

公路桥梁病害智能检测与快速修复技术研究

文 旗 杨得源

南阳市远大道路桥梁工程有限公司 河南 南阳 473000

摘 要: 公路桥梁病害影响结构安全与使用。本文分析常见病害类型及成因, 涵盖结构与非结构病害。介绍智能检测技术, 包括无损检测、机器视觉及多技术融合。阐述快速修复技术, 涉及材料、工艺与设备。探讨智能检测与快速修复技术集成应用, 涵盖系统架构、数据传输、方案生成与施工监控, 为桥梁养护提供技术支持。

关键词: 公路桥梁; 病害; 智能检测; 快速修复; 集成应用

引言: 公路桥梁作为交通要道, 对经济发展意义重大。但长期受荷载、环境等因素影响, 易出现各类病害, 威胁结构安全与通行能力。传统检测与修复方法效率低、精准确度欠佳。智能检测技术高效精准, 快速修复技术能缩短工期。将二者集成应用, 可实现病害快速精准检测与修复, 提升桥梁养护水平, 保障交通顺畅运行。

1 公路桥梁常见病害类型及成因分析

1.1 结构病害

裂缝在公路桥梁结构病害里十分常见。梁体出现裂缝, 多是因为长期承受车辆荷载, 反复的应力作用让混凝土内部产生微小裂纹, 随着时间推移逐渐扩展。桥墩裂缝的产生, 温度变化是重要因素, 昼夜温差大时, 桥墩材料热胀冷缩, 不同部位收缩程度不同, 就容易引发裂缝。桥面裂缝, 混凝土收缩是主要原因, 混凝土在硬化过程中水分蒸发, 体积缩小, 若收缩受到约束, 就会产生裂缝。桥梁结构变形也不容忽视。竖向变形方面, 基础沉降是关键诱因。若桥梁所处地质条件不佳, 地基承载力不足, 在长期荷载作用下, 基础会发生不均匀沉降, 导致桥梁结构竖向变形。横向变形则多与结构受力不均有关, 当桥梁一侧承受的荷载远大于另一侧, 或者结构本身设计存在缺陷, 受力分布不合理, 就会引发横向变形^[1]。连接部位病害同样影响桥梁安全。伸缩缝损坏, 车辆频繁冲击是重要原因, 车辆行驶时对伸缩缝产生反复的挤压和碰撞, 加速了伸缩缝的磨损和破坏。支座老化也不容小觑, 支座长期暴露在自然环境中, 受风吹日晒、雨水侵蚀, 材料性能逐渐下降, 出现老化现象, 影响桥梁的正常使用。

1.2 非结构病害

混凝土表面缺陷影响桥梁美观与耐久性。混凝土剥落, 施工工艺不当是常见因素, 比如混凝土振捣不密实, 内部存在空隙, 在荷载和环境作用下, 空隙处混凝土容易剥落。露筋多因保护层厚度不足, 钢筋失去保护, 与

外界环境直接接触, 发生锈蚀膨胀, 导致混凝土开裂剥落露出钢筋。蜂窝麻面则是混凝土浇筑时, 振捣不充分, 气泡未完全排出, 在混凝土表面形成蜂窝状孔洞和麻面。钢构件锈蚀会降低桥梁结构强度。钢梁、钢护栏等钢构件锈蚀, 环境湿度大是重要条件, 潮湿环境加速了钢构件表面的电化学反应。氯离子侵蚀也不可忽视, 在一些沿海地区或使用除冰盐的路段, 氯离子会破坏钢构件表面的氧化膜, 使钢构件更容易锈蚀。

2 公路桥梁病害智能检测技术

2.1 智能检测技术概述

在公路桥梁病害检测领域, 智能检测技术正逐渐崭露头角, 展现出相较于传统检测方法的显著优势。传统检测方法往往需要大量人力投入, 检测效率低下, 且检测结果受人因素影响较大, 精准确度难以保证。而智能检测技术具备高效、精准、非接触式等特点。高效体现在能够快速完成大面积桥梁结构的检测任务, 大大缩短检测周期; 精准则是指能更精确地识别病害类型、定位病害位置、评估病害程度; 非接触式检测避免了传统检测可能对桥梁结构造成的二次损伤。凭借这些优势, 智能检测技术在公路桥梁病害检测中有着广阔的应用前景, 有望成为未来桥梁检测的主流方式。

2.2 基于无损检测的智能技术

超声波检测技术是利用超声波在混凝土和钢构件中传播的特性来开展检测工作。超声波在传播过程中, 遇到内部缺陷如裂缝、空洞等, 其传播路径、速度和能量等参数会发生改变。通过分析接收到的超声波信号, 依据这些参数的变化情况, 就能准确检测出内部缺陷的位置、大小以及裂缝深度等信息。红外热成像检测技术基于红外热成像原理。一切温度高于绝对零度的物体都会向外辐射红外线, 物体表面温度分布不同, 辐射的红外线强度也不同。利用红外热成像设备捕捉这些红外线, 将其转化为可视化的热图像^[2]。通过观察热图像中温度

