

低成本普通国省道路网监测检测技术方案设计与实践

詹玮程

江西省公路工程检测中心, 江西 南昌 330013

DOI: 10.61369/SSSD.2025130004

摘 要 : 随着我国交通基础设施建设的持续推进, 普通国省道作为区域交通网络的重要组成部分, 其运行状态直接关系到交通运输效率与安全。然而在实际管理中, 传统路网监测检测手段多依赖高成本设备与复杂系统, 难以在广覆盖、低投入的现实条件下实现有效运维。尤其在经济欠发达或地形复杂的地区, 高昂的技术门槛和后期维护费用限制了监测系统的普及与应用。针对这一现状, 研究低成本、易部署、可推广的普通国省道路网监测检测技术方案具有迫切的现实需求。本文围绕降低监测成本、提升基层适用性与增强系统可持续性的目标, 提出一套适用于普通国省道的综合监测检测技术方案, 推动公路养护向精细化、智能化方向发展, 助力交通治理体系现代化进程。

关 键 词 : 低成本; 普通国省道路网; 监测检测技术; 方案设计

Design and Practice of a Low-Cost Monitoring and Detection Technology Scheme for Ordinary National and Provincial Highway Networks

Zhan Weicheng

Jiangxi Highway Engineering Testing Center, Nanchang, Jiangxi 330013

Abstract : With the continuous advancement of China's transportation infrastructure construction, ordinary national and provincial highways, as an important part of the regional transportation network, their operation status is directly related to transportation efficiency and safety. However, in practical management, traditional road network monitoring and detection methods mostly rely on high-cost equipment and complex systems, making it difficult to achieve effective operation and maintenance under the practical conditions of wide coverage and low investment. Especially in economically underdeveloped areas or areas with complex terrain, the high technical threshold and later maintenance costs restrict the popularization and application of monitoring systems. In response to this current situation, there is an urgent practical demand for researching a low-cost, easy-to-deploy, and promotable monitoring and detection technology scheme for ordinary national and provincial highway networks. Focusing on the goals of reducing monitoring costs, improving grass-roots applicability, and enhancing system sustainability, this paper proposes a comprehensive monitoring and detection technology scheme suitable for ordinary national and provincial highways. This scheme promotes the development of highway maintenance towards refinement and intelligence, and contributes to the modernization process of transportation governance system.

Keywords : low-cost; ordinary national and provincial highway networks; monitoring and detection technology; scheme design

一、当前普通国省道路网监测检测中存在的问题

(一) 监测检测技术成本高

普通国省道作为国家公路网的重要组成部分, 承担着区域交通流转、城乡联通和物流运输的关键职能^[1]。然而在实际运行过程中, 其路网监测检测体系长期面临技术成本高昂的现实困境。现有的主流监测手段多依赖高精度雷达、激光扫描仪、智能视频分析系统以及车载移动检测平台等先进设备, 这些技术虽然具备较高的数据采集精度与自动化处理能力, 但购置费用动辄数十万甚至上百万元, 对于财政资源有限的地方交通运输管理部门而言, 很难实现大范围部署。

除了初始投入外, 系统的集成与配套建设进一步推高了总体

成本。监测设备需要稳定的供电系统、通信网络支持以及专用的数据中心进行存储与运算, 部分地区还需新建杆塔、光缆线路和远程控制机房。这些基础设施建设周期长、投资大, 尤其在地形复杂、交通不便的山区或农村路段, 施工难度和材料运输成本显著增加, 使得单位里程的监测建设支出远超预算预期^[2]。而且, 系统调试与软件授权费用也构成不可忽视的开支项, 在缺乏统一标准接口的情况下, 不同厂商设备之间的兼容性问题常常需要定制化开发, 延长项目周期并带来额外支出。

(二) 监测检测设备维护难

在现有监测检测系统部署过程中, 设备维护难题日益凸显, 成为制约系统长期稳定运行的关键因素。大量监测设备布设于野外复杂环境之中, 长期暴露在高温、暴雨、风沙、冰雪等自然条

件下，电子元器件老化速度加快，传感器精度下降，摄像设备镜头易被尘土覆盖，导致采集数据失真或中断。部分路段地处偏远山区或气候恶劣区域，设备故障后难以及时发现，维修响应周期长，修复过程耗时耗力^[3]。

设备分布范围广且呈线性延伸特征，形成点多、线长、面广的布局模式，给日常巡检和定期保养带来巨大挑战。传统人工巡检方式依赖养护人员逐点排查，不仅劳动强度大，而且效率低下，难以实现高频次、全覆盖的运维目标。一旦某节点设备出现电源故障、通信中断或硬件损坏，往往需要协调多方资源进行现场处理，而偏远地区电力供应不稳定，备用电源容量有限，太阳能供电系统受天气影响显著，进一步加剧了设备持续运行的不确定性。

