

# 高速公路养护机械设备信息化管理

张灵敏

中交路桥华北工程有限公司 北京 101100

**摘要：**高速公路养护机械设备信息化管理通过物联网、大数据、AI及GIS等技术，实现设备全生命周期数据采集、动态监控与智能调度。系统整合设备位置、工况、能耗等数据，构建预防性维护模型与故障预警机制，优化资源配置并降低维修成本。结合混合云架构与区块链技术，保障数据安全与决策透明度，推动养护管理向实时化、精准化、智能化转型，显著提升高速公路养护效率与服务质量。

**关键词：**高速公路养护；机械设备；信息化管理

**引言：**随着高速公路网络规模持续扩张与养护需求日益复杂，传统机械设备管理模式因信息滞后、资源分散、决策粗放等问题，已难以满足高效运维要求。信息化技术为破解这一困境提供了新路径，通过物联网实时感知设备状态、大数据深度挖掘运维规律、AI智能优化调度策略，可实现从被动维修到主动预防、从经验决策到数据驱动的转型，对提升高速公路养护质量、降低全生命周期成本、保障路网运行安全具有重要的现实意义与战略价值。

## 1 高速公路养护机械设备信息化管理理论基础

### 1.1 核心概念界定

(1) 高速公路养护机械设备的分类与特点：按功能可分为路面养护设备（如铣刨机、摊铺机）、桥梁养护设备（如桥梁检测车）、应急救援设备（如清障车）等。其特点表现为技术集成度高，融合机械、电子等多领域技术；作业环境复杂，需适应高温、多雨等户外条件；设备价值高，单台设备造价常达数十万元甚至上百万元，对管理精度要求高。(2) 信息化管理的内涵与特征：内涵是借助信息技术，对设备全生命周期数据进行采集、传输、分析与应用，实现管理流程数字化。特征体现在多技术融合，以物联网实现数据感知、大数据完成数据挖掘、云计算提供存储与计算支持；管理实时化，打破传统滞后管理模式，动态掌握设备状态；决策智能化，基于数据驱动优化管理策略。

### 1.2 相关技术支撑

(1) 物联网（IoT）技术：通过在设备关键部件安装传感器，实时采集转速、温度、振动等状态数据，经无线传输模块将数据上传至管理平台，为设备监测提供数据来源，实现异常情况即时捕捉。(2) 地理信息系统（GIS）：整合高速公路路线、养护区域等空间数据，标注设备位置信息，结合作业需求规划最优路径，减少

设备空驶时间，提升作业效率。(3) 人工智能（AI）：利用机器学习算法分析历史故障数据，构建故障预测模型，提前预警潜在故障；基于设备工况与作业任务，智能调度设备，实现资源高效利用。(4) 区块链技术：记录设备采购、使用、维修、报废等全生命周期数据，数据不可篡改，保障信息真实性；通过加密技术保护数据安全，防止信息泄露<sup>[1]</sup>。

### 1.3 信息化管理的优势分析

(1) 实时监控与动态调度：实时掌握设备位置、工况等信息，当作业需求变化时，可快速调整设备调配方案，避免设备闲置或资源短缺。(2) 预防性维护与故障预警：基于设备状态数据与预测模型，提前发现故障隐患，及时安排维护，减少突发故障停机时间，降低维修成本。(3) 资源优化配置与成本控制：通过数据分析合理分配设备、人员等资源，减少资源浪费；精准核算设备使用成本，为成本管控提供依据。(4) 决策支持与绩效评估：整合各类管理数据，生成可视化报表，为管理层制定养护计划、设备更新等决策提供数据支持；量化设备作业效率、维护效果等指标，实现科学绩效评估。

## 2 高速公路养护机械设备信息化管理体系构建

### 2.1 系统架构设计

(1) 感知层：作为体系数据来源核心，需针对不同养护设备特性部署多类型传感器。例如在路面铣刨机发动机处安装温度传感器、振动传感器，实时捕捉设备核心部件运行状态；在油罐车、装载机等设备上加装油耗传感器，精准统计燃油消耗数据。同时，配置工业级数据采集终端，具备防粉尘、抗振动、耐高低温特性，可兼容不同品牌传感器协议，将采集到的离散数据转化为标准化数字信号，为后续传输与分析奠定基础。(2) 网络层：采用“5G为主、北斗为辅”的双通信模式。5G网络负责大容量、高速率的数据传输，如设备高清工况

