

公路预防性养护技术研究

高锋斌

海宁市公路与运输管理服务中心 浙江 海宁 314400

摘要：为提升公路服役寿命、降低养护成本、优化道路通行质量，本文立足全寿命周期理念，阐释公路预防性养护的核心概念、理论基础与实施原则。系统梳理公路路面、路基及附属设施典型病害与成因，剖析各类预防性养护技术的应用场景与优势。针对当前养护决策不精准、施工不规范、管理体系不完善等问题，从技术、施工、管理、保障多维度提出优化对策，为公路精细化、长效化养护提供参考。

关键词：公路；预防性；养护技术

引言：随着我国公路路网规模持续扩大、交通荷载不断提升，公路长期服役产生的性能衰减与病害问题日益突出。传统被动式修补养护模式成本高、见效短，难以适配现代化公路养护发展需求。预防性养护作为主动防控的养护模式，可提前处置道路潜在病害、延缓路面老化、延长道路服役年限。基于此，本文系统研究公路预防性养护核心技术与应用要点，剖析现存短板并制定优化策略，助力公路养护提质增效、绿色长效发展。

1 公路预防性养护基础理论与核心原则

1.1 预防性养护核心概念界定

(1) 预防性养护定义：依托公路全寿命周期理念，在公路路面结构完整、无结构性破损，仅出现轻微性能衰减或潜藏病害隐患的阶段，主动开展的常态化、前置性养护作业。(2) 与传统养护的区别：传统养护以事后修补、矫正性修复为主，属于病害出现后的被动处置模式；而预防性养护秉持主动防控理念，可有效规避病害扩大，具备养护成本低、道路服役效果好、长效性强的核心优势。(3) 适用范围广泛，可适配各级别公路、沥青及水泥等各类路面结构，同时覆盖道路不同服役阶段，适配多元化公路养护场景。

1.2 预防性养护理论基础

(1) 全寿命周期成本理论：以公路全生命周期综合经济效益为核心导向，科学优化养护时机与技术方案，摒弃盲目养护模式，实现公路养护降本增效。(2) 路面性能衰减理论：聚焦路面平整度、抗滑性、结构强度等核心指标，分析其随服役时间、交通荷载的衰减规律，为精准判定最佳养护时机提供核心理论支撑。(3) 病害预判防控理论：依托路面病害循序渐进的发展特性，预判病害演化趋势，提前干预处置潜在病害，从源头遏制病害扩散升级。

1.3 预防性养护实施基本原则

(1) 精准适时原则：依托专业路面检测数据，精准研判路面状态与养护时机，杜绝过早养护造成资源浪费、过晚养护导致养护失效的问题。(2) 因地制宜原则：结合区域气候特征、交通荷载等级、路面结构类型，针对性选用适配的养护技术与方案。(3) 经济高效原则：统筹平衡养护投入、养护成效与道路使用寿命，实现公路养护综合效益最大化。(4) 绿色环保原则：选用低碳节能、低污染的养护材料与施工工艺，契合绿色交通与生态公路的发展要求^[1]。

2 公路常见病害成因及养护时机判定

2.1 公路路面典型病害类型及特征

(1) 表层病害：公路表层病害主要包括裂缝、剥落、坑槽、泛油、车辙等，是道路服役期间最易出现的病害类型。此类病害直接暴露于路面，不仅破坏道路外观完整性，还会降低路面平整度与行车舒适度，其中裂缝、坑槽会持续加剧路面磨损，积水渗入后会进一步诱发深层路面损坏，影响道路通行安全性。(2) 结构性病害：主要涵盖路面沉降、面层松散、基层破损等类型，属于道路核心结构损伤。这类病害具备渐进式发展特点，会直接削弱路面整体承载力与稳定性，若未及时处置，会引发大面积路面塌陷、变形，大幅降低道路整体服役性能。(3) 附属设施病害：主要包含路基沉降变形、边坡坍塌、坡面冲刷、排水设施堵塞破损等问题。附属结构作为公路防护核心配套设施，其病害会削弱公路整体防护能力，易引发积水淤积、路基水毁等次生病害。

2.2 公路病害核心成因分析

(1) 交通荷载因素：车辆高频次通行、长期超载超限行驶是路面病害的主要人为诱因。车辆反复碾压、剪切路面，会使路面及基层产生疲劳损伤，逐步引发车辙、沉降、开裂等病害，加速道路性能衰减。(2) 自然环境因素：区域温差变化、雨水冲刷、冻融循环、风沙侵蚀

等自然作用持续影响路面结构。雨水渗入路面内部会弱化材料粘结性,冻融循环会反复挤压破坏路面结构,风沙、高温低温交替作用会加剧路面老化破损。(3)施工与运维因素:施工阶段原材料质量不达标、摊铺压实工艺不规范、层间粘结处理不到位,会留下先天病害隐患;同时日常巡检不到位、养护不及时等运维缺失问题,会导致轻微病害持续恶化^[2]。

