

## 虚实结合、内外双通，打造新工科专业综合设计实验教学的新形态 ——以锂离子电池设计与制作为例

张晓明<sup>1</sup>, 李传波<sup>1</sup>, 杨玉平<sup>1</sup>, 邹斌<sup>1</sup>, 李东祥<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 中央民族大学理学院, 北京 100081

<sup>2</sup> 青岛科技大学化学与分子工程学院, 山东 青岛 266042

**摘要:** 结合新工科视角, 以学生发展为中心、课程目标为导向, 以锂离子电池设计与制作实验为例, 通过虚拟仿真与操作实践结合、课内课外结合、实验教学与大学生创新创业活动和课程思政结合, 努力打造新工科专业综合设计实验教学的新形态。将虚拟仿真练习与实验实践结合, 把锂离子电池的基本实验原理、微观电极反应机制、动态老化机制、离子传输机制等可视化, 增强了学习兴趣; 通过小组合作, 引导学生自行设计锂离子电池的总体实验方案和步骤, 通过“虚实结合”提高实验教学的效果。将学术成果前沿与企业需求引入课程, 推动理论知识与实际应用的紧密结合, 推动实验课程与科研活动和大学生创新创业活动相结合, 推动实验教学与课程思政结合, 形成课内课外互补的实验教学“双通道”模式。教学过程中采用全过程、多维度考核方式, 有效调动学生能动性, 提升学生综合素养, 锻炼学生综合设计能力、分析问题和解决问题能力, 获得了良好的教学效果。

**关键词:** 综合设计实验; 锂离子电池; 虚拟仿真; 课程思政; 新工科

**中图分类号:** G64; O6

## A New Model for Comprehensive Design Experiment Teaching in Emerging Engineering Majors: Integrating Virtuality and Reality through a Dual-Channel Approach in the Context of Lithium-Ion Battery Design and Fabrication

Xiaoming Zhang<sup>1</sup>, Chuanbo Li<sup>1</sup>, Yuping Yang<sup>1</sup>, Bin Zou<sup>1</sup>, Dongxiang Li<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> College of Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China.

<sup>2</sup> College of Chemical and Molecular Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, Shandong Province, China.

**Abstract:** This study emphasizes the perspective of emerging engineering education by centering on student development and aligning course objectives, using the design and fabrication of lithium-ion batteries as a case study. We aim to establish a novel model for comprehensive design experiment teaching by integrating virtual simulation with hands-on practice, combining in-class and extracurricular activities, and linking experimental teaching with college students' innovation and entrepreneurship initiatives, as well as ideological and political education. By merging virtual simulation exercises with experimental practice, we can visualize key concepts such as the fundamental experimental principles, micro-electrode reaction mechanisms, dynamic aging processes, and ion transport mechanisms of lithium-ion batteries, thereby enhancing student engagement. Through collaborative group work, students are encouraged to

收稿: 2024-04-16; 录用: 2024-06-13; 网络发表: 2024-08-06

\*通讯作者, Email: lidx@qust.edu.cn

基金资助: 中央民族大学“一流本科课程”建设项目(MUC2020KC23003, KC2309, KC20106); 教育部产学合作协同育人项目(202102035008); 2023年国家民委“三全育人”综合改革项目(23230); 本科教学改革创新项目(CX2211)

independently design the overall experimental plan and procedures for lithium-ion batteries, which improves the effectiveness of the teaching through the “integration of virtuality and reality”. We incorporate cutting-edge academic research and industry needs into the curriculum to foster a tighter coupling between theoretical knowledge and practical application, as well as between experimental courses, scientific research activities, and innovation and entrepreneurship initiatives. This approach leads to the development of a “dual-channel” model for experimental teaching that complements both in-class and extracurricular learning. The assessment methodology employed throughout the process is comprehensive and multidimensional, effectively motivating students, enhancing their overall competencies, and developing their abilities in comprehensive design, independent analysis, and problem-solving, resulting in positive teaching outcomes.

