

绿色低碳理念下的公路养护可持续发展路径研究

封秋宇

阿拉善左旗公路运输维护中心 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘要:绿色低碳公路养护融合环保技术与低碳模式,以资源节约、污染减排、生态保护为目标。其发展受技术、资源、管理、环境因素影响。核心路径包括低碳养护技术创新、资源循环利用、全生命周期管理及生态协同养护。通过技术、管理、协同三方面保障措施,推动公路养护在经济、环境层面实现长效可持续发展。

关键词:绿色低碳理念;公路养护;可持续发展;资源循环利用;生态协同

引言:公路养护是交通基础设施维护关键环节。传统养护模式存在高能耗、高排放等问题,与绿色低碳发展要求相悖。绿色低碳理念下,公路养护需向资源节约、污染减排、生态保护方向转型。研究可持续发展路径,对降低养护能耗、提升资源循环利用率、维护公路性能及实现养护与生态协调意义重大,是推动交通行业可持续发展的必然选择。

1 绿色低碳公路养护基础

1.1 核心内涵与目标

绿色低碳公路养护的内涵界定为融合绿色环保技术与低碳运营模式的公路养护体系,该体系以资源节约为重要导向,在养护全流程减少原材料消耗,避免资源浪费;以污染减排为关键要求,控制养护作业中废气、废水、固废的产生与排放;以生态保护为核心目标,减少养护活动对周边植被、土壤、水体等生态环境的扰动,形成覆盖“资源-污染-生态”的全维度绿色管理体系^[1]。其发展目标聚焦多维度协同提升,一方面降低养护能耗与碳排放,通过优化工艺、选用节能设备减少能源消耗,从源头控制碳排放量;另一方面提升资源循环利用率,推动养护产生的废旧材料再生加工与二次利用,降低对原生资源的依赖;同时维护公路全生命周期性能,通过科学养护延长公路使用年限,保障通行安全与舒适度;最终实现养护与生态协调,让公路养护活动融入自然生态系统,避免生态破坏。

1.2 核心原则

低碳优先原则要求在养护方案制定与实施中,优先选用低能耗养护工艺,如低温拌合沥青技术、智能化精准修补工艺,减少高碳环节投入,避免高能耗、高排放的传统养护方式;资源循环原则强调推动废旧材料再生利用,建立养护废弃物分类回收与加工体系,同时优化养护资源配置,根据养护需求合理调配人力、设备与材料,减少资源闲置与浪费;生态协同原则注重规避养护

对周边生态的破坏,在养护作业前开展生态环境调研,制定针对性防护措施,促进公路与自然环境适配,减少对动植物栖息地的干扰;长效可持续原则需兼顾短期养护效果与长期生态效益,避免为追求短期修复效果采用破坏生态的养护手段,确保养护模式在经济、环境层面可长期延续。

1.3 与传统公路养护的差异

理念差异体现在从“修复为主”转向“低碳环保+长效维护”,传统公路养护多在公路出现破损后开展修复作业,绿色低碳公路养护则提前通过预防性措施减少破损发生,同时将低碳环保理念贯穿全程;技术差异表现为引入绿色建材、智能监测等低碳技术,替代传统高耗技术,例如用再生沥青混合料替代部分原生沥青,用无人机巡检替代人工巡查,降低技术应用过程中的能耗与碳排放;效益差异在于兼顾经济成本效益与生态环境效益,传统公路养护多单一关注养护成本控制,绿色低碳公路养护则在考量成本的同时,重视养护活动对生态环境的影响,追求经济与生态效益的协同提升。

2 绿色低碳公路养护可持续发展的影响因素

2.1 技术因素

低碳养护技术成熟度直接关系可持续发展推进效果,绿色建材研发应用水平决定养护材料的低碳属性,若低碳沥青、生物基养护材料等研发滞后,将难以替代传统高碳材料;低能耗养护工艺适配性影响技术落地可行性,需确保低温拌合、精准修补等工艺能适配不同路况与气候条件,避免因适配性不足导致养护效果下降^[2]。智能支撑技术应用为低碳养护提供数据与决策支持,碳排放监测技术可实时追踪养护全流程碳排放量,帮助识别高碳环节并优化;养护状态智能诊断技术能精准判断公路病害类型与程度,减少盲目养护带来的能耗与材料浪费。资源循环技术能力决定废旧资源利用效率,废旧路面材料再生利用技术需提升再生料性能稳定性,确保

