

土木工程材料课程内容绿色化、智能化更新与改革

刘冠宇^{1,2*}, 程 璨^{1,2}, 杨三强^{1,2}

¹河北大学建筑工程学院, 河北 保定

²河北省基础设施防灾减灾与智能评估重点实验室, 河北 保定

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

摘 要

在AI迅速发展的背景下, 土木工程行业面临绿色化、智能化转型的迫切需求, 对土木工程材料教学内容滞后、材料绿色低碳评价方法不足与智能化设计缺失等问题, 本研究拟通过课程教学内容绿色化与智能化更新、教学手段数字化赋能与实验课程优化、考核内容与方式面向能力培养改革三部分进行内容更新与教学改革。预期改革成果有望促进土木工程材料的教学模式从“理论主导”向“实践导向”转变, 从“经验驱动”向“数据驱动”的革新, 显著促进教学工作并提升教学质量与学生能力培养。

关键词

土木工程材料, 绿色、智能化更新, 低碳评价, 数字化赋能

Green and Intelligent Updating and Reform of Course Content in Civil Engineering Materials

Guanyu Liu^{1,2*}, Can Cheng^{1,2}, Sanqiang Yang^{1,2}

¹College of Civil Engineering and Architecture, Hebei University, Baoding Hebei

²Hebei Key Laboratory of Infrastructure Disaster Mitigation and Intelligent Assessment, Baoding Hebei

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

Abstract

Based on the background of rapid AI development, the civil engineering industry faces an urgent

*通讯作者。

文章引用: 刘冠宇, 程璨, 杨三强. 土木工程材料课程内容绿色化、智能化更新与改革[J]. 创新教育研究, 2026, 14(5): 230-237. DOI: 10.12677/ces.2026.145339

need for green and intelligent transformation. This study focuses on addressing issues such as outdated teaching content on civil engineering materials, insufficient green and low-carbon evaluation methods, and a lack of intelligent design. The content update and teaching reform will be carried out through three parts: the greening and intelligentization of course teaching content, the digital empowerment of teaching methods and the optimization of experimental courses, and the reform of assessment content and methods towards ability cultivation. It is expected that the reform results will promote the teaching mode of civil engineering materials to shift from “theory-led” to “practice-oriented”, and from “experience-driven” to “data-driven”, significantly improving teaching work and enhancing teaching quality and talent cultivation quality.

Keywords

Civil Engineering Materials, Green and Intelligent Renovation, Low-Carbon Evaluation, Digital Empowerment

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. 研究背景

土木工程材料作为工程建设中的物质基石，决定着工程质量、安全与工程造价几大核心。因此，土木工程材料课程被纳为土木工程、建筑工程与道路工程等土建相关类专业的核心基础课程之一。土木工程材料课程的主要内容涵盖材料的基本性质、无机胶凝材料、建筑钢材、混凝土、砂浆、砌筑材料、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、木材、建筑功能材料、装饰材料等。课程内容基本覆盖传统工程建设所需的材料种类及性能特点。课程体系包括基础理论教学与实验教学两部分，两者相辅相成、理论与实践相结合。其中理论教学为实践课提供坚实的理论基础与科学支撑；实验教学为理论知识提供了实践和应用的场景，能够帮助学生更好地记忆、理解、掌握与运用理论知识，同时又是孕育新知识的重要场所。

此外，随着城市发展从“增量扩张”转向“存量提质”，土木工程专业的教育模式应结合 AI 赋能、绿色生态等未来工程技术的主要趋势，开展由传统工程建设到城市更新、智能建造与绿色低碳化的转型。基于此背景下，土木工程材料课程面临绿色化、智能化内容改革的迫切需求，旨在更好地对接土木工程相关产业需求，培养适应未来发展的高素质创新型、复合型人才。本研究依托土木工程材料核心课程拟探索如何通过材料体系的绿色化、智能化重构、低碳技术模块整合与多维度评价、数字化赋能与 AI 驱动材料逆向设计，完成土木工程材料课程内容绿色化、智能化更新与改革，有望促进教学模式从“理论主导”向“实践导向”转变，从“经验驱动”向“数据驱动”的革新，显著促进教学工作并提升教学质量。