视频、多参数实时数据等，保障数据传输延迟控制在毫秒级；北斗定位系统则为处于偏远山区、5G信号薄弱区域的设备提供精准定位与短报文通信服务，确保设备位置信息与紧急数据不丢失。此外，设置数据传输加密通道，采用SSL/TLS协议对传输数据进行加密处理，防止数据在传输过程中被窃取或篡改<sup>[2]</sup>。（3）平台层：依托公有云与私有云结合的混合云架构搭建云平台，公有云用于存储海量历史数据，降低本地存储成本；私有云存放核心管理数据，保障数据安全性。大数据分析中心搭载分布式计算框架（如Hadoop、Spark），可对多源数据进行关联分析，例如将设备运行数据与养护作业任务数据结合，挖掘设备作业效率与任务难度的关联关系，同时具备数据实时处理能力，支撑后续应用层功能高效运行。（4）应用层：设备管理模块实现设备基础信息录入、台账更新等功能；作业调度模块根据养护任务与设备状态分配作业任务；决策支持模块基于大数据分析结果，生成设备更新建议、养护计划优化方案等，为管理层提供决策依据，各模块间数据互联互通，形成完整管理闭环。

## 2.2 关键功能模块开发

（1）设备全生命周期管理：采购阶段记录设备供应商信息、采购成本、技术参数等；使用阶段实时更新设备作业时长、工况数据；维修阶段存储维修记录、更换零部件信息、维修费用等；报废阶段生成报废评估报告，记录残值处理情况。通过该模块可追溯设备从采购到报废的全流程信息，为设备管理提供完整数据支撑。

（2）实时监控与预警系统：实时采集设备温度、振动、油耗等参数，设定各参数阈值范围，当参数超出阈值时，系统自动触发预警，通过短信、平台弹窗等方式通知管理人员。例如当发动机温度超过设定阈值时，系统立即预警，管理人员可及时安排停机检查，避免设备损坏。同时，系统可生成参数变化趋势图，帮助管理人员预判设备运行状态变化<sup>[3]</sup>。（3）智能调度与路径优化算法：结合养护作业地点、任务优先级、设备位置与工况等因素，采用遗传算法、Dijkstra算法等优化路径与调度方案。例如当多个养护任务同时存在时，算法可自动计算最优设备调配方案与行驶路径，减少设备空驶里程，提高作业效率。同时，算法具备动态调整能力，当作业任务或设备状态发生变化时，可快速重新规划调度方案。（4）移动端APP与可视化看板：移动端APP支持管理人员与设备操作人员随时查看设备状态、作业任务、预警信息等，操作人员可通过APP上报设备故障、作业进度等；可视化看板采用图表、地图等形式，直观展示设

备分布、作业进度、预警情况等信息，管理人员可通过看板实时掌握管理动态，便于及时调整管理策略。

## 2.3 数据治理与安全机制

（1）数据标准化与清洗流程：制定统一的数据标准，明确设备参数、作业数据、维修数据等各类数据的格式、单位、编码规则，确保数据一致性。数据清洗流程分为数据检测、数据修正、数据剔除三步，先通过软件检测数据中的缺失值、异常值；再对缺失值采用均值填充、插值法等方式修正，对异常值结合实际业务逻辑判断是否保留或修正；最后剔除无效、重复数据，保障数据质量。（2）隐私保护与访问控制技术：采用数据脱敏技术，对设备操作人员身份证号、联系方式等隐私数据进行处理，隐藏敏感信息；建立基于角色的访问控制（RBAC）机制，根据管理人员、操作人员、维护人员等不同角色，分配不同的数据访问权限，例如操作人员仅能查看所操作设备的相关数据，无法访问整体管理数据，防止数据泄露。（3）备份与容灾策略：实行“本地备份+异地备份”双重备份机制，本地备份采用磁盘阵列存储，每日自动备份数据；异地备份选择地理位置较远、环境安全的备份中心，每周进行一次全量备份，确保数据在本地存储出现问题时可通过异地备份恢复。同时，制定容灾预案，明确数据恢复流程、责任人、时间节点等，定期开展容灾演练，保障在系统故障、自然灾害等突发情况下，数据可快速恢复，系统正常运行<sup>[4]</sup>。

## 3 高速公路养护机械设备信息化管理实施路径与保障措施

### 3.1 实施步骤规划

（1）试点阶段：优先选取设备种类丰富、养护任务典型的路段作为试点区域，筛选3-5类核心养护设备（如摊铺机、桥梁检测车）开展测试。从市场主流产品中选型传感器、数据采集终端及基础管理软件，搭建小型化试验系统，重点验证设备状态数据采集精度、数据传输稳定性及基础功能可用性。通过2-3个月试点运行，收集操作人员反馈，修正系统漏洞，形成适配本地养护场景的初步实施方案，为后续推广奠定基础。（2）推广阶段：在试点经验基础上，扩大实施范围至全域高速公路养护设备，完成感知层、网络层、平台层与应用层的全系统集成。将所有养护设备接入云平台，实现设备台账、作业任务、维修记录等数据的全流程数字化管理。同步打通与高速公路管理部门现有业务系统（如养护计划系统、财务系统）的数据接口，消除信息孤岛，确保信息化管理与原有业务流程无缝衔接，此阶段预计耗时6-8个月。（3）优化阶段：基于系统运行积累的海量数

