

# 基于物联网的铁路机车远程监测与健康管理系统研究

刘进

山东钢铁股份有限公司 山东济南 271104

**摘要:** 随着铁路运输系统的规模扩大与智能化水平不断提升,铁路机车作为核心运力单元,对运行状态的实时监控与健康管理的提出了更高要求。传统机车运用模式中,状态监测滞后、信息孤岛严重、维保策略单一等问题日益突出,制约了运输效率和安全保障能力的进一步提升。物联网技术凭借其在感知、通信、边缘处理和智能分析方面的优势,正在成为推动铁路机车远程监测与健康管理的变革的关键驱动力。本文围绕铁路机车健康管理需求,系统梳理了物联网在铁路领域的技术演进与典型应用,构建了机车远程监测系统的总体架构,分析了数据采集、传输、安全控制等关键环节,并提出融合多源感知与预测建模的智能运维方案。文章还进一步探讨了系统在工程实践中的部署要点与集成化建设路径,力求为我国铁路运输装备智能化转型提供理论支持与技术借鉴。

**关键词:** 铁路机车; 物联网; 远程监测; 健康管理; 智能运维

## 一、物联网技术在铁路装备监控领域的发展现状

### (一) 铁路机车状态监测的技术演进历程

铁路机车状态监控技术的发展经历了从机械巡检到电气信号采集、再到智能远程监控的逐步演进。早期铁路系统依靠人工定期检查机车部件的磨损、震动、温度等物理状态,存在周期长、反应慢、依赖经验等显著短板。随着电子技术发展,机车逐步配备了状态监测仪器如轴温探头、电流采集模块等,实现了基本的运行参数采集与报警功能。

进入信息化阶段后,部分铁路局开始建设机车综合信息系统,实现对运行数据的自动采集与存储,并与调度系统进行对接,为机车运用管理提供数据支撑。然而,受限于通信带宽、系统兼容性和数据处理能力,这一阶段的状态监控仍以“事后记录”为主,未能实现真正意义上的远程实时感知与主动预警。

近年来,伴随物联网技术在工业领域的广泛应用,铁路行业引入了多种感知技术(如智能传感器、RFID、边缘AI模组等),并结合4G/5G、北斗定位、工业以太网等通信方式,形成了完整的“端-边-云”结构体系。物联网在铁路机车监测中的应用逐步从“设备可视”升级为“状态可控”“健康可评”“运维可预测”,为构建真正的数据驱动型智能管理平台奠定了坚实基础。

### (二) 国内外物联网在铁路行业的应用对比

国外在铁路智能化监测领域起步较早,欧美及其他国家的铁路企业普遍采用物联网技术对机车运行状态进行高频采集,并建立起完善的健康管理平台。例如,德

国铁路公司(DB)部署了车载IoT系统,对牵引系统、制动系统及控制电路的运行状态进行实时跟踪,并与SAP维护系统集成,实现了基于健康度的动态检修策略。JR东海则通过部署多类无线传感器节点和边缘处理终端,构建了高铁运行状态的预测模型,提升了维修工作的计划性与精准度。

相比之下,我国铁路系统的物联网建设起步稍晚,但近年来发展迅速。中国国家铁路集团及地方铁路局陆续推动“智能机务段”“云调度中心”“机车健康码”等项目建设,引入振动传感器、温度监测、轴承压力检测等感知模块,实现了对关键部件的动态监控与在线分析。同时,部分车企如中车集团也将物联网技术集成到机车设计中,实现出厂即具备远程监控能力。尽管我国物联网应用范围持续拓展,但在系统集成度、智能分析能力与数据治理标准等方面仍存在一定差距,有待进一步加强平台统一与算法适配能力。

### (三) 当前铁路机车远程监控面临的关键问题

尽管物联网已在铁路机车监测中取得初步成效,但仍面临多重技术与管理挑战。

首先是传感器布局与采集精准度不足。部分传统机车改造中,传感器布设受限于空间、线路与电磁干扰条件,采集数据存在偏差与丢包现象,影响监测系统稳定性。

其次,通信网络不稳定制约数据实时传输。在高速运行或偏远山区线路中,通信信号可能存在盲区或延迟,导致监测数据上传不及时或中断,限制了远程干预能力。

对于需要秒级响应的状态报警系统而言，这类问题亟需通过边缘计算与断点续传机制加以解决。

再者，数据融合分析能力不足，导致“数据多、信息少、知识更少”的问题依然存在。当前多类数据分散存储于不同系统，缺乏统一数据模型与分析框架，难以支撑复杂健康评估算法的高效运行。此外，系统平台间尚未实现标准化对接，监测数据难以在维修、调度与安全部门间高效共享，阻碍了数据价值的最大释放。

