

AI 辅助《焊接过程传感与控制》课程教学方法改革与实践

李海超 郭隐焱 马盼 张天理

上海工程技术大学, 上海 201620

[摘要]在工程教育数字化转型与焊接智能制造迅速发展的背景下,传统《焊接过程传感与控制》课程的教学模式已难以满足新时代人才培养的需求。鉴于该课程概念抽象、体系复杂且实践性强的特点,以及学生在知识整合能力、抽象思维和实践机会方面存在的不足,本文探讨了人工智能技术(AI)与焊接工程教育深度融合的创新路径。构建了涵盖“理论-仿真-实践”三位一体的教学体系,系统性地引入基于机器学习的焊缝成形预测与参数优化、基于计算机视觉的焊缝跟踪数字孪生系统等智能化案例,创新性地融入智能评测系统与项目驱动式学习方法,实现了教学理念从单纯知识传授向能力培养的转变。教学改革前后对比结果显示,学生理论作业平均得分提升了14.3%,实践操作优秀率提高了21%,平均出勤率提升了11.5%,迟到率下降至2.1%。本研究不仅在量化指标上取得显著进步,更在学习过程的质量与效率方面实现了根本性提升,有效促进了学生批判性思维、创新意识及自主学习能力的培养,为工程教育数字化转型提供了具有推广价值的实践范例与理论支持。

[关键词]人工智能;焊接工程;教学改革;智能化案例;新工科

DOI: 10.33142/fme.v6i8.17539

中图分类号: G642

文献标识码: A

Reform and Practice of AI Assisted Teaching Method for "Sensing and Control of Welding Process" Course

LI Haichao, GUO Yinben, MA Pan, ZHANG Tianli

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, 201620, China

Abstract: Against the backdrop of digital transformation in engineering education and rapid development of welding intelligent manufacturing, the traditional teaching mode of "Welding Process Sensing and Control" course is no longer able to meet the needs of talent cultivation in the new era. Given the abstract concept, complex system, and strong practicality of this course, as well as the shortcomings of students in knowledge integration ability, abstract thinking, and practical opportunities, this article explores innovative paths for the deep integration of artificial intelligence technology (AI) and welding engineering education. We have constructed a teaching system that covers the three in one of "theory simulation practice", systematically introducing intelligent cases such as machine learning based weld seam forming prediction and parameter optimization, computer vision based weld seam tracking digital twin system, and innovatively integrating intelligent evaluation system and project driven learning methods, realizing the transformation of teaching philosophy from simple knowledge imparting to ability cultivation. The comparison results before and after the teaching reform show that the average score of students' theoretical homework has increased by 14.3%, the excellent rate of practical operation has increased by 21%, the average attendance rate has increased by 11.5%, and the lateness rate has decreased to 2.1%. This study not only made significant progress in quantitative indicators, but also achieved fundamental improvements in the quality and efficiency of the learning process, effectively promoting the cultivation of students' critical thinking, innovation awareness, and self-learning ability, which provides practical examples and theoretical support with promotional value for the digital transformation of engineering education.

Keywords: artificial intelligence; welding engineering; education reform; intelligent case studies; emerging engineering

引言

《焊接过程传感与控制》是高校焊接技术与工程、机械电子工程等相关专业的核心课程,主要培养学生掌握焊接传感技术原理、设计自动控制系统及解决实际工程问题的能力。该课程融合了传感器技术、自动控制理论、电弧物理学及材料科学等多学科知识,具有概念抽象且实践性强的特点,给教学工作带来了显著挑战。尤其在工业4.0背景下,现代焊接工程师不仅需精通传统焊接工艺,还需具备数字化连接与数据管理、自动化与机器人编程、智能

