

**编者按:** 化学实验教学中心是高校开展化学实验教学的重要支撑平台, 其建设对推进化学实验教学改革、提高实验队伍素质和实验教学管理水平、培养学生的实践能力和创新精神、提高高校化学及相关学科教学质量具有重要的意义。2023年, 教育部开展了国家级实验教学示范中心阶段性总结工作, 各个化学国家级实验教学示范中心借此机会, 系统整理了过去五年以来的建设成果, 并对未来发展进行了展望, 形成了诸多具有借鉴意义和推广价值的经验和做法。为了更好地推广相关优秀成果, 发挥示范引领作用, 国家级实验教学示范中心联席会化学化工学科组以此次阶段性总结为契机, 与《大学化学》编辑部合作, 组织出版“化学实验中心建设”专刊, 邀请化学国家级实验教学示范中心相关负责人分享建设经验。通过成果案例的分享, 促进全国化学实验中心水平的提升, 更好地服务化学人才培养工作, 营造重视实验教学、实验教学与理论教学协同培养高素质化学人才和拔尖创新人才的良好氛围。

## 科教融汇、多维贯通的化学化工实验教学新范式建设 ——以化学化工国家级实验教学示范中心(浙江工业大学)为例

刘秋平, 杨阿三, 蔡金法, 刘玲, 计伟荣, 强根荣\*

化学化工国家级实验教学示范中心(浙江工业大学), 杭州 310000

**摘要:** 化学化工国家级实验教学示范中心(浙江工业大学)全面聚焦创新型人才培养, 秉承学校“艰苦创业、开拓创新、争创一流”的精神传统, 遵循“创新主导、多元融合、寓教于研、协同育人”理念, 探索了以“科教融汇、多维贯通”为特色的人才培养模式, 建立了“理工一体、理实一体”化学化工实验教学新体系, 打造了“虚实结合、理工融合”化学化工实验教学新平台, 创建了“基础与创新并重, 化学化工全覆盖”的创新创业教育新机制, 形成了具有鲜明工科院校特色的化学化工实验教学新范式, 有效提升了学生实践能力与创新精神, 取得的成果可为其它同类高校实验室的建设和管理提供借鉴、参考。

**关键词:** 国家级实验教学示范中心; 化学化工实验教学; 实验室建设; 人才培养模式

**中图分类号:** G64; O6

## Developing a New Paradigm for Integrated Science and Education & Multidimensional Connectivity in Chemistry and Chemical Engineering Experimental Education: A Case Study at the National Demonstration Center for Experimental Chemistry and Chemical Engineering Education (Zhejiang University of Technology)

Qiuping Liu, Asan Yang, Jinfa Cai, Ling Liu, Weirong Ji, Genrong Qiang \*

National Experimental Teaching Demonstration Center for Chemistry and Chemical Engineering (Zhejiang University of Technology), Hangzhou 310000, China.

**Abstract:** The National Experimental Teaching Demonstration Center for Chemistry and Chemical Engineering

收稿: 2024-04-02; 录用: 2024-04-22; 网络发表: 2024-05-13

\*通讯作者, Email: qgr@zjut.edu.cn

基金资助: 浙江省省级一流课程(浙教办函〔2021〕195号); 浙江省省级课程思政示范课程(浙教函〔2022〕51号)

(Zhejiang University of Technology) is dedicated to cultivating innovative talents. Adhering to the university's ethos of "hard work entrepreneurship, pioneering innovation, and striving for excellence", and guided by principles of "innovation leadership, diversified integration, integrating teaching into research, and collaborative education", the center has developed a distinctive model for talent cultivation. This model features "integration of science and education, multi-dimensional connectivity". A new experimental teaching system was established, integrating science and engineering with theory and practice, alongside a novel platform that combines virtual and real environments for science and engineering education. Furthermore, an innovative entrepreneurship education mechanism that balances foundational learning with innovative practices and covers all aspects of chemistry and chemical engineering was created. This new paradigm, which highlights the unique characteristics of an engineering college, significantly enhances students' practical abilities and innovative spirit. The achievements of this program can serve as a model and reference for laboratory construction and management in other similar universities.

