

AI赋能与能力导向融合的《无机化学实验》 教学改革研究

马姣丽*, 程辉成#

广东石油化工学院化学学院, 广东 茂名

收稿日期: 2026年1月19日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月6日

摘要

面对新工科建设与创新型人才培养的战略需求, 传统《无机化学实验》教学在教学内容、方法、资源及评价体系等方面存在明显不足, 难以系统支撑学生综合能力的全面发展。为此, 文章基于当前教学实践中存在的问题, 提出并实施了以“AI赋能 + 能力导向”为核心的教学改革模式。该模式深度融合人工智能技术, 对实验教学内容与流程进行系统性重构, 并构建起智能化的教学评价体系。实践结果表明, 改革显著提升了学生的实验操作规范性、数据分析能力与创新思维水平, 同时有效提高了学生的学习满意度和参与度。本研究为理工科实验教学的数字化转型与创新能力培养提供了可借鉴的实施路径与参考方案。

关键词

AI赋能, 能力导向, 无机化学实验, 教学改革

Research on the Teaching Reform of “Inorganic Chemistry Experiment” Integrating AI Empowerment and Competency Orientation

Jiaoli Ma*, Huicheng Cheng#

College of Chemistry, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming Guangdong

Received: January 19, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 6, 2026

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 马姣丽, 程辉成. AI 赋能与能力导向融合的《无机化学实验》教学改革研究[J]. 社会科学前沿, 2026, 15(3): 182-189. DOI: 10.12677/ass.2026.153213

Abstract

In response to the strategic imperatives of emerging engineering education and the need to cultivate innovative talent, traditional teaching of Inorganic Chemistry Experiments exhibits notable deficiencies in content, methodology, resources, and assessment systems. These limitations hinder its ability to systematically foster the holistic development of students' competencies. To address the issues identified in current teaching practice, this paper proposes and implements a teaching reform model centered on "AI Empowerment + Competency Orientation". By deeply integrating artificial intelligence technologies, the model systematically redesigns experimental teaching content and processes, and establishes an intelligent teaching evaluation system. Practical implementation demonstrates that the reform significantly improves students' standardization in experimental operations, data analysis skills, and innovative thinking, while effectively enhancing learning satisfaction and engagement. This study offers a referential implementation pathway and a benchmark strategy for the digital transformation of science and engineering experimental teaching and the cultivation of innovation capabilities.

Keywords

AI Empowerment, Competency Orientation, Inorganic Chemistry Experiment, Teaching Reform

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

作为化学、生物、材料、环境等理工类专业的第一门基础实验必修课,《无机化学实验》是衔接理论知识与实践操作的关键载体,在培养学生的实验技能、科学思维与创新意识方面具有不可替代的作用[1]。随着科技进步与社会发展,传统的无机化学实验教学在教学内容、方法、资源及评价等方面仍存在诸多痛点,例如实验内容更新滞后、教学模式以教师演示为主、学生操作机会有限、评价体系偏重结果而忽视过程等,难以完全适应新工科建设与创新型人才培养的战略需求[2]。与此同时,人工智能技术的飞速发展教育数字化注入了新动能[3]。计算机视觉技术可实时监测学生操作过程,提供即时反馈与安全预警;生成式 AI 能够辅助设计探究性实验、模拟复杂化学反应过程,激发学生的创新思维;智慧教学平台则可整合虚拟仿真实验、数字孪生系统与个性化学习路径,支持学生随时随地进行沉浸式、交互式的实验训练[4]-[6]。这些技术与实验教学的深度融合,正在推动教学模式从“知识灌输”向“能力培养”的深刻转型,为学生构建自主、协作、探究的学习环境。在此背景下,开展 AI 赋能与能力导向的《无机化学实验》教学改革,已成为提升教学质量、培养拔尖创新人才的必然选择。通过重构实验内容体系、构建智能教学环境、实施过程性综合评价,不仅能有效解决传统实验教学中的资源不均衡、互动不足、评价单一等问题,还能显著提升学生的实验设计能力、数据分析能力与解决复杂问题的综合素养。此项改革对推动高校实验教学现代化、促进学生全面发展及引领区域教学创新具有重要的理论意义与实践价值,也为同类基础实验课程的数字化改造提供可借鉴的路径与范式。

