能建模与实验验证

3.1　新型材料弹性模量微观力学理论求解

异型板件包装材料弹性模量的求解是在复合材料力学的基础上，建立异型板件包装材料的微观力学模型，并依据概率统计理论求出异型板件包装材料主方向的弹性模量，同时间接地论证理论推导的结果。

异型板件包装材料的铺装是随机的，假设各方向上的弹性模量 E_{fl} 相同，那么异型板件包装材料的弹性模量 E_1、异型板件包装材料木纤维方向弹性模量 E_{fl} 应该满足下列关系[8—13]：

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$E_1 = \frac{2E_{f1}}{3\pi} \approx E_{fa} \tag{1}$$

式中：E_{fa} 表示在主方向上木纤维当量的弹性模量。

异型板件包装材料的铺装有一定的定向性，假设 x 为主方向，y 为辅助方向，x 方向的弹性模量为 E_x，y 方向的弹性模量为 E_y，则 E_x 要远大于 E_y。根据相关实验统计平均值，E_x=7211 MPa，E_y=1669 MPa，E_x/E_y = 4.32。按毛竹的平均 E_{f1}=9080 MPa，毛竹普通异型板件包装材料的 E_{fa} = 1926 MPa。

异型板件包装材料的定向铺装中，理论铺装角 θ_0 对板坯的强度影响非常大。由于在实际铺装中，铺装工序是由机器完成的，在无其他因素干扰的前提下，假设的实际纤维铺装角 θ 应满足正态分布，分布的数学期望值为零，则异型板件包装材料的弹性模量 E_f' 和竹材木纤维方向的弹性模量 E_{f1} 应该满足下列关系：

$$E_f' = 2E_{f1}/(\sigma/\sqrt{2\pi})\int_0^{\pi/2} e^{(\tan^2\theta/2\sigma^2)}\cos\theta d\theta \tag{2}$$

式中：方差 σ 是影响铺装后板坯强度的主要因素。采用数值积分的方法，对式（2）进行求解，则可以得到针对不同 σ 值的相关曲线，见图 7。

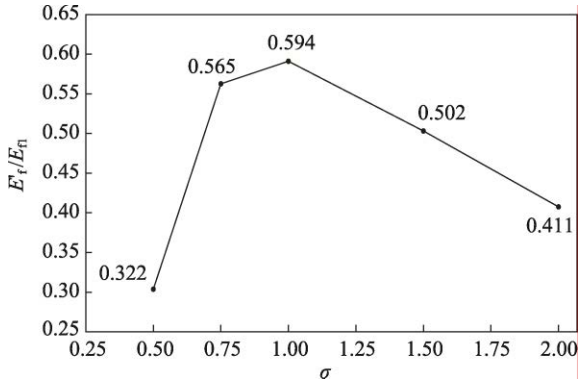


图 7 针对不同 σ 值的相关曲线

Fig.7 Correlation curves for different σ values

由式（2）可见，由于在积分区间上使用 tan θ 的转化函数进行了坐标变换，而 tan θ 在区间端点上的数学性质是病态的，因此，若初始值选取不当，在积分区间端点进行数值分析时可能出现数值发散或过于偏离实际值的现象，但当 σ 在 0.5 ~ 2 时，所求得的结果是可信的。

3.2 实验验证与结果分析

对塑料-细竹丝异型板件包装材料进行弹性模量检测，检测条件为实验室。实验时，将 5 个规格试件放于试验机进行加载实验，测出实验的弹性模量，实验值数字为实验测试的试件的变形挠度数值；再用公式算出理论的弹性模量，并计算出理论挠度，即表中的理论值的数字，从而证明实验和理论的误差，检测结果见表 2。

表 2 检测结果

Tab.2 Test results

测试项目		变形挠度值/mm			弹性模量/MPa
		250 N	500 N	750 N	
实验值	试件 1	4.2	6.1	7.3	3153
	试件 2	3.8	6.0	折断	2118
	试件 3	3.5	5.2	6.3	3901
	试件 4	3.6	5.3	7.9	2524
	试件 5	3.5	5.5	折断	2290
实验平均值		3.72	5.62	7.2	2797
理论值	试件 1	4.1	6.1	7.1	3502
	试件 2	3.6	6.0	7.5	2676
	试件 3	3.2	4.8	6.1	3431
	试件 4	3.5	5.4	7.6	2641
	试件 5	3.3	5.2	7.5	2521
理论平均值		3.54	5.5	7.16	2954
相对误差/%		4.84	2.13	0.56	5.31

由表 2 可知，当密度近似时，包装用异型板件包装材料的弹性模量指标均低于结构用产品，但包装用异型板件包装材料与异型板件包装材料相比，强度指标均高于异型板件包装材料。根据 LY/T 2565—2015 中对力学性能的要求，竹塑复合材料弹性模量不得低于 2200 MPa，板材满足要求。与竹木类模压板材相比，洪彬等[14]在对不同混杂比竹木复合纤维板进行弹性模量实验时，测得最大弹性模量为 2080 MPa；杜丹克等[15]选取了不同条件下的竹加工碎料模压板进行弹性模量测试，测得平均弹性模量为 2200 MPa，均低于文中实验所得弹性模量。

文中以毛竹为主的异型板件包装材料，测得 E_1=2649 MPa，高于普通毛竹异型板件包装材料的 E_{fa} 值。对实验试件的铺装角进行统计，得到方差 σ = 0.55，E_1=2996 MPa，实验和理论的误差为 5.3%，基本满足要求。

4 结语

文中提出一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型外包装材料，采用实验测试试件厚度均方差，测出同截面试件的弹性模量，再通过查表计算，求出最佳的竹塑比，最后通过概率统计的方法，对异型板件的弹性模量进行数学建模，得到如下相关结论。

1）塑料-细竹丝模压异型板件包装材料，加入竹丝后，板材具有透气性好，强度高等优点。

2）通过实验，对竹材和塑料的最佳配比进行确

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

定，结果显示，当竹塑比为 0.15 时为最佳。

3）通过实验，对所建立的力学模型进行对比分析，验证了模型的正确性。

综上所述，文中研究的新型包装材料为异型板件包装材料产业化加工设备的设计制造提供了理论和实验依据，推进了我国异型板件包装材料工业化的发展。

参考文献：

[1] 李继鸿. 塑料材质对食品包装产品的安全性能影响分析[J]. 塑料工业, 2019, 47(2): 153—156.
LI Ji-hong. Analysis of the Influence of Plastic Materials on the Safety Performance of Food Packaging Products[J]. Plastics Industry, 2019, 47(2): 153—156.

[2] GROH K J. Overview of Known Plastic Packaging-associated Chemicals and Their Hazards[J]. The Science of the Total Environment, 2019, 651(2): 3253—3268.

[3] XU Chen-ye. Are We Underestimating the Sources of Microplastic Pollution in Terrestrial Environment?[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020(400): 123228.

[4] 马岩. 木纤维低密度轻质板制造技术探讨[J]. 竹丝工业, 2006(4): 19—21.
MA Yan. Discussion on Manufacturing Technology of Wood Fiber Low Density Lightweight Board[J]. Bamboo Industry, 2006(4): 19—21

[5] 方文康. 新时代的绿色包装材料发展[J]. 上海包装, 2018(6): 46—48.
FANG Wen-Kang. The Development of Green Packaging Materials in the New Era[J].Shanghai Packaging, 2018(6): 46—48.

[6] EHSAN B. Assessment of Physical and Mechanical Properties of Bamboo–plastic Composites[J]. Polymer Composites, 2019, 40(7): 2834—2839.

[7] ISWANTO A H, IDRIS M, SUCIPTO T. Effect of Bamboo Strand Length on Oriented Strand Board[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 260(1): 371—377.

[8] 张云秀, 关小平. 异型模压包装材料弹性模量的构成和刨花形态分析[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 41—45.
ZHANG Yun-xiu, GUAN Xiao-ping. Composition of Elastic Modulus and Analysis of Wood Shaving Form of Shaped Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 41—45.

[9] 马岩, 高爽, 金维洙,等. 重组木微观力学模型及刚度参数分析方法探讨[J]. 东北林业大学学报, 1995(4): 106—110.
MA Yan, GAO Shuang, JIN Wei-zhu, et al.Discussion on Micromechanical Model and Analysis of Stiffness Parameters of Recombinant Wood[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1995(4): 106—110.

[10] 林兰华. 碎料板弹性模量微观力学的分析实验研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002: 8—18.
LIN Lan-hua. Research of Analyse Experiment of the Particle Board's Elasticity Modulus by Micro-Mechanics[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2002: 8—18.

[11] WANG Zheng, XIE Wen-bo, YAO Lu.Dynamic and Static Testing Methods for Shear Modulus of Oriented Strand Board[J].Construction and Building Materials, 2019(216): 542—551.

[12] CHENG Qing-zheng. Mechanical and Physical Properties of Oriented Strand Board Exposed to High Temperature and Relative Humidity and Coupled with Near-Infrared Reflectance Modeling[J]. Forest Products Jouinal, 2018, 68(1): 78—85.

[13] SUN Yu-hui, ZHANG Ya-hui, HUANG Yu-xiang, et al. Influence of Board Density on the Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Lumber[J]. Forests, 2020, 11(5): 66—73.

[14] 洪彬, 朱一辛, 关明杰. 不同长度下下竹木复合纤维板的弹性模量[J]. 世界竹藤通讯, 2009, 7(6): 9—11.
HONG Bin, ZHU Yi-xin, GUAN Ming-jie. MOE of Bamboo-Wood Composite Fiberboard with Different Hybrid Ratios[J]. World Bamboo and Rattan, 2009, 7(6): 9—11.

