

公路桥梁试验检测技术分析与研究

程志峰

宁夏锦隆工程试验检测有限公司 宁夏 银川 750100

摘要：公路桥梁作为交通基础设施的关键构成，其安全性和耐久性直接关乎交通运输的顺畅与民众生命财产安全。本文围绕公路桥梁试验检测技术展开分析与研究，首先阐述其保障桥梁结构安全、确保施工质量、合理制定养护策略的重要性；接着系统梳理常规检测、无损检测及智能检测三类关键技术；最后指出多技术融合、智能化自动化提升、全生命周期检测体系完善及检测标准规范统一的发展趋势，为公路桥梁检测实践与技术优化提供参考。

关键词：公路桥梁；试验检测；技术分析；研究

引言：公路桥梁作为交通基础设施的核心组成，其服役性能与安全状态直接影响交通网络运行效率与公众出行安全。随着桥梁服役年限增长、交通荷载升级及自然环境侵蚀，结构损伤与性能衰减问题日益凸显，试验检测成为把控桥梁质量、评估结构状态的关键手段。本文立足公路桥梁工程实际，深入分析试验检测技术的重要价值与关键类型，探索技术发展方向，旨在为构建科学、高效的桥梁检测体系提供支撑，助力延长桥梁使用寿命、保障交通基础设施可持续运行。

1 公路桥梁试验检测的重要性

1.1 保障桥梁结构安全

公路桥梁长期暴露于复杂自然环境，且承受车辆等动态荷载，结构易受损。试验检测能通过多种手段，如外观检查直观发现裂缝、剥落等病害，无损检测技术精准定位内部缺陷，荷载试验评估结构承载能力。依据检测结果，可及时掌握桥梁结构安全状况，对存在安全隐患的部位采取加固、维修等措施，防止结构进一步恶化，避免发生坍塌等重大安全事故，保障桥梁在使用过程中的结构安全，为过往车辆和行人提供可靠的通行保障。

1.2 确保施工质量

在公路桥梁建设过程中，试验检测是质量控制的关键环节。通过对原材料的检测，如水泥、钢材、砂石等，确保其质量符合设计要求，从源头上保证工程质量。在施工过程中，对混凝土强度、钢筋焊接质量等进行实时检测，及时发现施工工艺存在的问题并加以纠正。施工完成后，进行全面的质量检测，验证桥梁各项性能指标是否达标。试验检测贯穿桥梁建设全过程，为工程质量提供科学依据，有效避免因质量问题导致的工程事故和后期维修成本的增加。

1.3 合理制定养护策略

公路桥梁在长期使用过程中，性能会逐渐下降，需要定期养护。试验检测能够准确评估桥梁的技术状况，包括结构损伤程度、剩余使用寿命等。根据检测结果，可对桥梁进行分级管理，针对不同等级制定个性化的养护计划。对于损伤较轻的桥梁，采取日常保养和小修措施；对于损伤严重的桥梁，及时安排大修或加固工程。合理的养护策略能够延长桥梁使用寿命，提高资金使用效率，确保桥梁始终处于良好的运行状态，降低因桥梁突发故障对交通造成的影响^[1]。

2 公路桥梁试验检测的关键技术

2.1 常规检测技术

2.1.1 外观检测

外观检测是公路桥梁试验检测的基础环节，通过目视检查、测量工具辅助及无人机等设备，全面评估桥梁构造的几何尺寸、损伤情况及附属设施状态。检测范围涵盖上部结构（如梁体裂缝、挠度）、下部结构（墩台沉降、倾斜、基础冲刷）及附属设施（桥面铺装、伸缩缝、栏杆）。例如，某城市高架桥检测中，通过无人机全景扫描发现桥底存在多处横向裂缝，结合激光测距仪精确测量裂缝宽度及长度，为后续修复提供依据。此外，外观检测需重点关注变截面处、加固修复部位及防水层状况，对钢结构则需检查油漆涂层完整性及锈蚀程度，确保桥梁结构安全与耐久性。

2.1.2 材料性能测试

材料性能测试通过无损或微损手段评估桥梁结构材料的物理力学性能，为承载力分析提供数据支持。混凝土检测采用回弹法、超声回弹综合法及钻芯法，测定强度、碳化深度及氯离子含量，例如某大桥检测中发现部分梁体碳化深度超标，需采取防腐处理；钢筋检测通过电位法评估锈蚀程度，结合拉伸试验测定屈服强度、抗拉强度及伸长率，确保钢筋力学性能符合设计要求；钢