1.2. 研究意义

本项目以 AI 赋能与能力导向为双轮驱动,旨在通过深度融合人工智能技术与实验教学多个环节,构

建智能化、个性化、能力本位的《无机化学实验》教学新模式,对提升教学质量、促进学生全面发展及推动区域教学改革具有重要现实意义(见图 1)。

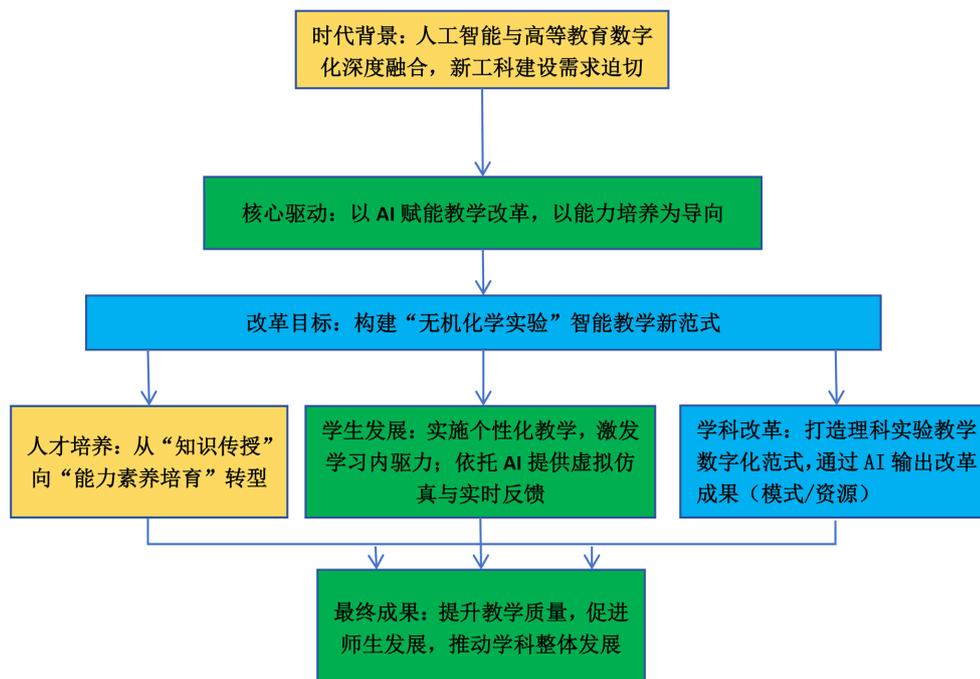


Figure 1. Flowchart of AI-empowered reform in inorganic chemistry experimental teaching
图 1. AI 赋能无机化学实验教学改革流程图

首先,在人才培养方面,本研究致力于引领化学教育根本转向,即从注重“知识传授”的传统模式,转型为以“能力与素养培育”为核心的新范式。通过以“能力导向”为设计原则,本研究借助人工智能(AI)技术,推动实验教学从重复性的技能模仿,升级为对学生科学探究能力、创新思维及复杂问题解决能力的系统化培养。在此基础上,研究进一步构建 AI 与基础实验课程深度融合的教学理论框架,拓展“AI+教育”在具体学科中的实践路径,从而为理工科实验教学改革提供创新性的理论参照与实践依据。

其次,在学生发展层面,本研究能有效实现个性化教学,激发学习内驱力,并全面提升综合素养。AI 的赋能可以打破传统教学的时空与资源限制。通过虚拟仿真实验、智能预习系统,学生可进行无风险、低成本的高危或精密实验预操作。AI 算法还能实时分析学生的操作数据与学习行为,提供即时反馈与专属学习建议,实现“因材施教”。这不仅化解学生因基础差异带来的学习困境,更能保护其好奇心,激发自主探究的热情,同时在人机协同中培养学生的信息素养与数字化适应能力。

最后,在学科建设与教学模式创新层面,本研究为高等理科实验课程的数字化转型提供了一套系统、可迁移的实施方案。通过构建 AI 赋能的实验教学模式、动态评价体系及智能化课程资源,本成果不仅为该类课程改革奠定了学理基础,也贡献了具有操作性的实践范例。这既是对国家“深化教育教学改革、推动人工智能与教育深度融合”战略部署的积极响应,也是面向未来教育形态演进的探索性实践,具备显著的示范意义与辐射价值。

2. 传统《无机化学实验》教学的现存问题

《无机化学实验》作为化学及相关专业学生的重要基础实践课程,对于培养学生的实践能力、科学

思维和创新能力具有至关重要的作用。然而, 当前的实验教学仍面临诸多挑战, 尤其是在人工智能技术迅猛发展的背景下, 传统教学模式已难以适应新时代人才培养的需求。基于对本院及省内高校无机化学实验教学现状的调研(见表 1), 总结出以下主要问题:

