

# 道路与桥梁工程检测技术

司马秀娟

河南省公路工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 道路与桥梁工程检测技术是保障交通基础设施安全与质量的关键手段。该技术涵盖无损与破坏性检测,借助超声波、雷达等多种原理,广泛应用于道路的路面质量评估、路基稳定性检测,以及桥梁的结构损伤识别与承载能力评估等场景。随着科技进步,检测技术向智能化、信息化发展,融合物联网、人工智能等新技术,实现实时监测、精准识别与预测性维护,为道路桥梁的长期安全运营提供有力支撑。

**关键词:** 道路; 桥梁工程; 检测技术

引言: 道路与桥梁作为交通网络的基石,其安全性和耐久性直接关系到社会经济的稳定运行与公众的生命财产安全。然而,受自然环境、荷载作用及材料老化等因素影响,工程结构易出现隐蔽缺陷和性能退化,传统检测方法存在效率低、精度不足等问题。随着物联网、人工智能及新型传感技术的快速发展,道路与桥梁工程检测正从人工抽检向智能化、全周期监测转型。本文系统梳理检测技术分类与应用场景,探讨技术创新方向,为提升工程检测效能提供理论支持与实践参考。

## 1 道路与桥梁工程检测技术概述

### 1.1 检测技术的分类与特点

(1) 按检测方式分类: 其一为无损检测技术,该技术核心优势在于检测过程中不会对道路桥梁结构造成破坏,能最大程度保留原有工程构件的完整性与使用功能,且检测效率较高,适用于大面积、常态化的质量排查,常见应用如桥梁混凝土结构内部缺陷排查、路面层间粘结状态检测等;其二为破坏性检测技术,需通过截取、取样等方式对工程构件进行检测,虽会对原有结构造成一定损伤,但检测结果精度高、可靠性强,多应用于工程质量验收关键环节,如路基填料强度检测、桥梁钢筋力学性能测试等。(2) 按技术原理分类: 涵盖超声波检测、雷达检测、红外热成像等多种技术。超声波检测利用声波传播特性判断结构内部缺陷,操作简便、成本较低;雷达检测借助电磁波反射原理探测路面厚度、路基空洞等,检测速度快、范围广;红外热成像则通过温度差异识别结构渗漏、层间剥离等问题,适用于复杂环境下的隐蔽缺陷检测,各类技术互补形成全方位检测体系<sup>[1]</sup>。

### 1.2 检测技术的主要应用场景

(1) 道路工程领域: 主要用于路面质量评估和路基稳定性检测。路面质量评估聚焦路面平整度、压实度、抗滑性能及破损状况等指标,通过检测及时发现裂缝、坑

槽、沉陷等病害,为养护维修方案制定提供依据;路基稳定性检测针对路基压实质量、承载力及沉降变形等开展,预防路基失稳、滑坡等灾害,保障道路通行安全。(2) 桥梁工程领域: 核心应用为结构损伤识别和承载能力评估。结构损伤识别包括桥梁混凝土裂缝、钢筋锈蚀、支座老化等缺陷的精准定位与量化分析;承载能力评估结合结构检测数据和力学分析,判断桥梁在设计荷载及超载工况下的安全性能,为桥梁加固改造和运营管控提供科学依据,延长桥梁使用寿命。

## 2 道路工程检测技术

### 2.1 路面质量检测技术

(1) 弯沉检测: 弯沉值是反映路面结构承载能力的关键指标,核心检测设备与方法包括落锤式弯沉仪和贝克曼梁法。落锤式弯沉仪采用动态加载方式,模拟车辆行驶对路面的冲击作用,检测效率高、数据精度高,可实现连续检测,适用于高等级公路的大规模检测;贝克曼梁法为传统经典方法,通过静态加载测量弯沉值,设备简单、操作便捷,成本较低,广泛应用于各级公路的常规检测与质量抽检,二者互补满足不同场景下的承载能力评估需求。(2) 平整度检测: 平整度直接关联行车舒适性,主要采用激光断面仪和连续式平整度仪检测。激光断面仪借助激光测距原理,精准捕捉路面断面轮廓,可快速获取国际平整度指数等核心参数,检测速度快、自动化程度高,适配高速公路等大流量路段的高效检测;连续式平整度仪通过机械传感方式记录路面起伏,数据直观、操作简便,适用于中低等级公路及日常养护检测,为路面平整性修复提供精准数据支撑<sup>[2]</sup>。(3) 抗滑性能检测: 抗滑性能是保障雨天行车安全的核心指标,常用摆式摩擦仪和横向力系数测试车。摆式摩擦仪通过模拟轮胎与路面的摩擦过程,测量路面摩擦系数,设备便携、适用于局部路段抽检,尤其适合桥面、交叉口等关键区域的

