

智能化公路养护管理系统设计与实现

王维海

辽宁省交通运输事业发展中心, 辽宁 沈阳 110000

DOI:10.61369/ERA.2025120003

摘要 : 智能化公路养护管理系统的设计与实现需融合物联网、大数据及人工智能技术, 构建全流程数字化管理平台。采用“终端感知层-数据处理层-业务应用层”三层架构: 终端层: 部署传感器、高清摄像头、北斗定位设备等, 实时采集路况、车流及环境数据; 数据处理层: 通过云平台实现数据存储、清洗与分析, 支撑 AI 模型训练; 应用层: 提供养护决策、工程管理、应急调度等业务模块。

关键词 : 智能化公路; 养护管理; 系统设计; 实现

Design and Implementation of Intelligent Highway Maintenance Management System

Wang Weihai

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110000

Abstract : The design and implementation of an intelligent highway maintenance management system require the integration of the Internet of Things, big data, and artificial intelligence technologies to build a full-process digital management platform. A three-layer architecture of "terminal perception layer - data processing layer - business application layer" is adopted: the terminal layer deploys sensors, high-definition cameras, Beidou positioning equipment, etc., to collect real-time road condition, traffic flow, and environmental data; the data processing layer realizes data storage, cleaning, and analysis through the cloud platform to support AI model training; the application layer provides business modules such as maintenance decision-making, engineering management, and emergency scheduling.

Keywords : intelligent highway; maintenance management; system design; implementation

利用深度学习优化病害识别准确率, 减少人工复核成本; 基于气象、车流等多元数据预测养护需求, 实现资源精准调度。

一、智能化公路养护管理系统的重要性

1. 全要素感知网络: 公路的“神经系统”。通过物联网设备(传感器、无人机、北斗定位)构建覆盖路网的实时监测体系: 高速公路部署无人巡检车实现毫米级病害识别, 每日完成300公里扫描, 效率提升3倍; 连徐高速实时采集路面温湿度、抗滑性能数据, 为养护决策提供动态依据。该感知网络使病害识别从每月1次提升至每秒1次, 实现“主动预警”替代“被动抢修”。

2. 数据驱动决策: 重构养护逻辑。科学决策体系, 公路局基于BIM技术建立“数字路网”, 自动比对历史病害数据生成维修方案并预估成本, 替代传统经验判断; 构建三级养护数据共享平台, 实现全省道路技术状态实时监控。资源精准调度, 应急平台融合气象、公安数据, 优化暴雪天气除雪资源调度^[1]; 服务区通过充电需求预测, 动态调配充电桩资源避免拥堵。

3. 助推行业可持续发展。绿色转型: 精准养护减少材料浪费, 如陕西通过数据分析优化铣刨料再生利用率; 产业升级: 浙

江服务区构建“线上积分+线下消费”生态圈, 拓展养护衍生价值; 政策牵引: 交通运输部明确2035年建成实体公路与数字孪生公路双体系, 年智慧化渗透率提升15%。从“修路补坑”到“全周期健康管理”, 该系统通过感知神经网络、数据大脑和智能执行体三重革新, 实现养护成本↓20%、道路寿命↑30%、应急响应↑300%, 为交通强国建设提供核心支撑。

二、智能化公路养护管理系统设计要点

1. 分层系统架构设计。终端感知层: 部署传感器、高清摄像头、北斗定位设备及无人机, 实时采集路面病害、环境参数(如温湿度)、车流量等数据, 支持每秒级监测替代传统人工巡检。数据处理层: 利用云平台实现数据清洗、存储与分析, 结合AI算法(如深度学习)进行病害识别和退化预测, 确保决策依据的科学性。业务应用层: 集成养护决策、工程管理、应急调度等模块, 支持B/C/S混合架构(PC端与移动App协同), 实现全流

程闭环管理。

2. 关键技术集成创新。数据闭环治理：建立统一标准的数据链（采集→传输→存储→应用），通过数据驾驶舱实现全局可视化，确保养护责任可追溯。移动化协同平台：开发养护专用App，支持现场任务接收、数据上传及实时反馈，提升作业效率30%以上。智能化预测能力：融合气象、车流等多源数据，利用机器学习预测养护需求（如路面退化趋势），实现资源精准调度与成本降低20%。

2. 政策与标准化保障。遵循政策框架：响应《交通运输部关于推进公路数字化转型加快智慧公路建设发展的意见》，推动全生命周期数字化（设计→施工→养护→运行），目标2035年建成实体与数字孪生公路双体系。标准化流程设计：构建养护工程分类（预防养护、修复养护等）、设计审查、验收等闭环管理制度，确保合规性与可持续性。系统设计价值在于实现养护成本降低20%、道路寿命延长30%，通过感知-决策-执行一体化革新，支撑交通强国战略。

