

道路桥梁检测技术的要点及应用研究

文 / 尹德方 深圳高速工程检测有限公司

摘要：本文针对道路桥梁运营过程中结构安全与性能退化问题，对检测技术的要点及应用展开研究。从精准识别结构性损伤、监测材料性能衰减、评估荷载承载能力三方面分析了技术要点；从前期勘查、方案制定、技术操作到结果分析与报告编制论述了应用流程；探讨了引入智能传感设备、完善数据处理算法、建立全生命周期检测体系等优化路径。研究旨在表明，通过系统的技术要点把控、规范的应用流程实施及持续的技术优化，可有效提升检测精准度与效率，为道路桥梁的安全运营与科学养护提供可靠技术支持。

关键词：道路桥梁检测；结构性损伤；材料性能衰减；荷载承载能力；数据处理算法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.039

引言

道路桥梁作为交通基础设施的核心组成部分，其结构安全与性能稳定直接关系到通行效率与公众安全。随着服役时间增长，在荷载作用、环境侵蚀及材料老化等因素影响下，结构不可避免出现损伤累积与性能退化，亟需通过科学的检测技术及时掌握其技术状况。当前，检测技术在实际应用中仍存在精准度不足、流程不规范、技术更新滞后等问题，影响了对结构状态的准确判断。为此，深入研究道路桥梁检测技术的要点、应用流程及优化路径，对于提升检测水平、保障结构安全具有重要意义。

一、道路桥梁检测技术要点

（一）精准识别道路桥梁结构性损伤

依据结构类型确定桥梁的支座、连接节点、梁体下缘等关键检测区域，道路的路面层、基层及路基过渡段，明确不同结构部位易出现的裂缝、变形、渗漏、钢筋锈蚀等损伤类型^[1]。采用分层检测方法，先通过外观普查锁定疑似损伤区域，记录损伤的位置、形态及分布特征，再运用专项检测技术进行量化验证，对于混凝土结构中的裂缝，采用裂缝宽度检测仪测量其最大宽度与深度，精度控制在0.02mm以内；对于钢结构的连接节点，采用超声波探伤技术检测内部焊缝缺陷（图1），灵敏度达到可检出 $\phi 2\text{mm}$ 当量缺陷的水平。结合结构力学分析，判断损伤对结构整体受力的影响，通过有限元模拟计算损伤区域的应力集中系数，评估损伤的发展趋势与风险等级。

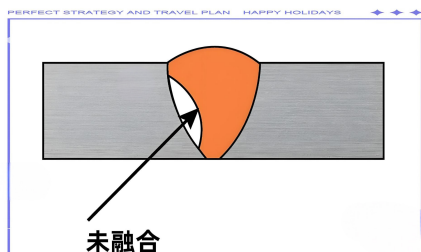


图1 超声波探伤技术检测内部焊缝缺陷

（二）材料性能衰减监测

针对道路桥梁常用的混凝土、钢材、沥青等材料，确定各材料的关键性能指标，混凝土关注抗压强度、弹性模量、碳化深度及氯离子渗透系数，钢材关注屈服强度、抗拉强度及锈蚀速率，沥青混合料关注马歇尔稳定度、流值及动稳定度。制定分阶段监测计划，新建结构初期每1~2年检测一次，运营中期每半年至1年检测一次，老旧结构每3个月至半年检测一次，根据材料特性选择适宜的检测方法，混凝土强度采用回弹法与钻芯法结合验证，碳化深度采用酚酞试剂滴定法测量，精度控制在1mm以内；钢材锈蚀速率采用线性极化法现场测定，数据采集频率不低于每小时1次^[2]。建立材料性能衰减模型，结合环境因素如温度、湿度、侵蚀介质浓度等，量化性能指标随时间的变化规律，计算性能衰减率与剩余性能保留率，当混凝土抗压强度衰减超过设计值的20%、钢材锈蚀截面损失率超过5%时，发出性能预警。

（三）荷载承载能力评估分析

收集结构设计资料与运营荷载数据，明确设计荷载等级、结构自重、实际交通荷载组成及荷载作用频次，建立荷载效应数据库，区分永久荷载与可变荷载的不同影响。采用分级评估方法，先通过结构验算评估理论承载力，依据现行设计规范，结合材料性能检测结果修正结构抗力参数，计算结构在基本组合与偶然组合下的承载力极限状态与正常使用极限状态的验算结果，分析结构的安全储备系数^[3]。再通过现场荷载试验验证评估结果，对于桥梁结构，采用静力荷载试验测定控制截面的应力、应变与位移响应，测试荷载分级施加，每级荷载持荷时间不少于15min，确保数据稳定；对于道路结构，采用弯沉检测评估路基路面的承载能力，检测频率按每

