

# 道路桥梁工程新型检测技术的应用

田三军

山西九方公路开发有限公司 山西 晋城 048000

**摘要:** 道路桥梁工程新型检测技术聚焦高精度、非接触、实时化与智能化需求,通过地质雷达、超声波、红外热成像等无损技术实现隐蔽病害诊断,利用机器视觉、激光扫描、物联网传感技术构建全生命周期监测体系。本文结合道路等级、交通流量及病害类型,提出多技术协同应用策略,涵盖结构损伤动态监测、动态响应分析等场景,并强调技术选型需兼顾环境适应性、经济性与操作规范性。通过多源数据融合与智能算法优化,为工程养护决策提供科学依据,推动检测技术向精准化、自动化方向发展。

**关键词:** 道路桥梁工程; 新型检测技术; 无损检测; 智能化检测; 结构损伤检测

引言: 道路桥梁作为交通基础设施的关键部分,其安全性和耐久性直接关系到交通运输的顺畅与人民生命财产安全。随着交通流量的持续增长和车辆荷载的不断加大,道路桥梁工程面临的挑战日益严峻,对检测技术的要求也越来越高。传统的检测方法在精度、效率和全面性等方面逐渐暴露出局限性,难以满足现代工程检测的需求。在此背景下,新型检测技术应运而生,凭借其独特的优势在道路桥梁工程检测中发挥着越来越重要的作用。

## 1 道路桥梁工程检测核心对象与技术需求

### 1.1 道路工程检测核心对象

道路工程检测需聚焦路面结构层性能指标、路基稳定性相关参数及道路附属设施结构状态三大维度。路面结构层性能指标检测涵盖沥青路面、水泥混凝土路面及复合式路面的强度、刚度与耐久性评估,通过回弹模量测试、弯沉值测量及抗滑性能试验,量化路面承载能力与行车安全性。路基稳定性相关参数检测涉及土基压实度、含水量及承载力分析,采用灌砂法、核子密度仪及静载试验,确保路基在车辆荷载与环境因素作用下的长期稳定性<sup>[1]</sup>。道路附属设施结构状态检测包括交通标志、护栏、井盖及排水系统的完整性评估,通过目视检查、超声波探伤及激光扫描技术,识别设施破损、变形及功能失效问题,保障道路附属设施的正常运行。

### 1.2 桥梁工程检测核心对象

桥梁工程检测需围绕主体结构完整性、连接部位受力状态及支座与基础状态展开。主体结构完整性检测聚焦桥墩、桥台、主梁及拱圈等关键构件的裂缝、变形及材料劣化评估,通过裂缝宽度测量、应变监测及混凝土碳化深度检测,判断结构承载能力与耐久性,其中混凝土结构裂缝宽度限值为0.2mm,碳化深度不超过5mm。连

接部位受力状态检测涉及铰接、焊接及螺栓连接等节点的应力分布与疲劳损伤分析,采用应变计、光纤光栅传感器及振动测试技术,评估连接部位在动载作用下的安全性,螺栓连接紧固力需达到80N·m。桥梁支座与基础状态检测包括支座位移、脱空及基础沉降监测,通过全站仪、水准仪及声呐探测技术,识别支座老化、基础冲刷等潜在风险,确保桥梁基础沉降年速率不超过2mm,支座位移控制在10mm以内。

### 1.3 新型检测技术的核心需求

新型检测技术需满足高精度、非接触式、实时化及智能化四大核心需求。高精度需求推动激光扫描、数字图像相关及量子传感技术的发展,实现10微米级形变测量与0.1毫米级裂缝识别。非接触式需求促进红外热成像、雷达探测及无人机巡检技术的应用,避免对结构造成二次损伤并提升检测效率,无人机巡检速率可达60km/h。实时化需求依赖无线传感器网络、边缘计算及5G通信技术,构建“感知-传输-分析”一体化监测系统,数据传输延迟控制在50ms以内,实现结构状态的动态跟踪。智能化需求则通过深度学习、知识图谱及垂域大模型融合,实现病害自动识别、损伤定位及剩余寿命预测,识别准确率不低于95%,为养护决策提供科学依据。

## 2 道路工程新型检测技术及应用维度

### 2.1 无损检测技术

地质雷达检测技术通过高频电磁波反射特性分析道路结构层厚度与内部缺陷,适用于沥青路面层间脱空、基层裂缝及地下管线定位检测,可穿透非导电介质实现非破坏性扫描,探测深度可达5m,厚度测量误差不超过2mm。超声波检测技术利用声波在材料中的传播速度与衰减特征评估结构完整性,通过纵波与横波联合分析识别混凝土内部空洞、钢筋锈蚀及界面脱粘,对早期微损

