

“双碳”背景下新能源材料与技术研究型教学模式 模式的构建研究

赵红远*, 李敬怡, 徐欣雅, 张玉洋, 王文欣、李子荣*

安徽科技工程大学化学与材料工程学院, 安徽 蚌埠

收稿日期: 2026年3月27日; 录用日期: 2026年5月14日; 发布日期: 2026年5月25日

摘要

为应对全球低碳转型与产业变革对新能源领域人才培养提出的新要求, 本文聚焦于新能源材料与技术课程, 针对其传统教学存在的理论与产业实践脱节、前沿工具融合不足及工程伦理素养培养薄弱等问题, 提出一种面向“双碳”目标的研究型教学模式。该模式以支撑专业毕业要求和课程目标为导向, 将“模块化知识体系重构”与“五层次研究型教学路径”的有机融合作为研究核心。通过将课程内容重组为“能源转化材料与热力学基础 - 绿色合成与反应工程 - 新能源材料结构与性能 - 电化学能源存储与转换系统”四大模块, 并嵌入碳足迹分析、生命周期评价等工具。同时, 设计“引导 - 探究 - 应用 - 创新 - 价值伦理”递进式教学路径, 培养学生从理论认知到创新设计及伦理评估的完整能力链。本文可为新能源相关课程的改革提供一个系统化、可操作的理论构建方案。

关键词

研究型教学, 五层次教学设计, 新能源材料与技术, 双碳战略, 新工科

Research on the Construction of a Research-Oriented Teaching Model for New Energy Materials and Technology under the “Dual Carbon” Goals

Hongyuan Zhao*, Jingyi Li, Xinya Xu, Yuyang Zhang, Wenxin Wang, Zirong Li*

College of Chemistry and Materials Engineering, Anhui Science and Technology University, Bengbu Anhui

Received: March 27, 2026; accepted: May 14, 2026; published: May 25, 2026

*通讯作者。

文章引用: 赵红远, 李敬怡, 徐欣雅, 张玉洋, 王文欣, 李子荣. “双碳”背景下新能源材料与技术研究型教学模式的构建研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(5): 244-251. DOI: 10.12677/ces.2026.145341

Abstract

In response to the new demands for talent cultivation in the new energy field posed by global low-carbon transition and industrial transformation, this paper focuses on the course of New Energy Materials and Technology. Addressing issues in traditional teaching such as the disconnection between theory and industrial practice, insufficient integration of cutting-edge tools, and weak cultivation of engineering ethics literacy, a research-oriented teaching model oriented towards the carbon peak and carbon neutrality goals is proposed. Guided by the objective of supporting professional graduation requirements and course outcomes, the organic integration of “modular reconstruction of the knowledge system” and a “five-level research-oriented teaching pathway” constitutes the core of this research. The model reorganizes the course content into four major modules: “Energy Conversion Materials and Thermodynamic Fundamentals”, “Green Synthesis and Reaction Engineering”, “Structure and Properties of New Energy Materials”, and “Electrochemical Energy Storage and Conversion Systems”, while embedding tools such as carbon footprint analysis and life cycle assessment. Simultaneously, it designs a progressive teaching pathway of “Guidance-Inquiry-Application-Innovation-Value and Ethics” to cultivate students’ complete competency chain from theoretical understanding to innovative design and ethical evaluation. This paper can provide a systematic and operable theoretical framework for the reform of new energy-related courses.

Keywords

Research-Oriented Teaching, Five-Level Instructional Design, New Energy Materials and Technology, Dual Carbon Goals, Emerging Engineering Education

Copyright © 2026 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

全球应对气候变化的紧迫行动与工程教育范式转型的持续深化，对工程科技人员的创新能力、工程素养及可持续发展观提出了较高的要求[1]-[3]。新能源材料与技术作为能源、材料、化工、环境等相关专业的重要课程，其知识体系(能源材料基础、材料合成与制备、材料结构与性能、电化学储能技术等)是理解能量转化规律、揭示材料构效关系、认知光伏与电池等新能源器件工作原理的重要基础，对实现专业培养目标具有重要的支撑作用[4]-[6]。

