

公路桥梁病害预防性养护技术探析

刘 刚

(四川宁西高速公路建设开发有限公司, 四川 西昌 615000)

摘 要 公路桥梁作为交通路网的关键枢纽, 长期受车辆荷载、自然气候、地质条件等多重因素叠加影响, 服役期间易出现桥面破损、结构裂缝、支座老化、墩台风化沉降等病害。本文从桥梁病害类型及成因、全周期施工与养护防控、信息化绿色低碳技术及新材料应用、标准化养护流程构建四个方面展开研究, 梳理各类病害产生诱因, 明确施工前期预防与后期病害处治管控要点, 探究智能监测、绿色工艺及新型材料的实践路径, 构建可复制推广的标准化养护体系, 以期公路桥梁病害防控、延缓结构老化、延长服役年限提供技术参考。

关键词 公路桥梁; 桥梁病害; 预防性养护; 标准化流程

中图分类号: U418.4; U445.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.036

0 引言

公路桥梁是区域交通运输体系的重要组成部分, 支撑着干线公路、城乡路网的互联互通。随着通车年限不断增加、交通流量持续攀升, 外加雨雪冻融、温差变化、雨水冲刷等自然环境侵蚀, 多数公路桥梁陆续出现不同程度的结构病害。传统养护模式普遍存在重抢修、轻预防的短板, 往往在病害扩大、结构受损后才开展维修作业, 既增加工程投入, 也埋下道路安全隐患。因此, 从病害成因、全周期防控、新技术新材料、标准化流程多维度系统开展探索, 对优化桥梁运维模式、降低全生命周期投入、保障路网安全畅通具有现实意义。

1 公路桥梁常见病害类型及成因分析

1.1 公路桥梁常见病害类型

1.1.1 桥面系常见病害

桥面系是直接承担车辆通行荷载的表层结构, 常年暴露在外, 受外界环境与行车作用最为直接, 也是整座桥梁病害发生频次最高的部位。桥面铺装层易出现网状细碎裂纹、纵向及横向贯通裂缝, 长期车辆碾压还会形成局部坑槽、车辙凹陷等病害, 不仅影响行车平稳性, 还会造成路面积水滞留^[1]。桥梁伸缩缝长期受温度伸缩、车辆冲击作用, 极易出现橡胶密封条老化硬化、止水带脱落破损, 同时碎石泥沙容易嵌入缝隙造成堵塞变形, 失去正常伸缩功能。桥面排水口若日常清理不及时, 极易出现淤积堵塞, 雨水无法快速排走便沿铺装缝隙向下渗透, 持续侵蚀下层梁板结构与钢筋构件, 加速内部材料老化锈蚀, 诱发更多结构性隐患。

1.1.2 上部梁板结构常见病害

上部梁板作为公路桥梁主要跨径承重构件, 以钢筋混凝土箱梁、T梁、空心板梁应用最为广泛。在长期弯剪荷载作用与自然老化影响下, 梁板表层容易出现风化起皮、混凝土剥落、蜂窝麻面等表观缺陷。随着服役年限增加, 受荷载应力、温度变形影响, 梁板会产生受力裂缝与非受力裂缝, 裂缝逐步延伸扩张后, 水汽极易渗入内部引发钢筋外露、氧化锈蚀^[2]。同时多片梁板之间的铰接部位容易出现松动、错位与变形, 破坏梁板协同受力状态, 造成整体结构整体性下降, 受力分配失衡, 进一步加速结构病害的发展蔓延。

1.1.3 下部墩及基础常见病害

下部墩台与基础是桥梁整体承重的根基, 承受上部结构传递的恒荷载与活荷载, 同时长期受到周边土体压力、地下水渗透、雨水冲刷及冻融破坏。墩台表面容易出现竖向拉伸裂缝、网状收缩裂缝, 混凝土表层碳化剥落现象普遍, 严重时会出现墩身轻微倾斜、位移变形。地基部分受雨季雨水冲刷、地下水位升降渗透影响, 土体容易出现软化流失, 进而引发基础不均匀沉降、局部土体掏空等隐患。这类病害隐蔽性较强, 初期不易被发现, 一旦持续发展, 会直接破坏桥梁竖向受力体系, 威胁整座桥梁的结构稳定。

