

运营期隧道桥梁裂缝、渗水病害综合检测方案研究

赵俊杰

山西省交通建设工程质量检测中心(有限公司) 山西 太原 030032

摘要:隧道与桥梁在长期运营过程中易出现裂缝、渗水等典型结构病害,直接影响工程服役性能与运营安全。本文分析运营期隧道桥梁裂缝、渗水病害的成因与危害,探究两类病害的相互作用关系。梳理无损检测、智能监测及各类辅助检测技术的应用特点,制定涵盖检测前期准备、现场实操、数据处理分析的完整综合检测实施流程。研究形成系统化病害检测方案,可精准排查结构病害、评估结构安全状态,为隧道桥梁运维、病害整治及安全管控提供技术支持。

关键词:运营期;隧道桥梁;裂缝;渗水;综合检测;方案

引言

隧道桥梁是交通工程的核心基础设施,长期运营中易受荷载、环境、施工等因素影响,产生裂缝、渗水等典型病害。两类病害相互耦合、恶性循环,会弱化结构承载力与耐久性,引发安全隐患,影响交通运营安全。为精准掌握结构病害状态,科学开展运维工作,本文分析运营期隧道桥梁裂缝、渗水病害的成因与关联危害,梳理各类检测技术,制定系统化综合检测实施流程,为工程病害排查与安全评估提供参考。

1 运营期隧道桥梁裂缝、渗水病害成因及危害分析

1.1 裂缝病害成因及危害

隧道桥梁在长期运营过程中,裂缝病害的产生主要源于荷载作用、温度变动、地基沉降及混凝土自身收缩四类核心因素。道路通行过程中,过往车辆持续反复施加荷载,会让桥梁、隧道主体结构长期处于疲劳受力状态,逐步产生疲劳裂缝。外界环境温度的持续升降,会让混凝土结构出现热胀冷缩变形,结构内部随之产生附加应力,当应力超出混凝土承受极限后就会形成开裂问题。部分路段地基存在土质不均、沉降不稳的情况,会造成构筑物受力不均衡,进而引发结构性裂缝。同时,混凝土浇筑成型后的收缩变形,若受到结构自身约束限制,也会产生常见的收缩裂缝。裂缝病害会直接影响隧道桥梁的结构性能,弱化主体承载能力,让结构抵御荷载的能力大幅下降,增加结构破损风险。裂缝形成的缝隙会成为雨水、有害介质的渗透通道,加速内部钢筋锈蚀老化,持续降低构筑物使用寿命。若裂缝问题长期得不到处置,病害会不断扩张,不仅会影响隧道桥梁的正常通行使用,还会埋下交通安全隐患,严重时会引起结

构安全事故。

1.2 渗水病害成因及危害

工程结构出现渗水病害,核心诱因集中在防水层损坏、混凝土开裂及施工缝施工质量不达标三个方面。结构防水层长期暴露在自然环境中,受物理磨损、化学腐蚀等因素影响,会逐步出现老化、破损、脱落等问题,彻底丧失防水防渗能力。混凝土结构受荷载作用、温度变化、收缩变形等影响产生裂缝后,会形成贯通性渗水通道,让外部水体能够直接渗入结构内部^[1]。同时,现场施工缝浇筑、接缝封堵等工序处理不到位,接缝位置密实度不足,也是引发结构渗水的重要原因。渗水问题会持续侵蚀工程混凝土主体和内部钢筋构件,逐步削弱结构整体强度,缩短工程使用寿命,降低结构耐久性。寒冷区域的渗水结构,水体渗入缝隙后遇低温结冰膨胀,会引发冻融病害,反复作用下会持续扩大结构破损范围,加重结构损伤程度。除此之外,结构渗水会改变隧道内部运营环境,干扰各类电气设备正常运行,引发设备故障、路面湿滑等问题,直接降低隧道整体运营安全系数。

1.3 裂缝与渗水病害的关联性

在工程结构使用过程中,裂缝病害和渗水病害存在直接的关联作用,两类病害并非独立存在,而是会互相作用、持续加重结构损伤。结构表面产生的各类裂缝,是水体渗入结构内部的主要路径,完整密实的结构基体不会出现渗水问题,裂缝的产生直接打通了渗水通道,让外界水分能够顺利进入结构内部。同时,渗水问题的持续存在,也会反向推动裂缝持续发展扩张,进一步破坏结构整体稳定性。当水分顺着裂缝渗入混凝土结构内

部后,会直接接触内部配筋,长期含水环境会造成钢筋发生锈蚀反应。钢筋锈蚀后会产生体积膨胀,对周边混凝土基体产生挤压作用力,让原本细小的裂缝不断变宽、变长,还会催生结构内部产生新的细微裂缝。结构裂缝持续发育扩张后,又会让渗水通道更大、透水效率更高,渗入结构内部的水分持续增多,进一步加剧钢筋锈蚀和结构破损,以此形成持续循环的病害损伤过程,逐步降低工程结构的承载力和耐久性能。

