

基于AI的建材大数据平台构建及其教学科研双效实践

冯甘霖^{*#}, 侯雪瑶, 龙武剑, 罗启灵, 吴凌壹, 方长乐

深圳大学土木与交通工程学院, 广东 深圳

收稿日期: 2025年12月1日; 录用日期: 2026年1月14日; 发布日期: 2026年1月23日

摘要

随着人工智能与大数据技术的快速发展, 其在建筑材料领域的科研与教学改革中展现出显著潜力。本文以水泥混凝土材料为核心研究对象, 结合省部级重点实验室、教学实验中心及科普基地的多平台资源, 系统探讨AI与大数据技术在材料研发、实验管理及教学创新中的应用路径。研究通过构建建材大数据平台, 整合材料性能数据库与实验过程数据流, 实现水泥混凝土材料的成分-工艺-性能关联建模, 提升材料设计的智能化水平。同时, 基于机器学习算法开发实验参数优化模型, 缩短传统试错周期, 推动实验室向精准化、自动化转型。在教学改革方面, 论文提出“数据驱动 + 虚实融合”的教学模式, 通过智能实验管理系统与虚拟仿真平台, 重构实验课程体系, 强化学生数据分析与跨学科应用能力。研究进一步指出, 技术应用需突破数据标准化、算法适配性及师资复合能力三大瓶颈, 建议构建“产学研用”协同机制, 深化平台的示范引领作用。本文为建筑材料领域的科研范式变革与教学模式创新提供了理论支撑与实践参考。

关键词

大数据平台, 人工智能, 建材实验室, 学术科研, 教学改革

Construction of an AI-Based Big Data Platform for Building Materials and Its Dual Practice in Teaching and Scientific Research

Ganlin Feng^{*#}, Xueyao Hou, Wujian Long, Qiling Luo, Lingyi Wu, Changle Fang

College of Civil and Transportation Engineering, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong

^{*}第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 冯甘霖, 侯雪瑶, 龙武剑, 罗启灵, 吴凌壹, 方长乐. 基于 AI 的建材大数据平台构建及其教学科研双效实践[J]. 创新教育研究, 2026, 14(1): 485-492. DOI: 10.12677/ces.2026.141060

Abstract

With the rapid advancement of artificial intelligence and big data technologies, their potential to transform research and pedagogical practices in the field of construction materials has become increasingly evident. Focusing on cementitious concrete materials as the primary research subject, this study leverages the resources of provincial-ministerial key laboratories, teaching experiment centers, and science-popularization platforms to systematically examine the pathways through which AI and big data can be integrated into materials research, experimental management, and pedagogical innovation. By establishing a big-data platform for construction materials, the study consolidates databases of material properties with data streams generated during experimental procedures, enabling composition-process-performance correlation modeling for cementitious concrete materials and thereby enhancing the intelligence level of material design. Meanwhile, machine-learning-based models are developed to optimize experimental parameters, shortening traditional trial-and-error cycles and facilitating the laboratory's transition toward precision-oriented and automated workflows. In terms of educational reform, the paper proposes a "data-driven and virtual-physical integrated" instructional framework. Through the deployment of intelligent experiment management systems and virtual simulation platforms, the experimental curriculum is restructured to strengthen students' capabilities in data analysis and interdisciplinary application. Furthermore, the study identifies three key challenges that must be addressed for effective technological implementation—data standardization, algorithmic adaptability, and the development of faculty with integrated competencies—and recommends establishing an industry-academia-research-application collaborative mechanism to reinforce the platform's role as a demonstrative model. This work provides both theoretical grounding and practical guidance for paradigm shifts in construction materials research and for innovations in teaching methodologies.

Keywords

Big Data Platform, Artificial Intelligence, Building Materials Laboratory, Academic Scientific Research, Educational Reform

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

1.1. 研究背景与意义

众所周知，现代人工智能技术在我们生活的各个方面都在逐渐渗透。在土木行业转型的大背景下，人工智能技术融合了基础设施规划、设计、建造与养维护的全周期，为土木工程创新带来了新的技术手段与工具。随着相关研究的进一步开展，人工智能与土木工程的全寿命周期深度融合，将推动我国的工程建设进一步向安全、长寿、绿色、高效、智能的方向发展。

