

市政道路桥梁工程养护管理技术要点研究

王佳伟

北京市政路桥管理养护集团有限公司 北京 100000

摘要: 市政道路桥梁工程养护管理对保障城市交通运行至关重要。本文梳理病害类型与成因, 涵盖结构病害与附属设施病害, 解析环境、荷载、材料及设计等多维度成因。构建养护管理技术体系, 包含预防性、修复性、加固及特殊环境适应性技术。阐述实施要点, 涉及巡查、检测监测、全流程管控及信息化平台。探讨智能化检测、绿色养护、全寿命周期管理及技术标准规范升级等发展趋势。

关键词: 市政道路桥梁; 养护管理技术; 病害成因; 发展趋势

引言: 城市发展进程中, 市政道路桥梁作为关键基础设施, 其运行状态直接影响交通效率与城市安全。随着使用年限增长及交通荷载变化, 桥梁病害问题日益凸显, 不仅威胁结构安全, 也增加了养护成本。当前, 传统养护管理模式面临效率低、精度差等挑战, 难以满足现代城市发展需求。因此, 深入研究市政道路桥梁工程养护管理技术要点, 探索创新养护模式, 对提升桥梁耐久性、保障城市交通顺畅具有重要意义。

1 市政道路桥梁工程病害类型与成因分析

1.1 病害分类体系

市政道路桥梁工程病害依据结构功能特性可划分为结构病害与附属设施病害两大类^[1]。结构病害主要涉及主体承重体系, 包含混凝土结构裂缝与碳化现象, 裂缝形态涵盖横向、纵向及网状分布, 碳化深度随环境侵蚀作用逐步扩展; 钢结构病害以锈蚀与疲劳损伤为主, 锈蚀多发生于节点连接部位, 疲劳裂纹则集中于应力集中区域; 支座病害表现为脱空与剪切变形, 脱空导致结构传力路径中断, 剪切变形引发梁体相对位移超限。附属设施病害聚焦非承重构件功能退化, 伸缩缝堵塞造成结构热胀冷缩受阻, 排水系统失效引发路面积水渗透, 护栏锈蚀降低防护性能与景观协调性。

1.2 病害成因的多维度解析

环境侵蚀是病害发展的外部驱动因素。冻融循环作用下, 混凝土孔隙水反复冻结膨胀, 导致内部微裂缝扩展连通; 盐雾环境中氯离子渗透加速钢筋脱钝, 电化学反应速率显著提升; 地下水化学侵蚀改变混凝土碱度, 诱发碱骨料反应与硫酸盐侵蚀。荷载作用构成病害演化的直接诱因, 超载车辆频繁通行使结构应力水平超过设计容许值, 交通量增长导致低应力水平疲劳损伤累积, 钢结构节点焊缝区域易形成疲劳裂纹源。材料性能劣化是病害产生的内在根源, 混凝土收缩徐变引发结构次内

力重分布, 钢筋锈蚀产物体积膨胀导致混凝土保护层剥落, 沥青混合料高温车辙与低温脆裂均源于材料流变性变化。设计缺陷放大了病害发生概率, 结构冗余度不足使局部损伤快速扩展为整体失效, 排水系统坡度设计偏差导致积水无法及时排除, 伸缩缝选型与实际位移量不匹配加速装置损坏。

1.3 病害发展规律与关联性

病害演化呈现从表观损伤到内部结构破坏的渐进过程。混凝土表面裂缝为内部钢筋锈蚀提供侵蚀通道, 锈蚀产物体积膨胀反作用于混凝土, 形成裂缝扩展与钢筋锈蚀的恶性循环; 钢结构表面涂层剥落暴露基材, 环境介质直接接触引发全面锈蚀, 锈蚀截面削弱导致应力集中加剧。多病害叠加效应显著降低结构承载能力, 支座脱空引发梁体竖向位移异常, 异常位移传递至伸缩缝装置导致锚固构件破坏, 排水系统堵塞加剧路面水损害, 形成病害链式反应。结构体系内各构件病害相互影响, 单一构件损伤通过内力重分布转移至相邻构件, 最终导致整体结构性能退化。

2 市政道路桥梁工程养护管理技术体系

2.1 预防性养护技术

桥面防水层再生技术聚焦于渗透型防护剂的深度应用, 通过纳米级材料对混凝土孔隙的填充作用, 形成致密防护层, 配合界面增强处理提升层间粘结性能, 有效阻隔水分与氯离子渗透。混凝土表面防护领域, 氟碳涂料凭借优异的耐候性与自清洁特性, 在紫外线辐射强烈区域展现长期防护效果; 硅烷浸渍技术则通过小分子硅烷的渗透反应, 在混凝土内部形成憎水层, 适用于潮湿环境下的耐久性提升, 两种技术需根据环境侵蚀等级差异化选用^[2]。支座动态维护强调位移监测数据的实时采集与分析, 结合支座类型与交通荷载特征, 优化润滑周期与润滑剂类型, 避免因润滑不足引发的剪切变形或脱空