**Key Words:** Comprehensive design experiment; Lithium ion battery; Virtual simulation; Curriculum ideological and political education; Emerging engineering education

## 1 引言

实验教学在新工科专业的教学改革和人才培养中占有举足轻重的地位，是实现创新人才培养目标的重要环节<sup>[1-3]</sup>。如何提高学生的创新力和竞争力，培养能适应“新工科”发展的卓越工程人才和创新研究型人才是各高校进行教学改革重中之重的任务。因此，近年来各高校不断推动线上线下融合互动，改善教学方法，增强教学过程的创造性、体验性和启发性，推动课堂教学深层次变革，创新教育教学和人才培养模式，以教育的智能化支撑提高教育管理和评价效能，提高学习与认知效能，为实现更加优质的教育提供强大的动力<sup>[4,5]</sup>。

随着新能源的高速发展，全球锂电池产业正处于爆发期，中国作为全球最大的锂电池生产国之一，锂电池技术与社会经济发展密切相关，锂电池设计与研发力度也在逐年提升。目前，国内已有许多高校设立了能源化学、新能源材料等新工科专业。“锂离子电池设计与制作”实验作为物理化学重要分支的电化学类综合实验，成为新能源发展背景下化学、应用化学和材料化学等专业重要的候选专业实验，更是能源相关的能源化学、新能源材料等新工科专业首选的专业实验<sup>[6]</sup>。同时，也是引领学生关心国家能源安全、环境保护、可持续发展和人民生命健康等课程思政教育内容的实验教学载体<sup>[7,8]</sup>。锂电池技术涉及化学、材料科学、工程学等领域，从设计原理和方法、材料的选择、电池组装到测试与质量控制，要求学生具备扎实的跨学科理论知识和创新实践能力。传统实践课堂都是以教师为中心，教师不但讲理论，甚至连实验细节都讲，学生缺乏足够的思考，实操锻炼不够<sup>[9]</sup>；同时学生往往缺乏理论原理对实践指导作用的深入认识，理论与实际脱节，不能很好地学以致用。

针对以上实际问题，结合数字化教育以及新工科专业的人才培养目标，我们在“锂离子电池设计与制作”实验的教学过程中，探索和建设新工科专业设计类实验课程教学的新形态。基于现代工程教育理念，结合企业行业需求和专业自身特色，构建“学中做、做中学”的人才培养模式和新工科专业实践教学体系<sup>[10]</sup>。因此，采用线上虚拟仿真和线下创新实践相结合的方式，以“学生为中心”，通过参数优化和模拟仿真分析，引领学生自行设计实验总体方案和实验步骤，充分锻炼学生综合设计、独立分析和解决问题的能力。实验内容设置突出前沿性与时代性，引入企业需求、学术成果和当前科技发展，提高研究性、创新性和综合性，提升课程的广度和深度，培养学生深度分析、大胆质疑、勇于创新的精神和能力。同时，以各类赛事促学、联系实际学、带着问题学，科学“增负”，提升课程的“两性一度”，让学生学深学透，更好地实现了教学目标。

## 2 锂离子电池设计与制作实验教学中的实践举措

### 2.1 把虚拟仿真引入实验教学，突出时效性、交互性和趣味性，提高学生学习主动性

秉承“以学生为中心，以教学需求为出发点”，结合实验实践的迫切需求，引入虚拟仿真，辅助实践教学，使学生能够对知识进行全面深入理解。利用虚拟仿真平台呈现企业生产场景，通过实

验预习、预习测试、仿真练习、仿真实训、实验报告等多个教学环节，构建完整的实践实验教学体系，提升实践教学的成效，如图1(a)所示。实验预习包括锂电池充放电原理、电芯设计、匀浆、涂布、辊压、其他工艺六个模块，共有3种电芯钴酸锂/石墨体系、三元-石墨体系、磷酸铁锂/石墨体系的电池可供选择，操作界面如图1(b)所示。每步微观调节与宏观量响应通过动画形式形象地呈现出来，全方位、立体式地引导学生学习，激发学习兴趣并掌握各种关键工艺原理。

