

数字化转型下融合安全素养与能力评价的有机化学实验 “教-学-评”闭环教学改革

张秀莲¹ 陶传洲¹ 毛应明¹ 王慧彦¹ 张媛媛¹ 孙磊²

1 江苏海洋大学 2 江苏欣德瑞医药科技有限公司

DOI:10.32629/jief.v8i3.21737

[摘要] 高等教育数字化转型背景下,有机化学实验教学面临“教-学-评”环节割裂、全过程能力评价缺失、安全素养培育碎片化、高危实验实操受限等突出问题。本文以三全育人理念为理论指引,依托AI与虚拟仿真技术,提出融合安全素养与能力评价的有机化学实验课程闭环教学改革方案:在教学环节嵌入安全素养培育模块并重构教学资源,在学习环节借助虚拟仿真与AI学伴实现个性化虚实融合训练,在评价环节建立涵盖操作规范、安全行为、创新能力等多维度的动态智能评价机制,由此构建“资源重构—虚实学习—智能评价—迭代优化”的教学闭环。该方案旨在破解传统实验教学痛点,促进学生专业实践、创新能力与安全意识协同提升,以期为地方高校理工科实验课程数字化转型提供理论参考与实践借鉴。

[关键词] 数字化转型; AI赋能; 有机化学实验; 教-学-评闭环; 安全素养; 能力评价

中图分类号: G4 文献标识码: A

The closed-loop teaching reform of organic chemistry experiment "teaching learning evaluation" integrating safety literacy and capability evaluation under digital transformation

Xiulian Zhang¹ Chuanzhou Tao¹ Yingming Mao¹ Huiyan Wang¹ Yuanyuan Zhang¹ Lei Sun²

1 Jiangsu Ocean University

2 Jiangsu Xinderui Pharmaceutical Technology Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of the digital transformation of higher education, organic chemistry laboratory teaching faces several prominent challenges, including the fragmentation of the "teaching-learning-assessment" process, the absence of comprehensive competency assessment throughout the entire learning journey, the fragmented development of safety literacy, and the limitations imposed on high-risk experimental practices. Guided by the "Three-Whole Education" philosophy and leveraging AI and virtual simulation technologies, this paper proposes a closed-loop teaching reform framework for organic chemistry laboratory courses that integrates safety literacy and competency assessment. This framework involves embedding a safety literacy development module into the teaching process and reconfiguring teaching resources; utilizing virtual simulations and AI-powered learning companions to facilitate personalized, blended virtual-real-world training during the learning phase; and establishing a dynamic, intelligent assessment mechanism that covers multiple dimensions—including operational protocols, safe behavior, and innovative thinking—during the evaluation phase. Together, these components form a teaching closed-loop encompassing "resource reconfiguration – blended virtual-real-world learning – intelligent assessment – iterative optimization." This approach aims to address the pain points inherent in traditional laboratory teaching methods and foster the synergistic enhancement of students' professional practical skills, innovative capabilities, and safety awareness, thereby providing a theoretical reference and practical model for the digital transformation of science and engineering laboratory courses in local higher education institutions.

[Key words] Digital transformation; AI empowerment; Organic chemistry experiments; Teaching-Learning-Assessment closed-loop; Safety literacy; Competency assessment

1 问题的提出

有机化学实验是化学类专业落实实践能力训练与科学素养培育的核心课程,既承担专业操作和思维训练任务,也肩负安全素养浸润的育人责任。在高等教育数字化转型与三全育人建设背景下,传统有机化学实验教学在教学运行、评价机制与育人落地层面仍存在较为突出的矛盾^[1]。