病害。

2.2 修复性养护技术

裂缝修复环节，压力注浆材料选择需兼顾力学性能与耐久性，环氧树脂适用于静止裂缝修复，其高强度特性可恢复结构整体性；聚氨酯材料因弹性模量可调，更适用于动态裂缝处理，工艺控制重点在于注浆压力与孔隙填充密实度。钢结构锈蚀处理中，激光除锈技术通过高能脉冲去除锈蚀层，减少基材损伤，配合冷喷锌涂层形成阴极保护体系，锌层牺牲阳极作用可延长钢结构使用寿命。伸缩缝快速更换技术采用模块化设计理念，预制构件现场拼装缩短施工周期，交通导改一体化方案通过临时便道设置与信号灯调控，实现养护作业与交通运行的动态平衡。

2.3 结构加固技术

体外预应力加固技术通过钢束布置优化提升结构受力效率，转向块与锚固系统采用高强钢材与防腐涂层，确保长期耐久性，需重点验证预应力损失与锚固区应力集中问题。增大截面法利用高强混凝土与纤维复合材料的协同效应，混凝土强度等级提升减少截面尺寸增加，碳纤维布或钢纤维的掺入可抑制裂缝扩展，增强效应需通过材料性能试验验证。体系转换加固中，简支转连续结构通过墩顶负弯矩区钢筋连接实现内力重分布，力学性能验证需涵盖静载试验与长期变形监测，确保转换后结构受力符合设计预期。

2.4 特殊环境适应性技术

沿海地区养护技术针对氯离子侵蚀问题，海工混凝土配比优化采用低水胶比与矿物掺合料，降低孔隙率并提升抗渗性，阴极保护技术通过辅助阳极与参比电极形成保护电场，延缓钢筋锈蚀进程。高寒地区防冰系统采用电伴热技术，通过温度传感器自动调控加热功率，低冰点融雪剂选择需兼顾融雪效率与环境影响，避免对混凝土造成化学侵蚀。软土地基养护重点解决桩基冲刷与承台露筋问题，桩基防护采用抛石基床或钢套筒包裹，承台露筋区域实施防腐封装处理，选用环氧砂浆或聚合物混凝土封闭露筋部位，阻断腐蚀介质接触路径。

3 市政道路桥梁工程养护管理技术实施要点

3.1 精细化巡查与数据采集体系构建

针对市政道路桥梁结构复杂、病害类型多样的特点，需建立分层分类的巡查机制。日常巡查以桥面系为核心，重点监测铺装层平整度、伸缩缝堵塞情况及排水系统通畅性，巡查频率根据交通流量动态调整，重载交通路段每日巡查次数不少于两次^[1]。定期详查聚焦主体结构，采用分区域、分构件的网格化管理模式，对混凝土

碳化深度、钢结构锈蚀速率等关键指标进行量化检测，检测周期依据结构类型设定，预应力混凝土桥梁每半年详查一次，钢结构桥梁每季度详查一次。专项检查针对地震、洪水等灾害事件后开展，重点评估结构整体稳定性与承载能力恢复情况。数据采集需统一量化标准，裂缝宽度采用游标卡尺分三次测量取平均值，锈蚀面积通过图像处理软件计算锈蚀区域占构件表面积比例，影像资料标注应包含拍摄时间、病害位置及参照物信息，确保数据可追溯性与可比性。

3.2 多技术手段融合的检测监测体系

无损检测技术方面，超声相控阵技术通过多角度声束扫描实现混凝土内部缺陷的三维成像，可精准识别空洞、疏松等体积型缺陷，检测深度达1.5米；磁粉探伤技术利用磁场泄漏原理定位钢结构表面裂纹，灵敏度可达0.1毫米级。多技术手段融合的检测监测体系可以提高检测的准确性和全面性。长期监测领域，光纤光栅传感器通过监测波长偏移量反映结构应变变化，具有抗电磁干扰、耐腐蚀等优势，在桥梁关键截面布置时可实现毫米级应变监测精度。长期监测可以实时掌握桥梁的结构状态，及时发现潜在的安全隐患。荷载试验环节，动载试验通过重载车辆以不同速度通过桥梁，采集加速度、位移等动态响应数据，结合频谱分析评估结构自振频率与阻尼比，为行车舒适性评价提供量化依据。荷载试验是检验桥梁承载能力的重要手段，可以为养护管理提供科学依据。

3.3 养护工程全流程精细化管控

施工组织设计需编制标准化工艺流程图，支座更换作业应明确顶升高度控制值、临时支撑布置方案及复位顺序，顶升过程采用分级加载方式，每级加载量不超过设计值的20%。全流程精细化管控可以确保养护工程的质量和安全。交通组织方案需结合高峰时段车流量数据，通过可变情报板提前发布占道信息，临时车道划分采用反光锥桶与水马组合隔离，夜间作业区域增设频闪警示灯与导向箭头灯。合理的交通组织方案可以减少养护工程对交通的影响，保障交通顺畅。质量控制环节，材料进场验收应核查环氧树脂粘结强度检测报告，现场抽检比例不低于10%，注浆施工需实时监测压力值与温度变化，压力波动范围控制在设计值的±5%以内，温度异常时立即启动应急冷却措施。严格的质量控制可以保证养护工程的质量符合要求。

