

绿色环保理念下高速公路路面养护技术应用探析

吕永涛

河南省大道路业有限公司 河南 郑州 450003

摘要：高速公路路面养护长期依赖天然集料与石油沥青，资源消耗大、碳排放高，传统模式已难以满足绿色低碳要求。本文围绕绿色环保理念下路面养护技术的应用逻辑展开，系统梳理了清洁修复、微表处灌缝、废旧材料再生利用、温拌冷拌节能工艺及低碳结构优化等关键技术路径，探讨了施工流程环保化优化与常态化落地举措。绿色养护技术通过材料再生、能耗压降与废料资源化三条主线，推动路面运维从单一功能修复向生态责任型综合实践转变，为高速公路全寿命周期绿色管理提供技术支持。

关键词：绿色养护；路面再生；节能工艺；废旧材料利用；低碳施工

引言：高速公路路面在长期服役过程中不可避免地产生各类病害，养护作业随之频繁开展。然而传统养护方式高度依赖原生资源开采与高能耗施工工艺，废气排放、固体废弃物堆积与噪声扰民等问题日趋突出，养护活动本身已成为公路沿线重要的环境负源。绿色环保理念的引入为养护技术革新提供了方向指引，温拌冷拌、就地再生、生物基材料等低碳技术逐步进入工程实践。梳理这些技术的应用逻辑与落地路径，对推动高速公路养护从经验驱动向绿色标准驱动转型具有现实意义。

1 绿色环保理念与高速公路路面养护逻辑

1.1 高速公路传统路面养护的环保短板

传统路面养护作业长期围绕功能修复展开，材料端高度依赖天然集料开采与石油沥青提炼，集料的大规模获取导致矿区植被破坏与地表径流紊乱，沥青加热过程则持续向大气释放挥发性有机物与细颗粒物，养护现场空气质量承受明显压力。废旧铣刨料与挖除料往往以露天堆存或简单填埋方式消化，资源回收率长期处于较低水平，固体废弃物在施工沿线形成持续性堆积^[1]。铣刨设备运转伴随高分贝噪声与大量扬尘，对公路两侧居民的日常生活产生反复侵扰，重型运输车辆的频繁调度也推高了全过程碳排放。传统养护路径偏重短期结构性能恢复，对生态代价缺乏系统考量，材料周转效率不足，能耗与排放管控缺少刚性约束，资源利用模式呈典型的线性消耗特征。

1.2 绿色环保理念赋能路面养护的核心诉求

绿色环保理念要求养护作业在材料选取、施工工艺与废料处置三个维度全面贯彻减量与再生原则。材料端应优先引入可循环利用或工业副产类资源，逐步降低对原生天然资源的索取强度。施工环节需将能源消耗与有害排放控制在尽可能低的水平，温拌、冷拌等低碳工艺

正逐步替代传统高能耗拌合方案。废料处置应从被动堆放转向主动再生，使旧路面材料经处理后在新铺层中重新发挥结构功能。绿色理念还关注养护活动与沿线生态系统的互动关系，要求减少对水体、土壤与大气的负面扰动，让路面养护从单一的工程修补行为演变为兼顾生态责任的综合运维实践。

1.3 绿色化养护与高速公路运维发展的内在关联

当前高速公路运维已从被动抢修逐步转向主动预防性养护，绿色化技术路线与这一转型方向形成深度呼应。预防性养护常用的薄层罩面与微表处等工艺本身具有材料用量少、施工干扰小的天然属性，与低碳目标高度一致。全寿命周期管理思维将养护决策从短期经济核算延伸至长期资源消耗与环境影响考量，绿色养护技术在这一框架下获得了更为充裕的施展空间。运维管理精细化水平的持续提升也为绿色技术的精准落地铺平了道路，智能检测与数字化管控手段使养护材料与工艺的环保表现得以量化追踪，推动整个养护体系从经验驱动模式向绿色标准驱动模式转变。

2 绿色环保型高速公路路面基础养护技术应用

2.1 路面清洁类绿色养护技术应用

路面清洁是养护作业中频率较高的基础环节，传统高压水枪冲洗方式耗水量大且易造成路面径流污染。绿色清洁技术倾向于采用低压微水雾冲刷与干式吸尘相结合的作业模式，在有效清除路面积尘与油污的前提下大幅削减用水总量^[2]。生物酶基路面清洗剂逐步替代强酸强碱类化学制剂，通过酶解作用分解轮胎橡胶残留与油渍，清洗废水经简单沉淀即可达标排放，对沿线土壤与水体的侵蚀风险显著降低。真空负压回收设备在清洁作业中的应用使粉尘与碎屑得到集中收集，避免了二次扬尘对大气环境的污染。部分养护单位引入蒸汽清洁工

