

公路工程中公路工程检测的应用

贾向超

云南云交建工程试验检测有限公司 云南 昆明 650000

摘要：公路工程检测是保障公路建设质量的核心手段，通过科学检测技术与数据，对原材料、半成品、成品及工程结构进行定量评估，实现质量动态控制。检测贯穿施工全周期，涵盖材料检验（如沥青针入度、钢筋屈服强度）、压实度与弯沉值实时监测、结构健康监测（如桥梁应力应变、隧道衬砌空洞识别）等环节。其应用有效降低返工成本，提升工程经济效益，同时促进新材料、新工艺的推广，为全生命周期养护决策提供数据支撑，是推动公路工程标准化、智能化发展的关键基础。

关键词：公路工程；公路工程检测；应用

引言：公路工程作为国家基础设施建设的重要支柱，其质量与安全直接关乎社会经济发展与公众出行保障。随着交通流量增大、车辆荷载提升，传统经验式管理已难以满足复杂工程需求。公路工程检测作为质量控制的“耳目”，通过融合静载试验、无损探伤、智能图像识别等多元技术，实现对材料性能、结构状态及病害演变的精准诊断。本文系统梳理检测技术体系，剖析其在施工监控、运营维护及养护决策中的应用实践，为提升工程质量、延长设施寿命、推动行业数字化转型提供理论参考与实践指引。

1 公路工程检测技术体系

1.1 传统检测技术

（1）静载试验：通过对结构施加静态荷载，观测变形与受力情况，原理是基于材料力学与结构力学分析。适用于桥梁、涵洞等承重结构的承载能力评估，但需中断交通，检测周期长，成本高。（2）钻芯取样法：直接钻取芯样检测强度、密实度等指标，原理为直观获取材料内部特性。适用于沥青、混凝土路面质量检测，不过会破坏路面结构，取样存在随机性，代表性有限。（3）回弹法：利用回弹仪测混凝土表面硬度推算强度，原理是硬度与强度的相关性。适用于混凝土结构快速检测，操作简便，但受表面状态、碳化深度影响大，精度较低。

1.2 无损检测技术

（1）地质雷达（GPR）：发射高频电磁波探测路基内部，通过反射波分析病害。可精准定位路基空洞、积水等隐患，适用于路基施工与养护检测，但易受电磁干扰，对高含水量地层探测效果欠佳。（2）红外热成像技术：依据沥青路面离析区域与正常区域的温差成像识别离析。能快速扫描大面积路面，直观呈现离析范围，不过受环境温度、日照影响较大，需在适宜时段检测。

（3）超声波检测法：发射超声波穿透混凝土，根据传播时间与波形判断缺陷。可定位内部裂缝、空洞，适用于桥梁墩柱检测，但对钢筋密集区域检测准确性较低。

1.3 智能化检测技术

（1）无人机倾斜摄影技术：通过多视角拍摄构建三维模型，监测结构变形。适用于边坡、大型桥梁变形监测，效率高、范围广，但受天气影响大，模型精度依赖拍摄质量。（2）车载激光扫描系统：激光扫描获取路面数据，量化分析平整度与车辙。可快速检测长距离路面，数据精度高，但设备成本高，对扫描速度控制要求严格。（3）基于AI的图像识别技术：通过算法自动识别裂缝，分类并评级。适用于路面、隧道裂缝检测，减少人工误差，不过对复杂背景下细小裂缝识别率有待提升。

2 公路工程检测的核心应用

2.1 施工阶段质量控制

（1）原材料检测：作为质量控制的源头，需针对沥青、集料、钢筋等核心材料开展多维度指标检测。其中，沥青需检测针入度、软化点、延度等指标，确保其高温稳定性与低温抗裂性满足工程要求；集料需重点核查颗粒级配、压碎值、含泥量，避免因级配不合理导致路面结构强度不足；钢筋则需通过拉伸试验、弯曲试验验证其屈服强度、抗拉强度及塑性指标，防止因材料力学性能不达标引发结构安全风险。检测过程中需严格遵循《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》《公路工程集料试验规程》等规范，采用平行试验减少误差，确保检测数据的准确性与可靠性。（2）压实度与弯沉值实时监测：压实度直接决定路基、路面的承载能力与耐久性，弯沉值则是反映结构整体刚度的关键指标，二者需在施工过程中实时监测。以某高速公路路基施工为例，前期因压路机吨位不足、碾压遍数不够，导致路基压实

度抽检合格率仅为82%，通车后6个月出现局部沉降，最大沉降量达12cm，后期需开挖返工，不仅增加工程成本，还延误工期。为避免类似问题，施工中需采用环刀法、灌砂法结合核子密度仪对压实度进行实时检测，同时利用贝克曼梁或落锤式弯沉仪（FWD）测定弯沉值，当检测数据超出设计阈值时，立即调整碾压参数，直至指标达标，确保路基路面结构稳定性^[1]。