材料科学作为探索物质世界的基础学科，其历史发展可以简单概括为四个范式[1] (如图 1 所示)，从 1600 年以前的第一范式经验科学发展至第二范式基于模型的理论科学，再至 1950 年发展为第三范式计算科学，再到 2000 年发展成为第四范式大数据驱动科学。材料科学的研究取得了巨大的突破，朝着更多功能、更高准确率、更丰富可视化的方向快速发展。

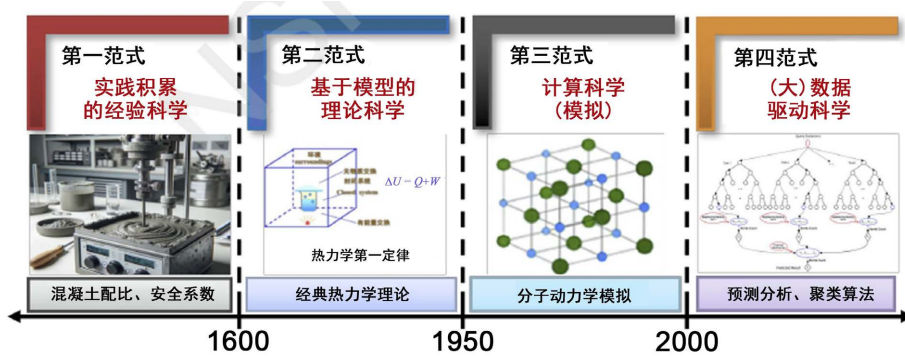


Figure 1. The four paradigms of materials science development
图 1. 材料科学发展的四个范式

20 世纪 60 年代末，美国一些高等院校、研究所和公司开始研究和使用计算机和局域网络系统处理材料实验室数据，从那时起，实验室信息管理系统开始了其产生、发展和普及的历史。在 21 世纪初，随着大数据、云计算、物联网等技术的兴起，智慧材料实验室行业进入了一个新的阶段[2]。智慧实验室建设的主要目的是推动实验室高效率、高效益、高质量发展。在发展建设过程中，综合利用传感技术、控制技术以及互联网技术、大数据技术、人工智能技术、自动控制技术、机器人技术等先进技术和网络及计算机开发工具，数字化赋能实验室新质生产力。

水泥混凝土作为最广泛使用的工程材料，其性能形成机制涉及复杂的多尺度结构、长期耦合行为以及多因素交互影响，使材料设计与性能预测长期依赖经验公式与反复实验。在当前智能建造和新工科背景下，传统研究范式已难以满足工程结构对高性能、低碳化、智能化材料的需求。随着人工智能、机器学习以及材料大数据等技术的快速发展，数据驱动与机理驱动相结合的研究方法逐渐成为国际材料研究的主流趋势。尽管国外在晶体材料、金属材料等方向已构建较为成熟的材料数据库和高通量计算体系，但在混凝土材料领域，由于其混合物特性突出、数据来源复杂、变量维度高且实验过程差异显著，现有数据资源零散、标准不统一，尚未形成完整的大数据支撑体系。与此同时，作为工科专业的重要基础课程之一，传统建筑材料课程在教学方式和内容体系上仍主要依赖理论讲授和传统实验，课程内容与行业智能化发展的距离不断拉大，学生缺乏处理真实材料数据的能力，也缺乏从数据角度理解材料机理与设计过程的学习体验。因此，构建一个能够整合实验数据、工程数据与科研数据的材料大数据平台，并在此基础上发展物理知识与机器学习结合的材料智能设计工具，对于推动材料研究范式革新、促进教学与科研深度融合、培养学生智能化背景下的材料工程能力具有重要的理论和实践意义。

1.2. 国内外研究现状与相关工作

国际上，材料基因组计划推动了材料研究模式从经验型向数据驱动型转变，多个数据库与高通量计算平台的建立为材料设计智能化奠定了基础[3]。然而，在水泥混凝土领域，由于材料体系的复杂性和可变性，国外数据库多集中于固态材料的晶体结构与热力学性质，难以满足混凝土材料研究的多维度需求。国内近年来逐步兴起材料大数据平台建设，但多数工作仍停留在配合比及强度数据的收集与统计分析层面，缺乏对微观结构、耐久性指标、化学成分等多源异构数据的全面整合。此外，虽然机器学习方法在混凝土强度预测、耐久性评估等方面取得了较多成果，但算法模型往往缺少基于物理机理的约束，导致预测结果的可解释性与跨区域适用性不足。在土木工程防灾减灾领域，纪军和李惠等[4]基于机器学习高维非线性函数逼近能力的科学原理，融合土木工程物理定理、规律与控制方程，开创了人工智能与土木工程防灾减灾融合的研究范式和理论体系。

