

## 面向工程实践能力培养的“化工原理”四阶递进教学创新

王婷婷<sup>1,\*</sup>, 孙初锋<sup>1,2</sup>, 李振华<sup>1</sup>, 王鸿灵<sup>1</sup>, 王文芳<sup>1</sup>, 苏小平<sup>1</sup>, 崔璐娟<sup>1,2</sup>, 王成君<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 西北民族大学化工学院, 兰州 730030

<sup>2</sup> 环境友好复合材料国家民委重点实验室, 兰州 730030

**摘要:** 化工原理课程是化工类及相近专业的一门非常重要的专业核心必修课, 该课程在培养化工类及相近专业学生的理论基础、工程实践能力与创新思维方面起到举足轻重的作用。针对化工原理课程教学存在的痛点问题, 课程组采取“以生为本、交叉融合、数智赋能、知行融拓”教学理念, 通过融合跨学科教学内容、扩充多维度教学资源、构建四层次递进教学模式、采用“问题项目+AI 虚拟组员”教学方法、提升评价维度、延伸评价深度等方法开展课程教学创新。通过改革实践, 学生学习积极性和课程认同感提升、工程思维树立、创新能力提升, 从根本上提高化工原理课程体系的教学质量, 利于培养兼备创新思维和扎实工程实践技能的未来工程师。

**关键词:** 化工原理; 交叉融合; 四阶递进; 人才培养

**中图分类号:** G64; O6

## Four-Stage Progressive Teaching Innovation in “Chemical Engineering Principles” for Cultivating Practical Engineering Skills

Tingting Wang<sup>1,\*</sup>, Chufeng Sun<sup>1,2</sup>, Zhenhua Li<sup>1</sup>, Hongling Wang<sup>1</sup>, Wenfang Wang<sup>1</sup>, Xiaoping Su<sup>1</sup>, Lujuan Cui<sup>1,2</sup>, Chenjun Wang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> College of Chemical Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China.

<sup>2</sup> Key Laboratory of Environment-Friendly Composite Materials of the State Ethnic Affairs Commission, Lanzhou 730030, China.

**Abstract:** The “Principles of Chemical Engineering” course is a fundamental core subject for students specializing in chemical engineering and related disciplines. It plays a critical role in building their theoretical foundation, engineering competencies, and innovative thinking. To address various challenges in teaching this course, the instructional team has adopted a student-centered, interdisciplinary, and digitally enhanced approach. This strategy integrates cross-disciplinary content, broadens multidimensional teaching resources, implements a four-stage progressive learning model, incorporates project-based problems with AI virtual team members, enriches evaluation criteria, and deepens assessment frameworks to drive instructional innovation. These reforms have effectively increased students' engagement and affinity for the course, strengthened their engineering mindset, and enhanced their innovative capabilities. Ultimately, these improvements elevate the overall teaching quality of the “Principles of

收稿: 2025-03-11; 录用: 2025-04-03; 网络发表: 2025-04-11

\*通讯作者, Email: wangtt@xbmu.edu.cn

基金资助: 西北民族大学本科人才培养质量提升项目(2024YBJG-13); 国家民委高等教育教学改革研究项目(23239); 2024年甘肃省高水平“新工科”建设专业化学工程与工艺; 西北民族大学化学工程与工艺“四新”专业(2023SXZY-01); 化工学院课程思政教学研究中心(2022XJSZZX-11); 2024年甘肃省高等学校化学工艺学教学团队; 甘肃省创新创业教育教学改革研究项目(2023JXCXYJGXM02); 西北民族大学化工原理重点扶持教学团队(2023FCTD-01); 西北民族大学化学工艺学教学团队(2023SFTD-05); 化学工程与工艺省级一流本科专业建设(2019SJYLZY-08); 甘肃省高等学校精细化工创新创业教育教学团队(2021SJXCXYTD-01); 甘肃省创新创业教育教学改革研究重点项目(2021SJXCXYM-01); 甘肃省高校课程思政教学研究中心(2021GSKCSZJYJZZ-01); 化学工程与工艺甘肃省高校课程思政示范专业(GSKCSZZY-2021-01)

Chemical Engineering" course, fostering "quasi-engineers" with strong practical engineering skills and innovative thinking.