2.2 运营阶段健康监测

（1）桥梁结构应力应变监测：桥梁作为公路关键构筑物，需重点监测主梁、墩柱等关键部位的应力应变。传感器布设需遵循“关键部位全覆盖、受力特征匹配”原则，例如在连续梁桥的跨中、支座处布设振弦式应变传感器，在墩柱底部布设应力传感器，同时搭配温度传感器消除环境温度对检测数据的干扰。传感器通过无线传输模块将实时数据上传至监测平台，当应力应变值超过设计限值的80%时，系统自动发出预警，提醒运维人员开展现场核查。以某城市立交桥为例，通过该监测方案，成功捕捉到主梁跨中因重车超载导致的应力异常波动，及时采取限载措施，避免了结构损伤进一步扩大^[2]。

（2）隧道衬砌厚度与空洞检测：隧道衬砌厚度不足或背后存在空洞，易导致衬砌开裂、渗漏水等病害，需采用地质雷达（GPR）进行定期检测。检测时需沿隧道纵向布置检测线，通常在拱顶、左右拱腰、边墙各设1条，采用500MHz天线，以2-5km/h的速度移动检测。通过对比不同检测周期的雷达图像，可清晰识别衬砌厚度变化及空洞发育情况——正常衬砌区域雷达波反射信号均匀，无明显异常反射；若存在空洞，则会出现强反射界面，且反射波能量较强。例如某公路隧道运营5年后，通过地质雷达检测发现拱顶位置存在直径约1.5m的空洞，后期采用注浆填充处理，有效避免了衬砌坍塌风险。

2.3 养护决策支持

（1）路面性能评价：路面性能评价以路面状况指数（PCI）为核心指标，需将检测数据与PCI指数建立关联。检测时需通过车载激光扫描系统获取路面裂缝、车辙、坑槽等病害数据，结合人工调查补充细节，随后依据《公路技术状况评定标准》对病害进行量化评分，最终计算PCI指数。例如某二级公路检测数据显示，路面裂缝率达18%、平均车辙深度6mm，对应PCI指数为65，评定为“中”等级别，表明路面已出现明显损伤，需开展中修养护。通过检测数据与PCI指数的关联分析，可直观掌握路面破损程度，为养护等级判定提供数据支撑。（2）预防性养护时机判定：预防性养护需在路面出现功能性病害初期开展，关键在于基于裂缝发展速率预测合理时

机。通过定期检测记录裂缝长度、宽度的变化数据，采用线性回归或灰色预测模型分析裂缝发展规律。例如某高速公路沥青路面初期裂缝平均宽度为0.2mm，年均扩展速率为0.15mm，根据预测模型，当裂缝宽度达到0.5mm时，路面将进入快速破损阶段，因此判定在检测后2年开展预防性养护（如稀浆封层），可有效延缓裂缝扩展，避免过早进入大修周期，降低全生命周期养护成本^[3]。

3 公路工程检测技术应用的挑战与对策

3.1 技术层面问题

（1）多源数据融合难度大：当前公路检测需整合激光点云、高清图像、传感器监测等多类型数据，但不同数据格式、精度标准差异大，导致融合效率低。例如车载激光扫描获取的路面三维点云数据，与无人机拍摄的二维图像在坐标匹配、尺度统一上存在技术壁垒，易出现数据错位，无法精准关联路面病害的空间位置与外观特征，影响检测结果的综合分析。（2）复杂环境下的检测精度衰减：自然环境因素会显著干扰检测设备的性能。以红外热成像检测沥青路面离析为例，雨雾天气下，路面附着的水汽会吸收红外辐射，导致设备捕捉的温差信号减弱，无法清晰分离析区域与正常区域；高温强光环境则会产生背景热辐射干扰，使检测数据出现偏差，精度较理想环境下降30%以上，难以满足工程质量评估要求。

3.2 管理层面问题

（1）检测标准不统一：目前公路工程检测存在地方规范与行业标准并行的情况，部分指标要求存在差异。例如针对路基压实度检测，某省地方规范允许采用核子密度仪作为主要检测手段，而行业标准《公路路基施工技术规范》则更侧重环刀法、灌砂法，导致同一工程按不同标准检测时，结果可能出现矛盾，给质量判定带来困扰，也增加了跨区域工程的检测协调难度。（2）第三方检测机构公信力不足：部分第三方检测机构为争夺业务，存在数据造假行为。如某检测机构在桥梁混凝土强度检测中，人为修改回弹仪读数，将不合格的检测数据调整为合格，导致存在质量隐患的桥梁投入运营，后期因混凝土强度不足出现梁体开裂，不仅造成经济损失，还严重威胁交通安全，损害了检测行业的整体公信力。

