

绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨

李 鹏 冯毅丰

杭州市临平区公路与运输管理服务中心 浙江 杭州 311100

摘 要：绿色养护技术通过再生材料利用、微创工艺、智能监测及生态协同，构建公路沥青路面全生命周期维护体系。再生沥青混合料技术实现旧料性能再生，温拌技术降低施工能耗，预防性养护减少病害扩展，智能化监测提升管控精度。虽面临成本高、推广难及材料稳定性问题，但通过本地化生产、全周期核算、技术培训与质量管控可有效应对。该技术在保障路面功能同时，降低生态扰动，为交通可持续发展提供技术路径，兼具经济与生态效益。

关键词：绿色养护技术；公路沥青路面；应用

引言

公路沥青路面养护需平衡功能保障与生态保护，传统模式存在资源消耗大、环境影响显著等问题。绿色养护技术以生态友好为核心，整合材料再生、微创施工、智能监测等手段，为解决上述问题提供新思路。本文围绕绿色养护技术在公路沥青路面中的应用展开探讨，分析技术概述、具体应用场景，剖析面临的挑战并提出对策，旨在为提升公路养护水平、推动交通领域可持续发展提供实践参考。

1 绿色养护技术概述

绿色养护技术以生态友好为核心，通过整合材料创新、工艺优化与智能监测，构建公路全生命周期的低耗高效维护体系，既满足交通通行的安全与顺畅需求，又最大限度降低对周边生态环境的扰动。基于对区域气候特征与地质条件的深度研判，技术应用中优先选择本地化再生材料，将废旧沥青、水泥块等建筑垃圾经破碎筛分后重新配比，掺入新型环保添加剂实现性能再生，既减少原生资源开采，又降低固体废弃物填埋压力，这种循环利用模式在路面基层修复中已展现出显著的经济与生态效益。养护工艺层面突破传统开挖式施工局限，采用微创介入技术完成病害处置，通过高精度定位设备锁定路面裂缝、路基沉降等问题点位，运用热再生机组进行局部加热碾压，或采用高压注浆技术填充基层空隙，全程大幅减少土方开挖量，同时避免施工扬尘与噪音对沿线植被及居民生活的影响。引入物联网与传感技术构建智能监测网络，在路基、桥涵关键部位布设温湿度、应力应变传感器，实时采集结构状态数据，结合气象预测模型生成养护预警方案，实现从被动维修向主动预防的转变，这种精准化养护模式有效提升了养护效率，降低了养护成本。技术体系中特别注重生物协同效应，在边坡防护中采用喷播绿化与生态袋结合的方式，选用乡

土草本与灌木品种构建复合植被群落，既增强坡面稳定性，又恢复生态廊道功能，同时利用植被根系的固土作用减少水土流失，形成公路结构与自然生态的良性共生。通过持续的技术迭代与实践验证，绿色养护模式已实现功能性与生态性的协同提升，在保障路网承载能力稳步增强的同时，使沿线生态系统的自我修复能力得到显著改善，为区域交通可持续发展提供了可复制的技术路径。

2 绿色养护技术在公路沥青路面中的具体应用

2.1 再生沥青混合料技术

再生沥青混合料技术依托旧路面铣刨料的性能再生实现资源高效循环，通过精准检测旧料中沥青的针入度、延度及混合料级配组成，制定针对性再生方案。采用新型复合再生剂破解旧沥青老化难题，其分子结构可渗透至沥青胶体体系中，补充轻质组分并修复分子链断裂，使老化沥青的黏弹性能恢复至新沥青标准区间，同时根据旧料中集料的磨损程度调整新集料掺配比例，优化骨架密实结构以提升抗变形能力。在拌合过程中引入动态改性工艺，利用高频剪切设备促进再生剂与旧沥青的均匀融合，配合红外光谱实时监测混合体系反应程度，确保再生混合料的高温稳定性与低温抗裂性达到设计要求。应用于路面面层时，通过分层摊铺控制压实度梯度，表层采用细粒式再生混合料增强抗滑性能，中下层选用粗粒式再生混合料提升承载能力，形成适配交通荷载特征的结构组合，这种基于材料特性的梯度设计既发挥旧料潜在价值，又保障路面结构的长期力学稳定性^[1]。

2.2 温拌沥青技术

温拌沥青技术通过材料改性与工艺创新降低拌合与施工温度，选用表面活性类温拌剂打破沥青分子间的氢键作用，使沥青在较低温度下保持良好流动性，同时添加纳米级矿物填料优化沥青胶浆的黏聚性，避免因温度