在教学方面, 建筑材料课程改革多聚焦于教学组织方式的调整、实验内容的更新或虚拟仿真平台的构建, 但整体仍缺乏一个能够与科研平台相联动的教学系统, 无法为学生提供真实的数据场景与基于智能模型的学习体验。因此, 无论是科研端还是教学端, 均存在数据利用率低、方法体系割裂、智能化工具支撑不足等问题, 亟须构建一个兼具科研功能与教学功能的综合平台, 实现材料数据的统一管理、智能设计方法的落地应用以及教学改革的深度支撑。

基于上述背景, 本研究拟构建一个面向水泥混凝土材料的人工智能与大数据智能设计平台, 通过融合多源异构数据处理、物理知识引导的机器学习模型以及材料性能智能预测与设计算法, 形成一套可用于科研与教学的综合工具体系。在平台构建的基础上, 本研究进一步探索其在建筑材料课程教学改革中的应用途径, 重塑课程内容结构, 创新教学方法, 提升实验教学信息化与智能化水平, 并对教学改革成效进行系统评估。论文主要围绕数据平台构建、智能模型开发、软件系统研制以及教学改革探索等方面展开, 以期为新工科背景下的材料类课程改革提供实践案例和理论支持。

2. 数据驱动的水泥混凝土材料智能设计方法与平台

本研究构建的水泥混凝土材料大数据平台旨在实现科研数据、实验数据与工程案例数据的统一管理与智能分析, 为材料性能预测、配合比优化及教学应用提供完整的技术支撑。平台采用数据层、模型层与应用层三层架构: 数据层负责多源异构数据的采集、清洗与存储, 确保数据的结构化与标准化; 模型层基于物理机理与机器学习方法构建材料性能预测模型与多目标优化模型, 实现数据驱动与机理驱动的深度融合; 应用层则以可视化界面与交互工具为支撑, 为科研人员提供智能设计助手, 为学生提供可视化学习工具, 为教师提供教学管理与数据展示接口。整个平台强调科研与教学双向赋能, 以数据驱动的方式支持实验室科研活动, 并将科研数据无缝引入教学场景, 构建“教-学-研”一体化的技术环境。

2.1. 水泥混凝土材料大数据数据库构建

数据驱动的建筑材料设计依赖于高质量的数据集, 而高质量数据集的缺乏是当前发展的主要瓶颈。在建筑材料领域中存在大量不同类型材料的实验数据, 但是这些数据彼此关联度不大、较为封闭、缺乏规范和标准, 不利于数据的管理、分析和共享。建筑材料的最终性能通常与加工/工艺过程的细节有关, 也与微观组织结构的细节相关。要最有效地使用这些材料的性能数据, 必须详细地记录材料的整个制造和加工过程、样品制备、测试方法和条件等。建筑材料数据库是有机整合各种材料相关信息的有效手段。

建筑材料大数据数据库平台的构建可分为四个步骤: 数据标准制定、数据管理实施、数据安全设计、数据全面应用。

数据标准制定: 统一的数据标准和规范是实现参数数据采集、处理、融合、汇交、存储、大数据挖掘的前提, 也是确保数据和服务可扩展性和通用性的基础。材料研究所涉及材料数据包括制备表征数据、生产工艺数据、生命周期数据、服役性能数据等异构数据, 以及来自不同数据库的分散、异构、跨尺度数据, 通过广泛参考已有建筑材料术语词典、本领域国家行业标准规范, 充分调研建筑材料研发数据需求, 建立适用于建筑材料研究所涉及的材料数据设计、制备工艺技术、提交和共享的统一数据标准规范;

数据管理实施: 基于制定完成的数据标准, 进行建筑材料数据库设计与数据管理表单设计, 再对相关数据进行采集, 即可完成建筑材料数据库的初步构建。建材实验室数据的展示形式多种多样, 不仅包括常见的数据和文本字段, 还有图片、曲线、表格、三维数据集及特殊的数据形式。随着材料数据库设计趋于精细化, 对材料数据平台功能提出了更高的要求, 需对结构化数据和非结构化数据均能实现存储, 可满足材料科学与材料工程常见数据的存储和可视化;

