

公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用实践

李刘勇

四川成渝高速公路股份有限公司公路运营管理一分公司 四川 成都 610000

摘要: 沥青路面预防性养护是延长公路使用寿命、提升服务效能的关键技术。本文系统阐述了预防性养护的理论基础,包括沥青老化机理与“治早治小”的核心原则。通过构建多维度技术体系,详细分析了表面防护、薄层修复和结构增强等技术的适用条件。结合应用流程中的路况评估、方案制定、施工控制及效果评价,探讨了当前在时机判断、技术选型和质量管理方面存在的问题。最后从新材料、智能监测、工艺标准化等角度提出优化方向,为推进预防性养护技术的科学应用提供系统指导。

关键词: 沥青路面;预防性养护;技术体系;应用流程;优化方向

引言:公路交通是基础设施关键部分,其运行关乎经济发展与社会稳定。沥青路面因性能佳在公路中广泛应用,长期受自然环境与交通荷载影响,易出现老化、损伤,影响使用性能与寿命。预防性养护是主动养护策略,能在病害初期干预,延缓性能衰减、降低养护成本。研究沥青路面预防性养护技术应用实践,对提升公路养护质量、保障其安全畅通意义重大。

1 沥青路面预防性养护的理论基础

1.1 沥青路面的老化与损伤机理

沥青材料在服役过程中受环境因素与交通荷载共同作用,其性能逐渐劣化。热氧老化是沥青分子在高温与氧气作用下发生氧化反应,导致分子链断裂、极性基团增加,表现为粘度上升、柔韧性下降。光氧老化则因紫外线辐射引发自由基反应,加速沥青硬化与脆化,尤其在表层形成疏松结构,削弱抗水损害能力^[1]。路面结构层的疲劳损伤源于车辆荷载反复作用,基层与面层在应力循环下产生微裂缝,裂缝扩展形成反射裂缝,最终导致结构承载力衰减。水损害通过两种路径破坏路面:一是水分渗入基层后软化土基,降低支撑刚度;二是冬季冻胀循环使孔隙水体积膨胀,产生冻胀应力撕裂沥青膜,造成松散与坑槽。温度应力对路面性能的影响表现为昼夜温差导致的收缩变形,当收缩应力超过沥青混合料抗拉强度时,面层产生横向裂缝,尤其在低温环境下裂缝扩展速率显著加快。

1.2 预防性养护的核心原理

预防性养护通过主动干预阻断病害发展链,遵循“治早治小”的损伤控制逻辑。在路面性能衰减初期,采用封层、再生等技术修复微裂缝、恢复沥青活性,延缓衰减速率,使性能曲线从陡降转为平缓。材料再生技术通过渗透性再生剂补充老化沥青缺失的轻质组分,重

构分子链结构,恢复柔性 with 粘附性;封层技术通过形成致密防护层,隔绝水分与氧气侵入,抑制光氧与热氧老化进程。其核心在于把握最佳干预时机,即在路面结构强度尚存、仅表面功能开始衰退的“黄金窗口期”采取行动。此时,路面整体性能良好,轻微干预即可有效恢复其表面特性,并显著延长使用寿命。若错过此时期,微小损伤将发展为结构性破坏,养护成本将急剧增加,且效果大打折扣。因此,预防性养护的本质是一种基于精准预测和主动管理的经济高效策略。

1.3 预防性养护的技术原则

及时性原则要求基于路面性能检测数据,在病害发展至临界状态前实施养护,避免小修演变为大修。针对性原则强调根据病害类型选择技术方案,如裂缝采用灌缝修复,抗滑不足采用微表处处理。经济性原则以全生命周期成本最小化为目标,平衡初期投入与长期效益,优先选择性价比高的技术组合。环保性原则推动低碳技术应用,如采用常温施工材料减少能源消耗,利用再生骨料降低资源开采压力,实现养护过程的环境友好性。此外,还需强调系统性原则,即预防性养护并非孤立措施,而应纳入路面全寿命周期管理体系,与日常保养和矫正性养护协同规划,形成层次分明、衔接有序的养护策略体系,从而最大化整体养护效益。

2 沥青路面预防性养护技术体系构建

2.1 技术分类维度

沥青路面预防性养护技术可从三个维度进行系统划分。按功能定位可分为防护型、修复型与增强型三类。防护型技术以隔绝环境侵害为核心,延缓路面老化进程;修复型技术针对早期病害进行局部修复,恢复表面功能完整性;增强型技术通过改善结构性能,提升路面承载能力与耐久性。按施工方式可分为喷洒类、摊铺类