2. 课程现状与存在问题

1、教学内容滞后且内在逻辑联系弱

教材内容涵盖的材料种类繁多，内容复杂且相对独立，主要涵盖无机胶凝材料、混凝土、砂浆、砌筑材料等无机材料，沥青及沥青混合料、合成高分子、木材等有机材料，建筑钢材等金属材料以及建筑功能材料、装饰材料等复合材料。教材内容虽然涵盖广泛，但缺乏时效性、前沿性，甚至难以完全对接社会需求[1]。目前随着新基建、城市更新、固废资源化利用、智能建造等新理念不断落地，采用传统土木工程材料进行工程建设的项目及场景已经备受限制，故亟需结合材料绿色化、智能化设计的迫切需求，

重构土木工程材料的课程体系。

此外，已有课程体系中各种材料的化学组成、主要技术性质、性能评价方法及应用形式千差万别，故整个教学内容知识点分散，系统性差和逻辑关系联系不紧密[2]。结合工程案例尽管在一定程度上可串联各种材料的逻辑关系，但工程案例也各有不同，难以全面系统整合所有课程内容与材料板块，导致学生难以从逻辑主线学习并把握整门课程的关键重点，同时也是教师讲授过程中的常见痛点。

2、教学手段单一且实验教学内容陈旧

在传统课堂教学模式框架内，绝大多数课程知识由教师主导，以单向输出的方式完成讲解与传授，学生始终处于被动接收信息的状态[3]。即便课堂中会穿插提问、小组交流等互动环节，学生的学习与思考路径仍难以跳脱出教师预设的思维范式。这种模式下，学生严重缺乏两种关键能力的培养：一是立足社会发展宏观背景，以全局视角审视工程设计的系统思维；二是适配土木工程材料迭代趋势，践行绿色智能化设计的创新思维。尽管已有研究通过虚拟实验室[4]、智能土木工程材料知识图谱[5]等智能化手段进行了教学手段赋能，但少有以性能和碳排放的逆向设计去选择材料的教学方法。

在土木工程专业加速转型的关键阶段，实验课程作为衔接理论与实践的另一重要教学手段，其教学效能直接关乎专业人才的培养质量[6]。然而，当前不少院校的实验课程大纲仍存在明显的适配性短板：一方面，大纲制定未充分锚定不同院校的培养层次差异，无论是研究型高校的拔尖创新人才培育，还是应用型院校的技术技能型人才输出，大纲内容往往采用“一刀切”模式，难以精准匹配各层次的社会人才需求目标；另一方面，实验课程内容的滞后性问题突出，部分实验项目仍沿用数十年前的经典案例，操作流程、考核标准长期“原地踏步”，与当前数字化施工、装配式建筑、绿色建造等企业一线的实际工程场景严重脱节，无法为学生搭建起通往职场的有效桥梁，更难以支撑土木工程向智能、低碳、高效方向转型的紧迫需求。

3、考核内容与评价体系未体现能力培养

目前国内高校土木工程材料课程的考核模式普遍采用“平时过程性考核 + 期末终结性考核”的二元结构。从权重分配来看，多数院校设置平时成绩占比 40%、期末成绩占比 60%，部分院校甚至将平时成绩占比压缩至 30%，期末成绩占比提升至 70%。其中，过程性考核通常由三部分构成：考勤占 10%、作业完成情况占 10%、实验报告提交质量占 20%；而期末考核则以闭卷考试为核心载体，考核内容聚焦于课本理论知识的识记与理解，占总成绩的 60%。