（三）技术基层适配性不足

现有监测系统多基于城市道路或高速公路的技术标准进行开发，其设计理念、功能配置和操作逻辑难以匹配普通国道沿线复杂的地理条件和社会管理特征。许多监测设备对供电稳定性、通信带宽和安装基础提出较高要求，而基层路段普遍存在电力供应不稳定、网络覆盖薄弱、基础设施老化等问题，导致先进设备无法正常部署或运行中断频发^[4]。部分自动化采集装置需要持续稳定的4G/5G信号支持数据回传，但在偏远地区，基站覆盖率低，信号盲区广泛存在，使得数据传输延迟严重甚至完全失效，系统可用性大幅下降。

基层养护单位技术人员普遍缺乏对智能化设备的操作经验，培训机制不健全，设备操作界面复杂、说明文档专业化程度高，造成一线人员不敢用、不会用的现象。部分系统采用封闭式架构，参数调整依赖原厂支持，一旦出现故障需等待远程协助或厂家到场处理，响应周期长，严重影响日常养护工作的及时性^[5]。

基层管理部门信息化基础薄弱，多数仍沿用纸质台账或简单电子表格进行数据记录与管理，新引入的监测平台往往要求对接统一的数据标准和接口协议，但现有业务流程无法满足此类技术要求，形成信息孤岛。部分监测方案未充分考虑地方交通流量特征与灾害风险类型，如山区路段易受滑坡、泥石流影响，平原地区则更关注重载车辆长期通行带来的结构损伤，而当前通用型技术模块缺乏针对性优化，导致监测重点偏离实际需求。

二、低成本普通国省道路网监测检测技术方案设计路径

（一）明确设计原则，整合多元技术

在低成本普通国省道路网监测检测技术方案的设计中，“降本增效、精准实用”作为核心指导思想贯穿全过程，该原则强调在控制建设与运维成本的同时，提升系统运行效率和数据应用价值，确保技术手段切实服务于基层养护管理需求。围绕这一目标，需对现有技术资源进行筛选与集成，形成适应普通国省道特点的技术组合。

采用低成本传感器实现基础数据采集，是降低整体投入的关键环节。传统监测设备价格高昂，安装复杂，难以大规模部署^[6]。

通过引入基于机电系统的振动、位移、温湿度等传感器，可在保证测量精度的前提下显著压缩硬件成本。此类传感器具备体积小、功耗低、寿命长的特点，适合布设于桥梁支座、路面接缝、边坡隐患点等典型位置，持续获取结构响应与环境变化信息。结合本地预处理算法，可减少无效数据上传，提高信噪比。

移动检测终端的应用弥补了固定传感网络覆盖不足的问题。利用日常养护巡查车辆搭载便携式检测装置，如巡检精灵，能够在不增加额外巡检成本的基础上完成线路周期性数据采集。通过图像识别与惯性测量融合技术，实现对车辙、裂缝、坑槽等常见病害的自动判别与定位，提升检测效率与一致性。

轻量化数据传输机制保障了信息流通的稳定与经济性。针对农村及偏远地区通信基础设施薄弱现状，摒弃依赖高带宽、高能耗的传统传输模式，转而采用LoRa、NB-IoT等窄带物联网技术进行远程数据回传。这类协议具有广覆盖、低功耗、多连接优势，单基站可覆盖数十公里范围内的监测节点，电池供电设备可持续工作数年无需更换。对于非实时性要求的数据，还可借助定期人工回收存储卡或蓝牙近场传输方式补充上传，进一步节约通信支出。

（二）明确设备选型，构建检测体系

针对路面状况监测，可采用基于图像识别技术的低功耗摄像头与激光轮廓仪组合装置，实现对路面裂缝、车辙、坑槽等常见病害的自动识别与量化评估。此类设备具备安装简便、维护周期长的特点，适用于交通流量中等、养护资源有限的普通国道场景^[7]。对于交通荷载监测，部署基于压电薄膜传感器与称重动态系统相结合的技术方案，可在不影响车辆通行的前提下获取轴载、车速、车型等关键参数，通过边缘计算模块进行初步数据压缩与特征提取，降低传输负荷。环境影响监测则依托集成温湿度、降雨量、能见度等传感单元的微型气象站，结合路侧植被覆盖与地质稳定性的远程视频监控，实现对道路服役环境的全天候感知。

布点方案遵循“重点路段全覆盖、一般路段抽样监测”的原则，优先在交通量较大、病害频发、气候条件恶劣或地质灾害易发区段设置综合监测节点。相邻节点间距控制在5至10公里范围内，形成连续观测带，保障数据的空间代表性。在桥梁、隧道出入口、急弯陡坡等特殊结构物或危险路段增设专项监测设备，强化局部风险预警能力^[8]。所有设备采用太阳能供电与无线通信模组，减少对市政电网依赖，适应偏远地区基础设施条件。