三、智能化公路养护管理系统安全性与稳定性设计

智能化公路养护管理系统的安全性及稳定性设计涵盖物理防护、数据安全、系统容灾、智能预警等多维度技术融合，需满足高强度持续运行与复杂环境适应要求^[2]。

1. 作业安全防护设计。智能风险预警系统，采用北斗定位+物联网围栏技术实时监测施工区域，对车辆闯入、人员越界等风险触发声光报警，响应时间压缩至30秒内。部署AI行为分析算法，通过铁塔高点视频监控施工设施状态（如标志牌布设规范性），实现全场景可视化监管。自动化巡检替代高危作业，应用病害监测机器人替代人工进入车流区域，降低人员安全风险。

2. 数据安全与隐私保护。端到端加密体系，采集端至云端全链路采用国密算法加密，防止数据篡改与泄露。分级权限控制，基于RBAC模型实现养护人员、管理员、第三方人员操作权限隔离，支持操作留痕追溯。敏感数据脱敏，视频监控中车牌、人脸信息实时模糊处理，符合《网络安全法》要求。

3. 抗灾与应急设计。极端环境适应性，传感器满足IP68防护等级，在-30℃~70℃温度及暴雨、沙尘环境下持续工作。应急指挥联动，对接公安、气象部门数据，突发事件时自动生成疏散路径并调度救援资源。验证案例：S28台金高速公路通过“双重预防”数字系统实现83公里路网风险动态管控，事故率下降24.9%；建养协同模式以资金制度化保障系统长期稳定运行。系统设计需持续迭代：建议定期执行以强化防御体系。

四、智能化公路养护管理系统实现技术

1. 智能化公路养护管理系统关键技术选型方法。智能化公路养护管理系统的的核心技术选型需结合功能需求、系统扩展性及场景适配性综合决策，感知层技术选型，高精度数据采集技术，北斗差分定位+高精地图：实现病害厘米级定位（误差≤3cm），

支撑精准养护施工。多源传感融合：集成温湿度、应变、振动传感器，实时监测路基状态变化。无人机智能巡检：替代高危人工巡查，效率提升80%以上，支持边坡、桥梁隐蔽区域检测。应用层技术选型，三维可视化引擎，采用BIM+GIS融合技术，实现公路资产数字孪生，支持养护方案模拟预演。移动协同平台，基于微服务架构开发养护App，支持离线工单处理与实时数据同步。决策优化引擎，整合多目标规划算法，动态优化资源配置与养护路线规划。选型核心原则，扩展兼容性，采用模块化设计，预留API接口兼容未来新型传感器及分析算法。国产化适配，优先选择支持国产芯片（如鲲鹏）及操作系统（如麒麟）的技术栈。成本效益平衡，边缘计算节点降低带宽成本，AI模型轻量化减少算力需求。

2. 智能化公路养护管理系统的系统架构设计方法。智能化公路养护管理系统的架构设计需融合感知层、平台层、应用层协同机制，结合模块化扩展能力与数据闭环管理，分层解耦架构设计，基础设施层，部署多源传感器（应变、温湿度、雷达）与边缘计算节点，实现道路状态实时感知。采用北斗差分定位+AI视频监控构建全域安全防护网，响应时间≤30秒。平台支撑层，数据中台：基于时序数据库（如TDengine）整合结构化/非结构化数据，建立统一元数据标准。AI中台：集成深度学习模型（如YOLOv7裂缝识别）与预测算法（LSTM路面退化模型），提升诊断准确率。云边协同：边缘端轻量化处理图像，云端执行大数据分析策略生成。模块化扩展设计，微服务架构，将路况预测、计划制定、资源管理等功能拆分为独立服务，支持快速迭代。开放API接口，预留标准接口兼容新型硬件（如仿生巡检设备）及第三方系统（公安、气象平台）。国产化适配，底层支持鲲鹏芯片+麒麟OS，确保核心技术自主可控。运维保障设计，双活容灾：关键服务器采用分布式云平台+容器化部署（K8s），故障自愈时间≤5秒。安全防护：国密算法端到端加密+RBAC权限隔离，满足《网络安全法》要求。绿色节能：边缘计算节点降低带宽能耗，旧路面材料再生技术减少资源消耗。

3. 智能化公路养护管理系统数据处理与存储技术。智能化公路养护管理系统的的核心技术选型需满足多源异构数据融合、实时分析与长期追溯需求，多源数据采集与传输，动态感知层，车载巡检终端集成激光雷达+高光谱相机，实时采集路面三维点云及材料状态数据；无人机巡检覆盖边坡、隧道等盲区，物联网传感器（应变计、温湿度计）嵌入路基，持续监测结构健康度，5G+北斗双通道保障野外环境数据传输稳定性，丢包率≤0.1%，边缘预处理，车载边缘计算单元实时压缩图像数据（JPEG2000无损压缩），带宽占用降低70%，轻量化AI模型（如MobileNet）在终端完成裂缝、坑槽的初步识别，响应延迟≤500ms。智能分析技术栈，病害诊断引擎，基于YOLOv7的裂缝识别模型精度达95%，结合RGB3DS系统实现毫米级病害量化，LSTM时序预测模型融合气象、车流数据，路面退化趋势预测准确率≥88%，数字孪生底座，BIM+GIS融合构建道路全要素数字模型，支持养护方案三维模拟预演，点云技术生成高精度路面三维重建，坑槽体积测算误差≤3%。效能优化实践，分级存储策略：热数据（实时监测）存于SSD云盘，冷数据（历史档案）

