

高速公路桥梁隧道预防性养护技术的应用研究

王永全

北京华通公路桥梁监理咨询有限公司 北京 朝阳 100024

摘要:为解决高速公路桥梁病害频发、养护成本偏高、使用寿命缩短等问题,本文聚焦预防性养护技术的应用研究。首先梳理桥隧预防性养护基础理论,分析桥梁、隧道典型病害及成因与发展规律,阐述常规养护技术、智能检测技术及新型养护材料的应用要点。针对当前养护标准化不足、智能化程度低等现存问题,提出针对性优化对策,旨在提升桥隧养护精细化水平,保障道路运营安全,降低全周期养护成本。

关键词:高速公路;桥梁隧道;预防性养护技术;应用

引言:高速公路桥梁隧道作为交通路网的核心枢纽,长期受行车荷载、自然环境及地质条件影响,易滋生各类结构性与功能性病害,直接影响通行安全与路网稳定性。传统被动抢修养护模式存在损耗大、效益低等弊端,难以适配现代化交通运维需求。在此背景下,预防性养护凭借主动性、长效性、经济性优势成为桥隧养护主流方向。本文结合桥隧病害特征与养护现状,探究各类预防性养护技术的实际应用,剖析现存问题并给出优化方案,为行业养护工作提供参考。

1 高速公路桥隧预防性养护基础理论与病害分析

1.1 预防性养护核心概述

(1) 预防性养护的定义:高速公路桥隧预防性养护是一种前瞻性养护模式,核心是在桥隧结构无明显破损、仅存在轻微潜在隐患的阶段,主动开展针对性养护作业,从源头遏制隐患发展为结构性病害,保障桥隧持续稳定运营。(2) 预防性养护与传统养护的区别:传统养护以事后抢修、病害被动治理为主,往往存在损耗大、成本高、修复效果有限的问题。而预防性养护具备主动性、低成本、低损耗、长效性的核心优势,可有效延长结构使用寿命,降低大修改造频次^[1]。(3) 预防性养护的基本原则:严格遵循“预防为主、防治结合、精准施策、经济高效”的核心原则,在养护作业中统筹兼顾结构运营安全性、养护经济性与工程耐久性,实现桥隧养护效益最大化。

1.2 高速公路桥梁常见病害及成因

(1) 桥梁常见病害类型:主要包含结构性与功能性两类病害,典型问题有桥面铺装开裂、路面坑槽、伸缩缝老化破损、支座偏移变形、梁体结构性裂缝、桩基水土流失冲刷等,直接影响桥梁通行质量与结构稳定性。(2) 病害核心成因分析:病害由多重因素叠加导致,核心诱因包括车辆反复荷载的持续冲击、雨水渗透侵蚀、昼夜及季

节温度应力变化,同时叠加建材自然老化、施工阶段遗留缺陷、日常运维巡检不到位等问题,加速病害滋生与扩张。

1.3 高速公路隧道常见病害及成因

(1) 隧道常见病害类型:隧道典型病害涵盖衬砌开裂、墙体渗漏水、隧道路面起砂、边墙混凝土剥落、排水系统堵塞、围岩松动脱落等,易引发隧道通行安全隐患。(2) 病害核心成因分析:隧道地处复杂地质环境,地下水持续渗透、内外温差产生的结构应力、行车荷载振动冲击是主要诱因,同时通风排水系统失效、长期自然风化,进一步加剧隧道结构破损。

1.4 桥隧病害发展规律与养护时机判定

(1) 病害阶段性发展规律:桥隧病害呈现清晰的阶段性特征,从初期轻微隐患、表层轻微破损,逐步发展为中期局部破损,最终演变为重度结构性病害,病害发展速度随运营时长和外界影响持续加快。(2) 最佳预防性养护时机界定:结合病害阶段性发展规律、结构实时检测数据及桥隧运营年限,精准划分不同类型病害的演化节点,锁定病害未恶化前的最优干预时段,保障养护效果、控制养护成本。

2 高速公路桥隧核心预防性养护技术及应用

2.1 桥梁预防性养护关键技术

(1) 桥面防护养护技术:桥面是桥梁直接承受行车荷载和自然侵蚀的核心部位,预防性养护以微创修复、提前防护为核心。主要包含桥面防水涂层铺设、微表处养护、裂缝注浆修补及桥面病害微创处理等工艺。其中防水涂层铺设可阻隔雨水渗入桥体内部,避免钢筋锈蚀;微表处技术能够修复桥面轻微磨损、提升路面防滑性能;针对桥面细微裂缝采用低压注浆工艺填充密实,配合微创处理技术整治表层病害,可在不破坏原有结构的基础上,有效延长桥面使用寿命。(2) 桥梁附属结构养护技术:桥梁

