

微项目驱动工业工程综合仿真实验教学设计与实现

颜伟^{1,2}, 李健¹, 崔若梁¹, 李美燕^{1,2}

1. 山东科技大学能源与矿业工程学院, 山东青岛;
2. 矿业工程国家级实验教学示范中心(山东科技大学), 山东青岛

摘要: 为了应对工业工程专业人才培养面临的严峻挑战, 借助桑基图剖析了某校工业工程专业实验教学体系的现状; 在CDIO-PBL教育理念的框架下, 提出了微项目驱动的工业工程综合仿真实验教学模式, 设计了产-教-研深度融合的工业工程综合仿真实验教学实施流程, 规范了指导教师在实验教学中的策略运用, 激发了学生的内在学习动力, 并通过计算机仿真的前沿知识实现实验与理论教学的无缝对接; 选取能源矿业和机械制造领域的两个教学案例, 展示了该模式的组织实施过程。微项目驱动的仿真实验教学, 成功克服了传统工业工程实验教学的诸多局限, 激发了学生的主观探索精神, 为培养适应社会、服务社会和创新社会的复合型人才提供了有益的借鉴。

关键词: 工业工程; 微项目; 实验教学; 虚拟仿真

Design and Realization of Microproject-driven Industrial Engineering Integrated Simulation Experimental Teaching

Wei Yan^{1,2}, Jian Li¹, Ruoliang Cui¹, Meiyang Li^{1,2}

1. College of Energy and Mining Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong;
2. National Demonstration Center for Experimental Mining Engineering Education (Shandong University of Science and Technology), Qingdao, Shandong

Abstract: In order to cope with the serious challenges facing the cultivation of talents in industrial engineering, the status quo of the experimental teaching system of industrial engineering in a university is analyzed with the help of Sankey diagram; under the framework of CDIO-PBL education concept, the micro-project-driven integrated simulation experimental teaching mode of industrial engineering is proposed, and the implementation process of the integrated simulation experimental teaching of industrial engineering which is a deep fusion of industry-teaching-research is designed, which standardizes the instructors in the strategy use in experimental teaching, stimulates students' intrinsic learning motivation, and realizes the seamless connection between experimental and theoretical teaching through the cutting-edge knowledge of computer simulation; two teaching cases in the fields of energy mining and machinery manufacturing are selected to demonstrate the organization and implementation process of

* 作者简介: 颜伟(1980—), 女, 汉族, 山东临沂人, 博士, 副教授, 主要从事基础工业工程、矿业系统工程等方面的教学科研工作。

the model. The microproject-driven simulation experimental teaching successfully overcomes the many limitations of traditional industrial engineering experimental teaching, stimulates the students' subjective exploration spirit, and provides a useful reference for cultivating composite talents who can adapt to the society, serve the society and innovate the society.

Keywords: Industrial Engineering (IE); Microproject; Experimental Teaching; Simulation

1 引言

随着工业4.0时代的到来,快速变化的市场环境和日新月异的技术进步,对工业工程(Industrial Engineering,简称IE)专业的人才培养模式提出了前所未有的挑战,尤其凸显了IE专业教育体系中实验教学的重要性。实验课程教学不仅有助于学生理解和掌握基本理论和方法,更是培养学生实践能力和创新思维的关键环节。进入20世纪以来,众多学者针对IE专业的实验教学体系展开研究,图1展示了20多年来若干研究成果里程碑,包括实验室建设方面[1-3]、仿真实验方面[4-6]以及实验教学方面[7]。

从整个实验系统改革进程来看,虚拟化[8]、集成化[9,10]、智能化[11]越来越成为IE实验体系发展的核心驱动力,推动实验教学快速进步。此外,还有学者针对IE专业的核心课程[12,13]和实践课程[14]进行的实验教学改革探索。

随着教育国际化的推进,“构思-设计-实施-运行(CDIO)”工程教育理念[15]和“以问题为导向(PBL)”教育模式[16]逐渐被引入IE专业教学中,为实验教学改革注入新活力。项目式教学法是PBL教育模式的核心组成部分,注重让学生在真实项目中探

索学习,推动学生以实践为导向深度学习。但是,项目式教学法[17]在常态化教学过程中,往往触发教学周期长、项目任务繁杂、完成难度大等痛点。因此,基于真实情景构建的微项目,以其自身“微小、精益”的特征,聚焦了课程核心知识点,设计了PBL型项目任务,提升了创新和协作能力培养,在新工科专业实践教学领域得到了广泛应用[18,19]。

