

公路桥涵伸缩缝病害巡查与快速修复方法研究

秦光明

(云南省文山州麻栗坡县地方公路管理段, 云南 文山 663300)

摘要 公路桥涵伸缩缝病害直接干扰交通通行与结构安全, 当前巡查存在识别精准度欠佳、流程适配性不足及修复针对性薄弱等问题。本文认为可结合病害形成机理与巡查实际, 融入无损检测技术构建标准化识别体系, 完善分级分类巡查流程, 运用成因导向的针对性修复工艺, 切实改善病害识别精准度与巡查效率, 强化修复工程质量与结构耐久性, 为公路桥涵伸缩缝养护提供高效支撑方案, 提高交通基础设施养护精细化水平。

关键词 公路桥涵; 伸缩缝病害; 精准巡查; 快速修复; 养护优化

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.032

0 引言

伸缩缝作为公路桥涵的关键构成部分之一, 起到协调结构形变、缓冲荷载冲击的核心作用, 其质量密切关系到路网通行安全与耐久性。在交通量持续攀升、环境条件复杂多变的态势下, 伸缩缝病害频发且整治难度加大, 传统巡查修复模式已难以满足精细化养护需求^[1]。秉持绿色交通与高质量发展导向, 围绕病害精准识别、作业流程优化与修复质量提升三大重点, 以技术革新与流程重构突破现存瓶颈, 可为桥涵伸缩缝养护构建科学高效的实施路径, 助力交通基础设施养护水准稳步提升。

1 公路桥涵伸缩缝应用背景与病害巡查现状

公路桥涵伸缩缝作为适配桥面温度变形与缓冲车辆荷载冲击的核心构件, 直接关系到行驶平顺性与桥涵结构安全稳定。其长期暴露于复杂自然环境与高频交通荷载中易出现填料脱落、螺栓松动、钢板变形、缝隙堵塞等病害, 未及时处置将引发雨水下渗侵蚀梁体与墩台, 进而加剧结构损伤^[2]。当前病害排查多依赖人工目视检测, 受环境光照、人员经验等因素制约难以精准捕捉隐蔽病害, 且排查流程缺乏标准化规范, 存在重点区域遗漏、信息记录滞后等问题, 导致病害发现不及时、处置延后, 无法满足桥涵养护精细化发展需求。随着桥梁规模与交通需求持续增长, 传统巡查手段在数据获取广度、深度及实时性方面的局限愈发突出, 难以形成对伸缩缝运行状态的动态连续监测。隐蔽性病害在早期往往无明显表征, 如缺乏技术手段辅助识别, 极易错过最佳处治时机, 从而导致病害在短

期内迅速恶化, 进一步加大后期修复难度与养护成本。

2 公路桥涵伸缩缝病害及巡查核心问题

2.1 病害识别精准性不足及类型判定模糊

伸缩缝长期暴露于露天环境, 易遭泥沙、沥青等杂物堆积覆盖, 细微裂缝、内部螺栓松动、填料隐性老化等早期病害隐蔽性突出, 人工目视巡查难以穿透表层遮挡实现精准识别^[3]。不同病害表现形式存在交叉叠加特征, 填料脱落与钢板变形多伴随发生, 缝隙堵塞可能遮蔽内部结构损伤, 缺乏明确判定标准的情况下, 巡查人员难以精准区分病害主次关系与核心属性。伸缩缝病害程度分级缺乏量化支撑, 裂缝宽度、钢板变形量、螺栓锈蚀程度等关键指标判断依赖个人经验, 易出现轻度病害误判为重度或重度病害漏判的情形, 直接关联后续修复方案的合理性与针对性。隐蔽性病害若无法在早期得到有效识别, 往往在短时间内迅速扩展, 引发结构受力异常, 甚至导致伸缩缝功能衰减。巡查精度不足不仅影响病害评估结果, 还会造成修复决策滞后, 使得原本可控的轻微病害演变为更为复杂的结构性问题。