2 综合检测方案所运用的技术

2.1 无损检测技术

一是超声波检测技术,该技术主要利用超声波在混凝土介质中的传播特性,工作人员通过检测设备获取超声波传播时间、传播速度以及振幅等关键数据,根据实测数据判断混凝土结构内部是否存在裂缝、空洞等质量问题^[2]。该技术操作步骤简单,检测耗时短、效率高,适配各类大面积混凝土结构的批量检测作业,是混凝土内部缺陷检测的常用技术手段。二是雷达检测技术,该技术通过设备发射高频电磁波,接收混凝土结构内部传回的反射波信号,结合信号数据分析混凝土内部钢筋的实际布置位置、保护层厚度,同时排查结构内部隐藏的裂缝、空洞等缺陷。该技术检测精准度较高,探测深度能够满足常规混凝土结构检测需求,适用场景广泛,针对结构形式复杂的检测场景,需要作业人员具备扎实的专业知识和实操经验,保障检测数据准确有效。三是红外热成像检测技术,该技术基于物体红外辐射和表面温度分布的关联特性,借助红外热像仪采集混凝土表面的红外辐射信号并生成热像图,通过对比结构病害区域与完好区域的温度差值,定位混凝土裂缝、渗水等病害位置。该技术为非接触式检测,作业速度快,热像图呈现结果清晰直观,适用于混凝土结构大面积表面病害排查工作。

2.2 智能监测技术

(1) 传感器监测技术主要依靠各类功能性传感器开展工作,在工程结构相应位置布设应变、位移、温度、湿度等传感器设备,持续采集结构运行过程中的应力、形变、位移及环境温湿度等基础参数。工作人员通过整理、比对采集到的监测数据,可精准排查结构状态异常情况,有效识别结构裂缝、渗水等常见病害问题。该技术可实现全天候不间断数据采集,能够全面、持续反馈工程结构的真实运行状态。(2) 光纤传感技术以光纤传感原理为核心,将光纤材料铺设于工程结构表面或内部,依托光信号传输变化规律,监测结构应变、温度等关键参数。该技术不受电磁环境干扰,设备耐腐蚀、

检测精度高,适配各类复杂恶劣施工运维环境,可满足工程结构长期常态化监测需求。(3) 无人机巡检技术通过无人机搭载高清摄像、红外成像等设备,对桥梁、隧道等工程结构开展空中巡查作业。无人机可抵达人工巡检难以触及的区域,采集高清影像与视频数据,结合图像识别手段判定结构裂缝、渗水病害,整体作业灵活性强、巡检效率高,同时可规避人工高空作业的安全风险,大幅提升工程检测的整体工作效能。

2.3 其他辅助检测技术

隧道桥梁检测工作中,人工目视检查与钻孔取芯检测是两类常用的辅助检测手段。其中人工目视检查依靠专业检测人员完成,工作人员直接对隧道桥梁结构外观开展全面排查,重点核查结构表面是否出现裂缝、渗水等各类常见病害问题^[3]。该检测方式是隧道桥梁病害检测的基础手段,操作流程简便,能够直接观测结构外观病害,但检测结果稳定性较差,检测质量完全依托工作人员的从业经验,个人主观判断会对检测结果造成一定影响。钻孔取芯检测主要针对结构疑似存在病害的区域开展作业,通过专业设备在目标位置钻孔提取混凝土芯样,工作人员结合芯样外观状态观察以及室内专项试验数据,判定结构混凝土整体质量,精准排查结构内部存在的缺陷问题。该检测方式的检测数据准确度高,检测结果具备较强参考性,是可靠性较高的实体检测方法,但作业过程中会对隧道桥梁原有结构产生一定破损,实际检测作业中需结合现场情况审慎选用,避免过度损伤结构主体。

3 综合检测方案的实施流程

3.1 检测前准备工作

一是开展资料收集与分析工作,全面收集隧道桥梁工程的设计档案、施工记录、日常养护台账等相关资料,梳理掌握工程结构基础参数、现场施工工艺、历年病害缺陷及维修处置情况,通过对各类资料的整合研判,精准锁定结构检测的重点核查部位和核心检测参数,明确检测工作的侧重点。二是落实检测方案编制工作,结合前期资料分析结论、工程检测核心目的及现场实际工况,编制完整、可落地的专项检测方案,清晰明确本次检测所用技术方法、配套检测设备、在岗作业人员分工、各环节检测时间节点及作业流程,为检测工作规范化、有序化推进提供依据。三是做好检测设备准备与校准工作,严格对照检测方案的作业要求,配齐各类检测仪器设备,同时对所有进场设备开展全面调试、校准和试运行工作,排查设备故障和精度偏差,保证所有设备运行状态稳定、检测数据精准可靠,满足现场检测