[15] 杜丹克, 蒋孟有, 洪炯, 等.竹加工碎料模压代木板材的弹性模量研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 48—49.
DU Dan-ke, JIANG Meng-you, HONG Jiong, et al. Research of Elastic Modulus of Mould Pressing Bamboo Processing Fragment Plate[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 48—49.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI：10.13228/j.boyuan.issn1006-6543.20150041

注射成形粘结钕铁硼磁体复合粉研究

秦万忠
（天津职业大学机电工程与自动化学院，天津 300410）

摘　要：磁体的注射成形是一种高效生产的近净成形技术。为了制备出具有较好综合性能的注射成形粘结钕铁硼永磁材料，研究了粘结剂对注射成形磁体的磁性能、加工性能及力学性能的影响；分析了硅烷系列的偶联剂、复合润滑剂和抗氧剂等添加剂对注射成形磁体性能的影响。结果表明，用MQP-B快淬钕铁硼磁粉和尼龙12粘结剂制备出了剩余磁感应强度为0.539 T，磁感矫顽力为345.37 kA/m，内禀矫顽力为681.02 kA/m，最大磁能积为47.37 kJ/m^{3}的注射成形钕铁硼磁体。

关键词：粘结磁体；钕铁硼；注射成形；复合粉
文献标志码：A　　**文章编号：**1006-6543-(2016)02-0012-05

Research on composite powder of bonded NdFeB magnets by injection molding

QIN Wan-zhong
(College of Mechanical and Electrical Engineering and Automation，Tianjin Vocational Institute，Tianjin 300410，China)

Abstract：Injection molding is an effective technique for producing near net shape magnets. In order to prepare bonded NdFeB permanent magnet material with good comprehensive performance by injection molding，the effects of binder on the magnetic properties，workability and mechanical properties of injection molding magnets were studied. The effects of additives such as silicone coupling agent，compound lubricants and antioxidant on the properties of injection molding magnets were also discussed. Results show that the injection molding bonded magnets can be prepared by using the MQP-B rapidly quenched NdFeB magnetic powder and polyamide 12 binder. The magnets has good magnetic properties，with residual magnetic flux density of 0.539 T，induction coercivity force of 345.37 kA/m，intrinsic coercivity force of 681.02 kA/m，and the maximum magnetic energy product of 47.37 kJ/m^3.

Key words：bonded magnet；NdFeB；injection molding；composite powder

近30年来，高性价比的强磁材料钕铁硼的发现和应用，有力地促进了信息技术领域设备和电动机的更新换代和快速发展[1-4]。钕铁硼磁体分为烧结钕铁硼和粘结钕铁硼2类。粘结钕铁硼磁体的生产工艺主要有压制成形、注射成形和挤出成形，其中压制成形已经实现了产业化。注射成形是利用模具在注塑机上以低成本高效生产高精度的复杂磁体产品，而且可以与其他零件一体成形，具有良好的产业化前景[5-6]。解决注射过程和复合粉制备过程中的磁粉氧化和流动性差问题，以及磁粉对螺杆和模具的磨损问题，是注射成形钕铁硼磁体生产的重点和难点[7-10]。与国外相比，国内亟待研究注射成形钕铁硼磁体，特别是复合粉的组分对磁性能和工艺性能的影响及其作用机理的研究。

基金项目：天津市自然科学基金资助项目（08JCYBJC14000）
作者简介：秦万忠（1964—），男，学士，教授，主要从事磁性材料及粘结磁体成形技术的研究。
收稿日期：2015-05-08

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1　实 验

1.1　试样制备

将MQP-B快淬钕铁硼磁粉进行粒度调整，用AIR-T4包覆剂处理，并用硅烷偶联剂进行表面处理，之后将抗氧剂、润滑剂和尼龙12按配比称重后在混合机中混匀，用SHJ-36型双螺杆挤出机（图1）混炼挤出，在JPH80C型注射成形机上制得ϕ 14.6 mm×6.0 mm的磁性能测试试样和80 mm×10 mm×4 mm的弯曲性能测试试样。



图1　双螺杆混炼机

1.2　性能检测

用MIP-500HB型永磁测量仪（图2）测定粘结磁体的磁性能；在XNR-400C型熔体流动速率仪上按GB/T 3682-2000测试熔体熔融指数MFR，测试温度255 ℃、负载5 kg、取样间隔20 s；在ZWICK2005型弯曲性能测试仪（图3）上按GB/T9341-2000测试磁体的抗弯强度；采用排水法测定磁体密度；用高温高湿试验机检测磁体的抗氧化性能，湿度90%，温度65 ℃；用金相电子显微镜观察磁体锈蚀情况，用S-400型扫描电镜观察磁体断面和磁粉形貌。



图2　永磁测量仪



图3　弯曲性能测试仪

2　结果与讨论

2.1　磁粉装载量对磁体磁性能的影响

磁性能测试试样如图4所示。注射成形条件相同，磁粉装载量不同时，磁体的磁性能结果见表1。

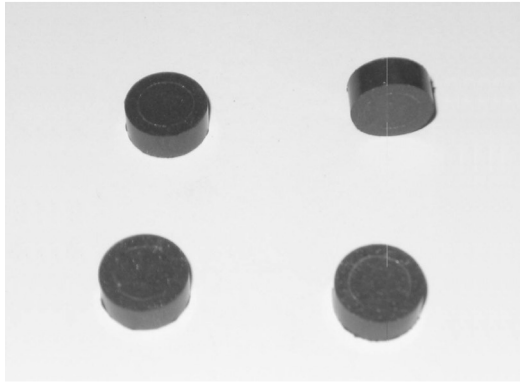


图4　磁性能测试试样

表1　不同磁粉装载量的磁体的磁性能

磁粉装载量（质量分数）/%	尼龙12的质量分数/%	剩余磁感应强度/T	磁感矫顽力/(kA·m^{-1})	内禀矫顽力/(kA·m^{-1})	最大磁能积/(kJ·m^{-3})
91.7	7.0	0.539	345.37	681.02	47.37
88.7	10.0	0.520	310.35	672.90	40.20
86.7	12.0	0.467	306.06	673.86	36.18

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可以看出，磁粉含量下降时，内禀矫顽力基本不变，而磁感矫顽力、剩磁和最大磁能积下降。因为粘结磁体是一种复合材料，所以按稀释定律计算粘结磁体的剩磁 $Br_{(comp)}$。

$$Br_{(comp)}=Br_{(p)}\cdot V_p$$

式中：V_p 为复合材料中的磁粉体积分数；$Br_{(p)}$ 为磁粉的剩磁；$Br_{(comp)}$ 为复合材料的剩磁。

磁体的磁感矫顽力是由剩磁决定的，提高剩磁即可提高磁感矫顽力，而内禀矫顽力远大于磁感矫顽力，纳米磁粉颗粒由多晶小晶体组成，磁粉颗粒内部结构并未在成形过程中遭到破坏，所以磁粉的内禀矫顽力等于磁体的内禀矫顽力。磁体的最大磁能积是剩磁和磁感矫顽力的综合反映，提高最大磁能积的关键是提高剩磁。因此，在复合粉中应尽可能增加磁粉的含量。

若将磁粉看成大小均匀的圆球进行堆积，则最紧密的六方堆积填充率为74.0%(体积分数)，最松散的立方堆积填充率为52.4%。有关研究表明，磁粉实际填充体积范围为54.0%～67.0%。调整磁粉粒度分布，可使最大填充率达74.0%。本文实验条件下，磁粉最大填充体积达到62.9%，此时粘结剂质量分数占7.0%，复合粉的微观形貌如图5所示。

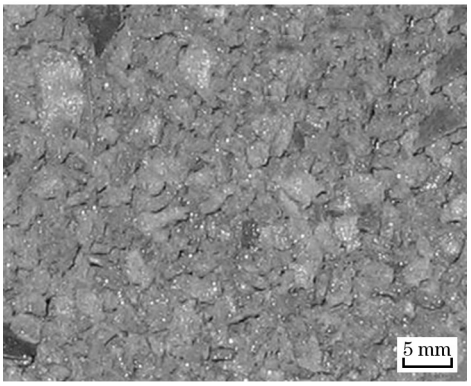


图5　复合粉微观形貌

2.2　粘结剂含量对复合粉流动性能的影响

不同粘结剂含量的注射成形粘结钕铁硼磁体复合粉粒料的熔融指数MFR对比见表2。

表2　磁体的物理力学性能

尼龙12质量分数/%	磁体质量/g	磁体密度/(g·cm^{-3})	MFR/(g·(10min)$^{-1}$)	抗弯强度/MPa	抗氧化性/h
7.0	5.378	5.065	96.864	22.194	＞1 000
10.0	5.081	4.816	165.342	25.070	＞1 000
12.0	4.590	4.376	215.730	35.054	＞1 000

复合粉在混炼或注射成形加工时被加热成为流体，该流体可看成黏弹性高聚物液体尼龙12中悬浮着大量的刚性磁粉粒子。因此，增加粘结剂尼龙12的含量，则复合料的熔融指数增大，流动性增强。实验发现，若复合粉中尼龙12的质量分数低于7.0%，则流动性太差，难以注射成形。另外，适当增加注射温度和注射压力可提高复合粉的流动性。

2.3　粘结剂含量与磁体抗弯强度

弯曲性能测试试样见图6。表2同时列出了不同粘结剂含量的注射成形粘结钕铁硼磁体的抗弯强度。可见，增加粘结剂含量，磁体的抗弯强度增加，当尼龙12的质量分数为12.0%时，磁体的抗弯强度可达35.054 MPa。若将粘结磁体看成复合材料，则粘结剂是基体，磁粉是增强剂。所以要求粘结剂一定要形成连续相，即粘结剂要有一最低含量，通常要求其体积分数应不低于8%。但从注射成形工艺角度考虑，尼龙12的体积分数应不低于37%。

