

# 公路工程试验检测技术

董思晗

新疆生产建设兵团建设工程质量检测中心有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 843900

**摘要:** 随着我国交通基础设施建设的持续高速发展,公路工程质量成为保障交通安全、提升运输效率和延长道路使用寿命的关键因素。作为确保工程质量的重要手段,公路工程试验检测技术贯穿于勘察、设计、施工及运营维护全过程,对控制材料性能、结构稳定性与施工工艺具有不可替代的作用。本文系统梳理了公路工程试验检测技术的发展历程与基本原理,重点分析了路基、路面、桥梁等关键部位常用的检测方法,包括压实度、弯沉、平整度、抗滑性能、无损检测等核心技术,并结合现代智能化、信息化发展趋势,探讨了无人机、三维激光扫描、大数据分析等新技术在检测领域的应用前景。最后,针对当前存在的标准体系不统一、人员素质参差、设备更新滞后等问题,提出了优化建议,以期提升我国公路工程试验检测技术水平提供理论支撑与实践指导。

**关键词:** 公路工程; 试验检测; 无损检测; 质量控制; 智能监测

## 引言

近年来,我国高速公路总里程已稳居世界第一,农村公路网络也日益完善。然而,在大规模建设的同时,部分路段出现早期损坏、沉降、裂缝等问题,暴露出施工质量控制与后期养护管理中的薄弱环节。究其原因,除了设计与施工因素外,试验检测技术的应用不足或不规范是重要诱因之一。试验检测技术是通过科学手段对公路工程所用原材料、中间产品及成品进行物理、化学、力学等性能测试,以验证其是否满足设计规范与使用要求的过程。它不仅是施工质量验收的依据,也是病害诊断、寿命预测和养护决策的基础。因此,深入研究并不断优化公路工程试验检测技术,对于实现“建得好、管得住、养得精”的现代公路建设目标具有重要意义。

## 1 公路工程试验检测技术概述

### 1.1 试验检测的定义与作用

公路工程试验检测是指依据国家或行业标准,采用仪器设备对工程实体或材料样本进行定量或定性分析,以判断其是否符合设计文件、技术规范及合同约定要求的技术活动。其核心作用体现在多个维度:首先,在施工过程中,试验检测能够实时监控材料性能与结构状态,及时发现施工偏差并采取纠偏措施,从而实现全过程质量控制;其次,在工程交竣工阶段,检测数据构成验收的核心依据,确保交付工程具备设计所要求的功能性和安全性;再次,在公路投入运营后,定期检测可识别潜在病害,为预防性养护提供科学支撑;此外,试验检测还为新材料、新结构、新工艺的研发与工程化应用提供关键数据验证,是推动公路工程技术进步的重要基础。

### 1.2 试验检测的主要阶段

公路工程试验检测贯穿全生命周期,可分为四个相互衔接的阶段。前期勘察阶段主要通过拟建路线沿线的地质、水文及土质条件进行取样与实验室分析,为路线选线、地基处理方案及路基设计参数提供依据。施工阶段则是检测工作最密集的环节,需对路基填料的压实质量、基层混合料的配合比与强度、沥青混凝土的温度均匀性与马歇尔指标、水泥混凝土的坍落度与抗压强度等进行全过程控制<sup>[1]</sup>。交竣工验收阶段则侧重于对整体结构性能的综合评价,包括路面弯沉、厚度、平整度、抗滑性能等关键指标的系统检测,以判定工程是否达到设计预期。进入运营养护阶段后,试验检测转为周期性专项性相结合的模式,通过路况调查、结构健康监测与病害诊断,动态评估公路使用性能,为科学制定养护计划与资金分配提供决策支持。

## 2 主要试验检测技术与方法

### 2.1 路基工程检测技术

#### 2.1.1 压实度检测方法

路基压实度是衡量填筑密实程度的核心指标,直接影响其承载能力与长期稳定性。传统灌砂法通过向试坑内填充标准砂来测定体积,进而计算现场干密度,适用于细粒土、砂类土及砾类土,虽结果可靠但效率低且具破坏性。环刀法主要用于黏性土,通过金属环刀切取原状土样称重测容重,精度高但扰动大、代表性有限。核子密度仪利用 $\gamma$ 射线穿透土体后的衰减反推密度,操作快捷、无需取样,但存在辐射安全风险且需频繁校准。近年来,无核密度仪基于电磁介电常数原理,实现无辐射、非接触式快速检测,正逐步取代传统方法,尤其适

