

大学化学实验教学人工智能的应用探讨

陶呈安*, 黄坚, 李玉姣

国防科技大学理学院, 长沙 410073

摘要: 人工智能在教育领域的应用近年来受到越来越多的关注。作者分析了大学化学实验的特点——综合性与系统性、探索性与创新性、安全性与规范性以及基础性与挑战性。概述了人工智能在化学实验教学中的应用现状, 主要包括智能教学辅助系统、智能学习平台、虚拟现实技术应用等方面, 在化学实验最核心的实验操作教学中尚极少应用。分析了人工智能在大学化学实验教学中的发展前景, 提出了在理解符号系统、捕捉动作细节、综合辅助能力和保障实验安全等方面的发展需求。最后展望了大学化学实验教学中人工智能的应用。

关键词: 人工智能; 化学实验; 实验操作; 应用

中图分类号: G64; O6; G643.0

Exploring the Application of Artificial Intelligence in University Chemistry Laboratory Instruction

Cheng-an Tao*, Jian Huang, Yujiao Li

College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China.

Abstract: In recent years, the application of artificial intelligence (AI) in education has garnered increasing attention. This paper analyzes the distinctive characteristics of university chemistry experiments, including their comprehensiveness and systematization, exploratory and innovative nature, focus on safety and standardization, as well as their foundational and challenging aspects. It reviews the current state of AI integration in chemistry laboratory teaching, highlighting developments in intelligent teaching assistant systems, smart learning platforms, and virtual reality applications. However, AI is still rarely employed in the core aspect of chemistry laboratory — the teaching of experimental operations. The paper also explores the potential future of AI in university chemistry education, identifying key development needs, such as understanding symbolic systems, capturing action details, enhancing comprehensive support capabilities, and ensuring laboratory safety. Finally, it provides an outlook on the evolving role of AI in enhancing university chemistry laboratory teaching.

Key Words: Artificial intelligence; Chemistry laboratory; Experimental operation; Application

人工智能(AI)是一门研究使计算机模拟人的某些思维过程和智能行为(如学习、推理、思考、规划等)的学科, 是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术和应用系统的一门新的技术科学^[1]。人工智能在教育领域的应用近年来受到越来越多的关注。自2017年起, 党中央、国务院进行了一系列人工智能促进教育发展的政策部署(表1)。2024年3月, 教育部正式启动人工智能赋能教育行动, 推出“AI学习专栏”、国家智慧教育公共服务平台升级、教育系统人工智能大模型应

收稿: 2024-08-30; 录用: 2024-11-04; 网络发表: 2025-01-20

*通讯作者, Email: taochengan@nudt.edu.cn

基金资助: 湖南省普通本科高校教学改革研究项目(202401000284); 国防科技大学本科教育教学改革项目重点课题(U2021202); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目(HNJG-20230034)

用示范、搭建数字教育国际交流平台等4项具体行动，围绕人工智能通识教育、国家智慧教育平台智能升级、教育专用大模型应用示范和数字教育出海实施“四大行动”，促进人工智能推动教与学融合应用，提高全民数字教育素养与技能，开发教育专用人工智能大模型，同时规范人工智能使用科学伦理。在2024年全国教育大会上，习近平总书记强调了教育强国的发展目标，“中国特色社会主义教育强国，应当具有强大的思政引领力、人才竞争力、科技支撑力、民生保障力、社会协同力、国际影响力”，为教育的数字化赋能和人工智能赋能指明了发展方向。

表1 党中央、国务院关于人工智能促进教育的重要政策部署

序号	时间	部门	名称	与人工智能赋能教育相关内容
1	2017年	国务院	新一代人工智能发展规划	提出了我国人工智能发展的战略目标 强调推动教育模式创新，通过应用人工智能技术提升教育品质
2	2018年	中共中央、 国务院	全面深化新时代教师队伍建设改革的意见	教师要主动适应信息化、人工智能等新技术变革，积极开展教育教学
3	2018年	教育部	高等学校人工智能创新行动计划	全面规划高等学校人工智能创新 鼓励大学在培养更多人工智能人才的人工智能教育方面进行积极的探索和实践
4	2018年	教育部	教育信息化2.0行动计划	强调在中小学阶段引入人工智能普及教育，推动教育信息化向更高水平发展
5	2019年	党中央 国务院	中国教育现代化建设2035	我国教育现代化发展的纲领性文件 构建网络化、数字化、个性化、终身化教育体系，用现代信息技术促进教育变革
6	2019年	教育部等十 一部门	关于促进在线教育健康发展的指导意见	鼓励运用互联网、人工智能等现代信息技术开展教学互动，促进科技与教育深度融合
7	2024年	教育部	《教育部关于启动人工智能赋能教育行动的通知》及四项具体行动	启动人工智能赋能教育行动，并推出四项具体行动，包括国家智慧教育公共服务平台上线“AI学习”专栏、推动国家智慧教育公共服务平台智能升级、实施教育系统人工智能大模型应用示范行动、将人工智能融入数字教育对外开放。