Table 1. Analysis of key issues in the current status of inorganic chemistry experimental teaching

表 1. 无机化学实验教学现状主要问题分析

问题维度	具体表现	影响后果
学生基础差异	学生基础知识与实验技能参差不齐	教学进度难以把握, 学习效果两极分化
科学思维不足	机械操作, 缺乏分析与创新能力	难以形成科学的思维方式和研究能力
理论实践脱节	理论课程与实验教学不同步	知识碎片化, 难以构建完整知识体系
教学模式单一	“教师示范-学生模仿”的被动学习	抑制创新思维和问题解决能力发展
资源配置不均	设备不足且老化, 虚拟资源缺乏	动手机会有限, 难以接触前沿技术
资源共享不足	校际资源流动不畅	资源浪费与短缺并存
评价方式单一	重报告轻过程, 重结果轻能力	无法全面评估学生综合能力
反馈机制不健全	缺乏及时、个性化的学习反馈	难以实现自我改进和提升

1) 教学维度

在当前的无机化学实验教学中, 普遍存在“理论教学与实验实践相分离”的结构性问题。理论课与实验课往往进度不一、内容衔接松散, 导致学生难以将抽象概念转化为实践操作, 知识体系呈现断层。同时, 传统实验教学多遵循“教师演示-学生模仿”的单向传递模式, 限制了学生主动探究与批判性思维的培养。此外, 实验内容中综合性、设计性与创新性实验比例偏低, 学生缺乏在多学科知识融合中解决复杂实际问题的训练机会, 不利于激发其深层学习兴趣与创新能力的提升。

2) 资源维度

省内多所高校的无机化学实验教学资源配置不均衡和更新滞后的问题。具体表现在: 实验设备数量不足且老化严重, 导致学生动手操作机会有限; 实验内容多年未更新, 缺乏与现代科技发展的联系; 虚拟实验资源和数字化教学平台建设滞后。此外, 各高校间的教学资源共享机制不健全, 优质实验教学资源共享无法实现有效流动和充分利用, 导致资源浪费与资源短缺并存的现象。

3) 学生维度

从学生发展现状来看, 无机化学实验课程面临显著的学习者差异与能力培育困境。大一学生基础知识与实验技能存在明显异质性, 对实验原理的理解、仪器操作的掌握以及数据处理的熟练程度各不相同。现行“整齐划一”的教学模式难以适配个性化学习需求, 即使部分学生因基础薄弱而学习吃力, 又难以激发学有余力者的探索潜能。更为突出的是, 学生在科学思维与创新实践层面普遍表现不足: 实验过程中多被动遵循讲义步骤, 缺乏对实验现象的深度分析与合理解释; 在实验设计环节则显现出创新意识欠缺、系统分析与综合解决问题能力薄弱等问题。由此导致学生从真实问题出发设计实验、优化流程的训练不足, 证据推理、创新意识、社会责任等学科核心素养未能得到有效发展。

4) 评价维度

现有评价多以重结果轻过程的倾向, 过度依赖实验报告和期末考核, 侧重结果性评价, 忽视了对学生实验过程、操作规范和创新思维的评估。评价指标聚焦实验数据的准确性与操作的规范性, 对数据处理、创新设计、团队协作等维度缺乏科学考量。这种单一的评价方式无法全面反映学生的综合能力和素养成长, 也难以有效激发学生的学习动力。同时, 评价过程中的反馈机制不健全, 学生难以及时获得个

性化的学习建议, 无法通过评价环节实现自我改进和提升。

3. 赋能与能力导向的教学改革实践路径

3.1. 打造“能力导向、分层递进”的实验项目体系

1) **基础验证层**: 保留必要的经典验证性实验, 但利用 AI 进行赋能。例如, 在“粗盐提纯”实验中, AI 系统可实时监测学生称量、溶解、过滤、蒸发的操作流程, 并给出效率与规范度评分(见图 2)。

