

交通工程桥梁检测技术要点及应用研究

王 鹏

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250014

摘 要: 交通工程桥梁检测是保障桥梁安全运营的关键环节。检测技术要点涵盖外观检查、无损检测及荷载试验,通过评估裂缝、变形、材料性能及结构承载力,精准识别病害。随着技术发展,自动化检测设备、大数据分析与人人工智能技术逐步应用,实现实时监测与智能诊断。研究聚焦检测技术优化、病害成因分析及加固方案设计,为桥梁全生命周期管理提供科学依据,对提升交通基础设施安全性与耐久性具有重要意义。

关键词: 交通工程; 桥梁检测; 技术要点; 应用

引言: 交通工程中,桥梁作为关键节点,其安全性和耐久性直接关系到交通网络的稳定运行。随着桥梁服役年限增长及交通荷载增大,病害问题日益凸显,对检测技术提出更高要求。传统检测方法存在效率低、精度不足等局限,而现代检测技术融合无损探测、智能传感与数据分析,可实现快速精准评估。研究桥梁检测技术要点,探索其工程应用路径,对保障桥梁安全、延长使用寿命及优化养护决策具有重要现实意义。

1 桥梁检测技术基础理论

1.1 桥梁结构类型与常见病害

(1) 桥梁分类: 桥梁按结构形式可分为梁桥、拱桥、悬索桥、刚构桥及组合体系桥等。其中梁桥以梁体受弯为主要受力形式,构造简单、应用广泛;拱桥依靠拱肋承压传递荷载,兼具承重与美学价值;悬索桥通过主缆与吊索承重,适用于大跨度跨越场景。(2) 典型病害分析: 常见病害主要包括裂缝、腐蚀、变形及基础沉降。裂缝多因材料老化、荷载超限产生,影响结构整体性;钢材腐蚀、混凝土碳化削弱构件承载力;结构变形与基础沉降易导致受力失衡,引发安全隐患。

1.2 检测技术分类与原理

(1) 传统检测技术: 核心包括目测法、无损检测及荷载试验。目测法通过人工观察判断表面病害,操作便捷;无损检测借助超声波、回弹法等技术,在不损伤结构的前提下探测内部缺陷;荷载试验通过施加模拟荷载,验证结构承载能力。(2) 现代智能检测技术: 融合无人机、机器人、传感器网络与AI图像识别技术。无人机搭载高清设备实现大范围可视化检测;检测机器人深入桥梁隐蔽部位探测;传感器网络实时采集结构应力、变形数据;AI图像识别自动识别裂缝等病害,提升检测效率与精度^[1]。

1.3 检测标准与规范

(1) 国内外相关标准: 国内以《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/TH21-2011)为核心,规范检测内容与评定要求;国际上参考AASHTO、Eurocode等标准,形成差异化的技术规范体系。(2) 检测流程与评价指标体系: 检测流程涵盖前期准备、现场检测、数据处理及结果评定;评价指标体系包括结构技术状况等级、构件缺损程度、承载能力储备等,为桥梁养护与改造提供科学依据。

2 交通工程桥梁检测技术核心要点

2.1 外观检测技术要点

(1) 裂缝检测: 核心在于精准获取裂缝宽度、深度及分布规律三大关键参数。宽度检测需采用裂缝宽度尺、电子裂缝仪等工具,重点测量跨中、支座等受力集中部位,记录最大值与平均宽度;深度检测可结合凿开法与无损探测技术,明确裂缝是否贯通及延伸范围;分布规律分析需划分检测区域,标注裂缝走向、长度及密集程度,区分荷载裂缝、温度裂缝等不同类型的,为病害成因判断提供依据。(2) 表面缺陷识别: 重点排查剥落、锈蚀、渗水等典型缺陷。剥落检测需记录缺损面积、深度及位置,尤其关注混凝土保护层脱落区域,评估钢筋暴露风险;锈蚀检测针对钢结构构件及混凝土内部钢筋,通过外观锈迹观察、锈蚀面积测量,结合环境湿度、氯离子含量等因素判断锈蚀程度;渗水检测需追踪渗水痕迹走向,定位水源入口,分析是否因防水层破损、伸缩缝失效等导致,同时记录渗水范围与侵蚀程度。

2.2 内部结构检测技术要点

(1) 无损检测方法: 常用技术包括超声波、雷达、红外热成像等,需根据检测目的合理选用。超声波检测通过声波传播速度与衰减特性,判断混凝土内部空洞、疏松及钢筋位置;雷达检测利用电磁波反射原理,适用于探测桥面铺装层厚度、内部脱空及管线分布,具有快速高效的优点;红外热成像检测借助结构表面温度差异,识

