

生成式 AI 在分析化学实验教学改革的路径探索

王润德 王淑敏 程瑶 郑子麒 高先娟 张玉军

齐鲁医药学院 药学院, 山东淄博, 255300;

摘要: 分析化学实验教学长期面临方法单一、资源不均、评价体系不完善等问题。生成式 AI 为教学改革提供了新路径, 通过虚拟实验场景构建、智能数据分析与反馈、实验报告自动化批改等应用, 推动实验教学的个性化和智能化。本文提出构建高保真虚拟实验室和动态故障案例库, 设计多模态数据分析与评估体系, 以提升学生实践能力和科学思维。生成式 AI 可优化资源配置、降低实验成本, 并通过虚实结合模式解决安全隐患和评价片面性问题。未来需加强技术融合与跨学科协作, 推动实验教学的数字化转型与创新发展。

关键词: 生成式 AI; 分析化学实验教学; 虚拟实验室; 智能化改革; 多模态评估

DOI: 10.64216/3080-1494.25.09.017

引言

分析化学是研究物质组成、含量、结构和形态等化学信息的表征和测量方法及相关理论的一门学科, 是化学、制药、化工、生物、食品、医学、环境等领域生产、研究必需的重要课程之一。传统的分析化学实验教学逐渐暴露出诸多隐患与不足, 其内容多以验证性实验为主, 实验步骤和结果往往固定不变, 学生只需按部就班地操作即可完成。这种模式虽然有助于学生掌握基本实验技能, 但缺乏对学生创新思维和探究能力的培养。传统实验课通常采用“教师讲解-学生操作”的模式, 教师主导实验过程, 学生被动接受知识。这种教学方法忽视了学生的主体地位, 导致学生缺乏主动思考和探索的机会。部分高校实验室设备陈旧, 实验资源有限, 难以满足现代分析化学实验的需求。例如, 高精度仪器的缺乏, 限制了学生对先进分析技术的掌握。化学实验涉及多种危险化学品和复杂操作, 传统实验课在安全管理方面存在隐患, 同时实验室的安全设施不完善, 增加了实验风险。传统实验课的考核方式多以实验报告为主, 忽视了学生在实验过程中的表现和创新能力的评估。这种考核方式难以全面反映学生的实验技能和科学素养, 也无法激励学生积极参与实验。

分析化学学科传统上严重依赖实验数据, 现在正逐步接纳大数据技术和计算机仿真模拟, 开辟了新的研究方向。AI 已经成为化学研究的新帮手, 被应用在分子设计、构效关系计算、计算机辅助合成、高通量表征等研究中^[1]。例如张琪民等^[2]探讨了基于人工智能的食品真伪鉴别技术, 并构建了基于人工智能的食品真伪鉴别系

统, 详细阐述了图像处理、光谱分析、机器学习等关键技术, 并构建了基于人工智能的食品真伪鉴别系统。王靖霖等^[3]通过水质在线监测-预警体系的建设、指纹图谱库的构建、大数据分析 AI 相结合的污染溯源体系的完善以完成对复杂污染物进行分析和溯源。生成式 AI 通过深度学习和自然语言处理技术理解和生成类似人类语言的自然语言^[4], 在教育改革中彰显出重要的应用价值, 根据近些年分析化学在教学形式和教学内容上的创新和改革, 孙振丽等^[5]对这些研究成果进行了系统梳理, 通过对分析化学教学改革的关键词进行关键词聚类分析, 频繁出现的关键词有“课程改革”、“教学方法”、“实验课”等。对每年新兴关键词的分布及时间的发展进行细致解析后, 关键词“教学改革”、“分析化学”、“仪器分析”、“实验教学”的中介中心性均超过了关键节点的阈值, 突显了分析化学教育改革领域的主要研究热点及其发展动态。“人工智能”、“在线教学”、“虚拟仿真”等高频关键词表明随着技术的发展, 人工智能技术也逐渐融合到高等教育教学改革中, 推动了教育的创新和数字化转型, 而且为教育领域带来了前所未有的机遇。因此, 将人工智能与分析化学实验教学相结合在显著提升教学质量, 激发学生的科研兴趣与创新能力, 为分析化学实验教学注入新的活力方面具有巨大潜力。

1 人工智能在分析化学实验教学中的应用场景分析

1.1 虚拟实验设计、操作指导与实验数据分析

分析化学实验教学实践性强, 理论与实际关联密切,

具有较高的综合性,涉及到多种分析方法和仪器技术。实验项目繁多,教材编写时无法覆盖所有细节,因此对于学生的指导具有一定局限性,学生教条的按照实验指导书进行实验操作,无法实现以学生为主体的教学目标。AI在化学中的最终形式是自主智能实验和模拟^[6],李培礼等^[7]通过人工智能一键生成了思维导图指导本科毕业设计课题,包括各级主题,分支关系和具体方案,对生成的思维导图进行了评估分析,经过人工的修正后,其准确性、完整性和合理性均满足毕业设计的要求,能够实现本科毕业要求。现有的分析化学实验教学几乎不涉及新的理论、新化合物的检测,因此人工智能对设计分析化学实验教学具有巨大的潜力以及较高的成功率。