2.4　添加剂对磁体性能的影响

2.4.1　偶联剂的影响

由于快淬钕铁硼磁粉形状不规则，且注射成形粘结磁体的磁粉装载量一般较高，粉末之间容易堆

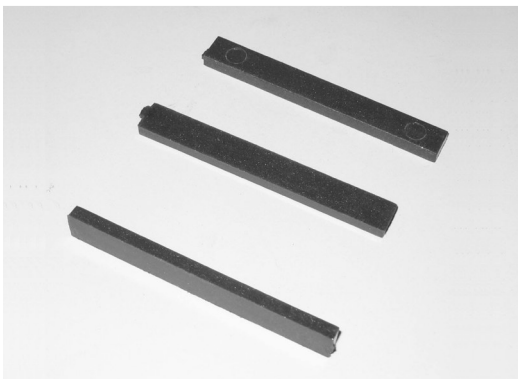


图6　弯曲性能测试试样

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

积成团并形成网络结构，加之无机磁粉与有机粘结剂相容性不好，使得复合粉流动性差、物理力学性能低，磁性能也不高。采用硅烷偶联剂KH550对磁粉进行表面处理，其分子的两端分别与粘结剂或磁粉耦合，从而使粘结剂和磁粉牢固结合，磁体的力学性能增强；同时使磁粉的表面能降低，改变其表面极性，使磁粉更易分散于粘结剂中，降低了粘结剂高分子与磁粉间的摩擦阻力，提高了体系的流动性。由于磁粉表面包覆了一层硅烷分子层，在保证注射成形的条件下可大大提高磁粉装载量，进而显著提高磁性能，同时有效地降低了磁粉在混炼和注射成形时的氧化。但是，偶联剂的质量分数超过0.3%时，将使过多的偶联剂分子包覆在磁粉颗粒上，增加了非磁性相的体积，从而引起磁性能的下降；同时降低了磁粉颗粒间的结合强度，引起磁体密度和力学性能的下降。在用偶联剂进行表面处理前，对磁粉进行磷化包覆处理，在磁粉表面又形成了一层磷化膜，从而对钕铁硼磁粉构成了双层保护机制，使其抗氧化性能大大提高，见表2。

2.4.2　润滑剂的影响

如果复合粉中磁粉含量过高，虽然有利于提高磁性能，但造成流动性极差，注射成形困难。所以实验中不仅加入外润滑剂硬脂酸锌，而且加入内润滑剂EBS，使复合粉的流动性得到显著改善。因为在混炼和注射成形过程中，润滑剂大大降低了体系的内摩擦，同时降低了体系与设备间的外摩擦，也降低了加工时的压力损失，所以熔体流动性提高，磁体密度和磁性能也提高。外润滑剂是低分子物质，加入后可显著改善熔体的流动性，但又不可避免地降低磁体的力学性能。内润滑剂不仅改善流动性，而且可作为尼龙12的成核剂使磁体力学性能增强。但是，若润滑剂加入过多，又会降低磁体强度和磁性能。本文中内润滑剂加入质量分数为0.5%，外润滑剂加入质量分数为0.2%。

2.4.3　抗氧剂的影响

复合粉在高温下混炼和注射成形时，其中的粘结剂尼龙12可能会氧化降解，降低磁体强度。加入一定量的抗氧剂168，可避免尼龙12的热氧化降解，同时起到增塑剂的作用而使磁体流动性得到改善。但抗氧剂含量增大，粘结剂含量会随之降低，从而降低磁体的力学性能。本文中抗氧剂的最佳质量分数为0.2%。

2.5　高性能注射成形粘结钕铁硼磁体的制备

将快淬钕铁硼磁粉过150目（100 μm）筛，并进行磷化包覆处理和硅烷偶联剂表面处理，再与7.0%（质量分数）的尼龙12粘结剂、添加剂混合均匀；在200～235 ℃混炼、挤出；在注射温度255 ℃、注射压力120 MPa、模具温度120 ℃的工艺条件下注射成形磁体。磁体最大磁能积为47.37 kJ/m^3，内禀矫顽力为681.02 kA/m，磁感矫顽力为345.37 kA/m，剩磁为0.539 T，其退磁曲线见图7。由于注射成形磁体的粘结剂尼龙12含量较高而且均匀包覆磁粉颗粒，因此与模压粘结磁体相比，注射成形磁体的抗氧化性和力学性能显著提高。

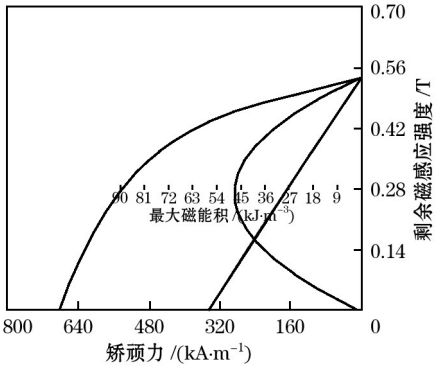


图7　注射成形粘结钕铁硼磁体的退磁曲线

3　结 论

（1）为了提高注射成形粘结磁体的力学性能、磁性能及抗氧化能力，可采用磷化处理和硅烷偶联剂处理快淬钕铁硼磁粉。

（2）随磁粉装载量增加，磁体的磁性能增加，而力学性能和加工性能却下降，本文中磁粉最大装载质量分数为91.7%。

（3）制备了磁性能、加工流动性、力学强度及抗氧化性等综合性能较好的注射成形粘结钕铁硼磁体，其磁性能为：剩余磁感应强度0.539 T，磁感矫顽力345.37 kA/m，内禀矫顽力681.02 kA/m，最大磁能积47.37 kJ/m^3。

参考文献：

[1] 罗阳.日本稀土粘结磁体的发展现状[J].电工材料，2003(1)：31-34.

[2] 刘福东，苏勇，陈翌庆，等. 高热稳定性钕铁硼磁体的研制与开发[J]. 金属功能材料，2010，17(3)：5-8.

[3] Ma B M，Herchenroeder J W，Smith B，et al. Recent develop-

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

·供求信息·

供应信息

粉末冶金专用石墨粉　　18605329308
青岛海永昌石墨有限公司
所在地区：山东

各类结构零件　0513-82732788 /82603067 /2738666
海门市常乐粉末冶金厂
所在地区：江苏

铁粉芯磁环工字电感磁芯粉末成形压机
15312850808
扬州市博之特粉末压机有限公司
所在地区：江苏

全球知名品牌粉末冶金铁粉　　0512-62836100
魁北克金属粉末(苏州)有限公司
所在地区：江苏

摩托车从动齿轮　　023-47833487
重庆江洲粉末冶金科技有限公司
所在地区：重庆

FSP型粉末冶金成形机（日本良冢型）
0514-87505933
扬州锻压机床集团有限公司
所在地区：江苏

求购信息

一切高低含金银铜的物料　　13797779822
远景矿业有限公司
所在地区：湖北

2124铝合金粉末　　13953229915
青岛外贸
所在地区：山东

1 000 t氧化铝空心球、刚玉砂粉　　0533-2182811
山东锆铪耐火材料科技有限公司
所在地区：山东

600 t氧化锆原材料采购项目　　0533-2182811
山东锆铪耐火材料科技有限公司
所在地区：山东

烧结碳板　　0769-86483796
东莞市茶山陆境五金加工厂
所在地区：广东

22 m^3梭式窑建设项目　　0533-2182811
山东锆铪耐火材料科技有限公司
所在地区：山东

（信息摘自《中国粉末冶金商务网》网站www.pmbiz.com.cn）
(编辑部)

ment in bonded NdFeB magnets[J]. Journal of Magnetism & Magnetic Materials，2002，239(1/3)：418-423.
[4] 刘华，秦宏伟，胡季帆，等. 不同钕铁硼磁体对兆瓦级风力发电机空载磁路的影响[J]. 金属功能材料，2010，17(6)：1-4.
[5] 祝捷. 注射成形粘结NdFeB永磁体[J]. 稀土，2001，22(6)：60-62.
[6] 段柏华，曲选辉，李云平.注射成形粘结钕铁硼磁体：工艺·性能·应用[J].磁性材料及器件，2003，34 (4)：36-39.
[7] 吕通建，关宏宇，李莹.钕铁硼磁性塑料及其注射成型的研究[J].中国塑料，2003，17(9)：49-54.
[8] Garrell M G，Shih A J，Ma B M，et al. Mechanical properties of Nylon bonded Nd- Fe- B permanent magnets[J]. Journal of Magnetism & Magnetic Materials，2003，257(1)：32-43.
[9] 罗阳. 中国NdFeB磁体产业的进一步发展[J]. 粉末冶金工业，1999，19(6)：7-17.
[10] 王永根. 采用一次模压成形工艺生产高性能烧结NdFeB磁环[J]. 粉末冶金工业，2002，22(1)：38-41.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

DOI:10.19591/j.cnki.cn11-1974/tf.2015.05.008

注射成形粘结钕铁硼磁体制造工艺*

秦万忠**
(天津职业大学机电工程与自动化学院,天津 300410)

摘 要: 磁体的注射成形是一种高效生产的近净成形技术。本文说明了注射成形粘结钕铁硼磁体用复合粉和磁体的制造工艺及性能测试方法。研究了粘结剂、添加剂的含量以及磁粉装载量对注射成形磁体的加工性能、磁性能及力学性能等的影响规律。并从微观上揭示了其机理。用 MQP-B 快淬钕铁硼磁粉和尼龙 12 粘结剂制备出了磁性能为 Br: 0.539 T, Hcb: 345.37 kA/m, Hci: 681.02 kA/m, (BH) max: 47.37 kJ/m^3 的注射成形钕铁硼磁体。

关键词: 粘结磁体; 钕铁硼; 注射成形; 制造工艺

Manufacture Technology of Bonded NdFeB Magnets from Injection Molding

Qin Wanzhong
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The injection molding of magnetic powder could cost-effectively mass-produce net shape magnets. The manufacture technology and properties testing method of composite powder and bonded NdFeB magnets from injection molding were described in detail. The effects of content of binder, additives and magnetic powder on the magnetic property, mechanical property and fluidity of injection molding magnets were investigated. Furthermore, the effect mechanism was revealed microcosmically. The injection molding bonded magnets were prepared by using the MQP-B rapidly quenching NdFeB magnetic powder and polyamide 12. The magnetic properties are Br = 0.539 T, Hcb = 345.37 kA/m, Hci = 681.02 kA/m, and (BH) max = 47.37 kJ/m^3.

