

# AI-Empowered Reform of Organic Chemistry Experiment Teaching in Universities

Man Zhu

Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830054, China

## Abstract

To address the systemic challenges in safety, personalization, and process-oriented assessment faced by traditional organic chemistry experiment teaching, this study constructs a teaching reform framework driven by Artificial Intelligence (AI) technologies. The reform focuses on mitigating risks associated with hazardous experiments through a high-fidelity virtual simulation platform, providing personalized learning support via an intelligent tutoring system, strengthening process-oriented assessment with an intelligent operation evaluation system, and promoting tiered competency development through adaptive learning path recommendations. The results indicate that the in-depth integration of AI can not only effectively enhance the safety, efficiency, and quality of experiment teaching but also lead to a systemic improvement in teaching efficacy concerning safety assurance, content expansion, and precise talent cultivation. This reform offers a replicable paradigm for fostering innovative practical talents in chemistry for the new era.

## Keywords

Artificial Intelligence; Organic Chemistry Experiment; Teaching Reform.

# 基于人工智能赋能高校有机化学实验教学改革研究

朱曼

新疆师范大学, 中国·新疆 乌鲁木齐 830054

## 摘要

为应对传统有机化学实验教学在安全性、个性化及过程性评价等方面面临的系统性困境,本研究构建了以人工智能技术为核心驱动的教学改革框架。改革聚焦于通过虚拟仿真平台化解高危实验风险,利用智能辅导系统实现个性化学习支持,借助操作智能评价体系强化过程性考核,并依托自适应学习路径推荐促进能力分层发展。实践表明,人工智能的深度赋能不仅能有效提升实验教学的安全性、效率与质量,更在保障安全、拓展内容、精准育人层面实现了教学质效的系统性提升,为新时代化学实践人才的创新培养提供了可推广的范式。

## 关键词

人工智能; 有机化学实验; 教学改革

## 1 引言

有机化学实验是化学、药学、材料及相关专业本科生培养的核心实践环节,对于巩固理论知识、训练基本操作技能、培养严谨科学态度与初步科研能力至关重要。然而,审视当前高校有机化学实验教学的普遍现状,可发现其正面临着诸多挑战<sup>[1]</sup>。其一,教学内容受限于安全与资源约束。涉及高危试剂、贵重催化剂或长周期反应的现代合成实验难以在常规教学中开展,导致教学内容与学科前沿脱节。其二,规模化教学与个性化指导存在矛盾。大班额教学使教师难以

以对每位学生的操作细节进行实时观察与精准反馈,指导趋于同质化与滞后。其三,教学评价体系存在结构性偏差。传统评价侧重实验报告与产物数据,对操作规范性、科学思维等过程性素养的考核流于形式,难以全面衡量学生实践能力。其四,学生知识积累异质性显著,统一的教学进度与方案难以适配差异化需求,影响教学效果。

近年来,以机器学习、深度学习、自然语言处理、计算机视觉及大数据分析为代表的人工智能技术迅猛发展,并以前所未有的深度和广度渗透至各行各业。在教育领域,AI已从早期辅助性的工具角色,逐渐演变为能够重塑教育生态、赋能教学流程变革的核心驱动力<sup>[2]</sup>。AI技术所具备的强大数据处理与模式识别能力、智能交互与情境感知能力、以及精准预测与模拟仿真能力,为破解上述有机化学实验教学困境提供了全新的、富有潜力的解决方案。AI的引入并非简单的技术叠加或工具替代,而是旨在引发一场深层

**【课题项目】** 新疆自治区天池英才引进计划(青年博士计划)。

**【作者简介】** 朱曼(1989—),女,中国河南商丘人,博士,讲师,从事高校化学教学研究。

次的教学变革,推动实验教学从主要依赖教师个人经验的“经验驱动”模式,向基于多源数据感知与智能分析的“数据驱动”和“精准赋能”模式转变<sup>[3]</sup>。

因此,本研究旨在系统性地探索人工智能技术如何全方位、全流程地赋能高校有机化学实验教学。研究目标不仅在于开发和应用若干人工智能工具,更在于构建一个“以学生发展为中心、以教师引导为关键、以AI技术为智能协同体”的有机化学实验教学新生态。通过框架设计、路径探索与实践反思,本研究期望为切实提升实验教学的内在质量与育人成效,培养具备扎实技能、创新思维与数字素养的新时代化学人才,提供一套理论上自洽、实践上可行的改革方案。

## 2 AI 赋能实验教学的核心框架:理念重构与体系再造

人工智能技术的深度融入,意味着对传统有机化学实验教学理念、流程与评价体系的重构。本改革所构建的核心框架,立足于AI的技术特性与实验教学的内在规律,旨在实现多维度的价值提升与体系化再造,其核心维度如下:

