

地方高校应用化学专业创新型人才培养实验课程体系构建与探索

胡文远¹, 霍冀川¹, 钟国清¹, 刘彬瑶¹, 蒋琪英¹, 邓秋林¹, 杨定明¹, 张廷红¹,
李鸿波^{1,*}, 朱平平^{2,3,*}

¹西南科技大学材料与化学学院, 四川 绵阳 621010

²中国科学技术大学化学与材料科学学院, 合肥 230026

³化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026

摘要: 为了推动应用化学一流专业建设, 统筹推进教育科技人才“三位一体”协同发展, 推动科研成果和技术创新反哺人才培养, 创新高校实验教学内容, 深化实验教学改革, 着力造就拔尖创新人才。依托省级化学与分析测试实验教学示范中心, 对化学综合创新实验课程体系进行了探索和实践, 构建了一体化、多层次的化学综合实验教学体系, 组建了一师多能的创新实验教师团队, 创建多模块立体化实验课程资源, 建立了线上线下互融教学模式, 形成了以学科竞赛为驱动的一流创新人才培养范式。

关键词: 地方高校; 应用化学; 创新性人才; 实践; 课程体系

中图分类号: G64; O6

Construction and Exploration of an Innovative Talent Training Practical Curriculum System for Applied Chemistry at Local Universities

Wenyuan Hu¹, Jichuan Huo¹, Guoqing Zhong¹, Binyao Liu¹, Qiying Jiang¹, Qiulin Deng¹,
Dingming Yang¹, Tinghong Zhang¹, Hongbo Li^{1,*}, Pingping Zhu^{2,3,*}

¹ School of Materials and Chemistry, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China.

² School of Chemistry and Materials Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China.

³ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China), Hefei 230026, China.

Abstract: To advance the development of first-class applied chemistry programs, this study emphasizes the integrated, collaborative growth of education, research, and technological innovation. It aims to innovate experimental teaching content, deepen experimental teaching reforms, and cultivate top-tier innovative talents. Leveraging the provincial experiment teaching demonstration center of chemistry and analysis testing (SWUST), we explored and implemented a comprehensive, multi-level experimental curriculum system for applied chemistry. This system features an integrated approach, a versatile team of innovative experimental instructors, and multi-module, multidimensional experimental course resources. It also incorporates an interactive online-offline teaching mode and adopts a competition-driven model for fostering exceptional talents.

收稿: 2024-09-19; 录用: 2024-11-27; 网络发表: 2025-02-17

*通讯作者, Emails: lihongbo@swust.edu.cn (李鸿波); zhupp@ustc.edu.cn (朱平平)

基金资助: 四川省高等学校创新性实验项目(富 S 缺陷的超薄二维 MoS₂ 比色法灵敏快速检测微量维生素 C); 教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX2024-100); 教育部首批虚拟教研室(大学化学实验课程群虚拟教研室)建设项目; 西南科技大学校级教改项目(22xn0091, 24xn0065)

Key Words: Local universities; Applied chemistry; Innovative talents; Practice ; Curriculum system

2024年政府工作报告明确提出,全方位培养用好人才,完善拔尖创新人才发现和培养机制,建设基础研究人才培养平台^[1],为解决我国关键技术攻关提供强有力的人才支撑。高校作为培养拔尖创新人才的前沿阵地,需要主动适应新技术、新产业、新业态对高等教育的要求,从思政育人^[2,3]、科教育人^[4-6]和产教融合育人^[7-9]等方面引导学生将自身成长与国家发展相结合,实现同频共振、鼓励学生更早更实涉足科研实践激发其个性潜能、完善学生校企联合培养体系向最需要的领域和区域输送人才,实现拔尖创新人才的自主培养。众所周知,化学类专业实验课程在其培养体系中举足轻重,是强化学生树立实践出真知的理想信念,引导学生感悟专业理论的实践应用,培养学生激活创新意识、创新思维和创新能力的有效载体。正如教育部高教司在部署今年高等教育人才培养体系的“一二三四+N”主要任务中明确指出,在实践创新方面,要加快人才培养从“学知识”向“强能力”转变,探索基于能力图谱、知识图谱的课程、教材、实验一体化建设。同时,持续推进国家级实验教学示范中心建设,开展实验教学和教学实验室建设项目研究的要求^[10]。