结构检测则利用超声波探伤、磁粉探伤技术定位焊缝内部缺陷,如某钢箱梁检测中通过超声波探伤发现多处未熔合缺陷,及时进行返工修复。材料性能测试的准确性直接影响桥梁结构安全性评估的可靠性。

2.1.3 荷载试验

荷载试验通过模拟实际交通荷载,验证桥梁结构承载能力与动力特性,分为静载试验与动载试验。静载试验采用加载车辆模拟设计荷载,测量梁体挠度、应变及支座沉降,例如某简支梁桥静载试验中,实测跨中挠度为理论值的1.05倍,应变偏差控制在15%以内,证明结构承载力满足要求;动载试验通过跑车、跳车等工况测试桥梁自振频率、阻尼比及振幅,评估结构动力性能,如某连续梁桥动载试验发现其自振频率低于设计值,需加强结构刚度。荷载试验结果为桥梁技术状况评定、加固设计及养护策略制定提供关键依据,是保障桥梁安全运营的核心手段。

2.2 无损检测技术

2.2.1 超声检测

超声检测利用高频声波(1-20MHz)在材料中的传播特性,通过探头发射超声波并接收反射信号,实现缺陷定位与定性分析。其核心原理是声阻抗差异导致声波在缺陷界面发生反射,反射波时间与材料声速结合可计算缺陷深度,幅度反映缺陷尺寸。该技术适用于金属、非金属及复合材料,可检测厚度从1mm薄板至数米锻件,对裂纹、气孔等面积型缺陷检出率高达90%以上。优势在于成本低、速度快、设备便携,且对人体无害。例如,在航空航天领域,相控阵超声(PAUT)通过电子扫描实现多角度聚焦,检测效率较传统方法提升3倍,广泛应用于发动机叶片微裂纹检测。

2.2.2 雷达检测

雷达检测基于高频电磁波(GHz级)在介质中的反射特性,通过发射短脉冲电磁波并接收反射信号,结合双程走时计算目标深度,生成剖面图像分析缺陷。其核心组件包括天线、发射机、接收机及信号处理器,可穿透混凝土、土壤等非导电介质,检测内部空洞、裂缝及不密实区域。例如,在公路工程中,探地雷达以100km/h速度扫描路面,通过分析反射波振幅与相位特征,可识别5cm深度的脱空病害,检测精度达毫米级。该技术优势在于非接触、快速连续检测,且无需耦合剂。但局限性在于无法反演材料力学参数,且对高导电介质(如金属)穿透能力弱。

2.2.3 红外热成像检测

红外热成像检测利用物体表面温度分布与内部缺陷

的热传导差异,通过红外热像仪捕捉辐射能量并转换为温度场图像,实现缺陷可视化。其原理基于斯蒂芬-玻尔兹曼定律,缺陷导致热流受阻或加速,形成表面温度异常区域。例如,在建筑检测中,脉冲加热法可检测混凝土内部空洞,通过分析热波传播时间延迟,定位缺陷深度误差小于5%。该技术分为被动式(直接采集温度场)与主动式(外部热源激励),后者灵敏度更高,可检测0.1mm级微裂纹。优势在于非接触、大面积快速扫描,且适用于复杂形状工件。但需注意,环境温度波动、表面发射率差异可能干扰结果,通常需结合超声或涡流检测复验。

2.3 智能检测技术

2.3.1 物联网监测

物联网监测通过部署多类型传感器与智能终端,结合无线通信技术构建实时数据感知网络,实现对设备状态、环境参数及生产流程的全方位监控。例如,在工业领域,温度、振动、压力传感器可实时采集设备运行数据,通过5G或LoRa网络传输至云端平台;平台利用大数据分析技术对数据进行清洗、特征提取与异常检测,结合机器学习模型预测设备故障风险,提前发出维护预警。同时,物联网监测支持远程控制功能,运维人员可通过移动终端实时调整设备参数,优化生产效率。该技术优势在于数据采集的连续性与实时性,可显著降低人工巡检成本,提升故障响应速度。

2.3.2 无人机检测

无人机检测依托搭载高清摄像头、激光雷达(LiDAR)及红外热成像仪等设备的无人机平台,结合自主飞行与智能避障技术,实现对复杂环境或高危区域的高效、安全检测。例如,在电力巡检中,无人机可沿预设航线自动飞行,通过高清摄像头捕捉输电线路的破损、锈蚀等缺陷,结合图像识别算法实时分析并标记问题位置;在建筑检测领域,激光雷达可扫描建筑表面生成三维点云模型,通过与原始设计数据对比,量化结构变形或裂缝扩展情况。此外,无人机检测具备灵活性强、覆盖范围广的特点,单日可完成数十公里线路或数万平方米区域的巡检任务,效率较传统人工检测提升5-10倍。