Key words: bonded magnet; NdFeB; injection molding; manufacture technology

近年来,粘结稀土永磁以其磁性能高、成本低、形状自由度大等优点在磁性材料领域中所占的比例越来越大,已广泛用于汽车和 HDD、CD-ROM、DVD-ROM 及其它家用电器等领域[1-2]。粘结稀土永磁的生产工艺主要有压制成形、注射成形和挤出成形,其中压制成形已经实现了产业化。注射成形稀土永磁具有尺寸精度高、生产效率高、工艺成本低、可一体化成形、易获得复杂形状等特点,具有良好的产业化前景[3-4]。注射成形钕铁硼磁体既要克服稀土磁粉在混炼、注射成形过程中的氧化、流动性差问题,又要减轻稀土磁粉对螺杆和模具的磨损,使注射成形生产难度大增[5-6]。目前,国内对注射成形粘结钕铁硼磁体方面的研究尚处于起步阶段。本实验主要开发了注射成形粘结钕铁硼磁体的制造工艺,并研究了粘结剂和添加剂对磁体性能的影响规律,并从微观上揭示其机理。

1 复合粉的制造

1.1 原料和设备

制造复合粉所用原材料及其配比见表 1。

* 天津市自然科学基金资助项目(08JCYBJC14000)。

** 秦万忠(1964-),男,学士,教授。E-mail: qinwanzhong1964@126.com

收稿日期: 2015-03-03

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 原材料的基本配比 质量分数

Table 1 The composition of raw materials %

批次	磁粉(NdFeB)	粘结剂(PA12)	内润滑剂(EBS)	外润滑剂(硬脂酸锌)	抗氧剂(168 型)	其它(偶联剂等)
1	91.7	7.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5
2	88.7	10.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5
3	86.7	12.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5

注:NdFeB 磁粉为麦格昆磁公司生产的 MQP-B 快粹粉。硅烷偶联剂为 KH550 型。

设备:磁粉粉碎机;磁粉筛分机;粉料搅拌混合机;电烘箱;双螺杆挤出机:SHJ-36 型;造粒机;V 型混合机。

以上所有材料和设备均为中国制造,适合于磁体的批量生产。

1.2 复合粉的制造工艺

注射成形粘结磁体的制造工艺流程为:钕铁硼磁粉 + 粘结剂 + 添加剂→混合→混炼→造粒→复合粉→注射成形→磁体→充磁→产品。按照表 1 的配比和下述的制造工艺制造复合粉。

①磁粉准备:将快粹 NdFeB 磁粉用 120 目筛筛分并进行粒度调整;②包覆处理:将磁粉用质量分数为 8% 的磷化液-丙酮溶液浸泡 3 分钟后,用过滤网滤除磷化液;③偶联处理:将磁粉至于质量分数为 4% 的硅烷-乙醇溶液中,机器搅拌 10 分钟后用过滤袋将残余偶联剂滤除,并用烘箱于 80 ℃烘干 6 分钟;④混合:将磁粉与烘干后的 PA12、内润滑剂、外润滑剂、抗氧剂在高速混合机中混合 30 分钟;⑤混炼:在双螺杆混炼机中于 235 ℃混炼均匀后挤出;⑥造粒:将挤出的复合料切成颗粒;⑦均化:用 V 型混合机将粒料混合均匀后包装备用。

2 磁体的制造和性能测试

2.1 磁体的制造工艺

①复合料经 110 ℃和 60 min 烘干后,在 JPH80C 型注塑机上用精密模具制得规格为 Φ14.6 mm × 6 mm 的磁性能测试试样和 80 mm × 10 mm × 4 mm 的弯曲性能测试试样。注射温度为 255 ℃,注射压力为 130 MPa,注射速度为 75% v_{max},保压时间为 4 秒,模具温度为 120 ℃。②用 VC-4030M 型充磁机和 Φ7 0mm 空心线圈以≥4.5 T 的磁场强度将试样充磁。

2.2 磁体性能测试

在国产 MIP-500HB 型永磁测量仪上测量粘结磁体的剩磁 Br,磁感矫顽力 Hcb,内禀矫顽力 Hci 及最大磁能积(BH)max 等磁性能;在 XNR-400C 型熔体流动速率仪上按 GB/T3682-2000 测试熔体流动速率(MFR);在的国产 ZWICK2005 型弯曲性能测试机上按 GB/T9341-2000 测试磁体的弯曲性能;采用排水法测定磁体密度;用 S-400 型扫描电镜观察磁粉形貌及磁体断面;磁体抗氧化性能实验在高温高湿试验机中进行,湿度 90%,温度 65 ℃,用光学显微镜观察磁体锈蚀情况。

3 磁体性能与讨论

3.1 磁粉装载量与磁体磁性能的关系

表 2 为不同磁粉装载量相同条件注射成形磁体的磁性能检测结果。

表 2 磁体的磁性能

Table 2 The magnetic properties of magnets

批次	磁粉/%(质量分数)	PA12/%(质量分数)	Br T	Hcb/kA·m^{-1}	Hci/kA·m^{-1}	(BH)max/kJ·m^{-3}
1	91.7	7.0	0.539	345.37	681.02	47.36
2	88.7	10.0	0.520	310.35	672.90	40.20
3	86.7	12.0	0.467	306.06	673.86	36.18

由表 2 可知,随着磁粉装载量的下降,最大磁能积、剩磁、磁感矫顽力都有所下降,而内禀矫顽力基本不变。因为粘结磁体是一种复合材料,按复合材料的稀释定律,粘结磁体的剩磁可用下式表示:

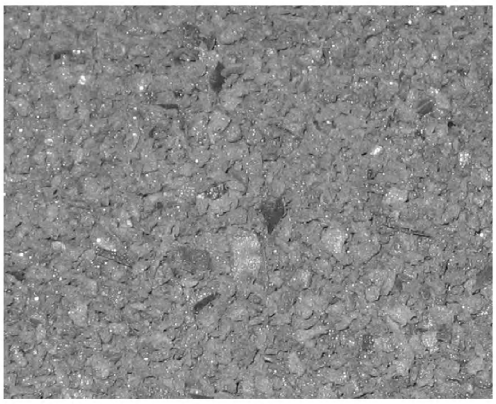
$$Br_{(comp)} = Br_{(p)} \cdot Vp$$

式中:$Br_{(comp)}$——复合材料的剩磁;$Br_{(p)}$——磁粉的剩磁;Vp——复合材料中磁粉体积百分数。

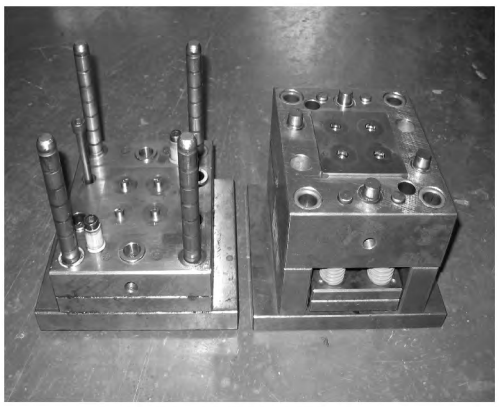
粘结钕铁硼的内禀矫顽力 Hci:由于磁粉是纳米磁粉,每一颗磁粉都是一个多晶小晶体,因此在成形过程中只要不破坏磁粉颗粒内部结构,粘结磁体的矫顽力也就是磁粉的矫顽力。磁感矫顽力 Hcb 则主要取决于剩磁高低,因为 Hci 远大于 Hcb,磁体的退磁曲线近似一条直线,如何提高剩磁才是提高 Hcb 的关键。而磁体的磁能积是剩磁和矫顽力的综合反映,因此如何提高磁体的剩磁是获得高性能粘结钕铁硼磁体的关键。显然,提高粘结磁体中磁粉的含量,减少粘结剂和添加剂用量是获得高磁性能粘结磁体的主要措施。一般磁粉填充体积为 54%

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

~67%，实验中，当粘接剂的含量为 7.0% 时，磁粉的填充体积达到 62.9%，说明磁粉的装载量达到了较高水平。注射成形磁体用粒料和模具如图 1 所示。



(a) 复合粉粒料



(b) 磁体注射成形模具

图 1　注射粒料和磁体成形模具

Fig. 1　The composite particles and the mold for magnet molding

3.2　粘结剂含量与复合粉流动性能的关系

不同粘接剂含量的注射成形粘结钕铁硼磁体复合粉粒料的熔融指数 MFR 见表 3。按 GB/T3682-2000 测试标准，测试条件: 255 ℃、负载 5 kg，取样间隔 20 sec。

表 3　磁体的物理化学性能

Table 3　Physical and chemical properties of magnets

批次	PA12/%(质量分数)	重量/g	密度/$g \cdot cm^{-3}$	MFR/$g \cdot (10\ min)^{-1}$	弯曲强度/MPa	抗氧化性/h
1	7.0	5.378	5.065	96.864	22.194	>100 0
2	10.0	5.081	4.816	165.342	25.070	>100 0
3	12.0	4.590	4.376	215.730	35.054	>100 0

由表 3 可以看出，随着粘结剂含量的增加，熔融指数逐渐增加，磁粉的填充量不断减少，复合料的流动性得到改善。当粘结剂的含量低于 7.0% 时，复合料的熔融指数会更低，流动性差，注射成形困难。适当增加注射温度和注射压力可提高流动性。

3.3　粘结剂含量与磁体力学性能的关系

粘结剂对磁体的力学性能有着重要的影响，它基本决定了磁体的力学性能和使用性能。采用不同粘结剂含量、双螺杆混炼的粒料，经注射成形制备成长方体标准试样，按 GB/T9341-2000 测试磁体的弯曲强度，其结果见表 3。由表可知，随着粘结剂含量的增加，磁体的力学性能增加，当 PA12 含量在 12% 时，试样的弯曲强度可达 35.054MPa。从注射成形工艺角度考虑，PA12 的体积分数应不低于 37%。

