

绿色低碳技术在桥梁施工中的成本控制研究

赵如玉, 徐 航, 匡志强

(广西路桥工程集团有限公司, 广西 南宁 530200)

摘 要 本研究采用案例分析法, 依托南珠大街跨江桥拆除工程, 系统构建了涵盖旧桥材料资源化利用、临时工程复用与低碳施工工艺的一体化技术路径, 并基于合同计量与活动数据开展要素化成本对比。研究结果表明, 该技术路径在降低直接成本的同时实现了碳排放的显著削减, 验证了绿色技术与成本控制同源驱动的可行性。结论指出, 通过回用材料分级计量、临时设施复用设计与低碳工艺协同组织, 可在保障工程约束的前提下实现经济与环境效益的协同统一。

关键词 旧桥拆除; 材料资源化; 临时工程复用; 低碳施工; 成本控制

基金项目 广西科技重大专项(项目编号: 桂科 AA23062022)。

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.025

0 引言

当前, 桥梁拆除与改建工程面临交通连续、通航净空及生态保护等多重约束, 传统施工组织往往伴随高碳排、高物耗与高处置成本, 亟须向绿色低碳模式转型。然而, 如何在满足工程安全与进度的前提下实现低碳技术与成本控制的有效融合, 仍是工程管理中的难点。基于此, 本研究引入材料资源化、临时工程复用与低碳施工工艺三类关键技术, 构建可量化的成本控制路径。以南珠大街跨江桥为例, 通过合同计量、活动数据核验与要素化对比, 系统解析绿色低碳技术在成本节约中的驱动机制, 为同类工程提供可参考的管控范式。

1 工程概况

1.1 项目背景与工程特点

南珠大街跨江桥位于广西钦州市主城区钦江通道, 始建于 1958 年, 1961 年正式通车, 为一座 5 孔石拱桥。拆除与改建需协同满足交通连续性、通航及岸线生态等约束, 项目团队通过劳务采购、合同编制、收方结算与变更签认等计量管理, 实现资源投入与费用边界的动态控制^[1]。砌体由花岗岩块石与石灰砂浆构成, 石料块度规则、集中度高, 资源化潜力显著。同时, 跨江作业面临潮汐水位与密集管线的叠加约束, 临时栈桥、钢平台及防护系统布置复杂^[2]。由此, 材料回用价值高与水上工序组织难度并存, 明确了拆解分选、临时工程复用与低碳工艺配置三方面的成本控制切入点。

1.2 绿色低碳技术应用的核心目标

鉴于钦江通道跨江拆改面临交通连续、通航净空及岸线生态的多重约束, 本项目将绿色低碳技术的应用聚焦为三项可量化目标。在材料资源化方面, 依托花岗岩砌体的块度与完整性, 构建“拆解、分选、再加工”流程, 整料优先用于临时栈桥面板、引道挡墙与护面, 碎料用于垫层及再生骨料, 石料回收利用率目标为 84% 以上, 并实施清单化过程核量^[3]。在施工期碳排放控制方面, 通过水上集中破拆、就近水运转场及电动设备替代, 压减废渣外运与石料长距离运输, 碳强度较传统方案力争下降不低于 15%, 配套开展机具工况与运输里程动态核查。在成本绩效优化方面, 借鉴平陆运河桥梁 9 标合同计量经验, 细化回用材料清单、临时工程周转周期及变更签认边界, 将材料采购、运输、处置及临设费用纳入统一控制台账, 直接成本节约率目标为 8% 至 12%。

2 绿色低碳技术在桥梁施工中的成本控制路径

2.1 旧桥材料资源化利用的成本控制策略

基于钦江通道水上组织与管线保护情境, 将旧桥花岗岩砌体的拆解、分选、再加工与计量核算整合为闭环流程。结合拱圈受力与潮位窗口分区拆解, 采用绳锯切缝与电动破拆降低振动, 设置拦石平台与水上收集网, 减少散落与二次损伤。拆后按块度与完整性分级, 整块优先用于临时栈桥面板、引道挡墙与护面, 预留 1 000 m³ 用于新建桥梁附属砌体, 2 000 m³ 用于

作者简介: 赵如玉(1998-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 桥梁工程。

滨水亲水平台，其余转化为垫层料与再生骨料，配套尺寸修整与强度抽检。

水上集中转运与就近堆场压缩长距离公路运输约 40 km，避免弃渣外运与处置费用，形成材料端直接成本的可核量节约。设置回用材料清单项、分批次收方与码垛编号，按规格与去向归集单价，切割、清理、破碎等再加工费用单列，构建由避运、减采与替代三部分叠加的节约测算框架。为统一表述回收与去向，采用材料利用率指标进行过程核量，计算式为：

