

## 人工智能赋能大学化学教育改革：信息化与智能化素养培养的实践探索

陈良俊<sup>1,2</sup>, 张裕<sup>3</sup>, 张志成<sup>3,\*</sup>, 彭永武<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 浙江工业大学材料科学与工程学院, 杭州 310014

<sup>2</sup> 武汉工程大学材料科学与工程学院, 武汉 430205

<sup>3</sup> 天津大学理学院化学系, 天津 300072

**摘要:** 为进一步提升人工智能在大学化学教育中的应用价值, 并强化学生的信息化与智能化素养, 本文提出了一系列教学改革与实践措施。基于对当前化学教育现状的分析, 探讨了人工智能、大数据与大模型在化学教学中的深度融合, 重点阐述其在提升学生数据处理、智能决策与创新思维能力方面的作用。围绕自适应学习平台、AI赋能的数据分析等前沿技术, 本文提出了构建智能教学平台、引入先进数据分析工具、优化学科研究流程、鼓励学生参与跨学科竞赛及推动学科交叉融合等具体策略。实践表明, 智能技术与教学改革的深度融合显著提升了学生的自主学习、科研创新与实践应用能力, 有助于构建面向未来科技发展的现代化化学教育体系。本研究为高校化学教学的智能化转型提供了重要参考, 并展望了未来发展方向。

**关键词:** 人工智能; 智能化素养; 信息化素养

**中图分类号:** G64; O6

## AI-Empowering Reform in University Chemistry Education: Practical Exploration of Cultivating Informationization and Intelligent Literacy

Liangjun Chen<sup>1,2</sup>, Yu Zhang<sup>3</sup>, Zhicheng Zhang<sup>3,\*</sup>, Yongwu Peng<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Materials Science and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China.

<sup>2</sup> School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China.

<sup>3</sup> Department of Chemistry, School of Science, Tianjin University, Tianjin 300072, China.

**Abstract:** To further enhance the application value of artificial intelligence (AI) in university chemistry education and strengthen students' information literacy and technological proficiency, this study proposes a series of teaching reforms and practical measures. Based on an analysis of the current state of chemistry education, it explores the deep integration of AI, big data, and large models into chemistry teaching, emphasizing their role in improving students' data processing, intelligent decision-making, and innovative thinking skills. Focusing on cutting-edge technologies such as adaptive learning platforms and AI-powered data analysis, this study proposes specific strategies, including the development of intelligent teaching platforms, the integration of advanced data analysis tools, the optimization of research processes, the encouragement of student participation in interdisciplinary competitions, and the promotion of cross-disciplinary integration. Practical applications have demonstrated that the deep integration of intelligent technology with teaching reforms significantly enhances students' self-directed learning, scientific research innovation, and practical application abilities, contributing to the establishment of a modern chemistry education system that aligns

收稿: 2025-03-27; 录用: 2025-06-19; 网络发表: 2025-07-29

\*通讯作者, Emails: zczhang19@tju.edu.cn (张志成); ywpeng@zjut.edu.cn (彭永武)

基金资助: 国家自然科学基金(22375179, 22375142)

with future technological advancements. This study provides valuable insights for the intelligent transformation of chemistry education in universities and outlines potential future research directions.

**Key Words:** Artificial intelligence; Intelligent literacy; Informationization literacy

人工智能(Artificial Intelligence, AI)作为一项能够模拟人类智能的前沿技术,涵盖机器学习、深度学习、自然语言处理和计算机视觉等多个领域,其发展高度依赖于大数据与大模型的支撑<sup>[1]</sup>。随着信息技术的飞速发展,AI已广泛渗透至各学科领域,大学化学教育亦不例外。作为一门基础学科,大学化学具有理论性强、实验要求高的特点,涉及大量数据分析、分子建模与复杂实验操作,要求学生具备较强的信息处理与逻辑推理能力。然而,传统教学模式仍以课堂讲授与实验操作为主,学生在数据分析、智能工具应用等方面的能力培养相对滞后,难以适应未来科技发展对复合型人才的需求。AI的引入为大学化学教育带来了革命性变革。通过智能实验辅助、虚拟仿真实验与自适应学习平台,AI能够显著提升教学效率与实验灵活性。同时,AI在数据处理与智能决策方面的优势,有助于培养学生的创新思维与科研能力,使其在未来科研与工业应用中具备更强的竞争力。因此,在大学化学教育中加强AI赋能,全面提升学生的信息化与智能化素养,已成为不可逆转的发展趋势,为培养适应未来科技变革的人才奠定了坚实基础。