为了应对国家高质量发展对高校的新任务、新要求,作为地方高校理应有所思考、有所担当。西南科技大学位于西部腹地中国科技城——绵阳,是四川省人民政府与教育部、国防科技工业局共建高校,形成了“共建与区域产学研联合办学”特色,如何在新形势下接续特色发展,走出一条与众不同的路是我们努力奋斗的方向。为了推动我校应用化学国家一流专业建设,统筹推进教育科技人才“三位一体”协同发展,推动科研成果和技术创新反哺人才培养,创新高校实验教学内容,深化实验教学改革,着力造就拔尖创新人才。依托省级化学与分析测试实验教学示范中心,通过实施多项国家及省校级教改项目建设,对化学实验课程体系进行了探索和实践,构建了一体化、多层次的化学综合实验教学体系,组建了一师多能的创新实验教师团队,创建多模块立体化实验课程资源,建立了线上线下互融教学模式,形成了以学科竞赛为驱动有效实现一流创新人才的培养范式。

1 地方高校化学实验课程体系现状

国内地方高校为了应对新时代对创新型人才培养的需求,从自身学校特色出发对化学实验课程体系进行了有益的探索和实践^[11-14]。针对应用化学专业的实验教学过程中存在的专业实验内容较为滞后、学生内驱力和实验参与积极性不高、创新能力培养不足、评价体系单一等具有普遍性的问题进行实验课程体系的重构,提出了通过优化实验内容,强化理论与实践结合、创新教学方法、提升学生参与度、加强创新能力培养、增加探究性实验占比、完善评价体系、注重综合素质考察等途径提高人才培养质量,取得了许多可借鉴的经验。但由于地域、政策、资源等因素限制,仍然存在实验课程体系与市场需求不完全对接,导致地方高校的人才培养与区域科技创新及经济社会发展之间的相互支撑不足的问题。

我校应用化学专业的实验课程体系发展历程可溯源至2007年由我校牵头编撰《化学综合设计实验》教材,在教材内容设计中就充分体现了化学综合设计性实验课程与学科前沿紧密结合、体现科研与教学的相互联系,并逐年迭代更新获批了省级双语课程、国家精品课程。2009年依托学校分析测试中心创办的大学生科研训练创新班获批校级创新实践基地,使高阶课程体系实施具备了有效载体。依托2015年省级化学与分析测试实验教学示范中心(简称“中心”)获批建设,以共编共建分析测试标准为契机全面拓展与中国科学技术大学化学学科对口支援共建。2015-2021年期间我校牵头编写的多本化学理论及实验教材出版,以普通化学、无机及分析化学及化学综合设计实验等为代表的省级一流课程的获批为化学综合创新实验课程体系改革奠定了优质的、立体的、多维度的课程资源基础提供了有力的支撑。2022年和2024年化学综合设计实验分别获批省级线上线下一流课程和省级高阶课程。经过多年教学实践,坚持“以学生为中心”的教学理念,全面开展了化学实验课程体系的优化和整合,以“强基固本、前沿创新”的思路推行三阶三结合的化学综合创新实验课程体系教学

改革, 依托四川省化学与分析测试实验教学示范中心构建了“理工并举、三位一体、化学+X”多学科融合的化学专业实验课程培养体系, 为实现创新人才的自主培养提供了有力的保障。

2 课程体系的思路与路径

2.1 改革的理念和思路

坚持以“以学生为中心”的教育理念, 现有化学实验课程体系中存在的主要教学问题如下:

(1) 实验课程体系不完善、教学内容滞后于学科发展、高阶实验占比不高, 与培养创新型人才目标不完全匹配;

(2) 专职实验教师不能完全满足高阶课程的教学需求, 教研水平亟待提高;

(3) 学生安全意识普遍较薄弱, 传统安全教育模式比较单一。

针对以上问题, 按照“课程基础实验”“专业综合实验”“研究型实验”三个层级设计实施, 将实验内容围绕学科最新进展、本校代表性科研成果及经典实验改进这三个结合点进行更新迭代(简称三阶三结合), 从以下三个方面进行改革、整合和实践:

(1) 完善多层次实验教学体系, 强化学生的能力培养;

(2) 探索本科学业导师制及虚拟教研室, 实验教师队伍建设的途径;

