

“理工与科教双融合”的化学化工专业实践教学体系改革探索 ——以沈阳化工大学为例

任保铁¹, 朱明昌¹, 孙亚光^{1,*}, 孙娜¹, 王康军², 刘蝓蝓², 丁获³

¹ 沈阳化工大学理学院, 沈阳 110142

² 沈阳化工大学化学工程学院, 沈阳 110142

³ 沈阳化工大学分析测试中心, 沈阳 110142

摘要: 针对传统化学化工专业实践培养体系存在的理论基础不牢、理论与实践脱节、知识技能与创新实践要求不匹配的问题, 提出了“新工科”背景下“理工与科教双融合”的实践教学改革思路。通过“理工融合”完善、夯实知识体系, “虚实结合”强化实验技能, “科教(产教)融合”提升实习实践水平, 探索适应社会需求和人才发展的实践教学体系建设模式, 为化学化工类创新与应用型人才培养提供了可参考的途径。

关键词: 化学化工类专业; 新工科; 实践教学; 教学改革

中图分类号: G64; O6

Exploring a Novel System of Practical Teaching for Chemistry and Chemical Engineering Specialties Using Binary Combinations of Theory-Engineering and Research-Teaching at Shenyang University of Chemical Technology

Baoyi Ren¹, Mingchang Zhu¹, Yaguang Sun^{1,*}, Na Sun¹, Kangjun Wang², Guoguo Liu², Fu Ding³

¹ College of Science, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China.

² College of Chemical Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China.

³ Center of Physical and Chemistry Test, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China.

Abstract: Presently, the practical teaching system for chemistry and chemical engineering students faces challenges such as a weak theoretical foundation, a disconnect between theory and practice, and a mismatch between knowledge and innovative skill application. To address these issues, a binary combination strategy integrating theory-engineering and research-teaching is proposed, aligning with emerging engineering education paradigms. This approach allows for a more comprehensive and reinforced knowledge system, achieved by merging theory with practice. Both real and virtual training methods are employed to enhance experimental skills. Furthermore, amalgamating scientific research with industry-focused education elevates the practical proficiency of students. Investigating this holistic approach to practical education, tailored to societal demands and talent growth, offers a more robust method for cultivating innovative and skilled graduates in the fields of chemistry and chemical engineering.

Key Words: Chemistry and chemical engineering majors; Emerging engineering education; Practical teaching; Educational reform

收稿: 2023-06-28; 录用: 2023-08-10; 网络发表: 2023-10-26

*通讯作者, Email: sunyaguang@syuct.edu.cn

基金资助: 2022年度辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(辽教通(2022)166号第306项); 2022年度辽宁省研究生教育教学改革研究项目(辽教办(2022)180号第169项)

化学工业是国民经济的重要支柱产业之一,与能源、材料、环境、制药等诸多国民生产和生活领域紧密关联。化学化工类人才的知识体系建立于化学、物理、数学理论知识基础之上,以掌握物质的形态、组成、转化及分离等规律为核心培养目标。因此,化学化工类专业的应用特性,对人才实践能力、工程创新能力的培养,具有较高要求。进入21世纪的第二个十年,大数据、人工智能和物联网等新兴产业的快速崛起,对传统的化学化工专业提出了新挑战,也勾画出更为广阔的发展空间。面对国家战略发展的新需求、全球化竞争的新格局,教育部于2016年提出了建设“新工科”的概念,引导并促使高等院校思考并改进专业人才培养方案,结合办学与专业特色,推动高等教育高质量发展^[1],落实立德树人、科技创新和服务社会的根本任务^[2]。化学化工类专业的强应用特征,使其兼具科学与技术创新的底蕴和背景,更要求其紧跟时代步伐,服务国家科技自立自强首要目标^[3]。习近平总书记指出,重大创新成果往往萌发于深厚的基础研究。这一重要论断,为化学化工类人才的实践能力、应用本领和创新意识培养,指出了明确的教育教学改革方向。立足这一指导思想,沈阳化工大学坚定发展化学化工特色,于2020年起系统修订了人才培养方案,优化了专业基础重合度极高的化学、应用化学和化学工程与工艺等专业的理论与实践课程体系;以“强化基础,提升应用”为目标,提出了“理工与科教双融合”的实践教学改革思路。