数据安全设计: 通过权限设计功能, 用户可根据使用人员的权限范围, 对数据平台、数据系统、数

据表、数据记录的管理权限进行细粒度设计。经过权限设计后,用户即可独立或多人协作构建材料数据库。数据安全审计功能提供数据审计、用户、授权审计、日志审计等功能模块对用户登录、数据管理操作、授权等信息进行监控。数据备份与恢复功能为实验室用户提供定时备份、数据恢复服务;

数据全面应用:基于长期积累的材料数据,可用于神经网络/机器学习高效构建建筑材料性能参数与各组分成分的关系模型,减少建筑材料配比计算工作量和试验试配次数;

大数据平台基础架构如图2所示。

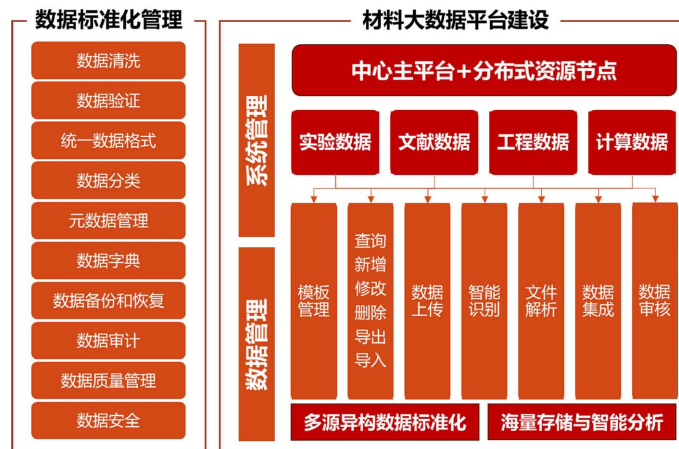


Figure 2. Big data platform
图2. 大数据平台

2.2. 水泥混凝土材料智能化设计平台构建

团队针对现代混凝土材料全生命周期碳排放高、多性能设计不协同、设计制备不精细等难题,通过对当前机器学习领域随机森林和遗传算法在混凝土材料设计领域的适用性明晰,构建了低碳混凝土多性能协同智能化设计方法[5],并开发可视化交互设计平台。

平台系统架构采用分层设计理念,整体分为数据层、算法层、应用层与支撑层四个核心层级,各层级协同联动实现混凝土材料设计的全流程智能化。数据层作为平台的数据中枢,负责混凝土原材料参数、性能测试数据、碳排放核算数据等多源数据的采集、存储与预处理,通过数据接口实现与实验室检测设备、工业生产系统的数据交互,确保数据的实时性与完整性;算法层是平台的核心技术支撑,集成随机森林回归模型、遗传算法优化模块及碳排放核算模型,实现材料组分与性能、碳排放之间的映射关系构建及多目标优化求解;应用层面向用户需求提供可视化交互界面,涵盖材料设计参数输入、性能预测、方案优化、结果展示等功能模块;支撑层包括服务器、操作系统、数据库管理系统及网络安全组件,为平台稳定运行提供基础保障。

平台核心功能模块涵盖多源数据管理、多性能预测、低碳多目标优化、设计方案可视化及数据溯源五大核心模块,各模块实现逻辑紧密衔接,形成混凝土材料智能化设计的闭环流程。多源数据管理模块实现原材料参数、性能数据、碳排放数据的批量导入、手动录入、数据清洗及数据校验功能,通过数据清洗算法剔除异常数据(如偏离正常范围的性能测试值、缺失关键参数的记录),采用均值填充法补充缺失数据,确保输入数据的可靠性;数据校验功能通过预设的参数阈值范围,对录入数据进行实时校验,避免无效数据进入系统。多性能预测模块基于随机森林回归模型,以混凝土原材料组分(水泥用量、骨料级配、掺合料掺量、外加剂用量、水胶比等)为输入特征,以抗压强度、抗折强度、弹性模量、抗冻等级、