艺,利用高温蒸汽软化顽固污渍后即时抽吸,省去了大量化学药剂的使用,整个清洁流程的碳排放与化学污染均得到有效控制。

2.2 路面轻微病害绿色修复技术应用

路面轻微病害的修复是延缓结构性劣化的关键手段,绿色修复技术强调材料环保性与施工低干扰的统一。微表处与稀浆封层技术以乳化沥青为黏结料,常温条件下即可完成摊铺,免去了传统热拌工艺的高能耗环节,修复过程中产生的烟气与有害气体大幅减少。对于网状裂缝与轻微车辙,灌缝材料正从石油基转向植物基或水性聚合物基配方,这类材料在保持良好黏附性能的基础上降低了挥发性有机物的释放量。局部坑槽修补中,冷拌冷铺型修补料的推广使用使养护作业摆脱了对高温拌合站的依赖,现场即拌即用的特点缩短了交通管制时间,也减少了能源消耗与尾气排放。修复材料中掺入废旧轮胎颗粒或矿粉等再生组分,在提升路面抗裂性能的同时实现了固体废弃物的资源化利用。

2.3 路面日常防护型绿色养护技术应用

日常防护是延长路面使用寿命的前置性措施,绿色防护技术着眼于从源头延缓路面性能衰退。透水型封层材料在路面表层形成疏水薄膜,雨水快速排离路表减少了水分渗入对基层的侵蚀,封层材料多采用水性乳液体系,施工过程不产生刺鼻气味。抗剥落剂与防水黏结层的应用增强了沥青与集料间的界面附着力,延缓了水损害的发生进程,这类辅助材料多为无溶剂或低溶剂配方,环境友好性优于传统油性产品。路面预防性养护中使用的雾封层技术以少量乳化沥青喷洒于路表,封闭微细裂缝并恢复路面憎水性,施工作业轻快且材料用量极少,对交通通行的干扰降至最低。部分路段尝试在路面表层涂覆光催化型环保涂层,利用太阳光分解附着于路面的有机污染物,实现了路面自洁功能,减少了人工清洁的频次与资源消耗。

3 高速公路路面节能环保改造与再生养护技术应用

3.1 废旧路面材料再生利用养护技术

废旧路面材料的再生利用构成绿色养护体系中资源闭环的关键一环。厂拌热再生技术将铣刨回收的旧料与新集料、新沥青按一定比例在拌合站中重新拌合,旧料再生掺量可达较高水平,天然集料与石油沥青的消耗量由此大幅削减^[3]。就地冷再生技术借助专用设备在原路面上直接完成旧料翻松、破碎、添加再生剂与水泥后重新碾压成型,材料外运与新料进场的运输环节被省去,碳排放量显著降低。就地热再生则通过红外加热或热辐射方式对路面表层加热软化后翻松重铺,旧料在原位置完

成循环利用,材料转运距离趋近于零。再生过程中旧沥青的老化问题需借助再生剂予以改善,生物基再生剂与纳米改性剂的引入使旧料性能恢复至接近新料的水平。废旧轮胎胶粉、钢渣粉等工业固废被掺入再生混合料中充当改性组分,路面弹性与抗裂性能得到改善,固体废弃物实现了高值化利用。

3.2 节能型路面翻新养护技术

节能型路面翻新技术着力于降低施工全过程的能源消耗与有害排放。温拌沥青技术通过添加降黏剂或采用泡沫沥青工艺,下调拌合温度,有效减少燃料消耗与烟气排放,施工现场刺激性气味明显减轻。泡沫温拌技术将少量水注入高温沥青中形成泡沫体系,泡沫破裂时释放的能量完成集料裹覆,拌合温度可进一步降低,节能幅度更为突出。冷拌冷铺型养护材料以乳化沥青或稀释沥青为黏结料,常温环境下即可完成摊铺与压实,对加热设备的依赖被完全摆脱,应急抢修与短距离路段养护中应用尤为广泛。薄层罩面与超薄磨耗层技术以极薄的铺层厚度实现路面功能恢复,材料用量仅为传统罩面的1/3至1/2,施工能耗与资源消耗随之大幅下降。微表处与稀浆封层技术采用常温施工工艺,单次作业材料用量少且施工速度快,对交通通行的干扰极短,综合节能表现优于传统翻新方案。

3.3 低碳型路面结构优化养护技术

低碳型路面结构优化技术从设计源头降低路面全寿命周期的碳排放总量。半刚性基层上加铺薄层沥青面层的复合结构替代了传统厚沥青层方案,在保证结构承载力的前提下减少了沥青材料用量,沥青生产过程中的碳排放随之降低。排水降噪沥青路面通过大空隙率结构实现雨水快速下渗与轮胎噪声衰减,功能复合化使单一铺层承担了排水与降噪双重任务,减少了附加结构层的设置。长寿命路面设计理念将养护周期从数年延长至10年以上,大幅削减了全寿命周期内的养护频次与材料消耗总量。新型高模量沥青混合料在高温条件下展现出优异的抗车辙能力,路面抗变形性能的提升直接延缓了结构性病害的发生,养护需求相应减少。路面结构层间采用环保型防水黏结材料替代传统油层,增强了层间结合力并降低了水损害风险,使路面在更长周期内保持良好服役状态,间接降低了重复养护带来的资源浪费与碳排放。