这种传统考核模式存在明显的导向性偏差：过度强调对课本理论知识的机械记忆与浅层理解，却忽视了对学生学习过程中创新思维、问题挖掘能力的系统性培养。尽管课程体系中包含实验教学环节，但实验成绩在总成绩中的占比偏低，难以全面衡量学生将理论知识转化为实际操作的能力，无法实现对学生学习成效的“理论 + 实践”双维度评价。与此同时，部分院校的土木工程材料课程教学内容与实验项目更新滞后，未能及时跟进行业技术发展与工程实践需求，进一步加剧了学生能力与社会需求之间的脱节。在现有考核体系下，所谓“成绩优异”的学生往往是理论知识的“记忆能手”，但在实际工程问题的解决、创新方案的设计等方面能力不足，导致考核评价结果与学生真实能力水平出现错位，难以满足新时代土木工程领域对复合型、创新型人才的培养要求。

3. 课程绿色化、智能化改革内容

针对以上土木工程课程教学现状分析及存在问题，结合土木工程行业面临绿色化、智能化转型的迫切需求，本研究拟聚焦传统材料与低碳智能材料的深度融合，达成绿色、智能土木工程材料体系重构。通过深度融合低碳技术模块与材料基因库理念，构建土木工程材料课程多维度评价体系并实现数字化赋能，全面提升兼具理论素养、创新思维与实践能力的学生培养质量。

1、改革内容

(1) 课程教学内容绿色化、智能化更新

聚焦传统材料与低碳再生、智能响应材料的深度融合，新增“生物基胶凝材料、钢渣与尾矿、再生骨料混凝土、再生沥青混合料”等绿色低碳再生材料、“压电响应、光响应、热响应”等智能材料及“智能感知与传感、自储能与自修复、3D 打印建造技术”等教学模块，以材料类别、基本物化特性、主要功能及主要应用形式等重构绿色、智能土木工程材料教学内容体系(如图 1)。

