

“认知体验-固本强基-前沿创新” ——复旦大学化学实验课程体系的建设和实践

刘莎莎, 刘永梅, 李有琴, 王娟, 孙立森, 张晋芬, 高翔, 孙兴文*

复旦大学化学系, 化学国家级实验教学示范中心(复旦大学), 上海 200433

摘要: 化学国家级实验教学示范中心(复旦大学), 把培养一流本科生作为坚定目标和不懈追求, 广泛吸收国内外先进的教育教学理念, 聚焦国家社会对人才的需求, 增强课程体系化建设, 深化内涵, 拓展外延, 经过多年教学探索、建设和实践了“认知体验-固本强基-前沿创新”的进阶化学实验课程体系。在国家“教育数字化”战略发展方向, 持续推进数字化教育资源, 践行创新培养, 优化和强化示范平台建设, 实现中心的可持续发展。

关键词: 认知体验; 固本强基; 前沿创新; 数字化教育; 可持续发展

中图分类号: G64; O6

“Cognitive Experience-Strengthening Foundation-Frontier Innovation”: Construction and Practice of the Chemistry Experimental Curriculum System for Fudan University

Shasha Liu, Yongmei Liu, Youqin Li, Juan Wang, Lisen Sun, Jinfen Zhang, Xiang Gao,
Xingwen Sun*

National Demonstration Center for Experimental Chemistry (Fudan University), Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

Abstract: National Demonstration Center of Experimental Chemistry (Fudan University), has built the Experimental Curriculum System of “Cognitive Experience-Strengthening Foundation-Frontier Innovation”. The center has always aimed at cultivating first-class undergraduates and continuously absorbed advanced educational concepts from both domestic and foreign sources. Focusing on the needs of the country and society for talents, we have strengthened the systematic construction of the curriculum, and expanded its scope, enhancing the systematic construction of the curriculum. Aligned with the national “education digitalization” strategy, the center promotes digital educational resources, practices innovative training, and optimizes the construction of demonstration platforms to achieve sustainable development.

Key Words: Cognitive experience; Strengthening foundation; Frontier innovation;
Digital education; Sustainable development

化学国家级实验教学示范中心(复旦大学)(以下简称“中心”)成立于1998年8月, 1999年通过了上海高校基础课教学实验室地区评估, 2007年获上海市市级实验教学示范中心建设单位, 2008年被批准为国家级实验教学示范中心建设单位, 于2012年通过验收。中心建设初期得到了“211工程”、

“985工程”专项建设经费和“国家基础科学人才培养基地基金”的大力支持，实验室硬件设施得到大范围改造，实验条件得以明显改善，中心教师积极投入新一轮教学改革，提升教学质量^[1-5]。

2017年，复旦大学率先提出建设“一流本科”，并启动实施“一流本科教育提升行动计划”，主动对接国家战略需求的复合型创新人才培养，实施推进新的“2+X”本科教学培养方案，在夯实个人发展基础上，提供专业进阶、跨学科发展、创新创业等多种路径，更好地为学生创造专兼结合、互相贯通的多元发展空间。化学系“以本为本”，贯彻“厚基础、宽口径、重能力、求创新”的培育特色，坚持面向学科前沿和以服务国家重大需求为引导，实施个性化培养，致力培养具有扎实的化学专业基础、良好的科学素养和创新意识，能从事化学科学基础研究和多元发展的复合型领军人才。化学是一门以实验为基础的学科，实验教学在培养学生实践创新能力、发现和解决问题的能力上发挥着重要的作用。为提升国家人才培养的支撑力，落实学校人才培养理念，学校在2018年对实验中心投入专项资金进行硬件的修缮、升级和仪器的购置升级，使得复旦大学化学实验中心在新形势下的育人能力得到全面提升。

