

道路桥梁路基工程试验检测技术

王中雷

临泉县交通运输综合行政执法大队 安徽 阜阳 236400

摘 要: 路基是道路桥梁工程的核心承重基础,其施工质量直接决定工程服役寿命与通行安全。本文依托现行公路工程检测规范,系统阐述路基试验检测的基础理论与核心检测项目,详解压实度、承载力、稳定性等关键指标的常规技术与智能检测手段,分析人工操作、设备工况、环境影响等引发的数据误差问题,针对性提出技术优化与质量管控对策,为路基施工质量精准管控提供技术参考。

关键词: 道路桥梁;路基工程;试验检测技术

引言: 随着道路交通工程建设标准不断提升,路基工程的稳定性、耐久性与承载力控制成为施工质控重点。路基试验检测作为把控工程质量、规避施工隐患的核心手段,贯穿施工全过程。当前路基检测涵盖填料性能、成型质量、结构稳定性等多项内容,传统检测模式存在操作不规范、数据偏差、抽检不合理等问题。为适配高质量工程建设需求,规范检测流程、升级检测技术、完善管控体系,对提升路基工程整体施工质量具有重要现实意义。

1 道路桥梁路基工程试验检测基础理论与核心项目

1.1 路基试验检测基本理论

(1) 路基工程质量控制核心原理:依据力学强度与稳定性协同控制原则,以压实度、承载力、变形特性为关键指标,确保路基在交通荷载与环境作用下满足长期服役性能要求。(2) 试验检测的基本原则与技术标准:遵循代表性取样、规范操作、数据可追溯原则,严格执行 JTG3450《公路路基路面现场测试规程》、JTG3430《公路土工试验规程》及 JTGF80/1《公路工程质量检验评定标准》等技术规范体系。(3) 检测数据精准性控制理论依据:基于误差理论与测量不确定度评定方法,通过系统误差校正、随机误差统计分析和粗差剔除准则(如拉依达准则),结合标准物质溯源与人员仪器比对,保障数据真实可靠。

1.2 路基填料性能检测项目

(1) 填料含水率与颗粒级配检测:采用烘干法测定含水率,运用筛分法(细粒土)与密度计法(含粘粒土)获取颗粒级配曲线,计算不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c ,判定填料类别与级配优劣。(2) 填料最大干密

度与最佳含水率检测:依据重型击实试验(III-2型击实仪)或振动台法获取击实曲线,峰值点对应最大干密度 ρ_{dmax} 与最佳含水率 ω_{opt} ,作为压实度计算基准。(3) 填料强度、稳定性及压实性能检测:采用 CBR 承载比试验评价填料强度与水稳定性,通过直剪试验获取粘聚力 c 和内摩擦角 ϕ ,结合表面振动压实仪法评定压实特性^[1]。

1.3 路基成型质量检测项目

(1) 路基压实度检测:采用灌砂法为主、环刀法为辅的现场检测手段,按 $K = \rho_d / \rho_{dmax} \times 100\%$ 计算压实度,逐层检测并严格满足设计文件及规范规定的压实度标准值。(2) 路基平整度、厚度及坡度检测:应用三米直尺法测平整度(间隙 $\leq 15\text{mm}$),采用挖验法或水准测量法检测结构层厚度,利用水准仪或全站仪测定横坡坡度与纵断高程偏差。(3) 路基承载力与沉降性能检测:采用平板载荷试验确定地基承载力特征值,运用弯沉仪检测路基顶面回弹弯沉值,布设沉降板进行工后沉降观测,确保沉降速率满足设计控制指标。

1.4 路基稳定性专项检测项目

(1) 路基抗冲刷、抗冻性能检测:通过室内冲刷试验模拟降雨径流条件评价抗冲刷能力,采用冻融循环试验与冻胀量测定评价抗冻性能,检测冻胀率与 CBR 值变化规律。(2) 路基边坡稳定性检测:运用地质雷达或高密度电法探测边坡内部隐患,布设测斜管监测深层水平位移,结合极限平衡法计算安全系数 K ,评估边坡整体稳定状态。(3) 特殊工况下路基耐久性能检测:模拟浸水-失水循环、化学侵蚀及地震荷载等特殊工况,通过室内加速试验检测强度衰减规律,结合现场监测数据综合评定路基长期耐久性。