大学化学实验是化学及相关专业的必修课程，也是很多非化学专业的选修课程，它具有综合性、系统性、探索性和创新性等特点，在人才培养中发挥着不可替代的基础作用。通过化学实验的训练和练习，能够使学生的化学素养和动手能力得到全面提高，为今后的职业生涯发展打下坚实的基础。随着智能技术发展的日新月异，对化学实验课程的“智能+”变革，逐渐吸引了人们的关注。近年来，围绕教学各环节，开展了智能设备运用、智能环境优化、智能工作辅助、智能考核评价等多方面的探索。但大学化学实验有其特殊性，从目前人工智能的发展水平来看，人工智能如何赋能大学化学实验教学，是一个需要深入探讨的问题。

1 大学化学实验的特点

1.1 大学化学实验具有综合性与系统性

大学化学实验不再是简单的操作和观察实验，而是涉及化学知识、实验技能、科学思维以及问题解决能力的综合运用。实验内容通常按照化学学科的体系编排，再从基础实验到综合实验，层层递进，形成一个完整的实验教学体系。

1.2 大学化学实验注重探索性与创新性

大学化学实验鼓励学生在课程中进行实验设计与探究，培养学生的创新思维与动手能力。在实验中，学生不仅要按照既定的步骤进行操作，而且要独立思考，深入分析实验现象，甚至提出需要学生自己思考的新实验方案或改进方法。

1.3 大学化学实验强调安全性与规范性

大学化学实验的实验内容比较复杂，涉及的化学物质和仪器设备种类也比较多，使用的化学危险品也比较频繁，所以一旦操作失误，很可能造成比较严重的实验安全事故，所以大学化学实验强调安全性。在大学化学实验课程中，为了保证实验过程的安全可控，尤其要注重学生安全意识的培养和规范操作的习惯的养成。

1.4 大学化学实验兼具基础性和挑战性

大学化学实验不仅面向化学专业开设，还面向生物、环境、化工、材料、医学等非化学专业开设。对于化学专业，大学化学实验的基础作用突出，一是加深理论知识理解，通过亲自动手实验，更直观地理解化学原理，不断熟练并掌握化学计量关系等重要概念。二是锻炼实践操作技能，通过系统练习和综合使用锻炼基本操作技能，可为后续实施复杂实验或前沿研究打下坚实基础。三是培养良好实验习惯，通过一定时间的规范训练与要求，从树立实验安全意识、及时记录实验数据，到如实分析实验结果，规范撰写实验报告等各个环节，塑造出符合科学实验标准的良好习惯。对于非化学专业，大学化学实验仍然具有较强的挑战性。一是知识储备不足，难以用化学思维综合分析解决问题；二是实验技能缺乏，难以达到精度、特殊条件等方面的要求；三是安全意识薄弱，对安全风险认识不足，尤其缺乏防护和处置措施方面的意识。

2 大学化学实验教学中“智能”的应用现状

人工智能在化学教学中的应用已经得到国内外学者的普遍关注，最近，美国《化学教育》杂志以“Investigating the Uses and Impacts of Generative Artificial Intelligence in Chemistry Education (探究生成式人工智能在化学教育中的运用及影响)”为题，对代表性的人工智能在化学教育中的应用论文进行了合集出版^[2]。从目前已经发表的教学论文来看，围绕化学实验教学各环节，很多学者已经开展了关于“智能”的应用探索，主要可归纳为智能教学辅助系统应用、智能学习平台构建与应用、虚拟现实技术应用等多个方面。

