

化工原理实验与前沿科研成果相融合的探索

张海洋¹, 董延召¹, 李豪杰¹, 郭瑞丽¹, 张志成^{2,*}, 武江洁星^{3,*}

¹ 石河子大学化学化工学院, 新疆 石河子 832003

² 天津大学理学院化学系, 有机集成电路教育部重点实验室, 天津市分子光电科学重点实验室, 天津 300072

³ 天津大学海洋科学与技术学院, 天津 300072

摘要: 基于化工原理实验教学实践经验, 将前沿科研成果融入其中, 设定专业特色实验、探究研讨实验、设计原创实验, 以期形成丰富的实验资源、特色课程和教材及支撑创新人才的培养。在学生接触到科研实验的同时, 能够深化所学的化工原理理论知识, 开拓前沿科学学术视野, 激励其自主学习, 产生浓厚的科研兴趣, 提高创新能力。

关键词: 化工原理实验; 科研成果; 教学资源; 特色课程; 人才培养

中图分类号: G64; O6

Exploring the Integration of Chemical Engineering Principle Experiment with Cutting-Edge Research Achievements

Haiyang Zhang¹, Yanzhao Dong¹, Haojie Li¹, Ruili Guo¹, Zhicheng Zhang^{2,*}, Jiangjiexing Wu^{3,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China.

² Tianjin Key Laboratory of Molecular Optoelectronic Sciences, Ministry of Education Key Laboratory of Organic Integrated Circuit, Department of Chemistry, School of Science, Tianjin University, Tianjin 300072, China.

³ School of Marine Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China.

Abstract: This paper builds on practical experience in teaching chemical engineering principles by incorporating cutting-edge research achievements into the curriculum. It outlines the development of specialized experiments, exploratory and discussion-based experiments, and original experiment designs to create rich experimental resources and distinctive courses and textbooks that support the cultivation of innovative talents. By engaging in research-oriented experiments, students can deepen their theoretical understanding of chemical engineering principles, expand their academic horizons in cutting-edge research, and foster a strong interest in scientific inquiry. This approach enhances their independent learning capabilities and improves their innovative abilities.

Key Words: Chemical engineering principle experiment; Scientific research achievement; Teaching resource; Characteristic course; Talent cultivation

教学与科研是高等学校两项主要的工作, 教学是每一位教师应做好的本职工作, 科研是在教学工作完成的基础上的延伸与扩展, 两者之间相互关联、相互促进^[1,2]。一方面, 教学工作为科研工作提供人才资源和实践平台, 检验前沿科研成果的学术性和实践意义, 是前沿科研成果传播的主要途径之一。另一方面, 前沿科研成果为教学工作提供前沿学术知识和先进理论知识, 保证教学工作内

收稿: 2024-05-07; 录用: 2024-07-29; 网络发表: 2024-08-14

*通讯作者, Emails: zczhang19@tju.edu.cn (张志成); wjjx1987@tju.edu.cn (武江洁星)

基金资助: 2024年教育教学改革项目(0903040205); 国家自然科学基金地区项目(22068031); 国家自然科学基金面上项目(22378308)

容的先进性和创新性, 是提升教师队伍素养和人才培养质量的动力和源泉^[3-5]。

将前沿科研成果融入化工原理实验, 形成本科实验教学内容, 不但为实验课程提供了更新的知识, 而且也使学生了解到最前沿的学术成果, 这是建设一流本科专业的一个有效途径。石河子大学在2017年/2022年“化学工程与技术”两次入选国家“双一流”建设学科, 其中化学工程与工艺、应用化学专业通过了国家工程教育认证。化工原理实验是化工类人才培养的一门专业核心实验课程, 工程教育专业认证对实验课程提出了严格的要求, 要求学生在学习这门课程的过程中应掌握化工单元操作的基本原理, 巩固化工原理所学的理论知识, 培养严谨的科学态度, 强化解决工程问题的能力。为了达到这一要求, 将前沿科研成果引入到化工原理实验本科教学过程, 使得化工原理实验与前沿科研成果相融合, 这不仅丰富更新了教学资源, 而且拓展了学生们对学术知识的视野, 提升了学生的创新能力和科研潜力, 为培养化工创新型人才奠定了扎实的基础。