20m 一个测点控制。结合长期监测的荷载作用效应与结构响应数据,分析结构在重复荷载作用下的疲劳性能,计算疲劳损伤累积值,评估结构抵抗疲劳破坏的能力。

二、道路桥梁检测技术应用流程

(一) 前期现场勘查与数据采集

明确勘查范围与重点,依据道路桥梁的结构类型、建设年代、设计标准及运营状况,划定勘查区域,涵盖桥梁的墩台、桥面系、伸缩缝,道路的路肩、边坡、排水系统等主体结构、附属设施及周边环境。组织专业人员进行现场踏勘,采用 GPS 定位技术记录结构关键部位的坐标信息,使用激光测距仪测量结构尺寸参数,精度控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,同时记录结构的外观状况,包括表面损伤、变形、渗漏等现象,拍摄高清影像资料并标注具体位置^[4]。收集相关技术资料,包括设计图纸、施工记录、历次检测报告、养护档案及交通荷载数据,核实结构的原始参数与运营历史,特别关注结构改造、维修情况及过往出现的病害问题。对周边环境进行调查,记录气象条件、地质水文状况、周边构筑物及施工活动等可能影响结构安全的因素,测量环境温度、湿度、振动频率等参数,为后续检测方案制定提供环境背景数据。

(二) 检测方案制定

在前期勘查基础上,分析结构的主要病害类型、潜在风险点及检测需求,明确评估结构的安全性能、确定损伤程度、判断材料性能衰减状况等检测的目标与范围。根据检测目标选择适宜的检测技术与方法,结合结构特点与现场条件,确定采用无损检测、半破损检测或荷载试验等方式,对混凝土强度检测选用回弹法与钻芯法组合,对钢结构焊缝检测采用超声波探伤与磁粉探伤结合,对路面结构检测采用弯沉仪与地面三维激光扫描技术。制定详细的检测实施计划,包括检测的顺序、步骤、时间安排及人员分工,明确各检测环节的技术要求与质量控制标准,如检测仪器的校准周期、数据采集的频率与精度、现场操作的安全规范等。考虑现场可能出现的突发情况,制定应急预案。

(三) 实施技术检测操作

检测前对所用仪器设备进行全面检查与校准,按照相关技术标准对检测仪器的量程、精度、灵敏度等参数进行标定,裂缝宽度检测仪需用标准试块校准,误差控制在 0.01mm 以内;超声波探伤仪需用标准试块调试,

确保探头灵敏度符合要求^[5]。根据检测方案的顺序与步骤开展现场检测,在桥梁梁体的跨中、支座处,道路路面的行车道轮迹带等结构关键部位设置检测点,标记位置并记录编号,确保检测点分布均匀且具有代表性。严格按照操作规程进行检测操作,采用回弹法检测混凝土强度时,需保证回弹仪与测试面垂直,每个测区布置 16 个测点;采用静力荷载试验时,需缓慢施加荷载,每级荷载稳定后再进行数据采集,避免荷载冲击对结构造成影响。实时记录检测数据与现场情况,采用电子记录与手工记录双重方式,确保数据的完整性与可追溯性,对检测过程中发现的异常情况及时标注并拍照记录,必要时调整检测方案或增加检测点。

(四) 结果分析与报告编制

对检测数据进行系统整理与预处理,剔除无效数据与异常值,采用统计分析方法对数据进行汇总、分类、计算,包括计算混凝土强度平均值、标准差、变异系数,分析裂缝宽度、长度的分布规律,评估结构变形的累积趋势。综合各项检测结果,对结构的整体性能进行评估,划分技术状况等级,桥梁的技术状况等级分为完好、轻微破损、中等破损、严重破损、危险五个等级,明确结构存在的主要问题与风险点,分析材料劣化、荷载作用、环境影响、施工缺陷等问题产生的原因^[6]。编制完整的检测报告,报告内容包括工程概况、检测目的与范围、检测方法与过程、检测结果与分析、评估结论与建议等部分,附件应包含检测数据、现场照片、图表等资料,确保报告逻辑清晰、数据准确、结论可靠、建议可行,为道路桥梁的养护、维修与管理提供科学依据。

三、道路桥梁检测技术优化路径

(一) 引入智能化传感设备、监测技术

依据道路桥梁的结构特点与监测需求,确定传感设备的布设位置与监测参数,在桥梁主梁关键截面安装应变传感器(图 2),在路面基层设置温湿度传感器,明确设备的测量范围、精度及采样频率,确保能捕捉结构细微变化。选型时需考虑设备的抗振动、耐腐蚀性能等环境适应性,选用工业级封装的传感器,其工作温度范围覆盖 -30°C 至 70°C ,防护等级不低于 IP67。传感器的校准与调试中,采用标准信号源对设备输出数据进行标定,修正非线性误差,确保不同设备间的数据一致性,误差控制在 $\pm 2\%$ 以内^[7]。搭建数据传输网络,根据监测范围选择有线或无线传输方式,无线传输采用 LoRa 或