(3) 构建了线上线下安全教育的新模式(图1)。

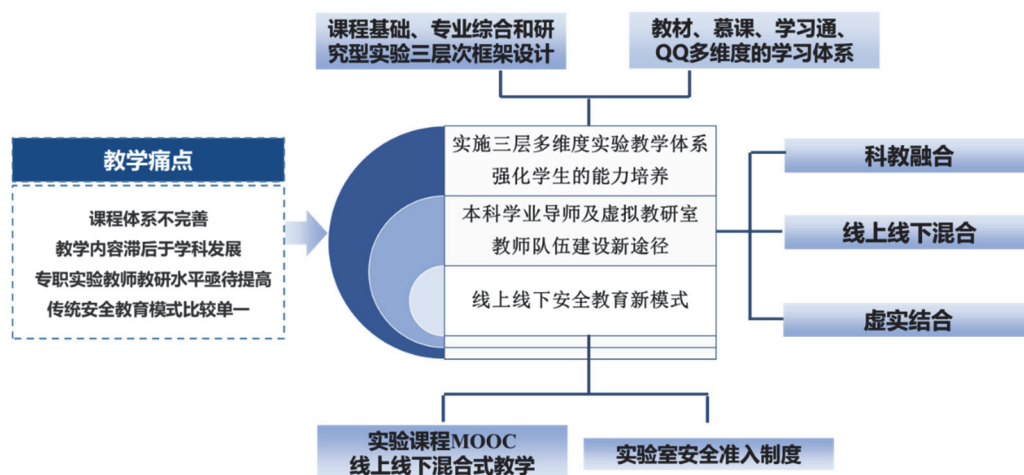


图1 教学改革思路

2.2 具体实施路径

(1) 实施多层次实验教学体系, 对学生的实践能力和创新意识进行全面系统的培养。

按照“课程基础实验”“专业综合实验”“研究型实验”三个层级全面构建化学综合创新实验教学体系(图2), 以层级划分课程考核的侧重点, 实行过程性评价。课程基础实验为学生打下扎实专业基础, 四大化学实验中除分析化学实验64学时设置, 其余分别按两个学期即A1、A2各开设课程实验24学时。6门综合化学实验课程为高年级本科生开设, 使其掌握特色鲜明的专业实验技能; 研究型实验教学, 形式多样, 课内有研究型化学实验课程的学习和自主设计性实验项目的训练。课外依托“院系结合, 学部统筹”的平台和环境友好能源材料国家重点实验室、材料学部及省级化学与分析测试实验教学示范中心的学科优势, 突破学科壁垒实现科教融合, 鼓励学生加入课题组、广泛开展本科毕业论文/设计、国家/省/校级大学生创新基金、创新实验班项目等科研实践活动。学生根据自身层次进行自主选择达成个性化培养, 实现应用化学专业学生研究型实验层级的全覆盖, 形成了“理工并举、三位一体、化学+X”多学科融合的化学专业实验课程培养体系。



图2 化学综合创新实验课程体系

(2) 转化科研成果为实验教学内容，让学生接触学科最前沿成果。

将学科最新进展、本校代表性科研成果及经典实验改进为三个结合点进行实验内容更迭，共开发原创性实验项目约10余项(图3)。如创新实验训练项目《富S缺陷的超薄二维MoS₂比色法灵敏快速检测微量维生素C》为胡文远老师发表在国际期刊*Applied Catalysis B: Environmental*上的科研成果^[15]，该实验项目针对现阶段化学类专业实验课程体系中高阶性实验项目的欠缺，结合作者自身科研将学科前沿2D材料应用于化学类本科综合创新实验教学。采用自制富S缺陷的超薄二维MoS₂，利用其类酶催化活性催化氧化3,3',5,5'-四甲基联苯胺(TMB)产生蓝色产物(oxTMB)，维生素C(AA)可以迅速将其还原为无色TMB，比较褪色前后吸光度差值与AA浓度间的关系可实现微量AA的定量测定。该实验项目将科学前沿融入本科教学，可以激发学生开发新检测方法的创新思维、提升学生的科学素养、培养学生的综合动手能力，实现学生实践能力培养的高阶达成。以此创新项目为基础指导学生参加全国大学生化学实验创新设计大赛获西南赛区二等奖，并获批四川省首批创新性实验项目建设。在特色方向综合实验二(工业分析方向)中，实验项目“建材产品氡辐射分析”是由我院邓跃全教授的科研成果转化的，充分体现了实验教学内容与研究前沿接轨，激发学生的学习兴趣。仪器分析实验中的“单、双波长测定弱酸的解离常数”实验是蒋琪英老师指导学生参加第三届全国大学生化学实验创新设计大赛的获奖作品，将现有仪器分析实验进行改进优化使其能更有效地培养学生敢于针对经典教材实验改进创新，既尊重经典又不教条地固守陈规。此外，通过凝练整理教师科研成果还出版了《化学综合设计实验(第二版)》，充分体现了科教互融^[16]。