### 2.1 教学空间维度:构建虚实深度融合的弹性化实验环境。

本框架首要突破的是物理实验室的时空与安全边界。通过构建一个与实体实验室并行且互联的“高保真虚拟化学实验室”,形成“虚实融合、功能互补”的弹性化教学空间。虚拟空间的核心价值在于承担那些在实体空间中风险过高、成本过大或周期过长的“限制性”实验内容。例如,学生可以在虚拟环境中安全地进行“格氏试剂的制备与反应”、“傅-克酰基化反应”等对水氧极其敏感的实验的全流程模拟,包括复杂的Schlenk线操作。更重要的是,虚拟平台可以集成分子动力学模拟与量子化学计算可视化模块,使学生能够“直观观察”反应过程中过渡态的构型、电子密度的迁移、分子轨道的相互作用,将抽象晦涩的反应机理转化为生动的动态图像,从电子层面深化对理论的理解。而实体实验室则更加聚焦于基础玻璃工操作、基本分离提纯技术、常规光谱解析等核心技能的扎实训练,以及将虚拟环境中习得的方案进行“真实验证”的综合能力落地。两个空间通过统一的学习管理平台与数据中台进行无缝衔接,学生的学习数据、能力画像在虚实之间流通,确保能力发展的连续性。

### 2.2 教学过程维度:确立人机协同的智能化教学模式。

AI技术的引入,为高校有机化学实验教学带来多维度的价值提升。首先,突破安全与资源壁垒。通过虚拟仿真实验,学生可在无风险环境中预习或完成涉及剧毒、易燃易爆、高成本或极端条件的实验项目,极大拓展了教学内容的边界,保障了教学安全。其次,实现个性化学习支持。基于知识图谱与自适应学习技术,将实验项目、教学视频、题库、文献资料等资源打上多维标签,并根据学生的实时学习表现与能力模型,动态推送最适合的下一阶段学习资源与挑战任

务,实现“千人千面”的资源精准供给。再次,强化过程性评价与实时反馈。改革传统的终结性评价,建立涵盖“操作规范性、过程完整性、思维逻辑性、结果准确性”的多维过程性评价体系。通过AI技术自动采集与分析操作行为、过程数据及报告文本,生成可视化、可解释的个体能力画像,使评价更为客观、全面、发展性。最后,提升教学管理效率与深化教学研究。AI可辅助教师进行成绩分析、学情诊断与资源管理,减轻事务性负担,使教师能更专注于教学设计与学生深度指导;同时,教学过程中积累的大数据为教学研究提供了丰富素材<sup>[4]</sup>。

### 2.3 教学评价维度:建立数据驱动的全过程、多维度评价体系。

改革彻底变革了以实验报告和产率为单一重心的终结性评价模式,构建了一个覆盖实验教学全周期、关注多维度能力素养的“过程性评价与发展性评价”相结合的新体系。该体系利用AI技术自动采集多模态数据:通过计算机视觉捕捉操作行为流;通过物联网传感器记录关键过程参数(温度、pH、压力等);通过自然语言处理分析实验报告文本的逻辑性与深度。基于这些数据,系统能够从“操作规范性”、“流程逻辑性”、“安全意识”、“数据记录真实性”、“结果分析与反思深度”以及“团队协作表现”等多个维度,生成可视化的、个体化的“化学实验能力画像”。这份画像不仅是学生过程性成绩的客观依据,更能为学生提供清晰的能力发展诊断与改进建议,使教学评价真正发挥“以评促学、以评促教”的导向功能。

### 2.4 教学资源维度:形成智能适配的个性化学习资源生态。

传统教学资源是静态的、统一的。本框架致力于构建一个动态的、可智能适配的个性化资源供给生态。基于“有机化学实验”知识图谱,将所有的教学资源—包括虚拟实验项目、操作演示微视频、经典文献案例、分层习题库、安全知识动画等—进行深度语义标注,形成结构化的资源网络。AI学习分析引擎持续追踪分析学生的多源学习数据(虚拟实验完成路径与时长、实体操作评价报告、在线测试表现、报告修改痕迹等),动态更新其“学习者模型”。系统依据该模型,在学生学习的每个关键节点,从资源网络中精准推送最符合其当前认知水平与能力短板的学习材料或挑战任务,实现“资源找人”,支撑真正的个性化自适应学习。

## 3 人工智能技术在高校有机化学实验教学中的具体改革路径

### 3.1 基于高保真虚拟仿真与微观机理可视化的“安全与认知拓展”改革。

开发虚拟仿真实验平台。该平台不仅应能模拟标准操作流程,更应具备强大的“错误操作后果模拟”功能。例如,在“减压蒸馏”虚拟实验中,若学生未检查系统气密性直接

加热,平台应模拟出沸石暴沸、产品损失甚至仪器破裂的后果;在“金属有机化合物实验”中,模拟试剂遇水起火爆炸的场景。这种沉浸式的“安全警示教育”效果远超文本说教。进一步,平台应深度融合计算化学工具,实现微观反应过程的可视化。例如,在学习“Diels-Alder反应”时,学生可亲自调整双烯与亲双烯体的取代基,实时观察前线分子轨道(FMO)能级与分布的变化,并联动查看反应速率、区域选择性的预测变化,从而深刻理解理论规律。这实现了从“宏观现象观察”到“微观机理探究”的认知跃迁,将实验教学提升至研究前沿水平。