数据处理流程实行分级架构，前端设备完成原始信号采集后，在本地进行滤波去噪、事件触发判断与数据压缩，仅上传有效信息至区域汇聚节点。各汇聚节点通过边缘服务器实现多源数据时间同步、异常值修正与初步分析，再经加密传输通道送入省级或市级养护管理平台。平台端建立统一的数据融合模型，将路面状态指数、行驶质量指数、交通荷载谱与环境因子进行关联分析，生成路段健康评分与养护优先级排序，支持养护决策数字化。整个体系注重设备兼容性 & 接口标准化，便于后期扩展与跨区域数据共享，为普通国省道精细化管养提供可持续的技术支撑。

（三）优化数据流程，提升养护水平

传统监测模式下，数据采集、传输、处理和应用各环节存在

割裂现象，导致信息滞后、冗余度高、分析能力弱等问题。针对这一现状，需构建一体化的数据流转机制，实现从原始数据到养护决策支持的高效转化。通过部署具备边缘计算能力的终端设备，在数据采集端完成初步处理与特征提取，减少无效数据的上传量，降低通信带宽压力，提升响应速度。采集数据经由标准化协议接入区域数据中心，利用轻量化数据中间件进行格式统一与质量校验，确保多源异构数据的融合可靠性^[9]。

在此基础上，建立动态更新的道路健康档案系统，将交通流量、路面破损、结构位移、气象环境等多维度信息进行时空对齐与长期追踪，形成可追溯、可分析的基础数据库。为提高数据分析效能，可引入机器学习算法对历史数据进行模式识别，自动判别病害发展趋势与风险等级，辅助生成分级预警机制。例如，通过对裂缝扩展速率与重载车辆通行频次的相关性建模，预测特定路段的养护窗口期，推动养护作业由被动处置向主动干预转变。

数据应用层面，开发面向基层养护单位的可视化管理平台，以地图叠加、热力分布、趋势曲线等形式直观呈现路网运行状态，使非专业技术管理人员也能快速掌握关键信息。平台支持移动端访问与任务派发功能，实现巡查指令、维修工单、验收反馈

的闭环管理。在保障数据安全的前提下，推动跨部门数据共享机制建设，打通交通运输主管部门、养护施工单位与监测运营单位之间的信息壁垒，提升协同效率^[10]。

三、结束语

综上所述，围绕当前普通国省道路网在运行管理过程中暴露出的技术成本高、设备维护复杂以及基层应用适应性差等问题，本研究提出了一套以低成本为核心导向的监测检测技术方案。通过系统分析现有监测手段在实际应用中的局限性，结合我国普通国省道多分布于经济相对薄弱地区、养护力量有限的现实情况，探索出一条兼顾实用性、可推广性与经济性的技术路径。方案设计过程中注重对成熟技术的集成与优化，避免盲目追求高端设备与复杂算法，转而采用模块化架构思路，将视频监控、地磁传感、轻量化 AI 识别与边缘计算相结合，在保障基础监测功能的前提下大幅降低硬件投入和运维开销。未来随着物联网组件成本进一步下降和人工智能模型轻量化发展，此类技术体系有望实现更大范围覆盖，推动普通公路管理向数字化、智能化方向稳步迈进。

参考文献

- [1] 韩悦, 张硕, 张新虎. 国家干线公路网监测与应急体系总体架构顶层设计 [J]. 公路工程, 2017, 42(4): 114–119.
- [2] 梁家荣. 浅析 EUHT 技术在高速公路中的应用 [J]. 中国交通信息化, 2017(7): 118–120.
- [3] 黄俊松, 鲁士仿, 彭向阳, 鲁伟, 许成涛, 吴岚. 高分遥感在交通领域中的应用状况与趋势分析 [J]. 北京测绘, 2021, 35(5): 570–577.
- [4] 周琦, 林茂森. 江西省普通干线路网运行监测与应急处置平台探析 [J]. 中国交通信息化, 2022(12): 136–138.
- [5] 陈森焱, 冯琦, 刘克俭. 遥感技术在公安业务中的应用及展望 [J]. 公安学研究, 2018, 0(3): 64–78.
- [6] 王少飞, 张建阳, 赵春艳, 王伟力. 大数据技术在公路隧道工程中的应用探讨 [J]. 公路, 2017, 62(8): 166–173.
- [7] 赵建峰, 王巍. 基于物联网技术的车辆超载远程监测系统设计与实现 [J]. 公路, 2017, 62(10): 251–257.
- [8] 王健, 潘福全, 邢英, 王铮, 张丽霞. 高速公路团雾影响分析与检测预警系统开发 [J]. 公路, 2018, 63(6): 276–281.
- [9] 黄鹏鹏, 蔡芷榕, 伍松松. 企业物料暂存区备料精益优化研究 [J]. 机械设计与制造, 2018(7): 266–268.
- [10] 李浩, 刘根, 李奇峰, 杨新宇, 罗国富. ERP 与 MRO 系统集成过程建模与应用研究 [J]. 河北工业科技, 2018, 35(6): 426–434.