抗滑性能核查；横向力系数测试车以动态行驶状态测量路面横向力系数，可实现连续检测，能全面反映路面整体抗滑水平，为路面抗滑养护方案制定提供全面数据。

## 2.2 路基与基层检测技术

(1) 地质雷达探测 (GPR)：该技术基于电磁波反射原理，通过雷达天线向路基、基层发射电磁波，利用不同介质界面的反射信号差异，探测内部空洞、松散区域、含水率异常等隐蔽缺陷。其优势在于无损、快速、连续检测，可直观呈现结构内部剖面信息，广泛应用于路基基层施工质量管控与运营期隐患排查，有效预防因基层病害导致的路面沉陷、开裂等问题。(2) 压实度检测：压实度是保障路基基层承载能力的关键指标，常用核子密度仪和灌砂法。核子密度仪利用核辐射测量材料密度与含水量，检测速度快、操作简便，可实现现场快速抽检，但需严格遵守辐射安全规范；灌砂法为破坏性检测的基准方法，通过标准砂置换测量压实体积与质量，检测精度高、可靠性强，是压实质量验收的核心方法，二者结合实现压实质量的精准管控<sup>[3]</sup>。

## 2.3 道路病害识别与评估

(1) 裂缝、车辙、坑槽等病害的图像识别技术：通过高清摄像设备采集路面图像，结合图像处理算法对病害特征进行提取与识别。该技术突破人工识别的效率瓶颈，可实现大范围路面快速巡查，精准定位病害位置与范围，为养护计划制定提供基础数据，广泛应用于公路日常养护巡查工作。(2) 基于深度学习的病害自动分类方法：依托深度学习算法构建病害识别模型，通过大量病害图像样本训练，实现对裂缝、车辙、坑槽等病害的自动分类与等级评估。其优势在于识别精度高、抗干扰能力强，可有效区分相似病害类型，同时输出病害严重程度，为养护优先级排序和修复方案优化提供科学依据，推动道路养护向智能化、精准化方向发展。

## 3 桥梁工程检测技术

### 3.1 桥梁结构损伤检测技术

(1) 超声波检测：该技术基于超声波在不同介质中传播特性的差异，通过向混凝土结构发射超声波，分析接收信号的幅值、频率及传播时间，实现对混凝土内部空洞、疏松、裂缝等缺陷的定位与量化。其操作简便、设备便携且属于无损检测，广泛应用于桥梁墩柱、梁体等混凝土构件的质量抽检，能有效识别施工阶段遗留缺陷及运营期老化损伤，为修复方案制定提供精准依据。(2) 声发射检测：针对桥梁结构动态裂缝监测，利用材料受力变形或裂纹扩展时释放弹性波的特性，通过声发射传感器捕捉信号，实现对裂缝萌生、扩展过程的实时动态监测。该

技术可在桥梁正常运营荷载下工作，无需中断交通，尤其适用于大跨度桥梁、老旧桥梁的裂缝动态跟踪，能提前预警裂缝失稳风险，保障桥梁结构安全。(3) 光纤光栅传感技术：依托光纤光栅的光调制特性，将传感器植入桥梁关键受力部位，可实现对结构应变和温度的同步精准监测。其具备抗电磁干扰、耐腐蚀、测量精度高及长期稳定性好等优势，能实时捕捉桥梁在荷载作用下的应力变化及环境温度影响，为结构受力状态评估提供连续数据支撑，广泛应用于大跨度、高等级桥梁的精细化监测<sup>[4]</sup>。

### 3.2 桥梁承载能力评估方法

(1) 静载试验与动载试验：静载试验通过在桥梁关键截面施加分级静态荷载，测量结构变形、应力等响应参数，直接验证桥梁在设计荷载及超载工况下的承载性能，检测结果直观、可靠性高，是承载能力评估的核心基准方法。动载试验则通过车辆通行、激振等方式施加动态荷载，测试桥梁的自振频率、阻尼比等动力特性，判断结构刚度变化及隐性损伤，二者结合可全面反映桥梁承载状态。(2) 基于有限元模型的数值模拟分析：借助有限元软件构建桥梁精细化数值模型，模拟不同荷载工况下的结构受力、变形响应。通过结合实际检测数据对模型进行修正，可实现对桥梁承载能力的量化评估，同时能预测结构在长期运营及极端工况下的性能演化趋势。该方法具有低成本、高效益、可重复性强的优势，为桥梁承载能力评估及加固方案优化提供科学支撑。

### 3.3 长期健康监测系统 (SHMS)

(1) 传感器网络布局与数据采集：根据桥梁结构特点，在梁体、墩柱、支座等关键部位布设应变、位移、加速度、温度等多种传感器，构建全方位感知网络。通过数据采集终端实现各类监测数据的实时采集、传输与存储，确保数据的连续性、完整性，为后续分析提供基础数据支撑，同时具备数据异常过滤、校准等预处理功能，提升数据质量。(2) 大数据分析预警机制：依托大数据处理技术对海量监测数据进行深度挖掘，结合桥梁结构力学特性构建健康评估模型，实现对结构健康状态的实时评估。当监测数据超出安全阈值或结构状态出现异常时，系统自动触发多级预警机制，通过短信、平台推送等方式及时反馈给运维人员，为应急处置和养护维修提供精准指导，有效降低结构安全风险。

