

人工智能赋能物理化学实验课程的设计与思考

崔美荣*, 谢荣, 晁洁*

南京邮电大学材料科学与工程学院, 南京 210023

摘要: 教育数字化是我国开辟教育发展新赛道的重要突破口, 人工智能为教育赋能成必然趋势。基于智慧教学模式的探索, 本文对人工智能赋能物理化学实验课程的设计原则进行具体的分析, 提出人工智能赋能物理化学实验平台的具体设想, 并评估我校初步的实践效果, 为促进传统化学实验教学向更加智能化方向转变提供了新的视角。

关键词: 人工智能; 物理化学; 教学设计; 智能辅助; 个性化学习

中图分类号: G64; O6

Design and Reflections on the Integration of Artificial Intelligence in Physical Chemistry Laboratory Courses

Meirong Cui*, Mo Xie, Jie Chao*

School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China.

Abstract: The digitalization of education represents a significant breakthrough for China in exploring new pathways for educational development, and the integration of artificial intelligence into education is an inevitable trend. This article analyzes the design principles for incorporating artificial intelligence into physical chemistry laboratory courses, based on the exploration of intelligent teaching models. It presents a concrete vision for an artificial intelligence-enabled physical chemistry laboratory platform and evaluates the initial practical outcomes at our institution. This research provides a novel perspective for advancing the transformation of traditional chemistry laboratory teaching methods towards a more intelligent approach.

Key Words: Artificial intelligence; Physical chemistry; Teaching design; Intelligent assistance; Personalized learning

1 引言

物理化学实验课程是物理化学的配套课程, 是继大学化学实验、有机化学实验之后独立开设的又一门重要专业基础实验课程。本课程与物理化学理论课教学紧密结合, 是物理化学理论课程的延伸, 是化学学科的基础课程之一^[1-3]。随着科学技术的快速发展, 传统的实验教学模式逐渐显露出一些不足之处, 难以满足现代教育的需求^[4]。比如, 实验准备过程繁琐且容易出错, 教师需要手动查阅文献、设计实验步骤, 并准备所需的试剂和仪器, 这不仅耗时费力, 还可能因人为错误影响实验结果。其次, 学生在实验过程中需要手动记录大量数据, 并进行复杂的计算和分析, 这增加了学生的负担并可能导致数据处理的不准确。传统的实验教学往往缺乏互动性和趣味性, 导致学生兴趣不高。最后, 传统教学模式难以针对每个学生的学习进度和能力提供个性化的指导和支持, 导致部分学生

收稿: 2024-12-02; 录用: 2025-01-15; 网络发表: 2025-04-08

*通讯作者, Emails: iammrui@njupt.edu.cn (崔美荣); iamjchao@njupt.edu.cn (晁洁)

基金资助: 南京邮电大学 2022 年教学改革研究项目(JG03022JX69)

难以跟上教学进度，资源限制也使得许多学校无法为每位学生提供充足的实验资源。

教高司函〔2024〕1号文件指出，深入开展高校实验教学和教学实验室建设研究^[5]，发挥数字赋能作用，推动实验教学改革，为建设适应新时代人才培养需求的新型实验教学体系提供有力支撑。因此，高校实验教学示范中心应大力推进实验教学数字化，以智能化赋能实验教学，搭建高水平实验教学平台凝练优质实验教学资源，探索创新性实验教学模式，不断提升学生的实践能力和创新精神以及实验室建设管理水平。近年来，人工智能(AI)技术在各个领域取得了显著进展，其在教育领域的应用也日益受到关注^[6-10]。AI技术在物理化学实验教学的应用取得了显著进展，主要体现在智能辅助教学系统、数据分析与反馈以及虚拟实验等方面。例如，智能系统能够提供个性化指导，机器学习预测分子动力学结果以节省时间和成本^[11]；深度学习工具自动识别光谱数据中的特征峰并建议可能的分子结构^[12]；智能量热计实时记录并计算比热容^[13]；物联网设备实现电导率数据的自动采集和传输^[14]。这些应用提高了教学效率，增强了学生体验，并保障了实验室安全。

AI技术通过自动化、智能化的方式，为解决物理化学实验教学中的问题提供了新的可能。本研究基于AI的智慧教学模式，结合南京邮电大学材料科学与工程学院具体的教学现状及当前物理化学实验教学的挑战，对人工智能赋能物理化学实验课程的设计原则进行具体的分析，提出AI赋能下的物理化学实验平台的具体设想，并进行了初步的实践和效果评估。希望该研究为未来的研究提供参考，同时提升教学质量和学生的学习体验，为其他学科的教学改革提供借鉴。