中心依托复旦大学化学学科建设开展实验教学和改革，坚持以培育具有家国情怀，具有宽广的人文、社会和自然科学基本理论和知识，具备良好科学素养和创新实践能力的复合型领军人才为目标，借鉴和吸收国内外化学实验教学的先进理念，坚持“精选实验内容、改进训练方法、加强能力培养、注重创新精神”的原则，进一步完善实验课程体系，提升教学质量，匹配学校的双一流建设^[6-9]。经过近十年的探索和实践，围绕着人才培养不同阶段的需求，充分结合复旦大学人才培养实际，通过“认知体验-基础训练-创新融通”三层次架构实验教学体系，建设完成并实践了“认知体验-固本强基-前沿创新”的复旦大学化学实验课程体系，这一教学体系荣获2022年上海市优秀本科教学成果一等奖。

1 示范中心硬件设备建设与发展

1.1 教学质量评价和保障体系建设

1.1.1 教学质量评价

实验课程与理论课统一接受学校评教系统的考核，实现完全小班化教学，所有班级规模最大不超过12位学生，有一名教师和一位助教一起授课指导，教学完成后由学生对指导教师和课程进行双盲评价。除此之外，化学系定期组织师生座谈，就课程设置思路和教学理念，以及学生学习收获的效果进行探讨，更好地为教与学的和谐发展努力。实验中心开设课程的学生评价长期整体处以全系课程的前50%，绝大多数课程的学生评价一直稳居前20%，这个成绩获得是学生对任课教师投入的高度认可，非常不易。

1.1.2 质量保障体系建设

为了保证课程体系高质量运行，实验中心一直保留了优秀的教学传统，如以课程团队为教学组织的集体备课和集体磨课制度，新任教师申请面试制度、试讲及帮扶制度；复旦大学化学系“本科课程建设小组”，对课程改革和教师教学能力进行监督和审查，以保障高水平教师队伍的发展(见图1)；复旦大学教师发展中心也会组织一些针对性培训，提升实验教师的授课能力；复旦大学校级督导听课督导、中心反馈、教师提升制度，使得质量保障体系闭环。

1.2 基础设施建设情况

2018年实验教学楼大规模改建，实验室面积扩至约6200 m²，实验室70间。值此契机，在“双一流”建设支持下，更新一批仪器设备用于教学研究与改革，为“认知体验-固本强基-前沿创新”的复旦大学化学实验课程体系的达成提供了根本性保障。自2018年起中心拥有设备2160台，设备总值2877万元，后续平稳发展。2019年起，为适应国家战略需求，大力发展新工科的学科发展，化学系新设能源化学专业，并持续建设能源化学实验课程。2022年，能源化学实验室改建完成，实验室增加6间，面积扩至6346 m²。



图1 本科课程建设小组纳新评课会和评教调研

2022年11月，国家启动扩大投资专项计划，实验中心获得近千万专项资金支持进行教学设备和仪器的更新。新购置仪器126台套，设备总值增至3761万元，设备增至2782台，保障包括化学、能源化学、高分子、材料化学、药学、医学、生物及其他相关专业在内的化学实验教学的需要及教学研究和发展的需要。

1.3 数字化教学资源建设

2021年实验中心以承办“微瑞杯”第二届全国大学生化学创新实验设计竞赛华东赛区初赛为契机，建立独立竞赛网站的同时改版示范中心网站，推进多媒体资源，虚拟仿真实验项目和线上课程设计和制作，如视频、教学资料等教学内容，以及相关辅助性学习资源的建设，目前中心在教务处本科教学楼群改造项目的支持下，投入使用二套数字信息化智能化教学管理系统(如图2所示)，使仪器设备的预约管理、教务同步、网络管控、可视化管理及实验教学与实验室管理更加一体化、智能化。为学生的创新实验提供更好的条件，中心的软硬件条件和信息化水平得到显著提升。

