

绿色低碳混凝土在土木工程材料实验教学实践的应用

许家婧, 潘鑫乐, 邱明月, 葛文璇*, 张 忠, 顾镇媛

南通大学交通与土木工程学院, 江苏 南通

收稿日期: 2025年9月5日; 录用日期: 2025年10月7日; 发布日期: 2025年10月16日

摘 要

土木工程材料课程是高等学校土建类专业的专业必修课之一, 该课程是理论讲授和实验操作相结合, 承担着培养学生实践能力、创新意识、成为卓越工程师的使命。随着“碳达峰、碳中和”战略的提出, 减少土木工程材料碳排放的需求迫在眉睫。混凝土作为现代工程结构的主要材料, 这些年取得了长足的发展。不仅是世界各国使用的混凝土平均强度不断提高, 而且性能也更加优异。然而, 土木工程材料生产环节碳排放达全部碳排放的四分之一以上, 我国土木工程材料领域碳减排任务繁重。因此, 土木工程材料实验课程作为理论课程的有效补充, 开展新型低碳混凝土材料实验对学生站在行业前沿、进一步理解国家政策、行业发展趋势大有裨益。

关键词

绿色低碳混凝土, 土木工程材料, 实验课程

Application of Green and Low-Carbon Concrete in the Experimental Course of Civil Engineering Materials

Jiajing Xu, Xinle Pan, Mingyue Qiu, Wenxuan Ge*, Zhong Zhang, Zhenyuan Gu

School of Transportation and Civil Engineering, Nantong University, Nantong Jiangsu

Received: September 5, 2025; accepted: October 7, 2025; published: October 16, 2025

Abstract

The Civil Engineering Materials course is a compulsory specialized subject for civil engineering

*通讯作者。

文章引用: 许家婧, 潘鑫乐, 邱明月, 葛文璇, 张忠, 顾镇媛. 绿色低碳混凝土在土木工程材料实验教学实践的应用[J]. 创新教育研究, 2025, 13(10): 321-325. DOI: 10.12677/ces.2025.1310795

majors in higher education institutions. This course combines theoretical instruction with experimental exercises, bearing the mission of cultivating students' practical abilities and innovative consciousness, and preparing them to become outstanding engineers. With the introduction of the "Carbon Peak and Carbon Neutrality" strategy, there is an urgent need to reduce carbon emissions in civil engineering materials. As the primary material in modern engineering structures, concrete has achieved significant advancements in recent years. Not only has the average strength of concrete used in countries worldwide continued to increase, but its performance has also become more superior. However, carbon emissions from the production of civil engineering materials account for over a quarter of total carbon emissions, and the task of reducing carbon emissions in this field in China is arduous. Therefore, as an effective supplement to theoretical courses, the experimental component of the Civil Engineering Materials course can greatly benefit students by introducing experiments with new low-carbon concrete materials. Such experiments help students stay at the forefront of the industry, deepen their understanding of national policies, and grasp industry development trends.

Keywords

Green and Low-Carbon Concrete, Civil Engineering Materials, Experimental Course

Copyright © 2025 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

土木工程材料课程是高等学校土木工程专业核心课程之一，课程的教学目标是通过理论教学与试验操作训练，使学生掌握土木工程材料性质与应用的基本知识和必要的基础理论，并为今后从事专业技术工作时解决土木工程材料的合理选择和使用、存储和运输等工程问题打下基础。以我校为例，在土木工程及工程管理两个专业均开设该课程，并且一般设定在第4学期(大二下学期)，起着承上启下的关键作用。课程内容实践性强，可以将大量工程案例、国内外优秀历史建筑所采用到的建筑材料引入教学[1]。同时，相比大三的多门专业课程而言，难度稍小，能够有效吸引学生对本专业的兴趣。学者对土木工程材料课程教学改革进行了阐述，曾刚等[2]提出了基于科教协同理念下的土木工程材料课程教学改革，陈嵘等[3]提出“六位一体”的教学模式，即：抽象理论可视化、工程应用案例化、实验教学综合化、科研问题研讨化、业余学习网格化、考核模式多样化，该教学模式有助于提升学生对土木工程材料的理解，教学效果理想。

随着社会的发展进步，特别是环境保护和节能降耗的迫切需要，对土木工程材料提出了更高的要求，也促进了土木工程材料朝着低碳化、绿色生态化、高性能、多功能与智能化方向发展。工程应用已然开始，作为为强国建设培养高水平卓越工程师的高等学校，课堂教学必须与时俱进，主动服务国家战略需求，改革工程教育人才培养模式。叶焕等[4]设计了以再生混凝土为主题的绿色土木工程材料实验项目，适当增大实验操作量与难度，加强实验结果区分度，激发学生自主设计实验方案的积极性。