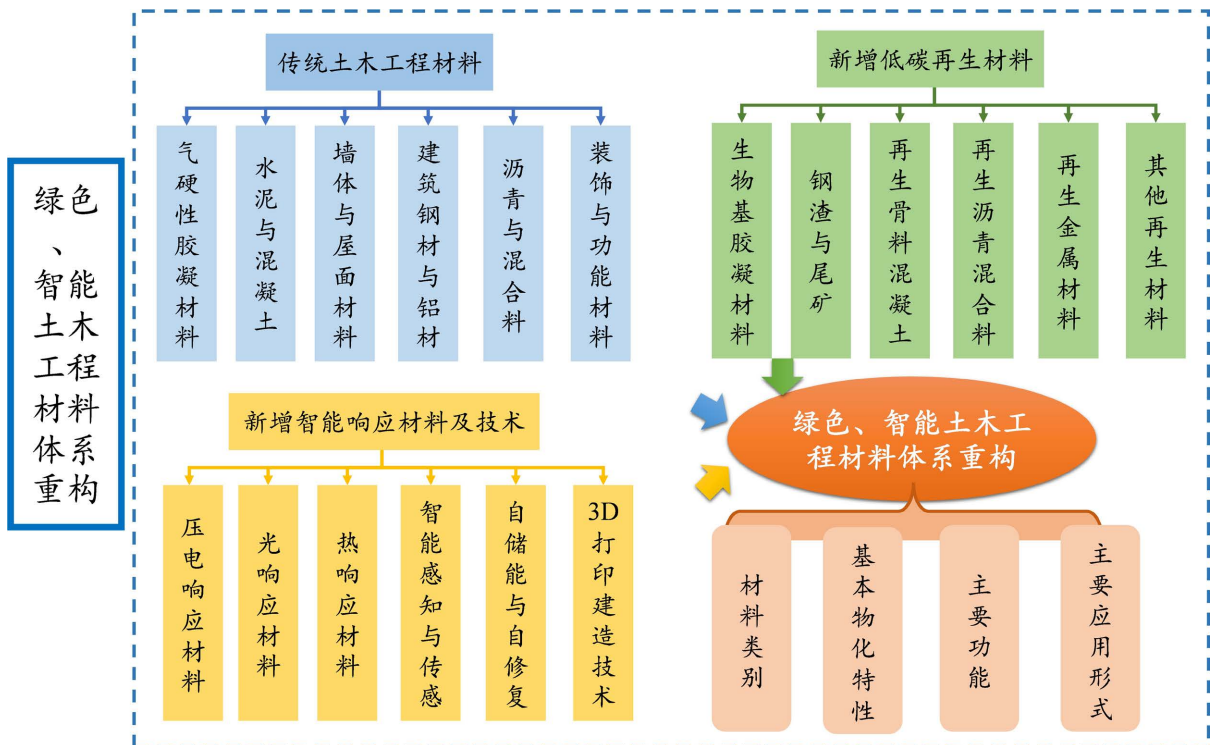


Figure 1. Reconstruction of green and intelligent civil engineering materials system

图 1. 绿色、智能土木工程材料体系重构

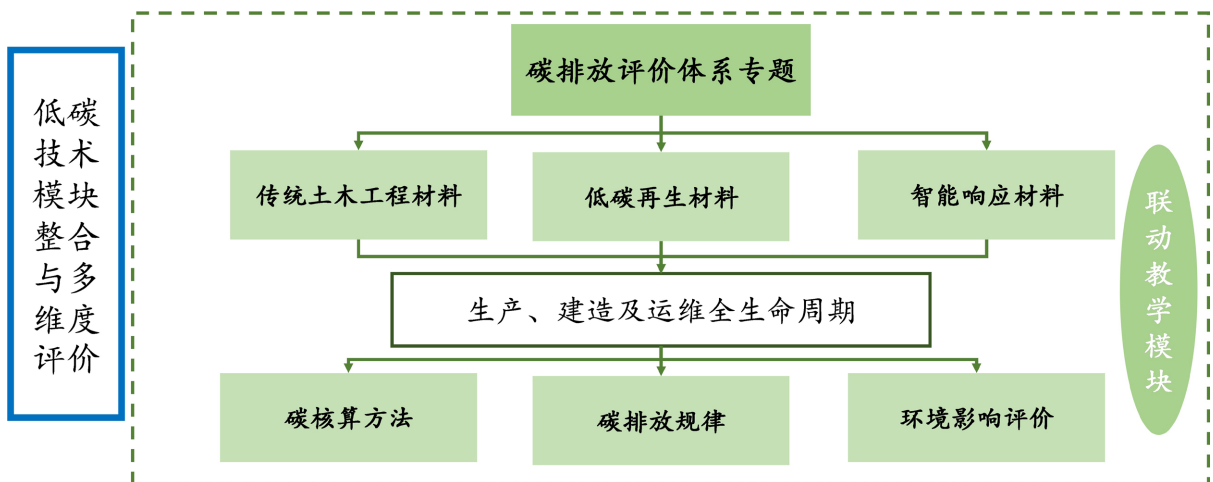


Figure 2. Integration of low-carbon modules and multi-dimensional evaluation of civil engineering materials

图 2. 低碳模块整合与土木工程材料的多维度评价

系统整合工业废渣、建筑垃圾等再生材料低碳生产、智能响应材料智能建造及低碳运维的优势，建立覆盖生产、建造、服役及维护全过程的碳排放评价方法，明确碳核算方法及环境影响机制，为低碳选材提供科学依据(如图 2)。同步开发 BIM 与材料性能数据库的联动教学模块，支持学生模拟材料热工、声学性能，从碳排放、综合性能等方面优化建筑选材方案，提升实践教学与工程设计融合度。