**Key Words:** National experimental teaching demonstration center;  
Experimental teaching of chemistry and chemical engineering; Laboratory construction;  
Talent cultivation mode

高等教育是社会发展和科技进步的关键推动力，随着科技创新的不断崛起，社会经济发展对人才的需求也发生了变化，对高校输送人才的实践创新与应用能力的要求越来越高<sup>[1,2]</sup>。为适应新时代人才需求的变化，如何提升教育质量、培养更多具备创新精神和国际竞争力的人才成为各高校关注和讨论的问题<sup>[3]</sup>。化学化工国家级实验教学示范中心(浙江工业大学)是我校化学化工类人才培养的重要场所，为进一步培养和提升学生的综合实践能力和创新意识，中心一直致力于符合新时代人才培养需求的实验平台建设以及理工融合的科学实验教学体系构建等方面研究，为学校“新工科”人才培养提供有力保障。

## 1 化学化工国家级实验教学示范中心概况

我校化学化工国家级实验教学示范中心(以下简称“中心”)在原“四大”化学(无机化学、有机化学、分析化学、物理化学)实验室、“三大”化工(无机化工、有机化工、精细化工)实验室的基础上，融入化工工程训练中心组建而成，于2013年获批国家级虚拟仿真实验教学中心，2014年获批国家级实验教学示范中心。课程建设方面，“基础化学实验”课程获评国家精品课程、国家级精品资源共享课程以后，近几年，“物理化学(含实验)”“合成氨生产综合仿真实习”先后获评国家级一流课程，“基础化学实验II-有机化学实验”获评浙江省一流课程、浙江省课程思政教学示范课程，“实验室安全准入”“无机化学(含实验)”获评浙江省一流课程。实验室建设方面，中心现有实验教学用房9681平方米，建有标准化实验药品暂存库，具备国内先进水平的实验室通排风、废气处理及废液处理转化系统；实训中心建有大型半实物仿真工厂、化工生产实训装置、化工安全培训装置、Virtual Reality (VR)仿真系统及仿真机房等30余套。队伍建设方面，中心现有专职人员27人，其中正高级职称2人、副高级职称13人、中级职称10人；聘有长期兼职人员70人，其中正高级职称10人、副高级职称33人；另聘有企业导师13人，指导化工综合实验室、化工工程训练中心的建设、教学等工作。

中心面向全校化学、化工、制药及其它近化类共计25个本科专业开设13门实验课程，每年承担共7000多人数、23万人时数、4万机时数的实验教学任务，学生受益面广，资源利用率高，教学效果优良，有效支撑了我校化学、化工、制药及其它近化类共计14个国家级一流本科专业(建设点)的建设工作。

## 2 “科教融汇、多维贯通”人才培养模式的探索与实践

化学化工国家级实验教学示范中心在学校办学目标的指引下，秉承学校“艰苦创业、开拓创新、争创一流”的精神传统，以立德树人为根本，经过多年实践，探索了符合本校理工类人才培养特征

的具有学科优势的“理(科)工(科)一体化、理(论)实(践)一体化”化学化工实验教学新体系,打造了“虚实结合、理工融合”的化学化工实验教学新平台,创建了“校级-省级-国家级”全线贯通、基础和创新并重、化学化工全覆盖的创新创业教育新机制。中心始终以培养具备独立思辨能力和国际竞争能力的卓越创新型优秀人才为使命,全方位助力学生成长成才,为全国化学化工行业输送优秀的创新型综合人才。

## 2.1 “理工一体、理实一体”——创新实验教学新体系

中心对“四大”化学实验课程和化工专业(基础)实验课程分别进行有机整合,形成独立设置的“基础化学实验”“化工原理实验”和“化工综合实验”课程,创建了有利于创新实践教育的“理工一体化、理实一体化”化学化工实验教学体系(图1),具体体现为“三阶段、四层次、一体化”的培养途径。“三阶段”指中心对于理工类人才培养方案均设置了从学科基础实验到专业基础实验,最后进行专业训练的三个阶段递进式训练;“四层次”指化学、化工各个阶段的实验课程均涵盖了基础规范性实验、综合设计性实验、研究探索性实验、创新实践四个不同层次的训练内容;“一体化”指中心对于理工类专业本科生均采用理科、工科实验一体化教学,理论知识、实践能力一体化提升的教学模式。以某一真实化工产品为载体,在学科基础实验阶段,着重“三基”培养,熟悉化学反应的本质,巩固实验理论知识,提升实验基本能力,锻炼综合实践能力,促使创新意识、创新思维“萌芽”。在专业基础实验阶段,从工程技术的要素出发,着重各种单元操作的探究学习,对比不同的分离方法、条件因素对实际生产的影响(例如:不同分离方法对比和因素影响,等等)。在专业实验(实训)阶段,组合运用各种单元操作,熟悉生产控制点,改进、创新实际生产工艺,降低能耗、减少“三废”。以此将“理(论)工(程)一体化、理(论)实(践)一体化”教学落到实处<sup>[4]</sup>。