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_t} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中， η 表示材料利用率(单位：%)； Q_r 为回收利用石料总量(m^3)； Q_t 为旧桥拆除石料总回收量(m^3)。依托该指标联动运输里程台账，将 84% 及以上的目标与单车次运距、加工损耗率、替代单价绑定，推演直接成本节约额的构成与区间。

2.2 临时工程复用的成本节约路径

鉴于钦江通道的通航与管线叠加约束，本研究将围堰填筑与长臂炮机逐跨凿除作为临时工程与主工序的耦合方案。临时围堰按 2 760 m^3 填筑成台，承载长臂液压破拆设备实施分区凿除，替代钢栈桥与高桩基础，省去钢桩、钢梁拼装及大吨位吊装，压缩水上作业窗口。在围堰拆除阶段，保留临河一侧稳定边坡作为后续引道护面与滨水平台施工的岸线作业面，实现一次投入两次利用，保留体几何边界与管线保护区分区协同确定，减少设备转场与临时通道反复搭设。

从成本构成看，钢栈桥方案费用集中于钢材租赁摊销、桩基施工与水上吊装，围堰复用方案将成本重心转移至土石料获取、压实整形与护坡，叠加平台复用带来的周转周期延长效应，压降航道协同与设备转场等边际开支。为统一计量口径，定义临时工程成本节约率为：

$$S = \frac{C_s - C_w}{C_s} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中， S 表示临时工程成本节约率，单位为百分比； C_s 为传统钢栈桥方案的总成本，单位为 CNY； C_w 为围堰复用方案的总成本，单位为 CNY。

在合同计量上，将围堰填筑、稳定处治、分段拆除、移除及保留折价分别设置清单子目，采用断面法与过磅法联合收方，变更签认以保留体体积和服务周期为核心约束，将排水、临电及安全围护纳入统一台账，反映复用对间接成本的结构影响，实现费用与通航协同的可计量平衡。

2.3 低碳施工工艺的成本优化方法

结合钦江通道通航净空与管线保护约束，将围堰填筑与长臂炮机逐跨凿除相耦合，并与水上集中破拆、就近水运转场及电动设备替代构成一体化路径，实现

对钢栈桥加桩基加吊装分散破拆的系统替代。该路径将拆解、分选与转运集中至围堰平台与临近水域，减少大幅度起吊与水上转点，在施工窗口与潮位联动排程中提升设备作业效率与班组协同，为成本与碳强度协同优化奠定基础。传统方案成本集中于钢材租赁摊销、桩基施工与大吨位吊装，优化方案则转向土石料获取、压实整形与护坡治理，通过减少高风险吊装与钢构拼装时间，削减机械维护与航道协调边际支出。节约归因于三类可核量项：避让钢构与桩基作业、压降城际外运里程、替代燃油机具为电动机具。为统一表达工艺优化对碳排放与成本的影响，构建基于活动数据的碳排放减少量计算式：

$$\Delta E = E_{trad} - E_{opt} \quad (3)$$

式(3)中， ΔE 表示碳排放减少量(单位： tCO_2e)， E_{trad} 为传统工艺的总碳排放量(单位： tCO_2e)， E_{opt} 为优化工艺的总碳排放量(单位： tCO_2e)。

总量由设备柴油消耗、运输里程以及临时用电三项活动因子加总，依托造价信息化台账中的油耗、里程与电量数据，结合地区电力与燃料排放因子核算，实现成本节约与碳强度下降在同一计量边界下的联动评估^[4]。

3 绿色低碳技术应用的成本控制效果评估

3.1 成本节约效果量化分析

基于合同计量台账、运输里程台账及过磅记录，对传统“钢栈桥+桩基+吊装”拆除组织与绿色低碳一体化路径开展要素化对比。就近水运与集中破拆缩短车辆运距约 40 km，石料运输成本减少 12 万元；弃渣外运缩减使处置费用降低 8 万元；围堰平台复用替代钢栈桥，临时设施成本下降 15 万元；石料回用减少新购石料成本 4 万元，扣除再加工与检测投入 4 万元后，拆除阶段直接成本由 194.4 万元降至 159.4 万元，净节约 35 万元，节约率达 18%，见表 1。节约主要集中于临时设施、运输与处置三类可核量项，通过将避运、减采、替代三类效应分别入账，并在收方结算中同步标注单车次里程、分批次码垛与加工工时，为变更签认与目标达成研判提供可追溯依据。

