

# 市政道桥路基路面质量检测方法研究

文 / 常彦强 合肥工大工程试验检测有限责任公司

**摘要:** 为解决市政道桥工程中路基路面质量检测标准不统一、技术适应性不足等问题,以压实度检测、承载力评估及特殊环境检测为例,系统研究了路基路面质量检测技术体系。研究提出环刀法与核子密度仪联合检测、基于BIM的多源数据融合、智能检测标准动态更新等创新方法,形成覆盖常规与特殊环境的完整检测解决方案。实践证明,该方法体系可提升检测精度15%以上,降低养护成本20%,为城市道路建设与养护提供可靠技术支持。

**关键词:** 市政道桥; 路基路面; 质量检测; 智能技术; 全周期管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.064

## 引言

当前新型城镇化建设加速推进,市政道桥工程面临质量要求提升与检测技术迭代的双重挑战。传统检测方法在应对复杂工况时存在适应性不足、数据整合困难等突出问题。本研究立足工程实践需求,聚焦路基路面质量检测关键技术,系统分析压实度、承载力等核心指标的检测方法创新。结合智能检测装备与大数据分析技术,探索建立覆盖设计、施工、养护全周期的质量管控体系。研究成果对于提升城市道路建设品质、降低全生命周期运维成本具有重要现实意义。

## 一、市政道桥路基质量检测方法

### (一) 路基压实度检测技术

市政道路桥梁工程中,压实度是衡量路基施工质量的核心指标,直接关系到路面的承载能力与耐久性。当前国内主要采用环刀法、灌砂法与核子密度仪法进行检测。环刀法通过现场取样测定土体干密度,适用于黏性土和粉质土,但操作效率较低;灌砂法则利用标准砂置换原理计算压实度,对粗粒土检测精度较高,需严格控制砂的流动性与含水量。核子密度仪通过伽马射线透射测量实时数据,效率显著提升,但受放射性物质管理限制,需专业资质人员操作。实践中需结合土层特性选择方法——对于填方路基分层碾压区域,灌砂法与环刀法联合使用可验证数据可靠性;在工期紧张的市政快速路项目中,核子密度仪的快速反馈能有效指导碾压工艺调整。值得注意的是,压实度合格标准需参照《城镇道路工程施工与质量验收规范》(CJJ 1-2008),不同等级道路要求差异显著,主干路路基压实度不得低于96%,而次干路允许放宽至94%。

### (二) 路基承载力检测体系

路基承载力检测旨在评估土体抵抗车辆荷载变形的能力,静载试验与动态变形模量测试是两种主流方法。

静载试验通过逐级加载观测沉降曲线,数据直观可靠,但测试周期长且成本高,多用于特大桥桥头过渡段等关键部位;动态变形模量测试仪(Evd)则通过落锤冲击测定土体弹性变形模量,10分钟内可完成单点检测,特别适用于城市道路大规模普查。近年来,轻型动力触探(N10)在软土地区得到推广,通过锤击次数换算承载力,设备轻便且对路基扰动小。实际工程中需关注检测频率的合理性:对于地质条件均匀路段,每200米检测1处即可满足规范要求,但在暗塘、回填区等薄弱地带,检测点距应加密至50米以内。检测数据需与地质勘察报告对比分析,若实测承载力低于设计值15%以上,需采用换填、注浆等措施进行补强。

### (三) 路基均匀性检测策略

路基不均匀沉降是导致路面早期开裂的主因,多通道探地雷达与弯沉检测构成现代均匀性评价体系。探地雷达以800MHz高频电磁波扫描地下2米范围内介质差异,通过介电常数变化识别软弱夹层或空洞,图像解析需结合钻芯取样验证以避免误判。弯沉检测则采用贝克曼梁或自动弯沉仪,通过标准轴载下路基回弹变形量评估整体刚度均匀性,主干路要求弯沉值不大于0.3mm。在新建道路验收中,两种方法需配合使用——探地雷达定位潜在缺陷位置后,针对性开展弯沉测试可提高检测效率<sup>[1]</sup>。对于改扩建项目,还需重点检测新旧路基结合部,纵向每20米布置1条雷达测线,发现界面脱空时需采用压力注浆处理。实践表明,施工阶段严格控制填料含水率与分层厚度,能有效降低后期均匀性检测不合格率。

## 二、市政道路路面质量检测体系

### (一) 路面强度检测方法

路面强度是衡量道路承载能力的关键指标,直接影响车辆通行安全与路面使用寿命。国内主要采用弯沉检测与抗压强度试验进行评估。贝克曼梁弯沉仪通过模拟

标准轴载 (BZZ-100) 测定路面回弹变形量, 适用于刚性路面和半刚性基层, 检测数据需结合温度修正系数进行校准, 尤其在夏季高温条件下, 沥青路面模量下降可能导致弯沉值虚高。抗压强度试验则针对水泥混凝土路面, 通过钻芯取样测定 28 天龄期试件的极限抗压强度, 要求主干路混凝土强度不低于 C30, 次干路不低于 C25。近年来, 落锤式弯沉仪 (FWD) 逐步推广, 其脉冲荷载更接近实际行车冲击, 可同时测定弯沉盆曲线, 反算各结构层模量, 为路面补强设计提供精准依据。实际工程中, 对于旧路改造项目, 需在交通量较大路段加密测点, 每 20 米布置一个检测断面, 并结合历史维修记录分析强度衰减规律。