2.3 预防性养护时机判定方法

(1)时间触发判定法:以公路设计服役年限为基准,结合道路等级划定标准化养护周期,在固定服役阶段开展常态化预防性养护,操作简单、适用性广,适用于常规公路基础养护管控。(2)路况触发判定法:依托专业检测设备,采集路面平整度、车辙深度、抗滑系数等核心指标,根据路况衰减标准判定养护节点,精准针对路面性能缺陷开展养护作业。(3)综合判定模型:整合路况检测数据、区域环境数据、交通荷载数据,构建多维度判定体系,规避单一判定方法的局限性,实现养护时机的科学化、精准化判定,提升养护综合效益。

3 公路预防性养护技术及应用分析

3.1 表层封类养护技术

(1)雾封层技术:该技术主要通过向路面喷洒专用乳化沥青材料,形成均匀密封薄层。施工工艺简便、作业速度快,主要用于封闭路面孔隙、粘合细微裂缝,可有效阻隔雨水渗入路面结构内部,减缓路面老化松散,适用于路面整体完好、仅存在轻微老化及细微裂缝的预防性养护场景。(2)稀浆封层与微表处技术:两种技术均采用沥青、骨料、填料按配比拌和摊铺成型,但材料精度与施工标准存在差异。稀浆封层适用于路面轻度磨损、表层渗水病害处置;微表处级配更精细、成型更快,可快速恢复路面抗滑性能,是高等级公路抗滑修复的常用技术^[3]。(3)精细磨耗层技术:具备厚度薄、平整度高、耐久性强的核心优势,可精准修正路面轻微车辙、局部起伏等问题,优化路面行车舒适度,多用于路况整体良好、仅存在轻微平整度缺陷的精细化养护。

3.2 裂缝处治类养护技术

(1)灌缝技术:主要针对路面结构性宽度裂缝,包含开槽灌缝与密封灌缝两种主流工艺。施工中需严格把控开槽尺寸、缝隙清理、材料灌注与压实密封等关键环节,保障裂缝封闭效果,防止水分下渗破坏基层结构。(2)贴缝技术:利用贴缝带、抗裂贴的高弹性与粘结性能,贴合裂缝表层形成柔性密封层,可适应路面伸缩变形,不易脱落破损,主要用于处置细微网状裂缝、发丝裂缝,无需大面积开槽施工。(3)裂缝综合防控技术:结合路面

面层、基层实际工况,兼顾源头防控与后期修复,通过优化排水、加固基层、封闭裂缝相结合的方式,从根源减少裂缝再生与扩张,提升裂缝处治长效性。

3.3 路基及附属设施养护技术

(1)路基预防性养护:核心围绕路基稳定性开展,重点优化路基排水体系,加固边坡松散土体,针对季节性冻土区域,落实冻胀、翻浆防控措施,规避温湿度变化与积水浸泡引发的路基变形病害。(2)排水系统养护:定期疏通路面排水沟、边沟、盲沟等设施,修复破损、堵塞的排水结构,保障路面及路基排水通畅,杜绝路面积水、雨水淤积引发的水损害病害。(3)附属设施常态化养护:定期对公路护栏、标线、交通标识等设施开展预防性检修、清洁与更新,及时修复磨损、老化、破损设施,保障公路配套设施完整、功能正常,提升道路通行安全性^[4]。

3.4 智能化预防性养护技术

(1)路面智能检测技术:依托自动化检测设备、无损检测技术开展路况采集,无需破损路面即可精准获取路面平整度、车辙、病害分布等数据,大幅提升路况检测的效率与精准度。(2)养护信息化管理技术:借助大数据与信息化管理平台,整合路况数据、交通数据、环境数据,实现养护需求智能分析、养护方案智能决策、施工全过程动态管控,推动养护管理标准化、精细化。(3)新型环保养护技术:采用低碳改性沥青、环保填料等新型材料,搭配快速修复施工工艺,具备低能耗、低污染、施工占道时间短的优势,契合绿色交通发展理念,是现代公路养护的主流发展方向。