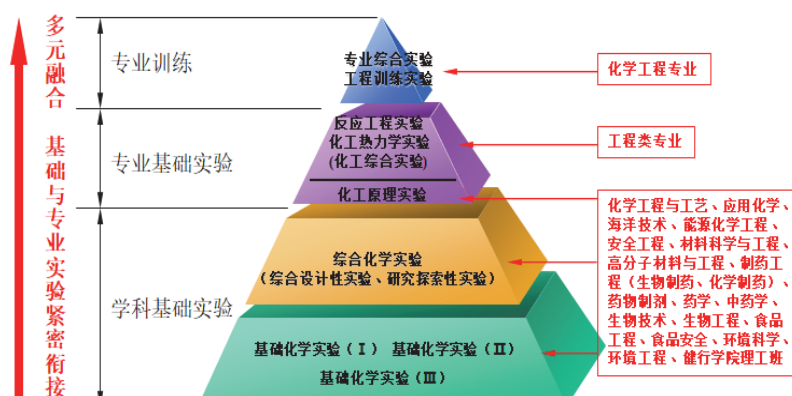


图1 “理工一体化、理实一体化”化学化工实验教学体系

在教学过程中,中心注重实验教学目标的提升,将传统的验证型、模仿型学习转变为能力培养型学习,提高实验教学目标与人才能力培养要求的“达成度”,同时,将课程思政教学目标融入到实验教学过程中,提高实验教学的“高阶性”,从而促使实验教学中“知识-能力-素质”的协同提高。

同时,中心注重学生创新创业能力训练,在基础必修课程、专业选修课程的基础上,引入创新创业学分,强化基本知识学习和实践能力培养,促使“实验-实训-实习-双创”联通、“学-用-创”贯通,形成“两通三跨”工程实践课程体系(图2),把创新教育融入化学化工实验教学全过程。中心坚持“教研结合、教技相长”的原则,推进教学与科研教研紧密结合,教学队伍与实验技术队伍全面融通,保障教学内容更新有源头、科研成果转化能落地、实验方案实施有保障,实验课程完成了从“化学实验-专业基础实验(专业实验)-工程实践”的全方位覆盖,促进了“科学原理探索-工程技术基础训练-单元操作组合运用”的有效融合。

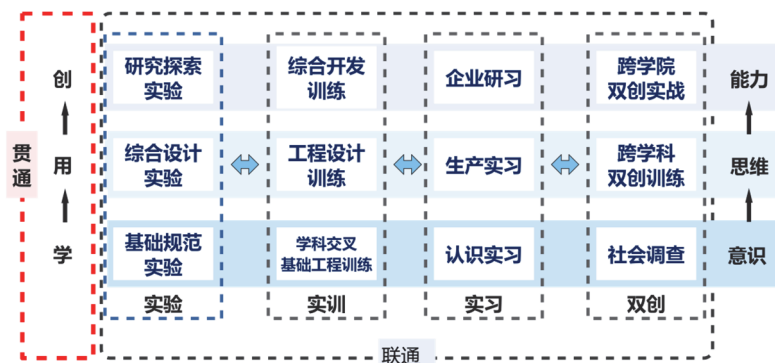


图2 “两通三跨”工程实践教学课程体系

**典型案例一：**教学实验与生产、生活紧密结合。中心建有多个具有推广价值的教学案例，研究开发“利用废弃蛋壳制备物质钙盐”“由苯甲醇合成苯甲酸乙酯综合制备实验”“纳米金胶体颗粒的制备(生物质还原法)及其应用”等具有代表性的综合实验项目，形成了“基础规范性实验-综合设计性实验-研究探索性实验”递进式的课程教学内容；积极推进产教合作、协同育人机制，企业联合开发“吸收与解吸实验装置”“流体实验装置”等化工综合实验装置；将科研成果转化为教学项目，新开设连续化反应结晶开放性学生实验，填补了国内“反应结晶实验”本科实践教学空白。