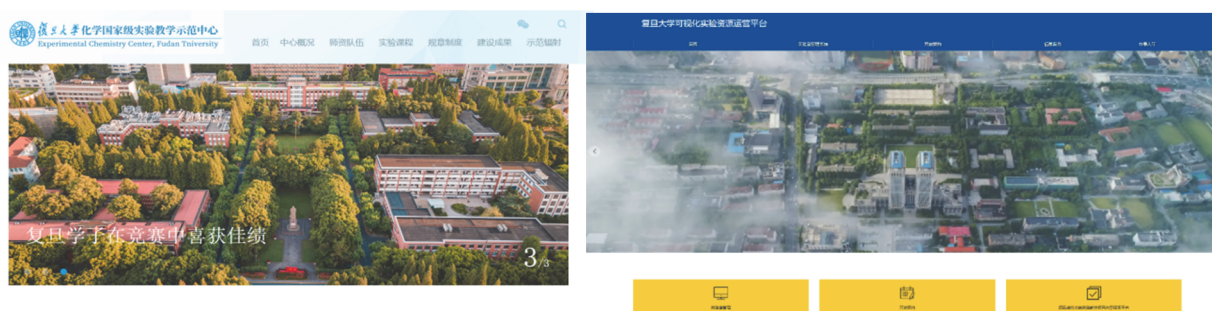


图2 中心网站(左)和复旦大学可视化实验资源运营平台(右)

1.4 安全管理体系建设

中心推行科学的实验室管理制度，借助信息化资源的优势，对门禁管理、大型仪器管理、人员管理、危险化学品管理实现信息化。楼内安装的门禁、监控、特殊气体报警装置和消防报警系统，均与保卫处联网，为有毒有害气体的处理专门设计尾气吸收塔，基础设施安全性大大提升。

中心高度重视实验室安全，始终将安全放在首位，强化师生的安全防护意识。严格实施实验室安全考试准入制度，与“实践安全第一课”的安全教育培训机制。

2 优化管理机制，践行创新培养

2.1 管理制度规范化，运行机制一体化

化学国家级实验教学示范中心(复旦大学)根据教高厅〔2016〕3号文件规范管理。中心的规范运行和持续发展建立在由复旦大学各职能部门的监督管理，以及化学系和中心的制度规范之上，逐步形成一体化的运行机制。

示范中心实行主任责任制，现任主任孙兴文教授于2019年高翔教授退休后被聘任负责中心全面工作。实验中心2022年10月依据示范中心管理办法完成第二届教学指导委员会(简称教指委)的聘任。实验中心运行依据学校健全的管理制度，经费预算采用与科研项目一致的管理办法，呼应了对示范中心发展规划的前瞻性要求。在队伍建设方面，实验中心依据管理办法组建教师队伍保质保量完成教学任务。化学系于2022年针对教师队伍新成立“课程建设小组”，小组和系教指委共同审核吸纳优秀青年人才加入教学队伍，为高质量研究型实验教学把关。对于实验技术支撑队伍，复旦大学于2021年修订“高级职务聘任实施办法”，明确了实验技术人员的晋升通道，激发实验技术人员的内在潜力和动力，更主动地进行教学研究。实验室安全管理遵循资产与实验室安全管理处的实验室和危险化学品管理规定和化学系的实验室安全规范。中心也制定了一系列化学实验教学实验室的安全管理制度，并于2022年11月通过了“化学实验教学示范中心开放实验室使用管理办法(暂行)”，为科普活动和创新实践等的安全开展保驾护航。综上所述，实验中心近年逐步建立和健全了规范管理制度，形成运行机制自上而下的一体化，促进了中心的稳步健康发展。

2.2 基础设施建设推动创新人才培养

2018年化学实验教学大楼大规模改建，“双一流”建设下的仪器设备采购等契机使我们对实验中心未来发展进行了详细的规划。中心以培养创新人才为目标，加快教学改革，推进教学研究，加强队伍建设。据此，实验中心培育了系列专业进阶实验课程，如“物理化学实验(下)(H)”荣誉课程和“探究性仪器分析实验”，并开设创新实践类实验项目，为本科生科学研究和创新实践能力训练提供支撑平台。为了适应国家战略型创新人才的多元化发展，将科学前沿理念和思维传递给学生，实验中心引进学术带头人作为课程组负责人，同时引进大批青年人才作为实验指导教师，为实验教学队伍注入了新鲜血液和创新动能^[10-12]。实验技术人员则积极进行教学研究，开发基于设备、立于经典、研于创新的教学研究项目^[13-22]。2018-2022年间，实验中心承担了25项教学改革项目，发表教学论文20篇。