4 公路预防性养护现存问题与优化对策

4.1 预防性养护技术应用现存问题

(1)养护决策不精准:当前部分公路养护工作缺乏科学的数据支撑与标准化判定依据,普遍存在养护时机把控失衡的问题。多数地区仍依赖经验开展养护作业,易出现养护时机滞后的情况,待路面病害发展扩大后才开展处置,丧失预防性养护的最佳窗口期。同时,养护技术选型缺乏针对性,未结合区域气候条件、路面结构类型、交通荷载等级匹配适配技术,出现高端技术滥用、简易技术错用等问题,导致养护效果不佳,无法有效遏制路面性能衰减。(2)技术施工不规范:在基层养护施工过程中,标准化施工落实到位,工艺把控存在诸多漏洞。部分施工单位未严格按照技术规程作业,在材料拌和、摊铺压实、裂缝处置、表层封层施工等关键环节操作不规范,施工细节把控粗糙。同时,施工现场质量管控力度不足,缺乏全过程监督机制,导致同类养护工程质量差异较大,部分养护路段服役寿命短,病害复发

率高,难以发挥预防性养护的长效作用。(3) 养护管理体系不完善:现阶段公路预防性养护常态化管理机制尚不健全,日常巡检工作流于形式,巡检频次不足、病害排查不全面,无法及时发现路面潜在隐患。此外,养护信息化、智能化应用程度较低,仍依赖传统人工记录、经验研判的管理模式,数据整合与分析能力薄弱。同时,养护资金分配缺乏科学规划,资金投入不均衡,重点路段与普通路段资金配比不合理,造成资源浪费或养护投入不足的双重问题。

4.2 预防性养护技术优化策略

(1) 建立精准化养护决策体系:完善公路路况常态化检测与评估机制,依托智能检测设备全面采集路面平整度、破损率、抗滑性能等核心数据,建立动态路况数据库。结合不同区域的气候特征、道路等级、交通通行情况,细化养护技术选型标准,针对表层病害、裂缝病害、路基隐患等不同问题,匹配对应的预防性养护技术,精准判定养护时机,杜绝经验化决策问题,保障养护方案的科学性与适配性。(2) 规范施工工艺与质量管控:统一各类预防性养护技术的标准化施工流程,明确雾封层、微表处、灌缝、路基加固等各类工艺的操作规范与技术参数。构建原材料进场检验、施工过程监督、完工验收评定的全流程质量管控体系,严格筛查养护材料质量,强化施工现场动态监管,对施工薄弱环节重点把控。同时落实工程质量责任制,杜绝不规范施工行为,全面提升养护工程整体质量^[5]。(3) 推广新型智能化养护技术:积极普及路面无损检测、自动化巡检等智能设备,替代传统人工检测模式,提升路况数据采集的精准度与效率。全面推广养护信息化管理平台,整合路况数据、养护记录、资金使用、病害台账等信息,实现养护工作数字化、可视化管理。依托大数据分析技术辅助养护决策,持续提升公路预防性养护的精细化、智能化管理水平。

4.3 预防性养护长效管理保障措施

(1) 完善养护管理制度:构建常态化巡检、定期评估、动态养护的全流程管理制度,明确巡检频次、排查重点与管理标准,实现路面病害早发现、早预判、早处

置。建立公路养护定期评估机制,定期复盘养护效果,根据道路服役状态动态调整养护方案,形成闭环管理模式,推动预防性养护工作规范化、常态化开展。(2) 强化人才与技术保障:针对基层养护人员专业能力参差不齐的问题,定期开展预防性养护新技术、新工艺、新设备专项培训,提升从业人员专业素养与实操能力。搭建技术交流平台,积极引进行业先进养护技术与经验,持续推进养护技术迭代升级,组建专业化养护技术团队,为养护工作高质量开展提供技术与人才支撑。(3) 优化资金配置模式:基于公路全寿命周期成本理念,科学编制养护资金使用规划,摒弃粗放式资金投入模式。结合道路重要等级、路况衰减程度、病害发展趋势,合理分配养护资金,优先保障重点路段、隐患路段养护投入,精准把控养护成本,最大化发挥资金使用价值,实现公路养护经济效益与社会效益的统一。

结束语

本文全面梳理了公路预防性养护的基础理论、病害成因、养护时机判定及主流养护技术,总结了现阶段养护工作存在的各类问题,并针对性提出精准决策、规范施工、智能升级、完善保障的优化体系。公路预防性养护是保障路网稳定运行、降低全周期养护成本的关键举措。未来需持续推广智能化、绿色化养护技术,完善常态化养护管理机制,推动公路养护工作向精细化、科学化、长效化转型。

参考文献

- [1]刘大伟.公路预防性养护技术研究[J].公路工程,2022,41(3):123-128
- [2]王建国.高原地区公路养护技术的创新与应用[J].交通科技,2023,39(2):55-60
- [3]李明,王杰.公路预防性养护技术研究[J].道路与交通,2023,41(5):34-38.
- [4]张华,陈思.基于智能化监测的公路预防性养护技术探讨[J].现代交通,2022,47(8):50-55.
- [5]刘斌,孙雷.公路养护技术的创新与应用研究[J].公路工程,2021,38(12):122-126.