2.2 巡查流程适配性欠缺及效率短板

当前巡查流程多采用同质化模式, 未结合伸缩缝所在桥涵的结构类型、交通流量、服役年限等差异做差异化设计, 高交通负荷路段、服役较久桥涵等重点区域巡查频次与深度均显不足, 低风险区域巡查存在资源配置冗余^[4]。巡查缺乏标准化规程, 信息记录多依赖纸质台账或简易电子表, 数据录入不及时、核心参数缺失, 难以实现巡查数据实时同步共享。人工巡

作者简介: 秦光明 (1992-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路桥梁养护。

查受地形、气象等环境因素制约明显，大型桥梁、复杂路况下的伸缩缝巡查存在巡查盲区，整体巡查效能偏低，无法满足大规模桥涵养护时效要求，导致病害处置周期拉长。巡查流程缺乏适配性不仅造成巡查覆盖率偏低，还会削弱病害预警能力，使部分处于早期阶段的隐性病害无法被及时识别。随着桥梁规模与管理数量不断增长，这一流程短板愈加凸显，进一步压缩养护部门的处置时限，影响整体养护决策效率。

2.3 病害成因复杂及修复针对性薄弱

伸缩缝病害的形成是多方面因素交织作用的结果，自然环境下温度交替诱发的伸缩疲劳、雨水侵蚀，交通荷载下车辆反复冲击造成的结构损耗，材料老化及施工环节工艺缺陷、选型适配性不足等，均可能单独或协同引发病害^[5]。缺少对成因的系统性溯源梳理，修复作业多局限于表层处理，未针对核心诱因采取针对性措施，仅对脱落填料进行简易填充，未能解决导致填料脱落的钢板变形或螺栓松动隐患，病害极易二次出现；盐蚀诱发的病害处置中，未采取针对性防腐措施，仅实施常规修复，难以从根源上增强伸缩缝的耐久性，最终造成修复资源无谓消耗与养护成本增加。若缺乏成因导向的综合研判，修复策略往往呈现被动补救的特征，使伸缩缝长期处于“反复损坏—反复修复”的循环之中，不仅增加养护工作量，也可能削弱结构整体性能。科学的成因分析对于制定精准修复方案至关重要，是实现养护提质增效的核心基础。

3 公路桥涵伸缩缝精准巡查与高效修复方案

3.1 病害精准识别与类型判定技术

借助无损检测技术与数字化手段构建多维识别体系。针对伸缩缝隐蔽性病害，运用超声波检测技术穿透表层杂物探测细微裂缝、内部螺栓松动等深层问题；以雷达探测采集伸缩缝内部结构密度数据，评估填料老化程度与钢板锈蚀范围；融入图像识别技术，借助高清摄像头采集伸缩缝表面图像，经算法对图像实施灰度处理与特征提取，智能辨识填料脱落、钢板变形、缝隙堵塞等显性病害的形态与位置^[6]。构建标准化病害类型判定框架，界定不同病害的核心特征参数，裂缝宽度、钢板变形量、螺栓松动扭矩、填料老化程度等量化指标将病害界定为轻度、中度、重度三个等级，轻度病害涵盖裂缝宽度小于0.2 mm、螺栓轻微松动，中度病害为裂缝宽度0.2~0.5 mm、钢板局部变形，重度病害为裂缝宽度大于0.5 mm、钢板严重扭曲或螺栓大面积锈蚀。整合伸缩缝结构类型、服役年限等基础信息构建病害类型数据库，经大数据分析实现病害

特征与类型的智能匹配，降低人为经验判断的误差，保障病害识别与类型判定的精准性，为后续修复工作提供可靠依据。这些技术的融合应用显著提升了病害诊断的全面性，有助于实现对伸缩缝运行状态的持续跟踪与动态评估。

