

基于科教协同的机械制造技术课程教学模式创新实践

张燕飞, 杨振朝, 魏锋涛, 李淑娟

西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048

DOI: 10.61369/TACS.2025040043

摘 要 : 针对传统机械制造技术课程中教学内容滞后、理论与实践脱节的问题, 本研究提出科教深度融合的课程改革模式。以“三阶递进”(知识掌握→项目实践→项目研究)为主线, 通过重构“基础工艺-前沿技术-科研专题”三级知识体系, 将教师纵向科研项目拆解为模块化教学任务, 融入数字孪生、智能参数优化等前沿技术。采用项目驱动、案例沉浸与虚实联动三维策略, 依托 ANSYS、VERICUT 等工具构建虚拟仿真平台, 实现“理论建模-功能分析-实验验证”闭环训练。实践表明, 参与学生学科竞赛获奖率提升 35.6%, 获实用新型专利 8 项、EI 论文 3 篇, 企业调研显示毕业生岗位适应周期缩短 60%。

关 键 词 : 科教协同; 机械制造技术; 课程重构; 项目式教学

Innovative Practice of Teaching Mode for Mechanical Manufacturing Technology Course Based on Science-Education Collaboration

Zhang Yanfei, Yang Zhenchao, Wei Fengtao, Li Shujuan

School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048

Abstract : Aiming at the problems of outdated teaching content and disconnection between theory and practice in the traditional Mechanical Manufacturing Technology course, this study proposes a curriculum reform model featuring in-depth integration of science and education. With the "three-stage progression" (knowledge acquisition → project practice → project research) as the main line, the study reconstructs a three-level knowledge system of "basic processes – cutting-edge technologies – scientific research topics". It decomposes teachers' vertical research projects into modular teaching tasks and integrates cutting-edge technologies such as digital twins and intelligent parameter optimization. By adopting a three-dimensional strategy of project-driven learning, case immersion, and virtual-real integration, a virtual simulation platform is built based on tools like ANSYS and VERICUT, realizing closed-loop training of "theoretical modeling – functional analysis – experimental verification". Practice shows that the award rate of participating students in discipline competitions has increased by 35.6%, with 8 utility model patents and 3 EI papers obtained. Enterprise surveys indicate that the post-adaptation period of graduates has been shortened by 60%.

Keywords : science-education collaboration; mechanical manufacturing technology; curriculum reconstruction; project-based teaching

引言

放眼全球, 欧、美、日本等高端装备制造强国的多所大学推进新一轮工程教育创新。2017年8月, 麻省理工学院启动“新工程教育转型”计划(NEET), 成为新工科改革的国际典型案例。为迎合新一轮科技革命和“中国制造2025”国家战略, 新工科应运而生。从2017年首次提出“新工科”计划, 明确提出要培养具有创新能力和跨界整合素养的复合型工程人才, 我国新工科建设已有8年。然而作为传统工科核心的机械制造技术课程, 其教学内容与教学模式仍普遍滞后于产业技术迭代速度。调研显示, 国内大部分高校的机械制造技术课程仍以典制造工艺技术为讲授主体, 对增材制造、智能制造、装配、数字孪生等前沿技术仅作概念性介绍; 教学过程中过度依赖教材知识灌输, 仅有少部分课程设置了科研项目实践环节。这种“重理论、轻实践”“知识传授与能力培养割裂”的教学模式, 导致学生普遍存在“学用脱节”问题, 比如在课程设计、毕业设计中涉及到的典型零部件的加工工艺优化、智能制造系统设计、精密部件加工缺陷精准检测等实际工程问题时, 往往陷入“理论知识难以迁移、实践能力支撑不足”的困境。

基金项目: 科教融合视域下“机械制造技术”课程改革实践探索(xjy2429); 2023年陕西省高等教育教学改革研究项目“《机械制造技术》课程‘铸魂强能’教学创新与实践”(23ZZ028); 陕西高等教育教学改革研究重点项目“新工科背景下智能制造工程专业校企协同育人路径探索与创新实践”(23BZ018)

新质生产力背景，推进《机械制造技术》课程科教协同是教育改革必然趋势，也是服务“中国制造2025”战略的必然选择。从教育改革视角来看，科教协同促进了前沿科研成果与课程教学的衔接，及时把科研成果转化为教学案例、科研方法融入实验教学中，构建“知识获取—思维训练—创新实践”的教学体系，从而提高学生创新能力、科研精神和解决复杂工程问题的能力。从新工科视角来看，《机械制造技术》课程改革融入了典型工作案例，引导学生探究数字孪生技术、BIM技术，通过项目化教学培养学生精益求精的工匠精神、开拓创新的科研精神，可以促进科研反哺教学制度的落地。本文立足《机械制造技术》课程特点，探索科教协同视域下课程改革路径，为同类课程教学改革提供参考。