**Key Words:** Chemical engineering principle; Interdisciplinary; Four-stage progressive; Talent cultivation

化工原理课程是我校化学工程与工艺专业的一门专业核心必修课(96学时、6学分),以“动量传递、热量传递和质量传递”(简称“三传”)为核心主线,涵盖化工基本单元操作、典型化工设备等核心要点<sup>[1]</sup>。该课程是综合运用数学、物理、化学等基础知识,分析和解决化工生产中典型单元操作问题的工程学科,既具备“科学”与“技术”的双重属性,又具有“理论”和“实践”紧密结合的特质。它肩负着从基础到专业、从理论到工程的桥梁纽带作用,对化工类及相近专业学生的理论基础、工程能力、创新思维的培养意义重大<sup>[2,3]</sup>。本课程学习让学生掌握化工生产所涉及各种单元操作的基本原理、典型设备结构原理、操作方法与操作优化,为后续专业课程学习和实际工作奠定坚实的基础,是毕业要求的重要支撑,对培养学生的工程实践能力起到关键作用<sup>[4,5]</sup>。鉴于课程重要性,课程组始终坚持改革创新,对课程进行了“四阶递进”的教学改革实践,确保学生的理论知识和工程实践的深度融合,培养学生创新思维和工程实践能力,以契合“四新”建设需求。

## 1 四阶递进教学改革创新与实践

在近年来教学实践过程中,课程组发现课程教学存在以下三个问题:(1)“三传”理论应用广泛,但传统教学局限于其在化工方面的应用,与“四新”的“跨学科融合”的需求有较大差距,导致课程内容和资源对专业需求和价值引领的支撑不足,学生难以认知学科交叉及前沿创新。(2)传统的讲授式教学,师生互动不足,学生多样化、个性化的学习需求难契合。(3)作为学生接触的第一门化工类专业课,课堂上无法接触到工厂中实际的化工单元操作和设备,且工程实际涉及影响因素众多,实际生产和理论假设有较大差距,大二学生还未具备知识迁移技能以及将知识应用于实际的能力,学生难应用。基于此,课程组采取“以生为本、交叉融合、数智赋能、知行融拓”教学理念,从教学的“内容、资源、方法”三个维度着手进行革新,融合跨学科教学内容、扩充多维度教学资源、构建四层次递进教学模式、采用“问题项目+AI虚拟组员”教学方式等方法开展课程教学创新(图1),旨在解决课程痛点、激发学生自主学习与创新实践,达成知识、能力和价值的全面提升。

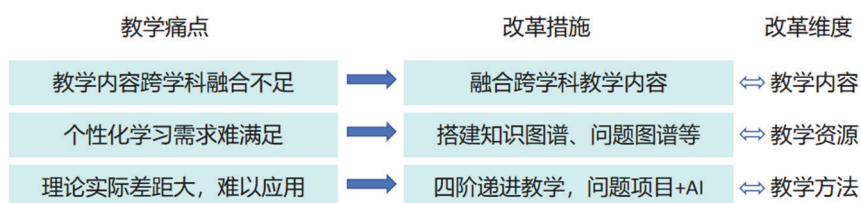


图1 化工原理课程教学创新设计

### 1.1 教学创新模式组织及实施

结合我校“立足西北、辐射全国、放眼世界”的办学定位、推动民族地区经济发展和民族交融的宗旨,对接我校化学工程与工艺专业毕业要求及新工科化学工程人才社会需求,以塑造化工专业“准工程师”为总目标,课程团队应用布鲁姆教学目标分类法,重新修订了课程的教学目标,2023版《化工原理》教学大纲中的教学目标见表1。