2 人工智能赋能物理化学实验课程的设计原则

南京邮电大学材料科学与工程学院具有有机电子与信息显示国家重点实验室，同时拥有国家级虚拟仿真实验项目等教学科研平台与资源。物理化学实验课程与物理化学理论课教学紧密结合，是物理化学理论课程的延伸，是化学学科的基础课程之一。依靠学院的科研和教学平台，如何将物理化学实验课程与AI智慧教育有机结合起来，是学院面临的一项重要教学改革任务。如图1所示，本院的物理化学实验课程目前主要进行7个教学实验和一个考核实验，分别是：实验技术讲座(1学时)、恒温槽控温精度的研究(3学时)、燃烧热的测定(5学时)、乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定(5学时)、原电池电动势的测定(5学时)、溶液中的吸附作用与表面张力的测定(4学时)、液体粘度的测定(4学时)、电导法测表面活性剂的临界胶束浓度(5学时)、黏度法测定高聚物摩尔质量(自主实验考核)(4学时)，共36学时。

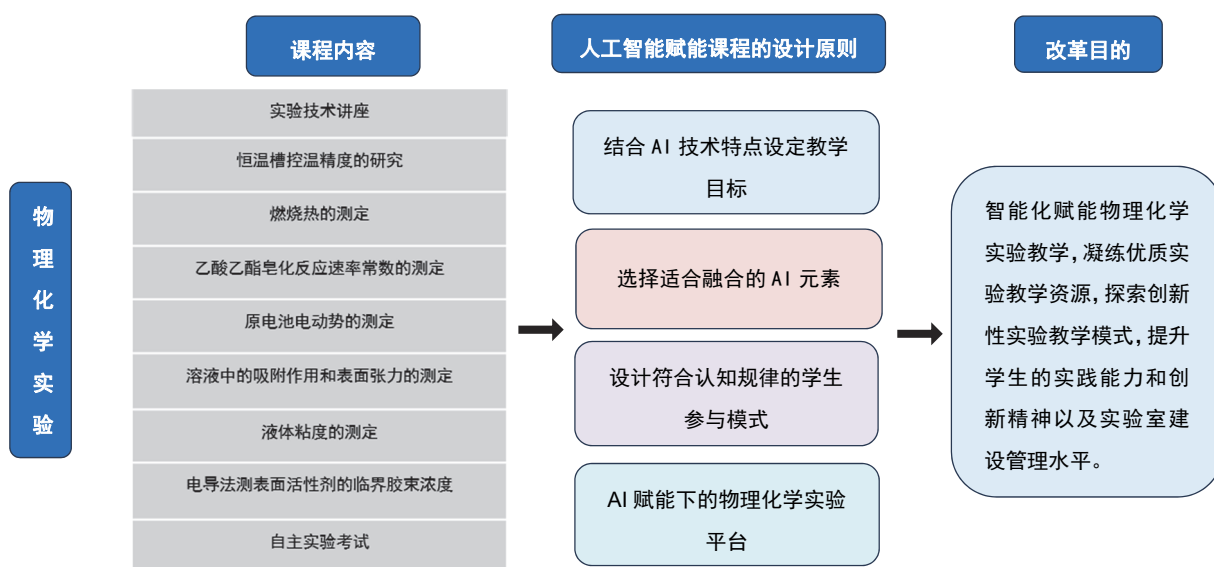


图1 人工智能赋能物理化学实验课程的设计方案

人工智能技术与物理化学实验课程的融入，需要遵循一定的课程设计原则确保学生参与的积极性和教学的有效性。基于AI技术特点和本院物理化学实验教学内容，我们从以下几个方面进行课程设计并给出具体案例分析：

- (1) 结合AI技术特点设定教学目标；
- (2) 选择适合融合的AI元素；
- (3) 设计符合认知规律的学生参与模式；
- (4) AI赋能下物理化学实验平台构建设想。

通过智能化赋能实验教学，搭建高水平实验教学平台凝练优质实验教学资源，探索创新性实验教学模式，不断提升学生的实践能力和创新精神以及实验室建设管理水平。

2.1 结合AI技术特点设定教学目标

人工智能赋能物理化学实验课程，不仅能极大丰富教学手段，还能有效提升学生的学习效果与实践能力。为此，结合AI技术特点和本院物理化学实验教学的特点及学生培养要求，首先需要精心设定一系列教学目标，旨在全面提升学生的综合素质。

