

公路检测技术应用与公路工程质量控制研究

钱新峰

湖南尚上市政建设开发有限公司 湖南 长沙 412300

摘要：随着我国公路基础设施建设的飞速发展，公路工程质量控制已成为保障交通安全、延长道路使用寿命的关键环节。本文系统研究了公路检测技术的应用现状及其在质量控制体系中的实施策略，分析了从传统检测方法到智能化检测技术的发展历程与技术特点。研究表明，无损检测技术、智能检测系统与自动化监测设备的广泛应用显著提高了公路质量控制的效率与精确性；基于检测数据的质量评价体系能够科学指导施工过程与养护决策；人工智能与边缘计算等新兴技术的融合为公路工程质量控制提供了新的发展方向。

关键词：公路检测技术；质量控制；无损检测；智能检测；人工智能

Research on the Application of Highway Detection Technology and Highway Engineering Quality Control

Xinfeng Qian

Hunan Shangshang Municipal Construction and Development Co., Ltd., Changsha, Hunan, 412300

Abstract: With the rapid development of highway infrastructure construction in China, highway engineering quality control has become a key link in ensuring traffic safety and extending the service life of roads. This paper systematically studies the application status of highway detection technology and its implementation strategies in the quality control system, and analyzes the development process and technical characteristics from traditional detection methods to intelligent detection technologies. The research shows that the wide application of non-destructive detection technology, intelligent detection systems and automated monitoring equipment has significantly improved the efficiency and accuracy of highway quality control; the quality evaluation system based on detection data can scientifically guide the construction process and maintenance decisions; the integration of emerging technologies such as artificial intelligence and edge computing provides a new development direction for highway engineering quality control.

Keywords: Highway Detection Technology; Quality Control; Non-Destructive Detection; Intelligent Detection; Artificial Intelligence

引言

公路作为国家基础设施的重要组成部分，其质量状况直接关系到交通运输的安全性与经济性。随着我国公路网络规模的不断扩大，尤其是高速公路里程的持续增长，公路质量检测与控制技术的重要性日益凸显。传统的公路检测方法主要依赖人工经验与简单仪器，存在效率低、主观性强、数据不全面等局限性，难以满足现代公路建设与养护的高标准要求。近年来，随着传感技术、人工智能与无损检测方法的快速发展，公路检测技术正经历着从人工向自动化、从接触式向非接触式、从点式取样向全域检测的重要转变。例如，广西交科集团研发的“检E”智能多维道路检测车，集成了多普勒测振仪、三维激光扫描仪、探地雷达等80余个高精度传感器，可一次性采集50余项道路指标，实现了“毫米级数据感知、多维度智能诊断”的突破。同时，基于深度学习的路面裂缝自动检测模型，如YOLO-DGCV和EB-UNet++，通过改进网络结构与特征提取算法，显著提高了复杂背景下裂缝识别的准确性与效率。在此背景下，本文系统

分析各类公路检测技术的原理、特点及应用效果，探讨检测技术与质量控制体系的深度融合机制，旨在构建更加科学、高效的公路质量管理模式，为提升我国公路基础设施建设的整体质量提供技术支撑与决策参考。

1. 公路检测技术应用分析

1.1 传统检测技术及其演变

传统公路检测技术主要包括材料试验、结构强度测试与路面性能检测三大类别，这些技术构成了公路质量评价的基础框架。在材料试验方面，通过对沥青、水泥、钢筋与集料等关键建筑材料的性能测试，从源头上控制工程质量。例如，在思澜高速项目中，通过系统的材料试验检测，确保了施工所用原材料符合建设标准，为工程质量控制提供了基础保障。在路面结构强度检测方面，落锤式弯沉仪（FWD）与贝克曼梁法是评估路面承载能力的常用手段。这些方法通过测量路面在动态或静态荷载作用下的弯沉值，反算路面各结构层的模量，从而评价结构强度是否满足设计要求。随着技术进步，激光弯沉检测等新型技术逐渐应用于工

程实践,通过与探地雷达数据的融合分析,实现了对路面结构状况的更精准评估。

路面性能检测则关注路面在使用过程中表现出来的各种特性,包括破损状况、平整度、抗滑性能与车辙深度等。在公路改造工程中,通常采用路面行驶质量评价与路面车辙检测等方法,全面了解既有路面的使用性能,为改扩建设计提供依据。