3 “认知体验-固本强基-前沿创新”——复旦大学化学实验课程体系的建设和实践

3.1 实验课程体系的建设和实践

实验中心始终把落实培养一流本科生作为坚定目标和不懈追求，秉承我校“宽口径、厚基础、重能力、求创新”的办学理念，坚持“精选实验内容、丰富教学方法、加强能力培养、注重价值导向”的原则，广泛吸收国内外先进的教育教学理念，聚焦国家社会对人才的需求，增强课程体系化建设，深化内涵，拓展外延，经过十余年的教学实践，打造和重塑了“认知体验-固本强基-前沿创新”的复旦大学化学实验课程体系(见图3)。

“认知体验”课程体系首先针对通识教育需要，建成通识核心课程“化学与人类”和“化学与中国文明”实践教学内容。其次针对提升公众认知需求，开展了系列实践教学如面向复旦全体学生的科普活动“新元素节”，面向上海市中学生的科研见习“步青计划”，面向中小学生的“化学嘉年华”等，使公众在实践体验中，树立尊重科学、客观公正的价值观。

“固本强基”是该成果的核心主体，针对自然科学和医学大类学生化学实践基本操作技能需求，开设“普通化学实验”和“有机化学实验”；针对生命科学相关专业学生对交叉思维的科学素养训练需求，开设“有机化学实验”和“分析化学实验”，进行个性化输出；针对化学类专业学生的基本操作和综合实践能力的培养需求，开设“无机化学与化学分析实验”“合成化学实验”“仪器分