本文将系统梳理我校现行的工业工程实验课程体系,旨在设计并实施一种微项目导向的综合仿真实验模式,通过整合分散的实验课程,为学生提供一个能够身临其境、通过实践创新来解决实际问题的沉浸式学习体验。

2 工业工程实验体系现状分析

我校工业工程专业自1992年开始招生,至今已有30余年历史,是山东省内办学历史最长、人才培养体系最完整、专业特色最鲜明、培养规模最大的工业工程专业。依托能源矿业领域的行业优势、新旧动能转换的政策优势和青岛市“世界工业互联网之都”和“智能制造示范区”的区位优势,形成了“制造为基、矿业为旗”的专业发



图1. 2000年后IE实验室建设及实验教学研究成果里程碑

展特色。但是，作为一所省属地方院校的普通工科专业，本专业的发展也受到资金、人才等多方面的制约，体现在实验室建设方面，主要表现为实验教学应用场景单一、自动化程度低、技术和设备落后等。目前的生产运作与管理实验系统如图2所示。



图2. 现行的生产运作与管理实验系统

工业工程涉及众多学科领域，理论知识丰富，导致了实验课程体系繁杂而精细。我校IE实验课程体系设置情况的桑基图如图3所示，左侧为理论课程，右侧为实验内容，连边数值与学时设置成正比。

从图3可以观察到，我校当前的实验课程体系较为单一，实验分布比较零散，且缺乏单独设立的综合性实验课，仅限于专业课程内部设置的实验课时。这些课时不仅时间有限，而且教学内容欠缺系统性和连贯性。因此，本课题尝试基于微项目形式，设立一门综合性仿真实验课，旨在丰富和拓展实验教学的内涵，通过计算机仿真构建实验内容之间的联系，确保实验内容与理论课程之间精准对接与深度融合。

3 微项目型工业工程综合仿真实验教学设计

微项目是指规模小、针对性强、实施周期短的项目。微项目型工业工程综合仿真实验是以微项目为载体，融合工业工程理论与实践，旨在增强学生理论应用能力、提升学生创新意识和创新能力的集成性仿真实验教学模式。结合我校实验教学现状，本课题设计了微项目型工业工程综合创新实验的教学流程，如图4所示。

该教学流程的核心环节聚焦于微项目的实施过程，要求导师与学生紧密合作、共同参与完成。整个教学流程精心设计，大致涵盖了微项目设计与引入、方案制定与实施、结果考核与评价等多个重要