据,引入AI算法模型,优化智能调度、故障预测等核心功能,提升管理决策的精准度。例如,通过分析历史作业数据,优化路径规划算法,进一步降低设备空驶率;结合设备故障数据迭代故障预测模型,提高预警准确率。建立季度迭代机制,根据养护业务变化、技术发展趋势及用户需求,持续更新软件功能,保障系统长期适配管理需求。

### 3.2 技术保障措施

(1) 硬件选型与兼容性设计:硬件选型遵循“高适配性、高稳定性”原则,传感器优先选择支持主流通信协议(如LoRa、NB-IoT)的产品,数据采集终端需兼容不同品牌、型号的养护设备。在硬件设计中预留扩展接口,支持后续新增设备或功能模块的接入,避免因硬件不兼容导致的重复投入,同时选用工业级硬件,确保其能适应高速公路户外复杂作业环境。(2) 软件系统开发与开源框架利用:核心管理软件采用“定制开发+开源框架结合”模式,基于SpringCloud、Django等成熟开源框架搭建基础架构,降低开发与周期;针对设备全生命周期管理、智能调度等个性化需求,进行定制化开发。开发过程中引入敏捷开发方法,分阶段交付功能模块,便于及时调整开发方向,同时通过代码审查、单元测试等手段,保障软件质量。(3) 接口标准化与协议统一:制定统一的接口标准规范,明确系统内部各层级、系统与外部业务系统间的数据交互格式、接口参数及通信协议(如RESTfulAPI、MQTT)。对现有不同格式的历史数据进行转换处理,确保数据交互的一致性与准确性,避免因接口不统一导致的数据传输异常或信息丢失,保障系统整体运行稳定性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 管理保障措施

(1) 组织架构调整:成立专门的信息化管理部门,配备技术研发、数据运维、系统管理三类专业人员,明确部门职责:技术研发负责系统迭代优化,数据运维保障数据质量与安全,系统管理协调各业务部门的信息化应用。同时建立跨部门协作机制,加强与养护作业部门、财务部门的沟通,确保信息化管理与业务开展深度

融合。(2) 人员培训与技能提升计划:分层次开展培训,针对管理人员,重点培训系统决策支持功能的使用,提升数据驱动决策能力;针对设备操作人员,培训移动端APP操作、设备状态异常上报流程;针对技术人员,开展硬件维护、软件故障排查等专业技能培训。采用“线上课程+线下实操”结合模式,每月组织1次培训,每季度开展技能考核,确保相关人员熟练掌握信息化工具。(3) 制度建设与绩效考核机制:制定《信息化系统使用管理办法》《数据安全管理规定》等制度,明确系统操作规范、数据保密要求及责任追究机制。将信息化应用纳入绩效考核,对设备操作人员,考核其数据上报及时性、准确性;对管理人员,考核其运用系统开展决策的成效;对技术人员,考核系统运维保障效率,考核结果与薪酬、晋升挂钩,激发全员参与信息化管理的积极性。

### 结束语

高速公路养护机械设备信息化管理是交通基础设施数字化转型的关键实践。通过融合物联网、人工智能与大数据技术,实现了设备状态实时感知、运维决策精准优化与资源调度智能高效,显著提升了养护作业的响应速度与质量水平。未来,随着5G、数字孪生等技术的深化应用,信息化管理将进一步向全要素协同、全流程智能方向演进,为构建安全、畅通、绿色的高速公路运行体系提供坚实技术支撑,助力智慧交通高质量发展。

### 参考文献

- [1] 阚超,杜松标.高速公路工程建设中的大型机械设备管理策略研究[J].中国设备工程,2024(3):60-62.
- [2] 杜玉龙.浅析高速公路养护机械设备作业安全管理[J].现代职业安全,2023(12):52-53.
- [3] 罗玉萍.高速公路机械设备的信息化管理研究[J].产品可靠性报告,2024,(01):55-57.
- [4] 金柳,刘杨.高速公路机械设备管理信息化探讨[J].建筑机械,2023,(02):26-28.
- [5] 秦伟涛.高速公路工程机械设备管理信息化[J].江西建材,2021,(07):291-292.