分析与优化等跨学科能力,这进一步提升了课程教学的难度与复杂性^[1]。

传统以“教师讲授、学生听讲”为主的教学模式,在面对复杂的控制算法、不可见的传感信号及动态变化的焊接过程时显得力不从心。学生普遍反映“理解理论但难以应用”,理论知识与工程实践之间存在较大鸿沟,难以有效培养创新思维与实践能力^[2]。此外,焊接实验教学受限于设备成本高昂、耗材消耗大、安全风险存在及实验周期较长等现实因素,难以满足每位学生深入实践的需求。理

论与实践脱节的教学模式已成为制约焊接工程人才培养质量提升的关键瓶颈。

近年来,人工智能技术,尤其是在机器学习、计算机视觉及数字孪生等领域的突破性进展,为解决焊接教学中的难题提供了全新的技术手段与教学理念^[3]。人工智能技术在数据处理、模式识别及预测优化方面的强大能力,与焊接过程中的传感与控制技术高度契合,为课程教学改革创造了前所未有的发展机遇^[4]。本文创新性地构建了人工智能技术与焊接工程深度融合的跨学科教学模式,开发了涵盖“理论-仿真-实践”三位一体的教学体系^[5],并通过智能评测等方法突破了传统教学的局限,实现了从单纯知识传授向能力培养的教学理念转变^[6]。本文旨在系统探讨人工智能技术在《焊接过程传感与控制》课程中的应用模式、实施路径及评价体系,为传统工程学科的数字化转型及其他实践性较强的工科课程教学改革提供实证依据。

1 学情分析

1.1 本科生学习特点与智能化技术学习需求分析

《焊接过程传感与控制》课程面向大三、大四本科生,学生已完成《电路原理》《自动控制理论》《传感器技术》等相关先修课程。调研结果显示,94%的学生希望在课程中使用 AI 技术,92%认为掌握智能化技术对职业发展至关重要。作为数字原住民,他们偏好多媒体交互式学习,对传统教学方式表现出疲劳感。通过前期调研发现,学生能力存在三大短板。一是知识整合能力薄弱,难以将 PID 控制、图像处理等理论知识与焊接工艺问题联系,无法形成系统化解决方案。二是抽象思维不足,对控制系统中的信号流、控制量缺乏直观认识,算法理解停留在公式层面。三是实践机会匮乏,受限于设备台套数少、实验时间有限,动手操作和试错调试机会严重不足,导致理论与实践脱节。

此外,学生还表现出强烈的实践导向和跨学科学习需求。多数学生希望通过开发智能焊接系统等项目掌握知识,超半数学生对 Python 编程和机器学习应用感兴趣,81%期望增加企业案例和行业专家讲座。然而,由于本科生的知识体系构建和深度思考能力不足,学习动机出现分化,部分学生对前沿技术兴趣浓厚,另一部分则因课程难度产生畏难情绪。因此,课程改革应利用 AI 技术搭建虚实结合的教学桥梁,化解抽象与具象的矛盾,增加高质量实践机会,实施个性化教学。

1.2 课程特点与传统教学模式的困境分析

《焊接过程传感与控制》课程是一门高度综合性的专业课程,主要涵盖焊接过程传感技术、焊接过程建模与控制基础以及焊接自动化系统集成三大核心内容。该课程旨在培养学生具备“感知-决策-执行”闭环系统的思维模式,使其能够针对具体焊接任务合理选择传感方案,设计或调试控制算法,从而实现焊接自动化的高质量与高效率。

然而,传统的“理论讲授与实验验证”教学模式在面

对如此复杂的知识体系时暴露出显著不足。理论与实践的脱节尤为突出,课堂教学多侧重于传感器原理和控制理论等抽象知识的讲解,学生难以直观理解这些技术在实际焊接过程中的应用。例如,在讲授视觉传感焊缝跟踪技术时,传统教学通常依赖静态图片和数学公式来阐述原理,学生无法体验动态图像处理过程及实时控制效果,也难以理解参数调整对系统性能的具体影响。此类脱离实际的教学方式导致学生虽掌握理论知识,但难以形成扎实的工程应用能力。