与封层类。喷洒类技术通过专用设备将材料均匀喷涂于路面表层；摊铺类技术采用机械摊铺方式形成连续薄层；封层类技术通过骨料与粘结材料的复合作用构建防护结构。按材料特性可分为沥青基、聚合物基与复合改性类。沥青基技术以传统沥青材料为基础进行优化；聚合物基技术通过添加橡胶、树脂等高分子材料提升性能；复合改性类技术融合多种材料优势，实现性能互补^[2]。这种多维度分类方法有助于技术人员根据具体路况、资源条件和养护目标，进行更加精准和灵活的技术筛选与组合应用。

2.2 核心预防性养护技术解析

表面防护类技术中，沥青再生剂喷洒技术通过渗透老化层补充轻质组分，恢复沥青柔韧性；雾封层技术利用高渗透性乳化沥青封闭微裂缝，防止水分侵入；砂封层技术通过撒布细砂形成粗糙表层，提升抗滑性能。薄层修复类技术中，微表处技术采用间断级配设计，确保骨料嵌锁与粘结强度；稀浆封层技术根据使用场景分为普通型与彩色型，满足不同功能需求；超薄磨耗层技术通过优化材料配比与摊铺工艺，实现5-15mm厚度下的平整度控制。结构增强类技术中，碎石封层技术精选棱角性石料，通过合理沥青用量形成稳定嵌锁结构；纤维封层技术利用纤维的桥接作用分散应力，提升抗裂性能；复拌再生技术通过铣刨旧料与新料混合，实现结构层性能再生。深入理解各项技术的核心作用机理是正确选型的基础，例如，再生剂主要作用于材料性能恢复，而封层技术侧重于表面防护和功能提升，二者适用阶段和解决的核心问题存在差异。

2.3 各类技术的适用条件与性能对比

技术匹配需遵循病害类型优先原则，裂缝类病害优先选用再生剂喷洒或灌缝技术，对于宽度小于3mm的裂缝，再生剂喷洒效果较好；对于宽度大于3mm的裂缝，灌缝技术更合适。抗滑不足适用砂封层或微表处。气候差异影响材料选择，高温地区宜采用改性沥青基技术，高温地区沥青软化点应不低于60℃，多雨地区需强化防水性能，多雨地区路面渗水系数应不大于80mL/min。交通等级决定技术强度，重载交通路段需采用碎石封层或复拌再生技术提升结构承载力，重载交通路段路面弯沉值应不大于0.2mm，轻载路段可选用雾封层等经济型方案。在实际工程决策中，往往需要综合考虑多种因素进行权衡^[3]。例如，对于一条交通量中等但存在轻微裂缝和抗滑不足的城镇道路，可能需要在微表处和稀浆封层之间选择，此时需进一步对比两者的成本、施工周期、耐久性以及对交通的影响。建立包含定量指标和定性分析

的详细技术对比矩阵，将极大提升技术选型的科学性和可靠性。

3 沥青路面预防性养护技术应用流程

3.1 前期调研与路面性能评估

开展预防性养护前需系统收集路面基础信息，包括结构层厚度、材料类型、服役年限及交通荷载特征。通过自动化检测设备获取平整度、抗滑值、裂缝率、车辙深度等关键性能指标，结合弯沉检测评估结构承载能力。依据检测数据划分路面性能等级，识别裂缝、松散、泛油等病害类型，分析病害成因及发展趋势。例如，车辙深度超过15mm需重点关注高温稳定性，裂缝率高于5%需优先处理水损害问题，为后续方案制定提供依据。现代检测技术如激光断面仪、高精度探地雷达等的应用，使得数据采集更加快速、全面和精准，为客观评估路面状态奠定了坚实基础。然而，如何从海量数据中提取关键信息，并准确预测路面性能的未来衰减趋势，仍是当前研究的重点和难点，需要借助人工智能和大数据分析等先进手段辅助决策。

3.2 养护方案制定与技术选型

根据性能评估结果明确养护目标，如修复裂缝、提升抗滑性或增强结构强度。从防护型、修复型、增强型技术库中筛选适配方案，通过技术经济对比确定最优组合。决策逻辑需综合考虑病害严重程度、交通量、气候条件及成本约束。例如，轻中度裂缝采用雾封层技术，重载交通路段选用碎石封层增强结构，多雨地区优先选择防水性能优异的复合改性材料。方案内容应明确技术类型、材料规格、施工参数及质量控制标准，如微表处技术需规定集料级配范围、乳化沥青用量及摊铺厚度。方案制定过程应具有前瞻性，不仅要解决当前问题，还需预估养护措施对路面长期性能的影响，避免产生新的潜在病害。

