

新工科范式下制药工程专业物理化学实验 “虚实结合”教学体系构建

王欣怡, 孙悦, 刘文宝, 刘彬, 王晓芳, 丁实, 吕晶*

辽宁大学药学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年4月30日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月30日

摘要

在新工科建设背景下, 制药工程专业对学生的创新能力和实践能力提出了更高要求。本文探讨了对教学内容和虚拟仿真技术等教学手段的改革在制药工程专业物理化学实验本科教学改革中的应用, 分析了当前教学中存在的问题, 并提出了具体的改革策略。通过提出真实问题, 构建线上线下混合式教学模式, 利用虚拟仿真实验平台, 旨在提高学生的实验技能、创新思维和综合素养, 为制药工程专业培养适应新工科要求的高素质人才。

关键词

物理化学实验, 新工科, 教学改革, 虚拟仿真, 制药工程

Construction of a “Virtual-Reality Integration” Teaching System for Physical Chemistry Experiments in Pharmaceutical Engineering under the Background of Emerging Engineering Education

Xinyi Wang, Yue Sun, Wenbao Liu, Bin Liu, Xiaofang Wang, Shi Ding, Jing Lyu*

College of Pharmacy, Liaoning University, Shenyang Liaoning

Received: Apr. 30th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王欣怡, 孙悦, 刘文宝, 刘彬, 王晓芳, 丁实, 吕晶. 新工科范式下制药工程专业物理化学实验“虚实结合”教学体系构建[J]. 社会科学前沿, 2025, 14(6): 709-717. DOI: 10.12677/ass.2025.146561

Abstract

Under the context of Emerging Engineering Education construction, the pharmaceutical engineering discipline has raised higher demands on students' innovative and practical competencies. This paper explores the application of reforms in teaching content and methodologies such as virtual simulation technology in the undergraduate experimental teaching of physical chemistry for pharmaceutical engineering. It analyzes existing problems in current teaching practices and proposes specific reform strategies. Through establishing an online-offline blended teaching model utilizing virtual simulation experiment platforms, this study aims to enhance students' experimental skills, innovative thinking, and comprehensive literacy, thereby cultivating high-quality talents that meet the requirements of Emerging Engineering Education for pharmaceutical engineering specialties.

Keywords

Physical Chemistry Experiment, Emerging Engineering Education, Teaching Reform, Virtual Simulation Technology, Pharmaceutical Engineering Specialties

Copyright © 2025 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

随着新工科建设的推进，制药工程专业作为化工与医药交叉领域的重要学科，面临着人才培养模式的重大变革。新工科建设的核心在于教育模式的革新，其内涵包含“新理念、新模式、新质量、新方法、新内容”的教育理念[1]。这种革新突破了传统大学教育的局限性，全面改革教学内容、教学方法和评价体系，实现了从“以教师为中心”的知识传授模式到“以学生为中心”的产出导向教育模式的转变，强调学生科技创新和解决多维度实际工程问题能力的培养，同时鼓励跨学科学习，紧跟科技前沿，拓展国际视野，重视思政教育[2]。

物理化学实验作为制药工程专业的核心基础课程，对于培养学生的基本实验技能、科学思维和创新能力具有重要意义。该课程不仅作为一门独立的科学实践课程存在，同时能够紧密结合物理化学理论课程来探求化学变化规律，进一步培养学生的科学思维和实验技能[3]。然而，传统物理化学实验教学模式存在诸多问题，如实验内容陈旧、教学方法单一、学生参与度低等，难以满足新工科背景下对创新型和应用型人才的需求。近年来，随着新工科建设的推进，虚拟仿真技术融入实验教学已成为改革的重要方向。研究表明，虚拟仿真技术能够弥补传统实验设备的不足，提升学生的参与度和学习效果。因此，将其引入物理化学实验教学，探索新的教学模式，具有重要的现实意义。