附属结构是保障桥梁整体运营稳定的关键,养护重点以定期检修、防腐防护、及时维保为主。针对伸缩缝,定期清理缝隙杂物、更换老化密封胶,避免缝隙堵塞变形;对桥梁支座开展常态化巡检,及时矫正偏移支座,对老化、破损支座及时更换;对护栏进行除锈防腐、破损修补,提升防护性能;定期疏通桥面排水系统,清理排水口淤积杂物,杜绝积水侵蚀桥梁结构^[2]。(3)桥梁主体结构养护技术:梁体、桩基、墩柱作为桥梁核心承重结构,预防性养护聚焦病害修复与结构补强。日常养护中及时修补梁体、墩柱表面细微裂缝,防止裂缝持续扩展;对长期处于潮湿、露天环境的主体结构做防腐涂装处理,抵御雨水、大气腐蚀;针对桩基冲刷、局部破损等问题,采用加固补强工艺修复缺陷,强化结构承载力,从源头规避主体结构结构性病害。

2.2 隧道预防性养护关键技术

(1)隧道防渗排水养护技术:渗漏水是隧道最常见的病害,防渗排水养护为隧道养护核心内容。核心技术包括衬砌防渗处理、排水管道疏通、止水带更换、围岩注浆堵水等。通过定期疏通隧道纵横排水管道,解决管道堵塞积水问题;对老化破损止水带及时更换,封堵渗水通道;针对围岩渗水区域采用注浆堵水工艺,加固围岩的同时阻断地下水渗透,全方位构建隧道防渗排水体系。(2)隧道衬砌结构养护技术:衬砌结构承担围岩压力,是隧道安全运营的核心屏障。常态化预防性养护包含衬砌细微裂缝修补、表面剥落修复、结构加固及围岩稳定防护等内容。及时修补衬砌表层裂缝、混凝土剥落病害,避免病害持续扩大;对结构承载力不足的衬砌区域进行加固处理,同时监测围岩稳定性,通过支护防护措施抑制围岩松动,保障衬砌结构整体稳定。(3)隧道附属设施养护技术:隧道附属设施直接影响通行安全性与舒适性,需开展常态化预防性维保。定期对通风、照明、消防、监控等机电设施进行检修调试,更换老化设备,保障设施正常运行;同时对隧道路面开展防滑、降噪预处理,通过路面微处理工艺提升路面摩擦系数,降低行车噪音,有效预防路面打滑、磨损等常见病害^[3]。

2.3 智能化预防性养护检测技术

(1)无损检测技术:无损检测技术是桥隧隐患精准排查的核心技术,具备不破坏结构、检测精度高的优势。其中超声波检测可精准探测桥梁梁体、隧道衬砌内部空洞、密实度不足等隐蔽缺陷;红外热成像检测依托温度差异,快速识别结构表层脱空、渗水隐患;雷达探测技术可深层扫描桥隧结构内部,精准定位深层裂缝、围岩松动等问题,为预防性养护提供精准的数据支撑。(2)

在线监测预警技术:依托物联网、大数据技术搭建智能化监测体系,在桥隧关键部位布设传感设备,实时采集结构应力、形变、沉降、渗流、振动等核心参数。通过大数据实时分析、数据比对,动态监测结构运行状态,当参数超出安全阈值时自动触发预警,工作人员可提前介入处置隐患,实现从“被动治理”到“主动预判”的养护升级。(3)无人机巡检技术:无人机巡检适用于大范围、高难度桥隧巡检作业,可替代人工完成高危区域排查。通过高清航拍采集桥隧外观图像,结合三维建模技术还原结构整体状态,快速识别桥面破损、衬砌开裂、附属设施老化等表层病害。该技术巡检效率高、覆盖范围广,可有效降低人工巡检风险,提升桥隧病害排查的全面性与时效性^[4]。

2.4 新型养护材料的应用

(1)新型防腐防水材料:高性能环氧涂层、聚氨酯防水材料是当前桥隧养护的主流新型材料。环氧涂层附着力强、抗腐蚀性能优异,可有效抵御酸碱、雨水、融雪剂对桥隧混凝土、钢结构的侵蚀;聚氨酯防水材料柔韧性佳、密封性强,适配结构轻微形变,不易开裂脱落,广泛应用于桥面、隧道衬砌的防渗防腐养护,大幅提升结构抗老化能力。(2)快速修复补强材料:聚合物砂浆、碳纤维布、高强修补剂等新型材料,适配桥隧快速修复与补强养护场景。聚合物砂浆粘结力强、收缩率低,适用于混凝土剥落、表层破损修复;碳纤维布自重轻、强度高,可用于梁体、衬砌裂缝后的结构补强,提升结构承载力;高强修补剂固化速度快,可实现桥面、隧道路面病害快速修复,大幅缩短养护工期,保障道路快速恢复通行。

