

双碳目标下能源化学课程体系重构：基于学科竞赛与产学研协同的创新模式研究

梁馨月

重庆科技大学安全科学与工程学院，重庆

收稿日期：2025年3月24日；录用日期：2025年4月23日；发布日期：2025年4月30日

摘要

在“双碳”战略背景下，针对传统能源化学课程存在的知识结构滞后、实践创新不足等问题，本研究提出以学科竞赛为驱动、产学研协同为支撑的课程体系重构路径。通过构建“双碳”知识图谱、实施竞赛项目化教学、搭建校企协同平台等举措，形成“知识-能力-价值”三位一体的培养模式。实践表明，改革后学生学科竞赛获奖率提升40%，企业项目参与度达75%，课程思政融入度显著增强，为能源化工领域复合型人才提供新范式。

关键词

双碳目标，能源化学，课程设计，教学改革

Restructuring the Energy Chemistry Curriculum System under Dual-Carbon Goals: Innovative Model Research Based on Academic Competitions and Industry-University-Research Collaboration

Xinyue Liang

College of Safety Science and Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Mar. 24th, 2025; accepted: Apr. 23rd, 2025; published: Apr. 30th, 2025

Abstract

Under the background of the “dual-carbon” strategy, to address issues in traditional energy

文章引用：梁馨月. 双碳目标下能源化学课程体系重构：基于学科竞赛与产学研协同的创新模式研究[J]. 教育进展, 2025, 15(4): 1431-1437. DOI: 10.12677/ae.2025.154707

chemistry courses such as outdated knowledge structure and insufficient practical innovation, this study proposes a curriculum system reconstruction path driven by academic competitions and supported by industry-university-research collaboration. Through constructing a “dual-carbon” knowledge graph, implementing competition-based project teaching, and establishing industry-academy collaboration platforms, we have developed a trinity cultivation model integrating “knowledge-ability-values”. Practice demonstrates that post-reform outcomes include a 40% increase in students’ competition award rates, 75% enterprise project participation rate, which significantly enhanced integration of ideological and political education in curriculum, providing a new paradigm for cultivating interdisciplinary talents in energy and chemical engineering fields.

Keywords

Dual-Carbon Goals, Energy Chemistry, Curriculum Design, Teaching Reform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

全球气候变化已成为 21 世纪人类社会面临的重大挑战。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告指出,若全球温升超过 1.5℃,将引发不可逆的生态灾难[1]。在此背景下,我国提出“2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和”的“双碳”战略目标,这一战略不仅是国际责任担当的体现,更是推动能源结构转型、产业升级的核心驱动力。能源化工行业作为碳排放的主要来源(占全国总排放量的 40%以上),亟需通过技术创新与人才培养实现低碳化发展。然而,当前能源化学领域的人才培养体系与“双碳”目标需求存在显著矛盾:

(1) 知识滞后性矛盾: 传统能源化学课程仍以化石能源开发与转化技术为主导,相关课程占比超过 60%,而氢能制备、碳捕集与封存(CCUS)、电化学储能等前沿技术仅占 27% [1]。以煤化工为核心的课程体系难以适应新能源技术迭代需求,如 2024 年数据显示,全国仅有 34% 的高校开设了《碳中和原理》等通识课程[2]。

(2) 能力碎片化矛盾: 现有实验教学多局限于验证性实验(如化工单元操作模拟),缺乏对复杂工程问题的系统性训练。例如,某高校调研显示,85% 的能源化学专业学生无法独立完成“生物质能-氢能耦合系统”的工艺流程设计,其根源在于课程模块割裂、跨学科整合不足。此外,虚拟仿真技术应用率不足 30%,导致学生难以应对工业级碳捕集装置调试等真实场景挑战[3]。

(3) 价值引导弱矛盾: 碳排放核算方法、工程伦理责任等思政元素尚未形成体系化融入机制。调查表明,仅 41% 的课程大纲明确包含低碳技术经济分析内容,而涉及工程师职业伦理的案例教学覆盖率不足 18% [4]。这种价值引导的缺失,导致学生对“双碳”战略的使命感与技术创新责任感薄弱,与《高等学校碳中和科技创新行动计划》提出的“培养兼具科技素养与家国情怀的复合型人才”目标存在差距[5]。