“理工融合”即强化化学化工基础理论知识,将专业工程课程、实践课程目标与理论知识深度结合,建立“基础理论—工程实践—创新素养”的系统化学习过程,实践“成果导向教育”(Outcome based education, OBE)理念。“科教融合”的内涵是将科技创新根植于教育教学过程,使学生明确经典理论是实践创新的原动力,树立固本培元意识,激发学习兴趣,明确学习目标,使科学研究与教育教学紧密融合。“理工与科教双融合”其必要性在于,解决学生学习过程中理论与实践脱节的问题,提升学生对基础知识的应用能力。“双融合”的基本方案是,在“四大化学”、化工原理、化学工艺学等课程的理论与实践教学中,通过实验原理解析、冷运行和虚拟仿真实验及专家讲座等方式,强化对重要基础理论的理解,进而掌握工程实践操作的原理、目的和方法,实现理工融合。以理工融合塑造的应用能力为基础,通过大学生创新实践竞赛,如:“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛、省部级创新训练项目、ChemE-Car竞赛和化工实验大赛;特别是多个专业学院交叉指导化学化工类毕业论文/设计,并与规模企业、科研院所开展联合指导,从而以“科教(产教)融合”的模式,将“理工融合”的教学成果迁移、提升为创新实践能力。改革实施中,借助中国科学院、大型企业研发中心的创新实践平台,推进科技创新与教学主体的实质性合作。两项融合的核心目标是:以学生为中心,以能力打造为目标,采取多种多样考核手段,依据改革效果持续改进,实现适应新时代要求化学化工类人才的培养目标^[4,5]。基于双融合的理念,沈阳化工大学立足化学化工特色与优势,深入开展了适应“新工科”要求的实践教学体系改革与实践。

东北地区,特别是辽宁省,化学工业实力和基础雄厚。沈阳化工大学作为国内仅有两所以“化工大学”冠名的高校之一,培养化学化工类实践创新型人才的责任重大。沈阳化工大学是辽宁省“双一流”重点建设高校、国家“中西部高校基础能力建设工程”重点建设高校,入选教育部卓越工程师教育培养计划。学校立足辽宁特色菱镁资源的精细化开发与利用,建立的菱镁产业学院入选国家首批现代产业学院;与中国科学院共建“科教融合学院”,联合培养本科生和研究生。创建的“定向研发、定向转化、定向服务”“三定向”科技创新与成果转化新模式,被国务院列为向全国推广的典型案例。化学化工类专业是立校之基、强校之本。建校70年以来,沈阳化工大学始终坚持办学特色,为党育人,为国育才。学校设有化学、应用化学、化学工程与工艺三个主干化学化工类专业;以三个主干专业为支撑,大力建设了能源化工、高分子科学与工程、制药工程、材料化学等化学相关专业。目前,化学工程与工艺(2020年)、应用化学(2021年)成功入选国家级一流本科专业,化学专业于2021年入选辽宁省一流本科建设示范专业。化学工程与技术学科为学校首个一级学科博士学位授权点,化学是学校首个ESI世界排名前1%学科。

本文主要介绍、总结沈阳化工大学在“新工科”建设背景下,多措并举,开展“理工与科教双

融合”的实践教学体系改革探索。通过调整人才培养目标、强化课程达成度,优化实践教学内容、模式和场景,实质性提升人才的工程实践能力、创新思维素养,推进区域化工特色强校建设。