本学院开设物理化学实验课程传统的教学目标主要包括三个方面：(1) 使学生了解物理化学的研究方法，初步掌握物理化学的基本实验技术和技能，帮助学生加深对物理化学课程中基本理论的理解，培养学生分析和归纳实验数据、独立解决问题的能力；(2) 培养学生类比、综合、归纳和演绎、等效等科学思维的能力；(3) 初步掌握物理化学实验仪器的基本原理、使用方法和数据的处理与解析，培养运用基本理论解决实际问题的能力，培养学生创新能力。为了实现智能化赋能物理化学实验教学，结合AI技术的特点将教学目标具体化，如图2所示，进行教学目标的更新。AI作为一种辅助工具，而非替代传统教学方法或学生自主学习的手段，不会取代学生亲手进行实验操作和数据处理的过程。它旨在提高学生的理解与应用能力、强化实践技能、培养问题解决能力、促进个性化学习、增进协作与沟通技巧五个方面。这些教学目标不仅应涵盖传统的知识传授，还应充分利用AI技术的优势，以提升学生的学习体验和实践能力。

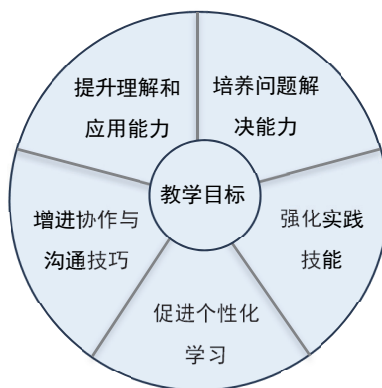


图2 结合AI技术特点设定的具体教学目标

2.1.1 提升理解和应用能力

物理化学实验是对学生进行科学实验基本训练的一门必修基础课程，学生通过该课程系统地学习物理化学实验知识、方法和技能，了解科学实验的主要过程与基本方法，为以后的各类实验课程的学习奠定良好的基础。为了增强学生对于物理化学基本概念和原理的理解，确保学生在实际情境中的应用，可以通过引入AI技术来创造更加生动直观的学习体验。具体而言，智能导师系统与聊天机器人将成为教师教学和学生学习过程中的重要辅助工具，它们能够根据教师和学生需求生成个性化的教学和预习资料，包括但不限于理论框架概述、实验背景信息等。此外，虚拟现实(VR)技术和

3D建模将被用来创建高度仿真的实验场景，这样不仅可以让学生清晰地看到每一步骤是如何进行的，还可以通过嵌入式的提示信息强调关键点和常见误区，从而加深记忆。

2.1.2 培养问题解决能力

物理化学实验虽然是独立设置的课程，但实现智能化赋能物理化学实验教学，在实验内容的选择和实验时间的安排上，既要关注学生基本实验技能的培养，又要注意与物理化学基础理论课及化学信息学导论相关课程的衔接与配合。理论与实验互相渗透互为补充，二者既相对独立又相互支持，共同完成物理化学对人才文化素质和科学素质培养的任务。鼓励学生运用科学的方法论，即“提出假设-收集证据-分析验证”这一循环过程来进行研究。例如，在“乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定实验”中，依据反应速率常数，二级反应的特点等理论知识，提出假设，利用AI智能问答软件收集证据有助于顺利开展实验。在实验分析验证这一过程中，借助AI算法强大的数据处理能力，进行实验数据处理并评估实验数据的质量。通过机器学习算法(如线性回归)分析数据，可以预测不同条件下的反应速率常数。学生可以提出不同的假设，例如改变反应物浓度或温度，通过AI模型验证假设，最终形成科学合理的解释。

2.1.3 强化实践技能

在物理化学实验课程中，学生的实践技能是至关重要的，这些技能不仅关系到学生能否准确地执行实验操作，还直接影响到他们对科学原理的理解和应用。比如对于我校高分子化学专业的学生，通过此课程的学习，能够设计针对高分子材料与工程方面的复杂工程问题的解决方案，设计满足特定高分子材料的生产及加工需求的系统、单元(部件)或工艺流程，并能够在设计环节中体现创新意识。结合AI技术，可以创建一个既安全又高效的实践学习环境，从而有效地提升学生的实践技能。例如，学生可以利用Labster Virtual Lab Experiences进行“燃烧热测定实验”。在虚拟环境中练习实验操作步骤，熟悉仪器的使用方法。通过虚拟实验室设置实验装置，点燃样品并记录温度变化，系统会自动分析数据并提供反馈，可以帮助学生理解燃烧热的测定过程。利用虚拟实验室，学生可以不受时间和空间限制地多次重复实验操作，直至完全掌握。每次操作后，系统都会提供即时反馈，指出操作中的正确和错误之处，帮助学生不断改进。学生可以利用大数据处理工具(如Apache Spark, Hadoop)和统计分析软件(如Python的Pandas库、R语言)来分析温度变化曲线，计算燃烧热值，并理解实验结果的意义。最终，使学生掌握物理化学实验仪器的基本原理、使用方法和数据的处理与解析，培养运用基本理论解决实际问题的能力。