满足养护质量要求；养护废弃物处理技术需实现固废、废水的减量化与无害化，避免二次污染。

2.2 资源因素

绿色资源供给是低碳养护的基础保障，绿色建材产能与供应稳定性需匹配养护需求，避免因产能不足或供应中断导致养护被迫选用传统材料；低碳能源获取便捷性影响养护设备能耗结构，若太阳能、天然气等低碳能源难以便捷获取，将制约养护设备的低碳转型。资源利用效率需通过精细化管理提升，养护材料损耗控制需优化运输、存储与施工环节，减少材料浪费；能源消耗强度需通过设备升级与工艺优化降低，例如采用节能型摊铺机、压路机减少作业能耗。废旧资源循环需完善全链条体系，废旧材料回收网络完善度决定回收覆盖面与效率，需建立覆盖养护现场的回收站点；再生材料性能稳定性需通过技术改进保障，确保再生材料在强度、耐久性等方面达标，提升在养护中的应用比例。

2.3 管理因素

低碳养护规划需融入全流程设计，养护方案的低碳目标嵌入需在方案制定阶段明确碳排放控制指标，避免后期临时调整增加成本；全生命周期养护管理设计需考量公路从建设到养护再到废弃的全阶段低碳要求，而非仅关注养护环节。协同管理机制需打破部门壁垒，跨部门低碳养护协作需整合交通、环保等部门资源，形成统一的低碳养护标准与流程；养护与生态保护协同流程需在养护前开展生态评估，养护中落实防护措施，养护后开展生态修复，避免养护与生态保护脱节。成本管控需平衡短期投入与长期效益，低碳养护初期可能因技术、材料投入增加成本，需通过长期能耗节约、资源循环利用实现成本回收，避免因过度关注短期成本放弃低碳措施。

2.4 环境因素

自然环境约束对低碳养护技术选择提出差异化要求，不同气候区需适配不同技术，例如寒冷地区需选用抗冻型低碳养护材料，多雨地区需强化路面排水低碳养护工艺；生态敏感区养护限制更为严格，需避免养护作业破坏湿地、林地等生态区域，采用低扰动的养护方式。区域环境需求需结合地方实际调整，不同区域对碳排放强度的差异化要求需在养护方案中体现，例如生态保护区需设定更严格的碳排放上限；生态保护目标适配需确保养护活动与区域生态规划一致，例如在旅游景区周边公路养护需兼顾景观性与低碳性，提升公路与周边生态环境的协调性。

3 绿色低碳理念下公路养护可持续发展核心路径

3.1 低碳养护技术创新与应用路径

绿色建材推广需聚焦低碳化与功能性提升，研发应用低碳沥青以减少生产过程碳排放，采用再生骨料替代部分原生砂石降低资源消耗，引入环保型养护剂减少化学物质对土壤与水体的影响，通过材料性能优化兼顾低碳属性与养护质量^[3]。低能耗养护工艺优化需推动传统工艺升级，推广温拌沥青技术降低拌合温度减少能源消耗，应用冷再生技术实现旧路面材料就地再生避免长距离运输能耗，采用微创养护工艺如裂缝微灌封技术减少路面开挖范围，降低施工过程中的能耗与生态扰动。智能低碳监测技术应用需强化数据支撑，布设碳排放实时监测设备追踪养护全流程碳排放量，运用无人机巡检快速获取路面病害信息，结合数据分析优化养护决策，避免盲目养护导致的资源浪费与碳排放增加。

3.2 资源循环利用路径

废旧材料再生体系构建需完善全链条管理，建立公路养护废旧材料分类回收机制，按材料类型如沥青路面铣刨料、水泥混凝土废料分别回收，避免混合回收降低再生价值；完善再生材料质量标准，明确再生料在不同养护场景的使用要求，确保再生材料性能达标。养护资源高效配置需依托需求精准测算，基于养护路段病害类型、施工规模精准调配材料与设备，避免材料过量储备或设备闲置，减少资源积压与浪费。低碳能源替代需推动养护能源结构转型，采用太阳能、风能等清洁能源为养护现场照明、设备充电供电，推广电动养护机械如电动压路机、电动清扫车，减少燃油机械使用带来的碳排放。

3.3 全生命周期低碳养护管理路径

养护规划阶段需前置低碳目标，将碳排放控制要求融入全周期养护方案设计，结合公路使用年限、交通量变化明确各阶段如预防性养护、修复养护的碳排放控制重点，避免后期养护陷入高碳模式。可参考同类公路低碳养护案例，优化本项目碳排放控制指标设定。养护实施阶段需强化过程管控，严格执行低碳工艺参数确保技术落地效果，实时监控碳排放数据与生态环境指标，发现超标及时调整施工方案，减少对周边生态的意外影响。可安排专人负责过程监督，确保各项低碳措施落实到位。养护评估阶段需建立科学评价体系，从碳排放降低、资源节约、生态保护等维度评估养护效果，将评估结果反馈至后续养护方案优化中，形成“规划-实施-评估-优化”的闭环管理。定期总结评估经验，为同类公路养护项目提供可借鉴的管理模式。