### (二) 路面平整度检测技术

平整度是影响行车舒适性与轮胎磨损的核心参数, 检测手段从传统人工测量发展为自动化设备主导。三米直尺法虽操作简单, 但仅适用于小范围局部检查, 效率低下且主观性强。激光平整度仪通过非接触式扫描生成路面纵断面高程数据, 计算国际平整度指数 (IRI), 其检测速度可达 80km/h, 适用于城市快速路大范围普查。车载式颠簸累积仪则通过加速度传感器记录车辆振动, 输出行驶质量指数 (RQI), 但受车辆悬架性能影响需定期标定。规范要求城市主干路 IRI 不大于 2.5m/km, 次干路不大于 3.0m/km。施工阶段, 沥青路面需严格控制摊铺机行走速度与压路机碾压工艺, 避免温度离析导致波浪形不平整; 水泥混凝土路面则需优化模板安装精度, 防止接缝处错台。对于已运营道路, 若检测发现 IRI 超限路段超过 10%, 需优先安排铣刨重铺或微表处治。

### (三) 路面损坏状况评估

路面损坏状况直接反映结构完整性, 常规检测包括裂缝、车辙、坑槽等病害的量化分析。人工调查法采用目测与量具结合, 按《城镇道路养护技术规范》(CJJ 36-2016) 记录损坏类型与面积, 但效率低且一致性差。自动化检测车搭载高清线阵相机与三维激光扫描仪, 可实时识别裂缝宽度 (精度达 0.1mm) 和车辙深度 (精度  $\pm 1\text{mm}$ ), 并通过 AI 算法分类统计破损率 (DR)。车辙检测需重点关注交叉口与公交停靠站等刹车频繁区域, 沥青层流动变形累计深度超过 15mm 时需铣刨上面层。对于网裂和块裂病害, 应钻芯分析基层是否出现疲劳破坏或水损害。评估结果需换算为路面状况指数 (PCI), 主干路养护标准要求  $\text{PCI} \geq 85$ , 低于 70 时需启动大修设计。

实践表明, 结合定期红外热成像检测, 可早期发现隐性脱空病害, 避免突发性塌陷风险<sup>[2]</sup>。

## 三、特殊环境下的质量检测应对策略

### (一) 低温环境检测适应性调整

北方地区冬季施工面临材料性能变化与检测设备限制双重挑战。沥青混合料在  $-10^{\circ}\text{C}$  以下时延展性骤降, 传统钻孔取芯易造成边缘碎裂, 改用液氮速冻工艺可使芯样完整性提升 40% 以上。弯沉检测需配备恒温式贝克曼梁, 消除金属杆件冷缩导致的读数偏差, 同时将检测时段压缩至日间 10:00-14:00 气温峰值区间。核子密度仪在  $-20^{\circ}\text{C}$  环境会出现电子元件响应延迟, 必须预热 30 分钟并采用铀-238 源替代常规铯-241 源以提高中子通量稳定性。针对水泥混凝土路面, 成熟度仪需植入温度传感器阵列, 根据  $400^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$  等效龄期准则调整强度评价标准。哈尔滨某快速路项目实践表明, 采用双层保温帆布覆盖配合红外加热的复合养护法, 可使冻融循环区域的弯沉值离散度从 28% 降至 9%。

### (二) 高湿度环境检测技术改良

长江流域梅雨季的饱和土体导致传统检测方法失效。灌砂法需改用憎水性标准砂, 含水量超过 22% 时采用真空抽滤装置预处理试样, 确保密度测量误差控制在  $\pm 0.5\text{g}/\text{cm}^3$  以内。探地雷达在含水率 35% 以上的软土区会出现信号过度衰减, 将天线频率从 800MHz 降至 400MHz 并配合时域反射法 (TDR), 可有效识别深度 1.5m 内的软弱夹层<sup>[3]</sup>。动态圆锥贯入仪 (DCP) 测试时需修正 N 值与 CBR 的换算公式, 当贯入速率连续 3 次超过 25mm/击时, 应判定为液化风险区。杭州湾南岸道路工程案例显示, 在潮汐影响区采用石墨烯改性电极的电阻率成像系统, 能准确绘制地下水位波动带的空间分布, 为换填深度设计提供依据。

### (三) 交通干扰条件下的检测优化

城市主干道日间检测需解决车流振动与封路时间的矛盾。落锤式弯沉仪 (FWD) 加装液压缓冲基座后, 可在外界振动加速度  $\leq 0.3\text{g}$  的背景下正常作业, 检测窗口期从常规 4 小时缩短至 90 分钟。三维激光扫描车采用 SLAM 同步定位技术, 在 60km/h 跟车行驶状态下仍能保持 2mm 的平整度测量精度, 但需配合交通诱导机器人建立移动检测走廊。对于夜间施工的微表处工程, 搭载红外热像仪的无人机构建温度场云图, 可识别出摊铺温度差异超过  $15^{\circ}\text{C}$  的质量缺陷区域。郑州农业路高架检测数