NB-IoT 技术, 确保信号穿透性与传输稳定性, 数据丢包率不超过 1%。系统联调中, 测试传感器、传输模块与数据接收端的协同工作状态, 模拟极端天气条件下的运行情况, 验证系统的可靠性与耐久性, 为后续实时监测奠定基础。

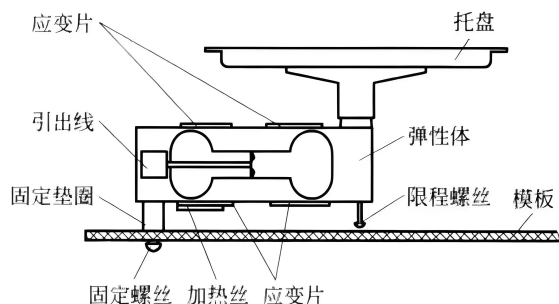


图 2 应变式传感器安装示意图

（二）完善数据处理算法

对采集的原始数据进行清洗, 剔除因设备故障或干扰产生的异常值, 采用 3σ 准则识别离群点, 通过插值法填补数据缺失, 确保数据集的完整性与准确性。数据降噪处理中, 针对监测数据中的环境噪声与设备噪声, 选用小波变换或卡尔曼滤波算法, 保留结构振动、应变等有效信号, 降低信噪比至 10dB 以下^[8]。开展特征提取, 从处理后的数据中提取反映结构状态的桥梁的固有频率、位移幅值、应变峰值等关键指标, 通过时域分析与频域分析相结合的方式, 挖掘数据背后的结构力学特征。在此基础上, 构建结构状态评估模型, 采用机器学习算法对特征数据进行训练, 建立输入参数与结构健康状态的映射关系, 通过交叉验证优化模型参数, 提高评估准确率。

（三）建立全生命周期检测体系

在设计阶段, 制定检测方案, 明确各阶段的检测项目、周期与技术标准, 如基础沉降观测在施工期每 7 天一次, 运营初期每 3 个月一次, 后期每半年一次, 确定检测数据的归档要求与共享机制。施工阶段开展过程检测, 对混凝土强度、钢筋保护层厚度等关键工序的质量指标进行实时监测, 采用无损检测技术验证结构实体质量, 及时发现施工缺陷并提出整改建议, 确保工程质量符合设计要求。运营阶段实施常态化监测与定期检测相结合的模式, 通过智能化传感系统进行实时监测, 捕捉结构的动态响应, 每 3~5 年开展一次全面检测, 评估结构性能退化程度, 预测剩余使用寿命^[9]。退役阶段进行安全

评估检测, 测定结构的残余承载力与稳定性, 制定拆除或改造方案, 确保处置过程的安全性。建立全生命周期数据库, 整合各阶段的检测数据、维护记录与评估报告, 采用区块链技术保证数据的不可篡改性, 为结构全生命周期管理提供数据支撑。

结语

道路桥梁检测技术的有效应用需以明确技术要点为基础, 以规范应用流程为保障, 并辅以持续的技术优化。在技术要点方面, 精准识别结构性损伤需结合分层检测与力学分析, 建立科学的损伤判定标准; 材料性能衰减监测应针对不同材料特性制定分阶段计划, 实现性能退化的动态追踪; 荷载承载能力评估需融合理论计算与现场试验, 确保评估结果的可靠性。在应用流程方面, 前期勘查与数据采集是基础, 需构建全面的信息体系; 检测方案制定需兼顾科学性与针对性, 通过专家论证确保可行性; 技术检测操作需严格遵循规范, 保证数据的准确性; 结果分析与报告编制应实现数据解读与建议的有机结合, 为养护决策提供依据。技术优化路径则通过引入智能设备、完善算法、建立全生命周期体系, 进一步提升了检测的智能化与系统性。

参考文献

- [1] 张朔. 道路桥梁检测技术的要点及应用 [J]. 百科论坛电子杂志, 2021 (23): 4130-4131.
- [2] 王菲菲. 道路桥梁检测技术的要点及应用探究 [J]. 现代物业, 2023 (10): 67-69.
- [3] 宋震. 道路桥梁检测技术的要点及应用分析 [J]. 世界家苑, 2023 (19): 115-117.
- [4] 宋红亮. 基于多数据融合的道路桥梁检测技术研究 [J]. 中国高新科技, 2025 (6): 100-101, 110.
- [5] 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, (2): 4-6.
- [6] 刘富洁. 道路桥梁工程原材料试验检测技术研究 [J]. 运输经理世界, 2025 (12): 92-94.
- [7] 李艺. 基于道路桥梁混凝土现场施工的检测技术 [J]. 水泥, 2025 (3): 83-85.
- [8] 张志宽. 新时期道路桥梁无损检测技术及质量管理研究 [J]. 价值工程, 2025, (19): 159-161.
- [9] 李文学. 道路桥梁工程路基路面压实质量检测技术研究 [J]. 运输经理世界, 2024 (26): 95-97.