1.1传统有机化学实验教学的现实困境。其一,教、学、评各环节相互割裂,缺乏内在一致性。教学实施、学生学习与课程评价彼此分立,缺少有效的数据联动与动态反馈机制,教学优化多依赖教师个人经验,难以形成可持续改进的教学闭环。其二,全过程能力评价缺位,过度倚重终结性实验报告。现有考核主要聚焦书面结果,对操作过程、问题处置、探究反思等过程性证据关注不够,难以全面反映学生综合能力的成长过程,评价的诊断与导向功能未能充分发挥。其三,安全素养培育呈现碎片化特征。有机化学实验涉及大量易燃、有毒等危险化学品,安全风险较高,但安全教育多停留在课前零散宣讲层面,尚未深度嵌入课程全流程,安全行为也未纳入常态化考核,安全素养培育难以落到实处^[4,7]。其四,高危实验实操条件受限。受场地与安全管控约束,部分高风险合成实验无法开展线下实操,学生缺少完整训练机会,直接影响风险识别与规范操作等核心能力的养成。

1.2数字化转型带来的变革契机。人工智能与虚拟仿真技术的发展,为上述问题的解决提供了可行路径^[5]。依托这些技术,可以实现学习行为的全过程采集,支持个性化学习供给与多维度过程评价,为打通各教学环节、构建一体化闭环奠定技术基础^[3]。

同时,三全育人的导向进一步明确了安全素养培育的方向:安全素养不能依靠孤立的知识灌输,而应落实全员、全过程、全方位育人要求,将其深度渗透到教、学、评的完整链条之中,实现专业能力与安全素养的协同发展^[7]。

1.3研究思路。本研究属于理论建构型研究,以有机化学实验教学的问题诊断为起点,以逆向设计理论与三全育人理念为支撑,围绕有机化学实验课程建构融合安全素养与能力评价的教-学-评闭环改革方案,并提炼该模式的理论价值与面向地方高校的实践启示。

2 理论依据

本研究以逆向设计理论、三全育人理念及数字化评价范式变革为理论支撑,为将安全素养与多维能力评价嵌入有机化学实验课程全流程提供学理依据。

2.1教-学-评一致性的教育学基础。逆向设计理论主张评价标准先行,以预期学习目标反向指导教学活动设计。落实到有机化学实验课程,教-学-评闭环的本质即课程目标、教学活动与评价结果之间的动态校准与持续迭代。该理论要求将操作规范、创新思维及安全素养的评价标准前置,反向驱动教学资源开发与学习任务设置,从源头上保障各环节育人目标同向统一^[1]。

2.2三全育人视域下实验安全素养培育逻辑。立足全员、全过程、全方位育人导向,安全素养的培育不能依靠碎片化宣讲,必须嵌入教、学、评完整流程。安全素养包含知识认知、风险

判断、规范行为三个递进层次,具有情境性、行为性与隐蔽性,无法仅凭终结性笔试开展有效评价,必须依托全过程行为观测。唯有将安全要求贯穿课前、课中、课后各环节,并纳入课程常态化评价,才能推动安全认知转化为学生稳定的实验行为,实现专业能力训练与价值塑造的统一^[2]。

2.3数字化转型对课程评价范式的重塑。数字化工具推动评价范式从抽样评价走向学习行为全量记录,从单一分数评判走向学生多维能力画像^[9]。过程性学习证据的获取,让评价功能从简单的等级判定拓展到教学反哺,评价数据回流形成闭环迭代的内在运行机制,为安全素养与专业能力开展一体化过程评价提供技术与理论支撑^[3]。

3 改革方案实施的现实条件、潜在风险与规避策略

闭环改革方案完成理论建构之后,落地实施还需要一定现实基础。立足地方高校办学实际,梳理落地条件、预判潜在风险并明确规避思路,能够提升改革方案的现实适配度。

3.1方案落地所需基础条件。第一,数字化平台与教学资源。闭环运行依托虚拟仿真环境和学习数据采集工具,可复用现有公共虚拟仿真及线上教学平台^[5],避免定制开发高额成本;把风险辨识、事故案例、应急处置融入预习、课中材料,搭建结构化教学资源。

第二,教师协同教研能力。改革对专业课教师、实验技术人员提出综合能力要求,既要熟悉专业实验内容,也要掌握数字化教学与过程性评价方法。学校需开展教研培训,推动两类人员协同备课,共同打磨教学资源、研讨评价指标。

