 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i1.9034

Research on Dynamic Control of Highway Construction Cost from the Perspective of Green Construction

Yi Luo Ming Wen Wanzhang Su

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

Abstract

Traditional highway construction cost control predominantly focuses on static management of direct engineering expenses, overlooking long-term hidden costs such as environmental and social impacts. Under the dual carbon goals and sustainable development strategy, green construction has become an inevitable choice. This paper re-examines the cost structure and control logic of highways from the perspective of green construction. It first elucidates the connotations and interconnections between green construction and dynamic cost control, demonstrating that green construction serves as a critical pathway for optimizing lifecycle costs. The main body constructs a dynamic cost control system integrating green elements, comprising three modules: cost planning based on green objectives, process monitoring incorporating green indicators, and lifecycle cost evaluation. The study analyzes the dynamic impacts of green technology applications on short-term construction costs, long-term operations, and environmental costs, proposing control strategies and safeguard measures. Finally, it emphasizes that establishing a data-driven, lifecycle value-maximizing integrated cost control platform is pivotal for high-quality development and green transformation of highways, providing a theoretical framework and decision-making reference for project management.

Keywords

green construction; expressway; dynamic cost control; life cycle cost; sustainable development

绿色施工视角下高速公路建设成本动态控制研究

罗毅 文明 苏万章

云南交投云岭桥梁智能建造有限公司，中国 · 云南 昆明 650000

摘 要

传统高速公路建设成本控制多聚焦工程直接费用的静态管控，忽视环境、社会等长期隐性成本。在“双碳”目标与可持续发展战略下，绿色施工成必然选择。本文从绿色施工视角重新审视高速公路成本构成与控制逻辑，先阐述绿色施工与成本动态控制的内涵及关联，论证绿色施工是全生命周期成本优化的重要路径。正文构建融合绿色要素的成本动态控制体系，含基于绿色目标的成本规划、融入绿色指标的过程监控、全生命周期成本评估三大模块。研究分析绿色技术应用对短期建设成本与长期运营、环境成本的动态影响，提出控制策略与保障措施。最后指出，构建数据驱动、全生命周期价值最大化的成本动态控制集成平台，是高速公路高质量发展和绿色转型的关键，为项目管理提供理论框架与决策参考。

关键词

绿色施工；高速公路；成本动态控制；全生命周期成本；可持续发展

1 引言

高速公路是现代交通网络主动脉，建设规模与技术水平关乎国家经济发展。但传统建设模式追求效率与经济效益时，引发资源消耗大、生态扰动显著、能源排放突出等问题。其成本控制体系多聚焦材料、人工等直接费用，是静态、事后、局部最优的管理模式，难以反映真实环境与社会成本，还使项目后期运营面临高昂修复等费用。随着“生态文明建设”推进和“双碳”目标提出，交通运输领域绿色低碳转型刻不容缓。绿色施工贯彻可持续发展理念，通过科学管理和技术进步，节约资源、减少环境影响、保障人员健康安全，正从倡导理念变为强制实践，对传统成本控制带来挑战。

有人认为绿色施工等同高成本，实则不然。绿色施工许多措施，如精细化土方平衡等，初期或有投入，但能从多方面产生长期经济效益。从绿色施工视角看，成本控制要将边界拓展到项目全生命周期，将环境外部成本内部化，控制模式转为动态管理。本文旨在打破“绿色”与“成本”对立的思维，系统论述在高速公路建设中，如何将绿色施工要求嵌入成本动态控制全过程。通过构建融合绿色目标的动态控制框架，分析关键绿色措施的成本 - 效益动态流，证明科学实施绿色施工是实现项目经济效益、环境效益与社会效益协同优化的有效途径，为交通基础设施建设高质量发展提供理论和实践指引。

【作者简介】罗毅（1990–），男，布朗族，中国云南临沧人，本科，助理工程师，从事公路工程研究。

2 绿色施工与成本动态控制的内涵关联

2.1 绿色施工的核心维度

高速公路项目的绿色施工，主要涵盖四个核心维度：（1）资源节约：包括土地集约利用、节水、节材（如使用高性能混凝土、钢材优化下料）、节能（应用可再生能源、提高机械能效）；（2）环境保护：涵盖水土保持、噪声与扬尘控制、污水净化排放、减少光污染、保护沿线生物多样性等；（3）工艺创新：采用装配式结构、永临结合技术、建筑信息模型（BIM）、智能压实等低影响、高效率的施工技术；（4）人本健康与安全管理：改善作业环境，保障劳动者职业健康。这些维度共同指向了施工过程的“精细化”与“可持续化”。

2.2 成本动态控制的演进与特征

成本动态控制是对传统静态成本管理（如定额预算、事后决算）的超越。其核心特征在于 “全过程、实时性、前瞻性、反馈调整” 。它贯穿于项目决策、设计、采购、施工、运营维护各个阶段，通过实时数据采集（如物联网、BIM 技术），持续对比分析计划成本与实际成本的偏差，并预测未来成本趋势，进而及时采取纠偏措施。它是一个闭环的、不断迭代优化的管理过程。