分布的差异,就能检测出桥梁结构的脱空、渗漏等病害。例如,脱空部位与正常部位的温度传导存在差异,在热图像上会呈现出明显的温度梯度变化。雷达检测技术依靠雷达波在桥梁结构中的传播和反射规律进行检测。雷达波向桥梁结构内部发射,遇到不同介质界面时会发生反射,反射波携带了地下埋设物、混凝土内部钢筋分布及缺陷等信息。通过接收和分析反射波,形成雷达图像,专业人员可以根据图像特征识别出相关信息,准确判断桥梁结构内部状况。

2.3 基于机器视觉的智能检测技术

图像采集与处理环节,采用高清摄像头、无人机等设备采集桥梁图像。高清摄像头可安装在固定位置或移动检测设备上,对桥梁局部进行细致拍摄;无人机则能灵活飞行,从不同角度对桥梁整体进行图像采集。采集到的图像可能存在噪声、对比度低等问题,需要进行预处理,如去噪、增强等操作,以提高图像质量。之后运用特征提取技术,从图像中提取与病害相关的特征信息,为后续病害识别做准备。病害识别算法方面,基于深度学习的卷积神经网络(CNN)等算法在桥梁病害识别中发挥着重要作用。通过收集大量带有病害标注的桥梁图像数据,对模型进行训练。训练好的模型能够自动学习病害的特征模式,实现对裂缝、剥落等病害的自动分类和定位,大大提高了病害识别的效率和准确性。

2.4 多技术融合检测系统

将多种智能检测技术融合具有明显优势。综合利用无损检测和机器视觉技术,能充分发挥各自的长处,提高病害检测的全面性和准确性。融合检测系统一般由数据采集模块、数据处理模块和结果输出模块等构成。工作流程上,多种检测设备同时采集桥梁结构的不同信息,数据传输至数据处理模块进行融合分析,最终将检测结果通过结果输出模块呈现出来,为桥梁养护决策提供可靠依据。

3 公路桥梁病害快速修复技术

3.1 快速修复材料研究

高性能混凝土材料在桥梁快速修复中至关重要。通过优化配合比设计,这类材料能在短时间内形成高强度结构,早期强度发展快,24小时抗压强度可达30兆帕以上,可有效缩短工程封闭周期。其内部致密的微观结构,赋予其优异的抗渗和耐久性能^[3]。在桥梁裂缝修补时,高性能混凝土与原有基体能建立牢固结合界面,保证协同工作;用于梁体结构加固时,它体积稳定性良好,能控制收缩变形。聚合物修补材料体系有环氧树脂和聚合物水泥砂浆等类型。环氧树脂固化后形成高强度整体,与

混凝土基面粘结强度超3兆帕,渗透性好,能深入基材形成机械咬合力。聚合物水泥砂浆兼具有机材料的韧性和无机材料的耐久性,适用于桥梁墩台表面修复,在潮湿环境下仍能保持稳定粘结性能,为特殊工况快速修复提供支撑。纤维增强材料主要有碳纤维和玻璃纤维。碳纤维布抗拉强度高,用专用粘结剂粘贴于混凝土结构受拉区域,可显著提升构件抗弯承载力;在桥墩加固中,环向包裹碳纤维布能形成有效约束,改善结构延性。玻璃纤维筋材可替代钢筋,应用于腐蚀环境下的混凝土修复,解决金属材料锈蚀问题,为提升桥梁结构承载能力提供新路径。

3.2 快速修复工艺研究

裂缝修补工艺需依裂缝性质选方法。宽度较大的活动裂缝,常用压力灌浆工艺,注浆时保持0.2至0.4兆帕工作压力,让低粘度浆液充分填充裂缝。表面封闭工艺适用于微裂缝修复,涂布柔性密封材料形成连续防水膜层。施工时,裂缝表面清理质量影响修复效果,需用专用设备清除内部杂质。结构加固工艺有多种方法。增大截面加固通过增加混凝土断面尺寸提升构件刚度,新旧混凝土交界处要设足够连接钢筋。外包钢加固用型钢构架包裹原有构件,利用钢材高强度分担荷载。体外预应力加固在结构外部布设预应力索,通过调整力值改善受力状态。这类工艺对交通影响小,适合需维持通车的桥梁加固工程。连接部位修复重点在伸缩缝和支座。伸缩缝更换要精确测量梁端位移量,选合适型号伸缩装置,安装时严格控制标高精度,确保行车平顺。支座维护有调平与更换两种方式,轻微变形用楔形钢板调整高程,严重老化则整体更换。更换支座时,用同步顶升系统分级施加顶力,严格控制梁体抬升高度,避免次生损害。