1 应用特征与产业升级驱动化学化工类专业实践教学体系改革的必然性

强应用性是化学化工类专业的核心特征,因此,以系统的理论知识为基础,理解反应工程、分离过程、分析测试原理,从而建立扎实的实际操作能力,是人才培养的首要目标,并有助于创新型人才的选拔。2022年6月,辽宁省政府出台了《辽宁省石化和精细化工产业发展实施方案》,这与沈阳化工大学一直以来积淀的精细化工特色、坚持的化工报国情怀、实施的“科教融合”战略,具有极高的契合度,即专业建设方向和人才培养目标服务于区域经济发展及产业升级改造。实践教学体系改革是上述专业特征、产业升级对人才培养提出的必然要求。

1.1 “理工与科教双融合”的化学化工类专业实践教学体系改革理念

对基础理论的功用认识不足,导致部分学生产生理论课程“无用论”的偏见认识;而实践内容陈旧、层次模糊,导致学生偏重机械操作,既未加深对理论的理解,又未掌握具体操作技能。以上两种情况,亟待重建实践教学体系,以实践课程为节点,提高学生对基础理论的理解认识,从而培养出出色的工程实践能力。基于此,通过梳理化学化工类专业理论与实践、工程技术与创新素养的新要求,提出了“理工与科教双融合”的实践教学体系改革理念。“理工融合”中,“理”包含理科、理论两个涵义,“工”则涵盖实践教学中的单元操作、工艺技术、工程过程。“科教融合”中,“科”既是科技创新素养,又代表科研院所实体,而“教”则为教学方法及教学单位。同时,课程具体内容、学时及项目设置上,充分考虑了具体专业在强化基础与工程应用层面的涵盖和细分。“四大化学”和化工原理实践与理论课程,是化学、应用化学和化学工程与工艺专业的核心基础课。同一门课程,由于化学和应用化学专业基础要求和人才培养目标的理科性强,教学内容设置基本一致。鉴于化学工程与工艺专业的强应用性、工程属性,改进了实验项目,并适当精简学时转移至专业课程学习阶段。进而,兼顾基础强化与应用能力培养,以理工融合为支撑基础,以科教融合为导向,构建了新的“工”字型实践教学体系(图1)。

1.2 现有实践教学体系存在的问题

(1) 化学化工基本原理不扎实,基础理论课程间关联度缺失,知识的系统化构建不足,导致学生对实践项目原理理解不深刻,学习目标不明确,机械地完成实验操作步骤,未达到能力培养目标。

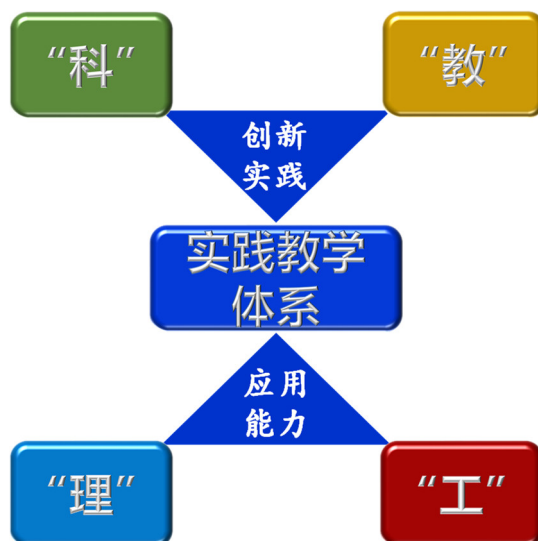


图1 “理工与科教双融合”的实践教学体系

(2) 各门实践课程间,内容规划和项目设置分立、割裂,导致不能规律性理解掌握化学化工实验与生产知识。

(3) 实践课程教学内容设置扁平化,实践项目设置缺乏层次。同时,专业方向内的基础实验、设计实验、认识实习和毕业论文(设计)间,缺少过渡与阶梯性设计,不能有效强化、深化、升华专业技能。

(4) 实践课程内容与当代化学工业、科技前沿进展联系不紧密,项目设计、改进和更新不及时,对学生的创新兴趣和实践技能培养不利;同时,在数字技术和人工智能深刻影响“新工科”建设的当下,化学化工实践课程的虚拟仿真及自动化内容,仍显匮乏。

