

绿色公路理念下低碳施工技术应用研究

李轶轩 崔 毅 苗宝强

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：本文以绿色公路理念为导向，系统研究了公路施工阶段低碳技术的应用现状与优化路径。首先阐述了绿色公路施工在资源集约利用、过程低碳减排、原位生态保护三个层面的核心理念，明确了建材隐含碳、机械作业碳排放、传统工艺固有碳排放、废料处置次生碳排放四类施工碳排放来源。其次，重点分析了低碳建材替代与就地取材、施工机械节能调度、废弃物现场资源化再生利用三项关键技术的具体应用方式与降碳效果。在此基础上，指出当前存在通用工艺与现场工况适配度不足、低碳管理体系缺失、一线人员实操能力欠缺三大问题，并从工况适配改良、精细化管理机制建设、岗位分层实操培训三个角度提出针对性优化对策，为推动低碳施工技术规模化落地提供技术支撑与管理参考。

关键词：绿色公路；低碳施工；技术应用

引言：在“双碳”战略背景下，公路建设作为交通基础设施投资的重要领域，其施工阶段碳排放控制已成为行业绿色转型的核心议题。传统公路施工模式普遍存在资源消耗大、机械能耗高、废料外运量大等问题，施工过程中碳排放强度居高不下。绿色公路理念的提出，为施工阶段低碳化提供了系统性的指导框架，要求在不牺牲工程质量的前提下，通过技术革新与管理优化实现全过程碳减排。当前，低碳建材替代、机械节能调度、废弃物再生利用等技术已具备一定工程应用基础，但在现场适配性、管理配套及人员能力等方面仍存在明显短板，制约了技术实效的充分发挥。本文围绕绿色公路理念下低碳施工技术的应用现状、存在问题及优化对策展开系统研究，旨在为公路施工低碳化提供可操作的技术路径与管理参考。

1 绿色公路理念及公路施工碳排放来源

1.1 绿色公路施工层面核心理念

绿色公路施工层面理念核心是对传统粗放施工模式的优化升级，无需额外增加复杂施工工序，也不以牺牲工程质量为代价盲目降碳。落地到施工现场实施环节后主要包含三大要点：（1）资源集约利用，减少不可再生建材、燃油、电力等资源的无效消耗，最大化利用现场既有土方、废旧建材等可回收资源；（2）施工过程低碳减排，控制机械燃油消耗、现场拌合烟气、施工扬尘等碳排放与污染物产生量，压缩无效作业带来的额外能耗；（3）原位生态保护，减少大规模土方开挖对原有地形、植被、水土的破坏，施工完成后及时修复施工场地地表生态，降低工程建设对原生环境的扰动。整体理念始终遵循质量优先、低碳为辅的原则，保证公路工程使用性

能不受影响^[1]。

1.2 公路施工全过程碳排放主要来源

结合公路路基、路面、桥梁三大分部工程现场施工流程，施工阶段所有碳排放均来自现场作业本身，可分为四类核心源头：（1）建材自带隐含碳。水泥、沥青、钢材等土建主材在生产加工环节本身存在固有碳排放，同时原材料场外运输、场内二次搬运、现场切割加工等环节，会进一步增加附加碳排放，也是施工阶段间接碳排放的最主要来源；（2）工程机械作业碳排放。现场挖掘机、摊铺机、压路机、运输自卸车等燃油工程机械持续作业，燃油燃烧会产生直接碳排放，设备怠速空转、施工人员带病作业等不良工况，会进一步加大燃油消耗与碳排放量；（3）传统施工工艺固有碳排放。传统热拌沥青高温拌和、现场混凝土整体现浇、路基反复碾压夯实等工艺，存在加热能耗高、工序冗余、重复作业等问题，产生大量无效能耗；（4）施工废料处置次生碳排放。施工产生的废弃混凝土、废旧沥青混合料、多余弃土直接外运填埋，废料运输途中会产生燃油碳排放，填埋堆积过程也会造成资源浪费与间接环境影响。

2 绿色公路理念下低碳施工技术具体应用

2.1 低碳建材替代与就地取材施工技术

该技术从施工原材料源头实现降碳，核心思路是减少高碳原生建材的采购与使用量，依托施工现场周边土方、工业废渣、现场开挖料替代传统主材，削减原材料生产与运输环节的碳排放。（1）在路基施工阶段，直接利用路基开挖产生的合格土石方作为就近路段路基回填材料，省去外购土方的运输成本与运输碳排放，同时减少弃土堆放占用土地；在道路基层施工中，采用粉煤灰、