氯离子渗透系数等关键性能指标为输出目标,通过训练好的模型实现材料性能的快速预测。模型训练过程中,采用网格搜索法优化随机森林的决策树数量、最大深度、最小样本分割数等超参数,提升模型预测精度。低碳多目标优化模块以遗传算法为核心,构建以“最低碳排放、最优性能组合、最低成本”为目标函数的优化模型,以原材料组分用量、养护条件等为约束变量,结合随机森林模型构建的性能预测函数,通过遗传算法的选择、交叉、变异操作,迭代求解最优混凝土配合比方案。验证与评估阶段,采用测试集数据对模型预测精度进行验证,选用决定系数(R^2)、均方根误差(RMSE)作为评估指标,结果表明随机森林模型对混凝土抗压强度、碳排放的预测 R^2 分别达到 0.92、0.89 以上。设计方案可视化模块将优化后的配合比方案、性能预测结果、碳排放核算结果以图表形式(柱状图、折线图、饼图)直观展示,支持用户对比不同设计方案的性能差异与碳排放水平,同时提供设计方案的导出功能(PDF、Excel 格式)。数据溯源模块记录每个设计方案的数据源、模型参数、优化过程参数等信息,用户可通过设计方案编号追溯完整的设计流程,为实验验证与工程应用提供数据支撑。通过对比传统经验设计方法与平台设计方法的结果,验证平台设计方案在碳排放降低 15%~20%的同时,性能指标均满足设计要求,体现了平台的低碳化、高性能化设计优势。

3. 人工智能 + 大数据平台赋能建筑材料课程教学改革

随着智能建造和材料数字化的发展,传统建筑材料课程在知识结构、教学手段以及实验方式上逐渐暴露出与产业需求不匹配的问题。课程内容多集中于材料基本性质与标准试验方法,缺少对数据分析能力、智能设计思维等新工科能力的培养;教学过程中理论与实际工程脱节,难以让学生理解材料性能形成的复杂性;实验数据获取方式传统,学生难以接触真实的数据处理流程;课程缺乏工程案例背景,学习的应用性不足[6]。面对这些挑战,引入人工智能与大数据平台将为课程带来全新支撑,使学生在学习基础理论的同时,能够接触真实数据、理解材料设计的逻辑,实现课程内容与行业技术发展的深度对接。

3.1. 基于智能平台的课程体系重构

本研究在课程体系层面,基于智能平台提供的数据结构与分析能力,对传统建筑材料课程进行了整体重构。课程不再局限于“讲授-实验-考核”的传统模式,而是将材料性能机理、数据驱动方法与智能设计理念融为一体。在理论课中,学生不仅学习水泥水化机理、材料微观结构等基础内容,还通过平台的数据案例理解不同原材料或外加剂对材料性能的实际影响。在实验课中,平台取代传统的手工记录方式,使学生能够在真实的数据环境中进行实验操作,掌握数据采集、分析与建模的完整流程。同时,依托平台的虚拟仿真工具,课程新增了模拟实验,使学生能够在虚拟环境中探索材料配比对性能的影响,形成连续的知识体验。重构后的课程体系更加注重学生能力培养,强调从数据中理解材料,从模型中认识机理,从案例中学习工程经验。以“C40 低碳高性能混凝土配合比设计”作为典型任务,设置传统经验设计组与平台设计组进行对照实验,完整记录两组任务的全流程效率指标。研究人员分别采用两种方法完成同一设计任务,设计要求为抗压强度 ≥ 40 MPa、抗冻等级 $\geq F200$ 、碳排放 ≤ 300 kgCO₂/m³、成本 ≤ 450 元/m³。通过对设计周期、方案优化次数、性能预测误差、目标达标率等指标的统计分析,结果显示:传统经验设计组平均完成周期为 72 h,需经过 5~6 次方案迭代优化,性能预测误差平均为 8.5%,仅 66.7%的设计方案能同时满足性能、低碳及成本目标;而平台设计组平均完成周期缩短至 12 h,方案迭代优化次数减少至 2~3 次,性能预测误差降低至 2.3%,目标达标率提升至 95%以上。

3.2. 教学方法与教学工具的创新

为了充分发挥智能平台的优势,教学方法也进行了相应创新。项目式学习成为课程的主体形式之一,

学生以实际材料数据为基础完成材料设计小项目,通过提出设计目标、分析数据、调用模型并生成方案,实现从实际问题出发的全过程学习。翻转课堂使学生能够在课前借助平台自主探索不同材料体系的性能变化,在课堂上进行深度讨论。虚拟仿真实验的引入使得学生能够在设备有限的情况下进行更多材料组合的试验探索,从而提升学习自主性与兴趣。此外,教师通过平台生成的参数敏感性分析图、性能预测曲线等可视化材料,使教材内容更加直观易理解。整个教学过程中,AI 预测模型为学生提供辅助决策参考,促使学生在比较不同设计方案时形成逻辑思维与工程判断能力。

