

基于知识图谱与AI赋能的《传热学》课程建设探索与实践

楚化强, 刘子龙, 许 年, 徐 前, 汪雪梅

安徽工业大学能源与环境学院, 安徽 马鞍山

收稿日期: 2026年8月5日; 录用日期: 2026年9月4日; 发布日期: 2026年9月10日

摘 要

针对《传热学》传统教学中知识模块孤立割裂、工程应用缺乏前沿衔接、学情反馈缺乏数据驱动等问题, 本文提出了一种集“图谱骨架、AI强化、案例驱动”于一体的智慧课程重构方案。该方案以KAP (知识 - 应用 - 问题)模型为核心构建课程骨架知识图谱, AI助教强化全流程学习支持, 工程案例驱动教学全过程。通过全面梳理导热、对流换热、辐射换热及传热过程分析等核心内容, 构建了“知识点 - 模型方法 - 工程问题 - 学习资源”相互关联的智慧知识图谱, 旨在帮助学生重塑系统化认知结构。同时, 方案将数字化辅助教材、科研反哺案例与AI全过程学情诊断有机融合。本研究为工科核心基础课程的数字化转型与智慧化重构提供了系统性的方案设计与建设路径。

关键词

传热学, 知识图谱, AI赋能, 智慧课程, 教学设计

Exploration and Practice of Heat Transfer Course Construction Empowered by Knowledge Graphs and Artificial Intelligence

Huaqiang Chu, Zilong Liu, Nian Xu, Qian Xu, Xuemei Wang

School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui

Received: August 5, 2026; accepted: September 4, 2026; published: September 10, 2026

Abstract

To address the major problems in traditional Heat Transfer teaching, including fragmented knowledge modules, insufficient integration of cutting-edge engineering applications, and the lack of data-driven

文章引用: 楚化强, 刘子龙, 许年, 徐前, 汪雪梅. 基于知识图谱与 AI 赋能的《传热学》课程建设探索与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(9): 780-787. DOI: 10.12677/ae.2026.1691961

feedback on student learning, this study proposes a smart course reconstruction framework integrating a “knowledge-graph backbone, AI enhancement, and case-driven teaching.” Centered on the KAP (Knowledge-Application-Problem) model, the framework develops a knowledge graph as the structural foundation of the course, employs an AI teaching assistant to support the entire learning process, and uses engineering cases to organize teaching activities. By systematically reviewing the core content of heat conduction, convective heat transfer, radiative heat transfer, and heat transfer process analysis, an interconnected knowledge graph linking “knowledge points, models and methods, engineering problems and learning resources” is established to help students build a more systematic cognitive structure. The framework also integrates digital supplementary materials, research-based teaching cases, and AI-assisted learning diagnosis throughout the teaching process. This study provides a systematic design framework and practical pathway for the digital transformation and intelligent reconstruction of core engineering courses.

Keywords

Heat Transfer, Knowledge Graph, AI Empowerment, Smart Course, Instructional Design

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

《传热学》是能源动力类专业的重要基础课程，主要研究导热、对流换热、辐射换热及其综合传热规律。课程理论性较强，公式和物理模型较多，不同知识模块在实际工程问题中又常相互耦合。因此，学生不仅需要掌握基本理论和计算方法，还需要建立知识之间的联系，并能够将其用于复杂工程问题分析。

近年来，围绕《传热学》课程改革，已有研究从课程思政、实验教学、案例教学和数字化资源建设等方面进行了探索[1][2]，在丰富教学内容和改进教学方式方面取得了较好效果。但传统教学仍存在一些不足：一是课程内容大多按照教材章节展开，导热、对流和辐射等知识之间的联系不够清晰；二是教材中的典型问题与芯片热管理、相变储能、防/除冰等前沿工程应用衔接不足；三是教学反馈仍较多依赖作业和考试结果，难以及时发现学生在具体知识点上的学习困难。

从教学设计角度看，课程改革不能简单停留在数字资源增加和教学工具更新上。相关研究表明，教学内容和学习材料的合理组织有助于降低学生学习复杂知识时的认知负担[3]。问题导向教学强调围绕真实问题组织课堂，引导学生在分析和解决问题的过程中理解和运用知识[4]。随着教育数字化的发展，知识图谱逐渐用于知识关联、学习资源组织和个性化学习支持[5][6]，大语言模型也开始应用于教学答疑、学习反馈和个性化辅导等环节[7]。