2 道路桥梁路基工程核心试验检测技术及应用

2.1 路基压实度检测技术

(1) 灌砂法检测原理、操作流程及适用场景: 基于标准砂置换试坑体积原理, 以已知密度的标准砂填充试坑反算体积, 结合挖出土样质量与含水率计算干密度。操作流程包括: 平整测点、安放基板并称重、开挖直径 150mm 试坑至压实层全厚、收集土样称重测含水率、灌砂称余重、计算干密度与压实度。该法适用各类土质及粗粒土填料, 为现场压实度检测的标准仲裁方法, 尤其适用于施工质量验收评定。(2) 环刀法检测技术要点与数据处理方法: 采用标准环刀在压实层垂直均匀压入取原状样, 修平两端后称湿土质量, 配合烘干法测含水率, 按 $\rho_d = m/[V(1+0.01\omega)]$ 计算干密度。要点包括环刀内壁涂抹凡士林减少扰动、垂直下压均匀避免倾斜、每点平行取两个试样, 两样干密度差值超过 0.05g/cm^3 须重取样。该法仅适用于细粒土路基, 多用于施工现场快速复核检测^[2]。(3) 核子密度仪法快速检测技术及优势分析: 利用 γ 射线散射或透射原理, 放射源发射射线经土体吸收散射后被探测器接收, 直接换算显示湿密度与含水率, 单点检测不足 5 分钟。优势为检测速度快、操作简便、完全非破坏, 可连续长距离快速扫描, 尤其适合大面积施工动态监控。需注意放射源持证管理与安全防护, 表层精度受路面粗糙度影响, 应定期与灌砂法比对校准。

2.2 路基强度与承载力检测技术

(1) 贝克曼梁法路基回弹模量检测技术: 采用 5.4m 标准贝克曼梁配合百分表, 以 BZZ-100 标准轴载车辆加载, 梁端置于双轮轮隙测点, 车辆缓慢驶离后读取百分表最大回弹读数, 重复 3 次取代表值并温度修正 (换算至 20°C), 按弹性半空间公式计算回弹模量。设备简单成本低, 适用于路基交工验收阶段强度评定^[3]。(2) 落锤式弯沉仪 (FWD) 无损检测技术应用: 通过液压提升重锤 (100~300kg) 至设定高度后自由下落施加脉冲荷载, 由速度传感器拾取各测点动态弯沉时程数据形成弯沉盆, 反算各层动态弹性模量, 检测速度达 40~60 点/小时, 完全无损且荷载可调, 广泛用于结构承载力评估与养护决策。(3) CBR 承载比试验检测技术与质量判定标准: 按最佳含水率制备试件并重型击实成型, 浸水 4 昼夜后以 1.25mm/min 速率贯入, 记录贯入量 2.5mm 和 5.0mm 处单位压力, 分别与标准压力 (2.5mm 对应 7.0MPa, 5.0mm 对应 10.5MPa) 相比取较大值乘以 100 即为 CBR 值。高速公路上路床 CBR 不小于 10%, 下路床不小于 8%, 不满足时需采取掺灰改良或换填措施。

2.3 路基无损检测与智能检测技术

(1) 地质雷达路基内部缺陷检测技术: 利用高频电磁波 (100MHz~1GHz) 在路基中传播, 遇介电常数突变界面 (空洞、松散区、含水异常) 产生反射回波, 通过波形与走时识别缺陷位置与规模, 探测深度 2~10m, 效率高适合大面积隐蔽病害快速排查, 但数据分析依赖专业经验。(2) 超声波路基密实度无损检测技术: 基于应力波波速与密实度正相关原理, 发射换能器激发高频声波 (20~100kHz), 接收换能器拾取首波到达时间计算波速, 结合标定曲线换算密实度, 操作简便完全非破坏, 但含水率影响显著需修正, 含大粒径碎石时均匀性变差^[4]。(3) 智能化自动检测设备的工程应用实践: 集成加速度传感器与 GPS 的连续压实监控系统实时采集振动轮响应信号, 建立加速度与压实度数学模型, 自动生成压实度分布云图与碾压遍数热力图, 数据经无线网络上传云端管理平台, 实现质量自动预警与动态管控。

2.4 特殊路基专项检测技术

(1) 软土路基沉降与压缩性能检测技术: 室内固结试验逐级加载测定压缩系数 $a(1-2)$ 、压缩指数 C_c 及先期固结压力 p_c , 现场分层沉降标与孔隙水压力计长期监测, 采用 Asaoka 法或双曲线法推算工后最终沉降与固结度, 指导预压卸载决策。(2) 湿陷性黄土路基稳定性检测技术: 室内双线法湿陷试验测定各级压力下湿陷系数 δ_s , 以 200kPa 下 $\delta_s \geq 0.015$ 判定为湿陷性黄土, 现场浸水载荷试验验证湿陷等级, 检测结果决定换填深度或挤密桩处理方案。(3) 冻土地基路基抗冻融性能检测技术: 室内冻融循环试验测冻胀率 $\eta = \Delta h/h \times 100\%$ 与融沉系数 A_o , 按冻胀率划分不冻胀至强冻胀等级, 现场布设冻胀计与地温监测孔, 成果用于非冻胀填料换填与保温层设计。