通过物理化学实验课程，学生不仅能够渗入对物理化学相关理论知识的理解，还能培养其独立思考以及动手操作的能力。此外，物理化学实验课程强调数据分析和实验结果的阐述，能够让学生在实操中锻炼逻辑推理和科学表达能力。虽然，物理化学实验课程具有多方面优势，但在现行的教学模式下，依然存在一些急需改进的问题。比如大多数实验课教学模式过于注重操作流程，而忽视了学生对实验原理的深入理解，且在实际教学中，学生缺乏足够的动手实践机会，导致实践能力的培养未能达到预期效果等等。为此，基于课程思政“三位一体”理论框架(知识传授 - 能力培养 - 价值塑造)，物理化学实验课程改革需实现多重突破，这一举措不仅能够更有效地培养学生的创新能力和综合应用知识的能力，还能

帮助学生更扎实地掌握物理化学的基础理论和实验技能。思政元素的融入则进一步为培养学生的科学精神和社会责任感奠定基础,积极响应国家关于培养新工科人才的号召,为在新工科背景下培养德才兼备的高质量人才奠定基础,进而为国家输送更多具备创新意识和实践能力的高素质人才[4] [5]。

2. 物理化学实验课程教育改革的必要性

2.1. 制药工程专业物理化学实验教学现状分析

物理化学实验课程作为培养学生实操能力和科研素养的重要实践课程,它有着举足轻重的地位。然而实际教学过程中,该课程面临着的一系列问题在一定程度上限制了其本该发挥出的教学效果[6] [7]。

(1) 实验内容与教学目标不匹配

当前,制药工程专业的物理化学实验内容多以传统验证性实验为主,缺乏与制药工程实际应用紧密结合的综合性、设计性实验项目。这些实验内容难以激发学生的学习兴趣,也无法培养学生的创新能力和解决实际问题的能力,与新工科背景下培养高素质创新型人才的目标存在较大差距。

(2) 教学方法单一

传统的物理化学实验教学多采用“教师讲解 + 学生操作”模式,学生在实验过程中缺乏主动探索和创新思考的机会。这种“填鸭式”教学方法导致学生对实验的理解停留在表面,难以深入掌握实验原理和操作技能,不利于培养学生的自主学习能力和创新思维。

(3) 实验资源有限

物理化学实验需要使用多种精密仪器设备,而这些设备价格昂贵、数量有限、实验设备与仪器的老化。在实际教学中,学生往往需要多人共用一套设备,导致部分学生缺乏足够的实操机会,影响了实验教学效果。此外,实验场地和时间的限制也使得一些复杂、耗时的实验项目难以开展,制约了学生实践能力的培养。这一现状不仅仅导致学生无法充分进行动手操作,限制了实验教学的效果,而且也在一定程度上削弱了学生对实验课程的积极性。

(4) 评价体系不完善

传统的实验教学评价主要侧重于学生的实验报告和最终实验结果,缺乏对学生实验过程的全面评价。这种评价方式难以反映学生在实验过程中的实际表现和创新能力,不利于学生综合素质的提升。这一现象大大忽视了学生实际动手能力、解决现实问题和创新能力方面的表现。

2.2. 线上平台和虚拟仿真技术的发展为教育改革提供条件

现代信息飞速发展,开发虚拟仿真实验成为实现实验教学改革的举措。在高等教育数字化转型背景下,随着雨课堂、慕课、钉钉在线授课、超星课程、MOOC、腾讯会议等在线课程和教学平台的出现,以慕课网络虚拟仿真实验为代表的线上实验教学模式正呈现规模化发展趋势。国际上同样重视虚拟技术与实验教学的融合,例如 Monsurat M. Lawal 等[8]在本科生物理化学实验室引入 ORCA 量子化学软件,学生通过独立完成动力学实验并将数据上传至共享平台进行小组汇报,显著提升了协作能力和问题解决技能;Marie van Staveren 团队[9]则将 Python 编程融入物理化学实验,调查显示该方法不仅能增强学生的新技术掌握信心,还能促进跨学科应用能力。

