

公路工程预防性养护技术研究

任芳

文山公路分局

DOI:10.12238/etd.v6i8.17083

[摘要] 公路工程预防性养护技术通过主动干预早期病害,可有效延长公路使用寿命,降低全生命周期养护成本,减少交通影响。其应用需以准确路况监测与公路使用阶段匹配为前提,涵盖沥青与水泥混凝土路面多种技术类型,需满足材料性能、环保等要求。关键环节包括路况监测、技术选型、施工质量控制、效果评估,未来需向智能化、绿色化方向优化,以提升公路养护水平与经济效益。

[关键词] 公路工程; 预防性养护; 路况监测; 养护技术; 寿命延长

中图分类号: U418 **文献标识码:** A

Research on Preventive Maintenance Technology for Highway Engineering

Fang Ren

Wenshan Highway Branch

[Abstract] Preventive maintenance technology in highway engineering, through proactive intervention in early-stage damages, can effectively extend the service life of highways, reduce lifecycle maintenance costs, and minimize traffic disruptions. Its application relies on accurate road condition monitoring and alignment with the highway's usage phase, encompassing various technical approaches for both asphalt and cement concrete pavements, while meeting requirements for material performance and environmental sustainability. Key aspects include road condition monitoring, technology selection, construction quality control, and effectiveness evaluation. Future efforts should focus on intelligent and green optimization to enhance the efficiency and economic benefits of highway maintenance.

[Key words] Highway Engineering; Preventive Maintenance; Road Condition Monitoring; Maintenance Technology; Life Extension

引言

公路作为交通基础设施的重要组成部分,其养护质量直接影响通行安全与效率。传统事后修复型养护模式存在成本高、周期长、交通影响大等问题,难以满足现代公路养护需求。预防性养护技术通过提前干预早期病害,实现“以小投入换大效益”的目标,成为公路养护领域的研究热点。本文从核心价值、技术类型、关键环节及优化方向等方面,系统探讨公路工程预防性养护技术的应用与发展,为提升公路养护科学化水平提供参考。

1 公路工程预防性养护技术的核心价值与应用前提

公路工程预防性养护技术的核心价值在于通过主动干预,避免早期病害进一步恶化,实现“以小投入换大效益”的养护目标。与事后修复型养护相比,预防性养护可使公路使用寿命延长5-8年,全生命周期养护成本降低30%-40%,同时减少养护施工对交通通行的影响。

应用预防性养护技术需满足两个前提:一是准确掌握公路路况,通过专业监测手段识别早期病害类型与程度,避免盲目养

护;二是匹配公路使用阶段,通常在公路运营中期(通车5-10年)、病害发生率低于15%时实施,此时路面结构尚未严重受损,技术干预效果最佳。若在公路运营初期过度养护,会造成资源浪费;若在后期病害严重时实施,则难以达到预期效果^[1]。

2 公路工程常见预防性养护技术与适用场景

2.1 沥青路面预防性养护技术

沥青路面因表面平整度高、行车舒适性好,在公路工程中应用广泛,其预防性养护技术需针对裂缝、轻微车辙、表面松散等早期病害设计。裂缝密封技术是最常用的措施之一,通过清理裂缝内杂物后灌注专用密封胶,阻止雨水渗入路面基层,避免基层软化导致的路面塌陷。该技术适用于宽度0.5-5mm的横向或纵向裂缝,施工时需控制密封胶灌注温度与压实力度,确保密封胶与裂缝壁紧密贴合。

微表处技术则适用于沥青路面表面磨损、抗滑性能下降的场景,通过将聚合物改性乳化沥青、集料、填料按比例混合后摊铺在路面表层,形成3-8mm厚的保护层。该技术可恢复路面抗滑

性能, 封闭表面微小裂缝, 施工后4小时即可开放交通, 对交通影响较小, 但不适用于存在深层车辙或结构性裂缝的路面。

2.2 水泥混凝土路面预防性养护技术

水泥混凝土路面强度高、耐久性强, 但易出现板缝渗漏、表面剥落、轻微断板等病害, 其预防性养护技术需注重结构完整性保护。板缝灌缝技术与沥青路面裂缝密封原理相似, 但需采用弹性更好的灌缝材料, 适应水泥混凝土板因温度变化产生的伸缩变形, 防止灌缝材料开裂失效。施工前需检查板缝内原有填缝料的老化情况, 彻底清除老化材料后再灌注新料, 确保灌缝深度不小于板缝宽度的2倍。

表面硅烷浸渍技术适用于水泥混凝土路面表面碳化、抗渗性能下降的场景, 通过在路面表层喷涂硅烷浸渍剂, 形成渗透深度3-5mm的防水保护层, 阻止水分、氯离子等有害物质侵入混凝土内部, 延缓钢筋锈蚀与混凝土碳化速度。该技术适用于沿海或冬季撒盐地区的公路, 可使混凝土抗渗性能提升5-10倍, 有效延长路面使用寿命。