#### 1.1.1 融合跨学科教学内容

结合本专业学生现有学习基础,在课程原有的基础知识、高阶实践、前沿研究、课程思政等教学内容的基础上,从材料科学、环境工程、过程装备、生物工程、制药工程、电子信息工程、能源与动力等专业领域进行课程内容融合,形成“化工+N”课程内容综合模块,在融合时注重内容的“两

性一度”，实现教学内容的多学科交叉融合(见图2)，使学生的眼界得以拓宽，知识体系、认知深度和跨学科解决问题能力均得到质的提升。例如，在讲到“传热及换热器”这一章，“传热的应用”一节中削弱传热的讲解时，融入“材料科学”学科中复合气凝胶隔热材料的知识，讲解其隔热的原理并现场演示复合气凝胶在酒精灯火焰上的隔热效果，用温度计测试隔了一层气凝胶后的温度，并让学生计算该气凝胶的导热系数，巩固复习前述的热传导相关知识，并进一步讲解气凝胶材料的化学成分、材料组成、熔点、热导率等相关材料学知识，拓宽学生的知识面和专业知识。本课程各章节和各学科交叉融合的部分教学内容如图3所示。

表1 本课程教学目标及其权重

课程目标名称	课程目标具体内容	对应毕业要求	权重
知识目标	阐明实验研究法和数学模型法两大方法论的适用范围，阐释单元操作的基本原理和涉及的传递过程机理，掌握单元操作过程的基本计算方法，分析过程强化的途径，剖析典型化工设备的构造、性能、操作原理及其调控	毕业要求1-4：能够将化工单元操作、热力学基本定律、化工分离和反应专业知识用于解决化工领域的复杂工程问题	0.40
能力目标	能够从化工原理的角度深入思考相关的社会及工程热点问题，具备综合运用“动量传递、热量传递、质量传递”原理对化工单元操作进行分析和优化、完成工程方案设计、解决复杂化学工程工程实践和科研问题的创新实践能力及团队协作能力	毕业要求3-2：能够基于化工过程单元、分离工程单元进行化工单元工程化的过程设计、优化和改进	0.40
素养目标	具备全局观、抓主要矛盾、合理简化的系统思维和工程素养，树立预防为主、风险评估的使命感和责任感，具备节能减排、绿色低碳、可持续发展的环保理念，树立追求卓越、创新发展、工业报国的信念	毕业要求1-4：能够将化工单元操作、热力学基本定律、化工分离和反应专业知识用于解决化工领域的复杂工程问题	0.20

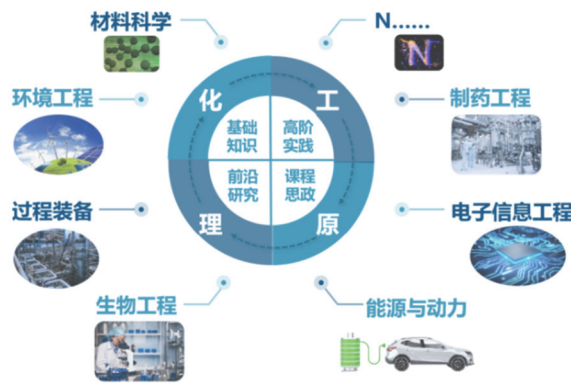


图2 “化工+N”的课程内容综合模块

交叉学科 章节	材料科学	环境工程	生物工程	能源与动力工程	电子信息工程
流体流动	聚合物的流变性	污染物在水体中的传播	生物反应器流体流动状态	三峡水电站	微流控芯片
流体输送机械	泵常用材料	泵在水污染治理中的应用	蠕动泵输送培养液	水轮机	电子设备的液冷系统
沉降与过滤	纳米颗粒的制备过程	旋风分离器工业废气处理	蛋白质纯化	火力发电煤炭烟气	电子封装的制备
传热及换热器	复合气凝胶隔热材料	垃圾焚烧厂余热锅炉	生物反应器的温度控制	热交换网络优化	集成电路芯片的散热
蒸馏	真空膜蒸馏技术	工业余热蒸馏海水淡化	青霉素的生产	热泵精馏技术	电子级异丙醇
吸收	新型吸收剂	酸雨治理	沼气提纯	碳捕集双塔流程	电路板蚀刻含氟废气吸收
气液传质设备	耐腐蚀塔设备材料	填料塔废气处理脱硫脱硝	酒精精馏塔	高温余热发电	半导体芯片
干燥	冷冻干燥制备材料	污泥干化处理 雾水工程	益生菌制剂喷雾干燥	新型干燥技术	电子元件热风干燥