据教育部《虚拟仿真实验教学创新联盟 2023 年度报告》显示,截至 2023 年,我国已有 92.7%的本科院校将虚拟仿真实验纳入教学体系,其中制药工程专业应用率达 86.4% [10]。这种基于“虚(Virtual) - 实(Real)融合”理念构建的混合式实验教学模式,通过整合虚拟仿真平台(如国家虚拟仿真实验教学项目共享平台)与传统实验室资源,充分发挥数字技术特有的时空灵活性、过程可重复性及场景高仿真性优势。实践表明,该模式可使实验准备效率提升 40%~60% (基于 15 所高校的对比数据),有效拓展了教学的时

空维度(支持 7×24 小时访问), 同时将危险实验操作事故率降低至 0.03‰ (传统实验室为 0.8‰), 成为新工科背景下实验教学体系革新的重要实践路径[11]。

因此, 构建“虚实结合”能够满足现代学科发展前沿的需求, 通过教学改革引入最新的科研成果和制药工程专业实验技术, 能够帮助学生更好地理解当代物理化学的发展趋势和核心内容。与此同时能够加强实验类课程与其他相关学科之间的联系, 有助于激发学生的创造性思维, 提升解决实际问题的能力。综上所述, 物理化学实验课教学模式改革是应对学科发展需求、提升学生能力、满足国家人才培养目标的必要举措。可以更好地契合新工科人才培养目标[12], 为国家培养更多高素质、具有创新意识的高素质人才。

3. 物理化学实验课教育改革的实施路径

3.1. 构建新工科范式下的教学模式

物理化学实验课程中包含着部分较为晦涩难懂的理论公式以及复杂的实验操作, 因此需要采用更加直观易懂的教学手段来提升学生的实验技能和对实验现象的理解。首先, 需要突出“学生为中心”的教学模式, 这种教学新模式突破传统“监管 - 执行”的师生关系, 构建“引导者 - 探究者”协同发展范式。教师角色转型为“三维导航员”: 知识图谱架构师(设计阶梯式任务)、认知冲突激发者(创设问题情境)、工程思维训练师(指导方案迭代)。例如, 在阿司匹林合成实验中, 采用 5E 教学模式(Engagement 引入 - Exploration 探究 - Explanation 解释 - Elaboration 拓展 - Evaluation 评价), 引导学生完成从分子模拟预演到工艺参数优化的完整学习链[13]。通过建立智能实验日志分析系统, 实时监测学生“提问 - 设计 - 操作 - 分析”各环节的参与度, 形成个性化学习路径图谱。采用多样化的教学手段是提升学生学习兴趣和参与度的有效途径, 如图 1 所示[14]。通过以上教学内容的优化和教学方法的创新, 物理化学实验课程将更加有效地培养学生的实验能力、创新思维和科学素养, 为学生的学术研究和职业发展奠定坚实的基础。