3.2 巡查流程优化与效率提升方法

构建桥涵差异化巡查机制（见图1），结合桥涵所在路段交通承载量、伸缩缝使用年限、结构类型等，将巡查区域划分为高风险、中风险、低风险三个等级。高风险区域涵盖高负荷交通路段、使用超15年的老旧桥涵、气候条件恶劣区域，提高巡查密度每月至少2次，运用无损检测配合人工复核；中风险区域每季度巡查1次，低风险区域每半年巡查1次，以人工巡查为核心方式。拟定标准化巡查操作规范，厘清巡查前设备准备、巡查中关键检查点位与操作步骤、巡查后信息记录要求，统一采用移动端巡查系统，实时录入病害位置、类型、等级等数据，自动生成巡查报告，实现数据实时同步与共享。引入无人机巡查技术，针对大型桥梁、复杂路况等人工巡查难以覆盖的区域，借助无人机搭载高清摄像头与检测设备，开展全方位无死角巡查，强化巡查覆盖范围与效率^[7]。构建巡查人员培训体系，常态化开展病害识别、设备操作、数据记录等专业培训，强化巡查人员业务能力，保障巡查流程规范执行，有效缩短病害发现与处置周期，满足大规模桥涵养护的时效性需求。

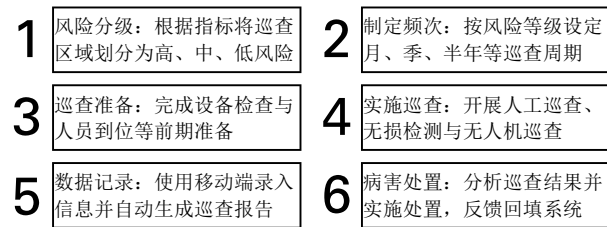


图1 桥涵差异化巡查机制流程图

3.3 成因导向的针对性修复工艺

针对温度交替与交通荷载引发的伸缩疲劳类病害，选用高弹性抗老化新型填缝材料。该材料需具备优良伸缩变形能力，可适配温度变化带来的伸缩需求，同步提升与钢板的黏结强度以抵御车辆往复冲击，修复前期需彻底清除缝隙内杂物与老化填料，经高压水枪冲洗后自然风干，保障修复面洁净干燥状态。针对雨水侵蚀与盐类腐蚀诱发的病害，修复流程中增设防腐处理工序，于钢板表面涂刷防腐涂料，螺栓连接处采用防腐密封胶，选用抗腐蚀性能优异的不锈钢配件，从根源上阻断腐蚀路径，已出现锈蚀的钢板与螺栓需

彻底除锈后再开展防腐及修复作业^[8]。针对施工工艺不当或选型不合理诱发的病害,重新核验伸缩缝型号与结构参数,保障与桥涵结构的适配性。施工阶段严格把控安装精度,保障伸缩装置平整度与牢固性,规避安装偏差诱发后续病害。钢板变形、螺栓松动等问题需及时更换受损部件,调整支座受力状态以保障伸缩缝与桥涵结构协同运作。修复完成后需开展养护管理工作,设置警示标识限制重型车辆通行,定期核查修复效果并及时处置潜在问题,提升伸缩缝修复质量与耐久性水平。

4 公路桥涵伸缩缝巡查修复实践效果

4.1 病害识别准确率与类型判定精准度提升

采用无损检测技术与可视化设备,高清内窥镜探查伸缩缝内部结构,借助超声波检测仪识别潜藏的螺栓松动、钢板内部损伤,搭配裂缝宽度尺等量化工具实现关键指标的精准量化^[9]。构建标准化病害识别体系,界定填料脱落、螺栓锈蚀、钢板变形、缝隙堵塞等病害的特征参数与判定阈值,厘清主次病害关联,规避交叉叠加病害的误判情形。针对不同服役年限、结构类型的伸缩缝,拟定适配性识别规范,明晰轻度、中度、重度病害的分级标准,降低人工经验判断带来的偏差。技术培训增强巡查人员对病害特征的辨识能力,依托典型病害案例库深化实操层面的认识,保障快速精准辨识早期潜藏病害,准确界定病害类型与严重程度,为后续科学制定修复方案提供可靠的技术支撑。