1.2. 改革必要性

学科竞赛与产学研协同的耦合效应为破解上述矛盾提供了实践路径。学科竞赛驱动模式通过真实场景下的复杂问题求解,能够有效弥合知识与能力断层。例如,清华大学依托“能源动力实验室”构建“竞

赛-课程-科研”三位一体培养体系,其毕业生在新能源领域就业率提升15%,且70%的获奖作品涉及燃料电池系统优化、工业碳足迹评估等“双碳”关键技术[4]。中国计量大学“碳计量+X”实训体系通过跨专业项目制教学,使65%本科生深度参与企业碳核查、碳交易模拟等实践,其开发的“微型化碳捕集装置”已获得3项国家专利授权[4]。

产学研协同机制则为课程体系重构提供技术支撑与价值锚点。大连理工大学通过建设跨专业实验平台(如精细化工国家重点实验室盘锦分室),将低温甲醇脱碳、CO₂资源化利用等科研成果转化为教学案例,使学生在《化工原理》课程中同步掌握碳捕集流程设计与碳排放核算方法[6]。西安培华学院推行的“院-校-市-省-国家-国际”六级竞赛模式,通过校企联合命题(如宁德时代发布的“锂电材料回收工艺优化”课题),实现真题真做、产教深度融合,其学生团队在2024年全国大学生节能减排竞赛中斩获特等奖,核心技术已应用于某化工园区碳中和服务平台[7]。

这些实践表明,以学科竞赛为牵引、产学研协同为支撑的课程重构模式,能够突破传统能源化学教育的三大瓶颈:其一,通过模块化课程(如《能源互联网技术》《碳交易市场机制》)与竞赛项目嵌套,实现知识体系的动态更新;其二,借助虚拟仿真实验、企业真实课题驱动,系统性提升复杂工程问题解决能力;其三,依托“双碳”思政案例库(如华龙一号核能技术攻关案例、BP漏油事故伦理研讨),构建责任、知识与价值三位一体的育人生态[8]。因此,探索适应“双碳”目标的能源化学课程体系重构路径,既是教育链与产业链协同发展的必然选择,更是支撑国家能源战略转型的关键命题。

2. 课程体系重构策略

2.1. 知识模块重组:构建“基础层-专业层-拓展层”三级知识体系

在“双碳”目标驱动下,传统能源化学课程的知识滞后问题亟需通过模块化重构解决。基础层聚焦低碳通识教育与核心理论更新,增设《碳中和原理》《碳足迹核算》等通识课程,整合热力学中的吉布斯自由能变化与碳转化路径分析、电化学中的电解水制氢效率优化等低碳原理[1]。例如,大连理工大学通过《化工原理》课程融入低温甲醇脱碳流程设计,将碳捕集技术原理与单元操作计算深度结合,使学生在掌握传统化工技术的同时,建立碳排放量化思维[9]。专业层则以新能源与碳资源化技术为核心,开发模块化课程群,如“氢能制备与存储”模块涵盖质子交换膜电解制氢、固态储氢材料设计等内容,并引入 Aspen Plus 流程模拟软件进行可再生能源系统优化设计[9]。中国矿业大学在“CO₂资源化利用”课程中,将钙循环捕集技术与微藻固碳工艺整合,形成从基础研究到工程转化的完整知识链[10]。拓展层瞄准跨学科融合与产业前沿需求,开设《能源互联网技术》《碳交易市场机制》等课程,对接中国碳市场配额分配机制与欧盟碳边境调节税(CBAM)政策[11]。山西大学通过整合气候金融、碳排放权交易等跨学科内容,构建“文科-理科-工科”交叉的课程体系,使学生掌握碳资产管理与技术经济评价能力。

三级知识体系的构建打破了学科壁垒,形成“低碳原理-技术开发-产业应用”的递进式学习路径。例如,在基础层《碳足迹核算》课程中,学生通过生命周期评价(LCA)方法分析煤制烯烃工艺的碳排放强度;在专业层“氢能制备”模块中,利用 Aspen Plus 模拟风光储一体化制氢系统的能效比;在拓展层《碳交易市场机制》课程中,模拟碳配额交易场景,结合企业真实数据制定减排策略。这一重构策略使课程内容覆盖率从传统化石能源的60%降至35%,新能源与碳技术相关课程占比提升至52%[12]。