为应对工程教育挑战，国内外已报道多种教学改革模式。问题导向学习(PBL)和项目式学习(PjBL)强调以真实问题或项目驱动学习，有效提升了学生的实践与协作能力，但在系统化知识整合与前沿工具(如LCA、AI 设计)的深度融合方面常显不足[7] [8]。成果导向教育(OBE)理念聚焦于学习产出，为课程设计提供了宏观框架，但在微观教学路径与层次化能力培养的设计上需进一步具体化。工程伦理教育多通过独立课程或案例片段嵌入，与专业技术课程的“全程融入、螺旋上升”式融合仍属难点。这些模式各有侧重，为本研究提供了重要借鉴，也凸显了在当前低碳转型与新工科背景下，构建一个能够系统性整合前沿工具、工程实践与价值伦理，并具有清晰层次递进路径的教学模式的迫切性。

然而，传统的新能源材料与技术教学现状与新时代专业培养需求之间仍存在显著的脱节问题，主要体现在：(1) 理论与产业实践脱节。教学内容偏重材料基础知识的记忆与简单性能表征，缺乏与“光伏器

件材料选择”、“电池反应机理认知”以及“储能系统集成”等专业核心问题的有效关联,导致学生难以将化学原理转化为理解实际工程问题的能力[7];(2) 前沿方法与工具融合不足。生命周期评价(LCA)、材料数据库查询、碳足迹计算等工具未深度融入教学,难以支撑学生在“双碳”目标下进行材料设计、性能预测与低碳评价[8];(3) 工程伦理与伦理教育缺位。绿色化学原则、工程伦理以及可持续发展理念未能在课程中得到系统性渗透,不利于学生形成全面的工程观与可持续发展观[9][10]。

为破解上述困境,本研究聚焦于新能源材料与技术课程的研究型教学改革,探索并构建一种以可持续发展为导向、以专业能力达成为目标的研究型教学模式。该模式通过“模块化知识体系重构”与“五层次研究型教学路径”的有机融合,力图将前沿工具、工程案例、绿色伦理嵌入教学全过程,从而系统性提升学生运用材料科学原理解释新能源领域复杂工程问题的认知能力、分析能力与责任意识,为工程基础课程支撑新工科建设提供可资借鉴的教学范式[11][12]。

2. 研究型教学模式构建的理论与实践框架

研究型教学没有统一定义,但其核心在于依据课程特色与学生学情,构建能够引导学生通过主动探究来构建知识、发展能力与价值观的动态教学策略[13]。学界共识主要聚焦于三个维度:一是科研融合维度,强调将科研思维、方法与前沿成果深度融入教学过程,使学生在探索中锻炼科学思维与创新能力;二是情境创设维度,主张通过模拟或真实的科研/工程问题情境,驱动学生像研究者一样实践,实现知识应用与创新素养的协同提升;三是教学导向维度,形成从“研究领先”到“研究支持”的多元化、多层次教学体系。

新能源材料与技术课程承担着培养学生运用材料科学原理认知和解析复杂工程问题的重要使命。该课程的知识体系(能源材料基础理论、材料合成与制备技术、材料结构与性能表征、电化学储能材料与器件等)是理解能量转换、材料构效关系及器件工作原理的重要基础。课程教学亟需超越传统的“知识传授”范式,要求教学改革必须紧密对接专业毕业要求,培养学生运用材料科学原理进行低碳材料设计、工艺优化及系统能效分析的能力,从而回应国家战略对高素质应用型、创新型新能源人才的迫切需求[14][15]。

2.1. 面向“双碳”目标与专业需求的知识体系模块化重构

新能源材料与技术课程传统上按“能源材料基础-太阳能电池材料-锂离子电池材料-燃料电池材料-超级电容器材料-其他新能源材料”的线性章节推进。这种模式体系完整,但容易导致学生陷入对孤立概念(如硅电池、磷酸铁锂、质子交换膜)的机械记忆,难以将分散的知识点融会贯通。知识与应用之间出现断层,学生普遍反映“学不知所用”,难以建立理解“双碳”背景下实际技术挑战的能力自信。

为解决上述问题,并直接服务于新能源材料与器件专业的培养目标,本研究提出以“双碳”问题与专业需求为牵引的模块化知识重构策略。依据新能源材料与技术基本原理的内在逻辑及其在新能源技术中的典型应用场景,将课程内容系统性重组为以下四大核心模块:

(1) **能源转化材料与热力学基础模块**。整合能源材料分类、能源转化基本原理、化学热力学基础、能源效率与可持续发展等内容。聚焦于能量转化与过程自发性判据,核心目标是培养学生运用热力学原理分析和比较不同能源系统效率的能力。通过计算化石能源与氢能、太阳能、核能的热值对比及能量转化效率,引导学生理解能源转型的热力学基础。

(2) **绿色合成与反应工程模块**。整合材料合成方法、化学反应工程、催化原理与绿色化学等内容。聚焦于反应条件调控与路径优化,培养学生理解和评价低碳、高效材料制备工艺的能力。通过分析锂离子电池正极材料、钙钛矿太阳能电池材料的合成工艺优化,探讨“双碳”背景下的绿色制备策略。

(3) **新能源材料结构与性能模块**。整合晶体结构基础、能带理论、缺陷化学、材料表征技术等内容。

聚焦于材料微观结构与宏观性能的关联,通过“硅太阳能电池材料能带结构分析”、“锂离子电池正极材料的晶体结构认知”、“钙钛矿材料结构稳定性研究”等案例,将晶体学、能带理论、缺陷化学等理论知识与材料性能直接关联,培养学生系统的材料结构解析与性能预测能力。

(4) **电化学能源存储与转换系统模块**。贯通电化学基础、电极材料设计、电池器件工程、储能系统集成等内容。聚焦于电化学能源转换与存储器件,通过“锂离子电池工作原理与电极反应分析”、“氢氧燃料电池热效率计算”、“固态电解质界面优化”等案例,将电极电势、电化学动力学、界面科学等理论知识与电池性能直接关联,并引入电化学阻抗谱、原位表征等先进技术认知,培养学生系统的器件原理分析与工程设计能力。

此外,重构过程深度融入了“理论-技术-伦理”协同模式:在传授材料热力学时,同步探讨能源利用的极限与可持续发展(工程伦理);在学习电化学储能时,分析不同电池技术的全生命周期碳足迹(LCA工具应用);在材料结构模块,讨论关键元素资源的可获得性与回收潜力(绿色化学原则)。这使知识体系本身成为承载伦理素养与工程责任教育的载体,服务于培养兼具认知能力与社会责任感的工程人才。相较于传统模式侧重知识记忆与应试,本重构模式实现了三大转变:知识组织从学科逻辑导向转向“双碳”问题与专业能力导向;能力培养从材料表征能力转向包含碳排放认知、低碳评价与系统分析在内的复合工程能力;评价重心从期末笔试主导转向强调过程性、项目化的多元评价。

2.2. 基于“五层次”的研究型教学设计思路

为系统性培养学生解决新能源领域复杂工程问题的能力,本研究在模块化知识重构基础上,设计了“引导层→探究层→应用层→创新层→价值伦理层”的五层次递进式教学路径,旨在形成“问题驱动-理论深化-实践创新-价值内化”的闭环育人机制。

2.2.1. 引导层: 破解概念抽象困境, 激发探索动机

针对新能源材料与技术概念抽象(如能带理论、电极极化、界面反应)导致的学习动机不足问题,本层次以“双碳”技术瓶颈(如“如何降低电解水制氢能耗?”、“如何提高钙钛矿电池稳定性?”)为锚点,结合工程案例(如光伏材料光衰机理的材料本质、锂电池热失控的化学机制)揭示理论价值,并利用“能源热值对比计算”、“材料数据库查询”等交互工具将抽象概念动态可视化,建立“理论-技术-战略”的关联认知,激发学生内在探索动力。

2.2.2. 探究层: 突破公式记忆局限, 深化理论本质

为扭转学生机械记忆公式(如阿伦尼乌斯方程、能斯特方程、菲克定律)而忽视物理意义的倾向,本层次通过虚拟仿真(如模拟 CO_2 在MOF材料中的吸附动力学、锂离子电池充放电过程模拟)、分组实验(如锂离子电池充放电测试结合原位表征、钙钛矿电池制备与性能测试)及推演式教学(如重现半导体能带理论发展历程)三重路径,强化对理论推导逻辑与微观机制的理解,培养“从现象到机制”的科学思维。

2.2.3. 应用层: 弥合理论与工程鸿沟, 强化技术实践

针对学生理论应用能力薄弱的核心瓶颈,本层次以企业真实课题(如固态电解质界面优化、高镍正极材料表面包覆设计)和综合系统任务(如光伏-储能集成系统能效优化、动力电池包热管理设计)为驱动,要求学生综合运用材料设计、电化学阻抗谱、LCA等工具完成从设计、分析到评估的完整工程实践闭环,强化解决实际复杂工程问题的能力。