伤具有高灵敏度,检测频率设定为2MHz,空洞识别最小尺寸为5mm。红外热成像检测技术基于热辐射差异捕捉道路表面温度场分布,可间接反映结构内部缺陷,检测温度范围为-20°C至150°C,温度分辨率达0.1°C,适用于大面积快速筛查与隐蔽病害识别<sup>[2]</sup>。

## 2.2 智能化检测技术

机器视觉检测技术依托数字图像处理与深度学习算法实现道路病害自动识别,通过高分辨率相机采集路面图像,结合卷积神经网络提取裂缝、坑槽及车辙等特征,支持多尺度病害分类与几何参数量化,图像采集分辨率为4000×3000像素,车辙深度测量范围为0至50mm。激光扫描检测技术利用三维激光点云生成道路高精度数字模型,可精确测量路面平整度、横坡度及构造深度,点云密度为100点/平方厘米,平整度测量误差不超过1mm,通过点云配准与形变分析识别局部沉降或隆起,为养护决策提供空间数据支撑。物联网传感检测技术通过部署应力传感器、温湿度传感器及振动传感器构建道路健康监测网络,传感器布设间距为10m,实时采集结构响应与环境参数,结合边缘计算实现异常数据预警,支持长期性能演化分析与剩余寿命预测。

## 2.3 新型检测技术的应用场景适配

无损检测技术更适用于道路隐蔽病害诊断与既有结构质量复核,地质雷达可穿透路面层定位基层病害,超声波检测可评估桥梁接缝密封性,红外热成像可筛查夜间道路异常发热区域。智能化检测技术侧重于道路全生命周期监测与自动化运维,机器视觉与激光扫描可集成于巡检车辆实现动态检测,物联网传感网络可部署于重点路段实现静态长期监测。实际应用中需结合道路等级、交通流量及病害类型选择适配技术,例如高速公路宜采用激光扫描与物联网传感组合实现高精度动态监测,城市支路可选用机器视觉与红外热成像进行低成本快速筛查,形成多技术协同的检测体系。

# 3 桥梁工程新型检测技术及应用维度

## 3.1 结构损伤检测技术

声发射检测技术通过捕捉材料内部微损伤产生的瞬态弹性波,实现桥梁结构裂纹扩展的动态监测<sup>[3]</sup>。该技术对活动性缺陷敏感度高,可定位裂缝萌生位置并评估损伤程度,检测频率范围为10kHz至1MHz,定位误差不超过3cm,适用于钢箱梁焊缝疲劳监测及混凝土结构开裂预警。碳纤维传感检测技术利用碳纤维复合材料的压阻效应,将结构应变转化为电阻变化信号,具有抗电磁干扰、耐腐蚀及可嵌入性强的特点,可长期布设于桥梁关键截面监测应力分布,测量应变范围为-2000 $\mu\epsilon$ 至2000 $\mu\epsilon$ ,精

度达1 $\mu\epsilon$ ,尤其适用于大跨度缆索承重桥梁的索体健康监测。微波雷达检测技术通过发射高频电磁波并分析反射信号相位变化,实现桥梁结构微小位移的非接触式测量,对支座脱空、梁体下挠等病害的检测精度可达0.1mm,检测距离为1m至50m,适用于运营期桥梁的长期形变跟踪。

## 3.2 动态响应检测技术

振动信号采集与分析技术通过高灵敏度加速度传感器获取桥梁在车辆荷载、风振或地震作用下的振动响应,传感器采样频率设定为100Hz,测量范围为-5g至5g,结合频谱分析识别结构固有频率与阻尼比变化,可判断结构整体刚度退化情况。模态参数识别技术基于环境振动或人工激励下的响应数据,通过频域分解或时域子空间方法提取桥梁模态振型、频率及阻尼,可识别10阶以内模态参数,为结构损伤定位提供理论依据,尤其适用于复杂空间结构的动力特性评估。实时动态监测技术集成多类型传感器与无线传输模块,构建桥梁健康监测物联网系统,实现振动、应变、温度等多参数的实时采集与云端分析,数据采样间隔为1s,通过机器学习模型预测结构性能演化趋势,为预防性养护提供数据支撑。

## 3.3 新型检测技术的应用流程设计

结构损伤检测需遵循“初步筛查-精准定位-定量评估”流程,先采用微波雷达或红外热成像进行大面积快速检测,单次检测覆盖面积不低于1000平方米,识别疑似损伤区域,再通过声发射或碳纤维传感技术对重点部位进行精细化监测,监测时长不少于24小时,最终结合无损检测结果确定损伤类型与程度。动态响应检测需建立“数据采集-模态分析-状态评估”体系,先部署振动传感器网络获取结构动力响应,传感器数量不少于8个,再利用模态参数识别技术提取结构特征参数,最后通过对比设计值与实测值评估结构安全性。实际应用中需融合多维度检测数据,例如将振动信号分析结果与碳纤维传感应变数据交叉验证,提高损伤识别的可靠性,同时结合桥梁设计资料与历史检测数据建立数字化健康档案,每年更新不少于4次,实现全生命周期管理。