**典型案例二：**乙酰苯胺制备及重结晶实验的课程思政设计<sup>[5]</sup>。乙酰苯胺的制备实验是大多数高校开设的基础性实验，为使案例蕴含的思政元素“润物细无声”地融入到教学中，中心教师创新了思政元素的融入途径。在原来开设的简单制备型实验的基础上融入重结晶提纯、实验产品的应用拓展等内容，构建了“制备+提纯+应用”的综合性实验，既加深了氨基乙酰化反应在有机合成中的应用知识点，又提升了实验综合能力(图3)。主要体现在四个方面：(1) 从“氨基乙酰化反应”在磺胺类药物、胃复安药物等产品合成中的应用引入本实验的实际意义，引导、激发学生树立科技创新的“四个面向”(面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康)意识，浓厚做“有用”科研、把论文写在祖国大地上等朴素情怀。(2) 从介绍结晶牛胰岛素的全合成引入用重结晶方法提纯本实验产品，首先通过实验产品、溶剂的正确处理，反应尽可能转化率高，提升生态文明与环保意识，其次通过结晶时晶体形成的条件控制、重结晶脱色时活性炭加入量的控制等，树立辩证唯物主义世界观：理解质量互变规律、矛盾的对立统一规律等，再次通过制备完美的乙酰苯胺晶体，结合结晶牛胰岛素的全合成，浓厚家国情怀。(3) 从采用各种形状的分馏头、分馏柱替代本实验所用的韦氏分馏柱，进行分馏脱水操作，提高脱水效果，培育科研探索、勇于创新的精神。(4) 实验产品乙酰苯胺经提纯干燥后可以提供给有关试剂商店或医药企业加以有效利用，从而提升产品附加值，降低实验室固体废渣的存放量，增强安全性。

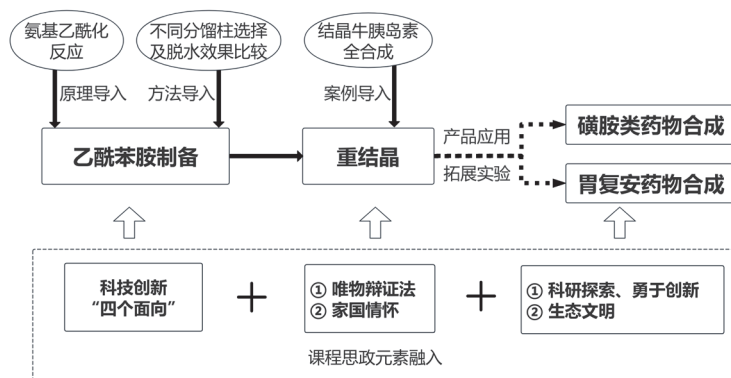


图3 乙酰苯胺制备及重结晶实验的课程思政教学设计

通过改造，赋予了经典实验新的生命力，在做好基本实验、基本能力传承的同时，巩固了实验的知识点，拓展了知识的应用，也提高了实验的综合性和挑战度，在基础实验中有效地开展了课程思政教学<sup>[6,7]</sup>。

## 2.2 “虚实结合、理工融合”——打造实验教学新平台

中心充分发挥教学队伍“专-兼”结合的优势，拓宽教学平台建设途径。坚持开放共享，积极推进实验中心与学科科研平台的融合，推进与学科大型仪器平台的共享共用，实现教学资源和学科科研资源的有效整合，促进科研及教学在学生培养中的互补和联动，为学生创新创业教育的开展提供基础保障，形成“教学-科研”良性循环；坚持校企共建，实验教学平台建设从校内延伸到校外，进一步推动理工类人才培养，形成“基础实验-专业实验-工程训练”全流程贯通、虚实结合、理工融合的国家级实践教学新平台(图4)。