目前, 高等学校中教学工作与科研工作存在尚未有效融合这一问题, 前沿科研成果融入本科实验课程的内容较少, 导致科研成果不能很好地转化为教学资源, 较难为教学工作服务^[6-8]。针对这一问题, 本文对化工原理实验与前沿科研成果相融合进行探索, 通过多方式、多模式的策略进行前沿科研成果转化为化工原理实验的本科教学资源的实践, 以期实现教学质量的提升和创新型化工人才培养的提质。

1 化工原理实验与前沿科研成果相融合的探索

传统化工原理实验存在的主要问题是多以验证性实验为主, 实验教学过程中存在着实验内容陈旧, 学生学习兴趣不高等。在这种情况下, 如何提高学生对本专业的学习兴趣, 发挥化工原理实验的教学功能是亟需考虑的。随着科学技术的不断发展, 将化工原理实验与前沿科研成果相融合是目前非常可行的一个办法^[9-12]。近年来, 化工基础课程组的全体任课教师、实验员都积极开展科研工作, 逐渐形成了自己的科研成果, 常见的科研成果类型如表1所示。教师们积累的化工学科发展最新前沿科研成果极大拓展了他们的学术视野, 为更新化工原理实验教学大纲和实验内容积累了丰富的素材。教师将前沿科研成果讲授给学生进行实践, 从而开拓了学生们的眼界, 激发学生的学习兴趣。

表1 科研成果类型

成果类型	定义	表现形式	评审原则
理论性成果	对已有理论和方法的发展	学术论文和专著等	强调在学术上有新发展、提供新知识
应用性成果	一般是为解决某一科技问题而取得的具有一定创造性、先进性和实用性的成果	论文和实物等	强调新颖性、先进性和实用性
发展性成果	是在应用性成果基础上加以改进、补充、进一步完善成果	新材料、新产品、新设计、新工艺等	强调是否解决生产中的工程技术问题, 兼顾可行性和创造性
阶段性成果	指重大科技项目研究进展中有重要突破、有独立应用价值或学术意义的成果		

1.1 前沿科研成果转化成专业特色实验

根据前沿科研成果的特点, 将其转化成专业特色实验, 化工类专业背景教师的前沿科研成果较适合与化工原理实验教学相融合, 为化工类专业人才的培养提供服务。专业特色实验的引入将提高学生所学专业知识的认知深度, 体验所学专业知识在今后的工作学习中具有非常重要的实践意义。例如, 采用不同方法提取管花肉苁蓉中苯乙醇苷类化合物实验, 管花肉苁蓉为列当科肉苁蓉植物, 是名贵的补益中草药之一, 素有“沙漠人参”和“药中珍品”的美誉。管花肉苁蓉主产于新疆南疆

地区,是一种沙漠寄生植物。数据显示,近年来新疆和田地区种植管花肉苁蓉总产量超过2万吨,占全国肉苁蓉产量的70%以上。管花肉苁蓉的粗提物中主要含有苯乙醇苷类、多糖类、寡糖类、黄酮类、多酚类、蛋白质等成分,其中苯乙醇苷类化合物是管花肉苁蓉的最主要有效成分。研究显示,苯乙醇苷类化合物具有补肾阳、抗氧化、抗肿瘤、抗衰老、增强记忆力等功效,在医药、保健、食品等应用领域有广阔的开发应用前景。在实验过程中,带领同学们分别使用液液转盘萃取实验装置、实验室自建的超声辅助提取(UAE)实验装置和微波辅助提取(MAE)实验装置,以及本科学研究团队负责人与上海弗鲁克科技发展有限公司联合研发的高剪切均质提取(HSHE)实验装置,对管花肉苁蓉中苯乙醇苷类化合物的分离提取进行了研究。结果表明HSHE法优于UAE法和MAE法,在乙醇浓度50%,提取温度70 °C,转速16000 r·min⁻¹,提取时间2 min,料液比1:9,提取周期1次的最佳提取工艺条件下,HSHE法的松果菊苷和毛蕊花糖苷的收率分别约为1.366%和0.519%,与MAE法相比,HSHE法所得的松果菊苷和毛蕊花糖苷分别相对增加了约20.52%和20.79%;与UAE法相比,HSHE法所得的松果菊苷和毛蕊花糖苷分别相对增加了约6.63%和7.41%。由此表明,HSHE方法具有最佳的分离效果^[13]。通过该实验,向同学们充分展示了在特定设计结构的定转子相互作用下所产生的高剪切力对于传质分离效果的影响,以及HSHE法分离提取新疆天然产物成分简便、快速、高效的优点。这也极大地提高了同学们主动参与化工原理实验的积极性,激发了学生对所学专业的热爱,激励学生积极主动学好专业知识,并利用自身所学的知识力争在今后的工作岗位上能发挥良好的实践应用效果,从而提升了学生们将所学的专业知识进行工程化应用的能力。同时,这一过程也有助于促进化工原理实验与前沿科研成果相融合,推动化工专业特色实验的建设和发展。