3.3 对策建议

（1）推动BIM+检测技术的集成应用：利用BIM技术的三维建模与数据集成能力，构建公路工程检测BIM模型，将激光点云、图像、传感器数据等统一纳入模型坐标系，通过BIM平台实现多源数据的实时关联、可视化展示与协同分析，打破数据壁垒，提升检测数据的利用

率与分析精度。(2)建立全国统一的检测数据共享平台:由行业主管部门牵头,制定统一的检测数据标准与接口规范,搭建全国性公路工程检测数据共享平台,要求检测机构实时上传检测数据,实现数据的跨区域、跨部门共享。平台可设置数据校验功能,自动识别异常数据,减少标准不统一与数据造假问题,提升检测管理的规范化水平。(3)加强检测人员资质认证与继续教育:完善检测人员资格考试制度,严格考核专业知识与实操能力,确保持证人员具备合格的技术水平;定期组织继续教育,更新检测人员的技术理念与知识储备,重点培训新设备、新技术的应用的能力,同时加强职业道德教育,提高检测人员的责任意识,保障检测工作的客观性与公正性^[4]。

4 公路工程检测的未来发展趋势

4.1 技术融合方向

(1)5G+物联网的实时监测网络构建:5G技术的高带宽、低时延特性,将为公路检测物联网提供关键支撑。未来将在路基、桥梁、隧道等关键部位大规模布设物联网传感器,实时采集应力、应变、温湿度等数据,通过5G网络高速传输至云端监测平台,实现毫秒级数据响应。例如在长大桥梁监测中,传感器可实时捕捉车辆荷载下的结构变形数据,经5G网络同步至控制中心,一旦出现异常立即触发预警,大幅提升监测的时效性与应急处置能力,构建“全天候、无死角”的公路健康监测网络。(2)数字孪生技术在公路全生命周期检测中的应用:数字孪生技术将构建与实体公路1:1的虚拟模型,整合施工、运营、养护各阶段的检测数据,实现全生命周期动态模拟与预测。施工阶段可通过虚拟模型预演检测流程,优化传感器布设方案;运营阶段实时同步实体公路的病害数据,在虚拟模型中模拟病害发展趋势;养护阶段则基于模型分析制定精准养护方案,如模拟不同养护措施对路面裂缝的修复效果,选择最优方案,推动公路检测从“事后检测”向“事前预测”转变。

4.2 标准化与规范化

随着公路工程建设的国际化合作日益增多,检测规程的国际化对接成为必然趋势。未来将逐步引入国际权威标准,如美国材料与试验协会(AASHTO)的检测

标准,对沥青路面性能评价、桥梁结构检测等规程进行优化调整,统一检测指标定义、试验方法与数据评定标准。例如在路面车辙检测中,参考AASHTO标准细化车辙深度的测量精度要求与分级标准,消除国内外检测标准差异导致的工程质量判定偏差,提升我国公路工程检测的国际认可度,助力公路工程“走出去”。

4.3 绿色检测理念

在“双碳”目标背景下,绿色检测成为行业发展新方向,低能耗检测设备研发将成为重点。未来将大力推广太阳能供电传感器,通过传感器表面集成的柔性太阳能电池板,实现光能向电能的转化,为传感器持续供电,替代传统锂电池供电模式,减少电池更换产生的环境污染与资源消耗。同时,优化检测设备的能耗设计,如在车载激光扫描系统中采用节能芯片与智能休眠技术,降低设备运行能耗。此外,研发可回收、可降解的检测耗材,如环保型耦合剂,推动公路检测全流程向低碳、环保方向发展。

结束语

公路工程检测作为保障工程质量与安全的核心环节,贯穿项目全生命周期,通过科学的技术手段与数据支撑,实现了对材料性能、结构状态及病害发展的精准把控。未来,随着5G、物联网、数字孪生等技术的深度融合,检测将向实时化、智能化、预测性方向迈进,推动行业从“被动修复”转向“主动预防”。坚持标准化、绿色化发展路径,公路工程检测必将为构建安全、耐久、低碳的现代化交通基础设施提供更强有力的技术保障。

参考文献

- [1]杨罗成.公路工程检测在工程项目质量控制中的应用[J].交通科技与管理,2021,(17):145-146.
- [2]郝万武.公路工程施工管理中试验检测技术分析[J].建材发展导向,2024,(06):58-60.
- [3]于天一.公路工程试验检测常见问题及解决措施[J].产品可靠性报告,2024,(07):103-104.
- [4]杜昀陶.公路工程试验检测质量提升的影响因素研究[J].汽车周刊,2024,(08):92-94.