别混凝土内部缺陷及渗漏通道,尤其适合大面积快速筛查。(2) 钢筋锈蚀与混凝土强度检测:钢筋锈蚀检测可采用半电池电位法、极化电阻法,通过电位差值判断锈蚀可能性及严重程度,同时结合钢筋直径测量评估截面损失情况;混凝土强度检测以回弹法、超声回弹综合法为主,回弹法通过回弹值与强度的相关性换算强度等级,超声回弹综合法结合声波速度与回弹值,提高检测精度,检测过程中需避开钢筋密集区域,保证测点代表性^[2]。

2.3 动态性能检测技术要点

(1) 振动测试与模态分析:通过布置加速度传感器,采集桥梁在环境激励或人工激励下的振动信号,提取固有频率、振型、阻尼比等模态参数。对比设计值与实测值的差异,判断结构刚度是否退化;分析模态参数的变化趋势,评估结构损伤发展情况,该技术适用于大跨度桥梁的整体性能评估,可及时发现潜在的结构安全隐患。(2) 挠度与应变监测:挠度监测需在桥梁跨中、支点等关键截面布置位移传感器,测量静态荷载或动态荷载作用下的挠度值,确保最大挠度不超过规范限值;应变监测通过粘贴应变片或采用光纤传感器,实时采集关键构件的应变数据,分析应力分布状态,判断是否存在应力集中现象。监测过程中需考虑温度、湿度等环境因素的影响,对数据进行修正处理^[3]。

2.4 智能化检测技术要点

(1) 无人机与机器人巡检技术:无人机搭载高清摄像头、红外热像仪等设备,实现桥梁上部结构、跨江跨海桥梁高空区域的可视化检测,大幅提升检测效率与安全性;检测机器人分为履带式、爬壁式等类型,可深入桥梁支座、箱梁内部等人工难以到达的部位,通过自带传感器完成缺陷探测,配合远程控制技术实现实时数据传输与分析。(2) 基于BIM的数字化检测平台:构建桥梁全生命周期BIM模型,将检测数据与BIM模型关联,实现检测信息的可视化管理。通过模型可直观展示病害位置、类型及严重程度,支持检测数据的查询、统计与分析;结合大数据技术,对桥梁性能进行预测评估,为养护决策提供数据支撑,实现检测与养护的智能化协同^[4]。(3) 深度学习在病害识别中的应用:通过构建深度学习模型,对无人机、摄像头采集的桥梁图像进行训练,实现裂缝、剥落、锈蚀等病害的自动识别与分类。模型可自动测量病害尺寸,统计病害数量,降低人工检测的主观性与误差;结合实时图像采集技术,可实现病害的动态监测与预警,推动检测技术从“被动排查”向“主动预警”转变。

3 交通工程桥梁检测技术应用案例分析

3.1 案例1:某大型梁桥的常规检测与评估

(1) 检测方案设计:结合桥梁跨度大、交通繁忙的特点,采用“外观目测+无损检测+局部荷载试验”的组合方案。外观检测配置高倍望远镜、裂缝宽度仪;无损检测选用超声波检测仪探测混凝土内部缺陷,回弹仪检测混凝土强度;荷载试验采用重型汽车模拟标准荷载,配置应变片、挠度计采集数据。检测范围覆盖主梁、支座、桥墩及基础等关键构件,划分12个检测单元确保全面性。(2) 数据采集与分析结果:经检测,主梁跨中区域发现3条长度5~8m、宽度0.2~0.3mm的横向裂缝,混凝土强度达标但局部存在疏松;支座出现轻微位移,最大位移量3mm;桥墩沉降量符合规范限值。通过结构力学模型分析,裂缝成因与长期荷载作用下的应力集中相关,支座位移未影响结构整体稳定性,桥梁技术状况评定为二类。(3) 病害成因与维修建议:成因主要为长期交通荷载累积、支座老化及环境湿度影响。建议对主梁裂缝采用压力注浆封闭处理,更换老化支座并校正位移;定期开展外观巡检,每3年进行一次无损检测复查,限制超载车辆通行以降低结构损耗。

3.2 案例2:某跨海大桥的智能化监测系统应用

(1) 长期监测传感器布局:基于桥梁海洋环境腐蚀强、风荷载影响大的特点,在主梁、桥墩、基础及桥面共布置236个传感器。其中,光纤光栅传感器监测应力应变,GPS位移传感器监测结构变形,温湿度、腐蚀传感器监测环境参数,风速传感器实时采集风荷载数据,传感器重点覆盖主跨、桥墩与基础连接处等关键部位。(2) 实时数据传输与预警机制:采用5G+物联网技术构建数据传输网络,传感器数据实时传输至云端监测平台,传输延迟控制在1s内。平台内置分级预警机制,设定正常、关注、预警、危险四个等级阈值,当数据超出阈值时,通过短信、平台弹窗向运维人员推送预警信息,同时联动桥梁交通管控系统,必要时启动临时交通管制。(3) 运维成本与效益分析:系统建设成本约860万元,年运维成本45万元。投入使用后,实现病害早发现早处理,避免重大维修损失,年均节约维修费用120万元;减少人工检测频次,降低高空、海洋环境下的检测风险,检测效率提升60%;延长桥梁使用寿命约5年,综合效益显著。