2.3 路面预防性养护材料技术要求

预防性养护材料的性能直接影响技术实施效果, 需根据不同技术类型明确质量标准。沥青类养护材料需满足高温稳定性与低温抗裂性要求, 如微表处用乳化沥青的破乳时间应控制在30-60分钟, 确保摊铺过程中材料不提前凝固或过度流淌; 密封胶的软化点需高于当地夏季最高气温15℃以上, 避免高温下密封胶融化流失。

水泥混凝土养护材料则需注重粘结性与耐久性, 硅烷浸渍剂的渗透深度需通过现场钻芯检测验证, 确保达到设计要求; 灌缝料的弹性恢复率需大于80%, 以适应混凝土板的伸缩变形。此外, 所有养护材料需符合环保要求, 挥发性有机化合物(VOC)含量低于100g/L, 避免对周边环境造成污染^[2]。

2.4 特殊路段预防性养护技术

公路中的特殊路段(如长大纵坡、急弯、桥面)因受力复杂、行车荷载集中, 预防性养护技术需针对性设计。长大纵坡路段沥青路面易出现车辙, 除采用微表处技术外, 还可在养护材料中添加抗车辙剂, 提高路面高温稳定性, 抗车辙剂掺量通常为集料质量的0.3%-0.5%, 需通过室内试验验证其对路面性能的提升效果。

桥面预防性养护需兼顾路面与桥梁结构的协同性, 沥青桥面铺装层的预防性养护技术与普通沥青路面基本一致, 但施工前需检查桥面防水层的完整性, 若发现防水层破损, 需先修复防水层再实施路面养护, 防止雨水通过路面渗入桥梁结构内部, 腐蚀钢筋或损坏支座。对于钢桥面沥青铺装层, 还需选用抗疲劳性能更好的养护材料, 适应钢桥面的柔性变形特性。

3 公路工程预防性养护技术应用的关键环节与优化策略

3.1 公路路况监测技术与数据应用

准确的路况监测是预防性养护技术合理应用的基础, 当前常用的监测手段包括人工检测与自动化检测两类。人工检测适

用于局部路段或特殊病害排查, 检测人员通过目测、尺量等方式记录病害位置、类型与程度, 配合取芯检测获取路面结构层厚度与强度数据, 该方法灵活度高, 但效率低、主观性强, 适用于小规模养护项目。

自动化检测技术则依托专业检测设备实现高效数据采集, 如路面激光平整度仪可连续测量路面平整度, 数据采集频率达1000次/秒, 精度可达0.1mm; 路面三维激光扫描系统可生成路面三维模型, 直观呈现车辙深度、裂缝宽度等参数, 检测效率是人工检测的10-15倍。自动化检测获取的数据需通过专业软件分析, 生成路况评价报告, 明确病害分布规律与发展趋势, 为养护技术选择提供数据支撑。

在数据应用过程中, 需建立路况数据库, 将历年检测数据整合归档, 通过对比分析判断病害发展速度, 预测未来1-3年的路况变化, 避免仅凭单次检测数据制定养护方案。例如, 若某路段连续两年检测发现裂缝密度年均增长2%, 则需在第三年实施裂缝密封技术; 若增长速度低于1%, 则可暂缓养护, 继续监测^[3]。

3.2 预防性养护技术选型方法

预防性养护技术选型需遵循“路况匹配、成本最优、效果可控”的原则, 建立多因素决策模型。首先需根据路面类型确定技术范围, 如沥青路面优先考虑裂缝密封、微表处等技术, 水泥混凝土路面侧重板缝灌缝、硅烷浸渍等技术; 其次结合病害类型与程度筛选, 如裂缝宽度大于5mm时, 沥青路面需采用开槽灌缝技术而非普通密封技术, 水泥混凝土路面则需检查是否存在板底脱空, 避免仅处理表面裂缝而忽略深层问题。

成本因素也需纳入选型考量, 不同技术的单位面积成本差异较大, 如微表处技术单位成本约80-120元/m², 裂缝密封技术约20-40元/m², 需在满足养护效果的前提下, 选择成本效益比最高的技术。同时, 还需考虑施工周期与交通影响, 在交通流量大的路段, 优先选择施工速度快、开放交通时间短的技术, 如微表处技术优于薄层罩面技术。

此外, 技术选型需参考当地气候与地质条件, 多雨地区需重点考虑防水类技术(如裂缝密封、硅烷浸渍), 高温地区需强化材料高温稳定性(如选用高软化点密封胶), 寒冷地区则需注重材料低温抗裂性, 避免低温下养护层开裂。