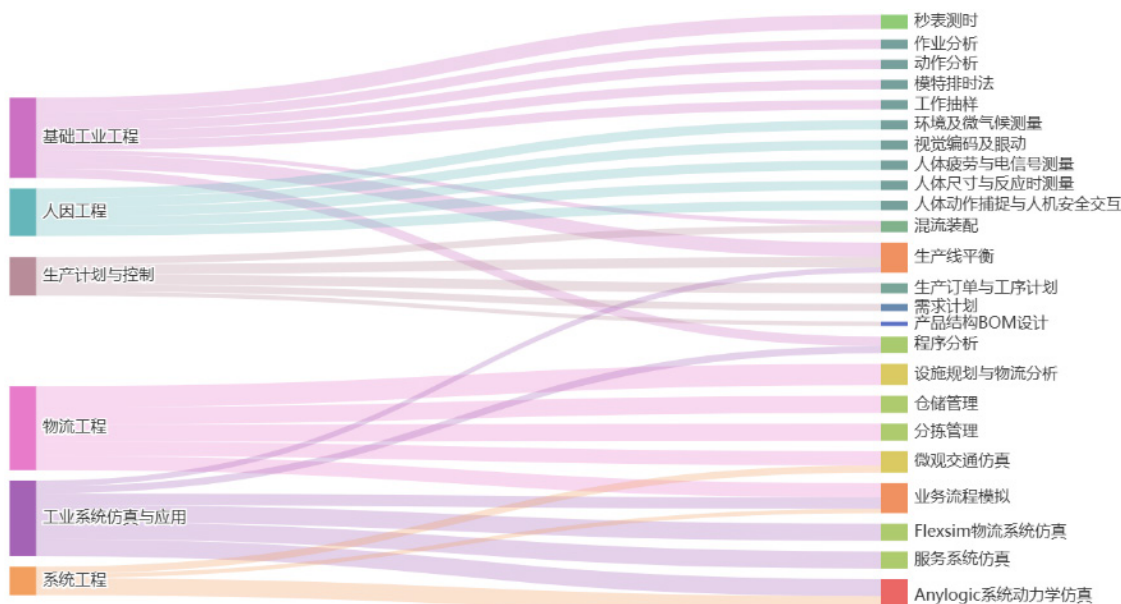


图3. IE实验课程体系设置情况

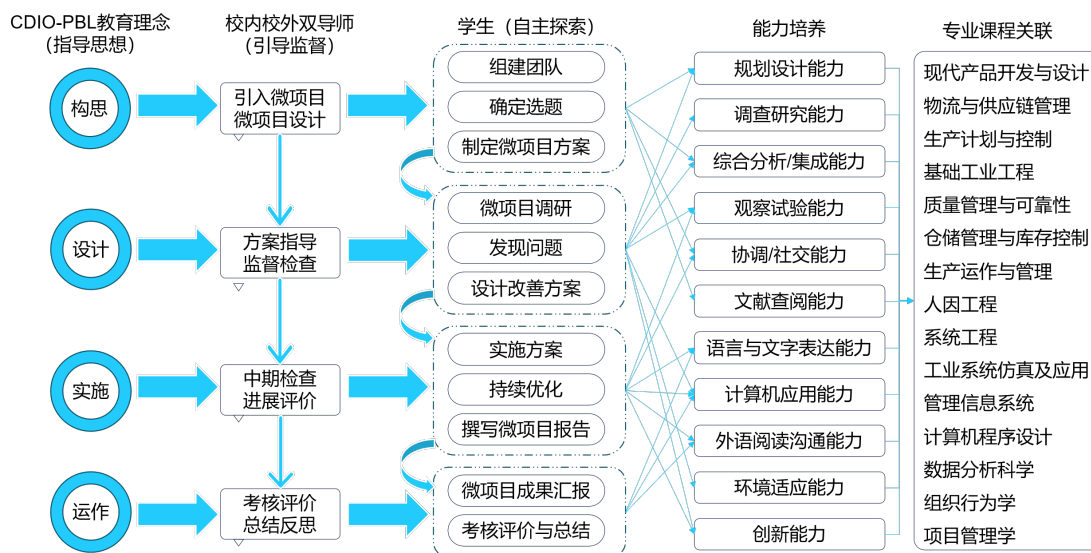


图4. 微项目型工业工程综合仿真实验的教学流程

步骤。从整体看，这一教学流程展现出以下四个典型的特征。

(1) 践行CDIO-PBL教育理念，精准引领实验教学方向。

CDIO-PBL教育理念巧妙地将问题导向型PBL教学法融入到CDIO工程教育模式之中。该理念真正体现了以学生为中心，通过构建贴近真实情境的复杂问题环境，激发学生在解决问题的实践过程中积极主动获取知识、锤炼技能。在这一核心理念的引领下，本课题所设计的实验教学模式，以微项目的全生命周期——从构思、设计到实施、运作——作为教学载体，精心选择导师层面、学生层面、教学目标层面，以及目标课程匹配性等四个核心维度作为立足点，全面审视并优化这些教学实践环节，力求确保每一环节都能精准对接与高效协同，从而最大化教学效果。

(2) 采用校内校外双导师制，全方位监督指导学习进度。

从导师层面分析，“双导师”模式构成了该教学流程顺利实施的制度基石。所谓“双导师”，是融合了来自行业前线的实践专家以及来自校内深耕学科的专业导师力量。鉴于微项目贴近真实情境的实践特性，校外导师在阐释项目背景、锤炼学生现场操作技能等方面扮演不可或缺的角色。在微项目设计阶段，校内和校外导师携手合作，形

成互补优势，共同确保微项目选题既能够紧密贴合生产实践，又能在难度和针对性上达到理想的平衡。在微项目实施阶段，双导师协同指导学生现场调研、优化改善方案、撰写报告直至综合考核的全过程。“双导师”模式不仅为学生设定了清晰的学习路径与规则，更通过积极的鼓励、及时的解释反馈，以及多元化的评价体系，全方位促进学生能力的发展与综合素质的提升。