3 道路桥梁路基工程试验检测常见问题及技术优化对策

3.1 路基试验检测常见技术问题

(1) 人工操作不规范导致数据误差: 现场检测中, 部分人员未严格按规定操作, 如灌砂法试坑尺寸不符、坑壁松动土屑未清、环刀法倾斜或下压不均扰动原状土、含水率测定温度或时间偏离标准, 均使原始数据失真, 压实度计算结果偏离真实值, 影响评定准确性。(2) 设备老化及校准不及时引发精度问题: 长期野外作业致设备性能劣化, 如贝克曼梁百分表回弹失灵、核子密度仪放射源衰减、强度仪传感器零点漂移等, 若未按期送检校准, 系统误差累积, 数据整体偏移, 削弱评定结果的公信力。(3) 流程不规范、抽检不合理导致结果失真: 抽检频次不足、点位过度集中于便道或平整区域, 避开薄弱位置, 且检测与施工进度脱节, 样品代

表性严重不足,无法客观反映整体质量,易造成缺陷漏检和误判。

3.2 检测数据误差成因分析

(1) 人为因素:检测人员专业技术水平参差不齐,对试验规程的理解深度不一,操作熟练度差异显著,读数时存在估读主观偏差、数据记录笔误时有发生;样本选取过程中存在主观倾向,偏向采集表面平整密实或外观良好的部位样品,导致样本代表性不足,引入偶然误差。(2) 设备因素:仪器设备自身固有精度存在极限,长期高频使用后元器件疲劳老化、传动部件磨损、电路漂移等性能衰减,标准砂密度因反复使用破碎导致级配改变而未经重新标定,均会引入系统性测量偏差,直接影响检测数据的精确性、重复性与一致性。(3) 环境因素:路基温度变化引起材料体积与刚度改变,如贝克曼梁弯沉值须按规范修正至 20℃标准温度;湿度变化影响填料含水率与承载力,雨天作业时检测数据严重偏离真实值;施工现场压路机振动、重车通行等外部干扰影响仪器读数稳定,均增加了检测数据的离散程度与不确定性。

3.3 试验检测技术优化与改进对策

(1) 规范检测操作流程,强化人员专业技能培训:编制分项标准化作业指导书,详细规定各检测方法的操作细节与关键质控节点,建立培训—考核—持证上岗机制,定期组织实操技能比武与典型案例剖析,使一线人员熟练掌握规范操作要领,降低人为误差发生概率^[5]。(2) 升级检测设备,建立设备定期校准维护机制:加大投入引进高精度数显与自动化检测设备,制定仪器设备年度检定校准计划并刚性执行,设立专职设备管理员,建立一机一档维护台账,确保设备在校准有效期内使用、关键易损件定期更换,保障设备技术状态持续可靠。(3) 优化检测方案,科学规划抽检点位与频次:依据数理统计抽样原理,结合路基分区、填料变异性和施工进度动态调整检测方案,检测断面与点位均布且覆盖全幅,对桥涵台背、填挖交界等薄弱部位加密抽检比例,确保样本充分代表整体质量,消除漏检盲区。

3.4 检测质量管控体系完善策略

(1) 建立全过程试验检测质量监督机制:健全施工单位自检、监理单位独立抽检、建设单位巡检、监督机构专检的四级质量控制体系,各层级平行取样、互不干扰、分别检测,数据相互比对验证,形成有效的质量监督闭环和责任追溯机制。(2) 推行智能化数据管理,实现检测结果精准溯源:搭建数字化检测数据管理云平台,现场检测数据通过移动终端实时上传、自动汇总统计分析,每个检测数据关联操作人员、仪器编号、环境条件及时间戳等完整溯源信息,实现全过程数字化留痕,有效杜绝数据人为篡改。(3) 完善检测验收标准,贴合现场施工实际需求:结合不同地域气候条件、填料类型及工程实践经验,适时修订和完善现行检测评定标准,增加过程控制动态指标,科学调整部分技术指标限值,使验收评定标准既严格规范又具备现场可操作性,切实有效指导施工质量管控。

结束语

综上所述,道路桥梁路基试验检测是保障工程质量的关键核心环节,各类检测技术的规范应用与优化升级至关重要。本文梳理了路基核心检测项目与技术要点,剖析检测工作中的常见误差问题及成因,并从人员、设备、方案、管控体系多维度提出改进策略。未来需持续融合智能化检测技术,完善全过程质量管控机制,提升检测数据精准度,助力路基工程建设质量与安全水平稳步提升。

参考文献

- [1] 李鑫.道路桥梁路基无损检测技术应用与精度提升研究[J]. 工程技术研究,2025,10(09):78-81.
- [2] 郑刚,张军辉,章定文.地基处理技术现状与发展[J]. 土木工程学报,2024,57(07):51-70.
- [3] 张亚飞,覃雅澜,伍嘉诚.基于固废改良高液限土的力学特性试验研究[J]. 中外公路,2025,45(06):94-101.
- [4] 范海山,张军辉,郑健龙.路基模量沿深度非均匀分布沥青路面动力响应解析研究[J]. 岩土工程学报,2022,44(06):1016-1026.
- [5] 王浩.道路桥梁路基工程试验检测常见问题及技术优化[J]. 公路交通科技,2024,41(05):89-94.