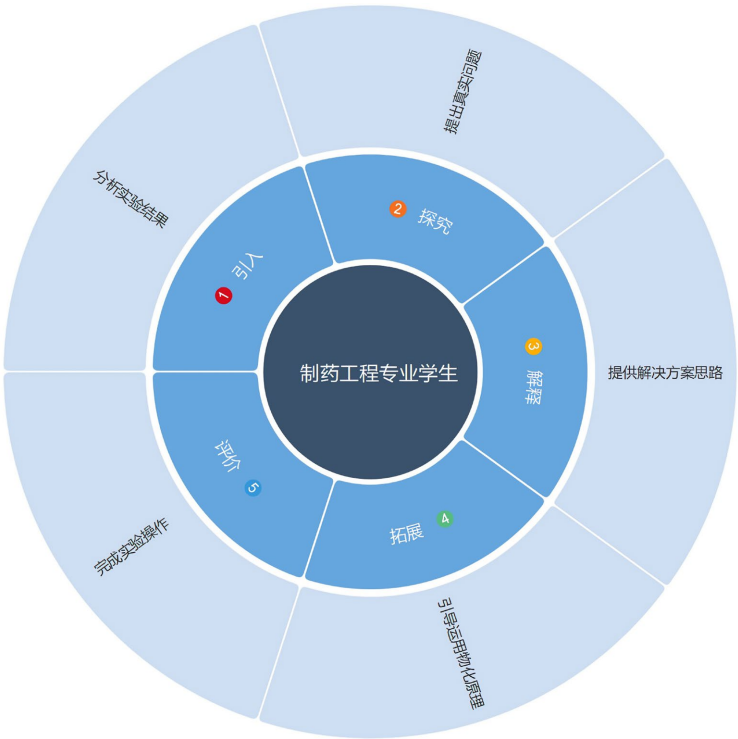


Figure 1. Teaching model under the new engineering paradigm
图 1. 新工科范式下的教学模式

在对物理化学实验课程教育改革的理论进行探讨的基础上,结合制药工程专业要求和当代学生的学习特点,本论文开展一系列系统性的物理化学实验课程改革探索,旨在提升教学质量和学生的综合能力。在教学模式上同时引入翻转课堂,将传统的课堂讲授与实验操作有机结合。让学生在课前通过线上平台获取学习资源,包括实验的理论背景、操作步骤以及相关视频演示。同时,在课堂的教学设计中更加注重多样性和互动性,集中精力指导学生的实际操作,实时为学生答疑解惑。在此基础上还会组织学生进行小组讨论,对实验结果和数据进行分析和解读。上述教学改革内容不仅能够加深了学生对实验原理的理解,还培养其批判性思维和问题解决能力。

3.2. 构建“虚实结合”的物理化学实验教学体系

为了解决传统实验中常常因设备资源有限和实验条件不足而导致的局限性,引入了虚拟仿真实验平台。结合人工智能和虚拟仿真技术,构建线上线下混合式教学模式,充分发挥线上教学资源丰富、灵活和线下教学互动性强、实践性好的优势。在线上教学环节,利用 AI 辅助教学系统为学生提供个性化的学习路径和学习资源,包括实验原理讲解、操作视频演示、虚拟仿真实验等。学生可以根据自己的学习进度和需求,自主选择学习内容,提前预习实验知识,掌握实验操作的基本技能。在线下实验教学中,教师可以将更多的时间用于指导学生的实验操作、解答学生的问题以及组织学生进行实验讨论和总结,通过动画、视频和三维模型等方式,使复杂的物理化学概念更加清晰明确,并提高实验教学的针对性和实效性[15]-[17]。依托平台为学生提供一个模拟真实实验室环境的虚拟空间,使其能够反复练习操作手法,观察实验现象,并实时记录和分析数据。并且在教学内容的选择上更加贴近实际生活,例如“超临界二氧化碳流体萃取沉香中的精油”实验,通过该实验让学生认识和理解超临界流体的概念,为帮助学生掌握超临界流体萃取技术及考察工艺的相关因素,学生需登陆虚拟仿真实验平台,具体操作整个超临界流体萃取实验流程,且将实验操作成绩计入平时成绩,如图 2 所示。这类与现实应用联系紧密的物理化学实验内容,能让学生学有所用,激发其创造能力。

模块一：超临界二氧化碳流体萃取沉香中的精油

选取合适的沉香木进行粉碎后,通过超临界二氧化碳流体萃取仪,萃取出沉香木中的精油。



Figure 2. The extraction of essential oils from agarwood using supercritical carbon dioxide fluid

图 2. 超临界二氧化碳流体萃取沉香中的精油

3.2. 通过真实问题引入思政元素

在当代高等教育改革的背景下,将思政元素有机融入物理化学实验课程,不仅能强化学生的科学素养,培养其社会责任感、伦理意识以及对国家和社会的贡献意识,还能帮助学生在科学研究中树立正确的价值观和人生观[18]。与此同时,物理化学的各个知识点广泛融入了日常生活、生产活动、科技发展和社会进步的各个领域。为了避免学生在学习过程中感到枯燥,需要强调将理论实验与实际应用相关联