3.3 施工过程质量控制

施工前需完成设备标定与材料检验，确保喷洒车、摊铺机等设备精度满足要求，沥青、集料等原材料性能达标。基面处理环节需清除油污、松散颗粒及灰尘，保证粘结效果^[4]。施工中重点控制温度、厚度与均匀性，如稀浆封层施工温度应控制在10-30℃，摊铺厚度偏差不得超过±2mm。根据环境条件动态调整工艺参数，雨天停止施工，高温时段增加洒水降温，低温环境采用保温措施防止材料脆裂。引入智能化施工监控系统，实时采集施工参数（如材料温度、喷洒量、摊铺速度），并与预设标准进行比对，可实现施工过程的精细化管理与即时纠偏，从根本上保障施工质量的稳定性和一致性。

3.4 养护后性能监测与效果评价

短期监测在施工后1-3个月内完成,检查外观质量、粘结强度及抗滑性能,确保无剥落、泛油等缺陷。长期跟踪每半年检测一次平整度、裂缝扩展及结构强度,分析性能衰减规律。效果评价建立技术、经济、环保三维指标体系,技术指标包括病害修复率、性能提升幅度,经济指标涵盖单位面积成本与全生命周期效益,环保指标评估材料可回收率及碳排放量,为后续养护决策提供数据支撑。建立完善的养护效果后评估数据库至关重要,通过长期积累不同技术在不同条件下的应用效果数据,可以为未来类似项目的方案优化提供宝贵的实证依据,推动预防性养护技术体系的持续改进。

4 沥青路面预防性养护技术应用的关键问题与优化方向

4.1 当前应用中存在的主要问题

养护时机判断依赖经验指标,缺乏动态监测数据支撑,常因过早养护造成资源浪费或过晚养护导致病害恶化。技术选型时对病害成因分析不足,如将抗滑不足简单归因于表面磨损,未考虑结构层强度衰减的复合影响,导致选型偏差。施工质量受人员操作、设备精度及环境条件制约,如喷洒量不均、摊铺厚度偏差等问题频发,且缺乏统一验收标准。长期性能监测多依赖人工抽检,数据采集频率低、覆盖范围有限,难以全面反映性能衰减规律,影响养护决策科学性^[5]。此外,各环节之间的信息壁垒也制约了整体效率,设计、施工、监测数据未能有效贯通,难以形成基于全链条数据反馈的闭环优化管理。解决这些问题,需要从技术、管理和标准三个层面协同发力,推动预防性养护向数字化、智能化和标准化方向发展。

4.2 技术优化与发展方向

新型环保材料研发聚焦高再生率与低能耗方向,通过优化再生剂配方提升旧料掺配比例,开发温拌沥青技术降低施工温度,减少能源消耗与有害气体排放。智能

化技术融合方面,无人机搭载红外热成像与三维激光扫描设备,实现病害快速识别与空间定位;大数据平台整合交通、气候及检测数据,构建性能预测模型,为养护时机选择提供量化依据。施工工艺标准化通过模块化设计实现关键工序分解,如将封层施工拆分为基面处理、材料喷洒、骨料撒布等独立单元,配套开发专用设备与操作规程,提升施工一致性。全生命周期养护理念强调预防性养护与矫正性养护的协同,例如在重载交通路段实施碎石封层增强结构后,定期采用微表处修复表面磨损,形成“强化-修复”的闭环管理。此外,建立基于性能衰减曲线的动态养护策略,根据路面实际状态调整技术方案与资源投入,实现全周期成本最优与效益最大化。

结束语

沥青路面预防性养护是公路养护领域的重要发展方向。通过对其理论基础、技术体系、应用流程的深入研究,明确了预防性养护的重要性和实施要点。尽管当前应用存在一些问题,但随着新型环保材料研发、智能化技术融合等优化方向的推进,预防性养护将更加科学、高效、精准。未来,应持续探索创新,完善预防性养护技术体系,推动公路养护事业向更高质量发展,为公路交通的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]郭国军.公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用[J].大众标准化,2025(1):125-127.
- [2]潘娟峰.公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用[J].运输经理世界,2024(12):142-144.
- [3]王斌.公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用[J].工程技术研究,2025,7(4):154-156.
- [4]孙建胜.公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用研究[J].运输经理世界,2024(15):135-137.
- [5]杨瑛.公路沥青路面预防性养护技术应用研究[J].中国新技术新产品,2025(12):71-73.