2.1.4 促进个性化学习

鉴于每位学生的基础知识水平和兴趣点都有所不同，主张采取差异化教学策略。基于AI技术的自适应学习平台，根据每个学生的学习进度和兴趣定制学习路径，提供个性化的反馈和支持，为学生推荐最适合他们的学习资源。可以利用如Wolfram Alpha、Smart Sparrow或Docebo等AI自适应学习平台，构建定制化的学习路径，这些平台依据用户的学习模式和需求进行分析，创造出独特且个性化的学习计划。例如，对于在化学实验操作部分存在困难的学生，可以利用AI系统复习基本的实验仪器使用方法，再逐步引导学生进行简单的化学实验设计；而对于化学理论知识理解较慢的学生，可以从基础的化学概念开始重新梳理知识体系。如果学生在实验过程中遇到困难，系统会根据指令提供针对性的指导和额外的练习，帮助学生克服难点。

2.1.5 增进协作与沟通技巧

良好的团队合作精神是现代社会中不可或缺的一项软技能。为增强学生协作与沟通技巧，可以积极推广基于互联网的合作学习模式，鼓励学生们组成小队共同完成特定任务。利用在线平台进行小组合作实验，加强学生之间的交流与合作。通过实时讨论和共享数据，提高团队协作能力。以“溶液中吸附作用和表面张力测定”实验为例，每个参与者都承担着各自的任务分工，无论是样本制备还是数据分析，大家都可以通过云平台实时同步进度，最后再一起讨论结果，撰写研究报告。这种形式的互动不仅促进了彼此间的了解，也有助于培养良好的沟通习惯。

2.2 选择适合融合的AI元素

将AI元素融入物理化学实验课程中，可以显著提升教学效果和学生的学习体验。根据以上描述的教学目标，我们将围绕不同的AI元素进行对应实验案例的融入。比如：智能辅导系统给予即时指导、数据处理工具自动分析实验结果、虚拟实验室提供安全的模拟环境、个性化学习路径满足不同学生的需求、实时监控与反馈提高操作准确性、安全教育与管理确保实验过程的安全性、互动式学习内容增强理解以及在线协作平台促进团队合作。这些AI技术的应用不仅能够提升学生的理解能力和实践技能，还能减轻教师的工作负担，优化教学效果，实现更加高效、个性化和安全的教学体验。表1是根据具体的教学内容进行的AI元素融入的详细描述：主要围绕“恒温槽控温精度的研究、燃烧热的测定、乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定、原电池电动势的测定、溶液中的吸附作用与表面张力的测定、液体粘度的测定、电导法测表面活性剂的临界胶束浓度”7个实验进行具体的案例描述。结合具体的实验目的，利用智能控制系统、数据监控与分析、自动化数据采集、数据分析与建模、互动式学习内容等元素，对我院物理化学实验给出具体教学改革方案。

表1 实验应用案例及AI元素融入方案

| 实验案例 | 实验目的 | AI元素融入方案 |
|------------------|---|---|
| 恒温槽控温精度的研究 | 研究和优化恒温槽的控温精度，确保实验条件的稳定性 | 智能控温系统：使用基于机器学习控制系统来实时调整加热器的功率。通过收集大量温度数据，训练模型以预测并调整温度变化，从而实现更精确的温度控制 数据监控与分析：利用智能传感器实时采集温度数据，并通过云平台进行存储和分析。使用时间序列分析算法来监测温度波动，及时发现异常情况 |
| 燃烧热的测定 | 掌握燃烧热的定义，了解恒压燃烧热与恒容燃烧热的差别；学会利用雷诺法图解法校正温差 | 自动化数据采集：利用大数据处理工具(如Apache Spark, Hadoop)和统计分析软件(如Python的Pandas库、R语言)快速处理燃烧热数据，系统自动生成温度-时间曲线，并计算出燃烧热值 数据分析与建模：通过机器学习算法(如线性回归或支持向量机SVM)对温度数据进行分析，计算燃烧热。同时，可以使用深度学习模型来预测不同条件下燃烧热的变化趋势 |
| 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定 | 测定乙酸乙酯皂化反应的速率常数，图解法验证二级反应的特点 | 自动化测量：使用智能pH计或电导率仪实时监测反应过程中的pH值或电导率变化，并自动记录数据 动力学建模：通过机器学习预测不同条件下的反应速率常数。例如，训练一个模型来预测温度、浓度等因素对反应速率的影响 |
| 原电池电动势的测定 | 测定不同电解质溶液中原电池的电动势，了解电化学原理 | 自动化测量：使用智能电压表自动记录电池的电动势，并通过无线传输技术将数据发送到云端 数据分析与优化：分析不同电解质溶液对电动势的影响，并在AI的辅助下生成可视化报告。同时，可以使用优化算法(如遗传算法)来寻找最佳电解质组合，提高电池性能 |
| 溶液中的吸附作用和表面张力的测定 | 测定不同浓度的表面活性物质溶液在一定温度下的表面张力，应用Gibbs和Langmuir吸附方程进行计算，得到表面张力与溶液吸附作用的关系，了解表面活性剂的作用 | 自动化测量：使用智能仪器(如表面张力仪)自动测量溶液的表面张力，并记录数据 图像分析：利用计算机视觉技术(如OpenCV库)分析液滴形状，通过图像处理算法计算表面张力。同时，可以使用机器学习模型(如卷积神经网络CNN)来识别和分类不同的表面活性剂效果 |
| 液体粘度的测定 | 测定不同液体的粘度，了解其流动性性质 | 自动化测量：使用智能粘度计自动测量液体的粘度，并通过无线传输技术将数据发送到云端 数据分析与建模：通过机器学习算法(如线性回归或决策树)分析温度、压力等条件对粘度的影响，并生成预测模型。例如，训练一个模型来预测不同温度下液体的粘度变化 |

