

# 市政道路工程低碳施工技术集成应用与效益评价

邓国亮

福建三钢闽光股份有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8576

[摘要] 在“双碳”战略纵深推进背景下，市政道路工程作为城市碳排放核心领域，其低碳转型已成为必然要求。本文基于全生命周期理论，构建低碳节能智能技术集成体系，系统解析再生建材应用、新能源装备替代等关键技术路径，并建立涵盖环境、经济、社会维度的综合效益评价模型。结合典型工程案例验证表明，集成技术应用可使施工阶段碳排放强度降低，单位里程成本下降，为市政工程低碳转型提供技术支撑与决策依据。

[关键词] 市政道路工程；低碳施工；应用；效益评价

## Integrated application and benefit evaluation of low-carbon construction technology in municipal road engineering

Deng Guoliang

Fujian Sangang Minguang Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of the deepening of the "dual carbon" strategy, municipal road engineering, as the core area of urban carbon emissions, has become an inevitable requirement for its low-carbon transformation. This article is based on the theory of the entire life cycle, constructing a low-carbon and energy-saving intelligent technology integration system, systematically analyzing key technological paths such as the application of renewable building materials and the replacement of new energy equipment, and establishing a comprehensive benefit evaluation model covering environmental, economic, and social dimensions. Through the verification of typical engineering cases, it is shown that the application of integrated technology can reduce the carbon emission intensity during the construction phase, lower the unit mileage cost, and provide technical support and decision-making basis for the low-carbon transformation of municipal engineering.

[Key words] municipal engineering; Low carbon construction; Application; benefit evaluation

市政道路工程施工阶段因建材生产、机械作业等环节，产生大量碳排放与环境污染，其中混凝土生产占施工碳排放的40%，重型机械燃油消耗占比达25%。随着《绿色建造技术导则》明确2025年起新建项目需提交碳排放核算数据，传统高碳施工模式面临严峻挑战。研究低碳施工技术集成应用，对推动建筑业碳减排、实现城市可持续发展具有重要现实意义。

### 1. 市政道路工程低碳施工技术集成体系

在当今社会，随着环保意识的不断增强，市政道路工程的低碳施工变得尤为重要。构建一套全面且有效的低碳施工技术集成体系，能够从源头减少施工过程中的能源消耗和碳排放，为城市绿色可持续发展提供核心支撑。

#### 1.1 材料低碳化技术路径

##### 1.1.1 再生建材循环利用

再生建材循环利用是破解传统施工高消耗、高排放困境的重要举措，其中再生沥青混凝土（RAP）与再生骨料的规模

化应用尤为关键。在道路改造与新建工程中，冷再生技术可实现旧路面材料的高效复用，让原本可能被填埋的废旧物料重新回归施工环节，既减少了天然资源开采压力，又降低了新材料生产带来的碳排放。在混凝土制备领域，固碳水泥与再生骨料的复合方案成为低碳创新方向，通过材料性能的协同优化，在保证结构强度的前提下实现碳减排目标，能够对施工产生的建筑垃圾进行即时资源化处理，大幅提升废弃物利用率，真正实现循环经济价值。

##### 1.1.2 低碳新型材料应用

新型低碳材料的研发与应用为施工减排提供了源头解决方案，温拌沥青技术通过特殊添加剂改良沥青性能，可显著降低施工阶段的加热温度，从根本上减少能源消耗和挥发性有机化合物（VOC）排放，同时保障路面施工质量。生物基聚合物改性沥青等创新材料的试点应用，不仅能实现固废资源的高效利用，还能同步提升路面的抗裂、耐久等核心性能，达成环保与功能的双重提升。此外，低VOC涂料、透水铺装材

料等新型环保建材的推广，可从施工源头削减污染物排放，其中透水铺装材料还能兼顾雨水下渗、缓解城市内涝的生态功能，进一步拓展材料低碳化的综合价值。

## 1.2 装备节能化技术路径

### 1.2.1 新能源装备替代

以新能源装备替代传统燃油机械是推动施工环节减排的核心手段。电动化施工设备凭借零尾气排放、低运行噪音的优势，正逐步取代传统燃油挖掘机、装载机等设备，在提升作业环境质量的同时降低能源成本。为加速新能源装备的普及应用，多地已出台针对性政策激励措施，通过资金补贴等方式降低企业设备更新成本，激发市场主体的绿色转型动力。在临时设施建设中，光伏能源的集成应用成为新趋势，通过在施工围挡、临时用房屋顶等区域铺设光伏组件，可实现照明、小型设备供电等需求的能源自给，减少对传统电网的依赖，构建清洁低碳的施工现场能源系统。

### 1.2.2 传统设备能效优化

对于仍在服役的传统燃油设备，通过技术改造与管理优化实现能效提升同样重要。在铣刨机、压路机等核心施工设备上加装节能装置，可减少作业过程中的能源损耗；同时通过优化施工组织方案，合理规划设备调度路径，减少设备怠速待机时间，进一步降低燃油消耗。在施工现场照明系统改造中，分区智能照明与LED灯具的组合应用，能够根据作业需求精准调控照明范围与亮度，避免能源浪费，实现照明系统的高效节能运行。部分设备还可采用油电双动力模式，在不同施工场景下灵活切换动力来源，兼顾作业连续性与减排需求。