2.3.3 AI图像识别

AI图像识别基于深度学习算法,通过海量标注数据训练模型,实现对图像中目标物体的自动检测、分类与定位。其技术流程包括数据采集、预处理、特征提取、模型训练与推理应用五个环节。例如,在工业质检领域,AI图像识别系统可对生产线上的产品进行实时拍

摄,通过卷积神经网络(CNN)提取图像特征,识别表面划痕、裂纹、孔洞等缺陷,并输出缺陷类型、位置及严重程度信息;在医疗影像分析中,AI模型可快速识别X光、CT图像中的肿瘤、结节等病变区域,辅助医生进行早期诊断。该技术优势在于处理速度快、准确率高,且可适应复杂场景下的图像识别需求^[2]。

3 公路桥梁试验检测技术的发展趋势

3.1 多技术融合发展

公路桥梁检测正加速向多技术融合方向演进。传统检测手段与物联网、遥感、机器人等技术的深度耦合,形成覆盖“表面-内部-实时”的全维度检测能力。例如,无人机搭载高精度激光雷达与红外热成像仪,可快速获取桥梁三维模型并识别裂缝、渗漏等病害;爬壁机器人集成超声波与雷达设备,实现混凝土内部缺陷的自动化检测;水下机器人结合声呐技术,完成桩基冲刷等隐蔽部位的精准探测。此外,多源数据融合技术通过整合人工巡检、健康监测系统与快速检测数据,构建桥梁健康状态的立体画像,为养护决策提供更全面的科学依据。

3.2 智能化与自动化水平提升

智能化与自动化已成为桥梁检测技术的核心驱动力。基于深度学习的AI图像识别算法,可自动标注裂缝宽度、锈蚀面积等病害参数,精度达毫米级;边缘计算技术使传感器具备前端数据处理能力,减少数据传输延迟,实现实时预警。自动化检测装备方面,轻量化监测系统通过集成动态视觉形变仪、无线倾角传感器等设备,实现“零布线”部署,运维成本降低60%以上;腿式机器人搭载地形感知系统,可在复杂环境下自主完成高耸塔柱的检测任务。未来,智能体技术将进一步赋能检测流程,通过多智能体协同完成数据采集、分析到决策的全链条自动化。

3.3 基于全生命周期的检测技术体系完善

全生命周期管理理念正重塑桥梁检测技术体系。从设计阶段预埋传感器接口,到施工期质量监控,再到运营期动态监测与退役评估,检测技术贯穿桥梁全寿命周期。例如,在建造阶段采用光纤光栅传感器,实时监测

混凝土浇筑温度与应力分布;运营期通过数字孪生技术构建虚拟桥梁模型,结合监测数据预测结构劣化趋势;退役阶段利用无损检测技术评估剩余承载力,为拆除或加固提供依据。此外,全生命周期数据平台整合设计图纸、检测报告、维修记录等信息,实现桥梁健康档案的动态更新与共享。

3.4 检测标准与规范的更新与统一

检测标准与规范的统一是行业高质量发展的基石。我国已形成以《公路桥涵养护规范》《公路桥梁检测技术规程》为核心的标准体系,覆盖检测频率、方法、指标等全流程。例如,新发布的《在用公路桥梁现场检测技术规程》明确了无人机检测的操作规范与数据格式;针对轻量化监测设备,行业正推动制定统一标定方法与预警阈值,解决不同厂商产品数据可比性差的问题。国际上,ISO、ASTM等机构的标准更新也聚焦于无损检测、荷载试验等关键领域。未来,标准体系将进一步向智能化检测方向延伸,规范AI算法训练数据集、模型验证流程等新兴技术要求^[3]。

结束语

公路桥梁试验检测技术作为保障桥梁安全与耐久性的关键支撑,正随着材料科学、信息技术与人工智能的突破实现跨越式发展。从传统人工检测到多技术融合的智能检测,从单一参数监测到全生命周期管理,技术革新不仅提升了检测精度与效率,更推动了养护决策的科学化转型。未来,随着检测标准体系的完善与核心技术的自主可控,我国桥梁检测将进一步向智能化、标准化、国际化迈进,为构建“安全、耐久、智慧”的现代化桥梁基础设施提供坚实保障,助力交通强国战略的高质量实施。

参考文献

- [1]徐岩,许飞.公路桥梁试验检测技术及应用方法研究[J].建材与装饰,2021(50):279.
- [2]郑健.论公路桥梁试验检测技术的发展趋势[J].四川建材,2021,43(09):30-31.
- [3]刘明培.论公路桥梁试验检测技术的发展趋势及解决措施[J].江西建材,2022(07):189.