

AI赋能“材料物理化学”课程建设的探索与实践

魏小平*, 张春林, 田苗

兰州交通大学数理学院, 甘肃兰州

摘要: 人工智能(AI)技术的迅猛发展为高等教育教学改革提供了强大引擎。针对“材料物理化学”课程理论抽象、实践性强、学科交叉融合度高带来的教学挑战, 本文系统探索了AI技术赋能该课程建设的路径与实践成效。通过构建融合知识图谱的智能教学资源库、开发基于虚拟仿真与AI辅助设计的实验教学模块、部署智能导学与个性化学习系统、创新AI驱动的教学评价模式, 显著提升了课程的智能化水平与教学效果。实践表明, AI赋能有效促进了学生高阶思维能力发展、强化了实践创新素养、优化了教学资源配置, 为新时代材料类学科核心课程的高质量发展提供了可借鉴范式。

关键词: 人工智能; 材料物理化学; 课程建设; 教学改革; 智能教育; 虚拟仿真

Exploration and Practice of AI-Enabled Course Construction for “Physical Chemistry of Materials”

Xiao-Ping Wei*, Chun-Lin Zhang, Miao Tian

School of Mathematics and Physics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu

Abstract: The rapid development of Artificial Intelligence (AI) technology provides a powerful engine for the reform of higher education teaching. Addressing the teaching challenges posed by the abstract theory, strong practical orientation, and high degree of interdisciplinary integration in the Materials Physical Chemistry course, this paper systematically explores the pathways and practical outcomes of empowering the course construction with AI technology. By building an intelligent teaching resource library integrated with knowledge graphs, developing experimental teaching modules based on virtual simulation and AI-assisted design, deploying intelligent tutoring and personalized learning systems, and innovating AI-driven teaching evaluation models, the course's intelligent features and teaching effectiveness have been significantly enhanced. Practice demonstrates that AI empowerment effectively promotes the development of students' higher-order thinking skills, enhances practical innovation skills, optimizes the allocation of teaching resources, and provides a replicable model for the high-quality development of core materials science courses in the new era.

Keywords: Artificial Intelligence; Materials Physical Chemistry; Curriculum Development; Teaching Reform; Intelligent Education; Virtual Simulation

1 引言：AI赋能材料学科教育的时代诉求

“材料物理化学”作为材料、化学以及物理等专业的核心基础课，承载着衔接基础理论（物理、化学）与材料应用（结构、性能、制备）的关键桥梁作用。其教学内容涵盖量子力学基础、统计热力学、相平衡与相变动力学、表面与界面、材料电化学、动力学过程等几个方面，具有理论体系复杂抽象、数学推导密集、微观机制难以直观呈现、前沿交叉性强等特点。“材料物理化学”课程的传统教学模式常面临以下痛点：（1）理解壁垒高：微观粒子行为、抽象理论模型（如薛定谔方程、配分函数）难以有效可视化，学生认知负荷大。（2）实践受限：大型仪器（如透射电镜、同步辐射）成本高昂、操作复杂，部分微观过程（如晶体生长、界面反应）难以实时观测或安全实验。（3）个性化缺失：学生数理基础和认知风格差异显著，教学难以满足多元与个性化需求。（4）评价滞后：传统作业与考试侧重结果性评价，难以实时、全面追踪学习过程与思维发展。与此同时，以大数据、机器学习（ML）、深度学习（DL）等为代表的人工智能技术蓬勃发展，其强大的数据处理、模式识别、模拟预测与自适应交互能力，为破解上述教学困境提供了前所未有的机遇。AI赋能教育（AIED）已成为全球高等教育改革的战略方向。在此背景下，积极探索AI深度融入“材料物理化学”课程建设的路径与实践，具有重要的理论价值与现实意义[1]。

2 AI赋能材料物理化学课程建设的核心路径与实践

本研究以“学生为中心、能力为导向、智能为驱动”为理念[2]，通过智能教学资源库建设、虚拟仿真与AI辅助实验、智能导学与个性化学习系统以及AI驱动的多元智能评价构建了AI赋能“材料物理化学”课程建设的“四维一体”框架：

2.1 智能教学资源库建设

在具体的实践过程中，首先利用NLP技术对经典教材、权威文献、课程大纲进行深度语义分析，

自动提取核心概念（如“能带结构”、“扩散系数”、“吉布斯自由能”）、原理定律及其复杂关联，构建结构化的课程知识图谱，图谱动态更新，融入最新科研成果（如机器学习势函数在分子动力学中的应用），最终构建知识图谱驱动的动态资源体系[3]。其次，基于KG，自动关联、标注和聚合多媒体资源（微课视频、3D模型、动态模拟、研究论文、习题库）。例如，讲解“相图”时，系统自动推送相关合金相图数据库（ASM Alloy Phase Diagrams Center）入口、相变过程动态模拟视频、典型相图分析案例。再者，基于学习行为分析（点击流、停留时长、错题记录）和知识状态诊断，利用协同过滤或内容推荐算法，为学生精准推送适配其认知水平和兴趣点的学习资料与拓展阅读，实现“千人千面”的个性化需求。最终通过资源结构化程度的显著提升，知识关联性的增强，使得学生获取目标信息的效率提高，学习路径由线性转向网状，促进深度学习。