2.1 智能教学辅助系统应用

智能教学辅助系统应用，典型的场景包括使用智能设备改善教学体验、使用智能评价系统完善个性化和多维度评价方案等。在化学实验教学中使用智能手机，特别是智能手机中的各种传感器，对于拓展实验方法十分有利。江西师范大学王素琴等^[3]基于智能手机发展了数字荧光比色法，用于银离子含量测定，该方法具有较高的科学性、新颖性、准确性和简便性，也使比色法的应用范围大大扩展。智能手机等数码产品具有广泛性、系统协同性、操作便捷性等优点，适合中学阶段化学教学实验和课外探究实验的开展。华中师范大学谢叶玲^[4]综述了中学化学实验中多种手机传感器的应用。江西师范大学王力伟等人^[5]开发了基于纳米酶和智能手机相结合比色检测维生素C的分析化学综合实验。厦门大学董志强等^[6]分类介绍了智能手机在化学实验中的应用，总结了基于智能手机应用的化学实验方法的特点以及智能手机应用于化学实验教学的优点。此外，智能考核评价对于辅助教师进行精确的指导和评价，进而对学生创新思维、批判性思维进行个性化的培养，对学生动手操作能力和实验主观能动性的显著提高，具有十分重要的作用。广东第二师范学院江涛等^[7]提出了以多元智能理论为基础的化学创新实验课程考核模式，以“微型挑战杯”模式开展化学创新实验课程考核，显示了智能考核的巨大潜力。借助互联网和移动智能终端，陆军军医大学张定林等^[8]对构建和应用医学化学实验网的评价体系进行了全新的研究。于晓锋等人^[9]采用手机录像进行智能化操作考核，创新了评分审核方法，提高了评分的准确性，但本质上仍然是以学生为评判的主体。

2.2 智能学习平台构建与应用

智能学习平台构建与应用方面,典型的场景为基于“知识图谱”的教学,着重关注如何构建智能化教学环境。在规范教学秩序方面,福建师范大学李晨灿等人^[10]提出以多元智能为出发点进行思考和创新,在化学实验教学中创设有利于学生发展的良好情境,促进学生身心的全面和谐发展。在提高感性认识方面,针对传统化学教学的局限性和现有虚拟化学课堂的不足,孙俊辉等人^[11]设计并实现了基于Unity3D的虚拟化学智能课堂系统。虚拟仿真实验通过C#脚本和粒子系统的开发,实现了具有权限控制和高仿真的适用于中学阶段的虚拟实验。在个性化学习便利性方面,C. E. Jakobsche等人^[12]在Discover O-Chem学习平台开发智能辅导方面的内容,利用历史数据来分析单个学生在该平台各个页面上的表现,利用单分支决策树的随机森林算法的推荐系统能帮助个体用户识别可能对他们具有挑战性的页面,进而为提高学习兴趣、超越学习目标做好准备。M. Roski等人^[13]设计创建了一个基于网络的分析化学学习平台“I3Learn”,并通过收集个人使用行为的日志文件,开展学习行为分析和个性化推荐。

2.3 虚拟现实技术应用

虚拟现实技术应用方面,典型的场景为各类危险系数较高、成本较高的实验教学课堂,也有在理论教学中融合实验展示的思路。A. Y. Zhao等人^[14]开发了关于实验室安全的虚拟现实模块,复制了真实研究实验室的视觉和听觉复杂性,帮助个人和团队提高识别实验室危险的能力;R. Zhao等人^[15]开发了一种沉浸式分子模拟工具Manta,使学生能够即时探索“真实”的分子结构和化学反应,非常受学生欢迎。J. L. Davenport等人^[16]开发了在线的ChemVLab+平台,该平台在真实情境中设置教学,将概念与科学实践相联系,使用带有反馈的形成性评估,有效提高了学生的解决问题和探究的能力。

尽管在化学实验课程教学的各个环节都有了智能化的初步探索,但是真正利用人工智能技术的优势,在大学化学实验教学中,特别是在化学实验最核心的实验操作教学中的应用还极少,究其原因这是由于大学化学实验的特殊性,人工智能的大数据模型中尚未建立可靠的化学实验操作的模型。

3 大学化学实验教学中“智能”应用的发展需求

目前,人工智能在部分领域已经达到了实用的要求,比如图像识别、语音识别、语义分析、语言合成等^[17]。因此,在教育领域,人工智能能让教师从繁重的批改作业和阅卷工作中解放出来^[18],能辅助教师进行英语口语测评,还能纠正和改善学生的英语发音;还有在线协助老师解答学生疑问的人机互动技术。人工智能还可用于收集学生作业、课堂行为、考试等数据,对不同学生的学情进行个性化诊断,并进一步制定针对每个学生的针对性辅导和练习,做到因材施教,个性化教育。但从大学化学实验最核心的操作技能教学的角度看,人工智能目前还存在一些明显的不足,仍有巨大的发展空间。