2.3 二者的内在逻辑融合

绿色施工与成本动态控制在目标与手段上高度契合。首先，目标一致性：二者最终目标都是追求项目整体价值最大化，绿色施工关注长期综合价值（含环境价值），成本动态控制则通过管理手段实现经济价值最优。其次，过程互动性：绿色施工措施的实施效果（如节能量、材料回收率）直接转化为成本数据，是动态控制需要监测的关键绩效指标（KPI）；反之，成本动态控制系统为评估绿色措施的经济可行性提供了量化工具。最后，系统集成性：二者都强调整体最优而非局部最优。例如，选择单价稍高的环保型边坡生态防护技术，从静态看增加了建设成本，但从动态和全生命周期看，其减少了后期养护费用、水土流失治理成本，并创造了生态景观价值，整体成本效益更优。因此，将绿色要素融入成本动态控制体系，是成本管理理论在可持续发展时代的必然发展。

3 绿色施工视角下成本动态控制体系的构建

一个完整的绿色施工视角下的成本动态控制体系，应包括以下三个相互关联的模块。

3.1 基于绿色目标的成本动态规划（事前控制）

在项目前期策划与设计阶段，就应确立明确的绿色目标（如单位产值能耗下降率、建筑垃圾再利用率、临时用地复垦率等），并将这些目标量化为成本参数，纳入总投资估算和分项预算。绿色方案比选对关键工程（如路基填筑、桥梁架设、隧道开挖）提出多个具备不同“绿色度”的技术方案，利用价值工程或全生命周期成本分析（LCCA）方法进行比选。例如，对比传统爆破开挖与环保静态爆破方案，不仅要计算直接的工料机费用差异，还要预估噪声罚款、粉尘处理、周边建筑损伤风险等潜在成本。合同价格机制创新：在招标文件和合同中，设置与绿色绩效挂钩的价款支付条款或奖惩机制。例如，设立“绿色施工专项奖励基金”，对达到或超过预设节能、节水、节材指标的承包商进行奖励，将环境成本 / 效益内部化。

3.2 融入绿色指标的施工过程动态监控（事中控制）

这是成本动态控制的核心环节，关键在于建立一个能够同步追踪经济成本与绿色绩效的实时信息平台。多维数据采集：利用 BIM 平台集成工程算量、进度、成本信息，同时通过物联网技术，实时采集施工现场的能耗（智能电表、油耗传感器）、水耗、主要材料消耗、扬尘与噪声监测数据、建筑垃圾产生与运输数据等；动态偏差分析：不仅分析实际货币成本与计划成本的偏差（CV，成本偏差），还要分析关键绿色指标的实时数据与目标值的偏差（如实际能耗 vs 计划能耗）。当发现材料浪费率异常升高或能耗超标时，系统应能预警，并联动分析其对项目总成本的影响；实时反馈与优化：根据动态分析结果，管理者可以迅速定位问题源头。例如，发现某段路基压实作业燃油消耗超标，可能原因是机械老化或工艺不当，及时调整设备或工艺，既能降低燃油成本，又能减少碳排放，实现经济与环保效益的双重纠偏。

3.3 全生命周期成本动态评估与后评价（事后与长期控制）

项目竣工并不意味着成本控制终结，绿色施工的效益很多是在运营期显现。运营期成本追踪：建立项目运营阶段的成本与绿色绩效数据库，重点关注与前期绿色施工措施直接相关的成本项。例如，生态边坡的养护成本 vs 传统浆砌片石边坡的维修成本；使用 LED 节能灯具的隧道其长期电费节省情况；透水路面对减少区域排水系统负荷的贡献等。后评价与知识管理：在项目运营一段时间后，进行系统的全生命周期成本后评价。综合评估初期绿色投入与长期运营节约、环境损害减少、社会声誉提升等综合效益之间的关系。将评价结果形成知识库，用于指导未来项目的成本动态规划，形成“规划 - 监控 - 评估 - 反馈”的螺旋式上升闭环。

4 关键绿色措施的成本动态影响分析与控制策略

4.1 建筑垃圾资源化利用

动态影响分析：传统外运填埋处理方式，成本表现为直接的清运费和填埋费。而现场破碎、筛分后作为路基填料或制砖利用，初期需投入移动式破碎设备成本，但节省了外运成本、购土费用，并减少了取土场的环境破坏成本。控制策略：在规划阶段，即对工程挖方和旧路拆除量进行精准测算，设计好资源化利用的工艺路线和产出物用途。在施工中，动态监控垃圾产生量、分类纯度、再生产品质量及其替代原生材料的比例，实时计算成本节约额，激励承包商提高资源化效率。