(3) 学生自主探寻解决方案，加速推进微项目落地实施。

从学生层面分析，遵循CDIO工程教育模式，在构思和设计阶段，当导师引入微项目选题后，学生需以小组形式组建团队，明确微项目核心主题，并立即编制微项目执行计划。各小组成员应该清晰界定各自职责分工，自主驱动探究活动的进行。进入实施和运作阶段，学生在导师营造的公平、互动且富有激励性的学习氛围中，通过团队成员间的紧密协作，不仅扎实掌握相关的知识点，而且能够深入、系统地思考、有效整合各类资源，创造性地探寻问题的解决方案。同时，学生还能对最终成果进行有效的阐述与反馈，形成知识学习与应用的完整闭环。

(4) 强化实践与创新教育，全方位助力学生能力提升。

微项目是PBL教学法的一种创新性体现，通

过设置难度适中、教学周期短小的驱动型任务，有效激发学生自主探究兴趣。这一教学模式不仅强化了实践教学环节，还丰富了创新教育内容，为学生综合能力提升提供了全方位支撑。图 4 所展示的学生能力，正是工业工程专业核心能力培养的关键要求。在教学流程中，这些核心能力培养要求被贯穿始终，并且在不同的教学阶段各有侧重。经过巧妙设计的微项目载体，使教学过程能够最大化地实现不同能力培养要求与教学内容的适配，使学生在实践中不断成长、持续激发创新思维。

(5) 精准匹配专业核心课程，系统构建学生知识体系。

微项目的设计与引入是紧密依托工业工程专业既有的理论课程体系，旨在解决当前我校该专业实验课程分布比较零散、实验内容相对单一的问题，为此，本课题尝试在大四上学期开设该微项目型综合仿真实验课程。该课程的实验内容精心整合了多门专业课程的核心实验内容，确保其既能与专业课程进度保持同步，又不会与各专业课程预设的实验学时产生冲突。通过微项目驱动的综合仿真实验教学平台，学生在已经具备基本实验技能的基础上，能够进一步加深对专业知识的理解和掌握，促进知识的深度吸收和内化，最终达到提升综合素养与实践能力的目标。

4 微项目型工业工程综合仿真实验教学案例

我校工业工程专业凭借在能源与矿业领域的深厚行业背景，构建了“制造为基、矿业为旗”的专业发展路径，因此，实验教学内容亦紧密贴合这一专业特色，以下将通过两个具体案例进行详细阐述。

4.1 煤矿采选充一体化物流系统仿真

该案例所构思的微项目，紧密契合了煤矿企业绿色低碳转型发展的时代背景，并融入了采选充一体化物流系统的前沿技术元素，既体现了专业发展特色，也涵盖了煤矿环境保护、设备操作与维护、

系统模型化、仿真技术应用、统计数据分析以及安全生产等多维度知识体系，旨在全方位锻炼学生的综合素质与实践能力。图5为模型化的采选充一体化物流系统，图6和图7分别为采选充一体化模型二维和三维视觉图。

4.2 家用机床展示系统设计及实现

该微项目是自建流程式仿真实验中的一个环节。自建流程式仿真实验根植于实际生产流程，通过将各类生产设备有机串联，构建出一个能够全面模拟厂站完整生产过程的仿真环境。该实验涵盖的实验微项目较多，本文仅展示基于Unity平台开发的其中一个微项目，如图8所示。该微项目不仅呈现了家用机床系统的车床信息，还剖析了进给系统的运作机制，同时对上料和换刀两个过程进行了细节展示。通过该微项目仿真实验，学生得以在虚拟环境中亲自设计和体验机械制造设备的奥妙，从而获得对相关领域知识的更深刻理解。

5 总结

在CDIO工程教育的框架下，微项目驱动的工业工程综合仿真实验教学模式应运而生。它是对PBL教学方法的创新性实践，它融合了产-教-研三方面的优良资源，其核心目标在于全方位、深层次地培养学生综合能力。该模式能有效破解传统实验教学的诸多局限，充分彰显微项目教学实施周期灵活高效、教学情境丰富多变、教学内容广博而系统等方面的优势；也极大丰富了指导教师的教学策略和工具库；激发了学生的内在学习动力，使学习成果紧密聚焦于数字化学习和创新能力培育。该模式架起了理论学习与现场实践的桥梁，引领学生更加深刻地理解和应用所学知识体系，使他们更好地适应社会、服务社会并创新社会。