3.4 生态协同养护路径

生态友好型养护设计需优先考虑生态安全，在养护方案制定前排查生态敏感区域如湿地、自然保护区，通

过调整养护路线、优化施工时序避开敏感区域；采用生态保护型养护措施如透水路面养护技术，提升路面雨水渗透能力保护区域水文循环。养护过程生态保护需严控施工影响，合理设置施工围挡减少粉尘扩散，选用环保型施工材料避免土壤与水体污染，施工后及时清理现场并开展生态修复，恢复植被覆盖或水体流通。公路沿线生态优化需结合养护同步推进，在路面养护的同时开展公路绿化升级，选用本土耐旱植被减少后期养护成本，在公路两侧构建生态缓冲带，提升公路与周边生态系统的融合度。

4 绿色低碳公路养护可持续发展保障措施

4.1 技术保障

技术保障需先建立低碳养护技术研发平台，通过联合科研机构与企业组建专项研发团队，聚焦绿色建材改良、低能耗工艺优化等关键技术开展攻关，针对养护中碳排放高、资源消耗大的环节突破技术瓶颈，同时搭建技术成果转化通道，将实验室研发的低碳技术快速应用于实际养护场景，解决技术与实践脱节问题。技术标准体系完善需制定覆盖全养护流程的标准，包括绿色建材的性能指标、低碳工艺的操作规范、再生材料的应用要求等，通过统一标准确保不同区域、不同项目的低碳养护质量一致，避免因标准缺失导致技术应用混乱^[4]。技术培训与推广需定期组织养护人员参与低碳技术培训，涵盖新技术操作方法、设备使用要点等内容，同时建立技术推广示范体系，选择典型路段打造低碳养护示范工程，为其他项目提供可参考的实践样本，加快低碳技术普及速度。

4.2 管理保障

管理保障需健全低碳养护管理制度，结合养护实际制定清晰的低碳考核指标，涵盖碳排放控制量、资源循环利用率等内容，将指标纳入项目考核体系，同时完善协同管理流程，明确各部门在低碳养护中的职责与协作方式，避免管理环节出现漏洞。优化成本管控机制需建立低碳养护成本分摊与补偿机制，合理划分不同主体的成本承担比例，对采用低碳技术导致短期成本增加的项目给予适当补偿，引导养护单位主动投入低碳技术，同时注重长期效益与短期投入平衡，避免因过度关注短期成本忽视长期生态效益。数字化管理赋能需搭建低碳养

护数字化管理平台，整合养护计划、碳排放监测、资源消耗等数据，实现养护全流程数据化管控，通过平台实时追踪低碳目标完成情况，及时发现管理中的问题并调整，提升管理效率与精准度。

4.3 协同保障

协同保障需推动跨主体协同，构建政府、企业、科研机构共同参与的低碳养护网络，政府负责统筹规划与政策引导，企业承担技术应用与实际养护任务，科研机构提供技术支持与创新思路，通过明确各方职责形成协作合力，避免单一主体推进导致资源不足或效率低下。区域协同需建立区域间低碳养护资源共享机制，整合不同区域的养护设备、技术人才等资源，在某一区域面临养护任务集中、资源紧张时，从其他区域调配资源支援，同时针对跨区域公路的养护问题建立协同应对机制，共同解决区域交界路段的生态保护、碳排放控制等难题。公众参与需加强低碳养护理念宣传，通过线上线下渠道向公众普及低碳养护对生态环境的积极意义，展示养护成果增强公众认同，同时搭建公众监督渠道，鼓励公众反馈养护中的不规范行为，形成全社会共同关注、支持低碳养护的良好氛围。

结束语

绿色低碳理念为公路养护可持续发展指明方向。通过低碳养护技术创新、资源循环利用、全生命周期管理及生态协同养护等路径，结合技术、管理和协同保障措施，能有效推动公路养护向绿色低碳转型。未来，需持续探索创新，不断完善发展路径与保障体系，实现公路养护经济、社会和生态效益的最大化，为交通行业可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]周长稳,桑哲.公路工程中可持续发展策略的研究与实践[J].汽车周刊,2024(11):0180-0182.
- [2]张棋欣.高速公路建设与可持续发展之间的关系研究[J].区域治理,2024(16):0014-0016.
- [3]李娟.低碳背景下公路养护绿色材料的实践与发展[J].越野世界,2025,20(17):78-80.
- [4]徐小龙,刘晓文,李丹.可持续发展目标下高速公路养护管理的绿色转型[J].张江科技评论,2025(6):150-152.