4.2 节能环保型施工机械与临建

动态影响分析：采用符合国四及以上排放标准的非道路移动机械，其购置或租赁单价可能更高。但其燃油效率高，长期燃油成本低，且能避免因排放不达标导致的停工罚款或环保税。使用太阳能光伏板供应营地照明，初期有投资，但能大幅减少施工期电费支出。控制策略：在机械选型与采购招标中，引入“总拥有成本”概念，将能耗、排放维修率等纳入评标体系。对临建设施进行标准化、装配化、绿色化设计，实现多次周转使用，摊薄单次项目的绿色投入成本。

4.3 生态环保技术与工艺

动态影响分析：如声屏障采用吸声效果更好、且使用回收材料制作的环保型产品，其单价可能高于普通金属屏障。但其降噪效果更佳，能减少对周边社区的干扰，降低投诉风险和潜在的工期延误成本。表土剥离与保护再利用技术，增加了初期工序，但保护了珍贵的土壤资源，为后期绿化复垦节省了客土购买费用，生态价值显著。控制策略：在环境影响评价阶段，就量化分析不同环保方案对周边社区的潜在影响及其可能引发的经济风险（如赔偿、诉讼）。在成本预算中，设立“环境风险准备金”，并优先投资于能实质性降低长期环境风险与运营维护成本的生态技术。

5 实施保障与挑战

5.1 保障措施

组织与制度保障：项目公司应设立跨部门的绿色成本控制小组，整合工程、合约、财务、环保部门的职能。制定《绿色施工成本动态控制实施细则》；技术与数据保障：投资建设集成 BIM、GIS、物联网、大数据分析的智慧工地管理平台，为动态控制提供可靠的数据基础；人员与能力保障：加强对项目管理及施工人员的绿色施工与全生命周期成本理念的培训，培养复合型管理人才。

5.2 面临挑战

标准与定额体系滞后：现有公路工程预算定额体系未能充分反映许多绿色新技术、新工艺、新材料，导致其成本难以准确计量和计价；长期数据缺失：全生命周期成本评估依赖长期的运营数据，目前项目各阶段数据割裂，运营期数据难以与建设期绿色措施有效关联；短期利益导向：在建设主体与运营主体分离的模式下，投资方可能缺乏为长期运营效益而增加初期绿色投入的动力。

6 结语

在生态文明建设的新时代语境下，高速公路建设的成本控制已不能局限于传统的经济账本。从绿色施工的视角出发，成本控制被赋予了更丰富的内涵和更广阔的时间维度。本文研究表明，绿色施工与成本动态控制并非矛盾体，而是可以通过系统性的融合，共同服务于建设项目全生命周期综合价值最优化的统一体。将绿色目标转化为成本参数，并将其纳入从规划、设计、施工到运营的全过程动态管理闭环，是实现这一融合的关键。这要求项目管理从思维模式到工具方法进行全面升级：从追求短期、显性成本最低转向追求长期、综合成本最优；从依赖经验静态管理转向依托数据动态决策；从部门割裂管理转向全链条协同管控。

尽管面临标准滞后、数据壁垒和利益机制等现实挑战，但这一转型趋势不可逆转。未来的研究与实践应聚焦于：开发适用于绿色公路工程的全生命周期成本计价标准与软件工具；构建跨项目、跨区域的基础设施绿色绩效与成本大数据平台；探索创新性的投融资与合同模式（如绿色债券、绩效合同），以激励全生命周期绿色价值的实现。唯有如此，高速公路才能不仅作为连接地理空间的物理通道，更成为践行绿色发展理念、承载低碳未来的典范工程，真正实现经济效益、环境效益与社会效益的和谐统一，为交通强国和美丽中国建设奠定坚实的基础。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通运输部. 绿色交通“十四五”发展规划[Z]. 2021.

[2] 中国公路学会. 公路工程绿色施工规范: JTG/T 3610-2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.

[3] 建设项目全生命周期造价管理研究课题组. 建设项目全生命周期成本管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

[4] 王守清, 柯永建. 特许经营项目融资(BOT、PFI和PPP)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015. (其中涉及全生命周期成本分析)

[5] Zhang, X., Wu, Y., Shen, L., et al. A framework for assessing the carbon footprints of mega infrastructure projects. Journal of Cleaner Production, 2017, 162, 105-115.

[6] 刘伊生，王小龙. 基于BIM的工程项目成本动态控制研究[J]. 工程管理学报，2018, 32(02): 1-6.

[7] 肖绪文，冯大阔. 建筑工程绿色施工现状分析及推进建议[J]. 施工技术，2013, 42(01): 1-4.

[8] 李蕾，陈建国. 基于物联网的施工项目成本实时监控系统研究[J]. 土木工程与管理学报，2019, 36(04): 174-180.

[9] 胡文发，何新华. 绿色施工驱动因素及实施障碍的实证研究[J]. 中国软科学，2012, (S2): 200-208.