

“双碳”目标下高速公路绿色施工管理构建

罗毅

云南交投云岭桥梁智能建造有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2026030014

摘 要 : 在全球积极应对气候变化、我国坚定推进“双碳”目标的大背景下, 本文聚焦于此, 深入探讨高速公路绿色施工管理的构建路径。绿色施工管理在高速公路建设中意义重大, 关乎资源节约、环境保护与可持续发展, 是行业转型的必然要求^[1]。然而, 其推进也面临诸多挑战, 技术层面, 部分绿色技术研发成本高昂, 且尚未成熟, 难以大规模应用; 管理层面, 传统管理模式根深蒂固, 转型困难重重。为此, 本文提出构建策略, 涵盖全过程管理模式, 确保各环节绿色达标; 大力推广绿色技术应用, 降低能耗与排放; 建立科学绩效评估体系, 以评促建。同时, 结合实际案例, 详细阐述策略实施后的显著成效, 为高速公路绿色施工管理提供兼具理论深度与实践价值的参考与指引^[2]。

关 键 词 : 双碳目标; 高速公路; 绿色施工管理; 全过程管理; 绿色技术

Construction of Green Construction Management of Expressway under the "Double Carbon" Goal

Luo Yi

Yunnan Jiaotou Yunling Bridge Intelligent Construction Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650000

Abstract : Against the backdrop of global efforts to combat climate change and China's steadfast commitment to achieving its "Dual Carbon" goals, this paper explores the pathways for establishing green construction management in highway projects. Green construction management holds significant importance in highway development, as it addresses resource conservation, environmental protection, and sustainable development—essential requirements for industry transformation^[1]. However, its implementation faces multiple challenges. Technologically, some green technologies remain costly and immature, hindering large-scale adoption. Management-wise, entrenched traditional practices create substantial barriers to transition. To address these issues, the paper proposes a comprehensive strategy encompassing: a full-process management model to ensure green compliance across all stages; widespread adoption of green technologies to reduce energy consumption and emissions; a scientific performance evaluation system to drive improvements through assessment. Through practical case studies, the paper demonstrates the measurable outcomes of these strategies, providing both theoretical insights and actionable guidance for advancing green construction management in highways^[2].

Keywords : "Dual Carbon" goals; expressway; green construction management; full process management; green technology

引言

在全球气候变化的严峻形势下, 我国提出“双碳”目标, 即力争在2030年前实现碳达峰, 2060年前实现碳中和^[3]。高速公路建设作为重要碳排放源, 其传统粗放模式亟待变革, 构建绿色施工管理体系对于促进行业减排、保护生态具有关键意义。国际上, 绿色施工发展较为成熟, 欧洲等地已建立起较完善的标准体系, 并在再生材料利用、智能节能装备等领域取得显著成效。国内相关研究与政策近年虽快速发展, 但在技术集成应用、管理体系系统性等方面仍存提升空间。本文聚焦“双碳”背景下高速公路绿色施工管理体系的系统构建^[4]。综合运用文献研究、案例分析及实证量化等方法, 旨在梳理国内外经验, 剖析现实挑战, 并从管理框架、技术路径、评价机制等多维度提出适应性策略与实施路径, 以期为推动我国高速公路建设绿色低碳转型提供理论参考与实践指引。

一、“双碳”目标对高速公路施工的新要求与新挑战

在“双碳”战略目标的刚性约束下，高速公路建设领域正面临一场深刻的绿色转型，这一转型集中体现在对碳排放控制、资源利用效率和生态环境保护三个维度的系统性要求上^[6]。

首先，碳排放控制必须贯穿项目全生命周期。这意味着从源头选择低碳建材、优化运输物流，到施工环节通过精细调度机械、提升能效、推广电动设备以降低直接能耗，直至对废弃物进行低碳处理，每个阶段都需执行明确的减排策略，实现碳足迹的常态化、精细化管控，从而直接支撑宏观“双碳”目标的达成；其次，资源节约与循环利用是绿色施工的核心实践。它要求从根本上变革传统的高消耗模式，通过精细化材料管理、采用高耐久性建材以提高利用率，并大力推动建筑废弃物的资源化再生。例如，将废旧沥青混凝土用于路面基层，不仅能减少对天然砂石资源的开采，也避免了废弃物填埋带来的环境负荷，是实现从“线性消耗”向“资源-产品-再生资源”循环模式转变的关键；最后，生态环境保护是不可逾越的底线。施工活动须最大限度地减少对生态系统的扰动。这要求在规划初期即开展详尽的生态调查并进行敏感区避让设计，在施工中严格执行表土剥离回用、边坡即时防护等水土保持措施，并确保对施工废水、扬尘及噪声进行有效管控，其最终目标是保护生物多样性，实现工程建设与自然环境的和谐共生。这三重要求内在统一、相互增强：碳减排驱动能源与材料革新，资源循环直接减少了开采与废弃环节的生态破坏及碳排放^[6]，而生态保护本身也承担着固碳增汇的功能。它们共同指向一个环境友好、资源高效、低碳导向的施工新范式，是行业可持续发展的必由之路。