# 4 道路桥梁新型检测技术的应用要点

## 4.1 技术选型原则

新型检测技术选型需综合考量检测对象特性、病害类型及工程环境条件<sup>[4]</sup>。针对道路路面检测,若关注浅层裂缝与车辙,宜优先选择高分辨率机器视觉与激光扫描技术;若需评估深层结构完整性,则应采用地质雷达或超声波检测技术。桥梁检测中,对动态响应监测需求强烈的场景,振动信号采集与模态参数识别技术更具优势;对隐蔽部位损伤诊断,声发射与碳纤维传感技术可提供

更高灵敏度。环境适应性同样是关键指标,电磁干扰强烈区域需规避无线传输依赖型技术,潮湿或腐蚀性环境应选用耐候性强的传感器类型。技术经济性评估亦不可忽视,长期监测项目宜选择低功耗、长寿命的物联网传感技术,短期快速筛查场景可选用成本较低的红外热成像或便携式超声波设备。

#### 4.2 检测操作核心要点

检测实施前需完成设备标定与环境参数校准,例如激光扫描仪需在检测现场进行距离与角度基准校正,振动传感器需根据桥梁结构特性设置采样频率与量程。操作过程中应严格遵循技术规范,声发射检测需控制传感器耦合压力以减少信号衰减,红外热成像需选择环境温度稳定时段以提升成像对比度。多技术协同检测时,需统一时间基准与空间坐标系,例如将激光点云数据与振动测试数据通过公共参考点进行配准,确保多源数据融合分析的准确性。检测人员需具备专业资质,熟悉设备操作流程与安全规范,例如高空作业时需佩戴防坠落装置,强电磁环境作业需穿戴防静电服。

#### 4.3 技术应用中的干扰因素控制

环境干扰需通过技术手段与操作优化双重控制,温度变化对超声波检测的影响可通过温度补偿算法修正,风振对振动信号采集的干扰可采用抗混叠滤波与加权平均处理。电磁干扰可通过屏蔽电缆与金属外壳防护降低,多径效应对微波雷达检测的影响可通过波束赋形技术抑制。设备自身误差需通过定期维护与校准消除,传感器漂移问题可通过交叉验证法检测,例如用激光测距仪校准物联网传感器的位移数据。操作误差控制需强化人员培训与流程标准化,例如规定红外热成像检测时相机与被测面保持垂直,避免倾斜导致的测温偏差。

#### 4.4 检测数据处理核心方法

原始数据需经过预处理提升信噪比,振动信号可通

过小波变换去除噪声,红外热成像数据可采用直方图均衡化增强对比度。特征提取环节需结合领域知识设计算法,例如从激光点云中提取路面平整度指标时,需采用高斯滤波平滑数据后计算国际平整度指数<sup>[5]</sup>。多源数据融合需建立统一分析框架,例如将声发射事件定位结果与碳纤维传感应变场叠加,通过空间关联分析识别损伤集中区域。智能分析方法可提升数据处理效率,卷积神经网络可用于裂缝图像自动分类,支持向量机可实现模态参数异常值识别,最终检测报告需包含数据来源、处理流程与结论可靠性评估。

#### 结束语

新型检测技术在道路桥梁工程中的应用,为工程检测带来了新的变革与发展机遇。通过高精度、非接触式、实时化和智能化的检测手段,能够更全面、准确地掌握道路桥梁的结构状态和病害情况。在技术选型、检测操作、干扰因素控制以及数据处理等方面遵循科学原则和方法,可确保检测结果的可靠性和有效性。合理应用这些新型检测技术,有助于及时发现潜在安全隐患,为道路桥梁的养护维修提供有力支持,保障交通基础设施的安全运行。

#### 参考文献

- [1]赵凯.道路桥梁工程新型检测技术的应用[J].价值工程,2025,44(13):149-152.
- [2]吕博昭.道路桥梁工程新型检测技术现状及应用意义[J].建筑与装饰,2023(10):52-54.
- [3]柏锦峰.道路桥梁工程新型检测技术现状及应用意义研究[J].黑龙江交通科技,2022,45(11):168-170.
- [4]梁福生.新型试验检测技术在道路桥梁检测中的应用策略探析[J].张江科技评论,2025(10):85-87.
- [5]郭仟.新型试验检测技术在道路桥梁检测中的应用[J].新疆有色金属,2022,45(3):32-33.