## 1.3 管理智能化技术

### 1.3.1 数字孪生管控

通过三维建模技术对施工环节进行预演优化，可精准控制模板、钢材等建材用量，减少材料浪费带来的隐性碳排放。在此基础上，构建一体化监测网络，利用无人机进行路面病害巡查，结合AI算法对施工质量与养护需求进行预判，能够指导预防性养护作业开展，减少后期返工带来的能源消耗与碳排放，同时提升工程建设效率与质量。数字化管理还可实现模板等周转材料的智能调配，通过编码追踪与科学调度提升复用率，进一步强化循环经济效应。

### 1.3.2 全周期碳核算

依据国家标准构建全周期碳核算体系，明确施工环节直接排放、间接排放及供应链排放的核算边界，为减排目标设定提供科学依据。借助专业化工具生成碳热力图，能够直观定位施工中的高排放节点，为技术方案优化提供精准方向。通过全周期碳核算的动态跟踪，可实时掌握材料采购、设备运行、现场作业等各环节的碳排放变化，及时调整施工策略，确保减排措施落地见效。

## 2. 低碳施工综合效益评价模型构建

### 2.1 评价指标体系

#### 2.1.1 环境效益指标

环境效益是低碳施工的核心目标，指标设计围绕减排、控污、循环三大方向，确保数据可通过现场监测与行业标准核算获取。碳排放强度以“单位里程CO<sub>2</sub>排放量(t/km)”为核心，参考行业通用核算标准——柴油燃烧碳排放系数2.77kgCO<sub>2</sub>/L、华北电网供电碳排放系数0.70tCO<sub>2</sub>/MWh，覆盖材料生产、机械作业、电力消耗等全环节碳排放，直观反映项目低碳核心成效；污染控制率选取施工期最受关注的扬尘与噪声污染，设定量化目标——扬尘浓度削减率≥50%、噪声降低5-10dB，通过粉尘监测仪与声级计实时采集数据，体现项目对周边生态环境的保护力度；资源循环率聚焦降碳与节材的协同，重点监测再生材料利用率与水资源循环利用率，明确水资源循环利用目标≥65%，推动施工环节的资源高效配置。

#### 2.1.2 经济效益指标

经济效益指标打破低碳即增成本的传统认知，从成本收益双向量化低碳技术的经济可行性。成本变化率通过低碳技术增量成本”与能耗/材料节约成本的差值计算，例如温拌沥青技术的设备改造增量成本，可通过减少燃油消耗、缩短施工工期的节约成本抵消，客观反映技术的成本平衡能力；全周期收益关注项目长期价值，以路面寿命延长为核心，低碳技术应用可使路面寿命延长3-5年，养护成本降低可达20%，避免短期成本视角的局限性；碳资产收益结合政策红利与市场机制，涵盖碳配额交易收益与政府专项补贴，明确补贴范围为工程造价的1%-3%，体现低碳项目的政策支持价值与市场增值潜力。

#### 2.1.3 社会效益指标：衔接民生与行业发展

社会效益指标关注低碳施工对社会层面的辐射价值，兼顾民生影响与行业带动作用。以“居民满意度提升率”为核心，通过问卷调查、现场访谈等方式采集数据，反映施工期间噪声、扬尘控制对周边居民生活质量的改善；评估低碳技术的可复制性，例如再生骨料与温拌沥青的组合技术，是否适用于不同气候区、不同等级道路项目，为行业推广提供参考；通过绿色施工技能人员增长率衡量项目对行业人才的培育作用，例如电动设备操作、BIM低碳管控等新型技能的培训覆盖度，助力行业人才结构升级。

### 2.2 评价方法与权重：科学量化的分析工具

为确保评价结果的客观性与权威性，采用层次分析法与模糊综合评价法的组合法，实现全流程标准化。

#### 2.2.1 权重确定：基于专家共识的层次分析

邀请涵盖道路工程、低碳技术、环境评价领域的资深专家，通过两两比较构建判断矩阵，最终确定三大维度权重。环境效益权重最高(0.45)，其中碳排放强度作为核心指标，权重占比0.20，凸显降碳在低碳施工中的核心地位；经济效益权重次之(0.35)，平衡低碳技术的成本与收益，为项目经济可行性提供支撑；社会效益权重0.20，体现施工项目与社

会发展的协同性，避免重技术、轻民生的评价偏差。

### 2.2.2 等级判定：清晰的得分标准

通过模糊综合评价法计算综合效益得分，结合行业实践设定三级评价等级。优秀为综合得分 $\geq 85$ 分，代表项目在环境、经济、社会维度均实现高水平效益；良好为综合得分70-84分，代表项目核心效益达标，局部环节仍有优化空间；合格为综合得分 $< 70$ 分，需针对短板指标（如碳排放强度超标、成本过高）进行技术调整。