通过人工智能生成虚拟实验场景,自动生成思维指导图以及详细的操作步骤可以对学生的操作进行指导。对于实验项目中容易忽略的注意事项,人工智能均可以自动生成。部分具有危险性的实验可通过Unity 3D等软件开发虚拟仿真实验平台^[8]代替部分危险的操作步骤。数据采集可以通过高精度的设备和先进的技术手段来获取相关试剂的各种信息^[2],因此借助高分辨相机可以捕获指示剂的变色细节,从而更加精准的判断滴定终点,矫正学生的操作。相较于化学分析实验,仪器分析实验操作流程较为复杂,对学生实践操作技能具有高要求,仪器设备精密,需要谨慎操作和维护,成本较高且部分仪器体积庞大,仪器设备数量有限,是传统仪器分析实验教学中存在的主要问题。随着仪器分析技术的不断升级,需要有效的课程教学方式才能将仪器分析的数据和技术与人工智能技术结合起来,实现交叉创新与应用,使得学生能够掌握不同仪器分析技术与不同人工智能技术工具的适配性^[9]。

1.2 实验报告批改与个性反馈

实验报告是学生实验过程、数据及结果的系统性书面总结,是分析化学实验教学课程的重要环节,通过记录操作步骤、数据分析和结论,能够反映学生对实验原理与技能的掌握程度,同时为教师提供个性化指导依据,帮助发现知识盲区。传统的分析化学实验教学环节中,教师需要对实验报告完成逐份批改,包括检查数据计算、操作步骤、结果分析等,耗时较长。针对标准偏差、相对标准偏差等复杂计算,不同学生数据结果均有差异,教师在进行核算时易造成反馈时间长的现象,学生难以及时修正错误,影响学习效果。成绩评定主要依

赖实验报告的文字表述和最终数据,而忽视学生在实验过程中的操作规范性、问题解决能力等。部分学生实验操作不规范,但通过“美化”报告数据获得高分,导致实验教学“重报告、轻实操”^[10],甚至存在“数据造假”或“抄袭报告”现象,教师难以通过书面报告判断真实实验能力。光学字符识别(OCR)技术是一种将图像中的文字转换为可编辑文本的技术,在数字化时代,它在信息处理、文档管理和自动化任务中发挥着至关重要的作用^[11]。采用OCR技术转换手写公式为可计算数据,自动验证计算过程,实现自动纠错和误差溯源。

传统的分析化学实验教学中,教师通常采用固定模式进行批改和评分,难以对不同学生的错误进行深入分析^[12],针对不同学生的误差来源、数据分析等关键问题反馈不足,无法实现个性化反馈。针对上述教学问题,通过生成式AI预设评分规则,例如有效数字位数的保留、单位换算、数据结果的扣分,收集大量优秀实验报告进行识别训练。将常见错误与解决方案库关联,自动生成改进建议,并根据错误类型推送定制相关的学习资源。传统的分析化学实验教学模式中,实验报告的评分大多以百分制评分为主,无法真正反馈学生各方面的表现,生成式AI能够根据学生实验操作、实验报告书写、数据处理、课后思考题等多维度综合生成学生实验能力的雷达图,后续根据雷达图的得分展开后续提升建议。

2 基于生成式AI的分析化学实验教学资源智能化建设

Stable Diffusion是一种深度学习文本到图像的生成模型,于2022年由Stability AI公司以及一些学术团体联合发布,主要应用场景是根据文本描述生成详细的图像,利用生成式AI能够构建高保真虚拟实验室。传统分析化学实验教学模式按照教条的实验方案和步骤指导学生开展实验,对于异常的场景无法感知处理,生成式AI与此不同,能够对异常场景动态生成并实现参数化控制。仪器分析实验中,部分严重的操作失误将对仪器产生不可逆转的损害,这些操作失误造成的后果无法通过操作实验仪器进行具象反馈,因此可通过生成式AI的模拟仿真功能实现异常场景的动态生成。以高效液相色谱法测定咖啡因的含量实验为例,采用双向LSTM(Bi-LSTM)结构处理时序实验数据,输入层维度数据包括实验参数、环境变量、历史操作记录,输出层为维度异常事件概率分布。通过大量的真实HPL