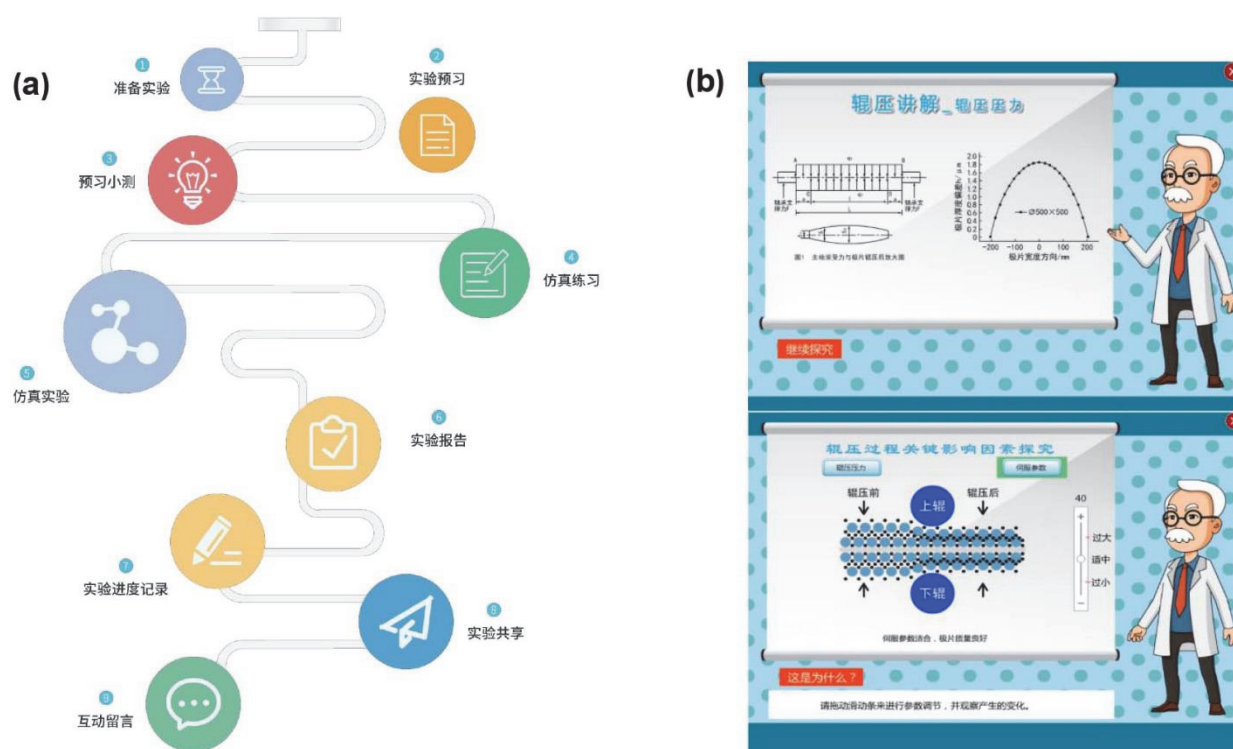


图1 (a) 完整的虚拟仿真实实践实验教学体系；(b) 卡通人物作为智能导师的智能化交互响应界面

虚拟仿真的模块设置与产业生产过程对接，整合最新的技术需求，融入科技前沿，时刻保持线上资源的先进性。教师可以灵活地、创造性地设计课程，充分发挥虚拟平台的优势，激发学生的学习兴趣。设置探究式学习模块，通过动画形象地演示锂离子电池的工作原理和整个生产过程。“仿真练习”模块中，以动画方式讲解工艺操作过程、影响工艺质量的因素、参数设置以及不同参数对应的现象和内在机理。学生可自行调整参数值，观察产生的现象以及对应的微观机制的变化规律，摸索该工艺参数的最佳值。“仿真实训”模块中，学生可自行交互操作设置关键参数值，完成关键参数调整设置实训，并由系统自动记录实训操作的过程和参数值。教师可通过系统记录的数据全面判断学生学习过程中的难点和问题(图2)，从而在实训阶段给予重点指导和说明。“实验报告”模块中，学生根据所预习的知识自行总结填写实验原理、实验目的，而实验步骤(包括操作过程、设置参数、实验现象以及对应原理等)由系统自动记录，最后完成实验结论、总结心得体会。

借力虚拟仿真，产教融合，通过模拟真实的生产过程和场景，为学生提供更加真实的实践环境和更加丰富的学习资源，实现了人人皆学、处处能学、时时可学。利用虚拟仿真平台，学生可以大胆地选取实验对象，并通过人为控制条件研究相关内在因素变化引起的实验对象。随后，通过观察、测定、分析、综合设计等环节，自主获得知识、发展能力、养成素质。

## 2.2 结合多种网络平台和线上资源，扩宽学生课前获取信息的渠道，提高线下课堂实操的效率

整合中国知网、科研云等平台资源，结合线上教学形式如微信、学习通，定期向学生推送新能

源电池国内外研究发展的最新成果, 为学生有效获取行业信息提供全方位支撑。对产业领域目前存在的问题以及具体解决方法, 以短视频和PPT文档的形式推送(视频材料约占42%, PPT文档约占58%), 有效缓解了学生对大量文字阅读的排斥和时间限制, 给学生强烈的视觉冲击。从学习通任务点的完成情况看, 成绩在80分以上的占比达到了85%, 学习效果良好(图3)。