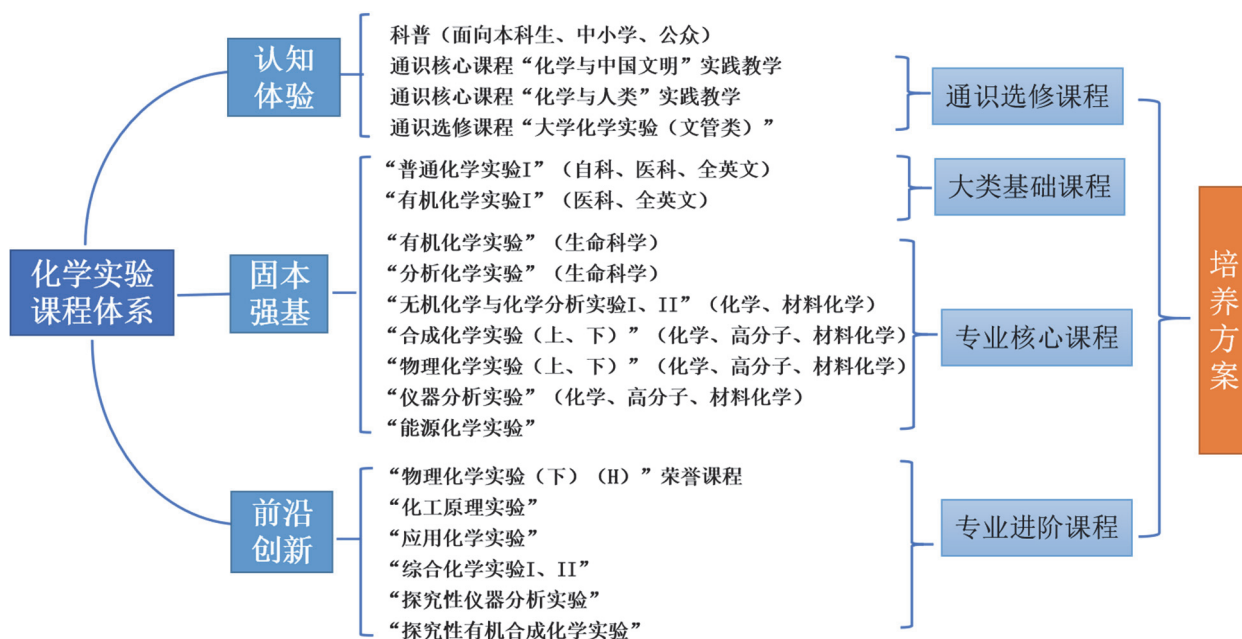


图3 化学实验课程体系示意图

析实验”“物理化学实验上、下”，进行系统专业的实践训练；针对新工科专业建设及国家在能源化学领域的专业人才需求，建设全新的“能源化学实验”，培养学生严谨求实的科学精神。

“前沿创新”是该成果的强化创新阶段，针对拔尖及强基学生对化学学科前沿认知提升、创新元素积累的需求，将前沿研究引入实践教学，孵化出多门探究型、创新型实验课程（“物理化学实验（下）（H）”“探究性仪器分析实验”“探究性有机合成实验”），增强学生实际运用所掌握的基本原理和方法的能力。建设基于化学实验教学中心大平台下的开放实验室，涵盖个性化、体验式以及创新研究性实验，强化学生的动手能力、科学思维能力的培养，鼓励学生勇攀科学高峰，培养学生勇担时代大任的担当意识。不少学生经过在实验中心实验课程分阶段的实践能力培养后，掌握了科学研究的基本能力，申报复旦大学本科生学术研究资助计划(Fudan Undergraduate Research Opportunities Program, 简称FDUROP)，如箬政、望道，曦源等课题研究，开展课外学术实践，进一步提升自己的学术创新能力，为未来的科学研究道路奠定坚实的基础。

3.2 教学研究与可持续发展

3.2.1 恪守立德树人根本，开展一流课程建设

中心恪守立德树人原则，坚持推进课程改革创新，鼓励教师积极开展理论研究和实验探索，以教学质量为导向，开展一流课程建设，匹配多元多方位发展的人才培养范式。

孙兴文教授的通识核心课程“化学与中国文明”，依托中心资源建设课程中的实践部分，课程先后被评为上海市重点建设课程和上海高等学校一流本科课程(线下课程, 2022)。“普通化学实验”，2007年被列为校级精品课程，2020年再次入选校级重点课程建设项目，2022年获批上海高校市级重点课程^[23-25]。团队致力于加强课程思政教育，激发学生的学习兴趣，积极探索线上线下混合教学模式，融合学科前沿及跨学科元素，打造面向不同专业有特色的线上线下课程内容及教材建设。2019年“有机化学实验”“仪器分析和物理化学实验”两门实验课程被列入上海市重点建设课程，2021年“物理化学实验”被认定为上海高等学校一流本科课程(线上线下混合课程)(见表1)。

“合成化学实验”作为教改力度最大的一门课，也被立项为复旦大学线上线下课程。围绕该课程建设，实验中心搭建“摄影棚”，化学系积极调配资源，团队老师自行摄影、视频编辑、脚本编辑

制作科学实验视频。2021年开始,多位教师选取有机化学学科最新科研成果,针对拔尖学生对高阶实验课程的需求,进行教学改革和实践,在基础实验室和学生一起重现科学研究过程,这一过程让学生收获到更多的科研思维、创新实践能力和科研品质的培养,为他们在硕博阶段开展科研奠定了坚实的基础,践行了分级教学和因材施教。除此之外,在建设上述上海市重点课程和虚拟仿真实验项目的基础上,中心鼓励更多的师生对其它二级学科实验,如分析化学实验,能源化学实验等课程不断地进行创新性建设和改革。