(待续)

(续表1)

| 实验案例 | 实验目的 | AI元素融入方案 |
|------------------|--|--|
| 电导法测表面活性剂的临界胶束浓度 | 了解表面活性剂的特性及胶束形成原理;掌握用电导法测定十二烷基硫酸钠的临界胶束浓度 | 自动数据处理与分析:利用AI驱动的数据处理工具并分析实验数据,生成电导率随浓度变化的曲线图,并计算出临界胶束浓度 交互式学习内容:利用生成式人工智能对实验方案进行设计和优化,通过动画、视频和交互式模拟来讲解复杂的理论知识,如胶束形成机制、电导率变化原理等,使抽象的概念变得直观易懂,提高了学生的学习兴趣和参与度 |

2.3 设计符合认知规律的学生参与模式

为了确保学生能够在物理化学实验过程中获得最佳的学习体验,实现智能化赋能物理化学实验教学,我们结合AI技术的特点和学生培养目标设计符合学生认知规律的课程参与模式。主要包括“分层递进式学习、交互式学习体验、即时反馈机制、自主探究空间、小组合作与讨论、跨学科融合”六种模式。教育工作者应当引导学生正确使用这些工具,同时保持和发展自身的创新能力和批判性思维。例如通过设置符合认知规律的学生参与模式,来确保学生在利用AI的同时,也能强化他们的基础技能和独立思考的能力。表2是对这六种参与模式的具体描述及结合六种参与模式的智能化赋能应用示例。这些模式的设计执行能够提高学生的参与度,培养学生的动手实验能力和科学素养,提高学生的创新素质和科学研究的能力。

表2 几种符合认知规律的学生参与模式及具体示例

| 参与模式 | 具体描述 | 示例 |
|---------|---|---|
| 分层递进式学习 | 从简单的概念介绍开始,逐步过渡到更复杂的实验操作。每一步都配有相应的指导材料和互动练习 | 生成式人工智能 ^[15] 可用于实验方案的设计和优化。引入阶段:首先介绍实验的基本概念和理论背景,通过视频、动画等形式让学生对实验有一个初步的了解。基础操作:引导学生进行基本的实验操作,例如在“燃烧热测定实验”中,先让学生熟悉仪器的使用方法。复杂操作:逐步增加实验的复杂性,引入更多的变量和控制因素,让学生在实践中不断深化理解。综合应用:最后,要求学生综合运用所学知识,设计并完成一个完整的实验项目,通过数据分析得出结论 |
| 交互式学习体验 | 利用虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术创建沉浸式学习环境,增加学生的参与感和兴趣 | 虚拟实验室:使用Labster等虚拟实验室软件,让学生在虚拟环境中进行实验操作,如在“原电池电动势的测定实验”中,学生可以通过VR头显亲手组装电池并观察其工作原理。互动模拟:利用PhET Interactive Simulations等工具,提供互动性强的模拟实验 |
| 即时反馈机制 | 通过AI系统提供即时反馈,指出学生的错误并给予改进建议,帮助学生及时调整学习策略 | 实验过程中的反馈:在“溶液中的吸附作用和表面张力的测定实验”中,在学生进行实验时,智能辅导系统可以提供实时指导,解释每个步骤的目的和注意事项,并在学生遇到问题时给出解决方案。数据分析反馈:在“乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定实验”中,通过机器学习算法分析数据,系统可以即时生成反馈报告,指出数据中的异常点和改进方向 |
| 自主探究空间 | 设置开放性实验任务,鼓励学生自主设计实验方案,利用AI工具进行模拟和验证,培养独立思考和解决问题的能力 | 自主实验设计:将“黏度法测定高聚物摩尔质量实验”作为开放性实验和考核实验,提供一个实验设计模板,引导学生思考实验目的、方法、预期结果等,要求学生自行设计实验方案,选择不同的高聚物,并使用AI工具预测实验结果 |
| 小组合作与讨论 | 组织小组活动,让学生在团队中分享观点、讨论问题,利用在线协作平台促进信息交流和资源共享 | 小组分工:在“乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定实验”中,学生分成小组,各自负责不同的实验步骤,如准备试剂、记录数据、数据分析等。在线协作:通在线平台,学生可以实时分享数据和讨论结果,共同撰写实验报告,提高团队协作能力 |