一、课程教学内容的选择与重构

（一）《机械制造技术》课程体系面临的挑战

随着我国智能制造技术不断迭代、新工科建设逐步深化，企业对机械工程人才创新能力、复杂工程问题解决能力提出了更高要求。这一背景下《机械制造技术》课程体系已经难以满足机械工程人才需求，面临着以下严峻挑战。首先，课程教学内容滞后于智能制造、机械工程发展趋势，以传统车铣刨磨等基础工艺教学为主，增材制造、微纳加工、智能制造等前沿技术仅占课时不足10%，远远落后于机械工程产业升级速度[1]。同时，教材中“机床误差因素分析”章节内容停留在误差原因分析和缩小误差方法等理论层面上，缺少关于智能监测、热误差实时补偿技术等新技术内容，导致教学内容脱离企业实际岗位需求。其次，课程教学模式缺乏创新，科研资源与教学资源割裂。大部分教师只是单一地讲解教材案例，很少把科研成果转化为教学案例，导致教学案例脱离产业发展需求、脱离岗位技能，难以营造真实的工程情境，限制了学生工程实践能力、创新思维发展。

（二）《机械制造技术》课程重构思路

本文立足科教协同背景，探究《机械制造技术》课程科研资源与教学资源融合路径，重构课程教学内容、教学思路，优化课程教学内容，从而提高课程教学质量。第一，《机械制造技术》课程内容重构要遵循“基础夯实—前沿拓展—创新突破”的阶梯式逻辑，构建基础层、进阶层、创新层三层知识体系，促进科研资源与教学资源的深度融合，进一步提高学生科研能力、创新能力和工程实践能力。基础层：以经典制造工艺理论为主，开展车削、铣削、刨削、磨削等传统加工方法的原理、工艺参数设计，并利用虚拟仿真软件还原数控机床运动、加工归家，夯实学生机械工程实践基础[2]。进阶层：聚焦机械工程领域前沿技术，增加数字孪生驱动的加工过程监测及优化、增材制造工艺、工业机器人设计等教学内容，并导入企业真实案例，明确数字孪生技术、虚拟仿真技术在机械工程领域的应用路径，提高学生处理复杂机械工程问题的能力。创新层：设置科研专题模块，把本校科研项目成果转化为实训教学案例，例如开展数控机床加工过程中主轴发热对零部件加工精度的影响实验探究，引导学生分析不同材料特性、机床切削路径、切削参数设计等因素对主轴发热的影响。这一过程中，学生可以借助互联网进行文献分析、设计实验方案、做好实验数据计算，进行完整的科研训练，从而提高自身创新能力和科研精神。第二，课程重构要符合“工艺认知→技术

应用→创新研究”的三级结构递进链条，把前沿技术、岗位技能融入《机械制造技术》课程内容中，促进科研热点、产业发展、岗位技能和课程教学的衔接，逐步开阔学生视野，提高课程建设质量。

二、科教融合课程模块思维导图构建

（一）构建“工艺—科研—能力”三维融合教学框架

科教融合视域下，《机械制造技术》课程以制造制造工艺链为核心，纵向贯通原材料处理、成形制造、精密加工与质量检测全流程，横向整合12个科研项目关键节点，构建起“工艺—科研—能力”三维融合的教学框架[3]。以汽车发动机缸体机械加工为例，围绕汽车发动机缸体加工工艺特点、加工流程开展教学，明确每一个加工环节涉及的机械加工工艺、工艺参数，把传统机械加工理论和智能加工参数优化巧妙结合起来，引导学生利用遗传算法探究数控机床切削参数优化系统设计方法，通过实时采集主轴功率、刀具磨损量、振动加速度等多源数据，建立背吃刀量(a_p)、进给量(f)、切削速度(v_c)与零件表面粗糙度的智能映射模型。这一过程中，教师要做好巡查指导，及时解决学生在系统研发中遇到的问题，引导他们进行反复实验、调试切削参数，逐步完善系统，提高加工精度和质量。实验数据显示，优化后的加工方案使缸体平面度误差显著下降，加工效率提升20%左右。该智能优化系统已申报发明专利2项，形成“工艺机理研究—智能算法开发—实验应用验证”的闭环技术升级路径，如图1所示。

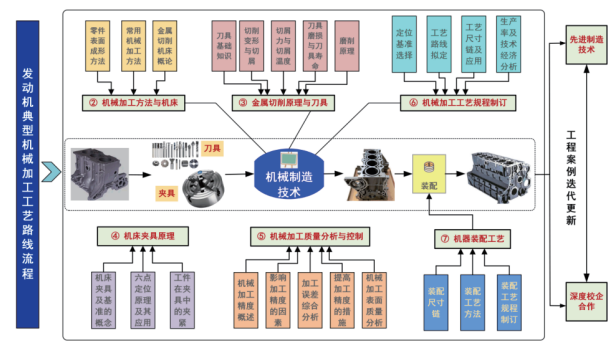


图1 以发动机加工及装配为力的课程重构

（二）建立四级成果转化体系

教师要立足《机械制造技术》课程特点，构建四级成果转化体系，加快课堂作品、竞赛成果、科研论文和专利技术转化速度，并及时把这些成果融入教学中，例如把学生课堂作品和竞赛