结合。教师在讲授相关理论时，可以尽可能地列举实际生活中的实例，引导学生利用所学知识对实际现象进行应用讨论，并传达核心思政内容，如表 1 所示。

通过在课堂教学的过程中讲授爱国的物理化学家的事迹，帮助学生领略科学研究的精神力量，激励追求科学真理、面临困难和挫折时保持坚韧不拔的态度。通过展示物理化学在新能源技术(如燃料电池、锂电池)和新材料(如纳米材料、超导材料)领域的实际应用，可以让学生意识到科学研究与国家需求之间的紧密联系。了解这些前沿技术的研发过程和应用现状，能够将物理化学的发展历史与现代科技进步相结合，探讨科学研究如何推动社会进步。这不仅可以帮助学生认识到科学技术的社会价值，而且在一定程度上增强他们的爱国情怀和为国家科技进步做贡献的使命感。

Table 1. Course ideology and implementation approaches in physical chemistry experiments
表 1. 各章节物理化学实验的课程思政内容和实施方式

实验章节	核心思政内容	实施方式
燃烧热测定	科学精神、家国情怀	科学史案例分析、误差讨论
电解与极化	科研传承、国家需求导向	产业案例讨论、同步课堂
溶液吸附法	绿色化学、团队协作	废液循环设计、环保实践
蔗糖转化反应	科学伦理、创新方法论	安全责任分工、主题辩论
高分子分子量测定	科学史教育、辩证思维	仿真实验、文献调研
旋光法测定	文化自信、严谨求实	仪器发展史讲解、数据校准训练

综上所述，在物理化学实验课程中融入思政元素，通过理论联系实际，不仅能全面提升学生的科学素养，还能培养他们的社会责任感、创新精神和爱国主义情怀，从而为新时代高素质科研人才的培养提供有力支持。

3.3. 建立多元有效的考核评价体系

教育改革离不开有效的反馈和评价机制[19]。在物理化学实验课中，教师应及时对学生实验设计、操作过程以及实验结果进行全方位评估。例如，学生实验设计是否合理、操作步骤是否规范以及实验数据是否准确等。只有具体地反馈，才能够帮助学生深入理解实验的每一个环节，进而及时发现实验过程中存在的错误。此外，教师应当更加关注学生在实验过程中的综合表现，例如，在实验设计中创新思维的体现以及同学之间的团队合作的精神等。通过这些多维度的评价来促进学生的反思和总结能力。

对教学评价体系进行了全面的改进。不再仅仅考察实验结果的准确性，而是采用多维度的评价方法。例如，增加了对学生虚拟实验操作能力和实验数据分析能力的考核。此外，还多方面考虑了学生的实验设计思路、问题解决能力、创新意识以及团队合作表现。这种评价体系的改进不仅能帮助学生了解自己的优势和不足，还能提升其的实验技能和综合应用能力。利用人工智能技术，对学生的实验过程进行实时监测和记录，包括学生的实验操作步骤、数据记录、问题解决过程等，为教师提供全面、客观的评价依据。同时，通过分析学生的学习数据和实验表现，教师可以及时发现学生在学习过程中存在的问题，调整教学策略，实现教学的持续改进。

通过以上以学生为中心、重视过程评价的教学改革，物理化学实验课不仅有助于提升整体教学质量，还能在潜移默化中培养其创新思维和科研能力。

4. 物理化学实验课教育改革的实际情况探索

以“相平衡”章节的物理化学实验为例，探索物理化学实验课教育改革。并且，在教学的各环节进

行多元评价。(1) 提出制药工业中的真实问题：如何通过气液平衡数据确定制药工艺中混合溶剂回收的最佳蒸馏条件？通过提出真实问题引发学生思考，并提示在物理化学的“第五章相平衡”中寻找解决方案。提前一周在线发布物理化学预习任务，包括“第五章相平衡”的课件和学堂在线《物理化学》精品课程链接，要求学生在规定时间内完成预习，如图 3 所示。在正式讲授第五章之前，教师在线查看学生的预习情况，并将其计入平时成绩。



Figure 3. The basic concepts of phase equilibrium systems on XuetangX

图 3. 学堂在线“相平衡系统基本概念”