实验条件的局限性进一步加剧了焊接教学中的困境。多数高校缺乏先进的焊接传感与控制实验设备,且设备维护成本高昂、数量有限,导致学生仅能开展基础的验证性实验,难以进行探索性和创新性实验。每次焊接实验均需消耗大量焊材及保护气体,且学生在实验过程中面临高温、有毒烟尘及强光辐射等安全风险,这些因素严重制约了实践教学的有效开展。此外,现行考核评价体系过于侧重理论知识的记忆,期末考试权重过大,忽视了实践能力与创新思维的培养,难以全面反映学生的综合学习成果。鉴于此,传统教学模式已难以满足智能制造时代焊接工程师培养的需求,亟需引入人工智能等新兴技术,推动教学体系的系统性改革。

2 AI 辅助的教学方法改革与实践

2.1 教学理念革新:从知识传授到能力培养

基于对学生学习状况的深入分析,教学改革的首要任务在于实现教学理念的根本性转变。传统教学模式侧重于知识点的传授,导致学生存在“理解内容但难以应用”的困境。新的教学理念则将关注重点从“教师传授了什么”转向“学生能够完成什么”,由知识的单向传递转变为能力的系统培养,旨在有效解决理论与实践脱节以及知识难以整合应用的核心问题。

鉴于当前学生在知识整合能力较弱及抽象思维不足的现状,本文重新构建了能力培养体系。在技术能力方面,教学目标不再局限于让学生机械记忆 PID 控制公式或传感器参数,而是着重培养其在实际焊接场景中选择合适的传感器、设计控制方案及调试优化系统的综合应用能力。在方法能力方面,针对学生难以建立知识模块间关联的问题,重点强化系统思维与问题解决能力的培养,促使学生能够将信号处理、控制算法与焊接工艺有机融合。在实践能力方面,借助人工智能技术突破传统实验条件的限制,确保每位学生均能充分参与项目实践,通过“做中学”的方式有效提升其工程实践能力。

该理念转变的实施路径旨在构建以“需求导向、能力本位、持续改进”为核心的教学体系。基于焊接智能制造的实际需求,明确各教学模块的能力目标。例如,视觉传感模块不仅要求学生掌握成像原理,还需具备编写图像处理程序及实现焊缝识别的能力;控制系统模块不仅传授控

制理论,更强调学生能够依据焊接质量要求设计与调试控制参数。同时,充分利用学生对人工智能技术的高度接受度,将机器学习、计算机视觉等智能化方法融入各教学环节,既激发学生的学习兴趣,又培养其面向未来的技术能力。通过人工智能赋能的虚拟仿真、智能评测及个性化指导,使原本抽象的“信号流”“控制量”等概念得以可视化和可控化,确保每位学生能够根据自身基础与兴趣,获得适宜的学习路径及充分的实践机会。

2.2 课程内容重构:融入智能化案例

2.2.1 案例一:基于机器学习的焊缝成形预测与参数优化

焊缝成形质量是焊接过程控制的核心目标,传统方法依赖经验公式和试错法,效率低且精度有限。基于机器学习的焊缝成形预测与参数优化教学案例,可以让学生体验数据驱动的智能决策过程^[7]。该案例教学分为四个阶段。第一阶段为数据采集与预处理,学生通过传感器采集焊接过程参数(如电流、电压、送丝速度、焊接速度等)及焊缝成形参数(包括熔宽、余高、熔深等),并掌握数据清洗与特征工程等预处理技术。第二阶段为模型构建与训练,学生利用 Python 编程,采用随机森林、支持向量机、神经网络等算法构建焊缝成形预测模型,深入理解各类算法的原理及其适用范围。第三阶段为模型评估与优化,学生通过交叉验证、网格搜索等方法对模型参数进行调优,学习并掌握模型性能评价指标(如平均绝对误差 MAE、均方根误差 RMSE、决定系数 R^2 等)的含义及计算方法。第四阶段为参数优化应用,基于训练完成的模型,运用遗传算法、粒子群优化等智能优化算法,寻求焊接参数的最