致谢

本文由以下基金项目资助：山东科技大学群星计划项目“基于CDIO-PBL教学理念的“基础工业工程”课程教学改革研究”(QX2024M02)，山东省本科

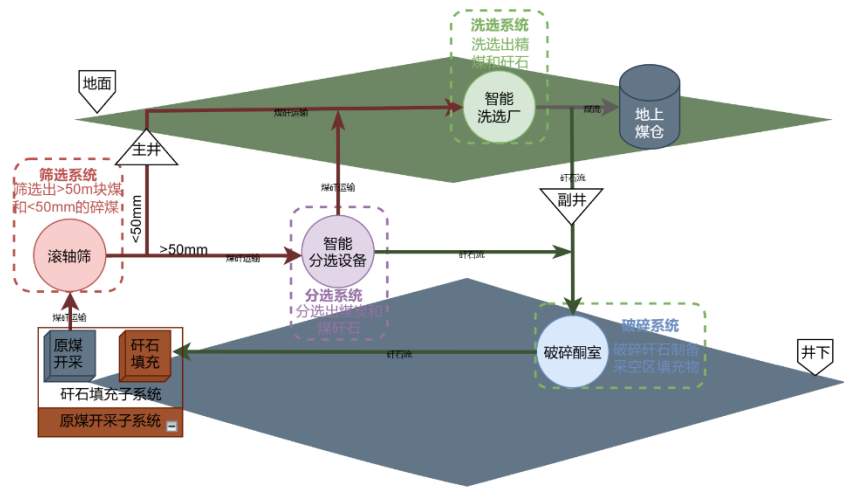


图5. 采选充一体化物流系统解析

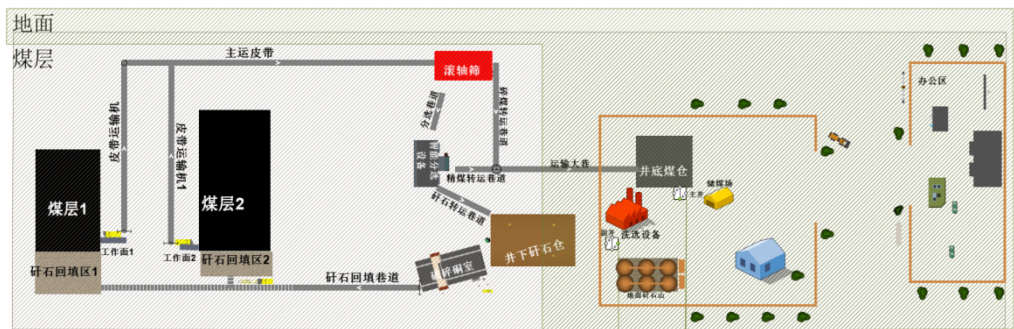


图6. 采选充一体化模型二维视觉图

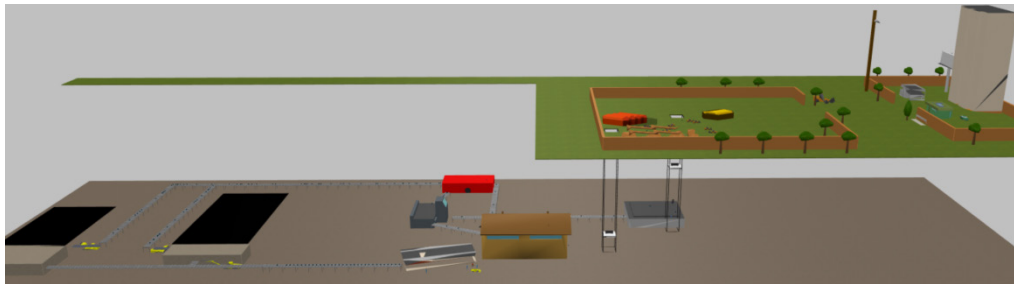
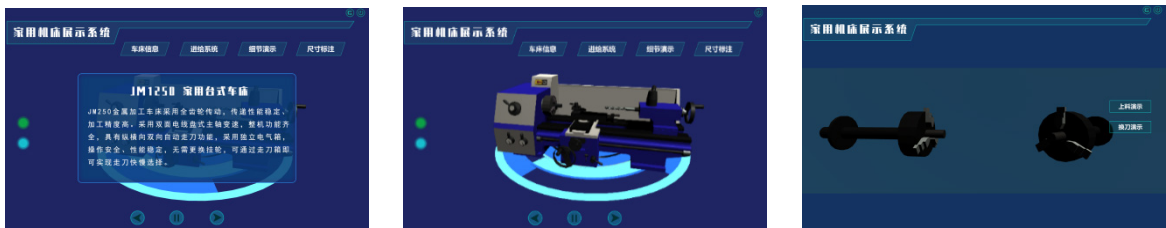