## 二、机车远程监测与健康管理体系的体系结构

### （一）系统总体架构与功能模块设计

铁路机车远程监测与健康管理体系是一个涵盖感知、通信、计算、分析和决策多个环节的综合性平台，其总体架构应充分体现“端-边-云”协同的分层设计理念。系统主要由前端感知层、边缘处理层、通信网络层、云平台层与应用服务层构成，各层之间通过标准化接口实现高效协同。

在感知层，部署在机车各关键部位的传感器负责采集包括电机温度、轴承震动、电压电流、制动系统压力等运行参数，实现对设备状态的全面感知。边缘处理层则通过内嵌的嵌入式控制单元（如ARM或FPGA平台）对原始数据进行预处理、滤波和特征提取，减少通信负荷并提高系统响应速度。

通信网络层通过LTE/5G专网、北斗通信链路或工业Wi-Fi将边缘节点的数据上传至云平台，实现远程实时监控。云平台层作为数据的集中管理中枢，支持大数据存储、状态建模、健康评估与可视化展示。应用服务层则面向不同用户角色（如调度中心、维修班组、管理部门）提供故障告警、维修建议、运用优化等服务，形成“全链条感知—全过程监控—全生命周期管理”的运行机制。

### （二）关键传感器布设与边缘计算节点设计

系统的有效运行高度依赖于前端感知设备的科学部署与边缘节点的协同处理能力。在传感器配置上，应遵循“关键优先、冗余覆盖、分布合理”的原则。对于动力系统，可部署温度、电流、电压等多参数传感器实时监控牵引状态；对走行部件（如轮对、轴箱）应布设震动与应力传感器；对于制动与空调系统，可布设压力传感器与气温湿度模块，以实现全面运行状态感知。

边缘计算节点作为前端智能处理的重要单元，通常采用工业级嵌入式设备，集成数据采集卡、微处理器、通讯模块与本地存储器。节点需具备实时运行数据的本地判断与初步分析能力，例如温度超限自动断电、故障

特征值计算、异常事件本地缓存等功能，以增强系统的实时性与鲁棒性。此外，边缘节点还应具备断点续传、远程维护与OTA升级功能，以保障系统在野外复杂环境下的可用性与可维护性。

### （三）数据传输与通信安全机制

数据通信是远程监测系统的核心纽带，其安全性与稳定性直接决定系统的可靠性。为应对铁路场景中可能存在的信道干扰、传输延迟或通信中断等问题，系统采用多种通信手段组合设计，包括蜂窝通信（4G/5G）、短距无线通信（Wi-Fi/Bluetooth）以及卫星通信（北斗）作为备份链路。

在数据传输层，需采用端到端加密技术，如TLS/SSL协议，确保数据在传输过程中不被截取或篡改。边缘节点与云平台间的通信需部署认证机制，如基于设备ID的数字签名和动态口令，防止恶意接入。系统还应设置通信异常检测机制，对数据包丢失、延迟等情况进行自动重传与报警，确保关键数据不遗漏。通过以上多重安全防护，系统可实现对铁路机车运行数据的可靠、稳定与安全传输。

## 三、健康管理核心技术与应用实践

### （一）多源异构数据融合与状态识别技术

在铁路机车的运行过程中，来自不同传感器的数据类型繁多、频率不一，如何将这多源异构数据有效融合，成为实现状态识别的关键。当前主要采用基于数据驱动的特征提取与融合算法，如PCA降维、特征选择、数据标准化等方法，对不同频率与格式的数据进行同步处理。

在融合后的数据基础上，可利用机器学习算法进行状态识别建模。随机森林、支持向量机（SVM）等模型适合构建二分类状态识别器（如健康/异常），而神经网络与深度学习模型（如CNN、LSTM）则适用于复杂模式识别任务，如非线性趋势预测、复合故障判别等。通过引入模型训练与自适应学习机制，系统可实现对机车运行状态的实时动态识别，提升运维响应速度与准确性。

### （二）故障预测模型与运维预警机制

相较于传统的定期检修模式，基于物联网数据的预测性维护能够显著提升机车可用性与降低运维成本。系统通过收集历史故障事件与实时运行参数，训练基于时间序列分析与监督学习的预测模型，如ARIMA、LSTM时序网络等，对关键设备故障趋势进行评估。

