

面向绿色低碳理念的路桥工程施工管理创新研究

吴伟镇

广州市高速公路有限公司 广东 广州 510000

【摘要】：“双碳”目标提出及交通运输行业推进高质量发展阶段，绿色低碳是路桥工程施工管理的核心方向。传统路桥施工管理存在资源消耗大、碳排放强度高、生态破坏严重的问题，工作重点放在施工阶段，全生命周期的协同管控没有得到重视，无法匹配绿色发展战略的实际需求。我们结合全生命周期理念与绿色低碳技术集成思路，覆盖规划设计、施工、运营维护、拆除回收全部阶段，系统梳理当前施工管理的现存瓶颈，搭建“全阶段协同、多技术集成、全要素管控”的创新管理体系，整合低碳材料、工艺、设备及数字化管控四大技术模块，结合工程实例验证体系的可行性与有效性，达成“质量、安全、进度、成本、环保、低碳”六大目标的协同统一，为路桥工程全生命周期碳减排、推进行业绿色高质量发展提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：绿色低碳；路桥工程；施工管理；技术集成；全生命周期

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.067

1 引言

目前全球气候整体变暖，降低碳排放、推进绿色发展已经是各国的共同认识，我国也明确提出了“双碳”战略目标，交通运输行业属于碳排放的重点领域，需要完成的碳减排任务压力比较大。路桥工程是交通运输基础设施的核心组成部分，整个建设和使用周期都会产生大量碳排放，其中建材生产和运输环节的占比达60%-70%，施工阶段的占比为15%-25%，是碳减排需要重点关注的环节。当前我国路桥施工管理整体还是粗放式模式，从业人员对绿色理念的认知存在不足，各类低碳技术应用比较分散，全阶段管控没有形成衔接，碳排放核算体系存在不完善的问题，专业人才也存在较大缺口，这些问题都限制了行业的绿色转型进程。近年相关政策陆续落地，推进路桥工程向绿色化、低碳化、智能化方向转型是行业发展的必然方向。

2 绿色低碳理念的路桥工程施工相关理论基础

2.1 绿色低碳理念

绿色低碳理念的核心内容为“减量化、再利用、资源化”，要求在生产、建设全流程里，尽可能压低资源消耗量、减少碳排放规模、做好生态环境保护，达成经济发展与生态保护的协同推进目标。路桥工程领域内，这一理念覆盖项目全生命周期，具体落地形式分为四个阶段。规划设计阶段结合生态环保要求优化选线方案，施工阶段控制资源浪费规模、减少作业机械碳排放，运营阶段应用低能耗养护技术，拆除阶段推进废弃材料资源化处理，核心目标是在保证工程质量与安全的基础上，尽可能压低项目整体碳排放量，达成工程建设与生态保护的协调发展。

2.2 路桥工程施工管理理论

路桥工程的施工管理，是针对项目施工全流程开展计划、组织、协调、控制的各类相关活动，传统管理模式重点放在质量、安全、进度、成本四大目标上，没有对环境与碳排放管控

工作引起足够重视。绿色低碳方向的施工管理，在原有传统目标的基础上加入环保、低碳两类目标，搭建起六大目标协同运行的体系，要求把碳减排与环境管理融入全流程各个环节，打通不同施工阶段的管理堵点，完成全生命周期的协同管控，同时覆盖项目短期施工效益与长期可持续发展需求。

2.3 技术集成理论与全生命周期理论

技术集成理论的核心逻辑是把来自不同领域的低碳技术整合优化，构建完整的运行体系，放大不同技术配合的作用，核心特征包含协同性、实用性、全流程性与可持续性，实践层面表现为低碳材料、工艺、设备与数字化管控技术的融合使用。全生命周期理论要求把路桥工程的规划设计、施工建设、运营维护、拆除回收四个环节视作统一整体，覆盖全部阶段开展协同管理，核心特征为系统性与整体性，破除过往“重施工、轻规划、弱运维、无回收”的偏差，从全局层面减少工程对环境的影响，控制全周期的碳排放。

2.4 路桥工程全生命周期碳排放理论

路桥工程全生命周期碳排放，统计的是项目从最初规划到最终拆除回收的整个流程里，所有相关活动排放的温室气体总量，通常可以划分成四个模块。规划设计阶段产生的排放，来自交通模拟、地质勘察过程的能源消耗。施工实施阶段产生的排放，来自机械燃油消耗、临时用电使用，还有建材的生产和运输环节，运营维护阶段产生的排放，来自养护材料生产、各类作业机械的能耗，拆除回收阶段产生的排放，来自拆除作业机械运行、废弃物的处置过程。不同阶段的碳排放特征存在区别，累积效应比较突出，涉及的影响因素较为复杂，可优化的减排空间也比较大。