1.2 前沿科研成果转化成探究研讨实验

在化工原理实验授课过程中,可与教师科研课题相结合,让本科生自主自愿地选择相关的实验,充分尊重学生的意愿和探索兴趣。在此基础上,引导学生进行探究式学习实验,与同学们共同研讨科学研究实验的实验结果,分析实验数据,发现该科学研究实验中存在的问题,引导学生探究解决问题的多种方法和途径,最终得出有价值的实验结论。例如,我们进行了化工原理实验设备的更新,团队成员结合实验研究中遇到的问题,自主设计了实验设备的构造,将化工原理实验与前沿科研成果相融合,拓展开发了其实验功能。在流体流动综合实验中,首先让学生根据设备的结构参数、流体的物性参数等进行设计计算,并可根据自己的计算结果通过3D (three dimensions, 三维)打印技术打印出不同粗糙度的流动管道快接到管路系统中,拓展考察不同雷诺数(层流、过渡区、湍流)和相对粗糙度对摩擦系数和流体流动阻力的影响,培养学生设计优化能力。在精馏实验中,首先让学生根据设备的结构参数、分离物系的物性参数和平衡数据以及任务要求(进料量2.5 L·h⁻¹、易挥发组分塔顶组成X_D大于0.90、易挥发组分回收率大于95%等)等进行设计计算,引导学生通过3D打印技术打印出不同类型的塔板,并通过快接和伸缩件组装塔体,拓展考察不同塔板类型和塔板数对精馏分离效果的影响,要求对实验数据和结果进行分析讨论,培养学生的动手操作和逻辑思维能力。再比如,在液液萃取实验中,通过引导学生利用3D打印技术打印出不同类型的搅拌桨叶,拓展考察不同桨叶形式对萃取分析效果的影响,在提高学生主动动手参与化工原理实验的同时,培养学生的工程意识。而且,通过上述共同探究实验,一方面,可使得学生较早地接触科研实验活动,提升他们的研究和创新能力;另一方面,可验证或检验教师的科研成果,进一步促进师生共同研讨,从而实现化工原理实验与前沿科研成果相融合。教师与学生可能会对前沿科研成果转化成的探究研讨实验产生质疑或疑问,这需要对产生质疑和疑问的问题进行进一步探究和研讨,有可能会更新现有认知,并形成新的科研成果。这对于学生今后攻读研究生和从事项目开发研究都将有积极的促进作用。

1.3 前沿科研成果转化成设计原创实验

现有化工原理实验通常围绕实验计划任务内的内容开展,对于学生自选实验项目或学生参加科技竞赛类实验项目等是比较缺乏的。化工基础课程组教师主要从事与化工学科相关的科研工作,并积累了丰富的科研成果,他们利用这些前沿科研成果为同学们提供研究基础和平台,同时让未解决