1.1.4 附属设施常见病害

桥梁附属设施包含支座、防撞护栏、桥头搭板、边坡防护等配套构件, 虽不直接承担主要承重任务, 但对结构缓冲、行车安全、整体防护起到关键作用。板式橡胶支座长期受压老化, 易出现开裂、变形、硬化失效; 钢制支座则容易出现锈蚀、卡滞, 无法正常

作者简介: 刘刚(1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 高速公路投资建设管理。

适应桥梁伸缩位移。桥梁护栏、防撞设施受车辆刮蹭、自然风化影响,常出现破损变形、构件脱落等问题。桥头搭板因路基沉降容易产生错台、下沉,造成桥头跳车;桥梁两侧边坡防护结构也易出现开裂坍塌、植被脱落等情况^[3]。此类病害虽不会直接造成主体结构损毁,但会降低行车舒适度,弱化安全防护能力,还容易诱发次生连锁病害。

1.2 桥梁病害主要成因分析

一是外部荷载与自然环境因素。长期交通重载、车辆反复冲击会加剧梁板结构疲劳损伤,诱发结构性裂缝;雨雪冻融、昼夜温差、紫外线照射、雨水下渗会破坏混凝土表层结构,加速材料老化碳化,造成钢筋锈蚀、铺装破损。二是施工工艺因素。桥梁施工阶段混凝土配比不合理、振捣不密实、养护不到位,易产生蜂窝麻面、内部空隙;钢筋保护层厚度不足、伸缩缝与支座安装精度偏差,会埋下后期病害隐患。三是材料自身性能因素。选用的沥青、橡胶支座、混凝土外加剂等材料耐候性、抗冻性不达标,长期服役后易出现老化、开裂、变形,丧失原有防护与承载功能。四是后期运维管理因素。日常巡检不到位、轻微隐患未及时处置,任由小病发展为大病;养护手段单一、处置工艺不规范,进一步加快桥梁病害发展速度。

2 公路桥梁全周期病害防控管控要点

2.1 施工建设阶段前期病害预防注意事项

施工阶段是从源头规避桥梁后期病害的关键环节,需严格把控原材料、施工工艺、构造安装全过程。第一,严控原材料进场质量,对桥面铺装沥青、钢筋、水泥、支座、伸缩缝等主材开展抽检复检,杜绝劣质、耐候性不达标材料投入使用,从材质根源降低老化破损概率。第二,规范混凝土浇筑与养护工艺,梁板、墩台浇筑做到分层振捣密实,严控水胶比与坍落度;完工后按规范开展保湿养护,避免因养护缺失产生收缩裂缝、表层剥落。第三,精准把控关键构造安装精度,严格控制伸缩缝间隙、板式橡胶支座平整度与受力均匀度,避免安装偏差造成后期卡滞、不均匀受力;做好桥面排水坡、泄水孔布设,保障雨水快速排导,减少积水下渗^[4]。第四,强化隐蔽工程施工管控,对桩基、承台、梁板铰接部位等隐蔽工序实行全过程旁站验收,留存施工影像与检测资料,杜绝隐蔽工程施工遗留质量隐患。

2.2 运营后期养护与病害处治注意事项

桥梁投入运营后,以常态化养护为基础,针对已出现的轻微病害开展科学处治,遏制病害蔓延扩大。

日常养护中定期清理桥面杂物、疏通排水口与伸缩缝缝隙,防止泥沙淤积造成积水滞留、伸缩缝功能失效;对支座、护栏、边坡防护等附属设施定期清洁防腐,延缓构件老化锈蚀。病害处治遵循“轻微病害及时预防性处置、中度病害专项加固修复、重度病害科学补强整治”原则。针对桥面细微裂缝及时灌缝密封,阻断雨水渗透;对梁板、墩台早期裂缝采用表面封闭、压力注浆工艺处置;对老化失效的支座、破损伸缩缝适时更换,避免病害牵连主体结构。同时严格把控养护施工工艺,杜绝粗放维修造成二次结构损伤。