图3 各章节和各学科交叉融合的部分教学内容

### 1.1.2 扩充多维度教学资源

依据我校学情、校情，在原有“雨课堂、学习通、MOOC、SPOC、实验室、虚拟仿真平台”六个平台和“动画视频库、工程案例库、习题库、思政案例库、课件库”等特色资源的基础上，依托超星学习通建设了融合多学科内容的知识图谱、问题图谱、目标图谱、思政图谱等(图4)，利用知识图谱和AI助教开展线上教学，为学生创造时时能学、处处可学的学习环境，助力学生的个性化学习，夯实基础。

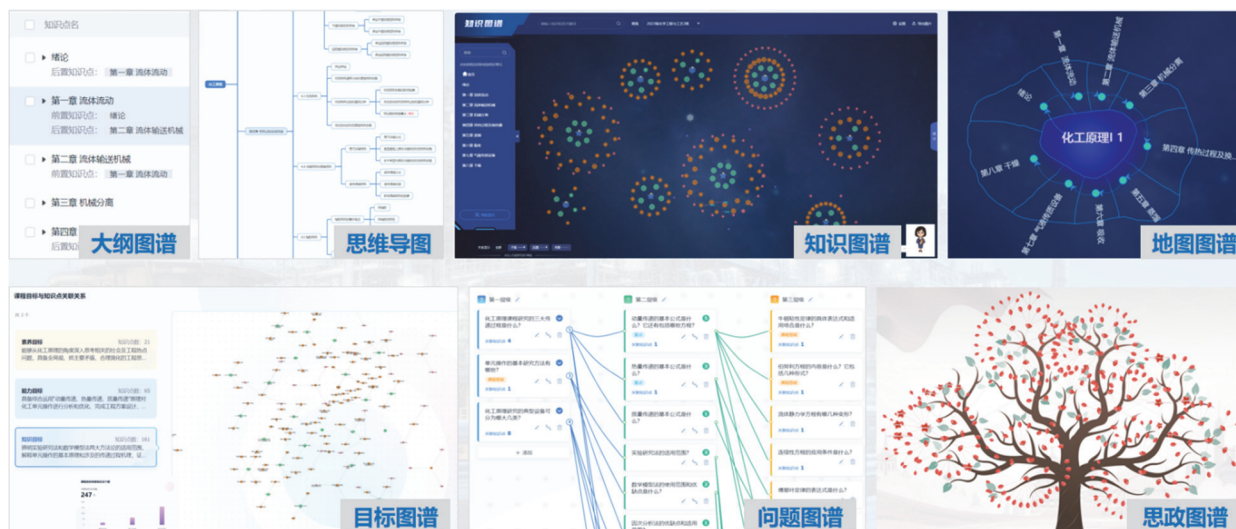


图4 化工原理课程的教学资源创新

### 1.1.3 四阶递进式教学促使知行合一

遵循“以学生为中心，以产出为导向”的教学理念，教学团队以“两性一度”为准绳，提出“知(Know)-行(Act)-融(Integrate)-拓(Expand)”的KAIE教学理论，通过课堂教学筑牢理论基础、通过“实验+仿真”促使原理内化、通过课程设计保障知识落地、通过创新实践确保知行合一，由浅入深、逐级递进，探索高质量人才教育，培养具有创新思维和解决复杂化学工程问题能力的“准工程师”，各阶段对应的布鲁姆教学目标分类法中的具体应用见图5所示。