2.2 虚拟仿真与AI辅助实验

开发基于VR/AR的虚拟仿真实验项目。例如：“透射电镜下的晶体缺陷观察”，学生可在虚拟环境中操作电镜，模拟调节参数，直观观察位错、层错等微观结构，理解其形成机制。“纳米材料生长动力学模拟”，基于ML势函数的分子动力学模拟可视化，实时展示原子/分子在表面的吸附、迁移、成核过程，理解温度、压力等参数影响。利用AI辅助实验设计与分析，可针对特定材料性能目标（如高电导率、强韧性），AI系统可基于材料数据库（如OQMD）和ML预测模型，推荐可能的成分组合与制备工艺方案供学生探索验证。同时利用CV和ML算法（如卷积神经网络CNN），自动识别分析XRD图谱中的物相、SEM/TEM图像中的微观结构特征、电化学测试中的曲线特征点等，辅助学生快速、准确解读复杂实验数据。进而克服了高危、高成本、高难度实验的操作限制，使不可见的微观过程“可视化、可交互”，提升实验效率与数据分析能力，激发学生的探究兴趣和创新思维。

2.3 智能导学与个性化学习系统

系统根据课前诊断测试、单元测验结果及学习行为数据,利用贝叶斯知识追踪(BKT)或深度知识追踪(DKT)模型,动态评估每位学生的知识掌握状态和能力水平(如对“玻尔兹曼分布”的理解深度、解决“相平衡计算”问题的熟练度),自动生成并动态调整个性化的学习路径与练习计划。通过构建集成课程知识库的AI聊天机器人(如基于大语言模型LLM),提供智能答疑。学生可自然语言提问(如“如何理解Arrhenius方程中活化能的物理意义?”),获得即时、准确的解释、相关例题或引导性提示。系统记录高频、疑难问题,辅助教师优化教学。在学生学习过程中预警与干预,LA系统实时监控学习数据(登录频率、任务完成度、交互活跃度、测验成绩波动),识别潜在的学习困难或懈怠的学生,自动向教师发送预警并推送针对性的辅导资源或激励信息。进而实现“因材施教”,满足差异化需求。同时提供及时、高效的个性化学习支持,降低学生的学习挫败感,增强学习动机,教师可聚焦共性难点并进行深度指导。

2.4 AI驱动多元智能评价

通过利用AI驱动的多元智能评价,进而实现从结果评价转向过程与能力评价[4]。首先,实现对智能作业批改与反馈,对客观题(选择题、填空题)实现自动批改。对主观题(推导题、论述题、设计题)利用NLP技术分析答案语义、逻辑结构、关键概念覆盖度,提供初步评分和内容层面的反馈(如指出公式推导中的逻辑跳跃、概念应用的错误),教师复核重点、难点问题。系统自动生成学生学习档案,包含知识图谱掌握程度(可视化强弱项)、学习投入度(时间、资源使用)、问题解决策略分析、能力发展趋势(如模型构建能力、批判性思维)等多维度报告,为学生自我反思和教师精准指导提供依据。其次,利用AI工具辅助评价学生的创新性(方案新颖度)、系统性(方案完整性)、可行性(方案合理性分析)等高阶能力。最终实现评价更及时、高效、

客观(部分维度),反馈更具针对性,促进元认知能力的发展,评价维度的多元化,能够更全面的反映学生能力提高,减轻教师机械批改作业负担。

3 实践成效与反思

通过对比AI赋能“材料物理化学”实施前后的课程考核成绩及标准化能力测评,显示学生在抽象概念理解(如量子化、统计规律)、复杂问题解决(如多组分相图分析、动力学计算)、创新思维与应用等方面均有显著进步。AI资源库与虚拟仿真实验极大拓展了学习内容的深度(微观机制可视化)与广度(前沿交叉案例引入)。学生接触并初步使用专业AI工具(如Materials Studio中的CASTEP模块、机器学习材料数据库),提升了数字素养,使得学生的学习深度与广度得到拓展。再者,教师从重复性工作中解放(如基础答疑、作业初筛),更专注于教学设计优化、深度互动讨论(如基于AI模拟结果的研讨)和个性化指导,提升了教学效率与精准度,使得教学决策更全面。智能化和前沿性的教学形式显著提升了学生的学习兴趣 and 课堂参与度,增强了课程吸引力。

教师只有掌握基本的AI概念、工具应用能力和数据素养,才能有效驾驭AI教学环境。这需要持续提升教师AI素养能力。AI是工具而非目的。需避免“为技术而技术”,始终围绕课程目标与学生发展需求进行设计,确保技术服务于教学本质。学习行为数据的采集、存储、分析、应用必须严格遵守伦理规范,保障学生隐私安全,数据使用需透明并获得知情同意。AI无法替代教师的育人角色和情感互动。需警惕过度技术化,保持课堂的温度和人文精神的培养。虚拟仿真平台、计算资源、智能系统维护需要持续的经费和技术支持,需学校层面统筹规划。

4 结论

人工智能为“材料物理化学”这一传统核心课程注入了强大的创新活力。本研究通过系统构建AI赋能的智能资源体系、虚拟实验平台、个性化化学

习系统和智能评价机制，有效破解了课程教学中的抽象认知、实践受限、个性化缺失与评价滞后等难题，显著提升了课堂教学质量与学生能力素养。实践证明，AI深度融入课程建设是实现“材料物理化学”课程教育现代化、培养面向未来的创新型、复合型人才的关键路径。

致谢

本文由以下基金资助：兰州交通大学研究生教育教学质量提升项目：AI赋能研究生课程建设项目(JG202519)。

参考文献

- [1] 伊宸廷.人工智能赋能高校人才培养的时代意义与实践路径[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2024 (12): 49-52.
- [2] 王开宇,赵红宇,汪德刚等. “以生为本、科教融合、多维协同”创新型人才培养探索与实践[J]. 工业和信息化教育, 2024 (8): 7-10.
- [3] 谢幼如,陆怡,彭志扬,邱艺,李成军.知识图谱赋能高校课程“教-学-评”一体化的研究[J]. 中国电化教育, 2024 (12): 1-7.
- [4] 梅小虎,连予生,聂健.多元化课程评价体系的构建与应用[J]. 教育学报, 2023 1(1): 1-3.