3 信息化监控监测、绿色低碳技术及新型养护材料应用

3.1 信息化智能监控监测手段运用

传统桥梁运维长期依赖人工现场巡检,受人员视野、作业范围和巡查频次限制,不仅工作效率偏低,还存在高空梁底、墩柱内侧等诸多巡检盲区,仅能依靠肉眼发现表面显性病害,无法实时掌握桥梁内部应力、沉降等隐蔽结构变化。依托现代物联网技术搭建智能监测体系,在桥梁梁板、墩台基础、支座伸缩缝等关键点位,布设应力应变传感器、静态沉降仪、裂缝自动采集终端等感知设备,全天候不间断捕捉结构应力变化、墩身沉降位移、裂缝延展宽度等核心数据。所有监测数据实时接入桥梁智慧运维平台,借助大数据算法开展趋势分析,能够精准研判病害演化规律,对潜在结构隐患提前发出预警信号,彻底打破以往事后抢修的被动模式,转向提前预判、主动干预的养护模式。同时,搭配无人机航拍与三维激光扫描技术,对桥梁高空构件、桥下隐蔽区域进行全方位立体扫描,快速采集结构表观病害信息,精准识别细微裂缝、表层风化、构件破损等缺陷^[5]。

3.2 绿色低碳预防性养护技术推广

践行交通工程绿色低碳发展理念,优先采用低扰动、微创化养护工艺。推广薄层微表处、稀浆封层等表层养护技术,无需大面积破除原有结构,减少建筑垃圾排放与交通阻断时间;应用废旧沥青再生、集料循环利用技术,将废旧路面材料加工后重新用于桥面修补、基层填筑,实现资源循环利用。选用水性防腐涂料、无机环保灌浆材料、无挥发密封胶等环保建材,替代传统高污染化工材料,降低养护施工对周边环境的影响,实现养护作业低碳环保。

3.3 新型养护材料在桥梁运维中的运用

传统桥梁养护材料普遍存在耐候性不足、温差适应性差、耐久年限短等短板,长期使用易出现开裂脱落、

防护失效等问题。随着路桥养护技术不断升级,各类高性能新型材料逐步替代传统建材,凭借更强的适配性、稳定性与防护性能,广泛应用于桥梁裂缝修补、结构加固、构件防护等各个环节,成为提升病害处置质量、延长桥梁服役周期的重要支撑。

在裂缝封闭与结构修复领域,改性沥青灌缝胶、高弹性密封材料应用效果突出,这类材料适配区域昼夜温差与冻融环境,低温环境不易脆裂,高温条件不会流淌变形,能够紧密贴合各类细微及贯通裂缝,有效阻断雨水、水汽向结构内部渗透。碳纤维布、高强聚合物砂浆等补强材料自重轻便,不会额外增加桥梁荷载,且抗拉强度、耐腐蚀性能优异,可精准用于梁板、墩台表层破损与结构性裂缝加固,修复后能有效约束裂缝延展,恢复结构整体受力性能。

在附属构件与结构表层防护方面,耐寒耐老化改性橡胶支座经过配方优化,抗压形变、适应伸缩能力更强,可有效规避传统支座硬化、开裂、卡滞等通病。配套防腐耐磨涂层、无机防护涂料可涂刷于墩台、梁板外露表面,形成致密防护膜,抵御紫外线风化、雨水碳化及沿海盐雾侵蚀。新型养护材料的规模化应用,大幅降低桥梁病害返修频次,改变以往反复修补的粗放养护模式,推动桥梁运维向长效化、耐久化方向发展。