2. 土木工程材料实验课程的现状及问题

2.1. 实验课程教学现状

土木工程材料教材[5]推荐8个实验：土木工程材料基本物理性质实验、建筑钢材实验、水泥技术性

能实验、骨料颗粒级配实验、普通混凝土实验、砂浆实验、石油沥青实验、沥青混合料实验。以我校为例,“土木工程材料”课程共 40 学时,其中理论课 32 学时,实验课 8 学时。实验课学时偏少,教学过程中对推荐的 8 个实验选择 4 个完成,分别是:材料密度实验(1 学时)、骨料颗粒级配实验(1 学时)、水泥实验(3 学时)以及普通混凝土性能实验(3 学时)。其中,前三个是基础实验,普通混凝土配合比设计实验是综合性实验。

2.2. 学生积极性不高

开展水泥实验和普通混凝土配合比设计实验时,学生需要根据计算结果,现场称量材料进行拌合成型,后续还要清洁实验现场,存在灰尘大、接触污废水、承担体力活等问题,许多学生并不愿意进行实验操作。由于实验分组进行,每组五人左右,实践教学活动中,笔者经常发现部分小组只有一至两人在进行实验操作,小组内剩余同学要么“围观”、要么在远处聊天,学生参与度不高。

2.3. 实验教学内容陈旧

笔者所在学校土木工程材料实验课一直进行的是上述 4 个实验。随着新技术的发展和新材料的革新,低碳水泥、新型混凝土如雨后天春笋般涌现,并在工程上取得了长足的应用。但是,土木工程材料实验课程的内容却没有与时俱进不断更新。长此以往,课程对学生的吸引力逐渐下降。而且,学生在实验结束撰写实验报告过程中,容易出现抄袭雷同往届实验报告情况。

3. 绿色低碳混凝土在土木工程材料实验课程中的应用

3.1. 融入国家政策和行业热点

2020 年 9 月习近平主席在第七十五届联合国大会上,明确提出 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”目标[6]。在“双碳”目标的战略框架下,土木工程行业作为全球能源消耗和碳排放的核心领域,其绿色转型不仅是响应国家战略的必然选择,更是行业重塑竞争力的关键路径。这要求土木工程材料朝着绿色低碳、高性能方向发展。当前,我国建筑垃圾主要涵盖工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾、装修垃圾等。工程渣土和干化处理后的工程泥浆可用于土方平衡、场地平整、道路建设、环境治理或烧结制品等。工程垃圾、拆除垃圾、装修垃圾建筑垃圾应优先用于生产再生骨料、再生建材、道路材料等[7]。以此为契机,开展再生骨料性能测试实验和再生混凝土配合比综合设计实验,增强学生对“双碳”行动的理解,实现建筑垃圾的资源化利用。

3.2. 天然骨料、再生骨料性能测试实验

建筑材料基本性质实验要求学生掌握测试材料表观密度、堆积密度和空隙率实验。通常,建筑垃圾通过预处理设备分离金属等杂质后,经破碎、筛分等工序加工成再生骨料,经过破碎机进行多级破碎,形成粒径在 40 mm 以下的颗粒。我校大一开设的认识实习课程,已组织学生前往南通当地的建材厂参观建筑垃圾处理生产再生骨料过程。因此,学生对再生骨料相关知识点并不陌生。以再生骨料混凝土配合比综合设计实验中需要用到的天然骨料和再生骨料为例,要求学生测试不同骨料的表观密度、堆积密度、颗粒级配。在实验过程中,学生熟悉并了解再生骨料和天然骨料在性能上的共同点和差异,进而能够探索再生骨料代替天然骨料对混凝土力学性能的影响。

3.3. 低碳地聚物水泥实验

传统硅酸盐水泥生产过程能耗高、碳排放量大。水泥工业碳排放占全球总排放的 5%~7%,中国占到 12%~15%。这主要是由于传统波特兰水泥生产要采用石灰石作为原料,而每吨石灰石要排放 440 kg 的二

氧化碳,这种工艺排放特点,难以实现碳中和。地聚物是一种由铝酸盐原料(如粉煤灰、矿渣)在碱性激发剂作用下形成的无机聚合物,具有强度高、耐久性好、耐高温、且碳排放可降低 60%以上。因此,开展低碳地聚物水泥实验与贯彻“双碳”战略密切相关。学生课下阅读查找资料,不同小组设计不同低碳地聚物水泥配比,充分调动小组成员积极性。可考虑的实验研究变量包括:粉煤灰掺量、水胶比、纤维掺量等。尽量保证不同实验小组选取的研究变量参数不一样,能激发同学们独立思考的能力。养护完成的低碳地聚物水泥试块进行水泥的抗折和抗压试验。需特别提醒学生的是:配置碱性激发剂时会放热并产生腐蚀性溶液,必须做好安全防护。

