

Exploration on the Reform of Mechanical Manufacturing Experimental Courses Under the Background of Emerging Engineering Education

Wei Guo He Peng

College of Mechanical and Transportation Engineering, China University of Petroleum, Beijing, 100249, China

Abstract

Under the context of Emerging Engineering Education (EEE), mechanical manufacturing experimental courses, as a core component for cultivating innovative engineering talents, urgently require systematic reforms to address the challenges posed by technological revolutions and industrial transformations. This paper integrates the strategic demands of "Made in China 2025" to analyze existing issues in traditional experimental courses, including outdated teaching content, monotonous instructional models, and insufficient practical platforms. A reform framework centered on "digital-intelligent empowerment, industry-education integration, virtual-physical integration, and AI empowerment" is proposed, encompassing curriculum system restructuring, teaching methodology innovation, laboratory infrastructure optimization, and industry-university collaborative education mechanisms. Through practical case validation, the reform strategy has significantly enhanced students' engineering practice capabilities and innovative competencies, providing theoretical references and practical paradigms for experimental teaching reforms in mechanical engineering disciplines.

Keywords

Emerging Engineering Education; mechanical manufacturing; experimental teaching

新工科背景下机械制造实验课程改革探索

郭巍 彭鹤

中国石油大学(北京)机械与储运工程学院, 中国·北京 100249

摘要

在新工科建设背景下, 机械制造实验课程作为培养创新型工程人才的核心环节, 亟需通过系统性改革应对科技革命与产业变革的挑战。本文结合“中国制造2025”战略需求, 分析传统实验课程存在的教学内容滞后、教学模式单一、实践平台不足等问题, 提出以“数智赋能、产教融合、虚实结合、AI赋能”为核心的改革路径, 涵盖课程体系重构、教学方法创新、实验室建设优化及校企协同育人机制探索。通过实践案例验证, 改革方案有效提升了学生的工程实践能力和创新素养, 为高校机械类专业实验教学改革提供了理论参考与实践范式。

关键词

新工科; 机械制造; 实验教学

1 引言

在全球制造业智能化、绿色化转型的背景下, 新工科作为高等工程教育改革的方向, 通过重构人才培养体系、技术创新路径与产教协同机制, 为制造业高质量发展提供核心支撑, 同时制造业的转型升级亦倒逼新工科在学科布局、课程设计和实践模式上的迭代创新, 形成“教育链—人才链—产业链—创新链”四链协同的生态系统。

从需求侧看, 制造业的智能化转型对人才能力提出多维要求。根据“十四五”智能制造发展规划^[1], 数字孪生技

术应用、智能产线运维、跨学科系统集成等能力成为新型工程师的核心素养, 预计2025年智能制造领域人才缺口将达450万, 其中复合型技术技能人才占比超60%。制造业企业如“灯塔工厂”通过工业互联网、人工智能等技术实现生产全流程优化, 其技术复杂性与创新性要求教育体系突破传统工科培养模式, 转向“数智化+工程化”融合能力培养。例如, 重庆大学通过撤销20个传统本科专业、新增“智能建造技术”等交叉学科, 实现学科链与产业链的“齿轮咬合”, 直接服务重庆“33618”现代制造业集群建设^[2]。

从供给侧看, 新工科通过“反向设计”机制响应产业需求。教育部《新工科研究与实践项目指南》^[3]提出“实验教学新形态”理念, 推动课程体系从“知识传授”转向“能力建构”。例如东北大学“知行伴学”系统整合20多学科

【作者简介】郭巍(1992-), 女, 中国山东济南人, 硕士, 工程师, 从事机械制造实验教学和实验室管理研究。

知识图谱,实现个性化学习路径规划,使高危操作实训效率显著提升^[4]。

产教深度融合是战略耦合的关键枢纽。校企协同从“资源互补”升级为“价值共创”,例如重庆理工大学新能源汽车现代产业学院,围绕智能网联新能源汽车产业集群,形成了“教育链-产业链-创新链”深度融合的产教融合模式,实现功能要素的融合联动^[5]。这种协同机制不仅解决“校热企冷”困境,更通过“企业出题-师生解题-成果转化”的闭环,推动技术攻关与教育创新的双向赋能,实现教育与产业互哺的良性循环。

新工科建设作为高等工程教育改革的方向,强调以产业需求为导向,强化实践创新能力培养^[6]。然而,传统机械制造实验课程普遍存在教学内容与产业技术脱节、实验设备更新滞后、学生参与度低等问题,难以满足新工科人才培养要求。因此,探索机械制造实验课程的改革路径,既是教育现代化的必然要求,也是支撑制造业高质量发展的关键举措。