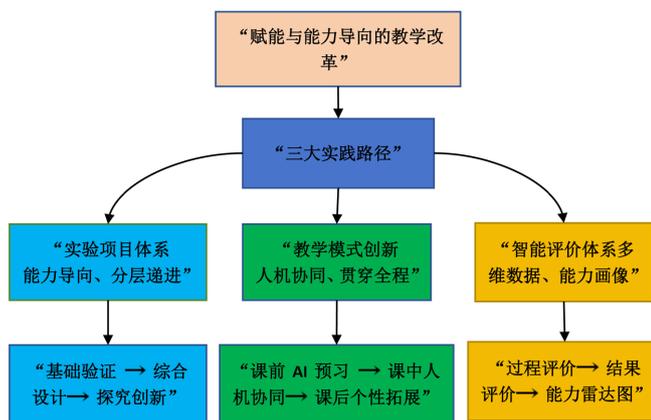


Figure 2. Flowchart of the practical pathway for teaching reform driven by AI empowerment and competency orientation

图 2. AI 赋能与能力导向的教学改革实践路径流程图

2) **综合设计层**: 本研究强调与学科前沿及工程实践相结合, 构建跨学科融合的实验项目。借鉴哈尔滨工业大学“AI + 大国重器”的育人理念, 将 AI 与数字技术、流动化学等前沿技术引入实验教学, 设计如“基于人工智能的反应动力学参数智能解析”“绿色合成路径的数据驱动优化”等综合课题。这些项目要求学生有机融合无机化学、计算机科学、数据分析等多学科知识与方法, 以解决具有现实性与复杂性的工程科学问题, 从而强化其知识整合与高阶实践能力。

3) **探究创新层**: 面向具备较强学习能力与发展潜质的学生群体, 设立“微型科研项目”。该项目深度融入指导教师的前沿科研方向, 引导学生利用 AI 数据分析工具(如对晶体结构数据库进行挖掘、对光谱数据进行拟合分析)自主凝练科学问题、设计实验方案并完成全流程探究。例如, 详细描述 AI 如何通过颜色识别算法辅助色弱学生判断滴定终点, 或利用图像分析技术帮助诊断晶体生长失败的原因。通过该机制, 重点强化学生的科研思维、独立研究能力与创新素养, 实现本科阶段创新人才培养与科研实践的有机衔接。

3.2. 教学模式创新: 从“单向传输”到“人机协同”

1) **课前 AI 赋能精准预习**: 构建智慧预习平台, 整合生成式 AI、虚拟仿真技术与知识图谱。学生通过平台输入学习基础与疑问, AI 系统自动推送个性化预习资料, 包括实验原理动画、操作规范视频、虚拟仿真预习模块等; 利用知识图谱工具梳理实验知识点的逻辑关联, 帮助学生构建知识框架; 通过虚拟仿真实验进行预操作, 熟悉实验流程与关键步骤, 减少课堂操作失误。

2) **课中人机协同深度探究**: 本研究构建“教师引导-AI 辅助-学生主体”三位一体的协同探究教学模式。在基础技能训练阶段, 依托计算机视觉等技术实时监测实验操作, 通过算法自动识别并反馈动作规范性(如滴定手法、装置搭建等), 实现操作技能的即时纠正与精准提升。在数据获取与分析阶段, 借助传感设备及图像采集系统自动记录实验过程与原始数据, 并实时同步至智能分析平台; 学生可调用 AI 工

具完成数据拟合、误差评估与模型构建等任务,从而深化对实验规律的理解。在探究拓展阶段,教师设置开放性问题, AI 系统同步推送关联文献与研究案例,支持学生以小组协作方式自主设计探究方案,并利用智能分析工具验证假设,系统培养科学推理能力与团队合作素养。

3) 课后个性化拓展提升:本研究构建了基于 AI 的个性化学习支持体系。系统可自动生成结构化实验报告模板,并导入实验数据进行初步处理与分析,引导学生将注意力集中于结果讨论与反思环节。同时,依托学习行为与表现数据, AI 生成个性化化学情诊断报告,明确优势与待改进之处,并智能推荐相关科研文献、前沿讲座等拓展资源。此外,通过搭建集成 AI 答疑工具的线上协作平台,支持学生开展异步讨论与主题探究,从而有效延伸学习的深度与广度,实现差异化的能力提升。

3.3. 建立“多维数据、能力画像”的智能评价体系

过程性评价智能化:改变“一份报告定乾坤”的传统模式。系统将自动记录学生的预习成绩(虚拟仿真完成度与正确率)、操作规范度(AI 识别)、数据记录真实性(与传感器数据比对)、团队协作(课堂观察与线上讨论)等,生成多维度的过程性评价报告。