## 4 道路与桥梁工程检测技术的智能化与信息化发展

### 4.1 物联网与大数据在检测中的应用

(1) 实时监测数据的传输与存储：依托物联网感知网络，将分布在道路桥梁关键部位各类传感器、检测

设备互联互通,实现监测数据的实时采集与传输。通过5G、LoRa等无线通信技术,解决了传统检测数据传输延迟、断点的问题,确保应变、位移、病害图像等关键数据的实时性;同时,采用分布式存储技术构建海量数据仓库,实现对多维度、长时间序列检测数据的安全存储,为后续数据追溯与分析提供完整的数据支撑。(2)云平台与边缘计算技术:云平台凭借强大的算力支撑,实现对海量检测数据的集中处理、分析与共享,运维人员可通过云端终端远程获取检测报告、查看结构健康状态,打破地域限制提升管理效率;边缘计算技术则聚焦数据采集端的实时处理需求,在检测设备或本地节点完成数据预处理、异常识别等基础运算,减少数据传输量与延迟,尤其适用于偏远路段、复杂环境下的实时监测,二者协同形成“边缘实时响应+云端深度分析”的高效处理模式。

#### 4.2 人工智能与机器学习的融合

(1)基于深度学习的病害识别模型:通过构建卷积神经网络、循环神经网络等深度学习模型,利用海量标注的道路桥梁病害图像样本进行训练,实现对裂缝、坑槽、剥落、锈蚀等病害的自动识别、定位与等级划分。相较于传统人工识别,该模型具备识别精度高、抗干扰能力强、检测效率高的优势,可适配复杂光照、恶劣天气下的检测场景,广泛应用于道路巡查、桥梁结构检测等工作,大幅降低人工成本<sup>[5]</sup>。(2)预测性维护与寿命评估算法:结合机器学习算法与道路桥梁结构力学模型,对长期积累的监测数据、病害发展数据进行深度挖掘,构建结构性能演化模型。通过该模型可精准预测病害发展趋势、结构性能衰减规律,进而制定个性化的预测性维护方案,避免盲目养护;同时,基于算法实现对道路桥梁使用寿命的科学评估,为工程改造、重建决策提供量化依据,最大化延长工程使用寿命与运维效益。

#### 4.3 无人机与机器人检测技术

(1)桥梁底部巡检机器人:针对桥梁底部、支座等传统检测难以触及、危险性高的区域,桥梁底部巡检机

器人通过磁吸吸附、履带行走等方式实现稳定移动,搭载高清摄像头、超声波传感器等检测设备,可近距离采集结构图像、检测内部缺陷。该机器人无需中断交通,检测效率是人工检测的3-5倍,且能避免高空作业风险,已广泛应用于大跨度桥梁、老旧桥梁的精细化巡检工作。(2)道路表面高精度三维建模:无人机搭载激光雷达、高清相机等设备,通过低空飞行对道路表面进行全方位扫描,结合摄影测量与三维重建技术,快速生成道路表面高精度三维模型。基于该模型可精准提取路面平整度、车辙深度、裂缝分布等关键指标,实现对道路质量的全面评估;同时,三维模型可长期保存,为道路养护前后的效果对比、性能演化分析提供直观依据,大幅提升道路检测的精细化水平。

#### 结束语

道路与桥梁工程检测技术是保障交通基础设施安全运行的“生命线”。随着新材料、人工智能与物联网技术的深度融合,检测手段正从单一人工巡检向智能化、自动化、全周期监测方向跨越,实现了病害精准识别、承载能力动态评估及风险实时预警。未来,需持续突破多源数据融合分析、极端环境适应性等关键技术瓶颈,推动检测标准体系完善,强化检测结果在运维决策中的闭环应用,为构建安全、耐久、智能的交通基础设施提供坚实技术支撑。

#### 参考文献

- [1]穆勇攀.试验检测技术在道路桥梁检测中的应用[J].住宅与房地产,2021,(19):213-214.
- [2]蒋纤纤,邱婷.道路桥梁工程新型检测技术现状及意义分析[J].建材发展导向,2025,23(02):64-66.
- [3]张晓菲.道路桥梁工程的原材料试验检测技术分析[J].居业,2022,(11):76-78.
- [4]刘开发.试验检测技术在道路桥梁检测中的应用探析[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2021,(02):192-193.
- [5]张世宇.道路桥梁工程检测技术研究[J].运输经理世界,2021,(03):99-100.