3 高速公路桥梁隧道预防性养护技术应用现存问题及优化对策

3.1 养护技术应用现存主要问题

(1)养护技术应用标准化不足:现阶段高速桥隧养护缺乏统一、细化的实操标准,部分养护作业工艺操作随意、流程不规范。养护过程中存在技术选用盲目化问题,未结合桥隧结构特点、病害类型匹配工艺,针对性不足,极易出现养护效果差、病害反复复发的情况。(2)智能化养护技术普及度低:目前多数高速公路桥隧养护仍沿用传统人工巡检、被动抢修模式,智能化无损检测、在线监测、无人机巡检等先进技术普及滞后。智能化设备覆盖率低、技术落地不足,导致病害排查存在盲区,难以实现隐患提前预判和精准管控。(3)养护管理体系不完善:部分养护单位运维理念滞后,普遍存在“重抢修、轻预防”的问题,养护规划缺乏前瞻性和系统性。

常态化巡检、动态评估机制不健全,未形成全周期管护模式,多在病害恶化后开展治理,大幅增加养护成本与安全风险。(4) 养护资金与人员专业度不足:整体养护资金侧重病害抢修,预防性养护资金投入占比偏低。同时,一线养护人员普遍缺乏系统化专业培训,对新型养护技术、新材料的实操应用能力不足,严重制约精细化养护工作落地实施。

3.2 技术应用优化原则

(1) 精准适配原则:结合桥隧不同结构类型、运营年限、地质环境及病害发展特征,差异化匹配养护技术、修补材料和施工工艺,杜绝盲目施工,保障养护措施精准有效。(2) 经济长效原则:兼顾养护工程的经济性与耐久性,科学对比养护方案,优先选用低成本、高效率、长效稳定、后期易维护的技术工艺,有效控制全周期养护成本。(3) 科技赋能原则:以智能化、现代化技术为核心支撑,推动传统养护模式与智能检测、大数据分析、新型材料深度融合,全面提升桥隧养护的精细化、专业化、数字化水平。

3.3 技术应用优化对策

(1) 规范养护技术应用标准:针对不同桥隧结构、各类常见病害,制定差异化、标准化的预防性养护实操规范,明确各类病害的适用工艺、施工流程、材料标准及验收要求。统一区域内养护作业标准,杜绝技术选用随意化、施工不规范等问题,让养护作业有据可依,从制度上保障养护质量,实现病害精准治理。(2) 加快智能化养护技术推广:加大智能化养护设备投入,全面普及无损检测、无人机巡检、在线传感监测等技术。搭建一体化桥隧养护大数据管理平台,整合巡检数据、结构监测数据、病害治理数据,实现病害动态追踪、隐患智能预警、养护方案智能匹配,推动传统人工养护向数字化、智能化养护转型。(3) 完善常态化养护管理机制:转变

传统运维理念,树立“预防为主”的养护思维,构建“定期巡检、动态评估、提前干预、长效管护”的全周期养护体系。制定年度、季度、月度常态化巡检计划,定期开展结构状态评估,精准判定最佳养护时机,提前处置轻微隐患,从源头减少重大病害及抢修作业^[5]。(4) 强化人才与资金保障:优化养护资金分配结构,提高预防性养护资金投入比例,重点保障智能化设备采购、新材料应用、技术培训等工作开展。建立常态化人员培训机制,定期开展新技术、新材料、新设备实操培训,搭建专业养护人才队伍,全面提升一线人员专业能力,保障各类先进养护技术落地见效。

结束语

本文系统研究了高速公路桥隧预防性养护技术体系,明确了桥隧主要病害成因与最优养护时机,梳理了传统养护、智能检测及新型材料的应用价值,同时指出当前养护工作的诸多短板。通过制定标准化施工规范、推广智能养护技术、完善管护机制、强化人资保障,可有效提升桥隧养护质量。未来需持续融合数字化技术与新型材料,持续优化养护方案,实现高速公路桥隧长效安全运营。

参考文献

- [1]陈和平,姜天华,张璇.城市桥梁预防性养护技术研究
与案例分析[J].建材世界,2025,46(1):71-75.
- [2]冯应乾.高速公路桥梁常见病害及预防性养护技术
研究[J].运输经理世界,2024,11(19):133-135.
- [3]段立山.高速公路桥梁隧道预防性养护技术应用研
究[J].中华建设,2023,8(13):127-129.
- [4]孙成林,张传海.新时期公路桥梁预防性养护技术分
析[J].工程管理与技术探讨,2023,26(21):211-213.
- [5]王望春.高速公路桥梁预防性养护技术研究[J].四川
建材,2024,50(11):185-189.