优组合。通过该案例的学习,学生不仅系统掌握了机器学习的基本流程与方法,更深刻理解了人工智能技术在实际工程问题中的应用途径。

2.2.2 案例二:基于计算机视觉的焊缝跟踪数字孪生系统

焊缝跟踪技术作为焊接自动化实现的核心,涵盖了图像处理、模式识别及控制系统等多学科领域^[8]。数字孪生系统由物理层、数据层、模型层和应用层四个层级构成。物理层包括实际的焊接机器人、视觉传感器及工件,使学生能够在真实环境中观察系统的运行状态。数据层负责焊接过程数据的实时采集、传输与存储,帮助学生掌握工业物联网及数据通信技术。模型层则构建了焊接过程的数字化映像,涵盖机器人运动学模型、视觉处理模型和焊缝跟踪控制模型,学生通过虚拟环境深入理解系统的工作原理。应用层提供了可视化界面与交互功能,使学生能够实时监控焊接过程、调整控制参数并分析跟踪效果^[9]。

在教学实践过程中,学生首先掌握计算机视觉的基础理论知识,涵盖图像采集、预处理及特征提取等关键环节。随后,学生深入学习焊缝识别算法,内容包括基于边缘检测的传统方法以及基于深度学习的先进技术。借助 OpenCV 和 TensorFlow 等开发工具,学生自主设计并实现焊缝识别程序。接着,学生进一步学习控制系统的设计原理,将视觉识别的结果转化为机器人运动控制指令。最后,学生在数字孪生平台上开展综合实验,验证算法的有效性并优化系统性能。该教学案例的创新之处在于将抽象的算法理论与直观的系统实践相结合,促使学生深入理解虚拟与现实融合的核心理念。



图1 AI辅助《焊接过程传感与控制》课程教学方法改革总体框架

2.3 教学方法创新

2.3.1 智能评价系统

传统的考核评价方法难以全面且客观地反映学生的学习效果,尤其在实践能力与创新思维的评估方面存在不足。基于人工智能技术的智能评测系统能够实现对学习过程的实时监控、个性化反馈及综合性评价。该系统采用多模态数据融合技术,综合分析学生的学习行为数据、作业完成情况、实验操作过程及项目成果。在作业评价中,系统不仅检测答案的正确性,还能深入分析解题的思路与方法。针对编程作业,系统可以评估代码的功能正确性、可读性及创新性。在实验评价方面,系统通过分析实验操作日志,可以评估学生的操作规范性、参数选择的合理性及问题解决能力。

个性化学习支持是智能评测系统的重要功能之一。针对对学习存在困难的学生,系统提供额外的辅导材料及简化练习。而对于学习能力较强的学生,则推荐具有挑战性的任务和拓展性资源。此外,系统具备预测学生学习风险的能力,能够及时向教师和学生发出预警。智能评测系统的应用显著提升了教学效率与质量,教师在作业批改上的时间得以缩减,从而能够将更多精力投入到教学设计与个别辅导中。学生则获得了及时且详尽的反馈,学习积极性显著增强。

2.3.2 项目驱动式学习

项目驱动式学习作为培养学生综合能力的有效途径,能够实现从简单到复杂、从单一技术到系统集成的逐步递进,显著提升学生的工程实践能力。项目设计紧密契合当前产业需求,且通过与合作企业共同确定项目主题。基础项目涵盖“基于 Arduino 的焊接参数监测系统”“基于 OpenCV 的焊缝图像识别程序开发”等,主要侧重于单一技术的应用能力培养。进阶项目如“基于机器学习的焊接质量预测系统”“焊接机器人视觉伺服控制系统设计”等,要求学生综合运用多种技术手段。挑战项目则包括“智能焊接工作站设计与实现”“焊接数字孪生系统开发”等,强调系统性设计与创新能力的培养。