(2) 引导学生在线检索相关文献以寻找解决方案，提供中国知网(CNKI)、Elsevier 期刊库和 Pubmed 期刊库的检索网址。学生在文献数据库中输入检索词，独立思考解决问题的方法，从而培养他们的科研兴趣及利用数据库进行独立思考的能力。接着，详细讲解“第五章相平衡”的知识点，归纳总结重要内容，并分组讨论，促使各组间分享对知识点的理解。在线发布测试题以了解学生对知识点的掌握情况。

(3) 线上虚拟仿真操作：学生通过 AI 辅助教学系统学习实验原理，观看虚拟仿真实验操作视频，了解实验仪器的使用方法和实验流程。系统根据学生的学习进度和理解程度，推送相关的练习题目和案例，帮助学生巩固知识。学生在 MLabs Pro 虚拟实验室(慕乐网络科技有限公司)进行实验操作练习，熟悉实验步骤和操作要点，如图 4 所示。系统实时记录学生的操作过程，对学生的操作进行智能评估和反馈，指出学生的错误操作并提供改进建议。

(4) 引入课程思政内容并进行线下实验操作：在教师的指导下，学生进行实际实验操作。教师根据学生在虚拟仿真操作中的表现，有针对性地指导学生解决实际操作中的问题，提高学生的实验技能。实验过程中，教师引导学生对实验数据进行处理和分析，鼓励学生提出自己的见解和创新想法。此外，为了强化科技报国的责任感，结合相图在化工分离(如乙醇提纯)中的应用，引入我国科学家张大煜团队在能源短缺时期开发高效分馏技术的案例，强调科研服务国家战略。在实验环节对比理想溶液与非理想溶液的相图差异时，讨论我国在新能源材料(如锂电池电解液)研发中的技术突破，激发学生突破“卡脖子”技术

的决心

(5) 实验报告与讨论：学生完成实验报告后，教师利用 AI 辅助教学系统对学生的实验报告进行智能批改，提供详细的批改意见和评分。同时，组织学生进行实验讨论，分享实验心得和体会，培养学生的团队合作精神和创新思维能力。



Figure 4. Virtual simulation experiment of “vapor-liquid equilibrium phase in a two-liquid system”
图 4. “双液系的气液平衡相”虚拟仿真实验

通过实施上述创新举措，物理化学实验课程的教学效果显著提升。学生对实验原理的理解更加深入，实验操作更加熟练，实验数据处理和分析能力显著提高。学生在实验过程中表现出更高的积极性和主动性，能够主动思考和解决实验中遇到的问题，创新思维和实践能力得到了有效培养。同时，培养了自主学习能力、创新能力和团队合作精神，为培养高素质专业人才奠定了坚实基础，也为其他学科的实验课程改革提供了有益的借鉴和参考。

5. 结束语

在新工科背景下，将人工智能和虚拟仿真技术应用于制药工程专业物理化学实验本科教学改革，具有重要的现实意义和广阔的应用前景。通过构建线上线下混合式教学模式、开发虚拟仿真实验项目、利用人工智能辅助教学以及完善实验教学评价体系，可以有效解决传统教学模式中存在的问题，提高学生的实验技能、创新思维和综合素养，为制药工程专业培养适应新工科要求的高素质人才。然而，这一教学改革仍处于探索阶段，在实际应用中还面临着一些挑战，如教学资源的开发与整合、教师的教学能力提升、学生对新技术的适应性等。未来，需要进一步加强教育技术与教学内容的深度融合，不断完善教学模式和评价体系，推动制药工程专业物理化学实验教学的持续改进和发展。

未来，将继续深化教学改革，保持对教学方法和手段的创新探索。在引入更多先进的教学技术的同时，不断优化实验课程的内容设计，使其更加符合实际应用需求，帮助学生将理论知识与实际应用紧密结合。通过这些持续的努力，致力于为社会培养出更多高素质的应用型物理化学人才，满足现代科技和工业发展的需求，为推动国家科技创新和经济建设作出积极贡献。