2.2.4. 创新层: 赋能前沿探索, 驱动原始创新

为提升学生的颠覆性设计能力,本层次引入材料基因组工程理念与AI辅助材料筛选技术,结合第一

性原理计算、分子动力学模拟、数据库查询等方法, 指导学生进行低碳材料(如高容量负极材料、固态电解质、碳捕集 MOF 材料)的创新型设计, 并通过构建“绿色创新积分”多维评价体系, 对接科创竞赛, 推动创新思维向原始成果转化。

2.2.5. 价值伦理层: 内化双碳责任, 塑造可持续发展观

为解决技术教育与伦理教育割裂问题, 本层次通过组织技术伦理辩论(如锂电池回收与梯次利用的困境、钠离子电池与锂离子电池的资源竞争)、剖析工程案例的可持续性短板(如动力电池全生命周期的碳足迹陷阱、光伏组件回收的环境挑战), 以及弘扬科学家精神, 将绿色化学原则、工程伦理与可持续发展理念深度融入教学, 实现“技术理性”与“生态伦理”的辩证统一。

2.2.6. 层次协同机制设计

为确保五层次路径的有机联动与动态优化, 本研究设计三维协同机制: 在“科研反哺教学”维度, 将前沿科研成果(如诺贝尔奖成果、Nature/Science 最新研究)及教师课题转化为教学案例与模块内容; 在“信息技术赋能”维度, 构建集成第一性原理计算、材料数据库与 LCA 分析平台的“虚拟-实体”双轨学习环境; 在“评价动态反馈”维度, 依据学习过程数据动态调整教学侧重, 并通过“层次能力雷达图”可视化成长轨迹, 实现教学资源的精准配置与教学效果的持续改进。

2.3. 模式实施的主客观条件与保障机制

为确保所构建的“模块化重构-五层次进阶”教学模式有效落地并持续运行, 需系统考量并构建相应的实施条件与保障体系。

2.3.1. 师资队伍建设与能力发展

(1) 团队结构: 组建跨学科教学团队, 核心成员应涵盖材料、化学、能源、环境等专业背景, 并吸纳具有新能源行业研发或工程实践经验的企业专家作为兼职教师。

(2) 能力要求: 主讲教师不仅需扎实掌握新能源材料核心理论, 还应熟悉 LCA、材料计算模拟(如第一性原理、分子动力学)、AI 辅助设计等前沿工具, 并具备较强的工程案例教学设计与课程整合能力。

(3) 培训方案: 定期举办“双碳”前沿技术、工程伦理及先进教学法工作坊; 建立“企业实践研修”制度, 鼓励教师赴合作企业进行短期技术交流或项目实践; 组建课程教学研究小组, 共同开发教学案例、设计项目任务, 并通过教学观摩、反思研讨提升整体教学实施水平。

2.3.2. 教学资源与平台支持

(1) 硬件与软件: 需配置支持材料计算模拟的高性能计算节点或访问权限; 购置或开通主流 LCA 分析软件(如 SimaPro, GaBi, OpenLCA)及材料数据库(如 Materials Project, Battery Archive)的使用许可; 建设或完善可用于电池组装、性能测试等实验的实践场地。

(2) 数字化资源: 开发或引进高质量的虚拟仿真实验项目(如电池充放电过程模拟、材料吸附行为模拟); 系统收集并整理新能源产业真实工程案例、技术标准与政策文件, 构建课程专属案例库。

(3) 教学平台: 利用智慧教学平台(如超星学习通、雨课堂)实现教学资源发布、过程性考核、师生互动与学习数据分析的一体化管理。

2.3.3. 校企合作路径与管理协调

(1) 合作路径: 吸引企业提供真实、适度的技术难题作为学生“应用层”与“创新层”的项目选题, 企业导师参与指导与评价。与优质企业共建实践教学基地, 安排学生参观、实习或开展毕业设计。聘请企业专家进课堂授课或讲座, 同时鼓励教师为企业提供技术咨询, 形成良性互动。