4 绿色高速公路路面养护技术的优化与落地路径

4.1 养护技术的绿色化升级改造方向

养护技术的绿色化升级需要从材料体系、工艺装备与智能管控三个维度协同推进。材料体系层面,生物基沥青与植物基乳化剂正在替代部分石油基产品,工业固

废掺量的提升空间仍然较大,钢渣、粉煤灰、废旧橡胶等组分在改性混合料中的应用比例有望进一步提高。工艺装备层面,智能化施工设备的引入使材料精准投放成为现实,传统粗放式拌合正被数字化精准拌合取代,废料产生量与能源消耗量均因精度提升而下降^[4]。智能管控层面,基于物联网的全流程监测系统可实时采集施工区域的温度、能耗、排放等数据,养护决策由此从经验判断转向数据驱动,绿色施工标准得以在作业末端得到刚性执行。材料、工艺与管控三者并非孤立演进,而是形成互相支撑的升级闭环,材料性能的改善为工艺优化创造条件,管控手段的精细化又反过来推动材料与工艺向更高绿色标准靠近。

4.2 养护施工流程的环保化优化方式

施工流程的环保化优化着眼于从开工准备到竣工清理的每一个环节压减环境负荷。开工准备阶段,养护方案的编制需将碳排放预估纳入技术比选指标,低碳方案在决策权重中应占有更大份额,避免单纯以成本或工期为导向的方案选择。材料运输环节,就地再生技术的推广可大幅缩减长距离运输需求,旧料在原路段完成循环利用,新料进场量随之降低,运输车辆的尾气排放与道路损耗均得到控制。摊铺碾压阶段,智能压实系统通过实时反馈压实度数据避免过度碾压或欠碾压,减少了无效作业带来的能源浪费。废料处理环节,铣刨料与清扫碎屑应在现场完成分类收集,可再生组分就地回用,不可再生组分由专用车辆密闭转运至处置场所,杜绝露天堆放与随意倾倒。竣工清理阶段,施工设备与场地的清洗应采用循环水系统,减少新鲜水的消耗,清洗废水经沉淀过滤后回用于后续施工,水资源利用效率由此提升,全流程的环保优化使每个施工节点都成为降低环境负荷的可控环节,而非被动应对的薄弱点。

4.3 绿色养护技术的常态化落地举措

绿色养护技术从试验阶段走向常态化应用,需要制度保障、人才支撑与经济激励三股力量共同驱动。制度层面,养护管理规范中应增设绿色施工专项条款,将材

料再生利用率、施工能耗上限、排放控制阈值等指标纳入养护工程验收标准,使绿色要求从倡导性条款转变为强制性约束。人才层面,养护技术人员需接受绿色施工专项培训,掌握温拌冷拌工艺操作要领与再生材料性能调控方法,基层养护队伍的绿色技术素养直接决定了技术落地的深度与广度。经济激励层面,绿色养护技术的初期投入往往高于传统方案,需通过养护经费中单列绿色技术补贴或碳减排量折算经济补偿等方式弥补成本差额,调动养护单位主动采用绿色技术的积极性^[5]。信息共享平台的搭建也有助于常态化推进,各路段的绿色养护实践数据在平台上汇聚流通,优秀做法得以快速复制,技术短板也能被及时识别与补齐,绿色养护由此从个别路段的零星尝试转变为全路网的普遍实践。

结束语

绿色环保理念正深刻重塑高速公路路面养护的技术面貌。从清洁修复到再生利用,从节能工艺到结构优化,绿色养护技术已形成较为完整的技术谱系。材料端的再生替代、施工端的能耗压降与管理端的智能管控三条路径相互支撑,使路面养护逐步摆脱高消耗、高排放的传统困境。制度约束、人才培养与经济激励的协同发力,将进一步加速绿色技术从局部试点向全路网推广。养护技术的绿色化转型不仅关乎工程质量,更承载着公路行业对生态环境的长期责任。

参考文献

- [1]孙伟.高速公路养护施工中绿色环保材料的应用及其可持续性评估[J].价值工程,2025,44(4):43-46.
- [2]冯海东.高速公路路面养护施工工艺及安全管理[J].工程技术研究,2025,10(9):124-126.
- [3]钟泽钧.高速公路路面养护工程施工质量管理研究[J].建材与装饰,2025,21(33):148-150.
- [4]尹小清.高速公路路面养护维修技术研究[J].运输经理世界,2023(9):126-128.
- [5]梁磊磊.高速公路路面养护及病害处治技术[J].运输经理世界,2024(30):114-116.