(3) 以中国大学MOOC线上资源及大学化学实验课程群虚拟教研室的共享虚拟仿真实验辅助教学，实施“线上线下混合、虚实结合”的实验教学模式。

针对传统化学实验受学时及场地制约的问题，在中国大学MOOC、学银在线等慕课平台创建多门化学实验课程网站，以实验项目为单元构建实验讲义、实验示范视频、教学挂图、阅读材料、预习测试模块，便于学生在课前课后通过碎片化时间完善实验内容体系、明晰实验过程、固化实验操作要点、扩展实验视野，丰富了课程知识的趣味性和覆盖面，实现了教材与线上资源配套互补，助力线上线下混合式教学改革，有效实现化学实验课程目标的高阶达成(图4)。

通过参与建设的由中国科学技术大学牵头教育部首批虚拟教研室试点“大学化学实验课程群虚拟教研室”共享虚拟仿真实验平台，积极推行虚拟仿真实验项目，如无机化学实验中的“重金属离

子的性质与鉴定绿色化综合双语虚拟实验”，仪器分析实验中的“大型仪器的虚拟仿真实验”。此外，还依托大学化学实验课程群虚拟教研室举办的“多校共上一台课”等形式多样的优质实验示范课程，让学生实时在线共享优质课程资源，有效缓解了西部高校平台、师资和资源不足的困境。