4 建立公路桥梁可复制、可推广的标准化养护流程

4.1 建立标准化巡检排查流程

标准化巡检是桥梁养护管理的前置基础,需统一行业巡检作业规范,明确固定巡查频次、重点排查点位与病害记录标准。针对桥面、梁板、墩台、支座、伸缩缝等关键部位制定统一排查清单,细化表观病害、结构隐患、附属设施缺陷的识别标准。同步规范病害等级划分依据,按照影响程度完成分级界定,建立统一电子化运维台账,实现病害信息分类登记、实时更新。推行人工常规巡检与智能设备航拍、传感监测相结合的模式,统一信息填报格式与影像留存要求,打破不同区县、不同路段巡检标准不统一的问题,形成可直接参照执行的巡检范式,为后续养护方案制定提供精准、规范的基础数据支撑。

4.2 制定分级病害标准化处置流程

依据桥梁病害危害程度,划分轻微、中度、重度三个等级,配套建立分级标准化处置体系。针对表层细微裂缝、局部小范围破损等轻微病害,制定微创封补、表层防护的常规作业流程;对结构性裂缝、支座老化等中度病害,统一加固工艺、材料选型与施工步骤;涉及基础沉降、墩身位移等重度隐患,实行专项设计、

专业施工、专项验收的管控模式。明确不同等级病害对应的施工工序、材料规格、质量验收指标,杜绝现场凭经验随意处置的粗放模式,做到同类病害工艺统一、标准统一、验收统一,大幅减少养护作业个体差异,形成可复制的病害处置作业模板。

4.3 搭建运维管理范式与动态优化推广机制

明确交通主管、养护单位、监理及检测机构各方管理职责,固化养护方案审批、现场组织施工、完工质量验收、全过程资料归档的闭环管理流程,形成固定可照搬的运维管理范式。将成熟的标准化养护流程在区域公路路网内全面普及推广,作为日常养护作业统一遵循依据。同时兼顾地域差异化特征,结合山区、平原、沿海、高寒地区气候环境与桥梁结构特点,持续微调流程细则,适配不同工况下的养护需求。通过常态化应用、阶段性复盘、动态修订完善,让标准化养护流程兼具通用性与适配性,真正实现可复制、可落地、可长期常态化运行。

5 结束语

公路桥梁病害防控是一项长期性、系统性工程,既要把控施工阶段源头质量,也要做好运营阶段常态化养护。本文从病害类型及成因、全周期施工预防与后期处治、信息化绿色低碳及新材料应用、标准化养护流程构建四个层面系统梳理公路桥梁各类病害特征与诱发因素,明确施工前期源头防控与运营后期病害养护的管控重点,阐述智能监测、绿色工艺、新型材料在桥梁养护中的应用价值,搭建了可复制、可推广的标准化预防性养护流程。未来,随着智能传感、大数据、新型建材技术的持续迭代,桥梁预防性养护将进一步向智能化预判、微创化施工、绿色化运维、标准化管理方向深化,通过多维度举措协同发力,持续提升公路桥梁结构安全性与服役耐久性,保障区域交通路网长期安全畅通。

参考文献

- [1] 马建. 国省干线公路桥梁病害养护及应对措施研究[J]. 汽车周刊, 2026(06):58-60.
- [2] 冯彦章. 高速公路桥梁病害检测及策略探究[J]. 工程建设与设计, 2026(06):80-82.
- [3] 贾令. 基于常规定期检查的公路桥梁病害成因分析及养护策略[J]. 运输经理世界, 2026(08):133-135.
- [4] 陈文渊, 许一豪. 公路桥梁质量检测中新型试验检测技术的应用[J]. 运输经理世界, 2025(29):102-104.
- [5] 莫小冠. 混凝土公路桥梁病害诊断和处理策略[J]. 工程技术研究, 2025, 10(19):16-18.