矿渣等工业惰性废渣,按合理配比替代部分水泥,降低水泥使用量,进而减少水泥生产带来的隐含碳排放,且改良后的基层混合料强度、稳定性均可满足路基施工要求。(2)在路面施工环节,采用温拌沥青施工工艺替代传统高温热拌沥青工艺,通过添加专用温拌助剂,降低沥青混合料拌合与摊铺温度,减少拌合站燃油消耗与沥青烟气排放,同时不改变沥青路面粘结性能与压实效果。在桥梁墩台、涵洞、边坡防护等小型构件施工中,采用预制装配式施工模式,构件统一在预制场集中生产,现场仅开展吊装拼接作业,大幅减少现场混凝土拌合、模板支护、洒水养护产生的水电能耗,实现现场施工低碳化^[2]。

2.2 施工机械节能运行与现场调度技术

针对施工现场工程机械能耗过高的问题,应从设备选型、现场调度、日常养护三个方面开展低碳管控,全程依托现场管理优化实现节能降碳。(1)优化现场机械设备选型,逐步替换老旧高油耗施工机械,搭配电动压实设备、电动转运小车等新能源小型机具,在场地平整、短途物料转运、边坡修整等轻负荷工序中替代燃油机械,降低现场燃油消耗。(2)优化多机械协同作业调度方案,改变以往单机单独作业、无序施工的模式,结合路基填筑、路面摊铺、土方开挖各工序衔接节奏,统一规划机械进场时间与作业路线,杜绝机械长时间怠速等待、空转运行等无效能耗。结合现场实测数据来看,合理的机械调度能够减少施工现场近两成的无效燃油消耗。(3)落实机械设备日常养护,定期检修发动机、油路、传动系统,保证机械始终处于最佳运行状态,避免设备故障导致油耗异常升高。

2.3 施工废弃物现场资源化再生利用技术

绿色公路理念下,施工废弃物现场资源化再生利用技术是低碳施工的关键环节。该技术通过场内闭环处理模式,将施工废料就地转化为可用材料,从源头消除废料外运填埋所产生的运输能耗与碳排放。具体涵盖三类核心再生工艺。(1)废旧沥青路面再生利用。对铣刨产生的旧沥青混合料集中收集,经破碎、筛分后掺入适量再生剂重新拌合,可直接用于下路床或路面下面层铺筑,现场废料利用率可达80%以上。(2)废弃混凝土再生骨料加工。将桥梁破除、基坑开挖产生的废混凝土块就地进行机械破碎与级配筛分,制备为再生粗、细骨料,应用于路基垫层填筑及边坡防护混凝土浇筑,替代天然砂石资源。(3)施工弃土分级回用。对现场多余开挖土方开展含水率与压实度检测,合格土方就近回填利用,不合格土方经固化稳定处理后用于边坡覆土绿化,实现土方零外运或最小化外运,有效降低土方调配环节的碳排放

强度^[3]。

3 低碳施工技术现场应用存在的问题

3.1 通用低碳工艺与现场施工工况适配度不足

目前市面上通用的低碳施工工艺均为标准化方案,没有结合不同项目的地形、气候、施工规模做针对性调整,实际落地过程中容易出现施工质量与低碳效果无法兼顾的问题。例如温拌沥青工艺在低温潮湿的山区野外施工现场,容易出现混合料粘结力不足、路面早期强度不达标的问题;再生骨料整体强度低于全新骨料,盲目将再生建材用于桥梁承重结构、路面上面层,会留下工程质量隐患。同时部分低碳工艺操作流程繁琐,和公路野外露天、多工序交叉作业、施工环境复杂的现场情况不匹配,增加现场施工难度,甚至出现返工情况,反而增加施工能耗。

3.2 施工现场缺少配套低碳施工管理体系

现有公路施工现场管理体系,全部围绕施工质量、施工安全、施工工期三大核心搭建,没有针对低碳施工设置专项管理内容与管控流程。施工现场无专人负责能耗统计与碳排放管控,机械怠速空转、施工现场长明灯、拌合设备空机待机等能源浪费现象无人监管;场内建材堆放区域规划混乱,物料反复转运、二次搬运频繁,增加场内运输能耗;各施工班组各司其职,没有形成低碳协同作业机制,工序衔接混乱导致机械重复进场、重复作业,额外增加碳排放。同时现场无能耗数据台账,无法精准定位高能耗工序,低碳管控缺乏数据支撑^[4]。

3.3 一线施工及管理人员低碳施工实操能力欠缺

施工现场一线操作人员、现场技术员长期沿用传统施工经验,缺乏低碳施工相关实操培训,依旧保留粗放式施工习惯。机械操作人员习惯让设备长时间怠速待机,不了解机械节能操作规范;现场施工人员不重视废料分类回收,各类施工垃圾混合堆放,无法开展后续再生利用;现场技术管理人员照搬通用低碳施工方案,不会根据现场天气、地质变化调整工艺参数,导致低碳施工方案和现场实际脱节。人员能力短板,让大部分低碳施工技术仅停留在纸面方案,无法真正发挥降耗减碳作用。