的科研问题成为可供选题的范围。例如,在传热综合实验中,我们将目前在铁路、航空、精密电子等领域研究较热的三套热管引入到传热装置中,拓展考察不同纳米流体内工质、毫微尺度惰性颗粒(碳化硅、玻璃珠等)和工况对冷热流体间壁式传热性能的强化影响。在所研究的粒径范围(0.1–0.5 mm)和固含率范围(5%–20%)内,发现粒径及固含率存在中间最优值,最优固含率和最优粒径分别为10%和0.275 mm^[14–16]。实验结束后,通过对数据进行计算分析和对实验结果进行比较,引导培养学生设计方案解决工程问题的意识和节能意识。对于对科研项目有浓厚兴趣的同学,教师让其加入自己的课题研究小组,利用教师产出的前沿科研成果,挖掘与化工原理实验的对接口,开发具有化工专业相关的设计原创实验。为这部分同学提供实验所需的必要条件,鼓励本科生参加化工相关的科学竞赛、创新创业竞赛等活动,这将有利于教师较好地完成科研项目,同时也激发了学生的科研工作热情。在此过程中,教师将多年积累的科研工作资源作为化工原理实验内容讲授给学生,同时学生在学习和参与竞赛中实现前沿科研成果的转化。

2 化工原理实验与前沿科研成果相融合的实践

化工原理实验与前沿科研成果相融合的实践过程,是提升化工原理实验教学质量和培养学生创新能力的重要途径,前沿科研成果向实验教学内容转化的实践过程如图1所示。在实验过程中,鼓励学生探索前沿技术,如高剪切强化技术、热管技术、纳米材料等在化工中的应用等。通过实验,学生可以亲身感受前沿技术的魅力,增强对新技术的学习兴趣和探索欲望。化工原理实验与前沿科研成果的融合,为跨学科实践提供了广阔的平台。通过引入生物学、物理学、材料科学等其他学科的知识和技术,可以开发出更多具有创新性的实验项目,培养学生的跨学科思维和综合实践能力。在融合前沿科研成果的过程中,鼓励学生创新实验方法。例如,利用计算机模拟软件对化工过程进行模拟优化,或采用微型化实验技术进行实验,以减少试剂消耗和环境污染。另外,在学生毕业时,将每名学生在完成化工原理实验期间所设计打印的小部件,利用实验室的激光雕刻机打上学生的姓名、学号、标签,赠送于学生作为毕业礼物,进行人文关怀,培养学生的爱校意识和自豪感。

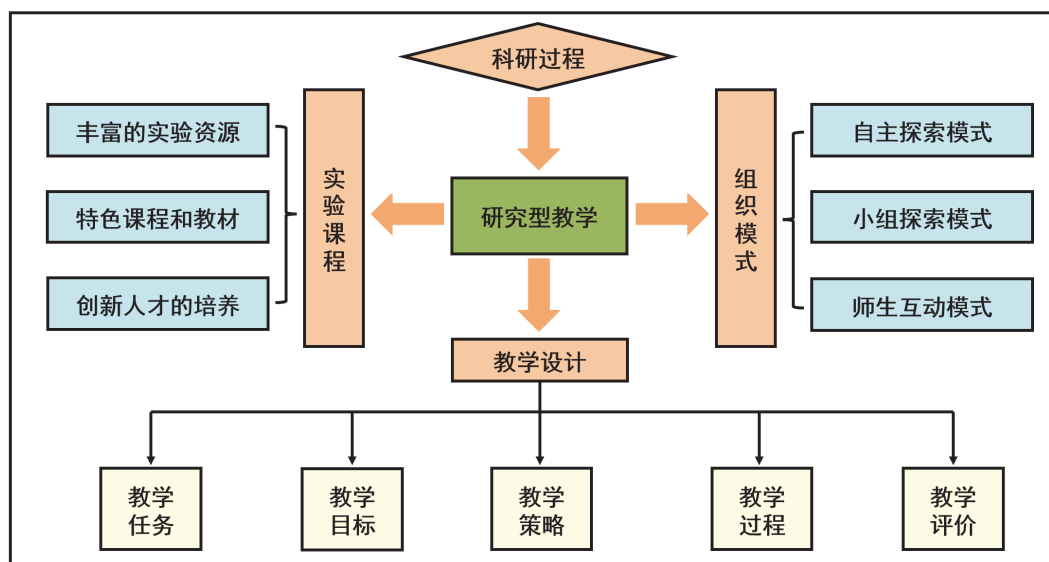


图1 前沿科研成果向实验教学内容转化的示意图

2.1 形成丰富的实验资源

为了支持学生的创新实践,需要提供丰富多样的实验资源,包括实验设备、材料、软件等,这些资源应该能够满足不同领域和层次的实验需求,以便学生能够根据实验设计自由选择和使用。化