2.2. 竞赛项目化教学:实施“三阶段递进式”教学模式

学科竞赛作为知识应用与能力培养的关键载体,需通过“认知-实践-创新”三阶段递进实现深度教学融合。认知阶段以全国大学生节能减排竞赛真题为切入点,例如以“烟气脱硫工艺优化”为课题,要求学生基于 Aspen Plus 模拟不同脱硫剂的吸收效率,并结合经济性分析提出改进方案[8]。西安培华学

院通过“院-校-市-省-国家-国际”六级竞赛模式，将竞赛题目嵌入《化工设计》课程，使学生在知识储备阶段即接触工程实际问题[13]。实践阶段依托化工设计大赛，开展复杂系统集成训练。以“甲醇制氢+燃料电池”系统设计为例，学生需运用 TRIZ 创新方法解决氢燃料电池催化剂失活问题，并通过虚拟仿真实验验证流程可行性[7]。中国矿业大学在《化学储能工程》课程中，结合全国大学生化学实验竞赛要求，设计锂离子电池正极材料合成实验，强化材料表征与性能测试能力[14]。创新阶段则通过校企联合命题实现“真题真做”，例如宁德时代发布的“锂电材料回收工艺开发”课题，要求学生从浸出、分离到再生环节设计全流程方案，并参与企业工程验证[15]。西安交通大学通过“竞赛工作室”机制，将学生创新成果(如膜分离碳捕集装置)直接对接秦创原孵化平台，近三年累计孵化技术 12 项，获得春种基金资助超 1.2 亿元[16]。

这一教学模式显著提升了学生的复杂工程问题解决能力。数据显示，参与竞赛项目化教学的学生在 Aspen 流程模拟、专利撰写、技术经济分析等核心能力的达标率提升 40%，学科竞赛获奖率从 28%增至 65%。此外，通过“竞赛-课程-科研”链条，学生年均发表 SCI 论文 15 篇，较改革前增长 300%。

2.3. 产学研协同机制：搭建“三位一体”育人平台

课程体系重构需依托校企深度协同，形成“实验室共建-师资共享-成果共育”的生态闭环。校企联合实验室是技术转化的核心载体，例如大连理工大学“智能化工过程实验室”引入工业级电解水制氢装置，模拟可再生资源波动条件下的制氢系统调控，使学生掌握变工况操作技能[9]。中国矿业大学与协鑫集团共建“二氧化碳转化利用中试平台”，将钙循环捕集技术从实验室放大至吨级规模，学生参与催化剂性能测试与工艺优化，形成产学研一体化能力[14]。双师型教学团队通过“企业工程师+高校教师”协作提升教学实效性。例如，宁德时代工程师承担《锂电材料工程》30%的实践课时，指导学生设计高镍三元材料回收工艺；高校教师则通过企业挂职(年均 80 学时)更新产业知识，将光伏制氢成本分析、碳捕集能耗阈值等前沿问题纳入课堂教学[17]。成果转化通道则通过“竞赛作品-专利申请-技术孵化”链条实现价值延伸。西安交通大学近三年推动 12 项学生创新成果转化，其中“膜分离碳捕集技术”已应用于某化工园区，年减排 CO₂ 达 5 万吨[18]。清华大学“能源动力实验室”联合国家电网发布“氢储能电网调峰中的应用”课题，学生设计方案获企业采纳并进入示范工程阶段[19]。

产学研协同机制不仅解决了教学内容与产业需求脱节的问题，更实现了教育链与产业链的深度融合。数据显示，参与校企联合项目的学生就业适配度提升 25%，新能源领域就业占比从 32%增至 58%。此外，通过“双碳”思政案例库(如华龙一号核能技术攻关案例)与工程伦理课程，学生的社会责任感显著增强，课程思政覆盖率从 18%提升至 90%。

3. 实践成效与评估

3.1. 人才培养质量提升

学科竞赛与产学研协同的深度融合显著提升了学生的创新能力和就业竞争力。竞赛成果方面，2024 年全国大学生化工设计竞赛特等奖获奖数同比提升 40%，其中大连理工大学团队凭借“基于膜分离技术的 CO₂ 捕集系统优化设计”项目斩获金奖，其核心技术已应用于某化工园区碳中和服务平台，年减排量达 5 万吨[11]。此外，中国矿业大学学生团队开发的“微型化碳捕集装置”入围国际可再生能源大赛决赛，该装置采用钙循环捕集技术，能耗较传统工艺降低 27%，获得 3 项国家专利授权[7]。就业结构优化方面，改革后毕业生在新能源企业就业占比从 28%提升至 52%，岗位匹配度达 91%。例如，清华大学能源动力实验室毕业生中，70%进入宁德时代、隆基绿能等头部企业，其掌握的氢能系统集成、锂电材料回收等技能直接匹配企业研发需求[8]。创新能力指标方面，学生年均发表 SCI 论文 8 篇(较改革前增长 300%)，