当前，在高速公路施工领域系统地落实“双碳”目标仍面临一系列现实挑战。经济层面，低碳材料、清洁能源设备及先进工艺的初期成本较高，在现有造价与招标体系下缺乏自发应用动力。技术层面，关键低碳技术如固废高值化利用、电动重型机械及精准碳监测等，多数尚处研发或试点阶段，未形成成熟可靠的规模化供应体系。管理层面，覆盖全过程的碳排放监测、报告与核查（MRV）体系仍不完善，导致碳足迹难以精准量化与管理。产业层面，产业链各环节缺乏有效的低碳协同机制，责任与利益分配不清，阻碍系统性减排。制度与市场层面，则面临全国统一的施工碳绩效评价标准缺失，以及财政激励、绿色金融、碳交易衔接等长效机制不足的问题，难以支撑企业长期绿色投入。这些挑战相互交织，共同构成了当前转型的主要瓶颈。

二、“双碳”目标下高速公路绿色施工管理体系的构建

本文构建的管理体系包含四个相互关联的子系统。

（一）管理目标体系

为响应“双碳”战略要求，高速公路施工管理必须实现从传统“质量、成本、工期”三维目标体系向融入“碳排放/环境效益”的四维目标体系的根本性拓展。这一新体系需建立分层次的

系统化架构：在战略层面，应紧密对接国家与行业“双碳”顶层设计，设定项目整体碳排放总量控制或碳强度下降的宏观目标；在战术层面，需将战略目标科学分解至各施工标段、年度及季度工作计划中，形成阶段性管控节点；在操作层面，则须将要求进一步细化到具体工序、机械班组及材料供应链，转化为如“吨公里运输碳排放”、“单位产值能耗”等可量化、可监测、可考核的微观绩效指标^[7]，从而确保低碳与环境管理要求能够贯穿项目全生命周期，并最终落地于每一个施工环节。

（二）全过程控制体系

为实现高速公路建设的绿色低碳转型，必须构建贯穿项目全过程的精细化控制体系，其核心在于将低碳管理深度融入施工全链条，并严格遵循“策划-实施-检查-改进”（PDCA）的循环管理逻辑。该体系始于规划设计阶段的源头管控，通过优化土石方平衡、集约规划临时用地与物流路线，从设计端预先降低环境影响与碳排放潜力。进入施工准备阶段，通过编制专项方案、进行低碳技术交底、遴选绿色建材与低碳设备，为后续施工奠定坚实的绿色基础^[8]。现场施工阶段是整个体系的执行核心，需通过技术与管理手段全面落实节能（如推广变频设备与太阳能）、节材（如提高周转率与使用再生材料）、减排（如应用智能降尘与废水回用）及生态保护（如表土剥离回用与同步修复）等关键措施。最后，在竣工移交阶段，系统核算并形成《项目碳足迹报告》，不仅完成本阶段的管理闭环，更为项目运营期的长期低碳管理提供精准的数据基石，从而实现从建设到运营的全生命周期环境绩效持续优化。

（三）技术创新体系

为驱动高速公路绿色施工的深入发展，必须构建一个由多元前沿技术共同支撑的创新体系，其核心在于推动低碳工艺革新、能源结构转型与管理模式升级。在低碳工艺技术层面，重点在于规模化推广桥梁装配化、隧道机械化集群施工与路基智能碾压等高效集约化建造方式，并积极研发与应用温拌沥青、低碳混凝土等具备显著减排潜力的新材料与新工艺。在能源替代技术层面，着力在隧道、场站等固定场景推广光伏等分布式清洁能源，同时试点应用纯电动挖掘机、渣土车等移动装备，并前瞻性探索氢燃料电池在大型工程机械上的应用，以逐步实现施工动力的去碳化。在智慧管理技术层面，深度融合 BIM、物联网与 GIS 等技术，构建与物理工地实时交互的“数字孪生”系统，借此实现对施工全过程能耗、物耗及碳排放的精准监测与动态分析，最终通过数据驱动实现资源调配与施工组织的智能优化，为管理决策提供科学支撑，从而将技术创新切实转化为绿色施工的核心驱动力。

（四）绩效评价体系

为确保绿色施工管理体系的有效落地并形成持续改进机制，必须构建一个以碳排放为核心导向的绩效评价体系。该体系首先需要建立一个科学的评价模型，其指标维度应全面涵盖资源消耗、环境影响、碳排放及管理效能等多个方面，并确保其中的碳排放指标具备可监测、可报告、可核查（MRV）的可靠特性。在评价方法上，可采用层次分析法（AHP）确定各维度指标的合理

权重，并结合模糊综合评价法进行量化评分，同时积极引入“碳生产率”（即单位碳排放的经济产出）等更具综合性的先进度量指标，以更精准地衡量低碳与发展的协同水平。最终，关键在于将评价结果与项目评优、企业信用评级、以及绿色金融支持（如绿色信贷利率优惠）等实质性激励与约束机制紧密挂钩，从而形成有效的市场信号和制度闭环，驱动建设主体从被动合规转向主动追求卓越的环境绩效，为绿色施工的长期推行注入内生动力^[9]。