### 3.2 基于大语言模型的“个性辅导”与“报告智能诊疗”改革。

为应对师资比不足导致的个性化辅导缺失,本路径精细地部署有机化学专业语料(教材、实验手册、学术论文、安全数据库)的大语言模型<sup>[5]</sup>,构建智能辅导系统。在预习阶段,学生可提问:“本实验中为何要用氯化钙干燥管,而不是硅胶?”系统能结合具体实验(如格氏反应)解释乙醚溶剂的特性及无水要求。在实验报告环节,系统实现“智能评阅”功能:第一轮检查数据与格式的完整性、规范性;第二轮进行深度分析,如指出“在讨论产率偏低时,仅提到‘操作损失’,应结合实验步骤具体分析哪一步(如转移、萃取、结晶)可能是主要损失环节,并查阅文献对比相似操作的典型产率范围”;第三轮可评估创新性,如询问“根据你的实验结果和理论,能否提出一种改进的后处理方法?”。以此方式培养学生的科学写作与批判性思维能力。

### 3.3 基于机器视觉与传感网络的“操作过程智能评价”改革。

在实体实验室部署集成高清摄像头与物联网传感器的智能终端,通过计算机视觉算法,实时识别并评估学生的关键操作节点。如识别学生的操作手势、仪器使用顺序、试剂添加方式等,并与标准操作规范库进行比对。系统可实时通过语音或实验台终端发出预警,如“请注意,温度计水银球未置于蒸馏头支管口处”、“液溴取用需在通风橱内进行”。实验结束后,系统自动生成包含操作规范性、步骤完整性、安全意识等维度的个人评估报告,作为过程性考核的重要依据。

### 3.4 基于学习分析的自适应学习路径与资源推荐改革。

基于知识图谱构建有机化学实验试题库,并利用AI算法分析学生的预习测试、虚拟实验表现、实体实验操作评价

及理论课成绩等多源数据,精准诊断其知识薄弱点与技能短板。系统随后为学生动态推荐针对性的强化练习(如机理推导题、合成设计题、故障分析题)及后续实验项目的学习重点建议。对于学有余力的学生,可推送拓展性的虚拟探究实验或文献阅读材料,实现分层教学与个性化能力提升。

## 4 实施建议与挑战应对

有效实施AI赋能教学需关注以下几点:一是注重“虚实结合”;虚拟仿真不能完全替代实体操作,应明确其预习、辅助、拓展与安全培训的定位,确保学生获得真实的动手能力训练。二是推动教师角色转型;教师需从单纯的知识传授者转变为学习活动的设计者、引导者和AI工具的协同运用者,学校应组织相关培训,提升教师的信息化教学素养。三是保障数据安全与伦理;需制定严格的管理规范,保护学生隐私数据,并引导学生正确看待人工智能评价,培养其批判性思维,避免过度依赖。四是寻求持续投入与校企合作。系统开发与维护需要资金与技术投入,可积极争取教改项目支持,并与技术企业合作共建,共享资源与成果。

## 5 结语

将人工智能技术深度融入高校有机化学实验教学,是应对现有教学挑战、顺应教育信息化发展趋势的必然选择。通过构建以虚拟仿真、智能辅导、过程评价与个性化学习为核心的AI赋能体系,能够有效拓展实验教学的广度与深度,实现教学资源的优化配置与教学过程的精细化管理,最终服务于学生实践创新能力与科研素养的全面提升。未来的探索应着眼于AI技术与化学学科特色的更深度融合,如利用AI预测合成路线、优化反应条件等,进一步推动实验教学向智能化、探究化、个性化方向纵深发展。

### 参考文献

- [1] 赵霞.现代信息技术在高中化学教学中的应用探究[J].中国科技经济新闻数据库教育,2025(1):097-100.
- [2] 教育部高等教育司.人工智能引领高等教育数字化创新发展[J].中国高等教育,2024(3/4):9-12.
- [3] 别敦荣.AI技术应用于大学教育教学的理论阐释[J].中国大学教学,2024(5):4-9.
- [4] 别敦荣,郭一蓉.人工智能时代高等教育创新发展[J].中国高等教育,2024(3/4):39-44.
- [5] 张博生,梁永民.基于大语言模型和量子化学计算的有机化学教学改革研究[J].化学教育(中英文),2026(47):105-113.