4.2 巡查流程适配性与作业效率改善

构建分级分类巡查机制,结合桥涵交通流量、伸缩缝服役年限、历史病害数据等因素界定巡查对象为高、中、低风险等级,高负荷路段、老旧桥涵等重点区域需提升巡查频次与深度实现资源精准投放^[10]。确立标准化巡查操作规范界定巡查步骤、关键检查点及必测参数,配备数字化巡查终端实现病害信息实时录入、照片上传与数据同步,规避纸质记录的滞后性与遗漏问题。融合地理信息系统与桥涵养护数据库构建可视化巡查管理平台,规划设计最优巡查路线实时跟进巡查进度,破解地形、天气等因素造成的作业盲区。数字化、智能化手段精简巡查流程,降低人工干预,提高单批次巡查覆盖范围与数据处理效率,压缩病害发现与反馈周期,契合大规模桥涵养护的时效性需求。

4.3 修复工程质量与耐久性保障

依托病害成因溯源结论,采用针对性修复工艺,交通荷载冲击引发的钢板变形先校正或更换受损钢板,再开展填料填补作业,盐蚀诱发的病害修复过程中添

加防腐添加剂并涂刷抗渗防腐涂层。甄选抗老化、抗疲劳、耐侵蚀的专用填缝料与结构件,保障材料性能与伸缩缝工作环境、结构要求精准适配^[11]。严格规范修复施工全流程,施工前彻底清理伸缩缝内杂物与破损基层,施工中精准把控材料配比与浇筑压实工艺,施工后检测压实度、伸缩性能等关键指标。构建修复后跟踪养护机制,定期监测伸缩缝工作状态,及时处置初期隐患,结合环境条件与使用情况优化养护周期。成因导向的修复工艺、优质适配的材料选择及全流程质量管控,可有效增强修复工程稳定性与耐久性,切实降低病害复发率和长期养护成本。

5 结束语

公路桥涵伸缩缝病害的精准巡查与快速修复,是保障桥涵结构安全、提升通行效率的核心环节。聚焦病害识别、巡查流程、修复工艺等核心问题,依托技术创新与流程优化形成的解决方案,可切实改善病害识别精准度、巡查作业效能及修复工程耐久性。成因导向的养护模式可从根源上减少病害复发频次,合理控制养护投入成本。未来需持续完善技术路径,结合实际应用场景迭代优化方案,为交通基础设施长效运维提供更为坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 杨文强.公路桥涵病害防治及养护管理措施研究[J].产品可靠性报告,2025(10):210-211.
- [2] 黄鲁明.公路桥涵病害防治及养护管理分析[J].科技创新与应用,2025,15(18):154-157.
- [3] 唐勇.高速公路桥涵常见病害特点及原因分析[J].运输经理世界,2025(15):101-103.
- [4] 李强.基于加权区间层次分析的混凝土梁式桥技术状况评定[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [5] 李剑雄.对桥涵构造物施工质量管理的研究[J].四川建材,2022,48(07):112-113.
- [6] 郑鑫.基于现有规范的钢管混凝土拱桥技术状况评定改进研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [7] 丁宏建.聚氨酯混凝土伸缩缝锚固区受力性能研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2022.
- [8] 朱岩.陕西省高速公路桥涵小修保养年公里生产消耗指标研究[D].西安:长安大学,2019.
- [9] 张佳念.装配式简支梁桥预防性养护试验研究[D].太原:太原科技大学,2019.
- [10] 陈旭芳.现有桥梁技术评估方法的改进研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [11] 陈敦,李国玉,牛富俊,等.喜马拉雅山区公路桥涵病害类型及特征研究[J].防灾减灾工程学报,2023,43(01):18-31,59.