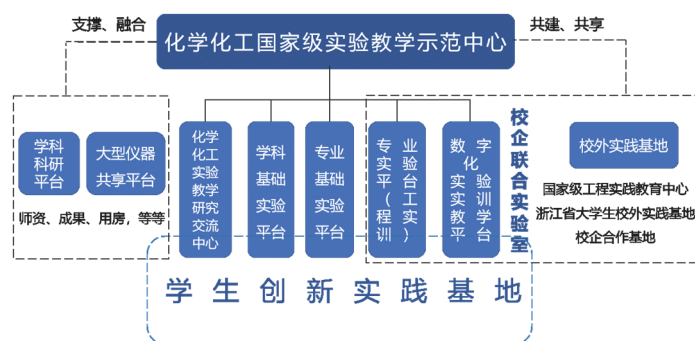


图4 “虚实结合、理工融合”的化工实验教学平台

**典型案例三：**化工数字化仿真工厂以现阶段“石油化工”“煤化工”和“精细化工”三大化工支柱产业的生产实际为模型，依托数字化仿真手段，先后建立了“80万吨乙烯生产半实物仿真工厂实习”“60万吨煤制甲醇半实物仿真工厂实习”和“磺酸盐清净剂生产仿真实验”等30多套实习实训装置。其中，“乙烯生产半实物仿真工厂”是以石油化工的80万吨乙烯生产全过程为模型，按10:1缩小建设而成，包含裂解、急冷、裂解气压缩、压缩制冷、冷区分离、热区分离等工段，可实现开停车、事故处理、设备认知、Distributed Control System (DCS)培训、消防应急演练及考核评价等多种实习实训教学，形成了“校内仿真工厂实习-企业现场实习-计算机模拟优化实习”三位一体的实习实训平台(图5)。

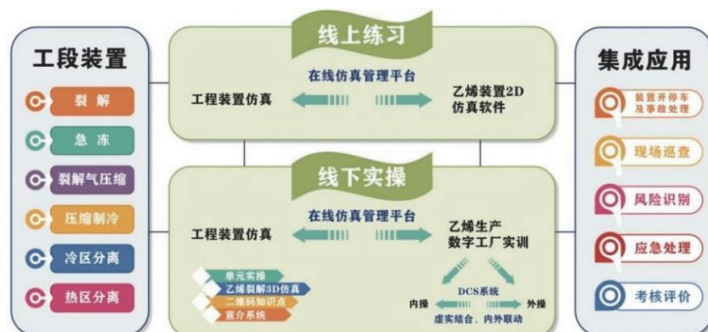


图5 三位一体实习实训平台

## 2.3 “基础与创新并重，化学化工全覆盖”——构建“双创”教育新机制

作为浙江省大学生化学竞赛秘书处，中心卓有成效地协调、指导并承办了全省大学生化学竞赛，

至今已连续举办了十五届,得到了全省各高校及教育厅的高度认可。中心贯彻“以赛促教、以赛促改、以赛促建”思想,在校内以实验课程为基础,积极推动以科技竞赛为主体的创新创业教育活动,构建了“校级-省级-国家级”三级贯通、基础和ación并重、化学化工双维度全覆盖的创新创业教学新机制(图6),有效促进学生对知识的融会贯通,锻炼学生把知识应用于实践的能力,在发现问题、分析问题、解决问题的同时,有效提升实践创新能力,实现知识、能力、素质各方面协调发展<sup>[8]</sup>,推动我校理工类专业的创新创业教育。

**典型案例四:**中心作为秘书处单位创办浙江省大学生化学竞赛,指导学生参加全国大学生化学实验邀请赛、全国大学生化学实验创新设计竞赛,形成了以“化学实验基础知识、基本能力、创新设计能力”全方位培养为目标的“校级-省级(华东区)-国家级”三级贯通的竞赛机制。作为发起单位组织浙江省大学生化工实验大赛,指导学生参加全国大学生化工实验大赛、全国大学生化工设计大赛,构建了以学生化工创新设计能力和素养考核为目标的“省级-华东区-国家级”三级贯通的竞赛模式。

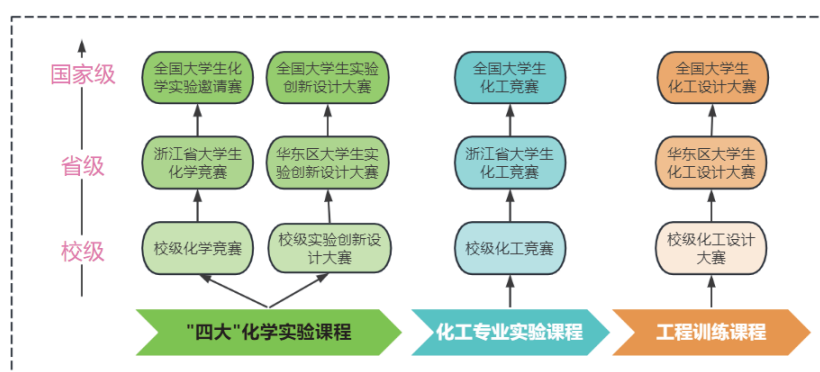


图6 “校级-省级-国家级”全贯通的创新创业教育机制

### 3 化学化工实验教学中心建设成效

中心以培养适应新经济模式的高素质人才为目标,充分发挥人才培养主战场作用<sup>[9]</sup>,通过多年对教学理念、教学体系、教学方法和实验内容进行改革优化,取得了显著成效。