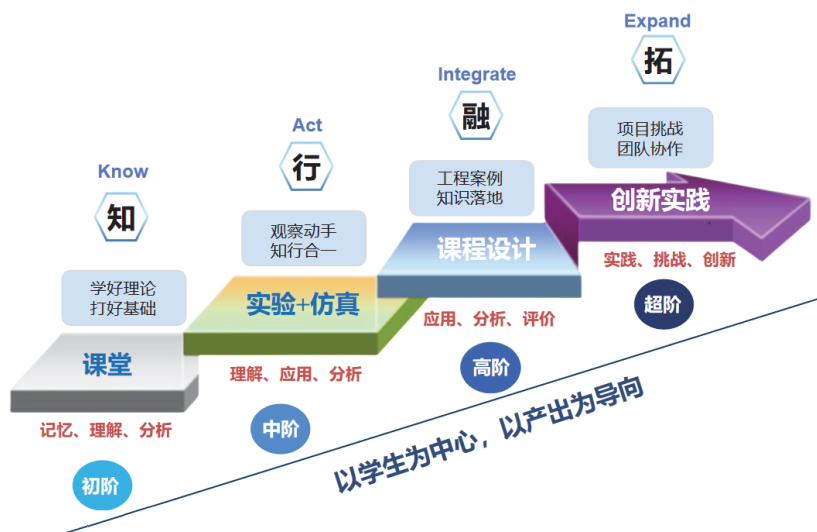


图5 “四阶递进”的KAIE教学模式

### (1) 初阶任务——“知”。

课程团队依托雨课堂、超星学习通等智慧教学平台，利用知识图谱和AI助教辅助教学，构建线上线下、课内课外互联互通的学习环境。针对教学内容缺乏真实案例的问题，通过小视频、课堂实验等形式创设情景，将实践性强、工程性强的理论与生活生产中的案例有机结合，引导学生理解、验证理论原理，达成知识的内化沉淀<sup>[6]</sup>。针对重点理论和案例，基于建构主义理念，采用“问题驱动+项目驱动”教学方法，组织学生分小组搜集资料、讨论研讨，引入AI虚拟组员参与方案探究、小组汇报，师生共评后进行全班交流，融合讲授与讨论，培养学生批判性思维、团队合作和沟通能力，助力他们成为优秀化工工程师。

### (2) 中阶任务——“行”。

通过化工原理实验实操+虚拟仿真动手操作，促进原理内化，达到知行合一<sup>[7]</sup>。利用现有的在线课程、仿真、实践等智慧平台，培固学生的基本功和思维培养模式，吸引学生主动沉浸，自主推演，横向纵向关联知识系统，启发创新思维，为创新型人才的个性化培养提供现实可能性。

### (3) 高阶任务——“融”。

课程团队积极开展化工原理课程设计，通过一系列精心设计的教学活动，强调实际问题的引入，引导学生从实际出发，看到问题本质和可能的解决方案，鼓励学生积极思考，探索各种可能性，注重培养学生的团队协作能力和系统思维，树立解决工程问题的方法论意识、工程伦理、节能减排等素养。经由课程设计这一重要环节，学生的工程意识与工程素养获得了明显提升。

### (4) 超阶任务——“拓”。

课程团队组织学生参与国家级、省级和校级化工设计、化工实验等竞赛，借助高水平赛事促教、促学、促创，全方位提升“新工科”背景下学生动手实践、创新设计、工程应用、组织协调能力及团队合作意识，激发学习兴趣与热情，提升职业特质，衔接专业人才培养与产业需求，助力学生提能拓素、就业创业，强化工程素质教育与团队协作能力培养，通过项目挑战与超阶任务实现学生能力增值拓展。