图2 虚拟仿真实训操作过程和实训结果统计界面

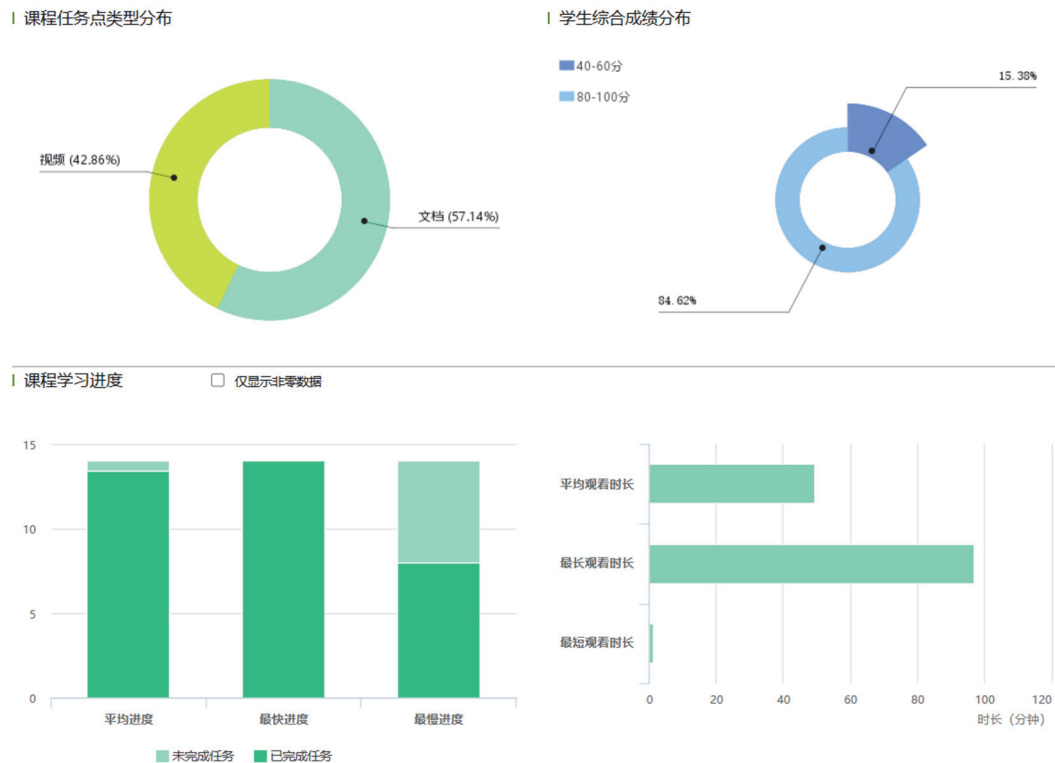


图3 对学生的课程学习进度和学习成绩进行实时统计的界面

线下实操部分采用小组分工合作模式，以问题为导向，通过启发式讲授、互动式交流、研究式讨论开展教学，引导学生自主设计方案，运用所学理论知识解决实际问题。根据实验内容和实验室条件一般5-6人为一组，由学生自由组建。每个小组都要完成电池制作、电化学性能测试和充放电测试等实验过程。其中，电池制作流程包括电芯设计、材料准备、配料匀浆、涂布、干燥、辊压、分切、组装、化成等过程(图4)，大概需要6-8学时；电化学性能测试如循环伏安、电化学阻抗一般需要1学时；充放电测试虽然周期很长，但学生主要学习任务在于活性物质的质量计算和测试系统软件参数设置，约需1学时。整个实验过程8-10学时，可以安排全天实验，也可以安排两个半天。课堂之余学生需要通过查阅文献资料、完成电极材料形貌和结构表征送样以及数据分析等任务。最后，针对实际操作与虚拟仿真结果的差异，通过问题链引导学生从材料制备、工艺流程等方面分析原因，研究如何通过优化实验条件来提升产品性能。实验过程中鼓励学生敢于质疑，通过动手操作发现事物的奥秘，逐步形成实验求知意识，加深对所学专业在实际生产生活中应用的理解和认识，提升学生的学习兴趣和专业自信。