3.4　添加剂对磁体性能的影响

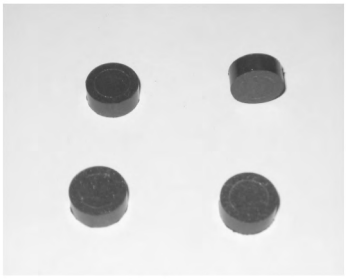
3.4.1　偶联剂的影响

由于快粹钕铁硼磁粉形状不规则，注射成形粘结磁体的磁粉装载量一般较高，粉末之间容易堆积成团并形成网络结构，加之无机磁粉与有机粘结剂相容性又不好，使得复合粉流动性差、物理力学性能低，磁性能也不高。当磁粉经硅烷偶联剂 KH550 表面处理后，其分子的两端分别与磁粉和粘结剂结合，使二者牢固地结合起来，提高了磁体的物理力学性能; 同时降低了磁粉的表面能，改变了其表面极性，使磁粉更易分散于粘结剂中，易于流动，减小了磁粉与磁粉之间及磁粉与高分子链之间的相对滑动的摩擦阻力，从而增大了体系的流动性。由于磁粉表面包覆了一层硅烷分子层，在保证注射成形的条件下可大大提高磁粉装载量，所以显著提高了磁性能，同时有效地抑制了磁粉在混炼和注射成形时的氧化。当偶联剂用量超过 0.3% 以后，磁粉颗粒上所包覆的偶联剂分子层加厚，增加了非磁性相的体积，引起磁性能的下降; 同时降低了磁粉颗粒间紧密结合强度，引起磁体密度和力学性能的下降。在用偶联剂进行表面处理前，对磁粉进行磷化处理，由于在磁粉表面又形成了一层磷化膜，从而对钕铁硼磁粉构成了双层保护机制，使得其抗氧化性能大大提高，见表 2。测磁性能磁柱和磁体产品如图 2 所示。

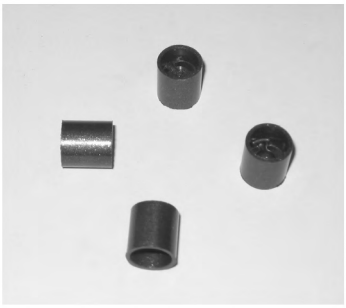
3.4.2　润滑剂的影响

当磁粉含量较高时，复合粉熔体的流动性差，影响成形加工性能。试验中，通过添加内润滑剂 EBS

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 磁柱试样



(b) 磁体产品

图 2 注射成形试样和产品

Fig. 2 The magnet samples and products by injection molding

和外润滑剂硬脂酸锌，在保证高磁粉装载量的同时，很好地解决了高磁粉填充量时流动性差的问题。这是因为在混炼造粒和注射成形过程中，润滑剂的加入明显改善了磁粉颗粒间因发生相对移动而存在的内摩擦，同时减小了磁粉与料筒和螺杆壁之间的外摩擦，减小了混炼和成形过程中的压力损失，从而提高了熔体的流动性，提高了磁体的密度和磁性能。但若加入过量的润滑剂，一方面磁粉表面的润滑剂分子层增厚，磁粉颗粒之间的摩擦和机械啮合力减小，影响混炼质量，引起磁体强度和密度下降；另一方面，润滑剂是非磁性相，加入过多会引起磁体磁性能下降。本实验中内润滑剂含量为 0.50%，外润滑剂含量为 0.20%。

3.4.3 抗氧剂的影响

复合粉在高温下混炼和注射成形时，其中的粘结剂 PA12 可能会氧化降解；加入一定量的抗氧剂 168，既能防止在高温加工时热氧化降解，保证磁体的强度，又能起到增塑剂作用，增大流动性，从而降低润滑剂的用量。但抗氧剂含量增大，粘结剂含量会随之降低，降低磁体的力学性能。本实验中抗氧剂的最佳含量为 0.2%。

通过对注射成形粘结钕铁硼磁体制造工艺和各性能主要影响因素的研究，制备了高性能磁体，其性能见表 2 中 LOT·1，退磁曲线见图 3。

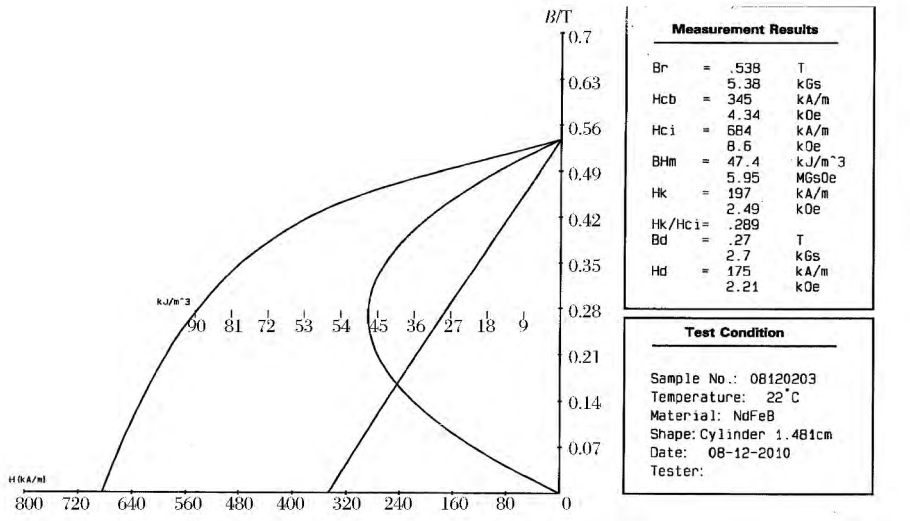


图 3 注射成形粘结钕铁硼磁体退磁曲线图

Fig. 3 Demagnetization curves of injection molding bonded magnet

4 结论

(1) 开发了可用于批量生产注射成形粘结 Nd-Fe-B 磁体的生产工艺。

(2) 对快粹钕铁硼磁粉进行磷化处理，并用硅烷偶联剂进行表面处理，能有效提高磁粉的抗氧化能力，并提高注射成形粘结磁体的磁学及力学性能。

(下转第 364 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

℃，密度为 6.91 g/cm^3，相对密度达到 97.26%，显微硬度为 158.93 HV，压溃强度为 280 MPa。

参考文献

[1] Barsoum M W. The $M_{n+1}AX_n$ Phases: A New Class of Solids: Thermodynamically Stable Nanolaminates. Solid State Chem, 2000, 28: 201 – 281

[2] Sun Z M, Li S, R Ahuja, et al. Calculated Elastic Properties of M_2AlC (M = Ti, V, Cr, Nb and Ta). Solid State Cornrnunications, 2004, 129: 589 – 592

[3] Lin Z J, Zhou Y C. In-situ hotpressing/solid — liquid reaction synthesis of bulk Cr_2AlC. Z. Metallkd, 2005, 96(3): 291 – 296

[4] Tian W B, Wang P L, Zhang G J, et al. Synthesis and thermal and electrical properties of bulk Cr_2AlC. Scrip Mater, 2006, 54(5): 841 – 846

[5] Monika K D, El-Raghy T. On the Heat Capacities of M_2AlC (M = Ti, V, Cr) Ternary Carbides. Journal of Applied Physics, 2006, 99(9): 093502.1 – 093502.5

[6] Lin Z J, Li M S, Wang J Y, et al. High-Temperature Oxidation and Hot Corrosion of Cr_2AlC. Acta Mater, 2007, 55(18): 6182 – 6191

[7] 雷宇，刘锦云，王敏，等. Cr_2AlC 颗粒增强 Cu 基复合材料的制备及力学性能研究. 粉末冶金技术，2013，31(5)：340 – 344

[8] 曾舒，苏忠亮，周健. Cr_2AlC 颗粒增强 Cu 基复合材料的制备与性能表征. 厦门大学学报，2014，53(5)：739 – 743

[9] 赫晓东，柏跃磊，王帅. 高速铁路用 Cr_2AlC 增强青铜基制动闸片材料及其制备方法. CN: 201310203965.6. 2013 – 05 – 28.

[10] 卢险峰. 现代冷压技术发展阶段. 精密成形工程，2012，(4)3: 86 – 91

[11] 周坚. Al_2O_3-TiC 复合陶瓷的冷压烧结. 硬质合金，1999，2(16)：89 – 94

[12] 李文生，董红峰，路阳，等. 不同冷压压力下 Fe-Cu 基金刚石复合材料超薄切锯胎体的组织和致密化机理. 中国有色金属学报，2013，6(23)：1523 – 1528

[13] 董红峰，李文生，路阳，等. 冷压烧结 Fe 基金刚石超薄切锯胎体的组织和性能. 材料科学与工艺，2014，1(22)：54 – 59

[14] 赵万祥. 冷压-溶解-真空烧结法制备泡沫铝工艺及性能的研究. 天津大学，2005，01

[15] 郭阳，刘锦云，孙林，等. 黏结剂对 Cr_2AlC 陶瓷基复合材料组织和性能的影响. 西华大学学报，2015，34(2)：50 – 53

[16] Chen X H, Zhai H X, Wang W J, et al. Fabrication of Cr_2AlC-Fe based composites by in-situ reaction technique. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2013, 41(1): 309 – 313

(上接第 340 页)

[8] Laine R M. A New YAG Phase Produced by Liquid-feed Flame Spray Pyrolysis. Advance Materials, 2005, 17(7): 830 – 833

[9] Zhang S C, Hilmas G E, Fahrenholtz W G. Oxidation of zirconium diboride with tungsten carbide additions. Journal of the American Ceramic Society, 2011, 94: 1198 – 1205

[10] Wu Z J, Wang Z, Qu Q, Shi G D. Oxidation mechanism of a ZrB_2-SiC-ZrC ceramic heated through high frequency induction at 1600℃. Corrosion Science, 2011, 53: 2344 – 2349

[11] Song J G, Xu M H, Wang F. The effect of the oxidation conditions on the surface microdomains of ZrB_2-YAG ultra-high temperature ceramics. Journal of Ceramic Processing Research, 2013, 14(4): 535 – 537