本项目实施过程中采用了 CDIO (构思-设计-实现-运作) 工程教育模式。在构思阶段,学生团队深入分析项目需求,查阅相关文献资料,制定科学合理的技术方案。设计阶段,学生开展系统的详细设计工作,涵盖硬件选型、软件架构构建及算法设计等内容。实现阶段,学生亲自搭建系统,编写程序代码,并进行调试与优化。运作阶段,学生对系统性能进行全面测试,撰写技术文档,并完成成果展示。项目评价体系结合过程评价与结果评价,既关注最终成果的质量,也重视学生在项目实施过程中的学习效果与能力提升。项目驱动式学习模式显著激发了学生的学习积极性与创新潜能。在此过程中,学生不仅能够完成高质量的项目,还能积极参与各类科技竞赛及专利申请,丰

富其大学学习经历。

2.4 “理论-仿真-实践”三位一体教学体系

“理论-仿真-实践”三位一体教学体系作为实现知识掌握、能力培养与素质提升的有效路径,紧密融合了抽象理论、直观仿真体验及真实工程实践,构建了完整且闭环的学习模式^[10]。理论学习模块侧重于知识体系的构建与基本原理的深入理解,采用翻转课堂教学模式,学生通过课前在线资源自主学习基础内容,课堂则聚焦于深入讨论、案例分析及问题解决。仿真实验模块强化理论知识的应用能力及实践技能训练,突破时间、空间与资源限制,允许学生反复操作与深入探索。工程实践模块旨在提升学生解决实际工程问题的能力。理论学习为仿真与实践奠定知识基础,仿真实验验证并深化理论认知,工程实践检验学习效果并激发新问题,推动理论学习的进一步深化。此螺旋式递进的学习过程,有助于学生知识结构、能力水平及综合素质的全面提升。

3 教学实践成效分析

本文系统性地评估了 AI 辅助教学改革前后两学期的教学成效,评估体系围绕学生作业完成情况和学习参与度两个核心维度构建。从多角度、全方位地反映教学改革的实施成效,为 AI 技术在专业教育中的深度融合提供实证支撑。

3.1 学生作业完成情况的显著改善

作业完成质量作为学生知识内化程度和学习效果的直接体现,是评价教学成效的关键指标。通过对前后两学期学生提交作业情况的分析, AI 辅助教学在提升学习效果方面展现出显著优势。

在理论知识掌握层面, AI 辅助教学后学生的理论作业平均得分达到 85.3 分,相比传统教学的 74.6 分,实现了 14.3% 的显著提升。在实践操作能力方面, AI 辅助教学后学生的优秀率达到 47%, 几乎是对照组 21% 的两倍有余。深入分析可知, 学生借助 AI 仿真平台的实时反馈机制, 能够更快速地掌握参数与焊接质量之间的关联规律, 促进了其从模仿学习向创新实践的转变。综合分析表明, AI 辅助教学不仅在量化指标上实现了显著提升, 更在学习过程的质量和效率方面带来了根本性改善, 为培养具备现代化技能的焊接专业人才奠定了坚实基础。

3.2 学习参与度的全面提升

学生出勤率及学习参与度的变化是反映课程吸引力和教学效果的重要指标。数据分析显示, AI 辅助教学在激发学生学习积极性和提升课堂参与度方面成效显著。

AI 辅助教学后学生的平均出勤率达到 94.7%, 相比对照组的 83.2% 提高了 11.5%, 这一提升幅度在教育实践中具有重要意义。更为重要的是, 出勤质量的同步改善, AI 辅助教学后的迟到率从学期初的 8.3% 大幅下降至学期末的 2.1%, 早退现象几乎完全消失。这种变化反

映了 AI 辅助教学通过增强课堂互动性和趣味性,有效激发了学生的内在学习动机,使被动出勤转变为主动参与。这些数据的背后反映了 AI 技术成功地将传统的“教师主导”模式转向“学生主体”模式,实现了从外在约束向内在驱动的根本转变。这种转变不仅提升了即时的学习效果,更为培养学生的自主学习能力和终身学习意识奠定了重要基础。