3 面向绿色低碳的路桥工程施工管理现状及问题分析

3.1 施工管理现状

绿色低碳与全生命周期理念逐步普及，国内路桥施工企业

对绿色低碳管理的重视程度不断提升，部分项目已经应用再生材料、装配式工艺、新能源设备，搭建对应的环保管理制度，现有政策和标准也给这类管理工作提供了支撑。目前行业整体的绿色低碳管理还处于初级阶段，多数企业仍在沿用传统施工管理模式，绿色理念与全生命周期理念还没有真正覆盖项目全部流程，技术应用和管理水平差距比较大，中小企业受资金、技术、人才等条件限制，碳减排管控能力存在明显不足。

3.2 主要存在的问题

理念认知不足，目标存在偏差：部分企业管理层把绿色低碳施工当成额外增加的任务，没有主动推进的意愿，日常管理仍然围绕进度、成本两大核心展开，碳减排与环保相关目标没有被纳入重点考量范畴，施工人员对相关知识和技能掌握不够，操作不符合规范要求，让管理措施只停留在表面。技术应用分散，集成度低：当前低碳技术应用尚未形成系统性的集成方案，多为单一技术的零散使用，不同技术之间无法形成较好的协同作用。管理流程不健全，全阶段管控缺失：传统管理流程没有覆盖碳减排的专项内容，施工准备阶段未开展碳排放预测，施工过程中缺少实时监测环节，验收阶段也没有将绿色低碳相关指标纳入考核要求。核算体系不完善，管控精度不足：当前碳排放核算没有形成统一的标准，各地选用的核算方法、划定的核算范围存在差异，不同主体上报的数据不具备横向可比性。现有核算工作大多是在排放行为发生后开展，事前阶段的排放预测、事中阶段的动态调整能力存在不足，基础数据的收集、管理体系还未完善，没法支撑高精度的碳排放管控工作。人才短缺，政策支撑不足：路桥施工领域同时掌握专业施工技术、绿色低碳技术的复合型人才缺口比较大，企业投入研发与培训的资源不足，人才层面的支撑较为薄弱。相关政策的针对性、可操作性不强，激励机制存在漏洞，使得企业开展绿色低碳施工的主动意愿不强。

4 绿色低碳技术集成体系构建

4.1 技术集成的原则

协同性原则：低碳材料、工艺、设备、数字化管控技术相互配合，碳减排与资源节约的效果可达到最优。实用性原则：依托工程实际情况，选择技术时优先考虑成熟度、经济可行性，不要一味追求技术的高端性。全生命周期原则：技术集成覆盖工程全部建设阶段，不同阶段可同步推进减排工作。可持续原则：既要满足现阶段的减排要求，也要考虑长期运营的可持续性，推进废弃物的资源化利用进程。

4.2 技术集成体系的构成

核心涵盖三类材料，分别是可循环利用的废弃混凝土、沥青等再生材料，低碳水泥、高强度钢材、温拌沥青等低碳新型材料，以及各类节能材料。应用这类材料可降低资源消耗水平与碳排放量，为项目全周期减排工作打好基础。覆盖装配式施

工，这类施工采用工厂预制构件、现场直接装配的模式，能压缩工期、降低污染排放，还包含绿色支护、节能施工、废弃物资源化利用几类工艺。包含新能源施工设备（电动挖掘机、太阳能供电设备）、节能型设备（节能拌合站、压路机）、智能化施工设备三类，推行设备“油转电”方案，提升能源利用效率。集成 BIM 技术、物联网、大数据、人工智能四类技术，完成施工全流程的可视化、信息化管控，同步追踪碳排放与各类环境指标，优化现有施工方案。

4.3 技术集成的实施路径

引入 LCA 模型开展全生命周期碳排放评估工作，嵌入绿色理念优化路线和材料选择环节，运用 BIM 技术优化设计方案，提前预测碳排放水平。要将技术集成方案的要求逐项落地，材料选择优先考量低碳品类，配套设备优先采用新能源类，普及各类低碳施工工艺，搭建专门的材料管理体系压缩不必要损耗，数字化技术可实现施工全流程动态监测管控。引入智能监测及预防性养护技术，延长工程整体使用寿命，选用节能型的养护设备和材料，优化养护作业流程，降低运营阶段的能耗与碳排放，完成施工与运营阶段的协同减排。提前制定废弃物的具体回收方案，将施工产生的废弃物和废旧路桥材料开展分类加工、再生利用，减少填埋和焚烧带来的污染，推动资源循环进程，控制拆除阶段的碳排放总量。