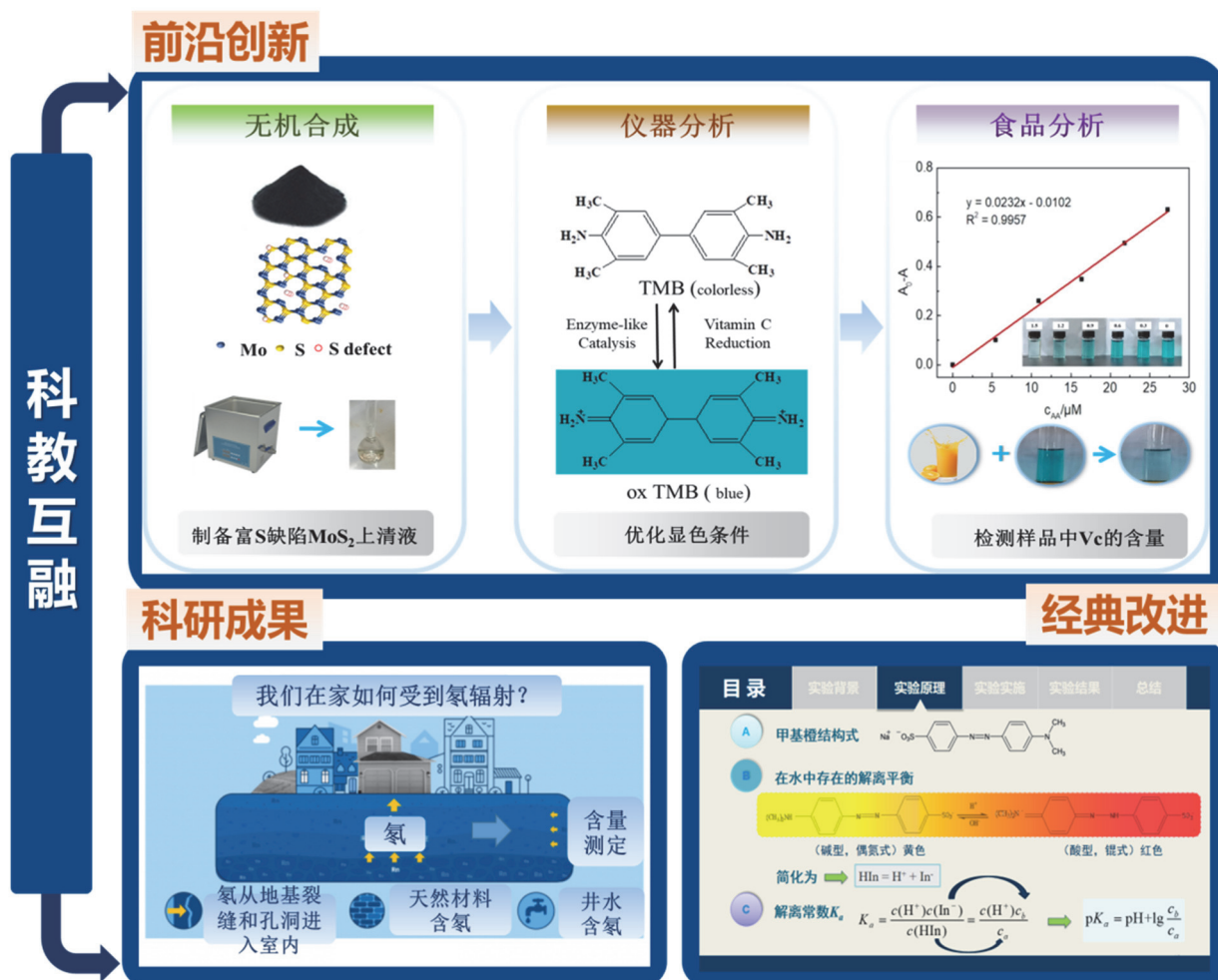


图3 科教互融的原创性实验项目



图4 “线上线下混合、虚实结合”的实验教学新形态

(4) 多渠道拓展实验教师队伍建设，本科导师及虚拟教研室助力实验教学水平显著提高。

鼓励专职实验教师在岗学历提升、申请国内外访学，激励专职实验教师积极开展教学研究，设立专项基金进行实验项目更新迭代，定期组织实验教学研究相关的培训和学习活动，邀请专家学者

进行讲座和交流。赓续与中国科学技术大学帮扶共建分析测试中心制定各级测试标准的合作基础，依托省级化学与分析测试实验教学示范中心参建教育部首批虚拟教研室试点“大学化学实验课程群虚拟教研室”，充分利用中国科学技术大学国家级化学实验教学中心和国家级虚拟仿真实验教学中心的优质实验师资助力实验教学水平的显著提升。教研成果以唯一单位发表在国际化学教育顶级期刊*Journal of Chemical Education* [17]上，并受邀到中国科学技术大学国家级化学实验教学示范中心分享交流，还以共同单位合作发表虚拟教研室教研成果[18]。

通过“课程实验-大创项目-科创竞赛-导师课题”相互衔接，坚持以学生为中心，建立和实施以“志趣导向-实践驱动-能力提升”为主线的科研创新能力培养路径。通过“一人一导师”制定“一人一方案”鼓励学生科创实践，鼓励本科导师积极将科教成果融入实验教学，以“化学综合设计实验”课程、大学生科研训练创新实践班、各级大学生创新实验基金项目等科创实践平台全面提高实验教学水平，提升学生的实践创新能力。

(5) 探索化学实验安全教育新范式。

将化学实验安全知识按模块化植入各实验课程MOOC资源，其中包括：实验学生守则与安全守则、危险品的分类、易燃易爆和腐蚀性药品的使用规则、有害、有毒药品的使用规则、实验室灭火常识、意外事故的预防和处理和实验室的“三废”处理等。引入与化学实验安全相关的国家、省一流虚拟仿真课程做有益的补充，弥补本校在化学实验安全虚拟仿真实验项目上的不足，广泛开展线上线下混合式教学。中心推行实验室安全准入制度，实现化学实验安全培训课程全覆盖，要求学生在实验前学习对应安全知识要点并完成课程安全预习测试。依托校内国有资产与实验室管理处的实验室安全考试系统，学生需完成安全知识课程学习并通过考试获得安全考试证书，方能进入实验室学习。此外，还定期组织化学实验安全知识竞赛，竞赛内容涵盖实验室安全法规、化学品安全数据表(MSDS)解读、实验废弃物处理等方面，通过竞赛激发学生主动学习安全知识的热情。常态化开展化学泄漏应急演练，让学生学会如何正确佩戴防毒面具、如何使用灭火器、如何快速疏散等实际操作技能，从而提高他们在真实事故场景中的应对能力。

3 课程体系推广应用效果

3.1 学生的实践能力和创新思维培养成效显著

2015年至今，依托化学与分析测试实验教学示范中心平台，本科生通过国家/省/校级大学生创新性实验计划项目、化学综合设计实验课程及创新科研实践班等科研实践活动，共获批省级及以上的创新创业项目共计9项，发表论文共计11篇，获省级以上的学科竞赛奖励48项，144人次。

3.2 多维度的课程资源建设与应用成果丰硕

迄今为止，在中国大学MOOC、学银在线等平台上线化学综合设计实验、普通化学实验、无机及分析化学实验、分析化学(含实验)、仪器分析实验、无机化学A1实验、无机化学A2实验等实验课程资源7门，其中化学综合设计实验获批省级线上线下混合式一流课程和高阶课程，出版理论及实验教材10本，累积发行量超过15万余册，被超过20余所学校选做教材。在线实验课程累积选课人数10000余人，页面浏览量超1400万次，互动40万人次。