现有研究为课程数字化建设提供了良好基础，但知识组织、工程案例和智能学习支持往往分别开展，三者之间的联系仍有进一步整合的空间。基于此，本文结合《传热学》的课程特点，构建“图谱骨架-案例驱动-AI 强化”的智慧课程方案。以 KAP (Knowledge-Application-Problem)模型组织课程知识，以科研案例连接基础理论与工程应用，并利用 AI 助教开展课前诊断、课中支持和课后反馈。与单一的资源数字化或 AI 辅助教学相比，本研究更加关注知识组织、工程任务和学习反馈之间的协同，为《传热学》智慧课程建设提供一种整体实施思路。

2. 基于 KAP 模型的《传热学》教育知识图谱骨架重构

基于上述教学需求，课程将知识学习、能力应用和工程问题三个方面进行关联，构建“知识-应用

“问题”三层 KAP 教育知识图谱。其设计既关注知识之间的结构化联系, 也强调课程目标与教学任务的对应, 并通过真实工程问题促进知识迁移和综合应用。三层内容相互联系, 使知识图谱不只是知识点的可视化工具展示, 而是参与课程内容组织和教学实施, 如图 1 所示。

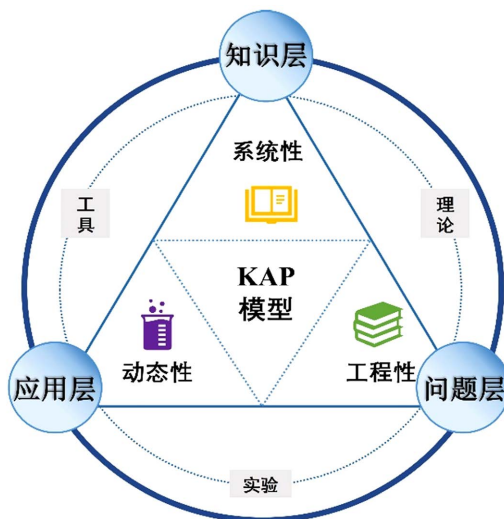


Figure 1. Framework for constructing the KAP educational knowledge graph model
图 1. 教育知识图谱 KAP 模型构建思路

2.1. 系统化知识层建构

知识层作为图谱的基石，主要通过多元资源的深度融合来突出其系统性特征[8]。基于传热学课程的考试大纲与教学基本要求，本研究全面梳理了课程中核心的定义、定理、公式、法则和性质，并将其细化至每一课时的教学目标、重难点、易错点及对应的教学策略中(图 2)。在知识点与资源的映射关联层面，方案打破了传统教学资源的孤立状态，将基础学习资源与补充性学习资源进行有机整合。图谱以经典的《传热学》纸质教材为底层蓝本，横向关联《MATLAB 在传热学例题中的应用》等新形态数字化辅助教材。同步地，图谱深度融入了凝聚编者跨校教学经验、集“知识导图 - 第六版习题全解 - 名校考研真题”于一体的全新配套参考书《传热学知识精讲与习题解答》，以此进一步夯实“精讲精练、学贯三传”的资源厚度。通过配合多媒体教学视频、单元练习及在线题库等多元多模态资源的衔接，为学习者开辟了更加丰富和多元的自主探究路径。