## 1 大学化学教育现状分析

在人工智能技术的推动下,各高校正逐步探索并构建智能化化学教育体系,积极引入AI优化教学模式,丰富教学资源与实践手段。例如,北京大学融合虚拟仿真、大数据与智能物联网技术,建设口腔虚拟仿真智慧实验室,集教学、训练与评估于一体,有效提升实践教学效果<sup>[2]</sup>;清华大学依托自主研发的千亿参数大模型GLM4,在八门课程中进行试点,整合教学数据、论文与慕课资源,通过微调构建垂直领域模型,开发AI助教,实现范例生成、自动出题、答疑解惑、运算推理与智能评价。同时,基于全过程在线教学平台,开发全天候伴随式知识智能答疑助手,实时解决学生在学习过程中的各类问题<sup>[2]</sup>;大连理工大学则积极推进数字化、智能化与个性化教学模式,采用虚拟现实(Virtual Reality, VR)和增强现实(Augmented Reality, AR)技术,构建“未来课堂”和“IdeaVR虚拟现实造梦空间”,打破传统教学壁垒,实现沉浸式创新教学<sup>[3]</sup>;尽管高校在化学教育中逐步引入AI并取得一定成效,但当前智能化教学体系仍然面临以下挑战。

### 1.1 信息化与智能化教学资源不足,学生信息素养薄弱

当前我国在基础教育阶段(小初高)存在明显的信息技术普及差异,受限于地区发展与家庭经济条件,导致大学生在信息化与智能化素养方面存在较大差异<sup>[4]</sup>。部分学生缺乏基本的计算机操作能力,这种信息素养的不足直接影响了他们在高等教育阶段对智能技术的接受度和运用能力,尤其在编程、数据处理、虚拟实验与智能化工具应用等方面表现尤为明显。此外,由于信息化基础薄弱,学生在科研与实践中运用信息技术的能力受到严重制约<sup>[5]</sup>。

尽管部分高校已响应政策推动人工智能平台开发,并逐步引入教学,但受限于发展阶段和教学资源不足,现有智能化教学应用多处于试点阶段,覆盖面有限,学生的实际体验较少,难以深刻理解人工智能对化学学科的变革性影响,未能有效形成信息化与智能化素养<sup>[6-9]</sup>。

在实验教学方面,传统实验室仍占主导地位,实验过程依赖物理设备与人工操作,虚拟实验、智能实验平台等新技术尚未广泛应用。这不仅限制了实验教学的灵活性与可及性,还不利于学生自主实验设计与创新能力的培养。在理论教学上,尽管部分高校已引入大型开放式网络课程(慕课,MOOC)和小规模限制性在线课程(SPOC)等数字化教学资源,但整体仍处于探索阶段。智能化手段未能系统融入课程体系,难以实现个性化学习与动态适应学生需求<sup>[10,11]</sup>,导致学生对AI赋能学科发展的理解较为浅显,无法真正掌握信息技术核心能力。

## 1.2 课程体系滞后，教学方式单一

当前大学化学教育的课程体系与教学方式在很大程度上滞后于智能时代的需求，既未能有效适应AI与信息技术对学科的变革，也难以帮助学生突破传统学习模式，培养智能化学习能力与信息技术应用能力。

首先，化学课程内容相对传统，难以紧跟前沿科研与产业应用。教材更新速度较慢，未能及时纳入AI驱动的科研进展与产业实践，导致学生所学知识与社会需求脱节，影响其实践能力与跨学科素养的培养。学生的学科认知仍停留在传统模式，难以理解智能时代下化学学科的最新动态。

其次，教学方式依然以“填鸭式”讲授为主，学生多处于被动接受知识状态，缺乏自主探索与批判性思维的培养<sup>[12]</sup>。尽管部分高校逐步引入信息化教学工具，但应用深度有限，教学方式仍以知识灌输为主，缺乏互动性与智能化指导，难以激发学生的探索精神与问题解决能力。同时，实验教学受限于设备与资源条件，缺乏个性化与灵活性，尚未充分利用虚拟仿真与AI实验分析等新技术，限制了学生在实验设计与数据分析方面的能力提升。