4 结论与展望

4.1 教学改革成效总结

本文成功构建了 AI 深度融入焊接专业教育的创新教学模式,实现了从传统工程教育向智能化教育的系统性转型。在教学理念上,实现了从单纯的知识传授到着重培养学生能力的根本性转变,确立了以学生为中心的教学模式。

在教学内容方面成功融入机器学习、计算机视觉、数字孪生等前沿技术,实现了课程体系的现代化重构。在教学方法上,创新性地引入了智能评测系统、项目驱动式学习等技术手段,极大地提升了教学的互动性和实效性。同时在教学体系层面建立了“理论-仿真-实践”三位一体的教学架构,为学生提供了完整的知识建构路径。定量评估结果充分验证了改革的显著成效,更为重要的是改革实现了学生思维方式的深层转变,有效培养了批判性思维、创新意识和自主学习能力,为智能制造时代的人才需求提供了切实可行的解决方案。研究证明, AI 辅助教学不仅在技术层面具备可操作性,更在教育理念和人才培养模式创新方面具有深远的革命性意义,为工程教育的数字化转型提供了有价值的实践经验和理论支撑。

4.2 未来挑战与发展方向

虽然教学改革已经取得了显著的成效,但仍然面临着多方面的挑战,需要系统地加以解决。从技术角度来看,主要问题是设备投入成本过高,不同技术平台之间的数据共享和功能协同的复杂性也需要进一步优化。在师资方面,教师对新技术的掌握和应用能力还有待提高。在学生层面,基础能力的差异较大,部分学生编程基础薄弱,这影响了

他们对 AI 技术的学习效果,而且跨学科内容的学习也使得他们的学习负担相对较重。展望未来,改进策略应该集中在建立多元化的投入机制上。可以通过校企合作、项目申报等渠道来解决资金问题,完善师资培训体系,并定期开展 AI 技术培训和教学研讨活动。此外,还需要优化课程设计,实施分层教学和个性化学习路径,深化产教融合,与企业共建共享教学资源。

[参考文献]

- [1]杨森森,林晓辉,于春洋,等.焊接技术与工程专业项目化改革教学的探索与实践[J].机械制造文摘(焊接分册),2024(6):21-24.
- [2]吴中元.人工智能赋能高等教育评价改革的动因、内涵及路径[J].黑龙江高教研究,2025,43(2):133-139.
- [3]于岩,张丽,张小舟,等.新质生产力视角下材料科学基础课程教学改革研究[J].科教文汇,2025(17):95-98.
- [4]苏娜,李文达.大数据与人工智能赋能下的智能化焊接技术及其教育革新[J].知识窗(教师版),2024(11):3-5.
- [5]詹存,沈春颖,唐鸿磊.生成式 AI 赋能《最优化原理与方法》课程教学改革探索[J].中国电力教育,2025(2):86-88.
- [6]赵静,孙晓杰.AI 赋能的“物联网控制技术”课程新工科教学改革研究[J].无线互联科技,2025,22(16):124-128.
- [7]荀星禄,吴頔,董金枋,等.基于机器学习的铝合金脉冲激光焊接工艺及质量预测研究[J].电焊机,2023,53(9):84-90.
- [8]王志江,薛坤喜,吴定勇,等.基于视觉传感的机器人焊缝纠偏控制系统[J].机械工程学报,2019,55(17):48-55.
- [9]孙增光,王士军,周永鑫,等.基于图像处理的焊缝实时跟踪技术研究[J].制造技术与机床,2019(5):144-148.
- [10]师路欢,杨冲,马军磊.“KG+AI”双引擎驱动的智慧课程改革探索——以机械工程控制基础课程为例[J].汽车实用技术,2025,50(17):93-99.

作者简介:李海超(1988—),男,汉族,黑龙江省哈尔滨人,副教授,上海工程技术大学,研究方向:亚稳材料开发与应用。