(2) 教学手段数字化赋能与实验课程优化

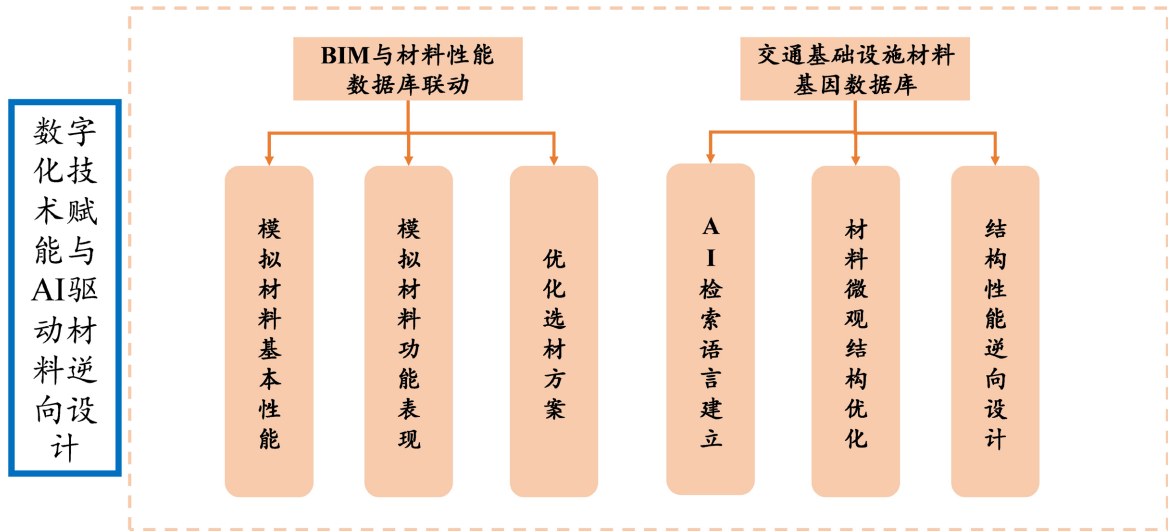


Figure 3. Digital empowerment of teaching methods and AI-driven material design

图 3. 教学手段的数字化赋能与 AI 驱动材料设计

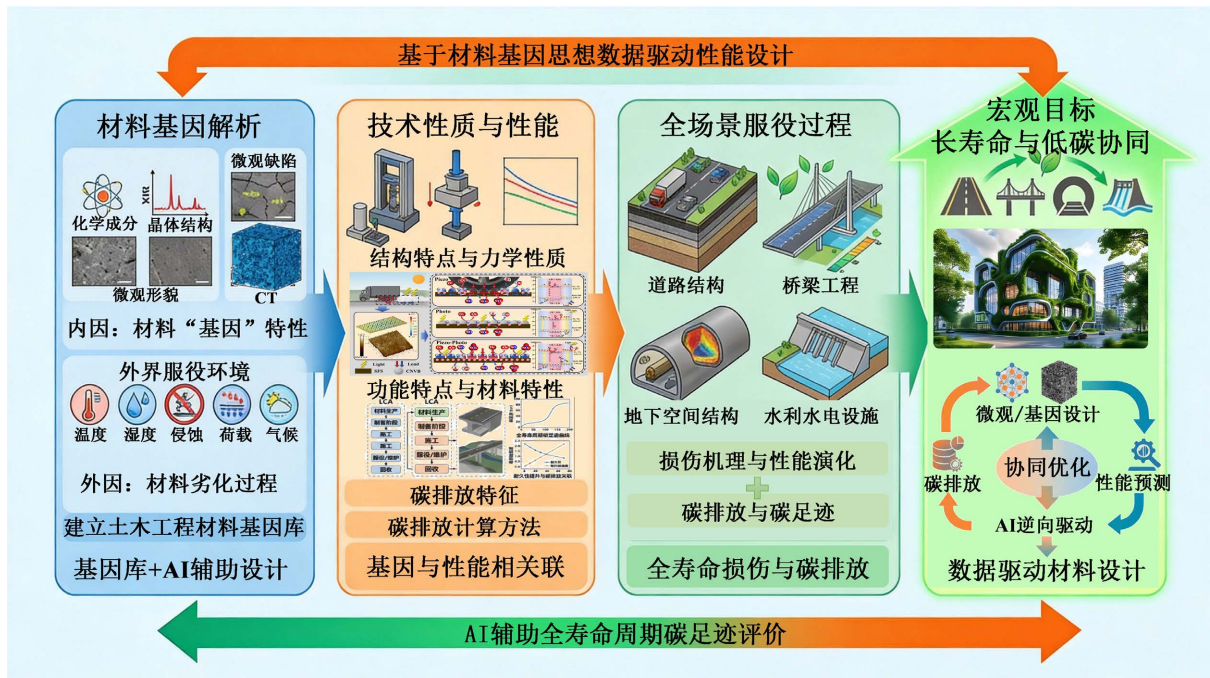


Figure 4. Schematic diagram of data-driven material design based on the concept of materials genetics

图 4. 基于材料基因思想的数据驱动材料设计示意图

土木工程材料教学内容涵盖的材料种类繁多，知识点复杂且相对独立，传统课堂 PPT 讲解难以系统、

全面串联土木工程材料的学习要点与重点。尽管已有众多案例表明项目化教学模式可有效归纳土木工程材料中的核心知识点，并可构建强联系的理论知识体系[7]，但仍存在学生被动学习为主，教学手段滞后的局限。本研究基于交通基础设施材料基因数据库[8] [9]及 AI 辅助设计工具，建立绿色、智能土木工程材料的 AI 检索语言，实现材料微观结构优化与核心性能的逆向设计(如图 3)。结合工程背景培养通过数字化技术(如 BIM、数字孪生)赋能材料研发技能，构建从基因数据到宏观性能的设计闭环，推动土木工程材料创新从经验驱动向数据驱动转变，提升土木工程材料选择效率、试配准确性及环境适应性(如图 4)。