降低导致的强度损失。拌合阶段采用微波预热集料替代传统热风加热,利用集料介电特性实现内部均匀升温,配合封闭式拌合仓的余热回收系统,减少热能传输过程中的损耗,使混合料拌合温度较传统热拌工艺显著降低。摊铺过程中借助红外加热板对摊铺机熨平板进行恒温控制,确保混合料在摊铺阶段保持稳定的工作性,同时采用双钢轮振动压路机与胶轮压路机组合压实工艺,通过调整激振频率与碾压轨迹,在较低温度区间实现密实度达标。这种低温施工模式从源头减少沥青烟挥发与集料加热能耗,同时避免高温作业对周边植被的热胁迫,混合料冷却成型后形成的致密结构还能增强路面抗水损害能力,延长面层使用寿命。

2.3 预防性养护技术

预防性养护技术聚焦路面早期病害的超前处置,通过定期路况检测识别微小裂缝、轻微车辙等潜在问题,采用非开挖方式进行靶向干预。针对路面表层裂缝,选用高弹性密封材料进行灌缝处理,材料分子链中的弹性段可随温度变化产生自适应伸缩,避免因昼夜温差导致的二次开裂,同时其渗透型配方能深入裂缝内部形成梯度密封结构,阻断水分下渗路径。对于局部轻微车辙,采用薄层罩面技术进行修复,选用改性乳化沥青作为黏结层,配合间断级配的耐磨集料形成抗滑表层,通过调整沥青用量与集料级配实现与原路面的高黏结强度,罩面施工采用同步碎石封层车完成,确保材料摊铺均匀性与厚度精准控制。在路基稳定性监测基础上,对潜在沉降区域实施预防性注浆处理,采用低黏度注浆材料通过微型钻孔注入基层空隙,材料固化后形成三维网状结构增强路基整体刚度,这种超前处置模式避免病害扩展引发的大规模维修,同时维持路面服务性能的持续稳定。

2.4 智能化监测与低碳施工

智能化监测与低碳施工技术构建起全流程精准管控体系,在路面结构内部布设分布式光纤传感器,实时捕捉温度场变化与应力分布特征,数据经边缘计算节点处理后生成结构健康画像,结合路面使用年限与交通荷载特征预测病害发展趋势,为养护时机选择提供量化依据。施工设备配备能耗监测模块,实时采集燃油消耗、电力使用等数据并转化为碳排放指标,通过优化施工工序衔接减少设备怠速时间,同时采用电动工程机械替代传统燃油设备,配合太阳能临时供电系统满足现场照明与小型机具用电需求,降低施工过程的碳足迹。引入数字孪生技术搭建路面养护数字模型,将监测数据与施工参数整合形成虚拟映射,通过仿真模拟不同养护方案的实施效果,优化材料用量与工艺参数组合,实现资源投

入的精准匹配。养护现场采用模块化围挡与雾炮降尘装置,围挡表面的光催化涂层可分解空气中的挥发性有机物,配合植被缓冲带形成立体防护体系,减少施工对周边环境生态的即时影响^[2]。

3 绿色养护技术在公路沥青路面应用面临的挑战与对策

3.1 面临的挑战

3.1.1 技术应用成本较高

绿色养护技术的前期投入显著高于传统养护模式,新型环保材料如复合再生剂、温拌剂等因生产工艺复杂,市场价格普遍高于常规化工产品,而再生混合料的性能检测需配备红外光谱仪、动态剪切流变仪等精密设备,设备购置与维护成本对养护预算构成较大压力。智能化监测系统的布设涉及传感器选型、数据传输模块搭建及云端分析平台开发,整套系统的安装调试费用占项目初期投入的近三成,且后期数据运维需专业技术人员支撑,持续人力成本进一步推高应用门槛。微创施工设备如热再生机组、高压注浆机等因集成高精度定位与自动化操作功能,其设备购置成本显著高于传统开挖机械,而这类专用设备的利用率受养护周期与病害分布影响,闲置期间的折旧成本加剧了单位施工成本的上升。

3.1.2 技术推广存在难度

绿色养护技术体系涉及材料再生、微创施工、智能监测等多学科交叉领域,一线施工人员需同时掌握材料性能调控、设备智能操作与数据分析等复合技能,现有技术工人的知识结构难以快速适配新技术要求,导致实际施工中易出现工艺执行偏差。不同区域的公路结构特征与气候条件存在显著差异,如南方高温高湿环境对再生沥青的抗老化性能要求更高,而北方严寒地区则需重点保障混合料的低温抗裂性,技术参数的区域适配性调整缺乏成熟参照标准,使得技术方案在跨区域应用时需反复试验验证。再生混合料的性能评价体系尚未完全统一,不同检测机构对同一批次材料的性能判定可能出现偏差,这种技术标准的模糊性导致业主单位对再生技术的可靠性存在顾虑,进而影响推广进程^[3]。