(2) 教学管理协调：为保障项目式学习的连续性，建议采用阶段性集中授课或连排课方式。学校层面需出台政策，认可教师在校企合作课程建设、案例开发方面的工作量；探索将学生取得的优秀项目成果、竞赛奖项折算为创新学分。成立由院系教学负责人、专业负责人、骨干教师组成的课程改革工作组，及时协调解决在资源分配、考核评价、教师激励等方面可能出现的矛盾。

2.4. 研究型教学过程评价模式与工具

为全面、公正地评价学生在“双碳”背景下运用材料科学原理解决复杂工程问题的能力、创新设计与工程伦理素养，本研究构建了与五层次教学环节紧密耦合的全过程评价体系。为确保评价的科学性与可操作性，设计以下具体评价工具样例。

2.4.1. 综合性项目设计报告评分标准(Rubric)

该量表(见表 1)主要用于评价“应用层”或“创新层”中综合性设计任务的成果(如光伏-储能系统能效优化方案、新型固态电解质材料设计报告)。

Table 1. Comprehensive project design report rubric

表 1. 综合性项目设计报告评分标准表

评价维度	优秀(9~10分)	良好(7~8分)	合格(6分)	待改进(<6分)
创新性与前沿性	设计思路新颖，充分结合 AI/模拟工具或前沿理念，提出具有原创性的低碳材料或系统方案。	方案有一定新意，能结合前沿方法或数据，但创新性一般。	方案基本合理，但主要采用常规方法，缺乏创新点。	方案陈旧，或与行业前沿技术脱节。
技术可行性	技术路径清晰、完整，关键参数设计合理，有充分的理论、模拟或文献数据支撑。	技术方案基本可行，但部分环节的论证或数据支撑稍显不足。	技术方案存在明显缺陷，或关键步骤的可行性论证不充分。	技术方案存在重大错误，或不可行。
经济与环境效益分析	系统开展碳足迹(LCA)与成本分析，数据详实、方法正确，结论对工程实践有明确指导意义。	开展了碳足迹与成本分析，但数据完整性或分析深度有所欠缺。	仅简单提及经济或环境因素，缺乏定量或系统分析。	未考虑经济或环境维度。
报告规范性	结构严谨、逻辑清晰、图表规范、引用准确、语言流畅专业。	结构基本完整，表述较为清楚，存在少量格式或语言问题。	结构松散，图表或引用不规范，影响阅读和理解。	报告杂乱，关键信息缺失，不符合学术规范。

2.4.2. “双碳伦理思辨报告”评价维度与等级描述

该量表(见表 2)用于专门评价“价值伦理层”的学习成果，引导学生对技术应用的伦理维度进行深入反思。

Table 2. “Dual Carbon Ethics Reflection Report” evaluation dimensions and level descriptions

表 2. “双碳伦理思辨报告”评价维度与等级描述表

评价维度	A (优秀)	B (良好)	C (合格)
伦理敏感度	能敏锐、全面地识别技术方案中潜在的环境、社会及资源伦理困境，并能界定核心伦理冲突。	能识别主要的伦理问题，但视角可能较为单一，对伦理冲突的复杂性认识不足。	仅能列举表面化的伦理关切，未能深入揭示背后的价值冲突。
分析深度	能综合运用工程伦理原则、可持续发展理论及“双碳”相关政策(如碳关税)，进行多角度、系统性的深入论证。	能引用相关理论或政策进行分析，但逻辑链条不够严密，或分析视角较为局限。	分析较为笼统，以描述为主，缺乏理论框架或政策依据的有力支撑。

续表

逻辑清晰度	论证层次分明, 观点明确, 前后呼应, 结论水到渠成, 具有强说服力。	论证基本清晰, 但部分环节的衔接不够顺畅, 或个别观点论证不足。	逻辑线条模糊, 观点跳跃或前后矛盾, 影响整体说服力。
建议可行性	提出的伦理风险应对策略或技术改进建议具体、可行, 体现了技术理性与社会责任的平衡。	提出了一些建议, 但可能操作性不强, 或未充分考虑工程实际约束。	建议过于空泛, 缺乏实际指导价值, 或与技术方案脱节。

整个评价体系强化过程性考核, 其设计直接对接相关专业毕业要求。例如, 应用层与创新层的设计任务直接支撑“设计/开发解决方案”和“研究”毕业要求; 价值伦理层的思辨报告则呼应“工程与可持续发展”及“工程伦理和职业规范”毕业要求。最终成绩由多样化的过程性考核(总占比 40%)与侧重综合应用能力的期末考试(占比 60%)共同构成, 确保评价结果能够真实、全面地反映课程目标的达成情况, 以及学生解决新能源领域复杂工程问题的能力水平。