通过对连续多个学期的教学实践进行观察与数据分析可以发现,智能平台的引入显著提升了教学效果。学生在材料数据分析、实验结果判断、材料设计方案优化等方面表现出明显提升,其对材料机理理解的深度和广度也有所增强。教学实验周期为两个学期,收集两组学生的课程考试成绩、混凝土配合比设计项目报告质量评分及教学效果问卷调查数据进行对比分析。考试成绩统计显示,实验班平均成绩为 85.6 分,较对照班的 78.2 分提升 9.5%;项目报告质量评分中,实验班在方案合理性、数据准确性、低碳设计意识、创新思维等维度的评分均显著高于对照班,平均评分提升 11.3 分;问卷调查结果显示,实验班 92.5% 的学生认为平台提升了自身对混凝土材料设计知识的理解和应用能力,89.3% 的学生对混合式教学模式表示认可,78.6% 的学生认为平台增强了自身的科研创新意识,而对照班仅有 68.2% 的学生认为传统教学模式能有效提升实践能力,充分验证了平台在深化教学改革、提升教学质量、培养学生实践能力与创新思维方面的积极作用。在教师层面,平台提供的实验数据管理与案例库构建功能显著减少了重复性的教学准备工作,使得教学内容更加丰富和系统化;通过智能分析工具,教师能够更轻松地展示复杂概念的可视化结果,提高教学表达的效率与质量。总体来看,教学改革成果证明,平台不仅提高了课程教学质量,也推动了学生综合能力的提升,在新工科背景下具有较高的示范价值。

4. 结论

本研究构建了一个面向水泥混凝土材料的多源异构数据平台,实现了实验数据、科研数据和工程数据的统一管理与整合,并建立了基于物理机理与机器学习融合的材料性能预测与智能设计模型。基于此平台开发的软件系统实现了材料性能的快速预测、配合比智能优化以及实验数据可视化等功能,为材料研究提供了可靠的智能化工具。此外,本研究将平台应用于建筑材料课程教学改革,重新设计了课程体系、创新了教学方法,并显著提高了学生的材料数据分析能力与工程设计能力,推动了教、学、研一体化的建设目标。

未来,平台将在材料数据共享机制、跨机构数据融合与工程数字孪生技术结合方面进行持续完善。通过构建区域级或全国性的混凝土材料数据联盟,有望提升数据规模与模型性能;通过进一步开发工程化应用软件,可推动材料智能设计在工程实践中的实际落地;在教育领域,将探索智能平台在不同课程体系中的推广与标准化建设,为材料类专业的教学改革提供更多可复制经验,为新工科人才培养提供技术与方法支持。

基金项目

深圳大学实验室与设备管理研究基金项目“建筑材料大数据信息平台开发与应用”(项目编号:2024010)。

参考文献

- [1] 尹万健,刘淼,龚新高. 人工智能驱动下的材料科学范式变革:方法、平台与应用前沿[J]. 科学通报,2025,70(24): 4012-4014.
- [2] 周威,蒋涛,王国成,高云. 基于“互联网+”的开放式实验室管理模式探讨[J]. 创新教育研究,2017,5(4): 334-339.

<https://doi.org/10.12677/ces.2017.54051>

- [3] 王山. 新时代对我国材料基因组计划科技创新应用基础研究的一些思考[J]. 科技创新与应用, 2018(9): 42-43.
- [4] 纪军, 李惠. 土木工程智能防灾减灾研究进展[J]. 中国科学基金, 2023, 37(5): 840-853.
- [5] 龙武剑, 罗盛禹, 程博远, 等. 机器学习算法用于自密实混凝土性能设计的研究进展[J]. 材料导报, 2024, 38(11): 108-117.
- [6] 徐海霞, 袁恒, 杨阔. 应用型高校融合人工智能和大数据的车辆工程学科建设改革探究[J]. 创新教育研究, 2025, 13(8): 386-393. <https://doi.org/10.12677/ces.2025.138610>