例如，“气液传质设备”这一章的教学中，在课堂环节(知)，教师通过“动画演示+讲解”向学生清晰展示了精馏塔的结构、工作原理等，此时学生的认知停留在记忆、初步理解的阶段；在“实验+仿真”环节(行)，在实验课上学生们亲自进行“乙醇和水填料塔”的精馏实操，动手调节回流比并计算“等板高度”，通过亲身实践切实体会回流比对精馏操作所产生的影响，借助欧贝尔虚拟仿真平台拆卸精馏塔内部结构、调节回流比操作并分析影响，深化认知；在课程设计环节(融)，学生们需要对“乙醇-水板式精馏塔”展开详细设计，其中包括塔径、板间距、塔板构造、降液管、溢流堰、塔板数目以及塔高等关键参数，并计算塔的操作弹性，以此评价塔的操作稳定性，实现知识的融会贯通；在化工设计大赛环节(拓)，学生们通过流程模拟软件Aspen plus进行精馏塔的简捷计算、严格计算、水力学设计等，这不仅是对学知识的综合运用，更是对学生们创新能力和实践能力的一次挑战，促使他们不断突破自我。

## 1.2 课程考核评价方式

评价的落地实施和高阶能力的评价方法，直接影响学生学习能力的进一步提升<sup>[8]</sup>。课程团队构建了新的考核评价机制，采用包含过程性考核、阶段性考核以及终结性考核的三维评价体系，细分评价维度并提供不同阶段的反馈。在线上平台和线下教学均构建立实时互动与评估体系，及时反馈学生学习状况和存在问题，适时针对学生个体调整教学策略。

本课程最终成绩由过程性考核、阶段性考核和期末考核三部分构成。过程性考核包括微课视频、课前测试、课后作业、课堂互动，各占总成绩的5%、5%、10%、10%，根据各项得分依比例换算成过程性考核成绩；阶段性考核包括章节测试、问题项目，各占总成绩的5%、15%；期末考核成绩由期末考试卷面成绩(共100分)折算得出，占总成绩50%的比重，各项课程目标分数分配见图6。其中问题项目分析成绩，创新性地引入了AI虚拟组员的贡献和学生批判性思维的考核，此项成绩为组内互

评(20%)、组间互评(20%)、AI助教评分(20%)和教师评分(30%)四项组成, 并应用万能打分的在线打分功能提高评分效率(图7)。

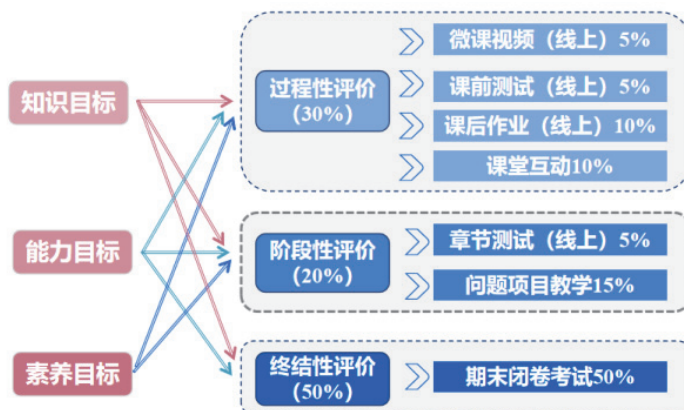


图6 化工原理课程考核评价机制

评分规则

- 提出问题 (0-10分 | 权重10.00%)
- 分析问题 (0-10分 | 权重15.00%)
- 解决问题 (0-10分 | 权重15.00%)
- 背景分析 (0-10分 | 权重10.00%)
- 逻辑性及格式 (0-10分 | 权重10.00%)
- 语言表达及问题回答 (0-10分 | 权重10.00%)
- PPT制作 (0-10分 | 权重10.00%)
- 参考文献及小组分工 (0-10分 | 权重10.00%)
- 时间把控 (0-5分 | 权重5.00%)
- 团队协作 (0-5分 | 权重5.00%)