3.3 多渠道提升专职实验教师的业务水平，构建教学相长的师生共同体

通过助力专业实验教师学历提升、积极参与教育部“大学化学实验课程群虚拟教研室”建设，成功构建了全新的教研生态，实现了跨校优质教学团队和教学资源的共享。通过鼓励学生积极参与实验项目迭代升级，构建教学相长的师生共同体促进专职实验教师教研水平的显著提升，对进一步提升人才培养质量起到了重要的支撑作用。到2024年春季学期为止，专职实验教师学历层次显著提升，4人次获博士学位、1人次博士在读，2人次晋升职称，获校级教学竞赛获奖8人次，获批省、校及教育教改项目30项，获校教学名师1人次，教学质量奖10人次。获省级教学成果二等奖、三等奖2人次，校级教学成果特等奖、一等奖及二等奖17人次；发表教研教改论文28篇，出版理论及实验教

材10本, 联合制定标准2个。

3.4 实验安全教育新模式初具规模, 安全意识深入人心

实验课程MOOC资源(含实验安全教育模块)的选课人数1万余人, 页面浏览量1800万人次, 实验室安全考试系统已完成7511人次的学习考核。强制性的实验室安全准入制度, 为构建安全可靠的实验环境提供了有力的保障。

4 结语

依托学校“共建与区域产学研联合办学”特色, 坚持以学生为中心, 充分发挥地方高校区域优势, 构建了三阶三结合的化学综合创新实验课程体系, 为培养服务区域经济发展的创新性人才提供坚实的基础。为了适应新形势下教育数字化转型的实验教学新生态, 还应从数智新形态实验教材的编写、虚实融合实验项目的研发、人工智能AI赋能实践教学等角度对实验课程体系进行重构和迭代, 为我国拔尖创新性人才的自主培养提供有效的渠道和途径。

参 考 文 献

- [1] 政府工作报告. [2024-03-12]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202403/content_6939153.htm
- [2] 赵子龙, 黄晋, 刘艳岚, 宦双燕, 王玉枝. 大学化学, **2023**, *38* (10), 143.
- [3] 耿会玲, 高锦明, 尹霞, 周文明. 大学化学, **2021**, *36* (11), 2109041.
- [4] 史素青, 李安阳, 和媛, 李剑利, 栾新军. 大学化学, **2024**, *39* (6), 42.
- [5] 郭玉鹏, 吕中元, 孙俊奇, 徐家宁, 宋志光. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (14), 8.
- [6] 刘红云, 邵娜, 欧阳津, 那娜. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (16), 16.
- [7] 童程霞, 屈学俭, 闫瑾, 范勇, 魏士刚, 宋志光, 马强, 朱万春, 郭玉鹏. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (14), 134.
- [8] 张忠涛. 教育家, **2022**, No. 13, 17.
- [9] 王志兵, 王哲, 王宇超, 杨国程, 孙国英, 敖玉辉. 化工高等教育, **2022**, *39* (1), 108.
- [10] 着力构建高质量高等教育体系的“一二三四+N”主要任务. [2024-04-29]. <http://education.news.cn/20240430/658be1478c9e4778bbaa5c9174c3d175/c.html>
- [11] 唐业仓, 凌山, 方臻. 大学化学, **2024**, *39* (7), 188.
- [12] 章文伟, 芦昌盛, 淳远, 俞寿云, 朱成建. 大学化学, **2022**, *37* (2), 2108092.
- [13] 郭明, 朱寅帆, 郭建忠, 吴荣晖, 史林芳, 杨雪娟. 化学教育(中英文), **2020**, *41* (22), 73.
- [14] 郑会勤. 化学教育(中英文), **2017**, *38* (14), 10.
- [15] Luo, N.; Chen, C.; Yang, D. M.; Hu, W. Y.; Dong, F. Q. *Appl. Catal. B-Environ.* **2021**, *299*, 120664.
- [16] 霍冀川. 化学综合设计实验. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [17] Hu, W. Y.; Li, H. B.; Zhong, G. Q.; Yang, D. M.; Jiang, Q. Y.; Zhang, H.; Deng, Q. L. *J. Chem. Educ.* **2023**, *100*, 4025.
- [18] 朱平平, 邵伟, 姚奇志, 郑媛, 李婉, 李玲玲, 张万群, 查正根, 关明, 白希, 等. 大学化学, **2023**, *38* (10), 37.