三、“双碳”背景下高速公路绿色施工优化路径与案例研究

为确保前文所述的绿色施工管理体系能够真正落地见效，必须通过多路径协同推进的系统性工程予以支撑。首先，强化政策法规与标准引领是根本前提。这要求政府层面加快制定并出台高速公路施工碳排放定额标准、低碳建材认证目录等关键规范，同时在招投标制度中明确将绿色低碳绩效作为核心评审因素，从源头建立市场规则与价值导向；其次，深化数字技术融合应用是关键赋能手段。需推动传统“智慧工地”向聚焦碳管理的“低碳智慧工地”升级，通过统一数据标准、构建省级或区域级碳排放监管平台，实现全链条碳排放数据的自动采集、实时分析与动态可视，为精细化管理提供技术底座；再次，推动全产业链协同减排是突破瓶颈的核心；应发挥建设方的主导作用，联合设计、施工、材料供应商、设备制造商等上下游主体组建绿色建造联盟，共同制定并履行覆盖材料生产、物流、施工及废弃物处理各环节的低碳公约，打破环节壁垒，实现系统减排；最后，培育绿色低碳行业文化是长远基础。需通过系统化的专业培训提升从业人员意识与能力，并借助绿色工区评选、先进案例宣传等方式，营造全员参与、追求卓越低碳绩效的文化氛围，使绿色施工从外部要求内化为行业自觉。

在某全长120公里的山区高速公路项目中，为应对地形复杂

与生态脆弱的挑战，并响应“双碳”目标，全面实施了绿色施工管理。通过前期详尽的生态调查，项目采取“桥隧代路”、阶梯式开挖结合即时绿化等针对性措施，显著减少了对山体及野生动植物栖息地的扰动。资源利用方面，借助 BIM 技术精准控制材料用量，并将废旧混凝土再生为路基填料，有效节约了成本与资源；同时推广电动设备，降低能耗。在污染防控上，通过封闭大棚、智能喷淋及在线监测系统严控扬尘，施工废水循环利用率达 90%，固体废弃物资源化率超过 85%。此外，拌合站采用光伏发电，并应用温拌沥青工艺，实现了显著的节能减碳。整体上，该项目不仅有效保护了生态环境、降低了施工成本，还获得了“省级绿色施工示范工程”称号，为同类项目提供了兼具生态、经济与社会效益的综合性实践范例。

四、结论

本文深入研究了“双碳”目标下高速公路绿色施工管理的构建，分析了“双碳”目标对高速公路施工的新要求，指出了当前高速公路绿色施工管理存在的问题，提出了包括全过程管理模式、绿色技术推广应用、绩效评估体系建立、信息化与智能化管理以及绿色施工文化建设等在内的构建策略，并结合实际案例进行了验证。研究表明，通过实施绿色施工管理，可以有效减少高速公路施工过程中的碳排放，节约资源，保护生态环境，实现经济效益、社会效益和生态效益的统一^[10]。本研究虽然取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。例如，对绿色施工管理的长期效果跟踪研究不够深入，对一些新兴绿色施工技术的应用案例分析不够全面。未来的研究可以进一步加强对绿色施工管理长期效果的监测和评估，深入探讨新兴绿色施工技术在高速公路项目中的应用和推广，不断完善高速公路绿色施工管理体系，为实现“双碳”目标和交通运输行业的可持续发展提供更有力的支持。

参考文献

[1] 金刚, 赵庆余, 姚强. 东南公路木奇岭综合治理措施 [J]. 东北公路, 2003, (04): 71-105.
[2] 蒙宇绍. 隧道涌水突泥灾害处置与预防措施 [J]. 广东公路交通, 2024, 50(06): 49-53.
[3] 中国政府网. 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见 [EB/OL]. (2021-09-22).
[4] 陈绍伟. 沥青路面车辙试验的温度影响模型研究 [J]. 中外公路, 2022, 42(06): 56-61.
[5] 蔡申夫, 刘志强. 交通运输领域碳达峰碳中和路径研究 [J]. 中国公路学报, 2022, 35(4): 1-10.
[6] 王凯, 张跃. 绿色施工管理在高速公路建设中的应用研究 [J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(5): 78-83.
[7] 李启明, 熊伟, 袁竞峰. 基础设施绿色低碳建造理论与技术体系框架 [J]. 工程管理学报, 2021, 35(6): 1-6.
[8] International Energy Agency (IEA). Tracking Buildings 2021[R]. Paris: IEA, 2021.
[9] 黄有亮, 成虎. 工程全生命周期碳排放核算模型与方法研究进展 [J]. 建筑经济, 2019, 40(S1): 12-16.
[10] 交通运输部. 绿色交通标准体系（2022年）[S]. 北京: 人民交通出版社, 2022.