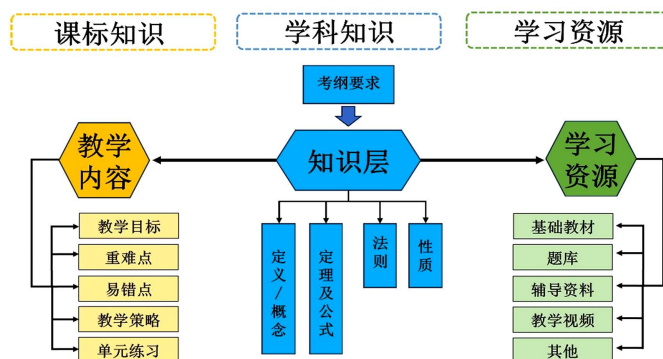


Figure 2. Construction of the knowledge layer in the KAP model
图 2. KAP 模型中知识层建构

2.2. 动态化应用层设计

应用层聚焦于“培养什么样的人，怎样培养人”这一教育根本问题，围绕知识目标、能力目标和素质目标三个维度展开，旨在满足不同层次和阶段的学生发展需求[9]。在知识维度上，该层级主要用于动态评估学生对热传导、热对流及热辐射三大传热方式等显性理论的掌握情况，遵循概念记忆、内在逻辑理解到简单问题求解的循序渐进路径，如从微元体能量守恒定律的物理内涵理解延伸至基本控制方程的应用。在能力维度上，图谱侧重于评价学生运用所学知识解决实际工程问题的能力，表现在能源与动力工程专业现场实践中的设备操作、数据采集与处理，以及跨学科交叉领域的独立思考与实践创新[10]。在素质维度上，作为影响最深远的长期目标，将“双碳”战略任务、绿色低碳理念以及科学求真精神隐性穿插于整个学习全过程，旨在激发学生的专业归属感与社会责任感，强化创新意识，为其从事传热领域事业奠定正确的价值追求。KAP 模型中应用层的具体设计如图 3 所示。

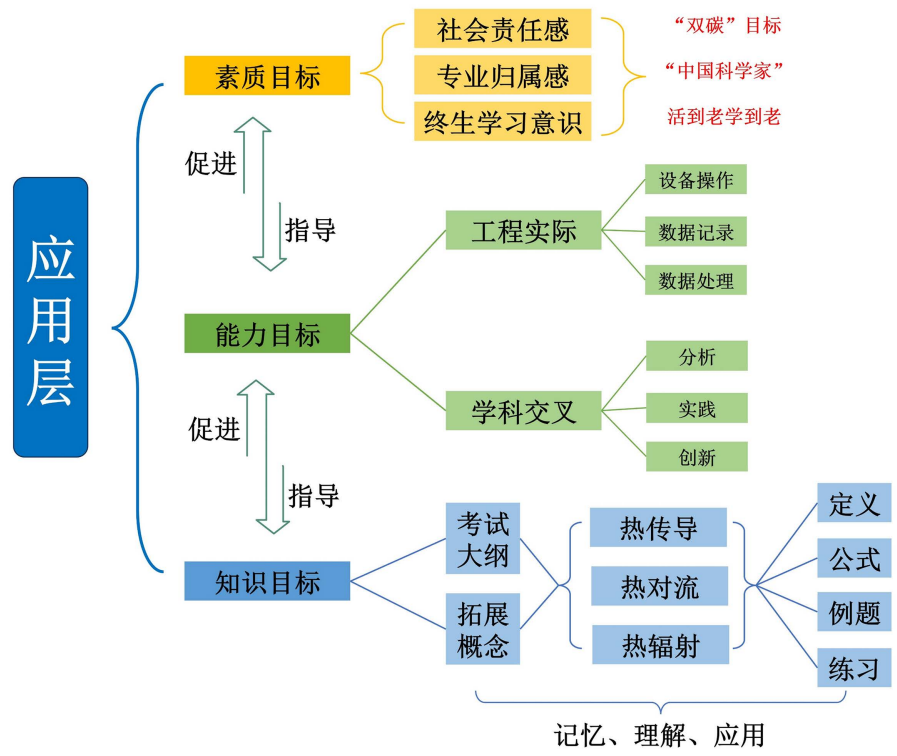


Figure 3. Design of the application layer in the KAP model
图 3. KAP 模型中应用层设计

2.3. 工程化问题层凝练

问题层作为 KAP 模型的最高逻辑层级，主要突出其工程性与前沿性特征，旨在将抽象的传热理论与复杂的工业现实相交融。该层级通过凝练现代动力工程、新能源等领域的关键技术瓶颈，构建了由浅入深、梯度分明的工程问题网络，引导学生将复杂的工程实体转化为明确的传热学科学问题。围绕课程的核心内容，问题层系统引入了散热与芯片热管理、飞机机翼防/除冰、发动机冷却换热及辐射热防护等典型前沿场景。如图 4 所示，通过“现象引入 - 机理分析 - 模型建立 - 工程讨论”的递进式设计，问题层不仅赋予了知识图谱解决实际复杂工程问题的应用灵魂，更通过强化任务驱动式探究，全面激发学生的工程探索兴趣与高阶工程思维。