3.3 预防性养护施工质量控制要点

施工质量是确保预防性养护技术效果的关键, 需从施工准备、过程管控、验收检测三个环节建立质量控制体系。施工准备阶段需检查养护材料质量, 核对材料型号、规格与设计是否一致, 如微表处用集料的级配需符合规范要求, 超粒径颗粒含量不得超过5%; 同时清理施工路段路面, 去除杂物、灰尘与松散材料, 若路面潮湿, 需采用吹风机烘干, 避免影响养护材料与原路面的粘结力。

施工过程管控需针对不同技术制定专项控制指标, 裂缝密封施工中, 需控制裂缝清理深度(不小于裂缝宽度的3倍)、密封胶灌注温度(180-220℃)与冷却时间(不少于2小时); 微表处施工则需控制混合料摊铺速度(1-3m/min)、碾压次数(2-3遍)与碾

压力度(0.3-0.5MPa), 确保摊铺厚度均匀, 无推移、起皱等缺陷。施工人员需经过专业培训, 熟悉设备操作流程, 每道工序完成后需进行自检, 合格后方可进入下一道工序。

验收检测阶段需采用专业设备检测养护效果, 如裂缝密封后需检测密封胶粘结强度, 通过拉拔试验确保粘结强度不小于0.8MPa; 微表处施工后需检测路面平整度(国际平整度指数IRI不大于2.0m/km)与抗滑性能(摆值BPN不小于60)。验收不合格的部位需及时整改, 直至满足质量要求, 避免因施工质量问题导致养护技术提前失效^[4]。

3.4 预防性养护技术效果评估体系

预防性养护技术实施后, 需建立长期效果评估体系, 跟踪养护效果, 为后续养护决策提供依据。评估周期通常分为短期(施工后6个月)、中期(1-3年)与长期(3-5年), 不同周期评估重点不同。短期评估主要检查养护层与原路面的粘结情况, 是否存在剥落、开裂等问题, 验证施工质量是否达标; 中期评估侧重路面性能变化, 如抗滑性能、平整度、病害发生率的变化趋势, 判断养护技术对病害发展的抑制效果; 长期评估则关注公路使用寿命延长情况与养护成本节约幅度, 综合评价技术的经济性。

评估指标需量化处理, 如病害发生率=(病害面积/总路面面积)×100%, 养护成本节约率=(传统养护成本-预防性养护成本)/传统养护成本×100%。通过对比养护前后的指标变化, 形成评估报告, 若中期评估发现病害发生率仍高于年均5%, 则需分析原因, 调整后续养护技术方案; 若长期评估显示成本节约率低于20%, 则需重新审视技术选型的合理性。

此外, 效果评估需结合交通量变化情况, 若养护路段交通量年均增长超过8%, 则需适当缩短评估周期, 因为交通荷载增加会加速路面病害发展, 可能导致预防性养护效果提前衰减。

3.5 预防性养护技术的优化方向

随着公路工程技术的发展, 预防性养护技术需向智能化、绿色化方向优化。智能化方面, 可结合物联网技术建立实时监测系统, 在公路路面内植入传感器, 实时采集路面温度、应变、湿度

等数据, 通过数据分析提前预警潜在病害, 实现“按需养护”。例如, 当传感器检测到路面基层湿度超过阈值时, 及时触发表面密封养护, 避免病害进一步发展。同时, 可利用大数据技术构建养护决策模型, 整合路况数据、气候数据、交通量数据, 自动推荐最优养护技术与实施时间, 减少人为决策的主观性。

绿色化方面, 需研发环保型养护材料, 如采用废旧轮胎橡胶粉改性的乳化沥青, 既减少固体废弃物污染, 又提升养护材料的弹性与耐久性; 推广温拌沥青技术, 降低沥青混合料施工温度, 减少能源消耗与有害气体排放, 温拌沥青施工温度可比热拌沥青降低30-50℃, 每吨混合料可节约标准煤5-8kg。此外, 可优化养护施工工艺, 采用模块化施工设备, 减少施工过程中的噪声与粉尘污染, 实现养护作业与生态环境保护的协同发展^[5]。

4 结语

公路工程预防性养护技术通过科学监测、精准选型与严格质量控制, 有效延缓了路面病害发展, 延长了公路使用寿命, 降低了养护成本。其应用需结合路况特征、气候条件与交通需求, 建立全生命周期管理体系。未来, 随着物联网、大数据等技术的融合, 预防性养护将向智能化、绿色化方向深入发展, 推动公路养护从“被动修复”向“主动预防”转型, 为构建安全、高效、可持续的交通基础设施体系提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]辛鑫. 公路工程路面裂缝成因及预防性养护技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(3):048-051.
- [2]牛娅军. 公路工程质量修复及预防性养护研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(2):138-140.
- [3]范士波, 李明. 公路工程沥青路面病害预防性养护技术探讨[J]. 建筑与装饰, 2025(7):172-174.
- [4]齐龙龙. 预防性养护技术在现代高速公路养护中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(7):179-182.
- [5]廖新泰. 预防性公路养护技术在公路施工中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(2):199-202.