第三,课程考核制度配套。要把安全行为纳入常态化评价,调整课程考核规则,破除“重实验报告、轻过程表现”惯性,明确操作规范、安全行为、反思表达在课程整体评价中的权重,保障过程评价落到实处。

3.2改革推进过程中的潜在风险。其一,技术工具存在固有局限。虚拟仿真与AI只能采集学生外在操作行为,难以直接衡量内在安全意识,仅靠平台数据容易出现行为得分高但安全认知不足的评价偏差,同时还存在采集精度不足、高危仿真场景不完善等短板。

其二,教师工作负荷加大。全过程多维度评价需要人工审阅大量过程材料,会增加教师工作量;缺少分工机制的情况下,容易简化过程评价,使改革流于形式,退回传统考核模式^[6]。

其三,容易出现技术工具化倾向。改革实践中可能片面追求平台功能、堆砌数据指标,将数据采集当作改革目标,弱化安全素养与实践能力培养的育人本位。

3.3风险规避的应对策略。第一,平台数据与教师综合研判相结合。虚拟仿真、AI输出数据仅作为评价参考,结合平台记录、课堂观察、学生反思、小组表现综合研判安全素养水平。优先复用已有成熟资源,采用分模块迭代建设,适配地方高校经费条件。

第二,构建课程组协同分工机制。专业课教师与实验技术人员分工协作,精简评价流程,聚焦核心观测点,控制过程材料体量,防止教师负担过载,保障改革可持续实施^[6]。

第三, 坚守育人优先的改革导向。以学生专业能力与安全素养协同发展作为改革成效的评判标尺, 对数字化工具划定使用边界, 不以平台、数据指标作为改革好坏的衡量标准, 防范形式主义。

4 闭环方案设计

基于前述现实问题诊断与学理分析, 本研究依托AI与虚拟仿真技术, 构建“资源重构—虚实学习—智能评价—迭代优化”的有机化学实验教学闭环, 将安全素养培育与多维能力评价融入教学、学习、评价各环节。

(1) 教学环节: 安全素养嵌入与教学资源重构。对标逆向设计理念, 为每一项实验确立“知识目标、操作目标、安全目标”三级课程目标体系^[2], 使安全素养获得与专业知识、操作技能同等的课程地位。将典型事故案例与化学品风险辨识任务纳入课前预习资源^[7], 推动安全教育从附加式宣讲转向课程本体内容的有机组成部分^[4]。围绕三级目标对数字化教学资源进行模块化重组, 形成专业知识内容与安全教学内容协同呈现的结构化资源体系, 为后续虚实融合学习提供资源支撑^[6]。(2) 学习环节: 虚实融合与AI个性化学习支持。利用虚拟仿真的零风险特性, 创设允许试错的虚拟实验环境, 帮助学生在安全条件下直观感知操作风险, 强化风险预判意识^[5]。AI学伴采集学生预习答题与虚拟仿真操作数据, 识别知识薄弱点与操作偏差, 推送针对性纠错提示与补充训练。构建“虚拟操作、实体迁移、反思复盘”三阶段认知路径: 先在虚拟环境中完成风险推演, 再进入实验室开展实体操作, 课后结合实验记录进行案例复盘, 实现虚拟训练经验向真实实验能力的有效转化^[6]。(3) 评价环节: 多维度动态智能评价。评价维度覆盖操作规范性、安全行为表现、创新能力及反思表达等核心指标^[6]。整合虚拟操作日志、实验过程数据、AI交互记录、学习反思文本等多源数据, 丰富过程性评价的证据基础。以“前测定位、过程观测、阶段画像”的持续追踪模式替代一次性终结判定。采用智能分析初筛与教师人工研判相结合的评价模式, 评价结论定向反馈至教学目标调整、资源更新与个性化学习路径优化环节, 形成以评促教、以评促学的运行机制。(4) 闭环运行内在逻辑。闭环的完整运行路径包含六个环节: 目标设定、资源设计、学习发生、数据采集、智能评价、迭代优化。安全素养既是评价体系的核心维度之一, 也是衡量闭环运行有效性的基本观测指标。这一设计旨在使技术应用始终围绕育人目标展开, 避免陷入为用技术而用技术的工具化倾向。