3.3 快速修复设备与机具

高压灌浆设备是裂缝修复核心装备,工作压力可在0.1至10兆帕调节,配备精密过滤系统,防止浆料堵塞管路。先进机型集成智能控制系统,能根据工况自动优化注浆参数,配合快速固化材料,大幅缩短裂缝修复时间。混凝土喷射设备有多种类型,湿喷设备因回弹率低、施工质量好而广泛应用。高性能湿喷设备每小时喷射量可达8立方米,喷射距离超40米,满足高空作业需求。其速凝剂添加装置能精确控制掺量,保证混凝土快速形成强度。纤维布粘贴设备含表面处理与张拉粘贴两个子系统。自动研磨设备有高效除尘装置,处理混凝土表面时能控制粉尘污染。纤维布张拉设备通过液压系统施加适当预应力,消除安装松弛。专用滚压设备有恒压控制功能,确保纤维布与混凝土表面充分浸润,提升纤维加固施工质量。

4 智能检测与快速修复技术的集成应用

4.1 集成系统架构设计

智能检测与快速修复技术的集成系统采用分层架构设计,构建从数据采集到修复执行的完整技术链条。数据采集模块通过布设在桥梁关键部位的传感器网络,持续获取结构响应与环境参数^[4]。这些传感设备包括应变计、位移监测器和动态称重系统,形成覆盖全桥的感知神经网络。病害诊断模块运用机器学习算法对采集数据进行深度解析,自动识别裂缝发展、材料劣化等典型病害特征。修复决策模块整合结构评估结果与工程经验数据库,生成包含修复时序、工艺选择和资源调配的完整方案。施工控制模块将方案转化为具体指令,驱动修复设备完成精准作业。这种模块化架构实现了从病害识别到修复完成的全流程闭环管理,显著提升桥梁养护的智能化水平。

4.2 数据传输与共享

系统通过多模式通信网络确保检测数据与施工指令的可靠传输。有线网络采用工业级光纤传输检测点的高清图像与视频数据,保证大容量数据的稳定输送。无线通信模块依托5G网络低延时特性,实现移动检测设备与指挥中心的实时交互。在数据传输过程中,系统采用分层加密技术保护关键信息,防止数据篡改与泄露。所有检测数据自动上传至云端数据库,不同权限的用户可通过终端设备查阅所需信息。这种开放式的数据共享机制,使检测人员、设计工程师与施工团队能够在统一平台协同工作,为修复决策提供完整准确的数据支持。

4.3 修复方案智能生成

智能修复方案生成系统基于深度学习框架构建,通过分析历史维修案例建立方案决策模型。系统接收检测数据后,首先对病害类型进行精确分类,判断属于裂缝、剥落或是结构变形等类别。随后评估病害严重等级,结合桥梁结构形式、交通荷载等背景参数,从材料库中选择最适宜的修复材料。方案生成过程中,系统自动匹配施工工艺与设备组合,计算材料用量与工程周期,形成详细施工计划。对于特殊结构桥梁,系统会启动多方案比选程序,从技术可行性、经济性和施工便捷度等维度

综合评估,推荐最优修复策略。这种智能决策方式显著提高方案制定的效率与科学性。

4.4 施工过程智能监控

修复施工全过程通过智能监控系统实现精细化管理。高清摄像机组从多角度记录施工场景,视频智能分析系统自动识别施工人员安全装备佩戴情况与设备运行状态。分布在施工区域的传感器实时采集材料温度、稠度等关键参数,确保修复材料性能符合设计要求。施工进度管理系统将实际进度与计划进度动态比对,发现偏差立即预警^[5]。质量验收环节采用数字化记录方式,每个施工步骤的检验数据自动归档生成电子档案。监控中心大屏集中展示各项关键指标,管理人员通过可视化界面全面掌握施工动态,及时协调处理异常情况。这种全方位监控模式有效保障修复工程的质量与进度。

结束语

公路桥梁病害智能检测与快速修复技术的集成应用,是桥梁养护领域的重要发展方向。通过智能检测精准识别病害,快速修复技术及时处理病害,集成系统实现全过程信息化管理。这不仅提高了桥梁养护效率与质量,降低养护成本,还保障了桥梁安全运营。持续深入研究与推广应用,对推动公路桥梁养护技术进步意义重大。

参考文献

- [1]李龙安.公路桥梁常见病害分析及检测维修技术探讨[J].交通世界,2021(12):128-129.[12]陈少青.高速公路桥梁试验检测技术及应用方法研究[J].运输经理世界,2025(22):74-76.
- [2]王超.软弱地基条件下桥梁病害智能检测方法设计[J].建筑技术开发,2023,50(2):125-128.
- [3]刘博,李响.智能检测技术在公路桥梁运维中的应用[J].黑龙江交通科技,2024,47(8):102-107.
- [4]张宏.公路桥梁伸缩缝病害检测与快速修复技术研究[J].工程建设与发展,2025,4(4):83-85.
- [5]董忠.桥梁伸缩缝病害成因及快速修复技术优化方案研究[J].运输经理世界,2025(21):103-105.