2 “理工与科教双融合”的实践教学体系改革的措施与成效

沈阳化工大学化学化工类的实践教学体系建设,首先以基础化学实验中心和化工工程实践中心为依托,以“四大化学”和化工原理教研室为骨干力量;同时,充分调动、利用校分析测试中心、辽宁省无机分子基化学重点实验室和资源化工与材料教育部重点实验室的资源,将实践教学各环节按照知识模块化、内容项目化、过程链条化的再组织方法,加以重构和优化(图2)。实验/实践平台与教研室、虚拟仿真中心联合优化实践项目内容,实验、实习及毕业论文(设计)过程中,密切结合中国科学院大连化学物理研究所、过程工程研究所及山东滨州工业园的理论与生产实践课题,达成“理工与科教双融合”的实践教学体系改革目标。

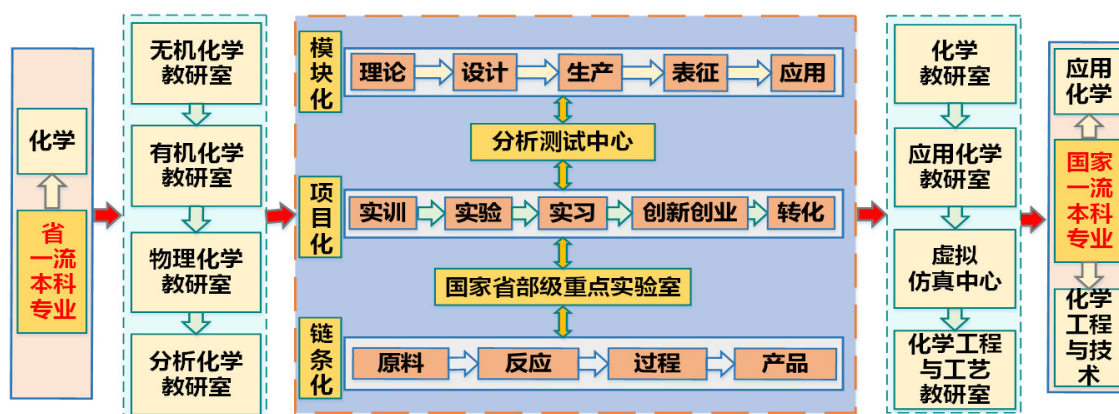


图2 化学化工基础理论教育与实践教学体系建设示意图

2.1 “理工融合”的理论及实践课程教材建设与基础强化措施

将“以本为本”和“四个回归”落实在教材建设中,提出“以课本为本”理念,为“理工融合”奠定坚实的理论学习基础。经过近10年的积淀和总结,有机、无机、分析和物理化学教研室,建设了一批国家级规划教材和省级重点教材,其中《有机化学(第二版)》和《有机化学实验(第二版)》(孔祥文等主编,化学工业出版社)成功入选“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。教材建设中,突出化工特色,密切联系实践和生产实际,例如:一种席夫碱(*N*-苯亚甲基苯胺/苄叉苯胺)的制备实验,集成了缩合反应、减压蒸馏/旋转蒸发、重结晶等单元操作,并与专业实验中的雅各布森催化剂(Jacobsen's catalyst)制备关联在一起。同时,为进一步强化工程实践必需的理论基础,在化学化工类专业,包括化学工程与工艺、应用化学、化学及高分子材料与工程等,在大一、大二年级实施了全过程考核与评价的质量提升工作。针对以上两个年级共56个班级,基础理论课程教学施行“节节清、章章练、月月考”强化方案,落实过程性评价要求,为高年级的应用和工程实践学习,建立了良好的知识储备。