5 基于全生命周期与技术集成的路桥工程施工管理创新体系构建

5.1 管理目标创新：六大目标协同体系

突破原有四项管理目标的边界，搭建包含质量、安全、进度、成本、环保、低碳的六项目标协同管理框架，理清不同目标之间的内在关联，减少目标对立情况。把碳减排要求细化到项目全生命周期的每个流程、每个工作岗位，划定对应责任范围，保障整体减排任务顺利落地，同时协调好短期收益和长期可持续发展的关系。

5.2 管理流程创新：全生命周期低碳管控流程

我们搭建覆盖“规划设计-施工实施-运营维护-拆除回收-后期评估”五个环节的全流程管理体系，规划设计阶段加入低碳专项规划内容，施工实施阶段建立“五位一体”管控机制，开展多维度管控工作，运营维护阶段落实节能养护要求，拆除回收阶段执行资源化利用相关规定，后期评估环节整理各阶段实践经验，优化后续管理方案，完成全阶段闭环管控目标。

5.3 管理机制创新：协同高效管理机制

多方协同管理机制要先搭建完成，要理清建设、施工、监理、设计四个主体的各自职责，还要和相关科研单位、高校开展长期稳定的合作。碳排放全流程管控要覆盖预测、监测、核算、考核四个环节，相关工作要求全部纳入单位绩效考核体系。技术创新推广和人才培养两类机制要同步完善，重点培育能适

配相关工作的复合型人才，同时搭建行业专家智库，给各项工作推进提供专业层面的支持。

6 工程实例分析

6.1 工程概况

本次选取的研究样本为某城市快速路扩建工程，项目总长度 12.6 公里，包含 3.8 公里的桥梁段与 8.8 公里的路基段，设计车速为 80 公里每小时，总投入资金 18.6 亿元，计划施工时长为 24 个月。该项目选址位于城市郊区，周边覆盖农田与林地，属于生态敏感区域，施工阶段的资源消耗和碳排放总量偏高，我们将自行构建的全生命周期结合技术集成创新管理体系应用于该项目，开展绿色低碳施工工作。

6.2 体系实施过程

规划设计环节调整路线绕过生态敏感区，优先选低碳类建材，用 BIM 技术优化项目方案、测算项目全周期碳排放，施工阶段累计使用再生骨料 2.8 万立方米，水泥、钢材的消耗量较常规标准分别降低 12%、8%，推行装配式施工模式并投入 15 台新能源作业设备。搭建数字化平台对施工过程做实时监测管控，运营阶段上线智能养护相关技术，拆除阶段提前制定建筑废弃物回收处理方案，整体回收利用率能达到 85% 以上。项目推进过程中划定六项核心管理目标，搭建跨部门协同机制，组织相关从业人员完成专项培训。

参考文献：

- [1] 张俊威.海外路桥工程项目施工组织管理难点与应对策略[J].中国住宅设施,2026,(02):224-226.
- [2] 陈康华.路桥工程施工阶段项目成本管理及控制研究[J].工程建设与设计,2026,(03):235-237.
- [3] 姜通明,梁增荣,蔡杨名.市政路桥工程现场施工管理难点与解决措施研究[J].新城建科技,2026,35(01):194-196.
- [4] 秦天,杨翼,张黎.路桥工程施工中精细化管理的优化应用研究[J].城市建设,2026,(02):109-111.

6.3 实施效果分析

该项目施工阶段产生的碳排放，和传统施工模式相比下降了 16.2%，超出了预设的 15% 减排目标。废弃混凝土的回收利用率超过 85%，水资源回收利用率也在 80% 以上，节省了大量施工资源。施工扬尘、噪声等各项指标均符合标准，PM10 浓度下降了 35%，降低了对周边生态的影响。施工效率提升 18%，建设成本下降 7.5%，六大预设目标全部同步实现，验证了这套施工体系的可行性与有效性，给后续同类项目的开展提供了实践层面的参考。

7 结论

目前国内路桥工程推行绿色低碳施工管理过程中，存在理念认知有偏差、技术集成程度不高、全周期各环节管控衔接不畅、核算体系存在不足、专业人才储备不够、配套政策支撑不到位等问题，无法适配现阶段行业绿色发展的实际要求。搭建起包含低碳材料、工艺、设备、数字化管控四个部分的技术集成框架，梳理了全生命周期各个阶段的具体落地路径。依托前述研究基础，从目标设定、流程梳理、机制搭建、技术手段四个维度，构建了适配全生命周期协同要求的施工管理创新体系，完成六大发展目标的统筹。选取实际工程开展验证，结果显示这套体系能降低碳排放、节约各类资源、减小生态扰动、提升整体管理效率，具备较高的可行性与推广前景。