3.1 需要在理解符号系统的物理含义方面有大发展

大学化学实验是典型的理科实验课程,会在原理推导时使用公式来简洁展示内在规律,会在处理实验数据时使用公式来归纳总结,会在进行课外延伸的创新研究时构造公式来帮助思考。对这些使用大量符号的运算系统的物理含义方面的正确理解,是人工智能支撑实验教学的基础。然而,若没有直接相关的数据,当前人工智能还不能自行“联想”,不能给出推导的细节;如果教师对相应的数学模型不够了解,人工智能也不能从已有的数学和物理学研究结论中归纳出用于指导化学实验的公式。因此,面向实验教学,需要加强人工智能在数据联想和推导细节方面的能力,通过深度学习等技术提高其对符号系统的理解能力,同时要鼓励教师与人工智能专家合作,共同开发更适用于化学实验教学的数学模型和公式。

3.2 需要在捕捉动作细节方面有大发展

化学实验操作涉及加热、离心、抽滤、重结晶、分液等操作,涉及移液管、容量瓶、滴定管以

及各种物理化学、仪器分析仪器的使用，还涉及多种实验装置的搭建等，需要注意诸多细节和实验技巧，要求实验人员具有丰富的实践经验和灵敏的反应能力。这些特征，一方面使人工智能难以完全模拟，尤其是在生成模拟训练环境方面，比较缺乏弹性：化学实验操作的个人偏好区别较大，可以说是“条条大路通罗马”，而人工智能目前还处在有限的孤立实验项目模拟水平，跨实验的综合性应用极少、在综合性创新性实验中的应用极少；另一方面，作为教学效果的评估工具，目前人工智能在识别图片中动作的合格性方面还不可靠，更遑论判断动态动作的细节是否达标。因此，面向化学实验教学，需要提高人工智能在模拟训练环境方面的弹性，适应不同实验项目的需求，进一步加强人工智能在动作识别和细节判断方面的能力，通过图像识别和机器学习等技术提高其实用性。

3.3 需要在综合辅助能力方面有大发展

目前的人工智能还处于功能离散开发的阶段，想要用上这些功能，教师需要把教学过程和其中收集的数据适当拆分，以满足人工智能交互需求。此外，在一体化部署运用方面还存在堵点，对教学效率的提高仍有限制，对配合知识图谱体系开展个性化学习和考核方面，支撑的力度还不够大。因此，面向辅助教师聚焦教学内容、引导学生有效建构个性化知识体系，需要推动人工智能向综合辅助能力方向发展，实现一体化部署和多功能集成，进一步加强人工智能与知识图谱体系的融合，提高个性化学习和考核的精准度和实用性。

3.4 需要在保障实验安全能力方面有大发展

实验教学中使用人工智能也要考虑安全问题，虽然人工智能能够辅助实验教学，但其应用必须遵守有关规范和安全标准，特别是涉及危化品的实验。人工智能的使用必须保证实验过程中的安全和可控性，从而避免意外发生。但是目前的人工智能技术在这方面还有待于进一步的完善和规范。因此，面向保障实验教学过程安全方面，需要加强人工智能在实验安全监测和预警方面的能力，通过传感器、图像识别等技术提高实验过程的安全性。此外，要制定和完善人工智能在实验教学中的应用规范和标准，确保其符合化学实验安全要求。

4 结语

人工智能可以在大学化学实验教学的很多环节起到辅助性的作用，尤其在智能教学辅助系统、智能学习平台、虚拟现实技术等方面开展了丰富的技术探索与试点应用。人工智能在大学化学实验操作技能教学中的应用还存在诸多不足，需要进一步加强研究和改进。作者提出大学化学实验教学人工智能的应用发展路线图如图1所示。从现实情况来看，具有化学实验教学经验的工作人员，绝大多数不能直接从事人工智能相关的研究与开发。由于大学化学实验的综合性与系统性、探索性与创新性、安全性与规范性、基础性与挑战性，人工智能专家也难以完全了解和深入掌握大学化学实验的正确操作。近年来，化学自动化的发展，使得很多化学实验操作被重新定义成机器人可操控的标准操作，能自动完成很多类型的化学反应，在偏重于标准化的合成反应以及为人工智能提供标准化数据方面具有巨大的优势。但从化学实验教学的角度来看，要发挥其实践育人的作用和对动手能力