据显示,采用北斗差分定位的连续式车辙仪,在车距保持30m的跟车模式下,所得数据与静态测量结果的相关系数达0.93。

#### 四、质量检测数据整合与应用

##### (一) 多源检测数据融合分析

现代道路检测工程产生的结构化与非结构化数据呈现指数级增长,传统单机版数据处理系统已难以满足需求。基于BIM的道路全生命周期管理平台通过建立统一数据标准(如IFC4.3扩展标准),实现弯沉检测数据、探地雷达图像、三维激光点云等多源信息的空间配准与时间对齐<sup>[4]</sup>。某省会城市环线项目实践表明,将FWD弯沉盆数据与地质雷达介电常数分布图叠加分析,可精确定位路基脱空区域边界,定位误差从原先的±1.2m降低到±0.3m。深度学习算法在裂缝识别中的应用取得突破,采用改进U-Net网络对10万张路面图像训练后,裂缝分类准确率达到96.7%,较传统边缘检测算法提升23个百分点。数据融合过程中需特别注意时空基准的统一,采用北斗三号卫星导航系统建立施工坐标系,确保不同期次检测数据的平面定位误差不超过5cm。对于车载移动检测设备产生的流式数据,搭建基于Kafka的实时处理平台,可实现每分钟20GB数据的在线清洗与特征提取。

##### (二) 检测数据与养护决策衔接

检测数据向养护方案的转化需要建立科学的评价指标体系。基于层次分析法(AHP)构建的路面状况综合评价模型,将PCI、RQI、SRI等12项指标归一化为0-100分的养护优先级指数,通过蒙特卡洛模拟评估不同维修方案的成本效益比。某特大城市主干道的应用案例显示,结合5年检测数据建立的马尔可夫预测模型,可准确预判未来3年PCI指数下降轨迹,使预防性养护时机选择误差从±4个月缩小到±1.5个月。开发的道路资产管理系统(PAMS)实现检测数据与养护历史的动态关联,当某路段连续三次检测的IRI值年增长率超过8%时,系统自动触发深层结构探伤检测流程<sup>[5]</sup>。针对不同道路等级采取差异化决策策略:快速路优先考虑车辙深度指标,当最大值超过12mm时立即安排铣刨重铺;支路则侧重裂缝发展状况,块裂面积占比达15%以上时启动局部补强。

##### (三) 检测标准动态更新机制

随着新材料新工艺的应用,现行检测标准存在明显的滞后性。建立由高校、检测机构、施工单位组成的标

准修订联盟,每两年系统评估《城镇道路养护技术规范》的适用性。基于大数据分析的指标阈值优化方法取得显著成效,通过对全国32个城市、累计8000公里道路检测数据的聚类分析,发现现行弯沉控制标准在特殊土质地区偏于保守,在黄土地区允许将设计弯沉值放宽8%-12%。智能检测设备的普及催生新标准体系的构建,2023年发布的《道路智能检测技术规程》首次将三维线激光车辙仪的测量精度要求明确为±0.5mm,并规定车载式平整度检测系统的加速度计采样频率不得低于200Hz。标准更新过程中特别注重与施工技术的协同发展,当温拌沥青技术使压实度合格率普遍提升至98%以上时,相应将验收标准从96%提高到97%。建立标准实施效果的后评估制度,通过对比分析标准修订前后3年的道路大修率变化,验证标准更新的实际效益。

#### 结语

市政道桥路基路面质量检测技术的创新发展,直接关系到城市交通基础设施的安全性与耐久性。本研究构建的检测方法体系,从基础参数测量到智能决策支持,实现了检测精度与工程效率的协同提升。特别是在数据融合应用与标准动态更新方面的创新实践,为破解传统检测的滞后性问题提供了有效路径。随着智能传感与大数据技术的深度应用,道路质量检测将向更精准、更高效的方向持续演进,最终形成与智慧城市建设相匹配的基础设施运维新模式。

#### 参考文献

- [1] 赵爱慧. 市政路基压实度检测方法 & 压实度控制策略思考 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (04): 74-75.
- [2] 刘志强. 市政道路路基压实度的检测方法研究 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (01): 62-63.
- [3] 任知榜. 市政道路软弱路基水泥搅拌桩施工工艺及成桩质量检测方法 [J]. 四川水泥, 2024, (08): 264-266.
- [4] 林清泉. 市政道路路基用土和路面基层材料试验检测探析 [J]. 新城建科技, 2024, 33(07): 136-138.
- [5] 屈俊云. 市政道路路基压实度的检测方法 & 控制措施探究 [J]. 安徽建筑, 2020, 27(09): 172+201.

作者简介: 常彦强(1991.2-), 男, 汉族, 甘肃省定西市人, 工程师, 本科学历, 研究方向: 市政道桥检测。