C故障日志作为正样本,正常操作记录作为负样本训练数据构建,以此为基础构建典型故障的触发逻辑。生成式AI能够实现实际实验过程中少见的异常动态的生成,以此实现学生的渐进式学习,从单一故障分析过渡到复合故障分析的逐步提升,并在真实实验前通过虚拟异常掌握临界操作参数以防造成实验仪器的损伤。

生成式AI能够整合仪器操作日志、教师授课经验、文献案例等异常数据,将故障与异常数据相关联,构建故障知识图谱。在实验操作环节,能够匹配相应故障并生成解决方案与反馈。AI可根据故障案例库中对应的具体解决措施为学生推送解决方案,及时纠正实验操作。根据分析排障记录,能够推送薄弱知识点,促进理论知识点与实验操作结合。

3 总结与展望

本文探讨了生成式AI在分析化学实验教学中的应用与改革路径,通过构建智能化实验教学体系,为解决传统教学模式中存在的场景单一、资源不足和评价片面等问题提供新思路。生成式AI在虚拟实验设计、实时操作指导和智能评估反馈等方面展现出显著优势,在提升教学效率、优化学生的实践能力具有巨大潜力。特别是通过多模态数据融合和动态故障模拟,实现了实验教学的个性化和精准化,为分析化学实验教育的数字化转型提供了重要支撑。未来,生成式AI在分析化学实验教学中的应用仍有广阔的发展空间。一方面,需进一步探索技术与教育的深度融合,实现虚实结合的无缝学习体验;另一方面,应注重伦理规范与教学质量的平衡,制定合理的AI使用准则,确保技术服务于教育本质。此外,跨学科协作和产业对接也将成为重要方向,通过构建开放共享的教学资源平台,推动分析化学实验教学创新发展。总体而言,生成式AI为实验教学注入了新的活力,但其全面落地仍需教育者、技术开发者和政策制定者的共同努力,以实现更加智能化、个性化和高效化的未来教育图景。

参考文献

- [1]张天龙,张容玲,汤宏胜等.人工智能时代背景下的仪器分析科教融合模式探索[J].大学化学,2024,39(8),365-374.
- [2]张琪民,江筠.基于人工智能的食品真伪鉴别技术研究[J].食品安全导刊,2025,(05):154-156.
- [3]王靖霖,王东升,苑宏英,等.指纹图谱技术与人工

智能在污染物溯源解析中的应用研究[J].环境保护科学,2022,48(06):130-137.

[4]刘衍峰.ChatGPT赋能高校思想政治教育的机遇、挑战与应对策略[J].辽宁工业大学学报(社会科学版),2024,26(06):80-87.

[5]孙振丽,王宁,林可欣,等.分析化学教学改革热点与发展趋势可视化分析[J].大学化学,2024,39(11):57-64.

[6]刘小平,刘耀虎,郑企雨,等.人工智能化学:变革研究范式,加速物质发现[J].化学通报,2023,86(06):748-754.

[7]李培礼,张婷,柯香,等.人工智能在化学相关专业本科毕业设计中的应用——以“蒜泥碳点的制备及其抗菌性能研究”为例[J].广东化工,2025,52(04):165-168.

[8]陈娟,陶亮.基于虚拟仿真技术的分析化学实验辅助教育模式探讨[J].现代商贸工业,2024,45(01):263-265.

[9]袁敏,孙威威,曹慧,等.面向交叉创新人才培养的“人工智能+仪器分析”课程教学探索[J].食品与发酵科技,2024,60(02):146-148.

[10]胡晓斌.地方院校分析化学实验教学中存在的问题及改革尝试[J].教育观察,2018,7(07):126-129.

[11]张婷琳,陈祥本,丁晔,等.基于OCR技术的档案智能化收集方法研究[J].无线互联科技,2024,21(19):32-36.

[12]赵瑛祁,王馨瑶,丁洪生,等.分析化学实验教学现状及改革发展新思路[J].实验室科学,2016,19(06):149-151.

作者简介:王润德,男,1998年11月,汉族,山东淄博人,助教,教师,硕士研究生,研究方向:含能材料的制备与燃烧性能研究。

王淑敏,女,1989年4月,汉族,山东菏泽人,助教,教师,硕士研究生,研究方向:电化学分析和电化学能源。

程瑶,女,1996年11月,汉族,山东淄博人,助教,教师,硕士研究生,研究方向:药物合成方向。

郑子麒,男,1996年4月,汉族,山东泰安人,讲师,教师,硕士研究生,有机荧光探针的合成与性质研究。

高先娟,女,1979年5月,汉族,山东济宁人,教授,教师,硕士研究生,研究方向:电化学分析在生命科学中应用,分析化学教学研究。

张玉军,男,1977年11月,汉族,山东淄博人,教授,教研室主任,硕士研究生,研究方向:电化学药物检测分析。