3.4 信息化管理平台功能深化

数据库架构包含病害信息核心表与养护活动日志表，前者记录病害空间坐标、几何尺寸、严重程度等属

性,后者存储养护时间、人员资质、材料批次等溯源信息。信息化管理平台可以实现养护管理的信息化和智能化,提高管理效率。地理信息系统(GIS)平台实现桥梁三维模型与病害热力图的空间耦合,支持按构件类型、病害等级进行可视化筛选。GIS平台可以直观地展示桥梁的病害情况,为养护决策提供直观的依据。智能预警模块基于历史数据训练机器学习模型,通过特征参数演变趋势预测剩余使用寿命,当结构响应超过阈值时自动触发维护工单生成机制。智能预警模块可以提前发现桥梁的安全隐患,及时采取措施进行处理。

4 市政道路桥梁工程养护管理技术发展趋势

4.1 智能化检测技术突破

智能化检测技术的突破成为市政道路桥梁养护管理升级的重要支撑,依托现代传感与航空航天技术发展,巡检模式实现从人工主导向智能自主的转型^[4]。无人机巡检技术融合多光谱成像与激光雷达扫描技术,可精准识别结构早期锈蚀隐患,同步完成结构三维形态重构,突破传统巡检难以覆盖的隐蔽区域限制,提升巡检过程的安全性及全面性。机器人检测技术聚焦钢结构隐蔽病害探查需求,通过专用检测设备搭载适配探测仪器,可灵活进入人工无法抵达的狭小空间,实现对结构内部病害的精准捕捉与细致排查,推动检测工作向精细化、无死角方向发展,契合现代市政设施养护的智能化发展导向。

4.2 绿色养护技术革新

绿色养护技术革新紧扣生态环保与节能降耗的行业发展理念,在材料应用与施工工艺层面实现双重升级。环保材料的研发与应用逐步替代传统高污染材料,新型环保涂料具备低挥发、低污染特性,可有效降低养护作业对周边环境的影响,同时提升结构防腐性能,延长养护周期。节能工艺的优化聚焦施工效率与能源节约的双重目标,通过新型加热技术加速混凝土裂缝注浆材料固化,缩短养护作业时长,减少能源消耗,实现养护施工与生态环保的协同推进,符合公路养护技术标准中突出绿色养护理念的要求。

4.3 全生命周期管理深化

全生命周期管理深化依托数字技术与智能算法,实现养护管理从阶段性管控向全流程闭环管控的转变。全生命周期管理是对桥梁从建设到报废整个过程的全面管理,有助于提高桥梁的综合效益,降低全生命周期成

本。数字孪生技术通过构建精准的结构三维模型,整合养护全流程数据,可模拟不同养护方案对结构服役寿命的影响,为养护方案的优化提供科学支撑。AI辅助决策技术基于深度学习算法,整合历史养护数据与结构运行状态信息,完成养护优先级排序与成本优化,提升养护决策的科学性与合理性,推动养护管理从经验驱动向数据驱动转型,让模型持续服务于设施运维全过程。

4.4 技术标准与规范升级

技术标准与规范升级紧跟养护技术发展步伐,逐步完善检测监测与效果评价的技术体系。技术标准与规范是养护管理的准则,随着技术的不断发展,需要及时更新完善,以确保养护工作的科学性与规范性。检测监测指标的动态更新结合新型检测技术的应用,补充完善各类新型传感器数据的解读要求,确保检测数据的解读科学规范,为养护决策提供可靠依据^[5]。养护效果评价方法的优化摆脱传统定性描述的局限,转向结构耐久性的量化评估,通过科学的评价指标与方法,精准反映养护作业的实际成效,引导养护工作向标准化、规范化方向发展,契合市政设施管养标准完善的行业需求。

结束语

市政道路桥梁工程养护管理技术的持续创新与实践,为桥梁安全运行提供了坚实保障。通过智能化检测、绿色养护、全生命周期管理深化及技术标准规范升级等举措,养护管理正朝着科学化、精细化、智能化方向迈进。不断优化养护技术体系,强化实施要点管控,有助于提升桥梁养护质量,降低全生命周期成本,为城市基础设施的高质量发展提供有力支撑,推动城市交通系统稳定、高效运行。

参考文献

- [1]苟伟民.市政道路桥梁工程伸缩缝施工技术的研究[J].商品与质量,2021(25):362.
- [2]魏然.市政路桥工程中路基加固处理技术分析[J].散装水泥,2024(1):18-20.
- [3]韩爱荣.市政道路桥梁施工要点及现场管理方法探究[J].越野世界,2024,19(12):63-64.
- [4]黄东.市政道路桥梁工程养护管理中的问题研究[J].房地产导刊,2024(18):82-84.
- [5]吕亮霖.市政道路桥梁施工及养护管理措施探析[J].建材与装饰,2023,19(35):148-150.