图4 扣式锂电池制作实验流程图及学生的部分操作图

### 2.3 推动实验教学与科研平台和创新创业教育相结合，打造高水准的实践教学平台

通过实验教学与科研工作结合，并将科研成果用于实验教学，促进教学科研一体化。在虚拟仿真模块，科学设计理论模型和实验过程，把科学研究的思维和方法融入虚拟仿真的全过程，为学生提供一个涵盖全产业链、工厂化对象背景、情景化真实操作、广泛性教学的虚拟仿真实训中心(图5)，有效实现教学现场与生产现场的对接，促进实验教学与社会需求的紧密结合。在实践模块，依托学校科研平台(光电子研发中心)，从科研项目中提炼实验项目，实现科研对本科生实验教学的支撑。同时，通过共享国家纳米科学中心、中国科学院化学研究所、北京化工大学和纳米能源所等科研单位的合作实验室平台，形成一个集专业基础知识、科研项目和孵化创新创业大赛为一体的综合性平台。给学生创设优质的实践创新环境，让有能力的学生进入科研项目，实现高阶创新。自2019年本实验开设以来，孵化专业课程论文和毕业设计论文10余篇，SCI论文3篇，促进了学生的全面发展。



图5 虚拟仿真平台和合作实验室科研平台

同时,推动实验教学对学生创新创业活动的支撑。一是为学生提供跨专业的实践锻炼机会,拓展实验教学平台宽度。引进经济学院的学生共同开展实践活动,将学到的专业知识与创新创业知识有机融合,实现知识的消化、吸收和再创新。二是积极构建校企联合平台,拓展实验教学平台深度。与北京海瑞克科技发展有限公司等多家企业和研究机构携手,构建多学科交叉融合、多元驱动的校企合作实践育人模式,为学生提供更真实的实操环境和更多锻炼机会。通过几年来的实践,学生创新实践能力逐步增强,在各类创新创业和学科竞赛中获得国家级赛奖励1项、省级赛奖励8项、校级赛奖励4项,取得了丰硕成果。

#### 2.4 实验教学体系中融入课程思政教育,有效提升学生家国情怀、批判性思维和创新精神

教学过程中坚持知识与能力、情感态度与价值观的渗透和培养,牢固树立以人为本的思想,着眼于学生的个性发展,重视创新精神和批判性思维的培养,在教学内容和课堂教学活动中融入的思政教育内容如图6所示。在实验绪论部分介绍国内外行业研究现状,结合我国锂电池的发展,充分了解新能源在国民经济和社会发展中的重要作用,提升学生的民族自尊心和自信心,激发服务国家发展的热情。同时,针对能源危机的现实问题,引入个体工程职业道德和责任教育。在实验预习过程中,由实验室安全条例、仪器设备操作原理及注意事项,引出职业道德规范和纪律性的重要性;实验过程中通过小组讨论引导学生深度思考和大胆质疑,培养批判性思维;设计优化实验方案过程中,强调团队协作,培养个体角色与责任意识;实验操作过程中,强调客观记录实验过程和实验数据,合理进行误差分析,教导学生尊重原始数据,形成事实求是、诚实治学的科学精神和态度;实验结束后,要求整理全部实验设备、药品归位,培养做事有始有终的习惯,提升自我责任感。同时,根据不同学生层次需求,布置具有挑战性的拓展实践内容,践行自主创新,把科研活动转变为培养学生批判性思维和创新精神的重要载体。引导学生正视客观问题和理性思辨,拓宽解决问题的方法和思路,强调科学创新、责任担当,有效提升认知能力和创新能力。