3.4. 再生骨料混凝土配合比设计实验

再生骨料混凝土配合比设计实验以普通混凝土配合比实验为依托进行修改,理论课程学习中已向学生介绍再生骨料混凝土的基本概念和工程应用。学生对相关内容非常感兴趣,结合近年来提到的“城市更新”、“绿色建材”、“建筑垃圾变废为宝”等方向,学生课堂学习参与度很高。因此,以上可作为实验前引导问题。进而,结合实践课程,学生对再生骨料混凝土的背景、理论、实验、数据处理和结果分析有了全面的了解。整个教学体系完备。实验前,学生要通过分组查阅资料讨论,确定再生骨料混凝土配合比设计步骤:确定原始基准配合比-确定再生骨料取代率-计算再生骨料与天然骨料的用量-计算再生骨料的附加用水量。实验研究变量可选为:再生粗骨料取代率、再生细骨料取代率、水胶比、矿物掺合料种类及比例等。多种研究变量的设定可以确保每一组同学都充分参与实验,集思广益,团结协作。实验步骤中关键决策点包括:是否选用外加剂以及用量。外加剂对混凝土和易性有较为显著的影响,但是用量需严格控制。实验结束后,数据处理阶段,引导学生通过立方体抗压强度实验结果进行再生混凝土强度评定。由此开展再生骨料混凝土力学性能与普通混凝土力学性能对比讨论环节。

改革前后实验课程知识内容见表 1。可以看出,在“双碳”战略框架的指导下,对原有的 4 个实验均进行了一定的改革,材料密度实验和骨料颗粒级配实验均选用天然骨料和再生骨料作为原材料,开展密度实验和颗粒级配实验。也为后面的再生混凝土配合比实验奠定基础。改革前进行的是普通硅酸盐水泥实验,该水泥能耗高,因此,改革后选用低碳地聚物水泥作为研究对象,碳排放显著降低。研究方法仍是借助土木工程材料实验室现有实验设备进行低碳地聚物水泥试块的抗折和抗压强度实验。综合性实验改革前进行的是普通混凝土配合比实验,考虑“双碳”后,开展再生混凝土配合比设计实验,前置实验开展后,学生对再生骨料性能也有了基本的了解,可以自然衔接配合比设计综合实验。

Table 1. Experimental course before and after reform

表 1. 改革前后实验课程知识内容

改革前实验项目	增设“双碳”实验内容
材料密度实验	天然骨料、再生骨料密度
骨料颗粒级配实验	天然骨料、再生骨料颗粒级配实验
水泥实验	低碳地聚物水泥实验
普通混凝土配合比设计实验	再生混凝土配合比设计实验

4. 讨论与展望

“碳达峰碳中和”战略背景下,土木工程材料正在朝着绿色低碳方向发展。高校土木工程材料课程教学也应该与时俱进,在实验课程中开展融合再生骨料与天然骨料材料力学性能实验、低碳地聚物水泥实验、低碳再生骨料混凝土配合比实验,引导学生从骨料组分到低碳水泥到低碳混凝土,全方位理解“双

碳”战略对土木工程材料、土木工程行业的影响。但是，实验教学改革推进过程中，不可避免地会遇到诸多挑战：如再生骨料、低碳地聚物来源和购买价格；授课教师是否有相应知识储备胜任教学等。总的来说，再生骨料可以与当地建材厂、政府主管建筑固废处置部门协商购买渠道。粉煤灰、矿渣是燃煤火力发电、钢铁冶炼的工业副产物，价格低廉，以此为主要原料制作低碳地聚物水泥，经济成本可控。教师方面，随着高校整体博士化率的提升，可以安排一名有相关研究背景的教师为授课团队其他教师进行统一培训。总的来说，土木工程材料实验课程的教学改革有助于加强学生对绿色建筑事业的理解，为培养卓越工程师事业添砖加瓦。

基金项目

2024 年南通大学校级教学改革研究课题“面向新工科的土木工程材料实验课程教学改革与研究”(2024F14)。

参考文献

- [1] 苏达根. 土木工程材料[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [2] 曾刚, 李峥, 王元元, 等. 基于科教协同理念的土木工程材料课程教学改革实践[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(6): 146-152.
- [3] 陈嵘, 靳贺松, 杨世玉, 等. 建筑材料课程“六位一体”教学模式的改革探索及应用[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2021, 46(10): 146-152.
- [4] 叶焕, 韩意, 马露. “双碳”背景下绿色土木工程材料实验课改革研究[J]. 科技风, 2024(26): 36-38.
- [5] 焦宝祥. 土木工程材料[M]. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [6] 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm, 2020-09-22.
- [7] 住房和城乡建设部. 关于进一步加强城市建筑垃圾治理的意见国办函[2025]57号[Z].