工原理实验与前沿科研成果相融合有利于对科研工作和教学工作的资源进行整合。教学过程中,需对前沿科研成果不断进行分析、检验和应用等,将科学研究过程中不断形成的传热强化(如三套管热管换热)、传质强化(烟道气中SO₂的吸收脱硫、高剪切强化混合等)、动量传递强化(光滑管、粗糙管流体流动等),以及热质同传强化(电子级多晶硅生产过程的反应精馏等)等新方法、新技术引入到化工原理实验教学中,有效地为化工原理实验内容不断提供更新的实验内容,从而形成丰富的实验资源。与此同时,可建立多元化的实验教学平台、前沿科研成果平台,如超快及快速反应强化平台、连续强化混合化学平台、工程基础技能实训平台等,这些平台也可作为化工原理实验教学平台。同时,化工原理实验教学设备在未开展实验课程教学时,也可作为开展科研工作的设备,这将形成丰富的化工原理实验资源,并提高资源的利用率。

2.2 形成特色课程和教材

在教学过程中,化工原理实验课程一般使用的是教学大纲、课堂讲义和参考教材等,由于形成特色课程和特色教材难度较大,需要借助源源不断的新知识才能实现,这就离不开前沿科研成果相关的内容才能达成这一目标。在将前沿科研成果融入化工原理实验课程的实践过程中,随着每年授课内容的不断积累,前沿科研成果将形成特色课程和教材。例如,与经典内容教学相比,融入科研成果内容的化工原理实验课程已成为石河子大学的一门特色课程。同时,我们将利用自主设计的实验设备开展的化工原理实验内容与经典实验项目相融合,与塔里木大学联合主编的高等学校化工类专业新形态系列教材《化工原理实验》,已交由高等教育出版社出版,将在石河子大学和塔里木大学化学化工类专业试用,并随后推广使用。前沿科研成果在融入化工原理实验的过程中,可成为化工原理实验教材中系统性或补充式的内容,后续慢慢地固化成教师在授课过程中根据需求可随时选取实践运用的特色内容。这些内容的呈现将直观和快速地帮助学生理解化工原理的复杂理论知识,解决学生在专业知识学习过程中存在的问题,补充化工专业学科知识内容的空白。

随着社会的快速发展,知识更新速度非常迅猛。将前沿科研成果形成系统化的特色和教材,需要经过长期的编撰、不断的修改、严格的审核和排版校对等过程,特色教材的出版周期将潜移默化地增长了,同时也会产生前沿科研成果融入化工原理实验课程存在滞后性的问题。因此,在实践过程中及时地更新和完成实验内容编撰是形成特色教材的关键。

2.3 支撑创新人才的培养

化工原理实验与前沿科研成果相融合的实践过程中,主要围绕科研工作去进行知识的创新,通过人才培养去实现知识的传播。基于教师所研究的科研工作,将与化工原理实验内容相关的科研前沿动态进行调研分析并整理,精选典型性代表实验作为设计性实验教学内容,这有利于培养学生的探究精神,将有效提升创新人才培养质量。同时,还需要在实验中融合不同学科的知识和方法,通过化学工程、化工机械、材料化工、环境工程等跨学科融合,采取以下四项措施以培养高质量的创新人才。

(1) 跨学科融合教学设计:将化工原理的理论知识与实验操作紧密结合,让学生通过实验验证动量传递(流体流动综合等)、热量传递(光滑管、强化管、热管传热等)、质量传递(CO₂吸收解吸、烟道气脱硫等)理论,从而深入理解和掌握知识;引入工程应用的案例和实际问题,让学生通过实验设计和解决工程实际问题的过程,培养解决问题和创新的能力,拓宽学生的视野和思路。