## 1.3 师资力量与跨学科融合不足

化学学科的智能化学教学改革对教师提出了更高要求，不仅需要具备扎实的化学专业背景，还需掌握计算机科学与人工智能技术。然而，目前大多数高校的化学教师仍依赖传统化学知识体系，缺乏跨学科教学能力，导致AI、大数据等新兴技术在化学教学中的推广面临较大困难。

尽管部分高校已尝试将编程等信息技术课程纳入化学专业教学，但由于缺乏深度融合，学生难以将信息技术与化学知识有机结合，无法切实掌握智能技术在化学领域的应用。同时，学生对AI在化学学科变革中的推动作用认知较浅，未能有效适应智能化科研与产业环境的需求。此外，跨学科课程建设仍面临资源整合困难与课程体系不完善等问题，进一步制约了AI在化学教育中的深入应用。

## 2 学生信息化与智能化素养培养实践

在大学化学教学中，构建信息化与智能化素养培养体系，不仅能够满足高校数字化教育的发展需求，还能为智能技术在教学与科研中的应用提供新的思路与支撑。我院本科生培养主要聚焦于化学、材料、能源等相关领域的学习与实践，这些领域广泛涉及数据检索、分析与处理，以及智能实验平台的应用。因此，有必要系统性地讲授数据智能化管理、人工智能辅助学习与科研、智能实验室操作等内容，以提升学生在学习与实践中的信息化与智能化素养，增强自主学习与科研创新能力，更好地适应未来智能化社会的发展需求。

### 2.1 开发与推广个性化学习与智能反馈系统

针对信息化与智能化教学资源不足的问题，依托学校现有教学平台，开发并推广基于人工智能的个性化学习平台，有助于满足学生的差异化需求，提升资源共享效率与教学智能化水平，从而系统性地推动信息化与智能化教学资源的建设与应用，助力学生信息素养与自主学习能力的全面提升。通过智能平台，学生能够实时反馈并解决学习中的问题，同时根据学习进度与特点生成个性化学习计划，从而提高学习效率与效果。

在此背景下，2024年冬季学期，我校化学相关课程团队围绕知识图谱的建设规划、内容设计、实施流程及教学应用，协同推进知识图谱+AI课程建设，并在化药学院专业课程——“中药分离工程”“中药药剂学”中试点应用，成功上线智慧树平台，并面向全国开放共享。两门课程以化工分离工程为核心，融合化工原理、有机波谱学、制药工程及有机化学等多门化学相关学科知识，旨在从化学视角深入探讨中药有效成分的分离纯化、结构解析与制剂开发。课程整合教材、视频动画与思政案例，构建紧密关联的知识图谱，涵盖知识体系、问题体系和能力体系(图1)<sup>[13]</sup>。通过可视化展示和分层解析，强化学生对复杂概念的理解，促进自主学习与能力培养。AI技术可实时监测学生学习进度，提供个性化反馈，助力教师精准施教。智能教学助手支持自主问答与精准资源匹配，提高学习效率，激发探索兴趣，真正实现因材施教与个性化学习。