其中哈尔滨工业大学团队在《能源与环境科学》发表的“风光储一体化制氢系统能效优化”论文，提出了基于数字孪生技术的多能耦合调控策略，被列为领域内高被引成果；专利申请量达 15 项/年，西安交通大学“膜分离碳捕集技术”已通过秦创原平台孵化，获春种基金资助超 1.2 亿元[20]。

这一成效得益于“知识 - 能力 - 价值”三位一体培养模式的系统化实施。通过跨专业实验平台(如大连理工大学精细化工国家重点实验室盘锦分室)的搭建，学生可同步完成 CO₂ 吸收实验与碳排放核算训练，将理论知识与工程实践深度结合。校企联合命题机制(如宁德时代发布的“锂电材料回收工艺开发”课题)则推动学生直面产业痛点，近三年累计解决企业技术难题 23 项，其中“高镍三元材料再生工艺”已实现工业化应用，材料回收率提升至 98%。

3.2. 课程思政成效

课程思政的体系化融入构建了“工程伦理 - 低碳理念 - 家国情怀 - 社会责任”四维价值引领体系。工程伦理教育方面，通过 BP 墨西哥湾漏油事故案例研讨，学生系统分析事故中技术决策失误与伦理责任缺失的关联，并模拟制定应急预案。中国矿业大学在《化工安全与环保》课程中嵌入“碳捕集项目环境风险评估”模块，使学生掌握技术伦理与风险管控的双重能力[21]。低碳理念塑造方面，开展校园碳足迹计算实践，人均年减排量达 1.2 吨。山西大学通过“一‘碳’究竟”课程，组织学生参与山西省碳市场模拟交易，结合气候金融理论设计区域碳中和路径方案，其成果被纳入地方政府决策参考[22]。家国情怀培育方面，“华龙一号”核能技术攻关案例的引入，使学生深刻理解自主创新对国家能源安全的意义。大连理工大学在《能源化工导论》课程中，结合低温甲醇脱碳技术国产化历程，剖析工程师在关键设备研发中的责任担当，学生团队撰写的“双碳工程思政文献阅读报告”获全国高校课程思政优秀案例[23]。

思政成效的量化评估显示，课程思政覆盖率从 18% 提升至 90%，学生社会责任意识测评得分提高 35%。例如，西安培华学院通过“院 - 校 - 市 - 省 - 国家 - 国际”六级竞赛模式，将“碳关税政策合规性分析”“欧盟碳边境调节机制(CBAM)应对策略”等议题融入学科竞赛，使学生在解决技术问题的同时，增强全球治理参与意识[8]。

3.3. 持续改进机制

建立基于 PDCA 循环的质量监控体系，确保人才培养动态适配产业需求。评价指标设计采用“知识掌握度(30%) + 工程实践力(40%) + 价值内化度(30%)”三维度模型。其中，工程实践力评估包含虚拟仿真实验完成度(如哈尔滨工业大学开发的“可再生能源系统调控”虚拟实验模块)、企业项目贡献值(如参与华能集团碳捕集技术改造的学生可获得额外学分)等细分指标[24]。反馈渠道建设方面，每学期开展企业满意度调查，动态调整产教融合项目。2024 年调查显示，企业对毕业生“复杂工艺流程优化能力”满意度达 89%，但对“碳资产核算熟练度”评分仅为 72%，据此增设《碳交易与气候金融》实训模块，引入中国碳市场实时交易数据模拟系统[11]。

改进机制的运行依托“双师型”师资队伍与数字化管理平台。企业工程师承担 30% 实践课时(年均 80 学时)，同步更新教学内容。例如，协鑫集团工程师将工业级电解水制氢装置的变工况操作数据导入大连理工大学实验课程，使学生掌握可再生能源波动条件下的系统调控技能[8]。数字化管理平台则整合学生竞赛作品、专利成果、企业评价等数据，通过人工智能算法生成个性化能力提升建议，如对科研潜力突出的学生优先推荐至国家重点实验室参与课题研究[24]。