表1 2019–2023年中心实验课程所获荣誉

序号	荣誉	项目	负责人
1	2022年度上海高等学校一流本科课程 (线下课程)	化学与中国文明	孙兴文
2	2022年度上海高校市级重点课程	普通化学实验	石梅
3	2021年度上海高等学校一流本科课程 (线上线下混合式课程)	物理化学实验	刘永梅
4	2022年度上海市高校重点建设课程	化学与中国文明	孙兴文
5	2019年度上海高校市级重点课程	仪器分析和物理化学实验	刘永梅
6	2019年度上海高校市级重点课程	有机化学实验	林阳辉
7	2019年度上海市级虚拟仿真实验教学项目	高通量功能蛋白质组学虚拟仿真实验	樊惠芝
8	2019年度上海市级虚拟仿真实验教学项目	表面催化虚拟仿真实验-银表面甲醇选择氧化及微观反应通道模拟	刘永梅

3.2.2 深化课程建设,推动教材建设

中心围绕人才培养目标和要求,不断对课程体系和教学内容进行改革,吸纳科研型领军人才进入教学队伍,促进创新培养。目前中心有固定人员92名,其中实验教学专职教师11人,兼职教师70人,均为高级职称,博导32位;实验技术人员11人,博士4名,硕士5名,技术岗位高级职称3名。中心现已形成一支中青年高级职称教师为主体的实验教学团队,能够适应学术创新型数字化教育模式下的实验教学高水平人才队伍(见图4)。

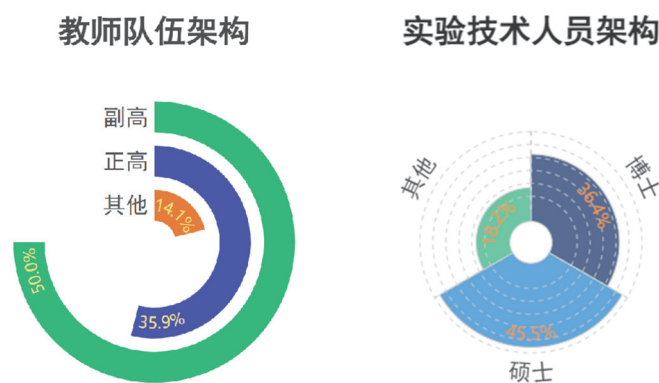


图4 实验中心教师队伍(左)和技术人员架构(右)

中心组建二级学科教研团队,定期集体备课、研讨课程设计,完善助教制度,发挥好“传帮带”作用,开展协作型教研。激发技术人员潜力,参与教研,协作共享,以科研推动教学实践,立足教学实际,促进教学改革^[1]。

2021年院系组织高水平教师队伍启动系列实验教材的编写修订工作。新教材将着眼于不同受众群体，分层次分类别选取实验项目，注重学科交叉，体现时代前沿性和思想性，学科面临的实际问题 and 国家战略需求相结合，力争建设复旦特色的高质量系列实验教材。

3.2.3 以点代面，持续发展

在前述课程改革的合力之下，“‘认知体验 固本强基 前沿创新’——复旦大学化学实验课程体系的建设和实践”荣获2022年上海市优秀教学成果一等奖。该课程体系仍在持续建设和实践(如科普资源库的建立、创新实验开发、能源化学和化学生物学实验的设计规划等)，以提高教学质量，实现多元创新型人才培养目标^[26-30]。

4 结语与展望

中心多年沉淀，建设“认知体验-固本强基-前沿创新”的复旦大学化学实验课程体系，经过不断地实践与完善，形成开拓创新的可持续发展示范平台。依托“大学化学实验(文管类)”和“普通化学实验”，建立和整合科普资源库，建设科普实践基地和资源开放平台(见图5)。目前“大学化学实验”资源库已初步建立，相关教学资源已挂在示范中心网站供师生查阅；“普通化学实验”协同实验教材建设，优化和提升科普资源库的分层次建设，进行内容和大纲的更新。



图5 中心网站的科普资源库(左)和“合成化学实验”教学视频资源(右)

基于中心数字化资源的融通，大力开展教学研究，储备创新型实验项目，并尝试产教融合，多方学习，开发创新创业实践项目。基于科普资源库的建设，和现暂行的开放实验室使用管理办法，筹备开放平台工作小组，拟定规范流程，在课程组负责人、课程主管、实验技术人员三方协作下逐步开放示范平台，规范有序地为有志接触化学和投身化学的学生提供中心的特色支持和科创训练。