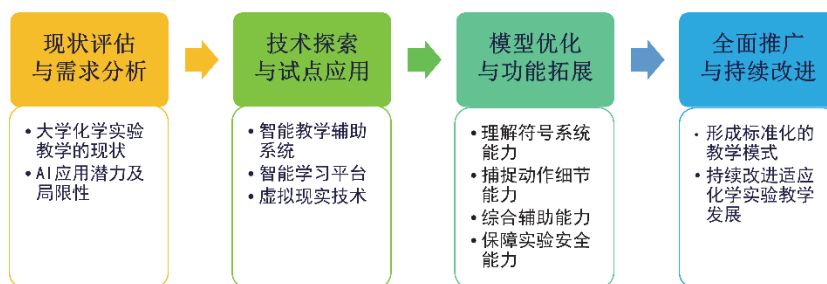


图1 大学化学实验教学人工智能的应用发展路线图

的培养方面, 大学化学实验操作的训练仍然必不可少。因此, 化学专业的专家, 尤其是化学实验教学的一线教师, 需要与人工智能技术人员密切合作, 尽快积累大量真实有效的实验操作相关数据, 用这些数据来训练计算机, 让计算机掌握熟练的实验操作技能。随着人工智能技术的不断进步和应用的不断深化, 通过模型优化与功能拓展, 人工智能在理解符号系统的物理含义、捕捉动作细节、综合辅助能力和保障实验安全等方面的能力的进一步提高。未来, 在大学化学实验教学中全面推广人工智能技术, 形成标准化的教学模式, 并持续改进人工智能技术, 适应化学实验教学的不断发展变化, 将在大学化学实验教学中发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] 吴俊明. 化学教学, **2017**, *39* (11), 3.
- [2] Investigating the Uses and Impacts of Generative Artificial Intelligence in Chemistry Education. [2024-10-07]
<https://pubs.acs.org/page/jcceda8/vi/genai2024>
- [3] 王素琴, 吴承旺, 黎泓波, 汪秋英, 张小亮, 盛寿日, 姜建文. 化学教育(中英文), **2020**, *41* (17), 5.
- [4] 谢叶玲. 教育与装备研究, **2021**, No. 2, 69.
- [5] 王力伟, 马光冉, 汪莉, 许富刚. 大学化学, **2024**, *39* (8), 255.
- [6] 董志强, 刘丰俊, 翁玉华, 潘蕊, 颜长明, 许振玲, 张春艳, 吕银云, 欧阳小清, 阮婵姿, 等. 大学化学, **2021**, *36* (4), 2005041.
- [7] 江涛, 许伟钦, 蒋辽川, 柳晓俊. 广东第二师范学院学报, **2021**, *41* (1), 48.
- [8] 张定林, 包莹, 刘欢, 周勉. 基础医学教育, **2020**, *22* (6), 434.
- [9] 于晓锋, 王光荣. 商丘师范学院学报, **2022**, *38* (12), 73.
- [10] 李晨灿, 杨发福. 化学工程与装备, **2021**, No. 3, 250.
- [11] 孙俊辉, 高岭, 高全力, 曹瑞. 计算机系统应用, **2021**, *30* (6), 68.
- [12] Jakobsche, C. E.; Kongsomjit, P.; Milson, C.; Wang, W.; Ngan, C. *J. Chem. Educ.* **2023**, *100* (8), 3081.
- [13] Roski, M.; Ewerth, R.; Hoppe, A.; Nehring, A. *J. Chem. Educ.* **2024**, *101* (3), 930.
- [14] ZhaoJoseph, A. Y.; Floyd, C. B.; Tan, X.; Lawrence, D. S. *J. Chem. Educ.* **2023**, *100* (6), 2320.
- [15] Zhao, R.; Chu, Q.; Chen, D. *J. Chem. Educ.* **2022**, *99* (4), 1635.
- [16] Davenport, J. L.; Rafferty, A. N.; Yaron, D. *J. Chem. Educ.* **2018**, *95* (8), 1250.
- [17] 陈菊, 李勤. 微型计算机, **2024**, No. 5, 121.
- [18] 董子恒. 中国教育技术装备, **2024**, No. 14, 41.