依托绿色、低碳土木工程材料的内容体系更新，以固废、压电等绿色低碳与智能响应材料代替传统骨料，开展传统手段评价新型材料的实验课革新，实现实验课与理论课的相辅相成，深化土木工程材料的绿色化与智能化更新内涵。并以碳排放作为逻辑主线，形成不同工程的项目组，结合实验过程所获得数据与 AI 检索基因库数据，进行低碳建筑、道路的项目制设计，通过“以讲代学”的方式进行分配项目的汇报，强调所涉及土木工程材料的主要技术性质与碳排放规律，提升学生的学习兴趣与实践能力。

(3) 考核内容与方式面向能力培养改革

构建多元化的过程性考核体系，将课堂表现(10%)、平时作业(15%)、实验课创新(10%)、实验报告(10%)、项目设计与汇报(15%)等环节纳入过程性考核范围，并增强过程性考核分值，平时成绩与期末成绩占比为 5:5 (如图 5)。课堂表现考核学生的参与度、思维活跃度与团队协作能力，通过课堂提问、小组讨论、案例分析、材料设计与碳排放管理等方式进行评价；平时作业除计算题、简答题外，增加研究型作业与开放式作业，如要求学生分析某工程材料碳排放计算与基于基因库的逆向设计。实验课结合项目设计与汇报综合考核，考察学生动手实践、创新思维与 AI 辅助工具的使用技能。

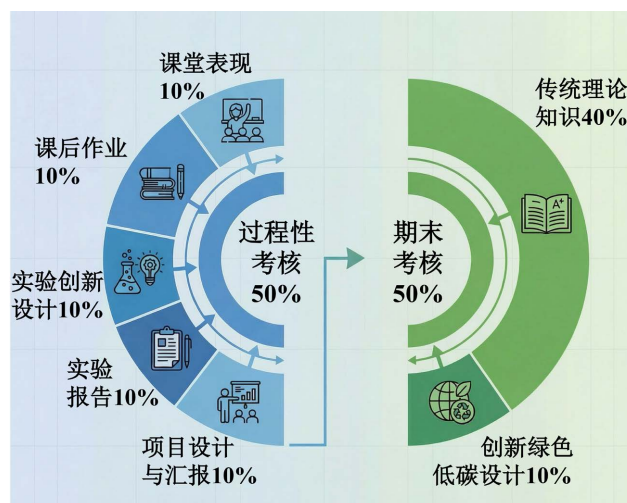


Figure 5. Multi-dimensional evaluation and assessment of civil engineering materials