用于高等级公路的大面积快速普查。

### 2.1.2 承载力与强度评价

路基承载力评价以加州承载比(CBR)试验为基础,该室内试验通过测定贯入单位面积所需荷载与标准碎石的比值,反映土体抵抗局部变形的能力,是路基结构设计的关键参数。现场原位测试中,动力触探通过记录标准锤击数与贯入深度的关系,快速评估碎石土、砂土地基的密实度与承载特性,操作简便但离散性较大。静力触探则采用液压系统匀速贯入锥形探头,连续记录锥尖阻力与侧壁摩阻力,数据分辨率高、重复性好,适用于软土至中密砂土的精细化勘察,尽管设备成本较高,但在重大工程中应用日益广泛,为地基处理方案提供精准依据。

## 2.2 路面工程检测技术

### 2.2.1 结构厚度与完整性检测

路面结构厚度是保证设计寿命的基础参数。钻芯法通过取芯机钻取完整芯样后直接测量各层厚度,结果准确但属破坏性检测,难以用于大面积评估。探地雷达(GPR)技术利用高频电磁波在不同介质界面的反射时间差,可无损、连续地反演沥青面层、基层乃至底基层的厚度分布,尤其适用于多层复合结构的快速普查<sup>[2]</sup>。现代GPR系统结合AI图像识别算法,还能自动识别脱空、含水层、层间剥离等结构缺陷,显著提升检测的深度与广度。

### 2.2.2 弯沉与结构强度检测

弯沉反映路面在荷载作用下的整体变形能力,是评价结构承载力的核心指标。贝克曼梁法作为传统标准方法,通过杠杆放大路面微小挠度,精度高但效率极低,仅适用于抽检。落锤式弯沉仪(FWD)通过可控重锤模拟瞬时行车荷载,同步采集多点弯沉盆数据,不仅实现高速连续检测,还可结合反演算法估算各结构层的弹性模量,为路面结构性能评估与剩余寿命预测提供量化依据,已成为高等级公路验收与养护决策的主流工具。

### 2.2.3 行驶质量与抗滑性能检测

平整度直接影响行车舒适性与燃油消耗。3米直尺法适用于低等级公路的局部检测,但主观性强、代表性差。连续式平整度仪通过位移传感器记录纵断面高程变化,可实现较长路段的连续测量。现代激光断面仪集成惯性导航与GPS,高效获取国际平整度指数(IRI),并生成三维路面模型,为精细化养护提供数据支撑。抗滑性能关乎雨天行车安全,摆式仪通过测量橡胶滑块在湿润路面的能量损失获得摆值(BPN),适用于低速路段;横向力系数测试车(如SCRIM)则在正常行驶速度

下连续测定SFC值,更具工程代表性。构造深度反映宏观纹理排水能力,传统铺砂法正被激光纹理仪取代,后者可非接触、高精度同步获取MTD数据。

### 2.2.4 沥青混合料性能检测

沥青混合料的性能检测贯穿拌合、运输、摊铺与压实全过程。马歇尔稳定度试验在60℃下测定试件的最大荷载与流值,是评价高温稳定性的基础方法。车辙试验通过轮碾模拟重载交通,直接观测永久变形量,更贴近实际工况。冻融劈裂试验通过对比冻融前后间接拉伸强度,评估水损害敏感性,是水稳定性控制的关键。此外,红外热成像技术被用于摊铺过程监控,通过实时捕捉路面温度场,有效识别温度离析区域,指导施工调整,防止因温度不均导致的早期损坏。

## 2.3 桥梁与结构物检测技术

### 2.3.1 混凝土结构性能检测

桥梁混凝土结构的强度与耐久性是安全运营的前提。回弹法通过冲击回弹值间接推算强度,操作便捷但受表面碳化、湿度影响较大。超声回弹综合法融合超声波传播速度与回弹值,显著提高推定精度,已成为现场检测的推荐方法。钢筋锈蚀风险通过半电池电位法评估,电位越负,锈蚀概率越高,可辅助判断结构耐久性退化程度。对于已出现的裂缝,除使用裂缝观测仪测量表面宽度外,还可借助超声波法探测其深度与走向,为结构安全性判断提供依据。

### 2.3.2 荷载试验与无人机巡检

荷载试验是验证桥梁实际承载能力的最直接手段。静载试验通过分级加载观测挠度、应变等响应,判断结构是否满足设计要求;动载试验则通过车辆激励激发结构振动,识别自振频率、阻尼比等动力特性,用于评估整体刚度与潜在损伤。近年来,无人机巡检技术迅速发展,通过搭载高清可见光相机、红外热像仪或激光测距模块,可对桥墩、支座、梁底、伸缩缝等人工难以接近的部位进行全方位可视化检查,大幅提升了检测效率与安全性,尤其适用于高墩、跨江等复杂环境下的定期巡查。