作业标准。四是制定完善现场安全保障措施,结合隧道桥梁检测现场作业环境,建立专项现场安全管理制度,编制突发情况应急处置预案,在作业区域布设安全警示标识,配齐配全各类安全防护用具,全面落实安全管控要求,规避现场作业风险,保障所有检测作业人员的人身安全。

3.2 现场检测操作

(1) 外观检查:现场检测作业首先开展人工目视排查,作业人员全面巡查隧道、桥梁整体结构外观,逐一核查结构表面存在的各类病害问题,精准定位裂缝、渗水、破损、剥落等病害具体位置,如实记录各类病害的外在形态、延展尺寸、分布范围等基础信息,完整收集结构外观缺陷数据,为后续检测及病害研判提供基础依据^[4]。(2) 无损检测:严格参照既定检测方案标准开展作业,现场采用超声波检测、雷达检测、红外热成像检测等常规无损检测手段,对隧道桥梁主体结构及关键部位开展系统性细致检测。作业全程严格遵守各类检测设备的标准化操作流程,规范完成设备调试、点位检测、数据留存等全流程工作,规避人为操作失误、设备参数偏差等问题,保障所有采集的检测数据真实、准确、有效,确保检测结果能够真实反映结构实际状态。(3) 智能监测设备安装与调试:针对隧道桥梁需要长期跟踪监测的关键结构部位,现场完成传感器、光纤等各类智能监测设备的布设与安装工作,设备安装到位后,依次开展设备调试、参数校准、系统初始化等工作,逐项核验设备运行状态,排查设备故障、信号异常等问题,确保所有监测设备可稳定、正常运行,满足长期自动化监测作业要求。(4) 其他辅助检测:结合现场结构检测的实际需求以及无损检测的结果,针对性开展钻孔取芯等辅助检测作业,通过侵入式辅助检测方式,精准获取隧道桥梁结构内部的材质状态、密实度、内部缺陷等深层数据,弥补无损检测的局限性,完善结构检测数据体系,提升整体检测结果的完整性和精准度。

3.3 检测后数据处理与分析

第一,开展数据整理与存储工作,对工程现场检测作业中采集的全部原始数据进行统一梳理、分类规整,剔除无效、异常数据,规范数据格式,搭建专项工程检测数据库完成数据归档存储,统一数据存储标准,保障所有检测数据完整、可追溯,满足后续数据调取、复核

及深度分析的基础使用需求。第二,落实数据分析与评估工作,依托专业数据分析工具及行业通用数据处理方法,对归档后的检测数据进行系统运算、比对及处理,严格对照现行工程检测标准、结构设计规范及运营技术要求,精准研判工程结构存在的各类病害问题,量化判定结构病害等级,全面评估建筑结构整体安全性能、使用性能,最终明确当前结构状态是否符合正常运营、安全使用的各项硬性要求^[5]。第三,完成检测报告编制工作,结合全部数据处理结果、结构评估结论,据实编制完整的工程检测报告,报告如实涵盖项目工程基本概况、现场检测采用的设备及方法、各项具体检测数据结果、结构病害详细评估情况,同时依据结构现存问题给出针对性的维修、养护及整改建议,客观真实反馈工程结构实际状态,为项目业主及相关管理部门开展工程管理、运维决策、隐患整改等工作提供真实有效的数据支撑和参考依据。

结语

综上所述,隧道桥梁运营阶段的裂缝与渗水病害存在相互诱发、彼此加剧的耦合关系,会持续弱化结构承载能力与耐久性,威胁交通运营安全。针对两类病害的各类检测技术适配不同检测场景,可分层次排查结构表层与深层缺陷。规范的检测筹备、现场作业及数据处理全流程,能够有效保障检测数据精准可靠。通过系统化病害检测与状态评估,可精准掌握结构病害实况,为隧道桥梁日常养护、隐患整治、安全管控提供核心支撑,保障交通构筑物长期安全稳定运营。

参考文献

- [1] 杨松勇.高速公路隧道病害检测与处治技术研究[J].工程技术研究,2026,11(7):68-70.
- [2] 方虹苏,石鑫雨,贺门涛,等.基于深度学习的桥梁裂缝病害检测算法研究[J].公路交通技术,2025,41(2):111-118+126.
- [3] 覃志涛.公路隧道渗漏水病害检测及评价研究[J].现代工程科技,2025,4(19):89-92.
- [4] 韩效枝.基于常规定期检测的城市桥梁病害成因分析及维护措施[J].四川水泥,2025(10):206-208.
- [5] 徐世康.公路桥梁隧道工程的试验检测探讨[J].智能建筑与工程机械,2025,7(1):84-86.