5 总结与展望

(1) 理论贡献。本研究将安全素养从实验课程的边缘位置前移至课程设计的核心层级, 改变了以往将其作为附加教育内容的固有做法。立足三全育人理念, 打通安全素养培育与专业能力训练之间的内在关联, 为理工科实验课程落实价值塑造提供了可操作的分析框架。在此基础上, 整合逆向设计理论与数字化评价范式变革, 构建了数字化转型、教—学—评闭环与素养评价三者耦合的教改理论模型, 明确了资源重构、虚实学习、智能评价、迭代优化的运行逻辑, 为有机化学实验课程数字化改革补充了新的理论视角。(2) 实践启示。方案设计充分考虑了地方高校在

平台资源与师资力量方面的现实约束, 提供了一条可迁移的实验教学数字化升级路径。方案贯通教学、学习、评价全链条, 将专业实践能力、创新能力与安全素养纳入一体化培养框架, 不仅适用于有机化学实验课程, 也可同为同类理工科实验课程的教—学—评一体化改革提供参照。(3) 研究边界与后续方向。本研究属于理论方案建构, 完成了闭环改革模式的框架设计, 其实际育人效果尚需课堂实证检验。由于理论研究属性的局限, 评价指标权重的分配、安全行为过程采集的可靠性、AI学伴在教学场景中的适配性等实操问题尚未进入落地验证阶段。后续条件成熟后, 拟依托课程开展小范围教学试用, 收集师生反馈并进一步优化指标体系, 推动闭环改革方案持续完善。

[基金项目]

(1) 江苏省高等教育教改研究课题(2025JGYB167); 课题名称: 数字化转型驱动下AI赋能的有机化学实验课程“教—学—评”闭环体系构建; (2) 江苏海洋大学“海州湾英才”创新计划项目(KQ24067); 课题名称: 不对称烯丙基化反应区域发散性合成中环化合物的研究。

[参考文献]

- [1] 张树永, 惠新平, 李厚金. 高等学校化学类专业有机化学实验教学内容与教学要求建议[J]. 大学化学, 2026, 41(3): 10-22.
- [2] 杨玲, 郭玉鹏, 计景成. 高等学校化学类专业化学实验安全教育教学内容与教学要求建议[J]. 大学化学, 2025, 40(5): 15-22.
- [3] 王小燕, 齐燕, 唐林, 等. 教育数字化背景下基础化学实验教学中心质量建设提升[J]. 大学化学, 2024, 39(7): 40-48.
- [4] 刘丹, 蔡鹰, 孔松芝. 基于“有机化学实验”教学的实验室安全教育课程建设探索[J]. 大学化学, 2025, 40(10): 250-256.
- [5] 姜洪丽, 董建, 朱焰. 虚拟仿真实验辅助有机化学实验教学的探索与应用[J]. 云南化工, 2025, 52(5): 139-142.
- [6] 李斌, 汪向磊, 朱晓梅, 等. “数字化”赋能有机化学实验教学改革研究与实践[J]. 云南化工, 2025, 52(10): 132-136.
- [7] 徐石海. 安全教育贯穿有机化学实验教学全过程的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(12): 16-18.

作者简介:

陶传洲(1982--), 男, 汉族, 江苏连云港人, 江苏海洋大学, 博士研究生, 教授, 研究方向: 有机合成。

毛应明(1972--), 男, 汉族, 江苏连云港人, 江苏海洋大学, 博士研究生, 正高级实验师, 研究方向: 化学分析与检验。

王慧彦(1975--), 女, 汉族, 江苏省连云港人, 江苏海洋大学, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 有机合成。

张媛媛(1990--), 女, 汉族, 江苏连云港人, 江苏海洋大学, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 有机合成。

孙磊(1990--), 男, 汉族, 江苏连云港人, 江苏欣德瑞医药科技有限公司, 硕士研究生, 研究方向: 有机合成。

*通讯作者:

张秀莲(1993--), 女, 汉族, 江苏连云港人, 江苏海洋大学, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 有机合成。