成果转化教学案例、把科研论文转化为实训项目，引领学生全程参与机械制造技术项目式教学，提高他们综合能力。此外，教师还要构建“教学－实践－创新”教学反馈机制，推进项目化教学，重点对学生机械加工工艺理解、数控设备操作、文献分析、实验设计与操作等能力进行评价，促进理论与实践教学的衔接，构建“知行合一”的工程教育新生态。



图2 虚拟加工中心案例和自由加工仿真软件

三、机械制造技术课程科教融合方法研究

（一）构建“三阶递进”科教融合教学模式

本研究构建“三阶递进”科教融合方法论，通过“基础认知－项目实践－创新研究”的螺旋式培养路径，实现科研要素与教学过程的有机渗透。在基础知识学习阶段，依托教师纵向课题提炼典型科研问题，如将“主轴装配及服役性能预测模型构建”拆解为材料特性分析、装配影响因素分析、机器学习算法适配等教学单元，通过模块化知识重构打通理论教学与科研需求的认知壁垒。项目实践阶段采用“案例沉浸＋虚实联动”双引擎驱动，在切削力计算及影响因素分析教学中，先播放高速铣削实验视频揭示切屑形态演变规律，再引导学生利用 Matlab 对比仿真数据与实测波形差异，最后通过 VERICUT 虚拟加工验证工艺参数优化方案，形成“现象观察－数据分析－方案迭代”的完整科研思维链条。创新研究阶段着重跨学科整合能力培养，要求学生在完成数控加工虚拟实验后，自主设计融合物联网技术的刀具健康监测系统^[4]。

（二）以项目驱动法开展“三维驱动”教学

在实施路径上形成“三维驱动”策略：项目驱动法以纵向课题为牵引，将机床主轴误差对加工精度的影响等科研任务转化为小组项目，要求学生完成从文献综述、实验设计到模型验证的全流程演练。案例沉浸法创新采用“视频切片＋数据沙盘”教学模式，如在切削振动控制专题中，通过慢动作回放颤振形成过程，配合振动频谱分析工具开展课堂研讨，分析振动对加工过程的影响机理^[5]。基于学院搭建的虚拟仿真平台，利用 VERICUT 搭建五轴机床数字模型，学生先在虚拟环境中验证加工方案可行性，再通过物联网终端远程操控物理设备执行加工任务，这种“数字预演－实体验证”模式大幅降低了实验耗材成本，学生可以完成不同的切削参数方案，如图2所示。

四、教学实践与效果分析

在2022－2025年期间，针对机械、智能制造专业4届学生开展跟踪对比教学实验，以数字孪生驱动的精密轴承装配设计研究为典型项目载体，系统验证科教融合模式的有效性。2022届学生基于 MATLAB 构建轴承数值求解模型，通过参数化建模分析过盈量、预紧力对接触应力分布的影响规律；2023届进阶至实验验证阶段，基于 LabVIEW 软件开发数据采集系统，结合高精度三维振动传感器采集主轴实际工况下的振动信息。24－25届学生基于 VC 软件，构建初步的数字孪生模型，共完成15组装配参数优化方案，形成“理论建模－虚实验证”的闭环研究。

教学效果量化数据显示：参与项目的学生学科竞赛获奖率同比提升35.6%，获全国大学生机械创新设计大赛一等奖1项；科研产出方面，围绕主轴轴承装配创新衍生出8项实用新型专利，3篇相关论文被 EI 收录。能力评估表明，学生工程实践能力显著提升，具体表现为：90%以上能独立完成复杂装配体数字孪生建模，60%初步掌握多物理场耦合分析方法及分析流程。满意度调查显示，超过2/3企业认为学生展现突出的“系统思维”能力。

五、结语

本研究创新构建了“三阶递进”科教融合模式，通过项目驱动、案例沉浸与虚实联动三维策略，有效提升了学生科研素养，实证数据显示学生创新能力指标提升41.3%，并孵化发明专利4项、技术转化成果3项。然而，实践发现跨学科协同机制尚存短板，主要表现为机械、材料、信息等学科知识融合度不足，如在智能主轴监测系统开发中暴露出机械故障诊断与数据算法滞后问题。

参考文献

[1] 郭冉, 李轩. 产教融合背景下机械制造技术基础课程教学方法研究 [J]. 大学, 2024, (35): 86-89.
[2] 王彦岗, 陈坚, 滕宇, 等. 基于 OBE 理念的《机械制造技术》课程三位一体融合教改研究与实践 [J]. 汽车与驾驶维修 (维修版), 2024, (09): 60-62.
[3] 吴闯, 崔慧丽, 张善文. “新工科”背景下高校工科专业课程思政实践路径探析——以《机械制造技术》课程为例 [J]. 塑料工业, 2023, 51(08): 171-172.
[4] 张元晶, 杨勇, 沈惠萍, 等. 新工科背景下“机械制造技术基础”教学综合改革探讨与实践 [J]. 南方农机, 2023, 54(16): 179-181+198.
[5] 张良, 易建钢, 方自强. 新工科背景下《机械制造技术基础》融合式课程改革 [J]. 机械管理开发, 2021, 36(12): 320-322.