## 3 新兴技术在试验检测中的应用

### 3.1 无损检测(NDT)技术深化

除传统的雷达、超声波等手段外,探地雷达(GPR)技术近年来取得显著突破,其分辨率已达到厘米级,能够精准探测路基内部结构。结合深度学习算法,系统可自动识别脱空区域、含水层分布、钢筋位置及锈蚀状况等异常信息,大幅减少人工判读误差。同时,红外热成像技术凭借非接触、大面积快速扫描的优势,广泛应用于桥面铺装脱粘、隧道衬砌空洞等隐蔽病害的识别,尤

其适用于夜间或交通高峰期的快速巡检。

### 3.2 三维激光扫描与BIM融合

地面或机载三维激光扫描技术可高效获取公路全线高密度点云数据,构建毫米级精度的数字孪生模型。该模型与建筑信息模型(BIM)深度融合后,不仅支持施工全过程的可视化比对与偏差分析,还能实现结构变形实时监测、虚拟竣工验收及后期运维模拟,极大提升工程质量控制水平和全生命周期管理能力。

### 3.3 无人机(UAV)平台集成

无人机作为灵活高效的空中平台,已广泛集成多光谱相机、LiDAR、热像仪等多种传感器,适用于复杂地形下的边坡稳定性评估、路面裂缝识别、交通流量调查等任务。在山区、跨江跨河等高风险区域,无人机可替代人工完成危险作业,显著降低安全风险与人力成本,同时提高数据采集的连续性与覆盖广度<sup>[1]</sup>。

### 3.4 大数据与智能诊断系统

依托长期积累的弯沉、平整度、车辙、车流量等多源检测数据,构建公路性能衰变预测模型已成为可能。通过引入随机森林、支持向量机、卷积神经网络等机器学习方法,系统可动态评估道路健康状态,精准预测未来病害发展趋势。在此基础上,形成“状态感知—风险预警—养护决策”一体化的智能闭环管理体系。例如,某省级公路管理部门利用历史数据训练模型后,成功将高风险路段识别准确率提升至90%以上,有效优化了年度养护资金分配,延长了基础设施使用寿命。

## 4 当前面临的问题与挑战

尽管技术不断进步,我国公路工程试验检测仍面临多重挑战。首先,标准体系尚未完全统一,部分地方标准与国家标准存在差异,导致检测方法缺乏互认机制,影响跨区域工程质量比对。其次,检测机构能力参差不齐,尤其是一些中小型检测单位,受限于资金与人才,设备陈旧、人员资质不足,检测数据的准确性与权威性难以保障。第三,行业普遍存在“重施工、轻养护”的倾向,运营期检测投入严重不足,导致许多早期病害未能及时发现,最终演变为结构性损坏,大幅增加后期维修成本。第四,数据孤岛现象突出,设计、施工、检测、养护各阶段的数据分散在不同系统中,缺乏统一编

码与共享机制,难以形成覆盖全生命周期的公路数字档案。最后,尽管智能检测装备不断涌现,但受制于高昂成本、操作复杂性及技术人员观念滞后等因素,新技术在基层项目的推广速度仍然缓慢。

## 5 发展对策与建议

为推动公路工程试验检测技术高质量发展,亟需多措并举。首先,应加快完善标准体系,修订《公路工程质量检验评定标准》等核心规范,明确各类检测方法的适用条件、精度要求与判定准则,推动全国范围内检测结果的互认互通。其次,强化检测机构监管,推行资质动态管理机制,建立人员能力验证制度,鼓励继续教育与技能竞赛,全面提升行业专业水平。第三,推动“检测+养护”一体化模式,将检测数据深度融入养护决策支持系统,实现从“坏了再修”向“未坏先防”的转变<sup>[4]</sup>。第四,依托“交通强国”战略,加快建设国家级或区域级智慧检测平台,打通BIM、GIS、物联网与检测数据库之间的信息壁垒,构建全生命周期公路数字底座。最后,加大科研投入,支持高校与企业联合攻关智能检测装备的国产化与低成本化,并在国家重大工程中设立示范应用项目,加速新技术从实验室走向工地现场。

## 6 结语

公路工程试验检测技术是保障公路建设质量与运营安全的“眼睛”和“尺子”。从传统的手工取样到如今的智能感知,检测技术正经历深刻变革。面向未来,唯有坚持技术创新、标准统一、数据驱动与人才培养并重,才能构建起覆盖全生命周期、响应快速、判断精准的现代化公路检测体系,为我国由“交通大国”迈向“交通强国”提供坚实支撑。

## 参考文献

- [1]王尧精.高速公路工程中的试验检测技术及质量控制研究[J].工程建设与设计,2025,(14):243-245.
- [2]杨韬.试验检测技术在公路工程质量管理工作中的作用[J].汽车画刊,2025,(02):128-130.
- [3]贺延强.公路工程试验检测技术与质量控制措施[J].汽车画刊,2025,(02):206-208.
- [4]付水良.高速公路工程试验检测与质量控制技术研究[J].汽车周刊,2024,(11):255-257.