(待续)

(续表2)

| 参与模式 | 具体描述 | 示例 |
|-------|---|---|
| 跨学科融合 | 结合其他学科的知识,如数学、计算机科学等,展示物理化学与其他领域的联系,拓宽学生的知识视野 | 数据分析:在“黏度法测定高聚物摩尔质量的实验”中,引入统计学方法进行数据分析。多学科项目:设计跨学科的实验项目,如结合物理、化学和计算机科学的知识,开发一个小型的智能实验系统,用于自动监测和控制实验条件 |

2.4 AI赋能下的物理化学实验平台构建设想

为了提升物理化学实验教学的质量和效率,给教师和学生提供一个集先进软硬件技术于一体的高效、安全且易于使用的实验环境,我们对AI赋能的物理化学实验平台进行了具体的构想。首先,通过与科技公司合作,引进成熟的在线智能化虚拟仿真实验平台,全面整合校内虚拟仿真物理化学实验教学课程内容。平台需要涵盖教、学、练、考、评五大教学环节,提供资源维护共享、实验教学安排、实验教学设计、教学过程跟踪、实验成绩评定、实验课程评价、智能数据分析、教学成果归档等全过程管理。利用人工智能、大数据、云计算等技术,构建数智驱动的智能教学平台。同时智能辅助教学系统等可支持师生开展在线教学、混合教学、移动学习等多种融合教学,支持PC、手机、Pad、VR全端设备,让实验教学不再受限于时间和空间,从而实现人人皆学、处处能学、时时可学的目标。平台角色采用权限管理,不局限于学生、教师、管理员等特定的角色权限,可为个人搭配权限,管理灵活,使用方便。平台提供丰富的实验教学资源库,鼓励学生进行自主学习和探究。通过虚拟仿真实验,学生可以体验到真实实验环境中难以实现的复杂操作和现象,激发他们的好奇心和创新精神,有助于培养创新型人才。

3 初步实践和效果评估

基于学院教学资源,结合AI技术特点设定的教学目标,我们目前从以下2个方面对物理化学实验课程进行了初步实践并进行效果评估。

(1) 在课程的准备过程中,进行智能化的转型。AI能够自动化生成教学设计、教学图片和视频,显著提升备课效率,丰富教学内容,可以使用Kimi、智谱清言、文心一言、通义千问等工具。通过这样的智能化转型,教师可以将更多的时间和精力投入到教学方法的创新和学生个性化指导上,以促进科学思维方式、创新能力以及综合能力提升,为学生带来更加丰富和高效的学习体验。例如图3中燃烧热测定实验,教师利用AI系统的问答互动,生成更具针对性和有效性的教学PPT,利用3D模型展示所需仪器(如量热计、点火器等)和试剂,并逐一讲解其功能。分步详细描述整个实验过程,从准备阶段到数据记录。使用高质量的视频片段或动画来展示关键操作步骤,增加学生对整个实验的全面理解。为了帮助学生更深入地理解“燃烧热测定实验”,并提供更多的背景知识和研究进展,利用此类AI工具展示关于该实验的文献扩展阅读建议。这些资源涵盖了从基础理论到最新研究的各个方面,能够为学生提供全面的知识体系,并激发他们的科研兴趣,为不同接受能力的学生提供个性化的学习资源。

(2) 在教学实践过程中,引导学生利用AI在线协作平台进行在线交流,鼓励学生在团队中分享观点、讨论问题,利用这种方式促进信息交流和资源共享。在乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定实验中,我们首先将学生分成小组,小组内学生负责不同的实验步骤,如准备试剂、记录数据、数据分析等。利用在线协作平台,学生可以实时分享数据和讨论结果,共同撰写实验报告,提高团队协作能力。在数据处理过程中,推荐学生使用AI进行自动数据处理与分析。例如,电导法测表面活性剂的临界胶束浓度中,鼓励学生进行自动数据处理与分析,利用AI驱动的数据处理工具分析实验数据,生成电导率随浓度变化的曲线图,并计算出CMC值。在自主实验考核阶段,设置“黏度法测定