表1:公路检测技术分类及应用特点

检测技术类别	主要检测方法	检测指标	应用特点
材料试验检测	沥青性能试验、水泥强度试验、集料筛分	材料物理力学性能、化学成分	基础性强、取样检测、结果精确
结构强度检测	落锤式弯沉仪、贝克曼梁、激光弯沉检测	弯沉值、回弹模量、结构承载力	反映整体结构性能、关键质量指标
路面性能检测	平整度检测、抗滑性能检测、车辙测量	行驶质量、安全性能、舒适性	评价使用性能、指导养护决策
智能检测技术	三维激光扫描、多传感器融合、AI识别	多指标同步采集、效率高、数据全面、全要素数据	自动化程度好
临时伸缩支撑	施工阶段	搭设高效、可调节	仅用于施工阶段

1.2 智能检测系统与应用

智能检测系统的快速发展是公路检测领域的重要变革,它通过集成多种传感器、数据融合技术与人工智能算法,实现了公路检测的自动化、智能化与高效化。广西交科集团研发的“检E”智能多维道路检测车是典型代表,其集成了多普勒测振仪、三维激光扫描仪、探地雷达等80余个高精度传感器,构建了“空天地”一体感知网络,有效解决了传统检测中“多次往返、数据碎片化”的难题。

智能检测系统的核心优势在于其多维度数据采集与智能化分析决策能力。以:“检E”检测车为例,它可一次性采集50余项道路指标,依托自主研发的“科宝”交通智能体,大幅提升了检测数据的自动识别准确率与病害诊断效率。该系统配套的养护自动化设计系统,集成了AI识别、AI模型与AI出图三大核心功能,可自动计算工程量、自主选择施工工艺并一键输出CAD图纸,使设计效率提升3倍以上,显著优化了养护管理模式并降低了养护成本。在路面裂缝检测方面,基于深度学习的智能检测模型取得了显著进展。YOLO-DGVC模型通过引入可变形卷积DCNv2到主干网络,设计了C2f-DCNv2结构,增强了网络对路面裂缝形状的自适应调整能力。

1.3 新型特殊检测技术

除了常规检测技术与智能检测系统外,一系列新型特殊检测技术也在公路工程质量控制中发挥着重要作用。这些技术通常针对特定问题或特殊环境设计,提供了更为专业和精准的检测方案。

探地雷达(GPR)技术是一种典型的无损检测方法,通过发射高频电磁波并接收来自地下介质界面的反射波,获取路面结构层厚度、材料均匀性以及潜在缺陷等信息。与传统钻芯取样相比,探地雷达具有连续、快速、无损的特点,能够提供更为全面的路面结构状况评估。

GNSS监测系统在桥梁与高架道路的结构健康监测中展现出独特价值。欧洲航天局支持的PONTI项目开发了一种基于GNSS的桥梁与高架道路监测系统,通过专用传感器单元PONTI-Box、智能手机应用PONTI-App以及云处理中心PONTI-SPC+,实现了对结构健康状况的实时监测。该项目通过62,800次跨越21个高架道路的数据采集,验证了系统在实际运行条件下的可靠性,为公路基础设施的长期性能监测提供了创新解决方案。

高分辨率三维激光扫描技术通过快速获取道路表面的高密度三维点云数据,能够精确检测路面平整度、车辙深度与表面纹理等指标。该技术与多传感器融合平台的结合,实现了道路几何线形、表面状况与结构性能的同步采集,为公路质量评价提供了前所未有的数据支持。随着传感器性能的提升与数据处理算法的优化,新型特殊检测技术将在公路工程质量控制中扮演越来越重要的角色^[1]。

2. 公路工程质量控制体系研究

2.1 基于检测技术的质量控制框架

基于检测技术的质量控制框架核心在于建立检测数据与质量决策之间的有效连接,通过科学的质量评价指标与标准,指导工程实践。这一框架通常包括质量检测、数据分析、状态评价与决策支持四个关键环节。

在公路工程建设阶段,试验检测是质量控制的基础手段。通过对原材料、配合比、压实度与强度等关键指标的检测,确保施工质量符合设计要求。研究表明,公路工程检测能够为施工过程提供准确的工艺、技术与材料数据,及时发现工程漏洞,并为后续顺利竣工提供对比参考信息。在思澜高速项目中,通过系统的试验检测工作,有效控制了施工质量,减少了潜在质量隐患^[2]。

在公路养护阶段,基于检测数据的质量评价体系是制定科学养护策略的基础。通过路面破损状况、结构承载力、行驶质量与安全性能等多指标综合评价,准确判断路面使用状态,确定合理的养护时机与方案。在公路改造工程中,基于理想点法的路面检测评价方法,结合改扩建工程的典型病害特征,使评价结果更加准确可靠,为改造方案设计提供了有力支持。