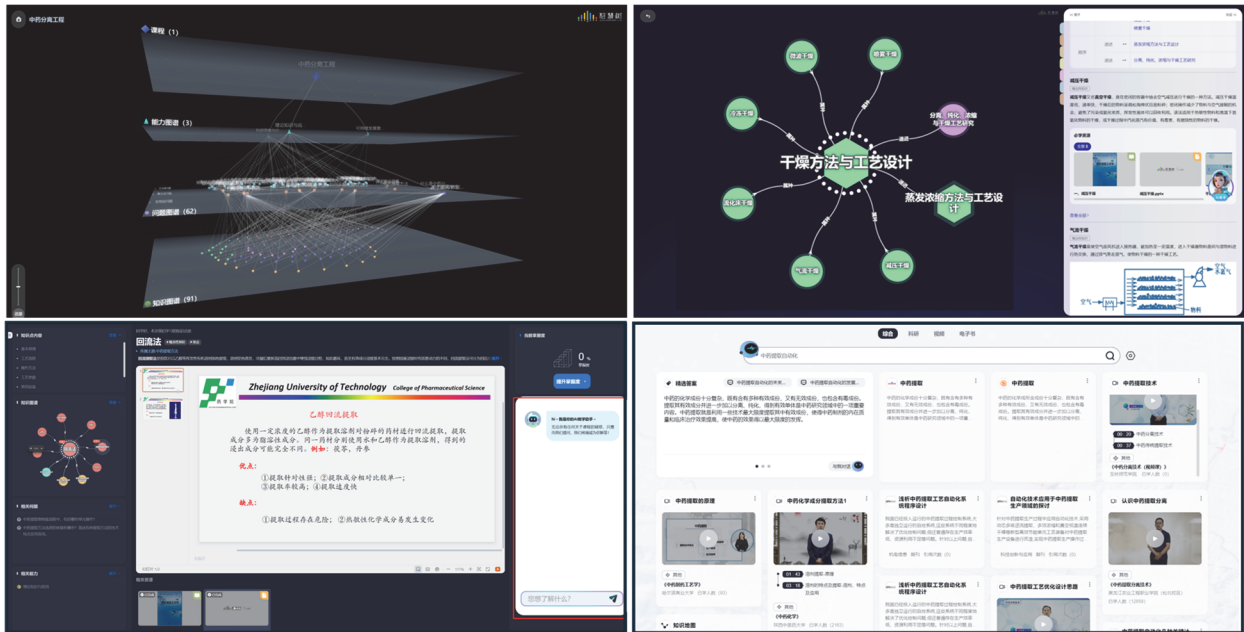


图1 中药分离工程与中药药剂学知识图谱AI课程界面示例<sup>[13]</sup>

## 2.2 推广专业化智能工具，构建高效智能的学科研究流程

针对学生信息素养薄弱的问题并结合大学化学专业需求，推广专业化的人工智能工具，以构建高效、智能的数据处理与分析流程，提升学生的信息化与智能化素养。

(1) 在数据获取方面，推动数字图书馆与智能化数据检索平台的应用，搭建化学领域一站式学术资源获取体系，使学生能够快速、精准地查找学术资源，提升科研效率。智能检索平台结合自然语言处理技术，优化关键词匹配与内容关联，提高文献筛选精准度。同时，推动移动互联网端的学术资讯平台建设，使学生能够随时获取最新科研动态，并基于个性化推荐算法精准推送相关论文与学术信息(图2)。



图2 部分客户端和移动互联网端智能化数据检索与学术资讯推广平台界面示例

- (a) 融合人工智能与大数据技术，提供个性化学习与智能教学服务的智慧教育平台txyz.ai客户端界面；(b) Connected Papers 网站界面及其基于检索关键词智能生成的文献关联分析图谱；(c) X-mol平台移动客户端的文献检索界面，实现专业领域信息的便捷获取与咨询服务；(d) 微信公众号个性化定制推送研究领域相关最新进展资讯的界面展示

(2) 在数据收集与管理方面, 在传统笔记与实验报告基础上, 引导学生运用多媒体工具(如移动设备)对实验数据实施多维度、多模态的采集与整理, 包括图片、视频、文本、录音等方式, 使实验记录更加全面(图3)。这种方式不仅有助于学生深入理解实验过程, 还能提升数据整合与分析能力。同时, 智能存储系统结合深度学习算法对实验数据进行分类管理, 实现数据归档与可视化展示, 增强数据的可追溯性与关联性。此外, 多媒体工具的运用突破了传统以文字记录为主的教学模式, 从听觉与视觉等多个维度促进信息的有效采集与认知, 显著提升学生的信息化素养与实践能力。相比于传统授课教学模式, 接触并实践运用多媒体工具的学生在毕业论文的撰写过程中使用数据库、智能检索工具以及分析整合研究背景相关信息的能力显著提升。