高聚物摩尔质量”作为开放性实验任务，鼓励学生自主设计实验方案，利用AI工具进行模拟和验证，培养独立思考和解决问题的能力。

1. AI系统能够根据教学大纲生成更具针对性和有效性教学PPT

燃烧热测定实验教学
掌握燃烧热测定技术

通义智能PPT

2. 分节介绍实验细节, 3D展示仪器与试剂

01 实验目的与原理
02 3D仪器与试剂展示
03 实验步骤
04 数据处理
05 结果与讨论
06 文献扩展阅读

content
目录

1 燃烧热测定的新技术和新方法

• 论文:

- “Advances in Calorimetry for High-Temperature Combustion Studies” by S. C. Bates and T. F. Wall (International Journal of Thermophysics, 2010)
 - 本文综述了高温燃烧热测定的最新进展, 包括新型量热计的设计和高精度测量技术。
- “Microcalorimetry for the Study of Combustion Reactions” by J. R. Miller and M. A. White (Analytical Chemistry, 2003)
 - 本文介绍了微量热法在燃烧反应研究中的应用, 特别适用于小样本量的燃烧热测定。

2 燃烧热测定的应用领域

• 论文:

- “Combustion Calorimetry in Biofuels Research” by A. K. Dalai and M. R. Dutta (Energy & Fuels, 2008)
 - 本文探讨了燃烧热测定在生物燃料研究中的应用, 包括不同生物质燃料的燃烧特性分析。
- “Combustion Calorimetry for Environmental Applications” by J. H. Zhang and Y. F. Li (Journal of Hazardous Materials, 2012)
 - 本文介绍了燃烧热测定在环境科学中的应用, 特别是在废物处理和污染物监测方面的研究。

3 燃烧热测定的误差分析与优化

• 论文:

- “Sources of Error in Combustion Calorimetry and Their Minimization” by R. G. Parr and W. G. Richards (Journal of Chemical Education, 1980)
 - 本文详细分析了燃烧热测定中常见的误差来源, 并提出了减少误差的方法。
- “Improving the Accuracy of Combustion Calorimetry Using Advanced Data Analysis Techniques” by M. A. Brown and J. P. Smith (Journal of Chemical Thermodynamics, 2015)
 - 本文介绍了如何利用先进的数据分析技术提高燃烧热测定的准确性, 特别适合研究生和研究人员参考。

4 综合性综述与评论文章

• 论文:

- “A Review of Combustion Calorimetry: Past, Present, and Future” by J. M. Smith and R. A. Perry (Journal of Chemical Thermodynamics, 2018)
 - 本文回顾了燃烧热测定的历史发展、现有技术和未来趋势, 适合希望深入了解该领域的读者。
- “Recent Advances in Combustion Calorimetry for Energy and Environmental Applications” by L. Zhang and X. Wang (Energy & Environmental Science, 2019)
 - 本文综述了燃烧热测定在能源和环境领域的最新进展, 特别关注其在可再生能源和污染控制中的应用。

3. 关于该实验的文献扩展阅读建议

图3 AI助手辅助设计燃烧热测定实验教学内容

经过以上对人工智能赋能物理化学实验课程的设计原则的初步探索与实践, 我们取得了良好的教学效果。AI工具不仅在实验准备、执行过程以及后期数据分析环节为教师提供了有力的支持, 重要的是, AI支持下的个性化学习路径设计激发了学生的兴趣, 提高了他们的参与度, 特别是在基础较弱的学生中, 这种个性化的辅导方式效果尤为明显。关于人工智能赋能物理化学实验课程的成效, 我们从2023年到2024年分别对2020届、2021届高分子化学专业(共70名学生)和新能源材料与器件专业(共66名学生)进行问卷调查, 统计学生对人工智能辅助教学的态度变化、课堂互动频率变化和学生学习成绩评价。从两届学生反馈来看, 学生课堂提问次数和参与讨论的次数明显增加, 如表3所示, 学生对AI工具的整体满意度较高, 平均评分为4.4/5, 学生兴趣度和自信心评分分别提升了28.1%和31.0%。我们发现, 特别是在数据分析和实验报告生成方面, AI工具的辅助作用得到了高度认可。如表4所示, 学生学习兴趣更加浓厚, 积极性明显提高, 师生互动频率增多且互动质量提高。另外, 超过70%的学生认为, 使用AI工具后, 他们对物理化学概念的理解更加深刻, 实验技能也有所提升。特别是在复杂的数据分析任务中, AI工具的帮助尤为显著。

从学生的学习成果来评估学生实际操作能力和创新能力(表5), 从结果来看, 学生课堂表现更加积极, 实验操作更加规范, 速度加快, 实验报告质量提升; 学生学以致用能力明显加强, 设计实

表3 学生对AI辅助教学的态度变化

| 问卷项目 | 引入AI前平均分(满分5) | 引入AI后平均分(满分5) | 提升百分比 |
|------|---------------|---------------|--------|
| 兴趣度 | 3.2 | 4.1 | +28.1% |
| 满意度 | 3.5 | 4.4 | +25.7% |
| 自信心 | 2.9 | 3.8 | +31.0% |