评分详情

神州飞船返回舱的隔热

开始时间: 2024-12-23 14:30:03

评分组态 评分规则 运行中

请各小组扫码进行自评互评

**总成绩 = A \* 20% + B \* 20% + C \* 20% + D \* 30%**

A = 组内互评平均分      C = AI评分  
B = 组间互评平均分      D = 教师评分

图7 问题项目教学在线打分

## 2 课程建设成效

### 2.1 学生学习积极性和课程认同感提升

通过教学创新, 学生的学习积极性和课程认同感都得到了提升, 在评教中不少学生给教师团队的评价也证实学生们对课程教学的认可。近三年来, 主讲教师教学质量评价优秀, 2022、2023、2024年教学质量评价位列学院前5%, 主讲教师化工原理近三学期评教分数稳步上升, 分别为93.8分、95.9分、98.4分, 在学校督导评价中获得99分的评分。

### 2.2 学生工程思维树立、创新能力提升

自2021年以来, 课程团队指导的学生参加各类竞赛包括“天正设计杯”历届化工设计竞赛(国家二等奖、三等奖)、甘肃省历届化工设计竞赛(省级一二三等奖)、第13届全国大学生化学实验竞赛(国

家三等奖)、第6届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛(省级金奖), 获得国家级奖项10余项、省部级奖项30余项、校级奖项90余项。课程团队的教学改革初见成效, 既培养了化学工程与工艺专业学生的创新思维、工程实践能力和团队协作精神, 又激发了学生的学习兴趣、动力和热情, 有效提升学生化工设计的规范设计能力。

### 2.3 教师成果

在教学创新过程中, 课程组也获得丰硕的成果。主讲教师带领教学团队获得第四届甘肃省教师教学创新大赛二等奖、第四届“智慧树杯”全国课程思政教学示范案例大赛一等奖、第七届西北民族大学青年教师教学竞赛一等奖等荣誉, 主讲教师被评为“校级三全育人模范”。主讲教师出版相关专著教材, 2023年化工原理教学团队被列为学校重点扶持教学团队, 2024年教学团队成员获得校级教学成果一等奖。本人受邀在西浦创新者说、本校课程思政研修班进行示范展示, 引领并带动更多的老师参与教学创新。

## 3 结语

通过“四阶递进”的教学改革创新, 课程团队对化工原理课程从教学内容、教学资源、教学方法三个维度上进行了全面的创新优化。打造有趣味、有互动、有拓展、有挑战、有温度且易推广的教学模式, 满足学生的个性化学习需求, 激发学生的学习动力和热情, 提升学生的高阶创新实践和工程应用能力, 培养学生的系统思维和工程素养, 为解决后续科学研究和工程实践中的真实问题打下了坚实的基础, 提供强有力的教学保障, 将“培养一流人才”这一根本任务全方位、多维度的落到实处。

### 参 考 文 献

- [1] 高金玲, 于开源, 张成林, 曲红杰, 曹丽丽. 化纤与纺织技术, **2024**, *6* (53), 187.
- [2] 陶彩虹, 刘宝勇, 盛丽, 雷洋, 蔡洁琼. 大学化学, **2021**, *36* (8), 2012044.
- [3] 郭慧娟, 谢雅鑫, 汪铁林, 覃远航, 史利娟, 易群. 当代化工研究, **2024**, *11*, 146.
- [4] 吕秋丰, 黄艳, 林起浪, 林腾飞. 化工高等教育, **2024**, *41* (4), 51.
- [5] 高亚辉, 冯勇, 张碧滢, 李娟, 王龙, 何蝶, 张拦, 田文杰. 化工高等教育, **2024**, *41* (4), 126.
- [6] 郝庆兰, 苏俊超, 贾原媛, 刘亚, 滕波涛. 大学化学, **2023**, *38* (9), 32.
- [7] 贾广信, 焦纬洲, 李裕, 李同川, 袁志国, 王海宾. 化工高等教育, **2021**, *38* (4), 93.
- [8] 李振华, 苏琼, 孙初锋, 刘娟丽, 向晓明, 哈斯其美格, 于京, 庞少峰, 魏小红, 卢永娟. 大学化学, **2023**, *38* (9), 25.