结果评价精准化:AI 工具可辅助教师对实验报告进行初步审查,如检查数据的逻辑性、图表的规范性,甚至对部分客观题进行自动批阅,将教师从繁重的重复劳动中解放出来,更专注于对学生分析深度、创新思维的评判。

生成个性化能力雷达图:基于整个学期的学习数据, AI 系统为每位学生生成“实验能力画像”(雷达图),直观展示其在“动手操作”“安全意识”“数据分析”“科研设计”“团队协作”等维度的强项与短板,并提供个性化的学习建议和资源推送。

3.4. 典型案例介绍

以“硫酸亚铁铵的制备”作为典型案例,详细展示改革前后的教学流程对比图(见图 3)。AI 系统在该实验的具体 4 个步骤介入:介入点 1, AI 质量识别介入铁屑净化步骤;介入点 2: AI 智能加热装置连接温度传感器实时监控介入酸处理反应温度控制;介入点 3: AI 计算验证介入硫酸铵添加计算;介入点 4: 通过摄像头监控溶液状态和电导率传感器监测浓度变化, AI 参数优化介入结晶过程监控。



Figure 3. Comparison of experimental teaching procedures for the preparation of ferrous ammonium sulfate

图 3. 硫酸亚铁铵的制备实验教学流程对比

4. 教学改革实践案例与效果分析

4.1. 实践案例选取

以广东石油化工学院 2025 级应用化学专业为考察对象, 选取两个平行班级作为实验组与对照组, 每组 45 人。对照组采用传统教学模式, 实验组采用本文提出的“AI 赋能 + 能力导向”教学模式, 选取“硫酸亚铁铵的制备”“醋酸解离常数的测定”“元素性质的测定”三个代表性实验进行教学实践, 周期为一学期。

4.2. 实践效果验证

1) 学生核心能力提升: 考核评估显示, 实验组学生在操作规范、数据处理与创新设计三个维度上均有显著进步。具体表现为操作规范度平均提升 35%, 数据处理能力提高 42%, 创新设计方面在可行性与创新性上表现突出, 评分显著高于对照组。

2) 教学满意度调查: 学期末开展的问卷调查结果表明(见图 4), 实验组学生对教学内容、教学方法、评价体系的满意度评分分别为 93、91、87, 明显高于对照组的 73、71、68。学生反馈指出, AI 工具的引入使实验过程更加精准和富有趣味, 个性化学习资源与实时反馈有效助力能力提升, 创新实验项目也显著激发了学习兴趣。图 3 展示了实验组(AI 赋能 - 能力导向教学)与对照组(传统教学)在三个维度上的满意度得分及分差。数据显示, 实验组各维度满意度均显著优于对照组, 其中教学内容与教学方法分差为 20 分, 评价体系分差达 21 分, 凸显出 AI 赋能教学模式在提升教学满意度方面的显著优势。

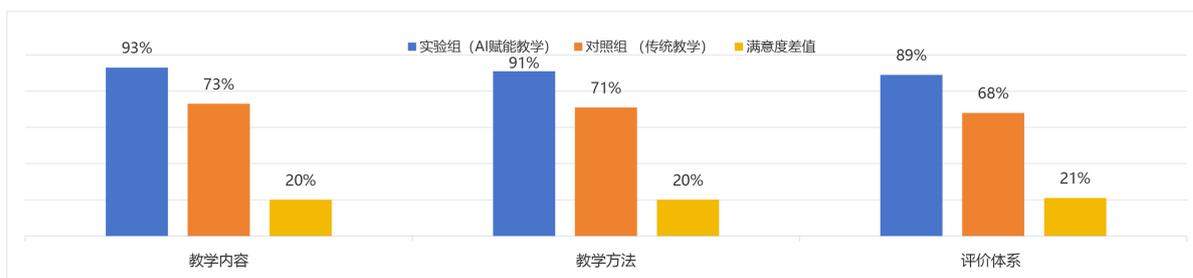


Figure 4. Comparative and gap analysis of satisfaction between AI-empowered teaching and traditional teaching
图 4. AI 赋能教学与传统教学满意度对比及差值分析

3) 学科竞赛与科研成果: 学生取得的标志性成果有力印证了教学改革的成效。实验组中, 共有 10 人次在国家级学科竞赛中获奖, 6 人参与科研项目, 累计发表论文 3 篇、申请专利 2 项, 而对照组在此方面未有可比成果。这表明本次改革有效推动了学生科研创新能力与实践应用能力的融合发展。