验的方案更加合理和完善,可以自主设计并进行自主性考核实验。另外,学生的环保意识明显加强,实验中节约药品,实验后认真执行废液分类回收,还有些同学积极与教师探讨开放性实验及实验后续的科研项目的延伸,部分学生主动参与科研训练项目,积极走进研究生训练实验室进行学习,学生的创新能力得到了一定的提升。

表4 课堂互动频率变化统计

| 活动类型 | 引入AI前平均数 | 引入AI后平均数 | 提升百分比 |
|--------|----------|----------|---------|
| 提问次数 | 2 | 4 | +100.0% |
| 参与讨论次数 | 3 | 6 | +100.0% |

表5 学生各项成绩评价变化

| 活动类型 | 引入AI前平均分 | 引入AI后平均分 | 提升百分比 |
|------------|----------|----------|--------|
| 课堂表现成绩 | 72 | 82 | +13.8% |
| 实验报告成绩 | 78 | 85 | +9.0% |
| 自主实验期末考核成绩 | 80 | 88 | +10.0% |

4 结语

人工智能为改善物理化学实验教学提供了新的可能性。通过合理利用AI技术,不仅可以提高教学效率和质量,还能够激发学生的学习兴趣,培养他们的创新意识。本项目基于AI的智慧教学模式,结合南京邮电大学材料科学与工程学院具体的教学现状及当前物理化学实验教学的挑战,对人工智能赋能物理化学实验课程的设计原则进行具体的分析,提出AI赋能下的物理化学实验平台的具体设想,并进行了初步的实践和效果评估。尽管AI给物理化学实验教学带来了诸多好处,但在实际应用中仍存在不少挑战,包括但不限于高昂的成本投入、技术实现难度大等问题。针对这些难题,学校应该采取积极态度,寻求政府和社会各界的支持,共同推动相关技术的研发与普及;同时也需加强对教师的专业培训,加强师生互动、优化课程设置,以期构建一个既能充分发挥AI优势,又不削弱学生主体地位的教学环境。希望该研究为未来的研究提供参考,同时提升教学质量和学生的学习体验,为其他学科的教学改革提供借鉴。

参 考 文 献

- [1] 田东亮. 大学化学, **2018**, *33* (3), 17.
- [2] 夏春兰, 邓立志, 刘欲文, 黄驰. 实验室研究与探索, **2013**, *32* (8), 181.
- [3] 郭婷, 孟涛, 方伊, 童志平, 舒学彬. 实验室研究与探索, **2015**, *34* (5), 138.
- [4] 范丽岩, 刘亚菲, 史慧杰, 吴梅芬, 王晓岗, 许新华. 大学化学, **2023**, *38* (5), 265.
- [5] 教育部高等教育司关于开展实验教学和教学实验室建设研究工作的通知. [2024-05-10].
http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/202402/t20240204_1114381.html
- [6] Szymkuc, S.; Gajewska, E. P.; Klucznik, T.; Molga, K.; Dittwald, P.; Startek, M.; Bajczyk, M.; Grzybowski, B. A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55* (20), 5904.
- [7] Mikulak-Klucznik, B.; Golebiowska, P.; Bayly, A. A.; Popik, O.; Klucznik, T.; Szymkuc, S.; Gajewska, E. P.; Dittwald, P.; Staszewska-Krajewska, O.; Beker, W.; *et al.* *Nature* **2020**, *588* (7836), 83.
- [8] Segler, M. H. S.; Preuss, M.; Waller, M. P. *Nature* **2018**, *555* (7698), 604.
- [9] 翟红林, 张晓昀, 曹晶晶. 大学化学, **2024**, *39* (1), 63.

- [10] 丁邵珍, 江小琴, 孟超, 孙丽霞, 王正权, 杨弘宾, 沈国文, 夏宁. *中国科学: 化学*, **2023**, *53* (1), 66.
- [11] Zhang, L. F.; Han, J.; Wang, H.; Car, R.; Weinan, E. *Phys. Rev. Lett.* **2018**, *120* (14), 143001.
- [12] Jia, W.; Yang, Z.; Yang, M.; Cheng, L.; Lei, Z.; Wang, X. *J. Chem. Inf. Model.* **2020**, *61* (1), 21.
- [13] Tiina, R.; Juha, V.; Henna, K. *J. Build. Eng.* **2017**, No. 9, 135.
- [14] Akmandor, A. O.; YIN, H.; Jha, N. K. *IEEE Trans. Multi-Scale Comput. Syst.* **2018**, *4* (4), 914.
- [15] 张明飞, 孔新梅, 王显闯, 方海光. *中国现代教育装备*, **2024**, No. 18, 1.