2 机械制造实验课程的现状与挑战

2.1 教学内容滞后于技术发展

传统实验课程以验证性实验为主,缺乏对智能制造、虚拟仿真等前沿技术的引入。此外,实验项目分散,缺乏跨学科整合,难以培养学生解决复杂工程问题的能力。

2.1.1 传统工艺与前沿技术融合不足

中国石油大学(北京)机械与储运工程学院当前的机械制造实验以激光切割加工和3D打印实验为主,但实验内容仍停留在基础应用层面。例如,激光切割实验多聚焦于二维平面切割,未涉及五轴激光加工、微米尺度切割等前沿技术;3D打印实验以熔融沉积成型(FDM)为主,缺乏金属增材制造、多材料复合打印等产业界广泛应用的技术模块。对比其他高校的相关实践,如清华大学引入的“智能加工虚拟孪生实验”,可实现通过数字孪生技术模拟复杂工艺参数优化,学生可提前验证设计方案,显著缩短试错周期。

2.1.2 跨学科整合缺失

现有实验课程未充分融合机械、材料、数据科学等交叉学科知识。以3D打印实验为例,未涉及拓扑优化算法、材料性能预测等数字化设计环节,导致学生仅掌握设备操作,缺乏全流程创新能力。相比之下,哈尔滨工程大学将工业机器人、MES系统与增材制造结合,开发“智能产线集成实验”,要求学生完成从设计建模到生产调度的全链条实践,可显著提高学生的实践综合能力。

2.2 教学模式与资源限制

2.2.1 实验设备更新滞后

激光切割设备多采用早期CO₂激光器,而企业已普及光纤激光器,技术代际差异导致学生技能与企业需求脱节。实验室3D打印实验仍以熔融沉积成型(FDM)为主,缺乏

金属增材制造、多材料复合打印等产业界广泛应用的技术模块。陈旧且有限数量的教学设备,难以支撑大规模开放实验教学,严重制约了实践类课程对学生综合素养的培养与提升。

2.2.2 虚拟仿真技术应用不足

当前的实验教学仍以实体操作为主,虚拟仿真平台建设滞后。重庆大学建设的“智能加工虚拟实验室”,集成VR/AR技术模拟高危操作,极大提升了实验参与率。反观我们当前的实验教学情况,虚拟仿真技术应用不足,例如对于激光切割加工实验,暂未开发激光切割工艺参数优化的数字孪生系统,学生无法通过虚拟实验预演加工过程。

2.2.3 师资实践能力与教学方法单一

实验指导多依赖传统“教师演示-学生模仿”模式,缺乏项目驱动式教学,且当前实验教师并不具备企业研发经验,难以引入真实工程案例。此外,团队合作实验设计较少,学生独立操作占比超过80%,抑制了协同创新能力的培养。

2.3 评价体系与产业需求脱节

现有评价体系以实验报告(占60%)和设备操作(占30%)为主,创新能力指标仅占10%。企业调研表明,约80%的用人单位认为毕业生缺乏“问题定义”与“迭代优化”能力,与实验评价导向直接相关。对比安徽建筑大学推行的“竞赛替代考核”机制,学生可通过全国大学生机械创新设计大赛作品替代实验报告,创新能力评分权重提升至40%,该举措值得深挖借鉴。

3 新工科背景下实验课程改革路径

3.1 重构课程体系:前沿技术与产业需求深度融合

3.1.1 教学内容动态更新

当前机械制造实验课程项目包含的激光切割加工实验与3D打印实验仍以基础工艺为主(如二维激光切割、FDM打印),未覆盖五轴激光加工、金属增材制造等产业主流技术。结合教学现状,在后续课程实施的过程中对课程内容进行模块化设计,形成“基础-综合-创新”三级递进模块:

基础层:保留传统工艺实验,但升级为数字化版本,例如将激光切割实验与参数优化算法结合,通过数据采集分析工艺稳定性。

综合层:参考清华大学“数字孪生+实体加工”模式,开发智能产线集成实验。例如将3D打印与工业机器人结合,模拟汽车零部件智能制造全流程,覆盖MES系统操作与质量检测环节。

创新层:设置柔性化实验模块,每学期更新30%内容,纳入复合材料增材制造、AI驱动的工艺优化等前沿领域。

3.1.2 跨学科整合与虚实结合

借鉴重庆大学“智能加工虚拟实验室”建设经验,构建“3E实验环境”(实体-虚拟-增强现实)。例如,开发

激光切割数字孪生系统,允许学生通过虚拟平台预演加工过程,材料浪费可减少75%,极大降低了实体设备损耗;引入AR技术辅助3D打印实验,实时叠加材料应力分布数据,增强学生对微观结构的理解。

3.2 创新教学模式:数据赋能与开放共享

3.2.1 混合式教学与个性化学习

当前实验实践教学将进一步优化“线上预习-虚拟验证-实体操作”三段式教学,线上平台集成慕课资源与虚拟仿真实验,学生可自主完成工艺设计预习,同时辅以数据驱动,通过实验教学大数据平台采集数据,生成个性化能力图谱,针对性推送学习资源。