图7. 采选充一体化模型三维视觉图



(a) 车床信息展示 (b) 进给系统运转机制 (c) 上料和换刀运转

图8. 家用机床展示系统设计与实现

教学改革研究项目“特色引领的工业工程国家级一流专业建设路径及质量评价体系研究”(M2022271), 山东科技大学优秀教学团队培育计划项目“‘矿山工业工程’教学团队”(TD20211103), 山东省研究生教育优质课程建设项目“《矿山岩体力学》优质课程建设”(SDYKC18055)。

参考文献

- [1] 吴爱华, 崔鲁光, 张毅伟, 等. 工业工程教学实验体系的研究与实验方法的改革[J]. 实验室研究与探索, 2001, (02): 46-48, 57.
- [2] 周贞云, 马汉武, 叶春明, 等. 现代工业工程专业实验室的规划趋势[J]. 工业工程, 2004, (02): 60-63.
- [3] 杜春沈. 工业工程实验教学系统的设计与实施[J]. 实验室研究与探索, 2006, (06): 733-736.
- [4] 闫纪红, 王玉燕, 雷呈喜. 基于Flexsim的柔性制造系统仿真平台的设计与实施[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(10): 55-57, 61.
- [5] 樊树海, Elizabeth Amanda, 倪卫红, 等. 工业工程实验室经济型VR/3D改造方案探究[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(08): 210-212, 235.
- [6] 周金平, 苏平, 饶中, 等. 工业工程研究型仿真实验系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(08): 267-270, 274.
- [7] 严京滨, 林亨. 基于布艺生产的工业工程综合型创新实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(04): 157-159.
- [8] 张志文, 范卫锋, 张瑞鹏, 等. 工业工程专业虚拟实验室建设研究[J]. 实验室研究与探索, 2008, (05): 71-73.
- [9] 邵建峰, 倪卫红, 方叶祥. 基于可重构思想的工业工程实验系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2007: 50-53.
- [10] 蒋增强, 鄂明成, 朱晓敏, 等. 工业工程实验体系研究[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(10): 141-145.
- [11] 严京滨, 成晔. 多元集成的智能生产实验教学平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2022, (06): 252-256.
- [12] 王晓芳, 蔡临宁, 林亨. “物流分析与设施规划”课程改革与教学实践[J]. 实验室研究与探索, 2006, (01): 96-98, 107.
- [13] 葛晓梅. 基于CDIO的基础工业工程课程设计教学改革[J]. 物流工程与管理, 2019, 41(05): 193-196.
- [14] 李玉鹏, 李乃梁, 李小林. 基于“微课题”的工业工程专业实习教学模式研究[J]. 教育现代化, 2020, 7(07): 117-119.
- [15] 魏海燕. 基于CDIO教育模式的工业工程专业实验教学改革探索[J]. 高教学刊, 2019, (19): 130-132.
- [16] 于贵文, 付斌, 金向阳. 基于项目教学法的工业工程专业人才创新能力培养模式初探[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2021, 1368(10): 31-33.
- [17] 孔安琪, 吴澜, 刘铭. 指向学科核心素养培养的微项目教学模式研究——以“认识大数据”为例[J]. 数字教育, 2024, 10(04): 53-59.
- [18] 王成江, 陈铁. 自建程式式实习的理论、应用及效能[J]. 高等工程教育研究, 2021, (02): 88-93.
- [19] 吴珏, 陈昕, 成锦强, 等. 新工科背景下微项目式新能源专业实验教学——锂离子电池实验案例[J]. 实验室研究与探索, 2024, (04): 121-124.

