

“双碳”目标驱动下“路基路面工程”课程研究与实践

曹志龙 王超 周波超 张金喜

北京工业大学 城市交通学院, 北京 100124

[摘要]在全球气候变化挑战与中国“双碳”战略背景下,道路基础设施作为交通领域碳排放的关键环节,亟需通过教育教学改革培养具备低碳理念的工程人才。文中系统分析了当前“路基路面工程”课程在教学目标、内容体系、教学方法及评价机制等方面存在的突出问题,提出以“双碳”目标为导向的课程改革路径,包括重构教学内容、创新教学模式、强化实践协同及优化评价体系,并论证其在推动绿色道路建设、促进产教融合和服务国家战略需求方面的重要意义。

[关键词]双碳目标;路基路面工程;课程改革;绿色道路建设

DOI: 10.33142/fme.v6i7.17289

中图分类号: G4

文献标识码: A

Research and Practice on the Course of "Roadbed and Pavement Engineering" Driven by the "Dual Carbon" Goal

CAO Zhilong, WANG Chao, ZHOU Bochao, ZHANG Jinxi

School of Urban Transportation, Beijing University of Technology, Beijing, 100124, China

Abstract: Against the backdrop of global climate change challenges and Chinese "dual carbon" strategy, road infrastructure, as a key link in carbon emissions in the transportation sector, urgently needs to cultivate engineering talents with low-carbon concepts through educational and teaching reforms. The article systematically analyzes the prominent problems in the teaching objectives, content system, teaching methods, and evaluation mechanism of the current "roadbed and pavement engineering" course. It proposes a curriculum reform path guided by the "dual carbon" goal, including restructuring teaching content, innovating teaching models, strengthening practical collaboration, and optimizing the evaluation system. It also demonstrates its important significance in promoting green road construction, promoting industry education integration, and serving national strategic needs.

Keywords: dual carbon target; roadbed and pavement engineering; curriculum reform; green road construction

引言

全球气候危机加剧背景下,中国提出“2030 碳达峰、2060 碳中和”目标,交通领域是关键突破口。中国交通运输行业(含公路、铁路、水路、航空等)的二氧化碳碳排放量约占全社会终端碳排放总量的约 11%,且该领域是碳排放增长最快的部门之一,其中道路建设与养护环节年均碳排放占比较大^[1]。传统粗放模式面临严峻挑战:热拌沥青混合料生产温度需 160°C 以上,每吨混合料排放 24kg CO₂;路基填筑大量消耗天然砂石,每年产生建筑垃圾数十亿吨^[2],资源化利用率不足 30%。国际对标显示,欧盟通过温拌沥青技术已降低施工能耗 35%,日本钢渣路用率达 98%。中国若延续现行技术,道路领域碳排放将继续增长,这凸显了“双碳”战略与交通基础设施低碳转型的紧迫性。亟需通过工程教育改革,为行业输送掌握低碳技术的专业人才。

教育部《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》明确要求:“到 2025 年,建成一批碳中和领域新工科专业,改造升级传统工科专业”。2022 版《工程教育认证标准》新增“可持续发展”指标,要求毕业生“能评价工程实践对环境和社会可持续发展的影响”^[3]。然而现状堪忧:调研显示国内高校土木工程专业中,开设低碳道路相关课程高校不足 50%,教材平均更新周期较长,

远滞后于技术迭代速度。反观国际,美国伯克利加州大学将 LCA(生命周期评价)工具纳入必修实验;荷兰代尔夫特理工大学建立“路面材料碳数据库”供设计调用。中国工程教育需抓住政策窗口期,将“双碳”目标深度融入课程体系。

《路基路面工程》作为交通工程与土木工程核心课程之一^[4],《路基路面工程》长期聚焦结构力学性能与施工工艺,缺乏对生态环境维度的系统考量。以某“双一流”高校课程大纲为例,48 学时中仅 2 学时涉及环保材料,碳排放计算完全缺失。交通运输部《绿色交通“十四五”发展规划》明确推广“长寿命路面、固废路用”等多项绿色低碳技术^[5]。教学与产业脱节导致学生知识断层——学生掌握的专业知识难以满足行业低碳化绿色化的发展需求,难以适应国家“双碳”战略下的产业专业要求。因此,课程改革迫在眉睫,亟需将绿色低碳理念、方法、技术融入现有课程体系中,以适应未来新型人才培养需求。

1 “双碳”目标驱动下“路基路面工程”课程存在的问题

1.1 课程思政与“双碳”价值观融合不足

现有教学多停留在基础专业理论传授层面,未将生态文明思想深度融入知识模块。在《路基路面工程》教学过

程中：讲解路基填挖时，传统讲授方式侧重讲述填挖材料选择、填挖平衡以及经济核算，往往忽视取土破坏生态平衡的伦理问题；讲授沥青混合料设计时，强调马歇尔稳定度等路用性能指标，往往未能引导学生思考沥青混合料高温拌合施工造成的沥青烟气造成的环境-健康负荷，这会导致学生对低碳施工技术、绿色建筑材料的重视不足。为了引导学生正确的建筑工程观，长安大学在路面材料相关章节植入“塞罕坝林场固碳效益”案例，通过计算1公顷林场中和10万t CO₂等效于减少3.2万t沥青混合料碳排放，有效激发了学生责任感。因此，在亟需建立“技术规范-环境成本-生态伦理”三位一体的思政框架，融入《路基路面工程》日常教学中。