转存磁带库，存储成本降低40%，国产化适配：时序数据库支持鲲鹏芯片，对象存储兼容麒麟 OS，满足自主可控要求^[3]。安全冗余：采用纠删码技术实现数据分布式容灾，可用性达99.99%。

五、智能化公路养护管理系统功能模块

1. 基础业务管理模块。巡检报修模块，支持移动端病害上报（裂缝、坑槽定位拍照+AI辅助识别），自动关联路段 GIS 坐标，工单自动分级（日常/紧急），结合设备 RFID 标签智能匹配维修部门，维修执行模块，动态工单追踪：维修人员接单→备件领用（扫码入库）→维修过程记录→验收反馈全流程可视化，转单协作机制：复杂问题支持跨部门工单流转，历史维修方案智能推荐，材料库存管理，沥青、标线材料等关键物资的智能预警补货，关联供应商管理系统^[4]。

2. 智能决策中枢模块。AI 预测引擎，融合 LSTM 时序模型预测路面退化趋势，生成未来3年养护需求热力图，基于多目标规划的年度预算模拟（精度达95%），优化资金分配方案，数字孪生推演模块，BIM+GIS 融合实现养护方案三维推演，模拟施工封道影响与交通分流策略，预警中心，设备生命周期监控：超期使用自动告警（如机电设备剩余寿命≤30天触发红色预警），应急事件响应：突发灾害自动启动预案库，联动导航系统发布绕行提示。

3. 移动协同模块。养护人员端 APP，工单语音播报+AR 导航定位病害点，现场维修视频同步上传，知识库即时调取（如灌缝工艺标准视频教程），管理驾驶舱，路网健康度全景仪表盘：展示 PCI（路面状况指数）、RQI（行驶质量指数）等核心指标，效能分析看板：对比人工/机器人巡检成本、病害修复及时率等数据。

六、智能化公路养护管理系统安全设施监管功能

1. 实时动态监控模块。全域视频覆盖：部署铁塔高点摄像头实时拍摄作业区全景，支持多角度查看安全标志摆放状态与车辆

通行情况。设施状态巡检：集成 AI 智能影像识别技术，自动扫描交安设施（如护栏、标牌）的破损或移位，识别精准度≥95%。系统支持巡检车或无人机动态采集路面数据，结合轻量化移动工具构建数字化路产库，实现每一桩号设施的可视化追踪^[5]。

2. 智能预警中枢。闯入风险防控，基于 AI 算法实时分析通行车辆轨迹，对未变道、未减速行为触发预警，防止车辆闯入作业区（响应延迟≤200ms）。融合气象与车流数据预测拥堵风险，自动发布绕行指令至导航系统。设施合规监管，引导安全标志精准布设：通过物联系统校验标志牌位置是否符合规范，违规时自动生成整改工单。作业人员行为监测：实时识别人员违规离开作业区，触发告警并联动 RFID 标签定位。

3. 应急响应与协同管理。预案库联动：突发灾害事件（如边坡塌方）自动匹配应急预案，启动三维模拟推演交通分流方案。多级调度机制：支持市级监管→县级调度→养护站执行的三级协同，工单跨部门流转并记录处理过程。例如，系统实时监控桥梁、隧道等关键构造物，通过倾角计与裂缝计传感器采集数据，异常时立即推送红色告警。

4. 可视化决策平台。“一张图”集成展示：基于 GIS+BIM 融合技术，将安全设施状态、病害分布、预警热力图叠加至三维地图，支持点击查询历史维护记录。效能分析看板：统计设施故障率、响应及时率等指标，辅助优化养护资源分配。该功能模块显著提升作业安全性与管理效率，如系统实现全区公路关键设施高频次自动化监测，应急响应速度提升40%。

总之，智能化公路养护管理系统的设计要点聚焦于融合物联网、大数据、人工智能等前沿技术，构建高效、精准、安全的数字化平台，以提升公路全生命周期管理效能。

参考文献

- [1] 陈志涛, 陆艳铭, 李朋. 高速公路智慧化养护管理系统的设计与实现 [J]. 价值工程. 2023, 42(29):12-14.
- [2] 杨晶, 王丽园, 刘兴东, 等. 高速公路全生命周期智慧巡养管理系统设计与实现 [J]. 公路. 2021, 66(11):45-46.
- [3] 张明. 智能化公路养护管理系统的设计要点探究 [M]. 北京: 交通科技出版社, 2024.
- [4] 李磊, 陈阳. 基于物联网的智能化公路养护管理系统设计 [J]. 公路交通科技, 2023(04): 123 - 128.
- [5] 王佳, 刘俊. 智能化公路养护管理系统的实现路径分析 [J]. 交通世界, 2022(18): 45 - 47.