Figure 4. Transformation of cutting-edge scenarios into engineering-oriented teaching cases and the implementation pathway
图 4. 前沿场景向工程化教学案例转化及实施路径

3. 科研成果反哺的递进式工程案例驱动设计

为改善经典教学内容与现代前沿科技衔接不足的问题，课程方案构建了“教学相长、研教融合”的双向互动机制[11]。依托团队在热管理、光热防除冰、相变储能及高温换热研究方面的扎实基础，系统凝练多项前沿工程成果，设计了由浅入深、层层递进的梯度工程案例库，并将其作为问题层和应用层的重要支撑嵌入知识图谱中。

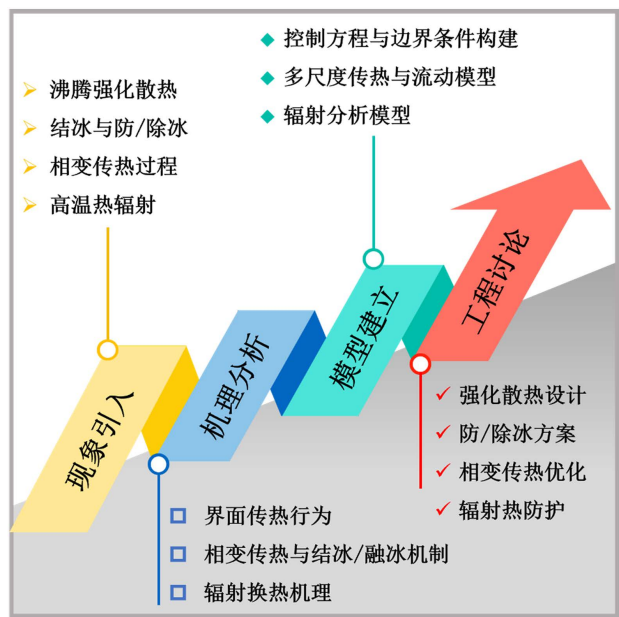


Figure 5. Progressive implementation pathway for research-informed teaching cases
图 5. 基于科研反哺教学的递进式教学案例实施路径

在案例库的体系架构中,围绕核心板块设计了四个极具代表性的前沿案例。针对沸腾强化散热方向,引入高功率电子芯片的高热流密度散热失效前沿,引导学生分析气泡生长与两相流换热机理;针对光热防/除冰技术方向,以飞机机翼在高空环境下的结冰过程为工程场景,剖析固液界面融冰机制与相变传动力学,指导学生建立具有移动边界的瞬态非稳态相变传热模型;在复合相变储能方向,结合工业余热梯级回收与清洁绿电的大规模间歇性储能场景,建立含有内热源的非稳态热传导与对流耦合模型;对于气体与高温热辐射方向,则瞄准高温工业炉衬与航空发动机燃烧室内部换热,深化气体辐射特性分析来评估热防护寿命。

在未来的实际教学实施中,案例将不再作为孤立的课后阅读出现,而是被设计为严格契合“现象引入-机理分析-模型建立-工程讨论”的递进式路径贯穿于课堂教学,如图5所示。方案规划首先通过工程科研视频或故障案例激发学生兴趣,随后引导学生检索知识图谱分析边界层或物性参数对复杂换热的制约机制,接着指导学生确定边界条件并运用教材中的计算代码进行数值求解,最后分组开展任务驱动式讨论。这种模式强调科研成果向教学内容的转化,突出了课程的工程性与前沿性。

4. 图谱数据与 AI 双驱的全过程智能导学支撑

基于智慧知识图谱的底层资源结构与以大模型为代表的新一代人工智能技术的深度融合,打破了传统教学在时空上的局限,重构了将 AI 助教与数字化教学模块融入课前、课中和课后全过程的智慧学习支持环境,如图6所示。