[12] 毛金元，刘敏，毛杰. 等. 离子喷涂制备 ZrB_2-$MoSi_2$ 复合涂层及其抗氧化性能. 无机材料学报，2015，33(3)：282 – 286

[13] Tian C Y, Gao D, Zhang Y, Xu C L, Song Y, Shi X B. Oxidation behaviour of zirconium diboride-silicon carbide ceramic composites under low oxygen partial pressure. Corrosion Science, 2011, 53: 3742 – 3746

(上接第 354 页)

(3) 随着磁粉装载量的增加，磁体的磁性能也增加，而力学性能、加工性能却下降。本实验中磁粉最大装载量为 91.7% wt。

(4) 获得了磁性能、加工流动性、力学强度及抗氧化性等综合性能较好的三种注射成形粘结钕铁硼磁体，其(BH)max 和粘结剂含量分别为：47.37，40.20，36.18 kJ/m^3 和 7.0%(质量分数)，10.0%，12.0%。

参考文献

[1] 罗阳. 日本稀土粘结磁体的发展现状. 电工材料，2003(1)：31 – 34

[2] Ma B M, Herchenroeder J W, B Smith. Recent development in bonded NdFeB magnets. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2002, 239: 421 – 423

[3] 祝捷. 注射成形粘结 NdFeB 永磁体. 稀土，2001，22(6)：60 ~ 62

[4] 段柏华，曲选辉，李云平. 注射成形粘结钕铁硼磁体：工艺·性能·应用. 磁性材料及器件，2003，34(4)：36 – 39

[5] 吕通建，关宏宇，李莹. 钕铁硼磁性塑料及其注射成形的研究. 中国塑料，2003，17(9)：49 – 54

[6] Garrell M G, Albert J S. Mechanical properties of nylon bonded Nd–Fe–B permanent magnets. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2003, 257: 32 – 43.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号: 1001-9731(2015)23-23071-04

注射成型粘结钕铁硼磁体制造工艺研究*

秦万忠
(天津职业大学,天津 300410)

摘 要: 磁体的注射成型是一种高效生产的近净成型技术。详细说明了注射成型粘结钕铁硼磁体用复合粉和磁体的制造工艺及性能测试方法。研究了粘结剂、添加剂的含量以及磁粉装载量对注射成型磁体的加工性能、磁性能及力学性能等的影响规律。并从微观上揭示了其机理。用 MQP-B 快淬钕铁硼磁粉和尼龙 12 粘结剂制备出了磁性能 B_r 为 0.539 T, H_{cb} 为 345.37 kA/m, H_{ci} 为 681.02 kA/m, $(BH)_{max}$ 为 47.37 kJ/m^3 的注射成型钕铁硼磁体。

关键词: 粘结磁体; 钕铁硼; 注射成型; 制造工艺
中图分类号: TD926 **文献标识码:** A
DOI: 10.3969/j.issn.1001-9731.2015.23.015

1 引 言

近年来,粘结稀土永磁以其成本低、形状自由度大等优点在磁性材料领域中所占的比例越来越大,已广泛用于汽车和 HDD、CD-ROM、DVD-ROM 及其它家用电器等领域[1-2]。粘结稀土永磁的生产工艺主要有压制成型、注射成型和挤出成形,其中压制成型已经实现了产业化。注射成型稀土永磁具有尺寸精度高、生产效率高、工艺成本低、可一体化成型、易获得复杂形状等特点,具有良好的产业化前景[3-4]。注射成型钕铁硼磁体既要克服稀土磁粉在混炼、注射成型过程中的氧化、流动性差问题,又要减轻稀土磁粉对螺杆和模具的磨损,使注射成型生产难度大增[5-6]。目前,国内对注射成型粘结钕铁硼磁体方面的研究尚处于起步阶段。本实验主要开发了注射成型粘结钕铁硼磁体的制造工艺,并研究了粘结剂和添加剂对磁体性能的影响规律,并从微观上揭示其机理。

2 实 验

2.1 原料和设备

制造复合粉所用原材料及其配比见表 1。

表 1 原材料的基本配比(wt%)

Table 1 The normal ratio of raw materials

LOT·NO	磁粉 NdFeB	粘结剂 PA12	内润滑剂 EBS	外润滑剂 硬脂酸锌	抗氧剂 168 型	其它 偶联剂等
LOT·1	91.7	7.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5
LOT·2	88.7	10.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5
LOT·3	86.7	12.0	<1.0	<0.5	<0.4	<0.5

注: NdFeB 磁粉为麦格昆磁公司生产的 MQP-B 快粹粉。硅烷偶联剂为 KH550 型。

设备: 磁粉粉碎机; 磁粉筛分机; 粉料搅拌混合机; 电烘箱; 双螺杆挤出 SHJ-36 型; 造粒机; V 型混合机。

2.2 复合粉的制造工艺

注射成型粘结磁体的制造工艺流程为: 钕铁硼磁粉 + 粘结剂 + 添加剂 →混合→混炼→造粒→复合粉→注射成型→磁体→充磁→产品。按照表 1 的配比和下述的制造工艺制造复合粉。

(1) 磁粉准备: 将快粹 NdFeB 磁粉用 120 目筛筛分并进行粒度调整; (2) 包覆处理: 将磁粉用质量分数为 8% 的磷化液-丙酮溶液浸泡 3 min 后,用过滤网滤除磷化液; (3) 偶联处理: 将磁粉置于质量分数为 4% 的硅烷-乙醇溶液中,机器搅拌 10 min 后用过滤袋将残余偶联剂滤除,并用烘箱于 80 ℃ 烘干 6 min; (4) 混合: 将磁粉与烘干后的 PA12、内润滑剂、外润滑剂、抗氧剂在高速混合机中混合 30 min; (5) 混炼: 在双螺杆混炼机中于 235 ℃ 混炼均匀后挤出; (6) 造粒: 将挤出的复合料切成颗粒; (7) 均化: 用 V 型混合机将粒料混合均匀后包装备用。

3 磁体的制造和性能测试

3.1 磁体的制造工艺

(1) 复合料经 110 ℃ 和 60 min 烘干后,在 JPH80C 型注塑机上用精密模具制得规格为 Ø14.6 mm×6 mm 的磁性能测试试样和 80 mm×10 mm×4 mm 的弯曲性能测试试样。注射温度为 255 ℃,注射压力为 130

* 基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(08JCYBJC14000)
收到初稿日期: 2015-03-03 收到修改稿日期: 2015-05-15 通讯作者: 秦万忠,E-mail: qinwanzhong1964@126.com
作者简介: 秦万忠 (1964-),男,教授,学士,河北昌黎人,主要从事磁性材料研究。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

MPa,注射速度为 75% v_{max},保压时间为 4 s,模具温度为 120 ℃;(2) 用 VC-4030M 型充磁机和 Ø70 mm 空心线圈以≥4.5 T 的磁场强度将试样充磁。

3.2 磁体性能测试

在国产 MIP-500HB 型永磁测量仪上测量粘结磁体的剩磁 B_r,磁感矫顽力 H_{cb},内禀矫顽力 H_{ci}及最大磁能积 $(BH)_{max}$等磁性能;在 XNR-400C 型熔体流动速率仪上按 GB/T3682-2000 测试熔体流动速率(MFR);在的国产 ZWICK2005 型弯曲性能测试机上按 GB/T9341-2000 测试磁体的弯曲性能;采用排水法测定磁体密度;用 S-400 型扫描电镜观察磁粉形貌及磁体断面;磁体抗氧化性能实验在高温高湿试验机中进行,湿度 90%,温度 65 ℃,用 300 倍显微镜观察磁体锈蚀情况。

4 磁体性能与讨论

4.1 磁粉装载量与磁体磁性能的关系

表 2 为不同磁粉装载量相同条件注射成型磁体的磁性能检测结果。

表 2 磁体的磁性能

Table 2 The magnetic properties of magnets

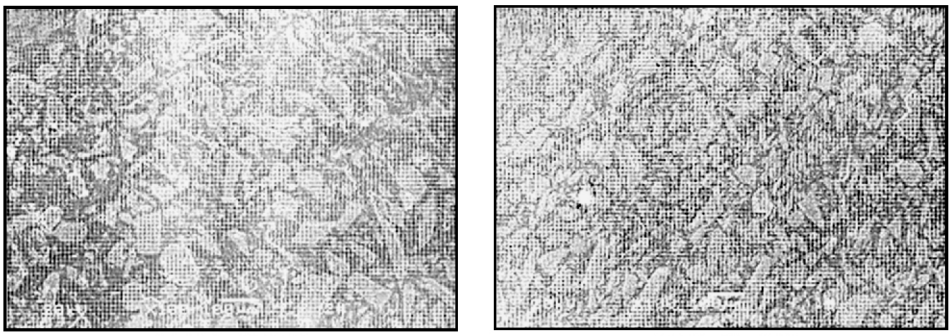
LOT·NO	磁粉/wt%	PA12/wt%	B_r/T	H_{cb}/kA·m^{-1}	H_{ci}/kA·m^{-1}	$(BH)_{max}$/kJ·m^{-3}
LOT·1	91.7	7.0	0.539	345.37	681.02	47.36
LOT·2	88.7	10.0	0.520	310.35	672.90	40.20
LOT·3	86.7	12.0	0.467	306.06	673.86	36.18