随着人工智能等新技术在教育领域的应用日益广泛,在新工科实验环节中,人工智能等新技术也扮演了举足轻重的角色。借助人工智能等新技术,高校新工科课程将变得更加“智慧”,数智课堂将为学生配备数字教师和AI助教,实现精准施教,推动新工科课程建设;而数字技术的应用还可以将复杂的工科专业知识转化为“一图读懂”的知识图谱,清晰刻画出人才培养的知识体系,为“教与学”提供智能化支持。

此外,人工智能等新技术赋能新工科建设的实践模式,为中西部教育发展提供助力,进一步促进教育公平。在中国石油大学(北京)相隔3000多公里的中国石油大学(克拉玛依校区),两校师生通过“AI+互联网”技术,不仅能够共享实验设备资源,还可以开展远程交互式教学活动,实现“同上一堂课”。

3.2.2 实验室资源优化配置

参考天津科技大学实验室信息化改革经验,搭建石油机械实验教学管理平台,实现实验预约、虚拟仿真资源调用、实验数据云端共享等功能。例如,学生可通过平台远程操作校企共建实验室的数控加工设备,降低时空限制。此外,建立实验设备共享机制,整合校内资源,避免重复购置(如3D打印机、工业机器人),并通过企业捐赠补充诸如智能钻井模拟平台等高成本设备。

3.3 深化产教融合:从资源互补到价值共创

3.3.1 校企“双导师”项目制教学

结合中国石油大学(北京)与能源企业的合作资源,选聘工程师担任企业导师,与校内教师组成“双导师组”,共同制定实验课程大纲、设计实验项目。在授课过程中实施分阶段工学交替:基础实验在校内完成(如机械原理验证性实验),综合实训进入企业联合实验室(如石油装备产线调试),创新项目依托校企联合研发平台(如新能源装备开发)。

同时,将传统实验课程拆解为模块化项目单元,例如“智能钻井设备参数优化”“输油管道缺陷检测与修复”等,以企业真实技术难题为课题,融入包括机械设计、传感器技术、大数据分析等在内的多学科知识。

此外,积极同兄弟院校及相关合作企业校开展交流合

作,开设“订单式”实验课程,定向培养具备智能运维、绿色制造能力的复合型人才,与此同时引入企业真实技改课题,将科研成果反哺实验教学,形成“企业出题-师生解题-成果转化”闭环。

3.3.2 竞赛与课程融合式教学

在课程内容设置上,将实验课程与“全国大学生机械创新设计大赛”“中国石油装备创新设计竞赛”等赛事结合,建立“基础实验-综合实训-竞赛培育”三阶路径,鼓励学生以竞赛作品替代传统实验报告。例如,以“双碳目标下的石油装备轻量化设计”为赛题,学生需通过虚拟仿真优化结构、3D打印验证模型,并将优秀作品直接推荐至企业应用。

此外,从学校层面加强师资培训,实现以赛促教的师资能力提升。组织教师参与“全国高校教师教学创新大赛产教融合赛道”,以企业真实项目为教学案例,推动教师团队掌握产业前沿技术(如数字孪生、智能运维)。积极开展教师企业实践活动,组织实验教师参与企业技术攻关,并将实践成果转化为实验课程案例,切实提升教学质量。

4 结语

新工科背景下机械制造实验课程的改革需以产业需求为牵引,通过课程体系重构、教学方法创新、实验平台升级及产教深度融合,构建“能力导向、虚实互补、开放共享、课赛一体”的新型教学模式,决传统实验教学“重设备轻应用”“校企冷热”等痛点,为新工科人才培养提供可复制的实践范式。未来,随着人工智能与教育技术的深度结合,实验课程将进一步向个性化、智能化方向发展,为培养兼具工程实践能力、创新思维及可持续发展意识的复合型人才提供更强支撑。

参考文献

- [1] 工业和信息化部等八部门.“十四五”智能制造发展规划[EB/OL].(2021-12-21)[2025-03-19]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/28/content_5664996.htm
- [2] 田森,司鸽,刘莉,等.新工科背景下“科教+产教”双融合的学科交叉创新型人才培养模式——以资源与安全类学科为例[C]/中国职业安全健康协会.第二届安全类专业工程教育与特色人才培养研讨会摘要集.煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室重庆大学资源与安全学院,重庆大学;中南大学资源与安全工程学院,2024:7.
- [3] 教育部办公厅.新工科研究与实践项目指南[EB/OL].(2017-06-21)[2025-03-19]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201707/t20170703_308464.html
- [4] 李东,刘军,李永强.“理念创新、课程提质、融合共生、高效增产”新质力学的人才培养实践探索——以东北大学为例[J].才智,2025,(06):157-160.
- [5] 重庆理工大学.聚焦区域和国家经济社会发展需求走产学研用深度融合特色办学之路[J].中国科技产业,2024,(04):93-96.
- [6] 高雪薇.人工智能赋能教育评价改革的优化策略研究[D].湖北师范大学,2024.