4.3. 改革反思与改进

在推进智慧教学落地的实践过程中, 我们逐步发现了一些值得关注并可进一步优化的环节。首先, 在工具应用层面, 部分学生由于接触时间较短、操作训练不足, 对 AI 教学工具的功能与使用流程尚不熟练, 这在实践中直接影响其任务完成速度与学习体验, 进而制约整体教学效率的提升。其次, 在学生能力适配方面, 基础较为薄弱的学生在面对开放性、设计性较强的学习任务时, 往往表现出信心不足、思路受限的情况, 在自主构思与实现环节面临较大困难, 容易产生挫败感, 影响其持续参与的动力。此外, 从整体推广角度来看, 智慧教学工具的成本投入以及随之而来的师资能力培训需求, 也成为许多学校尤其是资源有限地区在引入相关模式时遇到的现实挑战。

为系统应对上述问题, 下一步我们将聚焦于“易用性”“包容性”与“可持续性”三个方向展开深化工作。具体而言, 在平台设计上, 我们将着力简化智慧教学平台的操作路径, 优化界面交互逻辑, 突出核心功能, 降低学生的认知与操作负担, 并同步配套制作系列化、可视化、步骤清晰的视频指导教程, 帮助学生更快上手。针对学生能力差异, 我们计划构建以分层任务为核心的弹性学习机制, 根据学生实际水平提供差异化的任务包与资源支持, 并结合小组协作、导师帮扶等方式, 建立个性化的学习支持体系, 让每位学生都能在适合的节奏中获得成长。同时, 为减轻推广中的资源压力, 我们将积极研发低成本、轻量化的 AI 教学工具包, 探索通过开源、合作共享等形式降低使用门槛; 在教师赋能方面, 则将开展常态化、主题化的专项培训与工作坊, 提升教师整合 AI 工具进行教学设计、实施与评价的能力, 从而在工具与人力两方面夯实智慧教学推广的基础。通过这些有针对性的改进措施, 我们期望能切实降低智慧教学的应用门槛, 增强其在多样化教学场景中的适应性与有效性, 进一步推动信息技术与教育教学的深度融合, 实现更加公平、优质、高效的教育生态构建。

5. 结论与展望

本研究基于“AI 赋能与能力导向”相结合的理念, 对无机化学实验教学模式进行了系统性改革。通过重塑教学内容、创新教学方法、完善评价机制, 有效突破了传统实验教学中的多个瓶颈。教学实践表明, AI 技术的深度融合显著提升了实验教学的精准度、互动性与创新性, 不仅优化了整体课程效果, 而且有力促进了学生在实验操作、数据处理与创新思维等方面的综合能力发展, 进一步激发了其学习主动性和创造潜能。该模式为培养高素质复合型人才奠定了坚实基础。展望未来, 应进一步拓展 AI 在实验教学中的应用广度与深度, 推动智能技术与课程体系的有机融合。同时, 可探索将该模式延伸至相近学科及相关课程, 逐步形成可复制、可推广的跨专业教学改革经验, 从而为教育强国与科技强国建设输送更多优秀人才。

基金项目

广东石油化工学院 2025 年度校级教学质量与教学改革工程建设项目(No. ZLGC202573); 2025 年茂名市科技计划项目软科学(2025699); 2023 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(701/710135181037); 2024 年校级教学质量与教学改革工程项目(701/710136093016)。

参考文献

- [1] 马姣丽, 王超贤, 金烈, 等. 基于“双体系”模式的“无机化学实验”教学实践探究[J]. 化工时刊, 2024, 38(3): 55-58.
- [2] 叶龚兰, 尹霞, 许峰, 等. “四位一体”的无机化学教学创新[J]. 大学化学, 2024, 39(8): 136-141.
- [3] 中华人民共和国教育部. 中国智慧教育白皮书[R]. 北京: 中华人民共和国教育部, 2025.
- [4] 程利平, 林琳, 肖秀珍. “AI 赋能”高校教学改革与探索研究——以无机化学课程为例[J]. 大学化学, 2025, 40(9): 270-278.
- [5] 黄子俊, 邬峰, 皮少锋, 等. 基于知识图谱的无机化学实验 AI 课程构建与教学新形态探索[J]. 大学化学, 2025, 40(9): 234-243.
- [6] 李玲, 王国成. 知识图谱与 AI 助教在无机化学混合式教学中的初步探索——以“沉淀溶解平衡”的教学为例[J]. 大学化学, 2025, 40(6): 1-8.