3.1.3 材料性能稳定性有待提升

旧路面铣刨料的性能波动对再生混合料质量构成潜在影响,不同路段的沥青老化程度、集料岩性存在差异,即便采用相同再生方案,再生后混合料的马歇尔稳定度、流值等指标离散性仍较明显。重载交通路段上,这种离散性让路面更易遭受损害,车辆频繁碾压下,早期车辙与推移病害迅速显现,不仅破坏路面平整度,影响行车体验,还会加速路面结构损坏,缩短使用寿命。

温拌沥青混合料在低温施工时,黏结性能随温度降低非线性衰减,环境温度低于10℃,沥青与集料裹附变差,局部形成弱结合区,雨水渗透后易引发路面松散。生态防护材料如喷播绿化基质的保水性能受地域降水特征影响显著,在季节性干旱地区,基质水分蒸发速率加快,导致植被种子萌发率波动较大,进而影响边坡防护的生态稳定性。

3.2 对策

3.2.1 优化成本控制方式

通过材料本地化生产降低供应链成本,依托区域内沥青拌合站改造建立再生材料生产基地,利用旧料就近铣刨、就近再生的模式减少运输能耗,同时与本地建材企业联合开发环保添加剂,通过规模化生产摊薄研发成本。建立全生命周期成本核算模型,将材料循环利用、能耗降低、寿命延长等长期收益纳入成本评估体系,在方案比选中优先考虑年均等效成本更低的绿色养护技术,如热再生工艺虽单次施工成本较高,但因减少旧料运输与新料采购,全周期成本较传统工艺降低近两成。推行设备共享机制,联合周边养护单位组建区域化专用设备联盟,通过错峰调度提高热再生机组、智能监测设备的利用率,设备闲置期间开展对外租赁服务,以经营性收益弥补折旧损失。

3.2.2 加强技术培训与交流

搭建产学研用协同创新平台,与高校材料学院、设备生产企业共建技术实训基地,围绕再生混合料配合比设计、智能监测数据解读等核心技能开展实操培训,培训内容采用“理论模拟+现场实操”模式,通过全息投影还原路面病害演化过程,帮助施工人员理解工艺参数调整的原理。定期组织跨区域技术交流活动,选取不同气候区的典型养护工程作为观摩案例,如南方湿热地区的温拌沥青应用项目、北方严寒地区的预防性养护工程等,通过现场拆解施工流程与病害处置方案,提炼可迁移的技术经验。建立技术难题会诊机制,针对再生料性能波动、智能设备误报等共性问题,组织材料专家、设备工程师与一线技术人员开展联合攻关,形成包含问题

诊断流程图、参数调整对照表的解决方案手册,通过云端共享平台实现技术经验的快速传播。

3.2.3 强化材料质量管控

建立旧料分级管理制度,对铣刨料进行按路段、按结构层分类存储,入库前采用三维扫描技术检测集料棱角性与沥青膜完整性,根据检测结果划分再生利用等级,高等级旧料用于面层再生,次等级旧料调配至基层或底基层,实现分级利用与性能精准匹配。开发材料性能动态监测系统,在拌合站安装在线级配分析仪与沥青含量检测仪,实时采集再生混合料的粒径分布与油石比数据,通过AI算法与设计值进行比对,自动调节冷料仓给料速度与沥青喷入量,从而精准控制混合料级配,保障其质量高度稳定。引入材料溯源技术,对环保添加剂、再生剂等关键材料粘贴射频识别标签,记录生产批次、性能指标与运输存储条件,结合区块链技术构建不可篡改的质量档案,当路面出现异常病害时可快速追溯材料使用环节的潜在问题,为质量改进提供精准依据^[4]。

结语

综上所述,绿色养护技术在公路沥青路面中的应用,实现了资源循环、生态保护与功能提升的协同发展。尽管在成本、推广及材料稳定性方面存在挑战,但通过创新对策可逐步化解。随着技术的持续迭代与实践的深入,其在优化养护模式、降低环境影响、提高经济效益等方面的潜力将进一步释放,为构建可持续的公路交通体系注入强劲动力,推动公路养护事业向更绿色、高效的方向迈进。

参考文献

- [1]程鑫.绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨[J].智能建筑与智慧城市,2024(10):122-124.
- [2]赵冉.绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨[J].工程建设与设计,2023(23):82-84.
- [3]周得海.绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨[J].越野世界,2025,20(12):175-177.
- [4]李桂业.绿色养护技术在公路沥青路面中的应用探讨[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2022(8):2187-2188.