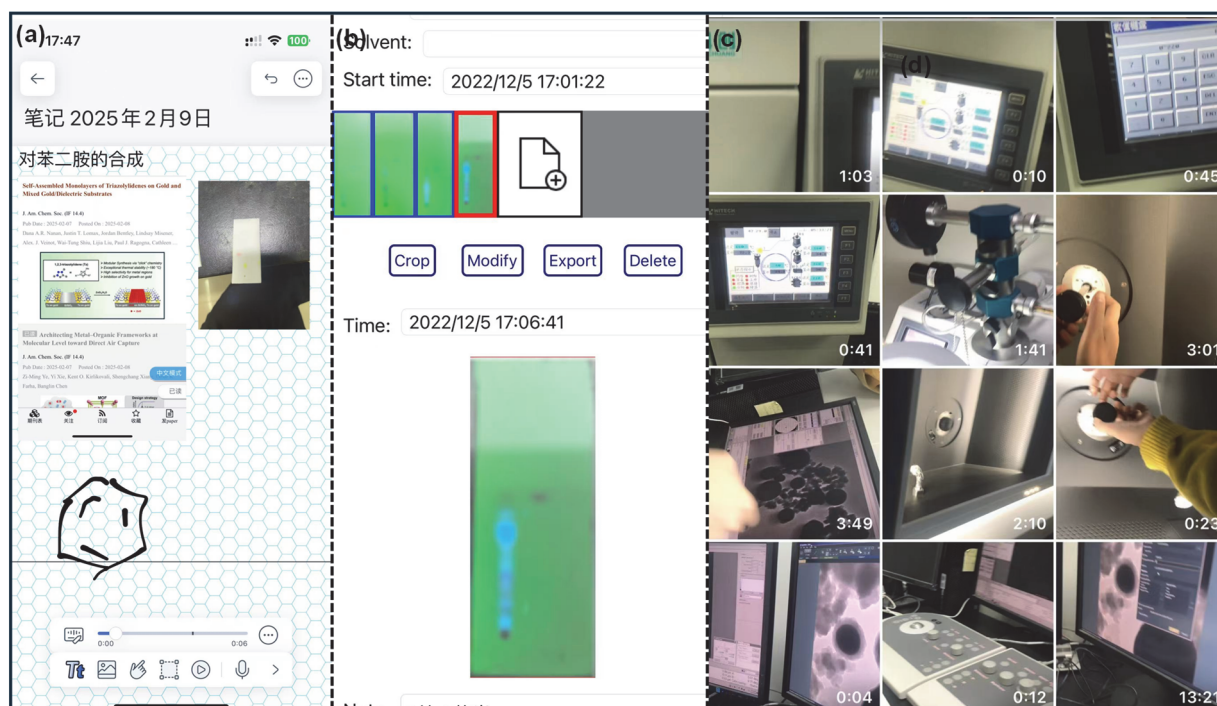


图3 多种形式的实验数据记录示例图

(a) 部分通用型移动互联网客户端应用程序, 实现照片、截图、手动书写、语音形式实验数据的整合及个性化装订; (b) 部分专业型移动互联网客户端应用程序实现特定种类实验数据的专业化记录与初步分析; (c) 基于手机摄像模块实现对过程数据的实时收集整理

(3) 在数据处理与分析环节, 鼓励学生学习并应用Origin、Matlab、Python等数据处理与分析软件, 提升实验数据建模、计算与可视化能力(图4)。借助这些工具, 学生能够更高效地处理与分析实验数据, 提升计算精度, 并清晰呈现数据变化趋势。特别是在数据拟合与可视化方面, 智能工具可快速识别数据规律, 减少繁琐的手工计算, 显著提高数据分析效率, 助力学生产出高质量分析成果。例如, 在大学化学专业基础课程——分析化学实验课中的“紫外-可见分光光度法测定水样中铁离子浓度”实验中, 融入现代数据分析与可视化技术, 显著提升了学生对实验数据的处理能力与理解深度。学生不仅完成了标准溶液的配制与吸光度测量, 还借助Origin软件对实验数据进行线性回归分析, 绘制标准曲线并计算拟合优度。同时, 通过可视化方式呈现误差范围和拟合质量, 帮助学生更深入地理解分析化学理论课第一章中关于数据处理的相关知识点, 促进理论与实践的有机融合。相比于未引入现代数据分析与可视化技术的班级, 学生对相关知识的理解更为深刻, 平均成绩更高。

(4) 在数据可视化与应用方面, 推动学术写作与成果展示智能化发展。鼓励学生使用AI辅助工具对实验报告、论文写作与PPT制作进行优化, 提升大纲设计、内容表达与语言润色能力。通过这