1.2 课程内容滞后于低碳技术与行业前沿

教材内容滞后于行业实践。主流教材如《路基路面工程》（黄晓明版）2023年修订版中，固废路用技术篇幅较少，未提及交通运输部2023年新推的《公路工程废旧材料循环利用技术规范》；对湿拌沥青仅简述概念，未纳入关键参数对比（如能耗与碳减排数据）。行业创新成果也未能及时吸纳在教学之中^[6]：例如现有的长寿命沥青路面技术可大幅延长路面大修时间，显著减少沥青路面全生命周期碳排放；现有的光伏路面技术试点显示，日常发电量可抵消照明系统能耗，有效助力交能融合发展。课程教学内容滞后导致学生难以适应新形势下交通基础设施绿色低碳可持续发展的新需求，导致学生无法应对新型工程问题。因此，双碳背景下课程亟需补充绿色化低碳化相关内容，以应对行业转型过程中对于新型人才的需求。

1.3 教学模式与考核方式单一，实践与创新缺失

“教师讲一学生听一期末考”传统模式难以培养学生解决复杂工程问题的能力^[7]。某高校课程实验中，90%为验证性项目（如测定沥青针入度），未设计开放式任务（如优化RAP再生料掺配降碳）。考核中笔试占比70%以上，侧重考察学生对基础概念、基本原理与方法的掌握，而这些学生往往通过死记硬背也能轻松应付，难以有效引导评估学生对问题的思考与解决能力。例如典型题目如“简述水泥稳定碎石配合比设计步骤”，未考察学生解决如“钢渣骨料膨胀率控制”等真实问题能力。对于学生的碳核算工具应用能力、低碳方案比选能力、创新材料设计能力的培养与评估严重不足。对比国际前沿，美国普渡大学设置“路面碳挑战赛”，例如学生用Pavement LCA软件设计路段，目标碳排放低于基准值30%。因此，现有传统教学模式需向“课题驱动-开发融合-多元评价”的模式转变。

2 “双碳”目标驱动下“路基路面工程”课程改革实践内容

2.1 重构“双碳”导向的教学内容体系

为重构“双碳”导向的模块化教学内容体系，首先需要更新基础知识点，在传统《路基路面工程》知识体系中

加入低碳维度：讲解路基路面施工章节时加强对低碳施工技术的介绍，引入低碳思维考虑施工方案，并在路基设计章节补充生态敏感区表土保护工法，引入云南思小高速“桥隧代路”案例（大幅减少林地占用）。重视对前沿低碳技术的讲解：如低碳长寿命路面技术通过对比传统路面结构与材料设计方法阐明降耗机理；固废资源化实践解析《钢渣沥青混凝土技术规程》（T/CECS 896—2021），设计高钢渣替代率的沥青混合料；智慧减碳方向结合BIM模型优化施工机械路径以实现降耗减碳；碳核算实践应用CHANGER软件量化高速公路全生命周期碳排放，构建覆盖理论、技术、实践的完整教学体系。

2.2 创新“产教研协同”的教学模式与方法

为创新“产教研协同”的教学模式与方法，采用PBL项目实战为核心驱动：以典型高速改扩建为工程背景，学生分组协作完成“旧路面铣刨料再生方案”，任务链涵盖RAP掺量设计、厂拌热再生工艺模拟、碳核算对比及经济性分析，最终产出再生料性能检测报告、LCA分析表和施工组织方案；进而构建虚实结合平台，通过虚拟仿真、校企实验及现场教学实现多维融合；同步实施双师协同机制，邀请行业导师讲授工程案例介绍低碳理念在工程实践中的影响，并指导学生完成开发课题的碳中和方案，形成产教对接、理实一体的教学闭环。

2.3 构建“能力+素养”多维考核评价机制

为构建“能力+素养”多维考核评价机制，采用过程性评价（占比50%）与终结性评价（占比50%）双轨并行的考核框架。过程性评价设置四大任务：日常课堂考勤与课堂互动表现（10%）以关注学生的学习态度；课后基础习题完成表现（15%）以关注学生对于基础概念、原理、方法的掌握程度；低碳设计报告（10%）需量化减排效益以锻炼学生的低碳思维能力；创新实验（10%）以锻炼学生的实践动手能力；碳核算展示（5%）通过演示计算不同方案产生的碳排放分析不同材料、技术的碳排放差异。终结性评价创新设置基础填空题、概念题、基础方法与技术实践题，合计占比30%；同时设置案例分析题（10%），如对比水泥与沥青路面全周期碳足迹；设置开放性设计题（10%）以激发学生的发散思维能力，如整合光伏发电与温拌再生技术完成“零碳示范路”方案。同步推进课证融通，考核标准在学生掌握《路基路面工程》基础概念、原理、方法的同时，要求学生融合“碳排放”思维能力，注重学生从碳减排的角度思考路基路面工程问题。