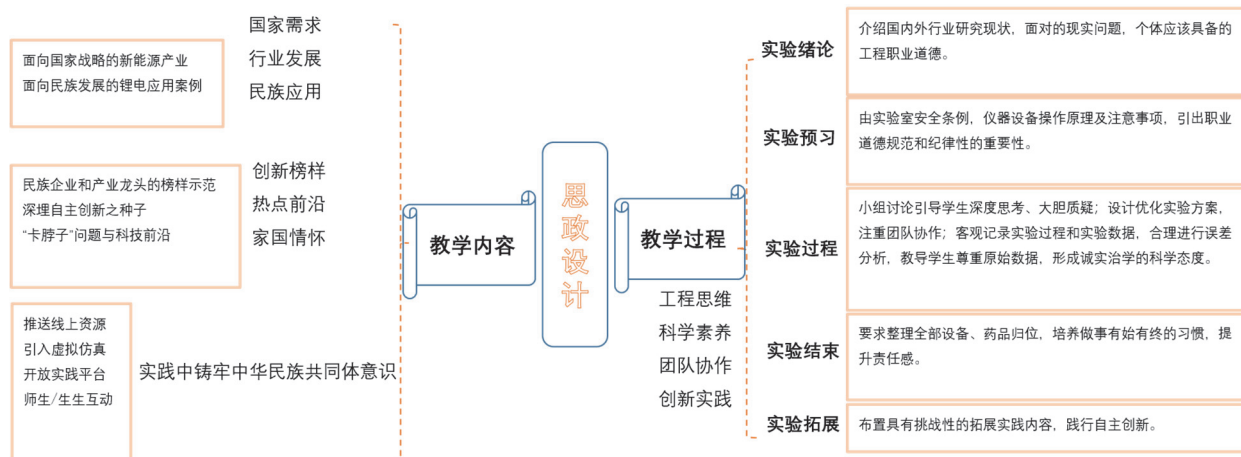


图6 教学过程中融入的课程思政元素概括

### 2.5 采取全过程、多维度的考核方式, 有效调动学生能动性, 提升学生综合素养

课程的考核采用过程性评价和阶段性评价相结合的方式, 实现从线上预习和仿真、线下实践到项目创新的多维度评价。其中, 过程性评价占比30%, 主要包括虚拟仿真结果、实验操作、问题解决和课程答辩等主要环节过程中的师生互动、生生互动和教师点评。阶段性评价占比70%, 其中线上预习和仿真模拟占比20%, 主要依据线上任务点的完成情况和仿真模拟的结果进行评判。实操及产品质量验收占比20%, 主要从成品锂离子扣式电池的电化学性能的优劣进行考量。设计报告占比30%, 主要从课程论文撰写的内容完整度、数据分析的广度和深度、逻辑推理以及是否符合科技论文撰写的要求进行考核, 并以答辩报告的形式进行实验设计原理和数据分析的讲解。如图7所示, 整个考核体系环环相扣, 形成闭环。考核过程能够调动学生学习的主动性, 有助于提高学生团队合作能力, 提高学生分析问题和解决问题能力, 锻炼学生表达和组织概括能力, 最大限度地提升信息的留存率。



图7 全过程、多维度课程考核内容示意图

## 3 结语

本文以锂离子电池设计与制作实验为例, 本着“虚实结合”的建设思路, 依托数据库、网络通讯等技术, 开展混合式实验教学, 运用虚拟仿真等数字技术和资源创设教学场景, 形成教学现场与生产现场的对接, 推动实验教学与社会需求的紧密结合, 推动实验教学与科研工作和创新创业教育的结合, 促进教学科研一体化。从实验设计、方案修订、实践操作、数据分析、论文撰写以及答辩和成果展示等多个环节把控教学质量, 提升学生综合素养; 通过多维度的考核体系环环相扣, 有效调动学生的学习能动性; 以横向拓展、有机衔接的教学实践内容为载体, 推动学生参与全国大学生

各类赛事,取得了良好的教学效果。

当前,在“新工科”建设的背景下,不断地更新教育教学观念和方法,积极探索创新的教育模式和手段,通过虚拟仿真与操作实践结合、课内课外结合、实验教学与大学生创新创业活动和课程思政结合,打造新工科专业设计类实验教学的新形态,有利于持续深化产教协同,推进校企深度合作,促进行业、企业有效参与人才培养全过程,推动教育链与产业链、创新链对接,不断提升人才培养质量。

#### 参 考 文 献

- [1] 黄九九, 龚慧, 郝刚. 课程教育研究, **2020**, No. 11, 254.
- [2] 罗庆华, 周良, 黄凯丰. 智库时代, **2019**, No. 33, 239.
- [3] 林健. 中国高等教育, **2017**, No. 13, 40.
- [4] 怀进鹏. 数字变革与教育未来——在世界数字教育大会上的主旨演讲. [2024-08-05].  
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1757750318174823997&wfr=spider&for=pc>
- [5] 高洪涛, 李东祥, 孙雪梅. 大学化学, **2021**, *36* (5), 2008041.
- [6] 李会峰, 张瑜, 朱天龢, 孙根班. 化学教育(中英文), **2018**, *39* (12), 29.
- [7] 张树永, 朱亚先, 张文清, 王玉枝, 陆靖. 大学化学, **2024**, *39* (2), 1.
- [8] 周一鹏, 冉晨鑫, 吴忠彬. 大学化学, **2024**, *39* (6), 151.
- [9] 周红霞, 薛彩红, 朱发岩. 实验室科学, **2017**, *20* (1), 227.
- [10] 杨玉平, 张谷令, 施洪龙, 王丽娟, 张晓明, 王文忠, 邹斌. 山东化工, **2020**, *49* (24), 1.