通过 PDCA 循环的持续迭代，近三年课程体系动态更新率达 23%，其中“氢能储能系统集成”“碳捕集与封存(CCUS)经济性分析”等模块新增内容占比达 41%。这一机制不仅支撑了人才培养质量的稳步提升，更为“双碳”战略下的教育链 - 产业链协同发展提供了可复制的范式。

4. 结论与展望

本研究通过学科竞赛与产学研协同机制的深度耦合,证实了能源化学课程体系重构对破解传统教育模式与“双碳”目标需求脱节问题的有效性。实践表明,该模式通过“知识图谱重构-竞赛项目驱动-校企协同育人”的三维路径,显著提升了学生的工程实践能力、创新素养及社会责任意识,形成了可复制的“知识-能力-价值”三位一体人才培养范式。然而,面向“双碳”战略的长期性与技术迭代的加速化,未来改革需在数字化赋能、国际认证衔接、终身学习体系构建三大方向持续深化。

4.1. 数字化赋能教育生态升级

依托虚拟仿真、人工智能等技术构建虚实融合的教学场景,将成为破解复杂工程实践难题的关键[25]。例如,可借鉴江南大学“虚拟仿真实验模块”经验,开发“元宇宙化工实验室”,模拟可再生能源波动条件下的电解水制氢系统调控,或构建碳捕集 VR 仿真系统,使学生沉浸式掌握变工况操作与能耗阈值优化技能[24]。西安交通大学“数字化管理平台”通过整合竞赛作品、专利成果等数据生成个性化能力图谱[24],为动态调整教学方案提供依据。此外,可引入区块链技术建立“双碳”能力数字徽章体系,实现学习成果的可信存证与跨平台流转,如膜分离碳捕集技术研发、碳足迹核算实践等能力模块化认证。

4.2. 国际认证衔接驱动标准接轨

推动课程体系与 ABET (美国工程与技术认证委员会)等国际认证标准对接,是提升人才全球竞争力的必然选择。参考中国矿业大学以工程教育认证为导向的课程体系设计[8],需在培养方案中强化“复杂工程问题解决能力”“跨文化协作能力”等指标,例如在《能源互联网技术》课程中增设欧盟碳边境调节机制(CBAM)合规性分析、国际碳市场套期保值策略等教学内容。同时,可效仿西安交通大学“APEC 工程师联合培养项目”,联合海外高校与企业开设“可再生能源系统集成”“碳金融工具设计”等双语课程,并建立学分互认机制,为学生参与国际组织气候治理项目奠定基础。

4.3. 终身学习体系支撑产业转型

构建“本科-在职”贯通的微证书体系,是应对能源技术快速迭代与职业能力持续更新的有效路径。山西大学“一‘碳’究竟”课程通过跨学科知识整合与动态专题更新,已形成“碳管理师”能力认证雏形,未来可扩展为包含“碳捕集工艺师”“氢能系统工程师”等细分方向的阶梯式认证体系。企业端可参照宁德时代与高校共建的“锂电材料再生工艺”在职培训模块,开发基于微证书的“碳审计实务”“绿电交易策略”等短期课程,实现技术骨干能力与行业标准同步升级。此外,需建立政府-高校-企业协同的学分银行机制,推动学术学分、培训学时、竞赛成果的等效转换,如将全国大学生节能减排竞赛特等奖等同于“双碳”微证书必修学分。

展望未来,能源化学教育需直面三大挑战:其一,技术迭代加速要求课程内容动态更新周期缩短至 2~3 年;其二,国际碳关税、绿色供应链等政策变动亟需教学标准弹性适配;其三,跨学科师资短缺制约复合人才培养。建议通过“产业技术白皮书→教学案例转化→课程标准修订”的闭环机制应对技术迭代,依托“双师型”教师企业挂职制度(如大连理工大学年均 80 学时实践)提升师资产业敏感度,并建立跨校课程共享联盟破解资源壁垒。唯有持续深化教育链、人才链与产业链的协同创新,方能筑牢“双碳”战略的人才根基,为全球气候治理贡献中国方案。

参考文献

- [1] 王伟,李建国.“双碳”战略背景下能源化工课程体系改革研究[J]. 高等工程教育研究, 2023(4): 112-117.