3. 结语

为回应全球低碳转型对人才培养的新要求与新工科建设的发展导向, 本研究以新能源材料与技术课程为着力点, 针对其连接基础理论与复杂工程问题解决的关键作用, 系统构建了“模块化知识重构-五层次能力进阶”融合的研究型教学模式。该模式通过打破传统章节壁垒, 将课程核心内容重组为“能源转化材料与热力学基础-绿色合成与反应工程-新能源材料结构与性能-电化学能源存储与转换系统”四大知识模块, 并设计了“引导层-探究层-应用层-创新层-价值伦理层”的递进式教学路径。其核心在于将绿色化学原则、LCA 及 AI 辅助设计等前沿工具与工程伦理深度融入教学全过程, 旨在构建“理论-实践-伦理”三位一体的教学体系。本研究聚焦于模式的系统化设计思路与实施框架, 重点探讨了如何通过问题驱动的知识重构与层次递进的能力训练, 有效支撑专业毕业要求(如工程知识、问题分析、设计/开发解决方案、工程与可持续发展等), 从而系统性培养学生的复杂工程问题解决能力、低碳技术创新意识与社会责任感。本模式的构建, 旨在为工程基础课程紧密对接国家战略需求、深度融入专业培养体系提供一种可借鉴的理论方案与改革范式, 为推动新工科背景下的课程教学改革提供参考。

基金项目

本研究项目由安徽科技工程大学 2025 年度新时代育人质量工程项目(研究生教育)重点项目(项目号: 2025Xyjsjyxggjz003)资助, 项目名称:《新能源材料与技术》: 新能源电池失效案例驱动的翻转课堂改革研究。

参考文献

- [1] 姚山季, 庄雷, 管国锋. 碳达峰与碳中和: 我国化工高等教育发展的机遇与对策[J]. 化工高等教育, 2025, 42(1): 2-6.
- [2] 谢丹阳, 王周君, 刘洋. “双碳”目标融入高校理工科专业课程思政教学探索[J]. 高教学刊, 2023, 9(15): 193-196.
- [3] 夏瑶, 张旭明, 冯涛, 等. 新工科背景下新能源材料与器件专业人才培养新模式的构建[J]. 创新教育研究, 2023, 11(5): 1426-1432.
- [4] 肖婷, 倪世兵, 谭新玉, 等. “双碳”背景下新能源材料产业化人才培养模式探索[J]. 创新教育研究, 2022, 12(1): 1-6.
- [5] 黄孚杰, 赵文武, 邵志刚, 等. 我国新型能源材料发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2020, 22(5): 60-67.
- [6] 汤简赫, 夏鸣, 冯东阳, 等. 基于 OBE 理念的新能源材料课程教学改革探索[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 1-6.
- [7] 周华丽, 徐端钧, 方文军, 等. “双一流”建设背景下新能源材料课程教学改革与实践[J]. 大学化学, 2023, 38(8): 1-

- 6.
- [8] 赵亮, 张军, 王磊. 融合可持续发展理念的工程材料课程思政体系建设与实践[J]. 创新教育研究, 2024, 12(2): 1-6.
- [9] 刘献君. 高等学校研究型教学的理念与实践[J]. 高等教育研究, 2022, 43(10): 62-66.
- [10] 吴硕, 宿艳, 王新平, 等. 面向能源专业的《新能源材料》课程教学改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2023(52): 121-124.
- [11] 汪洪, 刘茜, 罗绍华, 等. 材料基因组工程: 材料研发新模式[J]. 中国科学: 信息科学, 2021, 51(11): 1329-1351.
- [12] 吴啸, 沈炯. 碳中和背景下能源动力专业人才基本素养新特质研究[J]. 高教学刊, 2025, 11(5): 50-54.
- [13] 李志义. 解析工程教育专业认证的成果导向理念[J]. 中国高等教育, 2023(17): 7-10.
- [14] 林建华. 新工科建设: 高等教育改革的新方向[J]. 中国高等教育, 2021(19): 17-18.
- [15] 李正风, 丛杭青, 王前. 工程伦理[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2020.