(2) 开放式实验设计:结合教师的科研课题提供开放式的实验设计任务,让学生自主选择实验方法和方向,鼓励他们探索和尝试不同的解决方案;引入国际前沿的化工技术和研究成果,组织学生参与国际学术交流和竞赛,拓展他们的视野。

(3) 问题驱动式学习:设计具有挑战性的问题和项目,要求学生进行创新性的实验设计和解决方案的提出,激发他们解决问题的兴趣和动力;鼓励学生进行团队合作,通过讨论和交流分享想法和经验,相互激发创新思维,培养解决复杂问题的能力;引导学生在实验过程中进行反思和总结,分析实验结果及其背后的科学原理和工程应用,从而促进他们的思维深度和广度的提升。

(4) 导师指导与资源支持: 提供专业导师的指导和激励, 引导他们在科研和创新领域深耕, 提供先进的实验室设施和研究资源, 建立创新实验室或研究中心, 为学生提供充足的资源和平台开展创新实践, 为支撑创新人才的培养提供有力支持。

3 结语

通过设定化工原理实验中的专业特色实验、探究研讨实验、设计原创实验, 以期形成丰富的实验资源、特色课程和教材及支撑创新人才的培养。将化工原理实验与前沿科研成果相融合有利于实现教学工作与科研工作的相互促进, 且及时将前沿科研成果转化到化工原理实验教学过程中有利于形成良好的学术氛围, 可在实验中有效地培养学生的创新能力和实践能力, 激发学生们对专业学习的探索精神和创新精神。这不仅对实验教学质量的提升和创新型化工人才培养的提质有着非常重要的意义, 还能推动科研成果的转化和应用, 为化工行业的发展做出积极贡献, 从而推动社会的不断进步。

参 考 文 献

- [1] 刘妍, 王宇, 齐殿鹏. 大学化学, **2022**, *37* (10), 2205082.
- [2] 杨翠平, 丁慧萍, 侯进鹏, 李恺, 田维亮. 大学化学, **2024**, *39* (3), 178.
- [3] 陈鑫, 董亮亮, 涂国云, 张春芳, 白云翔. 大学化学, **2021**, *36* (11), 2105066.
- [4] 陈媛梅. 大学化学, **2021**, *36* (11), 2106049.
- [5] 周一恒, 严家明, 吴新忠, 任子晖. 实验技术与管理, **2020**, *37* (11), 230.
- [6] 韩用顺, 韦建超, 杨志全, 崔栋歌, 张东水, 孙湘艳. 当代教育理论与实践, **2022**, *14* (4), 123.
- [7] 薛峰, 朱珺, 王晟, 李明海, 居沈贵. 化工高等教育, **2023**, *40* (5), 104.
- [8] 冯雪峰, 丁忠伟, 王宇, 冯伟莹, 陈旭东. 化工时刊, **2023**, *37* (6), 96.
- [9] 孟玉兰, 肇启东, 曹晶晶, 张文君. 实验室科学, **2024**, *27* (1), 164.
- [10] 赵娟. 科教导刊, **2024**, No. 4, 109.
- [11] 管玉雷, 赵彬侠. 大学化学, **2023**, *38* (11), 48.
- [12] 张孟佳, 王晓达, 蔡国辉, 施小芳, 叶长燊, 李玲. 化工高等教育, **2023**, *40* (5), 111.
- [13] Pei, W. J.; Guo, R. L.; Zhang, J. L.; Li, X. Q. *J. OAC Int.* **2018**, *101* (4), 1.
- [14] Li, H. J.; Jiang, F.; Qi, G. P.; Zhao, P. L.; Jiang, T.; Li, N.; Chen, X. L.; Li, X. L. *Appl. Therm. Eng.* **2018**, *132*, 808.
- [15] Li, H. J.; Jiang, F.; Qi, G. P.; Li, X. L. *Powder Technol.* **2020**, *374*, 40.
- [16] Li, H. J.; Jiang, F.; Qi, G. P.; Li, X. L. *Powder Technol.* **2021**, *384*, 276.