在具备扎实的理论基础后,通过优化实践课程内容、建立课程间联系、拓展内容深度与广度,提高应用能力和实践创新能力培养水平。课程内容优化与贯通中,按照理论验证-单元操作-综合设计-工艺/工程设计的原则,将“四大化学”和化工原理基础实验、专业实验、实习实践及毕业论文(设计),有机地整理成互通模块,系统性强化实践教学效果。例如,从基本酯类合成,到专业实验乙酰水杨酸的制备,再结合化工原理精馏综合实验项目,有效地将化学原理、反应机理、反应动力学与热力学以及分离提纯等加以整合,使学生的认识水平、理解能力、操作技能得到协同提高。

2.2 “虚实结合”的实践教学体系建设

在卓越工程师教育培养计划基础上,对标化学工业绿色化、智能化、信息化等“新工科”元素,充分调动各类实践教学资源,建设“虚实结合”的实践教学体系,确保实践知识与技能培养适应行业人才需求。实际教学场景建设中,力求环境“车间化”,按照车间实际和职业环境要求对实习培训装置进行工段分区布置,体现现代企业推行的SHEQ (Occupational Safety, Health, Environmental, and Quality, 即职业安全、健康、环境、质量)理念,使学生能够在未来工作中,尽快适应企业的环境和规范。推进装置“真实化”,选择与实际相符、操作性强的实训装置,把理论和实践完全融合,使学生建立“工程”概念,提高专业意识,充分锻炼操作技能。落实项目“典型化”,化工生产过程纷繁复杂,采用代表性的单元操作训练、典型设备实验操作,强化工程实践技能(图3)。打造操作、流程“仿真化”体系,依托化工过程国家级虚拟仿真实验教学中心,实现精馏分离DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统)的仿真实训。利用国家虚拟仿真实验教学项目——傅克反应-螺茛氧杂蒽(SFX)的一锅法串联反应虚拟仿真合成^[6],学习流动化学制备新技术。凭借以上改革与建设,成功举办了2022年辽宁省高等学校本科大学生化工原理大赛。



图3 化学工程冷运行与虚拟仿真实验

2.3 “科教融合”式应用与创新能力提升模式

理论与实验及实践与仿真一体化教学模式的确立,为高年级学生的实习实践、创新竞赛和毕业论文/设计打下了良好的基础,使其具备了参与科学研究、产学研互动的能力。以有机化学为例,基于对傅克反应、苯炔机理等理论内容的理解,及相应实验技能的训练,大三的三名本科生设计了以2-(三甲基硅基)苯基三氟甲烷磺酸酯和2-碘苯酚为原料,经苯炔历程、Grignard试剂、分子内傅克环化的路线,制取螺双氧杂蒽。并在其结构及性质表征过程中,掌握了核磁共振谱、单晶解析、紫外-可见吸收光谱的测试及数据分析方法。相应结果不仅被《沈阳化工大学学报》接受,更为指导教师的科研课题提供了原料基础。此外,“螺二茛的溴化及芳胺官能化”“螺芳基电致发光材料的合成”等多个本科毕业论文课题,均充分融合了教学内容和科研课题,切实促进了学生创新能力的培养。

进一步地, 在专业课程教学中有意识地融合了生产实践中的问题, 启发学生给出合理的机理解释。例如, 在有机合成化学课程的自由基中间体反应总结后, 给出某企业的研发课题: 自由基/碱协同催化氢氰酸四聚合成二氨基马来腈, 请学生写出恰当的反应机理(图4)。以“科教融合”为手段, 不但使学生更深刻理解了自由基偶联、亲核加成、催化循环及原子经济性等概念, 也更深刻体会了理论指导实践、理论联系实践的重要意义。