**教学科研硕果累累。**中心目前建有国家精品课程、国家级一流课程3门,获国家教学成果奖二等奖1项,主编出版实验教材8部(其中国家级规划教材1部,省级“新形态”教材2部),在核心刊物发表相关教学研究论文60余篇,获批省级及以上教改项目10余项。教学团队获“全国石油和化工教育优秀团队”称号,多次获评学校优秀基层教学组织,多人入选第三批“全国高校黄大年式教学团队”。

**人才培养成效显著。**中心教师指导学生获全国大学生化工设计竞赛特等奖1项,一等奖5项;获全国大学生化学实验邀请赛二等奖8项、三等奖6项;获全国大学生化学实验创新设计竞赛全国总决赛一等奖1项,二等奖1项;获第四届全国大学生化工实验大赛一等奖3项。中心先后培养学生科技立项204项,参加科技竞赛3398人次,获得国家级奖项51项,省级奖项100余项,学生参与发表论文206篇,授权发明专利114项。

**社会服务作用突出。**中心作为人才实验实践能力培养的重要教学基地,在承担人才培养重要任务的同时,也是社会服务的重要窗口。利用网络资源,积极开展线上教学,形成线上线下双线联动的教学模式,并向省内外十余所院校共享网络教学资源,累计使用人数超50万人次。依托师资队伍、实验场地,为地方经济和社会发展提供服务,开展科普和文化传播活动、竞赛培训服务,服务人数超10000人次。并多次承办全国及区域性学科竞赛、全国性教学会议,应邀在全国教学会议全面推广人才培养经验。

#### 4 结语

化学化工国家级实验教学示范中心建设对推进化学化工实验教学改革、提高实验队伍素质和实验教学管理水平、培养学生实践能力和创新精神、提高高校化学及相关学科教学质量均具有重要作用<sup>[10]</sup>。经过多年探索,中心在实验平台、课程建设及人才队伍建设等多方面取得了较好成效,打造的开放式实验和实践教学平台,促进了教育资源整合与共享,提高了实验资源和仪器设备的利用率;通过组建高素质的教师队伍,有效推进了课程建设,形成了具有鲜明工科院校特色的化学化工实验教学体系,提升了学生的工程实践创新能力,为我校“新工科”人才培养质量提供了保障。实验教学示范中心建设是一项长期工程,需要我们紧跟时代发展脉络,积极有效地探索符合社会发展需求的实践教学内容,革新教学理念和改革教学模式,不断推进实验教学示范中心建设和发展<sup>[11,12]</sup>。

#### 参 考 文 献

- [1] 杨敏建,李黔柱,曾兵,赵娟,谭野. 山东化工, **2021**, *50* (10), 195.
- [2] 叶晓明,陈刚,成晓北,朱赤,幸文婷,王晓墨. 高等工程教育研究, **2023**, No. S1, 53.
- [3] 周振雄,麻丹丹,辛平,王洪希. 实验技术与管理, **2021**, *38* (2), 11.
- [4] 刘玲,王海滨,强根荣. 大学化学, **2024**, *39* (2), 94.
- [5] 晁玉方,黄鹏. 大学教育, **2021**, No. 4, 12.
- [6] 李芳,刘阳,韩杰,邱晓航. 大学化学, **2024**, *39* (4), 48.
- [7] 唐林轩,魏克湘,徐运保,胡慧. 中国高等教育, **2023**, No. Z2, 74.
- [8] 李维红,张奇涵,吴忠云,吴忠云,高珍,裴坚. 大学化学, **2018**, *33* (10), 7.
- [9] 黄云清. 中国大学教学, **2020**, No. Z1, 28.
- [10] 刘建波,董礼,曹宇,冯倩倩. 中国高等教育, **2017**, No. Z3, 58.
- [11] 张芹,王小宁,谭潇,杨海军,张向伟. 实验室研究与探索, **2023**, *42* (4), 284.
- [12] 谢峻林,冯小平,彭敏红. 实验科学与技术, **2021**, *19* (4), 6.