3.2 低碳效益与成本控制的协同性评估

在计量边界内，低碳效益与成本控制呈现同源驱动的协同性。将水上集中破拆、就近水运转场与电动机具替代作为一体化组合，同步压降柴油消耗、运输距离与临时钢构摊销，缩减石料二次运输与弃渣处置规模，在同一活动数据口径下实现碳排与成本的双降。结合台账数据，将避运、减采与替代三类效应映射为直接成本差额与碳减排量，支撑变更签认与归因分摊。

表 1 南珠大街跨江桥拆除项目成本节约对比

成本构成项	传统方案 成本 CNY	绿色低碳方 案成本 CNY	差额 CNY	节约 比例
石料采购成本	260 000	220 000	40 000	15.4%
石料运输成本	200 000	80 000	120 000	60.0%
废渣处置成本	110 000	30 000	80 000	72.7%
临时设施成本	500 000	350 000	150 000	30.0%
再加工与 检测成本	0	40 000	-40 000	不适用
设备与吊装 服务	260 000	260 000	0	0.0%
航道协同与 管线保护	104 000	104 000	0	0.0%
破拆作业台班	510 000	510 000	0	0.0%
合计	194 4000	1 594 000	350 000	18.0%

表 2 低碳效益与成本控制协同指标

协同指标	数值	计量口径说明	数据来源
碳排放减少量 tCO ₂ e	230	拆除阶段总量，含设备柴油、车辆与船舶运距、临时用电	油耗与里程台账、电量清单
成本节约额 CNY	350 000	拆除阶段直接成本，含运输、处置、临时工程与材料端差额	合同计量台账、过磅记录
单位碳排放节约成本 CNY/kgCO ₂	1.52	成本差额除以碳排放减少量，口径与上两项一致	指标换算结果
碳强度降幅 %	15	相对传统方案的总量降幅，按同一计量边界核算	同口径对比计算

从合同管理与计量实施角度来看，结合平陆运河桥梁 9 标的经验，应把回用石料、再加工、抽检、围堰填筑与保留折价分别设置清单子目，里程、油耗与电耗三类活动数据纳入同一信息化台账，按批次收方与分段核量进行结算，目标指标采用材料利用率与碳强度降幅联动控制。适用场景覆盖旧桥拆除改建、水上桥梁施工以及沿江城区管线密集地段，推广路径宜从单跨或单侧引道开展小范围试点，形成编码、验收与台账三类标准文本后再在同流域或同管理单位内进行成组复制。

4 结束语

本研究围绕桥梁拆除工程中的成本控制问题，构建了以旧桥材料资源化利用、临时工程复用与低碳施工工艺为核心的技术路径，并通过工程案例验证了二者在直接成本节约与碳排放削减方面的协同效益。需要指出的是，本研究仅基于单一工程条件下的技术组织与计量数据，不同项目在地质、水文、管线和施工窗口等方面存在差异，技术路径的适用性仍需结合具

从边际贡献看，缩短运距与水运替代对碳排与运输费影响最显著，围堰复用则通过替代钢材与吊装服务压低临时设施成本。如表 2 所示，拆除阶段碳减排 230 tCO₂e，成本节约 35 万元，单位碳节约成本 1.52 CNY/kgCO₂，配合 15% 的碳强度降幅，为协同管控提供了可复用的核算依据。实施中应按周滚动核准关键活动因子，并设定异常工况阈值，以维持协同效应的稳定性。

3.3 技术应用的可复制性总结

本研究将可复制性归纳为三条路径：在材料资源化方面，结合拆解前检测、拱圈受力分析与潮位排程，按块度分级并实施码垛编号与去向台账闭环计量，整料优先用于平台挡墙，碎料用作垫层及再生骨料；在临时工程方面，在满足稳定性与通航条件下以砂砾土块石围堰替代钢栈桥，拆除阶段保留稳定岸坡作为后续作业面，并明确留设体量与服务周期的变更边界；在低碳工艺方面，将水上集中破拆、就近水运与电动机具替代统一组织^[5]。

体工况进一步调整。未来可围绕低碳施工的数据驱动管理、回用材料全生命周期成本核算以及多目标协同优化模型展开深入探索，以提升绿色低碳技术在桥梁施工中的系统集成与推广价值。

参考文献：

[1] 许智,康玲,陈俊,等.低碳装配化组合结构桥梁技术开发[J].四川建材,2025,51(08):196-199,202.
[2] 徐新广.可持续理念下公路桥梁施工管理的低碳化策略与理论依据[J].中国公路,2026(01):108-110.
[3] 陈玉磊.低碳环保材料在道路桥梁施工中的应用研究[J].运输经理世界,2025(06):150-152.
[4] 王校.数字孪生驱动的道路桥梁低碳施工多目标协同优化研究[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(02):112-114.
[5] 袁靖博.双碳目标下公路道路与桥梁工程低碳施工技术研究[J].越野世界,2025,20(06):179-181.