建立完善的检测数据管理系统是实施有效质量控制的前提。现代公路质量管理中,通过构建统一的数据平台,集成各类检测设备采集的数据,实现质量信息的标准化存储、分析与共享。这种数据集中管理的模式,有助于发现质量问题的发展规律,预测质量变化趋势,从而采取前瞻性的控制措施,避免质量问题的进一步恶化。

2.2 智能化质量控制体系

随着人工智能与大数据技术的发展,智能化质量控制体系已成为公路工程质量管理的新方向。该体系通过将专家经验、规范标准与人工智能算法相结合,实现了质量问题的自动识别、分析与决策。

在智能检测数据的支持下,质量控制体系正经历深刻变革。广西交科集团的“检E”智能检测车配套的养护自动化设计系统,集成AI识别、AI模型与AI出图三大核心功能,实现了从检测到设计的无缝衔接。这种智能化的“检测—设计”一体化流程,不仅大幅提高了工作效率,还通过标准化与规范化的设计过程,减少了人为因素对质量控制的不利影响。

基于深度学习的质量缺陷识别技术是智能化质量控制的重要组成部分。YOLO-DG VG 裂缝检测模型通过改进网络结构与特征提取算法,在复杂背景下仍能保持较高的检测精度,查全率与mAP分别提升了0.3~1.6%,而参数量减少了22.28%。EB-UNet++模型则通过结合EfficientNet-B2与UNet++的优势,并加入边界提取模块,在裂缝分割任务中实现了更高的IoU和F1分数。这些先进的深度学习模型使质量缺陷的自动、精准识别成为可能,极大地提高了质量控制的效率与可靠性。

表2: AI技术在公路检测与质量控制中的应用比较

主要应用领域	技术优势	实施挑战
深度学习	路面裂缝识别、病害分类	高精度、适应复杂背景、端到端检测 需要大量标注数据、计算资源要求高
边缘计算	实时检测、移动监测平台	低延迟、减少数据传输、响应快速 模型需轻量化、硬件资源有限
计算机视觉	表面病害识别、几何尺寸测量	非接触、效率高、可量化 受光照天气影响、需要优化算法
大数据分析	质量趋势预测、养护决策	发现规律、预测性能变化、科学决策 数据质量要求高、分析模型复杂

2.3 质量管理保障机制

完善的质量管理保障机制是实施有效质量控制的重要支撑。这一机制包括标准化流程、人员培训、设备管理与持续改进等多个方面,共同构成了公路质量控制的制度保障。

标准化是质量管理的基础。通过建立统一的检测标准、操作规程与评价指标,确保检测结果的可比性与可靠性。在公路工程检测中,严格按照规范要求进行取样、试验与数据分析,是保证检测质量的前提。同时,通过实验室认证与检测机构能力验证,

确保检测机构具备相应的技术能力,为质量控制提供可靠的数据支持^[3]。

人员素质与专业技能对质量控制效果具有决定性影响。定期对检测人员进行技术培训与考核,提高其专业水平与质量意识,是保障检测数据准确性的重要措施。在智能化检测技术快速发展的背景下,培养掌握传统检测技术与新型智能检测方法的复合型人才,成为提升质量控制水平的关键因素。

设备管理是保障检测数据准确可靠的基础。通过建立完善的仪器设备检定、校准与维护制度,确保检测设备始终处于良好状态。对于智能检测系统,还需定期进行系统验证与算法更新,保证其在各种环境条件下的检测性能。广西交科集团的“检E”检测车通过系统性集成与优化多种高精度传感器,保证了检测数据的准确性与一致性^[4]。

3. 结论

公路检测技术与质量控制研究是保障公路基础设施建设质量的核心环节。未来研究可进一步探索多源检测数据融合与质量预测模型,研发更加轻量化的实时检测算法与边缘计算设备,同时关注检测数据与养护决策的深度融合,推动公路工程质量控制向更加智能、精准与高效的方向发展。

参考文献:

- [1] 郝竹隆.公路工程智慧检测技术的应用[J].四川建材,2023,49(12):187~189.
- [2] 兰振文.回弹弯沉检测技术在公路路基检测中的应用[J].四川水泥,2023,(12):258~260.
- [3] 郑超杰.公路钢筋混凝土桥梁试验检测技术及应用分析[J].运输经理世界,2023,(34):79~81.
- [4] 杨红文,朱德祥,冯国建.GPR技术在高速公路隧道衬砌质量检测中的应用[J].甘肃水利水电技术,2023,59(11):9~13+23.