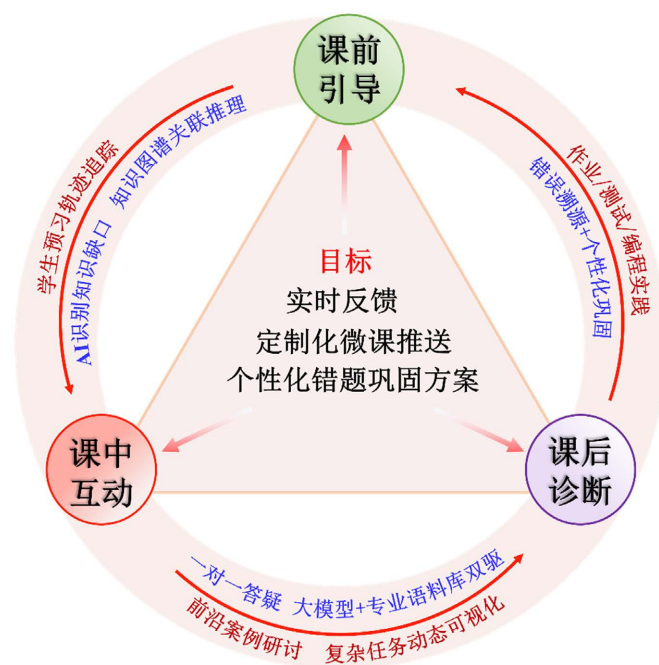


Figure 6. AI-empowered closed-loop framework for smart teaching throughout the entire learning process
图 6. AI 赋能的全过程智慧教学闭环

在课前引导阶段, AI 系统设计为通过追踪学生在智慧教学平台的自主预习轨迹,驱动个性化的学习支持。如当学生在预习“对流换热”章节遇到困难时, AI 助教能够基于知识图谱中的跨学科知识因果关联,精准识别出该学生可能对前置流体力学章节中“流体流动边界层与动量传递”的掌握存在缺陷,从而主动、定向地推送定制化的数字复习微课与关联性提示。这种设计方案旨在帮助学生在进入课堂前建

立起系统化的认知框架，极大地提高课堂听课的效率。

在课中互动阶段，教学方案规划全面转变为以“前沿案例研讨、复杂工程任务驱动”为主的探究式复合教学模式[12]。当讲解到诸如“气体辐射角系数”或“辐射网络热阻法”等空间想象难度高、公式复杂的重难点节点时，学生可随时通过随堂终端呼叫 AI 助教。AI 助教基于专业语料库与大模型双驱算法，被赋予了为学生即时生成多角度、动态可视化物理图像并开展一对一自适应答疑的功能。同时，AI 系统实时收集并汇总课堂互动痕迹至教师端，用以辅助教师动态微调课堂节奏与教学策略。

课后诊断阶段，大模型系统设计为对学生课后作业、单元测试以及 MATLAB 编程实践结果进行深度数据挖掘。AI 助教不仅能够指出错误的计算结果或代码问题，更能顺着知识图谱的关联因果链条向源头溯源，诊断出某一辐射换热计算错误其底层本质究竟是由于表面热阻的漏算，还是对空间角系数定义理解存在偏误。系统会依此自动生成个性化的错题巩固方案与自适应学习路径规划，推动教学评价与反馈从传统的“经验驱动”向数字化的“数据驱动”开展内涵式变革。

5. 建设预期成效与实施反思

研究提出的《传热学》“图谱骨架 - 研教融合 - AI 赋能”三位一体智慧课程建设方案，在后续落地应用中预期将取得多维度的教学成效。

首先，知识脉络的显性化重塑预期将显著提升学生的系统思维与复杂工程能力。通过知识图谱的牵引，有望攻克传统教学中学生“会公式计算、不理解物理图像、不会解决工程实际问题”的顽疾，让学生在面对导热、对流、辐射交织的复杂多场耦合问题时，能够表现出更强的系统分析与多机制联动分析能力。

其次，学情反馈与个性化教学设计方案预期将真正实现数据驱动。依托 AI 助教的全流程后台数据捕获，教学团队能够精准洞察不同学生个体在编程计算及前沿案例讨论中的知识盲区。通过个性化错题集与自适应路径规划的定向推送，旨在实现从“面向群体的一刀切授课”向“面向个体的精准帮扶”的根本性转变，从而提升章节的课堂参与度。

最后，在教学实施过程中，还需要处理好 AI 辅助与学生独立思考之间的关系。AI 助教可以提供知识查询、过程提示和学习反馈，但不能代替学生完成公式推导、模型建立和程序编写。教学中应合理设置 AI 工具的使用范围，通过过程性推导、模型假设说明和结果判断等任务，引导学生独立分析问题，并由教师对 AI 生成内容和学习建议进行审核。