图 5. 土木工程材料的多维度评价考核

期末考核包括传统基础理论知识的理解与记忆(40%)与创新绿色低碳设计的开放性题目(10%)，跳出“死记硬背”的评价逻辑，聚焦知识的深度理解与工程场景迁移能力。以课程核心知识点为框架，覆盖传统土木工程材料、低碳道路建筑材料、智能响应材料等类别，但重点突出“材料性能-工程需求”的匹配关系。在评分标准上，采用“分层给分”机制：准确阐述基础原理的基础分，结合工程实际进行深度分析得进阶分，提出创新性优化建议得拓展分，以此引导学生从“被动记忆”转向“主动思考”。创新绿色低碳化设计考核将行业前沿理念融入考核，培养学生的创新思维与可持续发展意识。该环节采用开放性命题形式，不设置标准答案，重点考查学生的调研能力、逻辑论证能力与创新潜力。首先分析传

统材料的碳排放痛点，然后结合绿色建材的技术特性，提出具体的材料替换或性能优化方案，最后从技术可行性、经济成本、环境效益三个维度进行论证。

2、具体举措

(1) 建立教学目标

1. 知识目标

学生能够系统掌握低碳土木工程材料(如生物基胶凝材料、再生骨料混凝土等)的基本物化特性、碳排放核算方法及环境影响机制；熟练运用 AI 辅助设计工具，理解材料微观结构与宏观性能的关联逻辑，掌握从基因数据到宏观性能的设计闭环原理。

2. 能力目标

通过 AI 工具的实操训练，学生能够独立完成低碳材料的微观结构优化与核心性能逆向设计；结合 BIM 与材料性能数据库，具备从碳排放、综合性能等多维度优化建筑选材方案的能力；在项目制设计中，提升数据驱动的材料研发技能与工程实践应用能力。

3. 学科思维目标

强化学生的系统思维，理解材料生产、建造、服役及维护全过程的碳排放关联逻辑；培养数据驱动与全寿命周期评价的科学思维。

(2) 实施步骤

1. 课前：学情诊断与基础铺垫

发布包含低碳材料基础概念、碳排放核算方法等知识点的前测问卷。AI 系统自动分析学生答题数据，精准定位学生在知识掌握上的薄弱环节。利用已经搜集的碳排放计算与评价标准，筛选土木工程材料相关的碳排放条目。

2. 课中：AI 辅助项目式教学

教师结合 AI 生成的班级学情报告，聚焦学生普遍存在的知识误区进行重点讲解。展示低碳材料在实际工程中的应用，引发学生对低碳材料设计的兴趣，并布置不同土木工程材料碳排放数据收集及计算的课后作业。教师演示 AI 检索碳排放的数据分析及工程材料基因库的使用方法，学生分组领取项目任务，如“基于碳核算设计某道路工程用低碳再生沥青混合料”。最后，各小组展示项目成果，其他小组利用评价量表进行互评，AI 综合互评结果与教师评价，为各小组项目提供最终评分与改进建议。

3、研究风险与挑战

(1) 知识体系重构难度大

此次改革要将传统材料与低碳再生、智能响应材料深度融合，重构教学内容体系，这打破了原有的知识框架。例如，新增的生物基胶凝材料、钢渣与尾矿等绿色低碳再生材料，以及压电响应、光响应等智能材料，其涉及的学科领域广泛，涵盖材料科学、环境科学、电子科学等多学科知识。教师需要重新梳理这些知识之间的关联，构建新的知识体系，这对教师的知识储备和整合能力提出了极高的要求。同时，学生也需要适应这种新的知识体系，重新建立知识之间的联系，学习难度大幅增加。