4 提升低碳施工技术应用效果的优化对策

4.1 结合现场工况改良低碳施工工艺,提升适配性

项目实施前期,应充分调研项目所在区域的气温变化范围、空气湿度、地形地质条件及工程结构特征,对通用低碳施工工艺进行本地化适应性调整,在保障施工质量的前提下最大化低碳效益。(1)以低温潮湿山区施工为例,需针对温拌沥青助剂配比进行专项优化,适当提高拌合起始温度,防止因环境温度偏低导致路面强度

不达标。(2) 应严格界定再生建材的应用范围,将再生骨料、再生沥青混合料限定用于路基垫层、路面下面层、边坡防护等非承重结构部位,核心承重构件仍采用全新材料,从技术层面杜绝质量隐患。(3) 对低碳工艺中的冗余操作环节进行精简,将碳排放管控指标嵌入既有常规施工工序,不额外增加一线施工人员的操作负担,确保低碳工艺在野外复杂工况下具备良好的可执行性与推广适用性。

4.2 完善施工现场低碳精细化现场管理机制

在既有施工现场管理架构基础上,增设低碳管理专项模块,无需对原有管理体系进行重构,直接贴合现有施工管理模式落地执行,降低制度推行阻力。(1) 指定专人每日对各类施工机械燃油消耗量及现场用电数据进行逐项统计,建立日度能耗记录,对高能耗施工工序进行重点标记并及时制定针对性优化方案,从源头控制非必要碳排放。(2) 在施工准备阶段合理规划场内物料堆放区、机械停靠区及废料回收区的空间布局,缩短物料场内转运距离,固定场内运输路线,减少重复搬运与无效转运所产生的额外能耗。(3) 制定机械作业操作细则,明确禁止设备无意义怠速待机,统筹协调各工序作业时段,避免多台大型机械同时空转运行,降低机械无效运转所产生的碳排放。(4) 建立每日能耗台账制度,以日为单位逐项记录各项能耗数据,每周组织现场能耗数据复盘分析会议,根据数据反馈动态调整后续施工组织安排,持续提升低碳精细化管理实效。

4.3 开展岗位分层实操培训,纠正粗放施工习惯

针对施工现场不同岗位人员开展差异化分层实操培训,培训全程以现场实操教学为核心,摒弃空洞理论讲授,确保培训内容直接对接一线施工需求。面向机械操作手,重点开展设备启停规范操作、节能驾驶手法及怠速管控要求的专项训练,经实操考核合格后方可进入相应岗位作业,杜绝因操作不当导致的额外能耗。面向一线施工班组,重点培训施工废料分类回收标准流程、低碳建材摊铺与填筑施工操作要点,确保低碳工艺在末端

施工环节准确执行。面向现场技术管理人员,重点培训低碳工艺参数的动态调整方法及现场能耗数据的实时监测技术,提升管理层对低碳施工的过程管控能力。同时,在施工关键区域醒目位置张贴低碳施工操作提示标识,安排现场管理人员开展日常巡查督导,对不符合低碳施工要求的操作行为及时纠正,逐步扭转现场粗放施工的固有习惯,推动低碳施工理念转化为一线作业人员的自觉行为^[5]。

结束语

绿色公路理念下低碳施工技术的推广应用,是公路建设行业实现碳达峰目标的重要路径。本文系统梳理了绿色公路施工核心理念,明确了建材隐含碳、机械作业碳排放、传统工艺固有碳排放及废料处置次生碳排放四大来源,详细阐述了低碳建材替代、机械节能调度、废弃物现场再生利用三项关键技术的应用要点,并针对当前存在的工艺适配性不足、管理体系缺失、人员能力欠缺三大问题,提出了工况适配改良、精细化管理机制建设、岗位分层实操培训三项优化对策。低碳施工并非单一技术的叠加,而是工艺优化、管理升级与人员能力提升的系统集成。未来应进一步推动低碳施工技术标准化建设,积累更多实测数据支撑,促进低碳施工从试点示范走向规模化应用,为公路建设行业绿色低碳转型提供可靠技术保障。

参考文献

- [1] 罗继超.绿色建筑材料在低碳转型中的应用及提升策略研究[J].佛山陶瓷,2026,36(2):143-145.
- [2] 曹凯.低碳环保理念下绿色建筑节能施工技术应用[J].绿色中国,2025(8):124-126.
- [3] 周广辉.低碳背景下绿色建筑施工技术创新研究及应用[J].佛山陶瓷,2025,35(3):170-172.
- [4] 吴克谦.低碳理念下公路沥青路面再生技术应用探讨[J].广东建材,2026,42(4):94-97.
- [5] 王虎盛.绿色低碳理念下公路工程施工组织设计的优化策略研究[J].青海交通科技,2025,37(1):134-137.