预测模型输出的结果不仅可用于生成故障概率图谱，还可触发不同级别的运维预警。例如，当牵引系统温度

上升趋势明显，达到设定阈值时，系统可提前2小时发布检修指令，并推送至调度系统与维修工单平台，实现远程指挥与自动排程联动。该机制可有效避免突发性设备故障造成的列车晚点或线路中断，提高机车的运行安全与管理水平。

### （三）典型应用案例分析与效果评估

以某路局部署的智能监控系统为例，通过在25G型电力机车上安装53个传感器节点，实时采集牵引电流、电机温度、制动风压等20余类参数，并构建边缘节点-云平台双层结构，实现了远程监控、故障预警与维保联动功能。系统上线后，该型机车年故障率下降约32%，平均检修周期延长15%，同时运用人员减少12%。

此外，某高速铁路线路通过引入多模态健康评估系统，实现了对牵引、转向架、受电弓等核心部件的远程实时评估，并以“健康码”形式呈现在可视化平台上，供调度指挥人员动态掌握机车状态，有效提升了运行可视化与管理透明度。

## 四、铁路机车健康管理系统的集成化与工程化路径

### （一）系统集成平台的构建思路与技术框架

随着铁路信息系统的日益丰富，健康管理系统必须具备良好的开放性与集成性，以实现跨部门、跨平台的数据融合与功能协同。平台构建应以微服务架构为基础，通过容器化部署与统一消息中间件，实现模块间的解耦协同。系统应提供标准RESTful接口，支持与调度平台、维修系统、数据中台等业务平台的数据交互。

在技术框架上，应采用基于大数据架构的分布式存储系统（如HDFS）、实时流处理系统（如Apache Flink）与机器学习平台（如TensorFlow Serving）等技术，构建支持高并发、高可靠性的健康管理云平台，为工程部署提供稳固的技术支撑。

### （二）不同车型与运用场景的适配策略

由于机车车型众多、运用环境差异显著，系统在推广过程中需制定分层适配策略。对于新造机车，可在设计阶段嵌入传感模块与通信端口，实现系统原生集成；对于在役老旧机车，则需结合实际运行数据与改造空间，选取关键子系统实施重点监测，逐步推进系统升级。

此外，不同线路（如重载、客运、高寒）对监测指标的敏感性不同，需通过场景建模优化参数阈值与预警

机制。例如，在重载线路应更关注牵引系统负载与能耗参数，而高寒线路则更应重视环境温度对电控系统的影响。系统应提供多种监测模型与参数模板，以适应多样化的运用需求。

### （三）工程部署中的安全管理与运维机制

健康管理系统在工程化部署过程中需充分考虑系统运行安全与后期维护效率。首先，系统应设立完整的用户权限管理机制，严格区分平台管理员、数据分析师、设备维保人员等角色权限，防止越权操作。其次，数据访问应通过VPN或物理隔离方式连接铁路专网，避免公网攻击或数据泄露。

运维机制方面，应建立定期巡检与远程诊断相结合的双线机制，对系统运行状态、边缘节点存储空间、通信链路质量等关键指标进行动态监控。对于传感器故障、电源不稳等问题，可通过系统日志快速定位，并通过远程下发重启或参数更新指令完成修复。通过安全闭环与智能维护，确保系统稳定运行并具备可持续扩展能力。

## 结束语

本文围绕铁路机车远程监测与健康管理系统的需求，系统分析了物联网技术在铁路装备管理中的应用基础与发展路径。通过对系统架构、传感布设、通信机制、状态识别、故障预测与平台集成等关键环节的深入探讨，提出了具有工程可行性与智能化特征的建设思路。研究表明，基于物联网的健康管理系统可有效提升铁路机车运行安全性、维护科学性与管理透明度，是推动铁路运输现代化、智能化转型的核心支撑力量。未来，该系统仍需在算法精度、标准建设与跨系统集成方面持续优化，以更好服务于铁路全产业链的智能升级目标。

## 参考文献

- [1] 陈志伟, 王春燕. 物联网技术在铁路机车远程监测中的应用研究[J]. 铁道技术监督, 2022(04): 25-30.
- [2] 赵启明, 刘东祥. 基于状态监测的铁路机车健康管理系统设计[J]. 铁路运输与经济, 2021(06): 52-58.
- [3] 程思远. 铁路运输装备物联网平台构建研究[J]. 交通科技, 2023(03): 33-37.
- [4] 王子洋, 刘梦桐, 徐子谦. 基于边缘计算的铁路机车智能监控系统[J]. 铁道通信信号, 2022(08): 42-47.