致谢：感谢复旦大学化学系、教务处、“双一流”建设办公室、财务与国有资产管理处、资产管理处、实验室安全管理中心等部门长期以来的政策和经费支持！感谢中心全体同事的共同努力！

参 考 文 献

- [1] 雷杰, 高翔, 马林, 张晋芬, 庄继华. 大学化学, 2012, 27 (1), 16.
- [2] 王辉, 王全瑞, 高翔. 大学化学, 2012, 27 (1), 42.
- [3] 张道, 牛国兴, 高翔. 大学化学, 2012, 27 (3), 41.
- [4] 牛国兴, 高翔, 徐华龙. 大学化学, 2012, 27 (4), 27.

- [5] Chen, X. Y.; Sun, L. S.; Gao, X.; Sun, X. W. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92* (4), 714.
- [6] 孙兴文, 高翔, 匡云艳. 大学化学, **2019**, *34* (10), 101.
- [7] 雷杰, 赵滨, 樊惠芝, 刘莎莎. 大学化学, **2019**, *34* (11), 93.
- [8] 雷杰, 包慧敏, 方彩云, 樊惠芝. 大学化学, **2020**, *35* (12), 13.
- [9] 刘永梅, 张晋芬, 孙立森, 戴维林, 李晔飞. 大学化学, **2018**, *33* (10), 18.
- [10] 王晓康, 李昊昆, 邹思远, 孙兴文. 大学化学, **2020**, *35* (4), 27.
- [11] 胡诗雨, 武楷楦, 叶子豪, 刘永梅. 大学化学, **2023**, *38* (8), 145.
- [12] 陈邦彦, 程昕雨, 周侗, 孙立森, 刘永梅. 大学化学, **2022**, *37* (7), 2111010.
- [13] 孙立森, 刘莎莎, 张晋芬, 王琳, 刘永梅. 大学化学, **2020**, *35* (12), 94.
- [14] 李会香, 刘莎莎, 雷杰. 大学化学, **2021**, *36* (9), 2107023.
- [15] 刘莎莎, 唐钢锋, 李会香, 雷杰. 化学教育(中英文), **2021**, *42* (16), 65.
- [16] 刘莎莎, 李会香, 雷杰. 大学化学, **2021**, *36* (2), 2001040.
- [17] 陈文学, 刘莎莎, 李会香. 大学化学, **2021**, *36* (8), 2002045.
- [18] 刘莎莎, 孙立森, 李会香, 雷杰. **2020**, *41* (6), 27.
- [19] 刘莎莎, 李会香, 樊惠芝, 雷杰. 大学化学, **2020**, *35* (2), 64.
- [20] 李会香, 雷杰, 孙兴文, 刘莎莎. 大学化学, **2020**, *35* (12), 49.
- [21] 辜敏, 岳斌. 大学化学, **2020**, *35* (1), 92.
- [22] 辜敏, 岳斌, 贺鹤勇. 化学教育(中英文), **2020**, *41* (22), 61.
- [23] 钱林平, 李进之, 郑耿峰, 沈建中. 大学化学, **2018**, *33* (2), 60.
- [24] 张茜, 吕希蒙, 沈建中, 钱林平. 大学化学, **2013**, *28* (6), 33.
- [25] 王娟, 杨笑迪. 大学化学, **2016**, *31* (11), 37.
- [26] 孙立森, 郝永梅, 黄镇, 刘永梅. 大学化学, **2024**, *39* (2), 52.
- [27] 刘永梅, 孙立森, 黄镇, 涂涛. 大学化学, **2024**, *39* (2), 67.
- [28] 辜敏, 熊桢文, 刘丽玲, 孔继烈, 方雪恩. 大学化学, **2024**, *39* (4), 87.
- [29] 雷杰, 吴性良. 化学教育(中英文), **2023**, *44* (20), 15.
- [30] 李伟红, 雷杰. 大学化学, **2023**, *38* (6), 82.