## 3. 广东某市政主干道改造项目

为验证评价模型的实用性，选取广东某市政主干道改造项目进行实证分析，通过传统方案与优化方案的对比，直观呈现低碳技术的综合效益。

### 3.1 项目概况

项目为广东某城市主干道翻新工程，全长5.2km，设计时速60km/h，主要服务城市通勤与货运交通，施工周期3个月，涉及基层重构与面层铺设两大核心环节。传统方案采用水泥稳定碎石基层（天然骨料占比100%）、热拌沥青面层（加热温度160-180℃），施工机械以燃油挖掘机、压路机为主，碳排放与能耗较高；优化方案应用再生骨料基层、温拌沥青面层、电动设备、BIM管控集成技术，其中再生骨

料替代30%天然骨料，温拌沥青加热温度降低30-40℃，4台燃油挖掘机替换为电动机型，同步引入BIM技术优化材料用量与施工流程。

### 3.2 技术应用效果

#### 3.2.1 碳排放削减

通过三端发力，实现碳排放的显著削减，具体成效如下。材料端降碳：再生骨料替代30%天然骨料，减少天然石材开采与加工环节碳排放126吨；应用固碳水泥（通过吸收空气中CO<sub>2</sub>实现固化），额外减碳89吨，材料端合计降碳215吨。装备端降碳：4台电动挖掘机替代燃油机型（单台燃油挖掘机年碳排放约150吨），年减碳达600吨，占项目总减排量的60%以上，成为降碳核心环节。管理端降碳：BIM技术通过三维建模优化材料配比与运输路线，减少沥青、碎石等材料浪费约5%，间接减碳45吨。综合成效：项目全周期碳排放从传统方案的38.2t/km降至25.1t/km，削减率达34.3%，远超行业平均减排水平（约20%）。

#### 3.2.2 综合效益评价

基于前文构建的评价模型，对优化方案进行多维度打分，结果显示各项指标均实现显著提升，综合效益达到优秀等级。

评价维度	具体指标	优化方案成效	评价等级	指标亮点分析
环境效益	碳排放强度	25.1t/km	优秀	低于行业同类项目平均水平18%
	扬尘削减率	62%	优秀	远超 $\geq 50\%$ 的目标值，周边空气质量改善显著
经济效益	单位成本	降低8元/m <sup>3</sup>	良好	主要得益于再生材料节约与能耗降低
	补贴收益	工程造价2.5%	优秀	处于1%-3%补贴范围的中高水平
社会效益	居民满意度	提升40%	优秀	噪声、扬尘控制有效提升民生体验
综合得分	-	89.6分	优秀	三大维度均无短板，综合效益突出

## 4. 实践价值与推广建议

### 4.1 模型价值

本次构建的评价模型具有三大核心价值。一是指标可量化，避免定性评价的主观性；二是权重分配合理，突出环境效益的核心地位；三是等级判定清晰，为项目优化提供明确方向。广东案例验证显示，模型能准确识别低碳技术的效益亮点，也能发现改进空间。

### 4.2 推广建议

推广组合技术，广东案例显示该技术可实现降碳34%、成本降低8元/m<sup>3</sup>，具备普适性。建议地方政府将低碳施工评价结果与项目审批、补贴发放挂钩，例如对综合得分 $\geq 85$ 分的项目提高补贴比例，激励企业主动低碳转型。建立低碳施工指标数据库，收集不同区域、不同类型项目的评价数据，进一步优化指标权重与核算标准，推动评价体系的动态升级。

## 结束语

综上所述，在“双碳”战略的大背景下，市政道路工程的低碳转型迫在眉睫且意义重大。本文构建的低碳节能智能技术集成体系，从材料低碳化、装备节能化、管理智能化等多方面为市政道路工程低碳施工提供了全面且可行的技术路

径。同时，所建立的涵盖环境、经济、社会维度的综合效益评价模型，为科学评估低碳施工效益提供了标准化工具。广东某市政主干道改造项目的实证分析表明，集成技术的应用能够显著降低施工阶段的碳排放强度，有效降低单位里程成本，并在环境、经济、社会等多个维度取得优秀的综合效益。这充分验证了该技术集成体系和评价模型的实用性与有效性。

## [参考文献]

- [1]余九.低碳理念下市政道路材料选择与施工技术研究[J].门窗, 2025(15): 31-33.
- [2]云霄, 魏昊辰, 刘航.市政道路工程施工中节能绿色环保技术的应用[J].绿色中国, 2025(4): 145-147.
- [3]俞克雄.绿色施工技术在市政道路桥梁建设中的应用与发展[J].居业, 2025(6): 74-76.
- [4]马二利, 王辉, 曹开斌.绿色节能环保技术在市政道路工程施工中的应用[J].新材料·新装饰, 2025, 7(20): 77-80.
- [5]朱仕军.绿色施工技术在市政道路工程中的推广与应用[J].现代工业工程, 2025(9): 91-93.