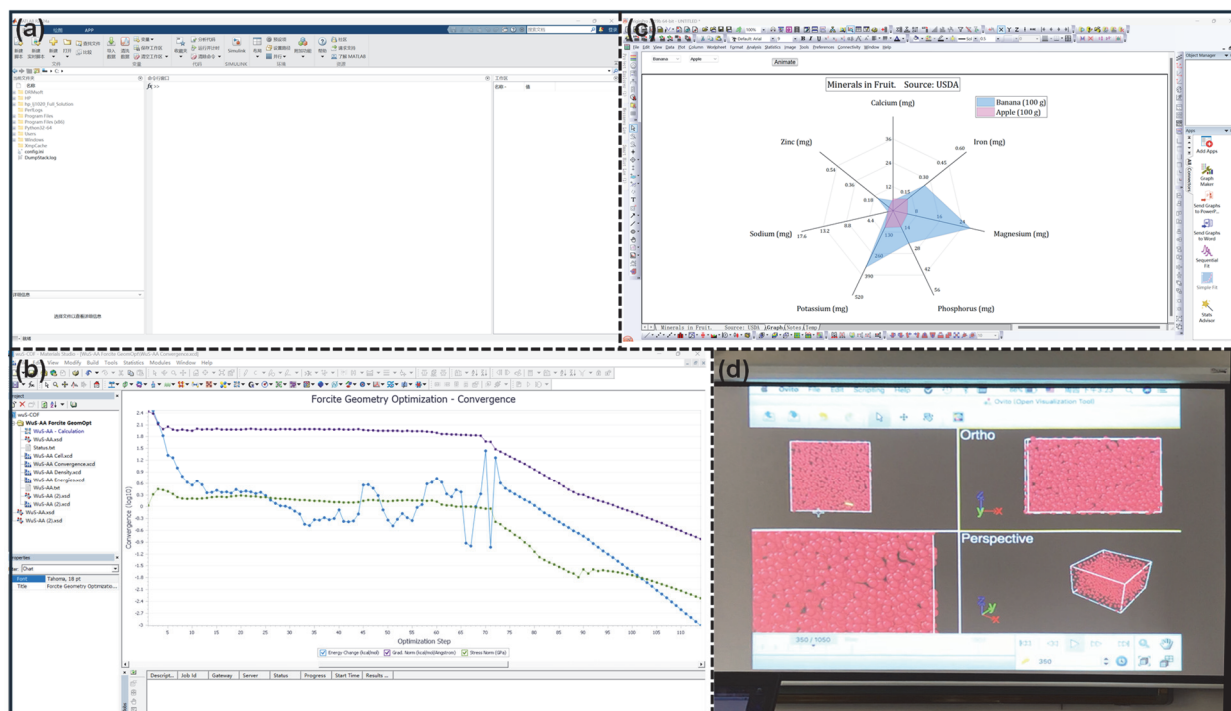


图4 数据分析(a, b)、建模(c)与可视化软件界面(d)示例

种方式，学生能够更加高效、规范地呈现学术成果，促进科研过程系统化与高效化，进一步推动科研工作质量与自主性维度的双重突破。例如，在本科生参与“互联网+”等创新创业类竞赛项目的过程中，鼓励学生借助ChatGPT等人工智能平台，对研究思路报告与文献综述部分进行优化和重构。在课题研究阶段，推动学生利用AI辅助工具对所收集的文字类描述性数据(如实验过程、实验现象及实验结果)进行整合与初步分析，借助AI内置的算法模块探索各要素之间的相关性，并据此优化实验流程，以期提升实验成功率。尽管目前AI在实验过程优化中的逻辑关联性仍有限，对实验成功率的直接提升尚不明显，但对比未使用AI工具的参赛小组，学生在课题推进效率和项目整体完成进度方面表现出显著优势，体现了AI赋能背景下学生科研素养与实践能力的提升。

### 2.3 强化跨学科交流与智能化应用

为有效应对课程体系滞后与教学方式单一等问题，并进一步提升学生的信息化与智能化素养，本课程团队采取一系列创新举措，强化跨学科交流与合作，促进师生深度互动与探讨，拓展学生学术视野，提升其综合问题解决能力。同时，统筹整合各学院及研究团队的教学资源，以学生主导课题为纽带，推动师资共享与跨学科协同，切实缓解当前师资力量不足与学科融合滞后的问题。