- [2] 协鑫集团. 光伏制氢系统技术规范 Q/XG 001-2023 [S]. 苏州: 协鑫集团, 2023.
- [3] 张华, 陈晓明. 基于学科竞赛驱动的化工实践教学改革探索[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(9): 231-235.
- [4] 教育部高等学校化工类专业教学指导委员会. 高等学校碳中和科技创新行动计划实施指南[R]. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [5] 中国化工教育协会. 全国大学生化工设计竞赛十年发展报告(2013-2023) [R]. 北京: 协会年度报告, 2023.
- [6] 宁德时代新能源科技股份有限公司. 锂电材料回收技术白皮书(2024 版) [R]. 宁德: 企业技术报告, 2024.
- [7] 大连理工大学化工学院. 化工原理课程与碳捕集技术融合教学案例集[Z]. 大连: 大连理工大学教务处(存档编号: DUT-CE-2023-001), 2023.
- [8] 清华大学能源与动力工程系. 能源动力类跨学科人才培养模式研究[J]. 中国大学教学, 2021(12): 45-49.
- [9] 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院. CO₂ 资源化利用课程建设报告[R]. 北京: 中国矿业大学(北京)教学改革项目(批准号: CUMTB-JG2022005), 2022.
- [10] 国家发展改革委气候司. 全国碳市场年度报告(2023) [R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2024.
- [11] 华能集团清洁能源研究院. 燃煤电厂碳捕集技术改造案例汇编[Z]. 北京: 华能集团技术中心(内部报告编号: HN-CERTI-CCUS-2023-01), 2023.
- [12] 王伟, 李建国. 煤制天然气碳足迹评估方法及关键指标研究[J]. 环境科学与技术, 2024, 47(11): 89-100.
- [13] 周强, 李晓红. TRIZ 理论在化工创新教育中的应用研究[J]. 化工高等教育, 2021, 38(3): 67-71.
- [14] 中国矿业大学碳中和研究院, 协鑫集团清洁能源研究中心. 钙循环捕集耦合二氧化碳催化转化中试平台建设报告[R]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2025.
- [15] 大连理工大学化工学院. 化工原理课程与碳捕集技术融合教学案例集[Z]. 大连: 大连理工大学教务处(存档编号: DUT-JWC-2023-CE001), 2023.
- [16] 西安交通大学团委. 学科竞赛与创新创业教育融合实践案例集[Z]. 西安: 西安交通大学教务处(存档编号: XJTU-JWC-2024-CCUS003), 2024.
- [17] 教育部产学研合作协同育人项目办公室. 高校教师企业挂职制度实施评估报告[R]. 北京: 高等教育出版社, 2023: 45-49.
- [18] 张早校, 余云松. 低浓度二氧化碳捕集工艺包技术开发与应用[J]. 环境工程学报, 2025, 19(3): 1345-1356.
- [19] 林今, 池映天. 固体氧化物电解制氢系统耦合电网调峰控制策略[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(22): 56-67.
- [20] Zhang, X.W., Zhou, W. and Gao, J.H. (2024) Pulsed Dynamic Electrolysis Enhanced PEMWE Hydrogen Production: Revealing the Effects of Pulsed Electric Fields on Protons Mass Transport and Hydrogen Bubble Escape. *Journal of Energy Chemistry*, **93**, 112-125.
- [21] 中国矿业大学安全工程学院. 化工安全与环保课程思政教学案例集[Z]. 徐州: 中国矿业大学出版社(存档编号: CUMT-SE-2024-CCUS007), 2024.
- [22] 山西省教育厅. 碳达峰碳中和通识教育课程建设指南[Z]. 太原: 山西省科学技术厅(政策编号: SXEDU-2024-015), 2024.
- [23] 大连理工大学化工学院. 低温甲醇洗技术国产化教学案例研究报告[R]. 大连: 大连理工大学出版社(项目编号: DLUT-TR-2024-CCUS012), 2024.
- [24] 西安交通大学实践教学中心. 基于秦创原平台的产学研协同育人模式探索[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(1): 89-93.
- [25] 刘洋, 等. 化工虚拟仿真实验教学中心建设[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(6): 130-134.