(2) 碳排放评价方法与碳核算体系复杂

建立覆盖生产、建造、服役及维护全过程的碳排放评价方法，明确碳核算方法及环境影响机制，是此次改革的重要内容。然而，碳排放核算涉及多个环节和因素，不同材料在不同阶段的碳排放计算方法和标准各不相同。例如，工业废渣、建筑垃圾等再生材料的低碳生产过程中，碳排放的计算需要考虑原材料的获取、加工、运输等多个环节；智能响应材料在智能建造及低碳运维过程中的碳排放核算，还涉及到能源消耗、设备运行等因素。此外，不同地区、不同企业的生产工艺和管理水平也会影响碳排放数据的准确性。这使得教师在教学过程中难以准确传授碳排放核算方法，学生也难以掌握和应用这些复杂

的知识。

4. 结语

土木工程材料作为土木工程专业的核心课程，其内容更新与教学改革直接关系到学生工程实践能力和可持续发展意识的培养。传统课程内容滞后于技术迭代，教学模式偏重理论，导致学生解决复杂工程问题的能力不足，同时在土木工程中融入绿色化与智能化的意识有所欠缺。为此，土木工程材料的内容应聚焦传统材料与低碳再生、智能响应材料的深度融合，新增“生物基胶凝材料、钢渣与尾矿、再生骨料混凝土、再生沥青混合料”等绿色低碳再生材料、“压电响应、光响应、热响应”等智能材料及“智能感知与传感、自储能与自修复、3D 打印建造技术”等教学模块，以材料类别、基本物化特性、主要功能及主要应用形式等重构绿色、智能土木工程材料教学内容体系。系统整合工业废渣、建筑垃圾等再生材料低碳生产、智能响应材料智能建造及低碳运维的优势，建立覆盖生产、建造、服役及维护全过程的碳排放评价方法，明确碳核算方法及环境影响机制，为低碳选材提供科学依据。最后基于交通基础设施材料基因数据库及 AI 辅助设计工具，建立绿色、智能土木工程材料的 AI 检索语言，实现材料微观结构优化与核心性能的逆向设计。推动土木工程材料创新从经验驱动向数据驱动转变，提升土木工程材料选择效率、试配准确性及环境适应性，显著降低其全寿命周期的碳排放及环境影响。

基金项目

河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2026GJJG045)；教育部产学研合作协同育人项目(231103880073157)；河北省高等学校科学研究项目(BJ2025093)。

参考文献

- [1] 许福, 张旭辉, 曹国栋, 等. “双碳”与新工科背景下土木工程材料教学问题及改革对策研究[J]. 高教学刊, 2024, 10(10): 127-131.
- [2] 刘军, 赵晶, 赵丽华. 新工科建设背景下土木工程材料一流课程建设实践[J]. 中国教育技术装备, 2025(14): 78-82+90.
- [3] 李京军. 基于“新工科”背景下土木工程材料课程教学改革研究[J]. 砖瓦, 2024(11): 183-185.
- [4] 陆金驰. “人工智能+”时代以学为中心的土木工程材料课程改革与实践[J]. 科教文汇, 2026(6): 95-99.
- [5] 郝丽娜. 人工智能赋能“土木工程材料”课程思政研究[J]. 数字通信世界, 2026(1): 91-93.
- [6] 赵计辉, 林凯荣, 黄林冲, 等. 基于创新思维与实践能力提升的土木工程材料实验教学模式改革探索[J]. 大学教育, 2025(21): 1-6+12.
- [7] 季涛, 张士萍, 牛龙. 土木工程材料课程项目化教学模式构建[J]. 山西建筑, 2024, 50(6): 188-191.
- [8] 谭忆秋, 吕慧杰, 徐慧宁. 材料基因思想在沥青路面材料领域的应用展望[J]. 交通运输研究, 2020, 6(5): 2-12+1.
- [9] 刘志杨, 董泽蛟, 周涛, 等. 基于材料信息学的沥青混合料性能提升综述及展望[J]. 中国公路学报, 2024, 37(4): 98-120.