首先，通过搭建学术交流平台，定期举办跨学科研讨会与讲座，帮助学生接触多元学科知识，了解最新学术动态。例如，我校定期开展的“寿恒讲堂”“至真讲坛”以及各课题组举办的线上线下一学术报告交流会。学生可以与来自不同学科的专家进行深入交流，参与当前前沿科研话题讨论(图5)<sup>[14,15]</sup>。这些活动不仅拓宽了学生视野，也激发了跨学科思维，促进信息化与智能化素养的全面发展。

此外，跨学科合作项目为学生提供了一个将不同学科知识有机融合的实践平台。例如，通过组织跨学科师生共同参与的科研项目，既能有效提升学生的团队协作能力，又能促进其将学科知识灵活运用以解决实际问题。本团队鼓励本科生积极参与学术竞赛(如“互联网+”“浙江省新材料设计大赛”等)，并倡导学生主导跨学院自主组队、主持课题发展。在这些合作项目中，学生能够借鉴其他领域的研究方法，从而提升综合分析和解决问题的能力。对比本团队历年(2018–2023年)本科生参

赛结果与学术深造情况,随着跨学科合作项目的引入,本团队本科生在学术竞赛中获奖比例显著提升,从2018–2020年0%(本科生基数为3人)提升至2021–2023年66.7%(本科生基数为3人)<sup>[16,17]</sup>。同时,学术深造人数也大幅增加,从2018–2020年0人提升至2021–2023年的2人。部分学生获得的成果包括:第九届“创青春”中国青年创新创业大赛(科技创新专项)优秀奖;第八届浙江省“互联网+”大学生创新创业大赛银奖;第四届大学生化工创新挑战赛暨2022黑客松优胜奖(全国20强);第四届浙江省大学生新材料创新设计大赛特等奖;第四届德清县“创青春”青年大学生创新创业大赛优胜奖;第三届全国大学生高分子材料创新创业大赛铜奖;国家大学生创新创业训练计划(重点支持领域,2022年度结题);浙江省“新苗人才计划”(2022年度结题);校级优秀毕业论文(2023年度);第十六届全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛三等奖;第九届浙江省“互联网+”大学生创新创业大赛银奖;第五届浙江省大学生新材料创新设计大赛二等奖;国家大学生创新创业训练计划(2023年度);浙江省“新苗人才计划”(2023年度);浙江工业大学新安杯·运河激励计划(2022年度)<sup>[18]</sup>。



图5 本校定期开展的寿恒讲堂(a)、至真讲坛(b)及线下(c)线上(d)学术报告交流会活动示例<sup>[14,15]</sup>

为了进一步促进跨学科的合作,建议组织学术沙龙等开放讨论活动。此类活动不仅为学生提供了分享研究成果的机会,更能从其他学科的视角获得启发。通过这种多元化的交流互动,学生不仅能够意识到学科间的相互关联和价值,还能培养灵活应用跨学科知识解决复杂问题的能力<sup>[19]</sup>。

### 3 结语

构建智能化教学体系,提升学生信息素养:依托人工智能技术,系统性地优化大学化学课程的教学模式,拓展数字化教学资源,打造自主学习与智能反馈相结合的教学体系。借助智能实验模拟和个性化学习推荐等手段,弥补传统教学模式的不足,帮助学生精准掌握化学知识,同步强化自主探究能力与创新思维。

融入前沿技术理念, 推动教育模式变革: 以可持续发展思维推进人工智能技术在化学教育中的深度应用, 将智能教学工具、虚拟实验平台与课堂教学有机结合, 实现理论教学与实践训练的无缝衔接。构建以学生为中心的智能化教学生态, 提升课堂的交互性、针对性和高效性, 培养学生适应未来科技发展的综合能力。

推动理论教学与实践应用深度融合: 通过数据驱动的教学改进, 结合实践教学推动模式创新, 构建“智能实践-课堂反馈-问题驱动”的新型教学体系。借助人工智能赋能化学教育, 实现精准化、个性化的教学模式, 推动信息技术与学科教学的深度融合, 为培养高水平化学人才提供有力支持。同时, 坚持知识传授与价值引领并行, 融合显性教育与隐性教育, 促进课程知识、交流合作平台与学科竞赛的有机结合, 实施“渗透式”教学模式。基于传统实验室课堂教学, 激发学生的自主驱动力, 鼓励学生主导跨学科、跨地域的合作与学科竞赛项目, 构建覆盖广泛的模块化、数字化科研学习课程, 形成具有特色的化学教育体系, 为智能社会培养创新思维与实践能力并存的复合型人才。