3 “双碳”目标驱动下“路基路面工程”课程改革实践意义

3.1 推动道路工程教育转型升级，服务国家战略需求

为全面推动道路工程教育转型升级并服务国家“双碳”战略需求，课程改革将精准填补人才能力缺口：基于人社部预测未来“双碳”领域人才的巨大缺口，其中交通基建

需数十万人,试点班成效显著——学生的减排降碳意识显著提高,低碳方案设计达标率达 100%。教学成果深度辐射专业建设:推动十五五培养方案修订,课程内容中增设“绿色”“双碳”标签,新增“可持续发展能力”毕业要求指标点,有力支撑工程教育认证。实践层面,学生参与“道路固废循环再生利用”项目,创新提出的废弃沥青混合料高质再生利用技术可大幅减少天然石材与沥青的消耗。

3.2 引领行业绿色低碳发展,赋能产业技术革新

为引领行业绿色低碳发展并赋能产业技术革新,教学成果深度反哺产业升级:课程研发的“道路固废高质低碳再生技术”在示范性工程中得到成功应用,降低施工温度 25°C,实现单公里减排 35%,显著提升冷再生技术的环保效益,并获得大学生全国交通科技大赛三等奖;校企联合攻关实现沥青路面热拌施工烟气大幅减排,研发的抑制剂使得沥青烟气减排超过 70%,研究成果在河北得到成功应用,有效降低了沥青路面施工过程产生烟气的环境与健康风险。同时,教学团队参编的《道路工程》将课程与研究开发的绿色低碳新材料、新技术纳入其中,为公路低碳施工提供技术支撑,系统性赋能产业低碳转型。

3.3 深化产教融合机制,构建协同育人新生态

为深化产教融合机制并构建协同育人新生态,依托交通低碳产教融合共同体,创新建立三共运行体系:课程共建整合企业丰富工程案例开发绿色道路施工虚拟仿真资源库;资源共享通过开放行业级碳排放监测平台支撑规模化实训;师资共聘构建双向流通机制,聘任资深行业专家担任产业导师,校方教师定期赴企业深度实践。该模式获教育部产教融合典型案例认证,校企联合形成系列专利成果,技术成功应用于多条绿色公路项目并实现显著减排,为行业政策制定提供核心实践参考,形成教育链-产业链-创新链深度耦合的协同生态。

4 结语

“双碳”目标驱动的“路基路面工程”课程改革,标志着工程教育从“技术本位”向“生态优先”的范式跃迁。通过重构“低碳理论-前沿技术-实践应用”三维内容体系,深度融入碳核算与固废资源化等核心技术;创新“产教研协同”教学模式,以真实工程项目为载体推动能力转化;

建立对接职业标准的“能力+素养”多维评价机制,系统性实现三大突破:破解教学内容滞后瓶颈、促进学生低碳能力质变、推动产业减排实效落地。改革实践证明,课程需成为连接国家战略与育人实践的核心纽带——在知识层面贯通技术与课堂的协同创新,在能力层面锻造“材料-结构-碳管理”的交叉素养,在生态层面依托师资与资源互通机制加速成果转化。未来将通过动态更新技术体系、构建跨学科课程群、整合国际经验三重路径,持续响应绿色交通发展需求。当教育扎根于重大工程的实践沃土,当课堂直面产业减排的真实命题,高等教育方能践行“把论文写在祖国大地上”的使命,为民族复兴培育兼具家国情怀与创新魄力的新时代工匠。

基金项目:北京工业大学教育教学研究课题“数智化绿色化”改革专项课题“‘双碳’目标下《路基路面工程》绿色化教学体系构建与实践”(ER2025ZXA019)。

[参考文献]

- [1] 邵志国,李可心,李梦笛.“双碳”背景下中国交通运输业碳排放驱动因素及脱钩效应[J].中国环境科学,2025,45(1):571-582.
 - [2] 李泽英.再生粗骨料特性及其对混凝土性能的影响[D].合肥:安徽建筑大学,2021.
 - [3] 李炎锋,苏积赫,王宏燕.“双碳”目标”背景下土木类专业可持续发展的探索——以建筑环境与能源应用工程专业为例[J].教育教学论坛,2024(45):105-108.
 - [4] 王正君,刘春花.土木工程专业主干课教学内容和教学方法的改革与实践[J].黑龙江教育:高教研究与评估,2008,4(2):41-42.
 - [5] 陆旭东,于雄飞,张晓峰,等.分布式可再生能源在公路隧道的应用现状及展望[J].公路,2024(3).
 - [6] 石贵舟,余霞.应用型高校产教融合型课程教学改革与创新实践[J].南京工程学院学报:社会科学版,2022,22(4):69-73.
 - [7] 蒋宗礼.本科工程教育:聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养[J].中国大学教学,2016,11(5):27-30.
- 作者简介:曹志龙(1992—),男,武汉理工大学毕业;现任北京工业大学校聘教授,系副主任。