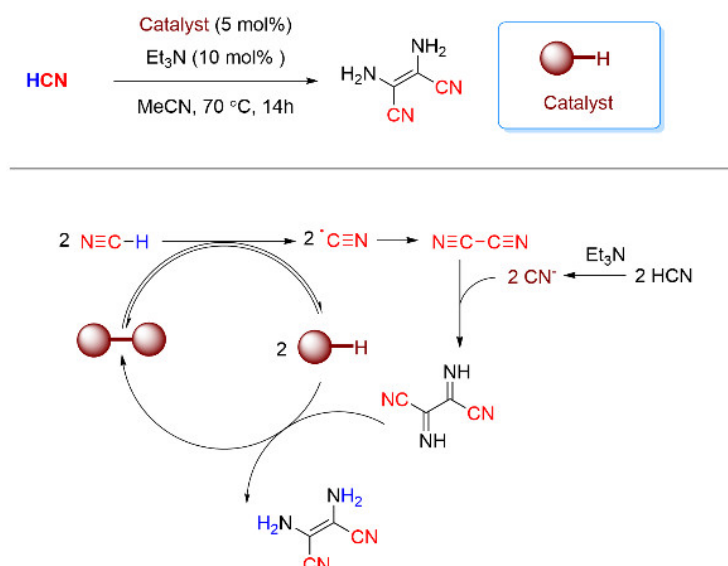


图4 氢氰酸四聚合成二氨基马来腈的自由基机理

以理论知识为根基, 从具体课题入手, 由点及面, 向创新和应用型人才培养协同推进。在学校教务处、创新创业学院和一线教师的共同努力下, 为学生提供更为广阔的“科教融合”“产教融合”平台。近3年来, 以学校化学化工特色为代表的理学院和化学工程学院, 共计组织学生150余人次参加中国科学院长春应用化学研究所、过程工程所、大连化学物理研究所及多所“双一流”高校的夏令营活动; 向南开大学、大连理工大学、哈尔滨工业大学等高校推免硕士研究生31人。同时, 与山东滨州化工产业园、营口市石化产业基地、航锦科技有限公司等签订毕业实习实践协议, 选派百余名学生在相关企业完成毕业设计/论文。基于以上一系列“双融合”措施, 在主要的三个化学化工专业初步建立了较为完善的实践教学体系, 并在学科发展、专业建设、课程改革和人才培养中, 取得了较好的成果和实效(表1)。

表1 主要教学改革成效

专业	教材建设	实训中心	一流课程	省部级 教研项目数	在校 生数	2023 考研率
化学 (省一流专业)	《有机化学》 国家级规划教材	化学实验中心	“四大化学”及实验等6门, 省级	6	242	23.3%
应用化学 (国家一流专业)	《有机化学实验》 国家级规划教材	沈阳市功能染料重 点实验室	应用化学专业实验、无机化 工工艺学, 省级	3	475	25.1%
化学工程与工艺 (国家一流专业)	《化工原理》 辽宁省规划教材	辽宁省绿色催化材料 与过程技术工程研究 中心	化工原理、化学工艺学、催 化原理等5门, 省级	7	491	23.4%

3 结语

在“新工科”背景下,以立德树人、因材施教为化学化工专业人才培养的指导思想,提出了“理工与科教双融合”的人才培养模式。紧密围绕:原理-技术-工程这一理论与实践创新主线,在教育教学过程中,以教材建设、教学内容改革夯实理论基础,以实践技能训练为纽带,在实训和毕业实习/论文环节落实创新与应用型人才培养目标的协同达成,构建了适应学生发展和社会需求的化学化工类专业实践教学体系。

参 考 文 献

- [1] 推动高等教育高质量发展. 人民日报, 2022-06-07 (05).
- [2] 中共中国人民大学委员会. 求是, **2022**, No. 11, 1.
- [3] 章文伟, 芦昌盛, 淳远, 俞寿云, 朱成建. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2108092.
- [4] 李志义, 袁德成, 汪滢, 金志浩, 于三三. 中国大学教学, **2018**, No. 3, 57.
- [5] 李志义, 王泽武. 高教发展与评估, **2021**, No. 3, 91.
- [6] 傅克反应-螺茛氧杂蒽(SFX)的一锅法串联反应虚拟仿真合成. [2023-03-06]. <https://xuewen.cnki.net/CJFD-SYJL201812001.html>