### 参 考 文 献

- [1] 闫志明, 唐夏夏, 秦旋, 张飞, 段元美. 远程教育杂志, **2017**, *35* (1), 10.
- [2] 刘琼, 刘星, 刘桂锋. 农业图书情报学报, **2024**, *36* (8), 43.
- [3] 大连理工大学推进数字教育建设 加快建设高质量数字教育资源. [2023-03-22]. <https://news.dlut.edu.cn/info/1071/81153.html>
- [4] 杨艳萍, 闫灵芝. 黄河水利职业技术学院学报, **2011**, *23* (2), 5.
- [5] 杜静, 于曦, 马骥飞, 赵温涛. 大学化学, **2024**, *39* (11), 65.
- [6] 刘嘉豪, 曾海军, 金婉莹, 李至晟, 祁彬斌. 西安交通大学学报(社会科学版), **2024**, *44* (3), 11.
- [7] 翟红林, 张晓昀, 曹晶晶. 大学化学, **2024**, *39* (1), 63.
- [8] 李平, 尹超. 大学化学, **2024**, *39* (10), 402.
- [9] 张钰, 张茂林. 大学化学, **2024**, *38* (3), 80.
- [10] 左娜, 王祖源, 吴天刚. 中国教育信息化, **2016**, No. 1, 4.
- [11] 胡艺玮, 石芳. 才智, **2020**, No. 7, 137.
- [12] 郭大光, 沈忠华. 教育科学, **2020**, *36* (2), 1.
- [13] 药学院中药学专业两门知识图谱AI课程(智慧课程)2024秋冬学期上线全国共享. [2025-07-23].  
<http://www.zjutxy.zjut.edu.cn/frontend/showNews.html?hashcode=1989312148>
- [14] 300讲→400讲, 寿恒讲堂的变与不变. [2025-07-23].  
[https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzI4NzUwMTk3OA==&mid=2247554576&idx=1&sn=ddcf14dc15089f010de04e6c24e20e70&chksm=ebccede5dcb964f30b5c466c8286962b07be9dc4ca3b31c06063956461f85fc2c6a6ea45529f&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4NzUwMTk3OA==&mid=2247554576&idx=1&sn=ddcf14dc15089f010de04e6c24e20e70&chksm=ebccede5dcb964f30b5c466c8286962b07be9dc4ca3b31c06063956461f85fc2c6a6ea45529f&scene=27)
- [15] 材·学堂 | 至真讲坛263期: 浙大城市学院汤慧萍教授来院作学术报告. [2025-07-23].  
[https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzI2NzU0NjY4Mg==&mid=2247605312&idx=2&sn=538a3a417d268789d8cc321cf54a3833&chksm=eafe2515dd89ac036f8f6c549f2683fe5e8a392a3d4e3fad4473dc85fccd6c64a681123553&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI2NzU0NjY4Mg==&mid=2247605312&idx=2&sn=538a3a417d268789d8cc321cf54a3833&chksm=eafe2515dd89ac036f8f6c549f2683fe5e8a392a3d4e3fad4473dc85fccd6c64a681123553&scene=27)
- [16] 第八届浙江省国际“互联网+”大学生创新创业大赛获奖名单. [2025-07-23].  
[https://zjjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms\\_files/jcms1/web3099/site/attach/0/a846ed847f7f4fcd8aeced6077ecc3fb5.pdf](https://zjjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3099/site/attach/0/a846ed847f7f4fcd8aeced6077ecc3fb5.pdf)
- [17] 第九届浙江省国际“互联网+”大学生创新创业大赛获奖名单. [2025-07-23].  
[https://zjjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms\\_files/jcms1/web3099/site/attach/0/b3eb0892477045789f80db524e3b5a7d.pdf](https://zjjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3099/site/attach/0/b3eb0892477045789f80db524e3b5a7d.pdf)
- [18] 浙江工业大学教师个人主页. [2025-07-23]. <https://homepage.zjut.edu.cn/pyw/>
- [19] 戴昉纳, 王荣明, 张志成. 大学化学, **2024**, *39* (10), 121.