3.3 案例3:基于AI的桥梁病害识别模型验证

(1) 数据集构建与模型训练:收集不同类型桥梁的裂缝、剥落、锈蚀等病害图像8.6万张,经预处理后划分为训练集、验证集和测试集。采用YOLOv8模型进行训练,优化网络结构提升小尺寸病害识别能力,通过数据增强技术扩充数据集多样性,训练过程中迭代调整学习率、批量大小等参数,确保模型收敛稳定。(2) 识别精度与效率

对比传统方法：模型验证结果显示，对裂缝、剥落、锈蚀的识别精度分别达到95.2%、93.8%、94.5%，误识率低于3%。与人工检测对比，模型处理单座桥梁图像仅需40分钟，而人工检测需3天，效率提升54倍；在小尺寸裂缝（宽度 < 0.2mm）识别上，模型准确率比人工高18%，有效弥补了人工检测的主观性和漏检问题，为桥梁病害快速筛查提供了高效解决方案。

4 交通工程桥梁检测技术优化与挑战

4.1 技术优化方向

(1) 多技术融合：推动无人机+AI+传感器的深度协同，构建一体化检测体系。利用无人机的机动优势实现大范围区域覆盖，搭载高清摄像头与多类型传感器采集图像、应力、应变等多维度数据；通过AI算法对采集的海量数据进行实时分析，自动识别病害并完成分类分级，同时结合传感器动态监测数据实现病害发展趋势预判，打破单一技术的应用局限，提升检测的全面性与智能化水平。

(2) 检测效率与成本平衡：优化检测方案设计，建立差异化检测机制。对核心承重构件采用高精度检测技术，对次要构件简化检测流程，减少无效检测投入；研发低成本、便携式智能检测设备，降低设备购置与维护成本；推广模块化检测模式，实现检测设备与数据处理系统的通用适配，减少重复研发与配置，在保证检测精度的前提下，最大限度提升检测效率、控制检测成本。

4.2 现存挑战与对策

(1) 复杂环境下的检测干扰：强风、暴雨、浓雾等恶劣天气易影响无人机飞行稳定性与检测视野，水下桥梁结构面临光线昏暗、水流干扰等问题。对策：研发抗干扰性能更强的检测设备，优化无人机飞行控制系统以提升大风环境下的稳定性；针对水下结构，采用水下机器人搭载声呐探测仪、高清防水摄像头，结合水下照明技术实现精准检测，同时建立环境参数实时监测机制，动态调整检测时机与方案。

(2) 数据安全与隐私保护：桥梁检测数据包含桥梁结构核心参数、交通路网关键信息，存

在数据泄露与滥用风险。对策：建立全流程数据安全管理体系，对采集的数据进行加密存储与传输，设置分级访问权限；采用区块链技术保障数据溯源与不可篡改，完善数据安全法律法规，明确数据使用边界，规范检测数据的收集、处理与共享流程，兼顾数据应用价值与隐私安全^[5]。

(3) 标准化与人才培养需求：当前智能化检测技术缺乏统一标准，检测结果可比性差，同时兼具专业知识与智能技术的复合型人才短缺。对策：加快制定智能化检测技术标准与规范，统一检测方法、设备参数与结果评定指标；建立高校、科研机构与企业协同培养机制，开设桥梁检测与智能技术融合相关课程，开展实操技能培训，提升从业人员的综合素养，推动行业规范化发展。

结束语

交通工程桥梁检测技术是保障桥梁安全运营、延长使用寿命的重要支撑。本研究系统梳理了外观检查、无损探测、荷载试验等关键技术要点，并结合智能传感、大数据分析等前沿手段，实现了检测效率与精度的双重提升。未来，随着物联网与人工智能技术的深度融合，桥梁检测将向智能化、动态化方向发展。持续优化检测技术体系、完善标准规范，对提升交通基础设施韧性、构建安全高效的交通网络具有深远意义。

参考文献

- [1]王子强.基于特殊检测与荷载试验的桥梁承载能力综合评定[J].安徽建筑,2023,30(12):177-179.
- [2]吴秀娟.某既有钢筋混凝土预应力桥梁承载能力评定研究[J].工程技术研究,2023,8(23):14-16.
- [3]张建强.交通工程中桥梁检测技术的关键要点分析[J].交通世界,2023(12):89-91.
- [4]赵强升.桥梁检测技术在交通工程实践中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2022(8):210-212.
- [5]祉豪,林琳.分析道路桥梁检测技术的要点及应用分析[J].世界家苑,2021,23(16):75-76.