基金项目

2024 年度辽宁大学本科教学改革项目：以“真实问题”为导向的新工科人才创新能力训练项目建设(JG2024ZSWT17)；真实问题融入大学生创新性实践探究(JG2024CXC05)；以真实问题为导向的工程教育专业认证下制药工程专业实验教学平台优化建设的探讨与实践(JG2024ZSWT20)。

参考文献

- [1] 姚维勉, 洪芳. 新工科及空间规划体系调整背景下地方高校城乡规划专业发展探索[J]. 四川建筑, 2024, 44(4): 317-320.
- [2] 刘国清, 高利红, 郑国芳, 许青青, 赵颖俊. 新工科背景下基于成果导向教育理念的小规模限制性在线课程混合教学模式在物理化学实验课程中的构建与应用[J]. 应用化学, 2025, 42(2): 256-263.
- [3] 赵萌, 巩运兰. 多层次物理化学实验教学体系构建[J]. 天津化工, 2025, 39(2): 183-185.
- [4] 单春晖. 基于新工科建设的大学物理化学实验教学改革探讨[J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(7): 240-242.
- [5] 林健. 引领高等教育改革的新工科建设[J]. 中国高等教育, 2017(13): 40-43.
- [6] 张亚萍, 杨怀霞. 基于课堂派的物理化学实验教学模式改革[J]. 中国教育技术装备, 2023(22): 137-139.
- [7] 刘丹丹, 张伟, 阿达来提·杂满, 徐李依娜, 呼尔查, 赛福丁·阿不拉, 况玲, 阿得力江·吾斯曼, 买占海. 中兽医学针灸实验课程混合式教学改革实践[J]. 中兽医医药杂志, 2024, 43(2): 93-96.
- [8] Lawal, M.M. and Kucukkal, T.G. (2024) An Inquiry-Based Computational Chemistry Activity for the Undergraduate Physical Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, **101**, 2903-2911. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01352>
- [9] Van Staveren, M. (2022) Integrating Python into a Physical Chemistry Lab. *Journal of Chemical Education*, **99**, 2604-2609. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00193>
- [10] 教育部虚拟仿真实验教学创新联盟. 虚拟仿真实验教学发展报告(2023 年度) [R]. 北京: 高等教育出版社, 2023: 15-18.
- [11] 教育部高等学校教学指导委员会. 新工科实验教学改革案例集[M]. 北京: 化学工业出版社. 2022: 89-93.
- [12] 李双宝, 张志会, 蒋云霞. 工程教育认证背景下物理化学实验课程教学改革思考[J]. 吉林化工学院学报, 2023, 40(8): 13-17.
- [13] 孙悦, 王欣怡, 刘彬, 桑育黎, 王欣, 吕晶. 5E 教学模式在“物理化学”课程中的初步探索[J]. 创新教育研究, 2024, 12(12): 600-606. <https://doi.org/10.12677/ces.2024.1212933>
- [14] 刘冬. 新时代物理化学实验的教学改革与探索[J]. 化工管理, 2022(36): 12-14.
- [15] 张文龙, 任蕾, 贾瑞龙, 温建英, 张韶红, 王颖莉. 中医药院校物理化学实验课程的混合式教学改革[J]. 中国中医药现代远程教育, 2024, 22(12): 41-44.
- [16] 王蕴鹏, 张乐华, 黄静, 王英骥, 肖宇, 刘有昌. 构建线上-线下模式物理化学实验的改革策略[J]. 辽宁中医药大学学报, 2023, 25(8): 181-184.
- [17] 欧利辉, 靳俊玲, 沈广宇, 张春香. 双一流背景下应用型本科院校物理化学实验教学体系的改革与实践[J]. 广州化工, 2023, 51(19): 93-95.
- [18] 樊友军, 蔡丹丹, 陈卫, 邱建华. 物理化学实验思政改革的探索与实践[J]. 大学化学, 2024, 39(4): 119-124.
- [19] 石克金, 赖可, 梁立, 何钢. 分析化学实验教学模式改革探索[J]. 四川化工, 2024, 27(4): 53-56.