由表 2 可知,随着磁粉装载量的下降,最大磁能积、剩磁、磁感矫顽力都有所下降,而内禀矫顽力基本不变。因为粘结磁体是一种复合材料,按复合材料的稀释定律,粘结磁体的剩磁可用下式表示

$$B_{r(comp)} = B_{r(p)} \cdot V_p$$

式中,$B_{r(comp)}$为复合材料的剩磁;$B_{r(p)}$为磁粉的剩磁;V_p为复合材料中磁粉体积百分数。

粘结钕铁硼的内禀矫顽力 H_{ci}:由于磁粉是纳米磁粉,每一颗磁粉都是一个多晶小晶体,因此在成型过程中只要不破坏磁粉颗粒内部结构,粘结磁体的矫顽力也就是磁粉的矫顽力。磁感矫顽力 H_{cb}则主要取决于剩磁高低,因为 H_{ci}远大于 H_{cb},磁体的退磁曲线近似一条直线,如何提高剩磁才是提高 H_{cb}的关键。而磁体的磁能积是剩磁和矫顽力的综合反映,因此如何提高磁体的剩磁是获得高性能粘结钕铁硼磁体的关键。显然,提高粘结磁体中磁粉的含量,减少粘结剂和添加剂用量是获得高磁性能粘结磁体的主要措施。一般磁粉填充体积在 54% ~67% 这个范围,实验中,当粘接剂的含量为 7.0%(质量分数)时,磁粉的填充体积达到 62.9%,说明磁粉的装载量达到了较高水平。注射成型磁体照片见图 1。



(a) 10.0wt% PA12 (b) 7.0wt% PA12

图 1 注射成型磁体 SEM 照片

Fig 1 SEM images of injection molded magnet

4.2 粘结剂含量与复合粉流动性能的关系

不同粘接剂含量的注射成型粘结钕铁硼磁体复合粉粒料的熔融指数 MFR 见表 3。按 GB/T3682-2000 测试标准,测试条件为 255 ℃、负载 5 kg,取样间隔 20 s。

表 3 磁体的物理化学性能

Table 3 Physical and chemical properties of magnets

LOT·NO	PA12/wt%	重量/g	密度/g·cm^{-3}	MFR/g·10 min^{-1}	弯曲强度/MPa	抗氧化性/h
LOT·1	7.0	5.378	5.065	96.864	22.194	>1 000
LOT·2	10.0	5.081	4.816	165.342	25.070	>1 000
LOT·3	12.0	4.590	4.376	215.730	35.054	>1 000

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由表 3 可以看出,随着粘结剂含量的增加,熔融指数逐渐增加,磁粉的填充量不断减少,复合料的流动性得到改善。当粘结剂的含量低于 7.0% 时,复合料的熔融指数会更低,流动性差,注射成型困难。适当增加注射温度和注射压力可提高流动性。

4.3 粘结剂含量与磁体力学性能的关系

粘结剂对磁体的力学性能有着重要的影响,它基本决定了磁体的力学性能和使用性能。采用不同粘结剂含量、双螺杆混炼的粒料,经注射成型制备成长方体标准试样,按 GB/T9341-2000 测试磁体的弯曲强度,其结果见表 3。由表可知,随着粘结剂含量的增加,磁体的力学性能增加,当 PA12 含量在 12% 时,试样的弯曲强度可达 35.054 MPa。从注射成型工艺角度考虑,PA12 的体积分数应不低于 37%。

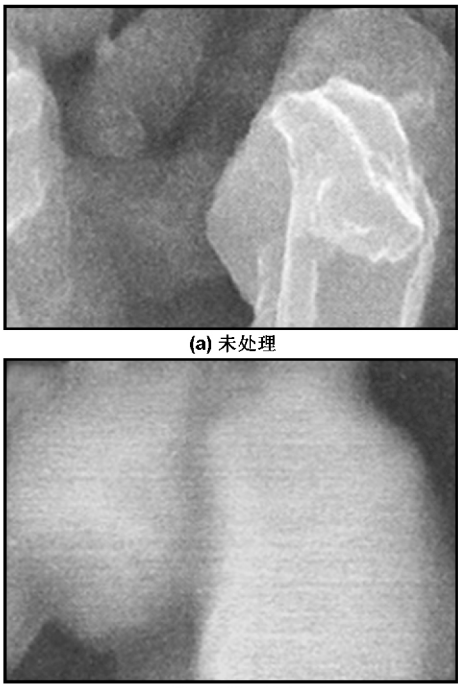
4.4 添加剂对磁体性能的影响

4.4.1 偶联剂的影响

由于快粹钕铁硼磁粉形状不规则,注射成型粘结磁体的磁粉装载量一般较高,粉末之间容易堆积成团并形成网络结构,加之无机磁粉与有机粘结剂相容性又不好,使得复合粉流动性差、物理力学性能低,磁性能也不高。当磁粉经硅烷偶联剂 KH550 表面处理后,其分子的两端分别与磁粉和粘结剂结合,使二者牢固地结合起来,提高了磁体的物理力学性能; 同时降低了磁粉的表面能,改变了其表面极性,使磁粉更易分散于粘结剂中,易于流动,减小了磁粉与磁粉之间及磁粉与高分子链之间的相对滑动的摩擦阻力,从而增大了体系的流动性。由于磁粉表面包覆了一层硅烷分子层,在保证注射成型的条件下可大大提高磁粉装载量,所以显著提高了磁性能,同时有效地降低了磁粉在混炼和注射成型时的氧化。当偶联剂用量超过 0.3%(质量分数)以后,磁粉颗粒上所包覆的偶联剂分子层加厚,增加了非磁性相的体积,引起磁性能的下降; 同时降低了磁粉颗粒间紧密结合强度,引起磁体密度和力学性能的下降。在用偶联剂进行表面处理前,对磁粉进行磷化处理,由于在磁粉表面又形成了一层磷化膜,从而对钕铁硼磁粉构成了双层保护机制,使得其抗氧化性能大大提高,见表 2。表面处理前后磁粉表面形态图见图 2。

4.4.2 润滑剂的影响

当磁粉含量较高时,复合粉熔体的流动性差,影响成型加工性能。实验中,通过添加内润滑剂 EBS 和外润滑剂硬脂酸锌,在保证高磁粉装载量的同时,很好地解决了高磁粉填充量时流动性差的问题。这是因为在混炼造粒和注射成型过程中,润滑剂的加入明显改善了磁粉颗粒间因发生相对移动而存在的内摩擦,同时减小了磁粉与料筒和螺杆壁之间的外摩擦,减小了混炼和成型过程中的压力损失,从而提高了熔体的流动性,提高了磁体的密度和磁性能。但若加入过量的润滑剂,一方面磁粉表面的润滑剂分子层增厚,磁粉颗粒之间的摩擦和机械啮合力减小,影响混炼质量,引起磁体强度和密度下降; 另一方面,润滑剂是非磁性相,加入过多会引起磁体磁性能下降。本实验中内润滑剂含量为 0.50%,外润滑剂含量为 0.20%。



(a) 未处理

(b) 磷化硅烷复合处理

图 2 磁粉表面形态图

Fig 2 SEM image of NdFeB powder

4.4.3 抗氧剂的影响

复合粉在高温下混炼和注射成型时,其中的粘结剂 PA12 可能会氧化降解; 加入一定量的抗氧剂 168,既能防止在高温加工时热氧化降解,保证磁体的强度,又能起到增塑剂作用,增大流动性,从而降低润滑剂的用量。但抗氧剂含量增大,粘结剂含量会随之降低,降低磁体的力学性能。本实验中抗氧剂的最佳含量为 0.2%(质量分数)。

通过对注射成型粘结钕铁硼磁体制造工艺和各性能主要影响因素的研究,制备了高性能磁体,其性能见表 2 中 LOT·1,退磁曲线见图 3。

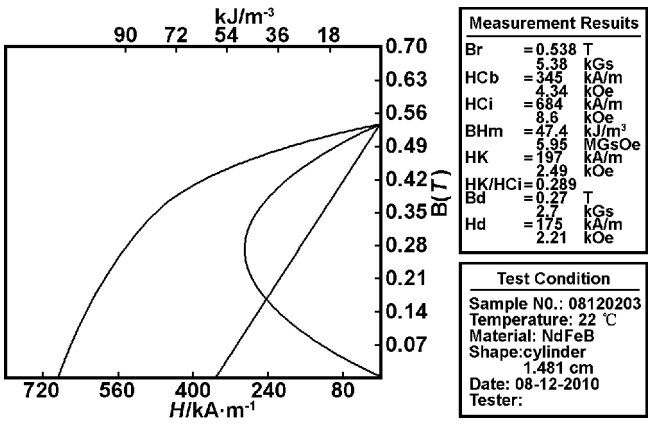


图 3 注射成型粘结钕铁硼磁体退磁曲线图

Fig 3 Demagnetization curves of injection molding bonded magnet

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5 结 论

(1) 开发了可用于批量生产注射成型粘结 NdFeB 磁体的生产工艺。

(2) 对快粹钕铁硼磁粉进行磷化处理,并用硅烷偶联剂进行表面处理,能有效提高磁粉的抗氧化能力,并提高注射成型粘结磁体的磁学及力学性能。

(3) 随着磁粉装载量的增加,磁体的磁性能也增加,而力学性能、加工性能却下降。本文中磁粉最大装载量为 91.7%(质量分数)。

(4) 获得了磁性能、加工流动性、力学强度及抗氧化性等综合性能较好的 3 种注射成型粘结钕铁硼磁体,其$(BH)_{max}$和粘结剂含量分别为 47.37,40.20 和 36.18 kJ/m^{3}和 7.0%,10.0%,12.0%(质量分数)。

参考文献:

[1] Luo Yang. The developing situation of rare-earth bonded magnet in Japan [J]. Electrical Material,2003,(1):31-34.
罗 阳. 日本稀土粘结磁体的发展现状 [J]. 电工材料,2003,(1):31-34.

[2] Ma B M, Herchenroeder J W, Smith B. Recent development in bonded NdFeB magnets [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials,2002,239:421-423.

[3] Zhu Jie. Injection molding NdFeB magnet [J]. Chinese Rare Earths,2001,22(6):60-62.
祝 捷. 注射成型粘结 NdFeB 永磁体 [J]. 稀土,2001,22(6):60-62.

[4] Duan Bohua, Qu Xuanhui, Li Yunping. Technologys, properties and applications of bonded NdFeB magnets by injection molding [J]. Journal of Magnetic Materials and Devices, 2003,34(4):36-39.
段柏华,曲选辉,李云平. 注射成形粘结钕铁硼磁体:工艺·性能·应用 [J]. 磁性材料及器件,2003,34(4):36-39.