同时，智慧课程建设对教学平台、数字资源和教师的信息化能力提出了更高要求。知识图谱的建立与更新、工程案例的持续完善以及 AI 助教的使用，都需要一定的平台投入和教师工作量。不同教师对 AI 工具和数据分析方法的熟悉程度也存在差异，因此在推广过程中还需要加强教师培训和团队协作。此外，AI 生成内容的准确性、学生数据安全以及过度依赖 AI 等问题也需要持续关注。

本研究目前主要围绕《传热学》智慧课程的建设框架和实施路径展开，实际教学应用仍处于逐步推进阶段，尚缺乏较大样本和较长周期的教学数据，对不同基础学生的适用性也有待进一步检验。后续将结合多轮教学实践，从课程成绩、案例分析与模型建立能力、学习行为和学生反馈等方面进行评价，并根据实际教学效果进一步调整知识图谱、案例难度和 AI 辅助方式。

6. 总结

本文针对新工科建设与数字化转型的核心要求，探索并设计了知识图谱与 AI 技术双驱赋能下的《传热学》智慧课程教学重构方案。通过构建基于 KAP 模型相互关联的智慧知识图谱，有机整合了特色数字教材与可视化资源，开辟了科研反哺教学的递进式案例落地路径，并借助 AI 助教设计了全过程学情精准

诊断环境。这一举措成功突破了传统教学的局限，为经典的专业基础课赋予了鲜明的时代性、前沿性与智慧性。

展望未来，团队将结合实际教学进一步完善知识图谱、工程案例和 AI 助教功能，并通过多轮教学实践积累学习过程与教学效果数据，重点考察学生知识掌握、模型建立和复杂工程问题分析能力的变化。同时，根据教师 and 学生的实际使用情况不断调整 AI 辅助方式，在保证基础理论训练和教师主导作用的前提下，进一步检验和完善课程建设方案。

基金项目

本文得到教育部能源与动力工程专业虚拟教研室“双碳使命 AI 赋能”项目(NDZYVTRS2026Y-01)和安徽省低碳能源教学创新团队(2024cxttd052)的支持。

参考文献

- [1] 毛瑞勇, 刘鹏, 张祖敬, 阳琴, 胡澄, 杨卫萍. “双碳”背景下建筑环境与能源应用工程专业课程思政教学改革与探索——以传热学课程为例[J]. 高教学刊, 2026, 12(7): 152-155.
- [2] 王文欢, 刘凤娇, 刘海龙, 吴琼, 刘江, 张莉. 新工科背景下《传热学》实验教学改革实践[J]. 中国电力教育, 2025(9): 78-79.
- [3] 吴先强, 韦斯林. 国外认知负荷理论与有效教学的研究进展及启示[J]. 全球教育展望, 2009, 38(2): 28-31+10.
- [4] 赖绍聪. 有效构建以问题为导向的课堂教学范式[J]. 中国大学教学, 2021(9): 17-21.
- [5] 刘凤娟, 赵蔚, 姜强, 王磊. 基于知识图谱的个性化学习模型与支持机制研究[J]. 中国电化教育, 2022(5): 75-81+90.
- [6] 吴杨, 吕钰琪, 杜钧, 牛红伟, 郝佳. 知识图谱驱动智能学习的内生逻辑[J]. 中国电化教育, 2025(2): 122-130.
- [7] 李海峰, 王伟. 面向人机智慧共生的大语言模型智能体反馈研究[J]. 中国电化教育, 2025(11): 42-51+94.
- [8] 施娟, 张程宾, 杨柳, 梁财. 新工科背景下知识图谱技术在教学中的创新探索[J]. 高教学刊, 2025, 11(24): 59-63+70.
- [9] 周丰. 能力培养是大学教育的使命[J]. 群言, 2026(5): 34-36.
- [10] 岳强, 杜涛, 杨澈, 孙文强, 王鹤鸣, 高成康, 刘中秋, 董辉. “双碳”背景下能源与动力工程专业人才培养的思考[J]. 高教学刊, 2026, 12(3): 37-41.
- [11] 金鑫, 苗圣法, 江倩. 新工科背景下信息类专业科研反哺教学模式设计与实施[J]. 西部素质教育, 2026, 12(8): 11-15.
- [12] 李昭莹, 何燕. AI 赋能《传热学》案例库构建与应用及评价[J]. 中国电力教育, 2025(12): 90-91.