[5] Lv Tongjian, Guan Hongyu, Li Ying. Studies on NdFeB magnetic plastics and its injection moulding [J]. China Plastics,2003,17(9):49-54.
吕通建,关宏宇,李 莹. 钕铁硼磁性塑料及其注射成型的研究 [J]. 中国塑料,2003,17(9):49-54.

[6] Garrell M G, Albert J S. Mechanical properties of nylon bonded Nd-Fe-B permanent magnets [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials,2003,257:32-43.

Study on the manufacture technology of bonded NdFeB magnets from injection molding

QIN Wanzhong

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

Abstract: The injection molding of magnetic powder could cost-effectively mass-produce net shape magnets. The manufacture technology and properties testing method of composite powder and bonded NdFeB magnets from injection molding were described in detail. The effects of content of binder, additives and magnetic powder on the magnetic property, mechanical property and fluidity of injection molding magnets were investigated. Furthermore, the effect mechanism was revealed microcosmically. The injection molding bonded magnets were prepared by using the MQP-B rapidly quenching NdFeB magnetic powder and polyamide 12. The magnetic properties are: $B_r = 0.539$ T, $H_{cb} = 345.37$ kA/m, $H_{ci} = 681.02$ kA/m, and $(BH)_{max} = 47.37$ kJ/m^3.

Key words: bonded magnet; NdFeB; injection molding; manufacture technology

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铸造轴承端盖加工专用车刀设计研究

李建国

（天津职业大学机械工程实训中心，天津 300410）

摘　要：对铸造轴承端盖的传统加工工艺中对多种刀具进行更换实行分析，帮助改进时间多、生产效率低的弊端。采用研究试验，设计出一种铸造轴承端盖加工的专用车刀，专用车刀在一次装卡之后，不同调整刀具，就能够对铸造轴承端盖全部的车削加工进行完成，能够对大量的辅助工时实现节省，显著提升高效生产的效率，并且在对工艺流程实现正确安排的情况下，可以很好的确保铸造轴承端盖的形位公差，从而提升零件的机械加工质量。

关键词：轴承端盖；专用车刀；生产效率；形位公差

1 铸造轴承的端盖

铸造轴承的端盖在机械行业中属于经常性被用到的较为大型的机器零件，结构图可见下图 1，其中有一平面和轴承座之间可以相互配合，并且止口的直径和同轴称作之间是相互配合的关系，止口高度要运用于定位的轴承支座上，保障轴承位置是正确的。止口端中有内外两个倒角，外倒角主要是为实现装配更加便捷，内倒角是将毛刺去掉。针对轴承端伸出的轴承来讲，中心点在周孔上面，轴孔中的对应位置则是位于用来防尘的油毡槽上。

2 传统工艺的分析

在传统的铸造轴承端盖加工工艺内，主要需要运用的设备为内孔刀、梯形槽车刀、φ20 钻头、45°倒角车刀等，加工工艺中运用到的车刀类型比较多，其更换以及调整程序比较复杂，增加了辅助时间，导致生产效率降低。

配合平面、止口高度和直径等对装配质量会产生一定的影响，使用先粗车后精车加工方式，倒角要被放置在最后的加工程序中，作用是避免切削振动导致公差精度较低和影响装配。

3 线性专用车刀的各原件的角度和功能

新型专用车刀示意图见下图 2。

3.1 主副偏角

结合平面和止口外圆完成一次装夹切削，装载毛坯在卡盘，刚性提升，切削内的车刀会运用较大的切削力，对生产效率实行提升，主偏角是 90°角，进而得到较高的效率。防止副切削刃摩擦止口对外圆中已经加工好的面造成影响，并且对加工面的粗糙度会造成影响，副偏角是 2°~3°角，同时还要对 2mm 的修光刃实行修磨，实现精加工止口外圆。

3.2 前角

铸造中轴承端盖为毛坯件，该工件表面十分粗糙，有型砂和硬皮状况。车刀材料通常采用抗冲击 TG8 的牌号，刀刃上无需磨出卷屑槽，同时还要借助粗加工实现对零度前角做出选择，将刀头的强度实现提升。加入不换刀实行精加工这一因素，车刀前角是 5~8 度角，对刀刃锋利程度实现提升。

3.3 后角

为增强高车刀强度，全部切削刃后角设为 1°~2°度，提升车刀刚性，并且抵抗铸造毛坯切削内造成的较大冲击力；同时避免后刀面的摩擦造成抗刀，切削内孔和油毡槽前刀刃后刀面的磨损是 R9 圆弧；副切削刃后刀面同样也被磨损为这一圆弧，确保车刀顺利入孔，避免干涉摩擦。

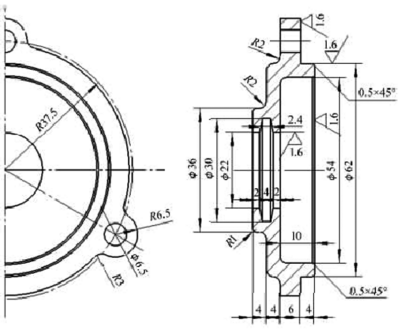


图1 轴承端盖的示意图

3.4 刃倾角

要思考铸造毛坯对切削刀的冲击，设置 0°或−3°刃倾角，保障车刀对较大的切削力进行承受。

3.5 倒角刃

在设计倒角刃中，需要设置出 90°V 缺口，外倒角刃后角的角度是 1°~2°，内倒角刃后刀面磨损圆弧为 R25，它的作用主要是为了避免后刀面对止口内角的磨损造成不必要的干涉。

3.6 沟槽切削刀

两边的切削刃后角角度为 1°~1.5°，主要作用是要增加切削刀刃强度。前切削刃的后角一般情况下比较小，一般情况下会被磨损成为一个圆弧，避免工件间发生摩擦，并且对进刀抗体实现提升。

4 刀具功能

4.1 端面切削

详情见图 3，轴承端盖和平面结合，止口端面主要是加工端面。加工切削中采取横向进刀，在进刀中采用的是副切削刀。

4.2 外圆的切削作用

见图 4，轴承端盖止口外圆需要外圆切削加工，切削刀主要是用来切削，副切削刃则是修光。

4.3 内孔的切削作用

见图 5，φ22 内及防尘油毡槽切削都为内切削方式。用 φ20 钻头预钻孔加工内孔，主要是该方式产生的余量少，依靠梯形切削刃对内孔做出加工，防止梯形切削刀刃发生损坏，主要的加工方式为：1）先对防尘油毡槽切削，后运用单刃切削，对刀刃切削量进行降低；2）运用梯形切削刃内的两单刃进行交替，也就是在进刀后实行正向走刀或车刀过内孔反向走刀。

5 新型专用车刀的加工工艺

要将铸造轴承端盖在车床的三爪卡盘上同时在装好后进行夹紧。具体的实施结构路线为：φ20 钻头预钻 φ22 内孔之后用车刀粗车 φ62 对止口外圆加工，结合粗车、平面粗车加工止口端面，φ22 内孔刀车削防尘油毡槽至精车 φ62 止口的外圆，采用精车和平面再到精车止口端面，随后到止口内孔倒角松下卡盘后卸下工件。上述工艺流程的安排主要原因为：1）先钻出 φ20 预制孔，不能一次性的加工完成 φ22 内孔和防尘油毡槽，主要是因为止口外圆、端面结合平面为毛坯面，粗车中冲击及振动幅都会比较大，极易导致 φ22 内孔的变动。2）止口外圆、端面、配合平面在粗车后实现 φ22 内孔切削、梯形油毡槽，在精车止口外圆、端面、平面基础上，确保加工 φ22 内孔和止口外圆、轴度止口外圆和平面实现垂直。3）这样安排生产流程可以将导致扣外圆实行倒角之后再实行倒止内控角，确保止口外圆的倒角在装配的过程中达到导向，止口内角的功能是为了将锐角毛刺去除掉，同时协助毛坯面安排好后倒角的内倒角。■

参考文献

[1]姜炳春,赵利平,唐联耀.轴承端盖的挤压模具设计及损伤模拟[J].模具制造,2014,12:79–82.

[2]张维录,胡安渠,梁健,唐新平.铸造轴承端盖专用车刀设计及应用[J].机械设计与制造工程,2015,06:67–69.

[3]陈祥林,郭秀华.电动机轴承端盖加工关键技术研究[J].制造技术与机床,2014,10:115–118.

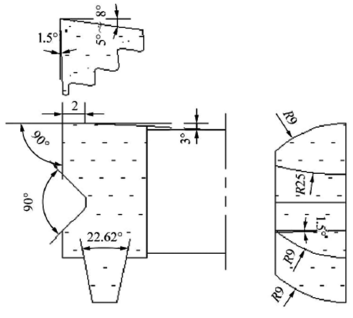


图2 新型专用车刀结构示意图

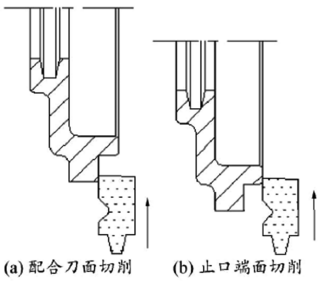


图3 端面切削的示意图

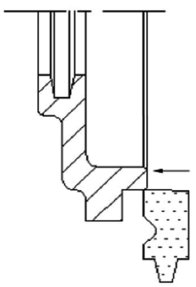


图4 外圆切削功能展示图

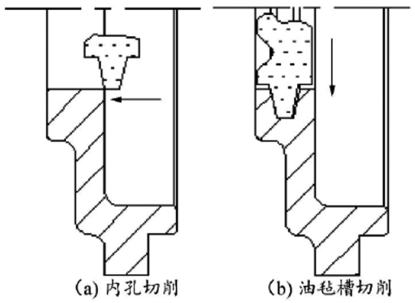


图5 内孔的切削功能示意图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net