

高速铁路通信电源及环境监控系统研究综述

韩 哲

中铁一局集团电务工程有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：高速铁路通信电源及环境监控系统是保障高铁通信系统稳定运行的核心设施。本文系统梳理该系统的整体架构、技术标准、核心监测与数据处理技术，总结基站与机房主流应用方案及工程落地现状。深入剖析当前系统硬件老化、数据孤岛、智能研判不足、运维模式滞后等核心问题，针对性提出硬件迭代、技术升级、运维优化策略，并预判系统一体化、智能化、数字化的未来发展趋势，为行业运维升级提供参考。

关键词：高速铁路；通信电源；环境监控系统

引言：随着我国高铁路网持续完善与智慧铁路建设推进，通信系统的稳定运行是高铁安全高效运营的关键。通信电源与环境监控系统作为通信设备的动力与环境保障核心，可实现设备状态与机房环境的全天候监测管控。为明晰系统应用现状与发展短板，本文围绕系统架构、核心技术、工程应用展开研究，剖析现存应用痛点，提出优化改进方案，探究行业未来发展方向，助力高铁监控运维体系向智慧化、标准化升级。

1 高速铁路通信电源及环境监控系统理论与架构

1.1 系统核心概述

(1) 通信电源系统定义与功能：高铁通信电源系统是沿线通信传输、调度、监控等各类通信设备的核心动力保障系统，核心作用是通信设备提供不间断、高质量的稳定电能。系统主要具备电能转换、稳压恒压供电、断电备用续航等核心功能，可规避电压波动、断电等问题造成的通信中断，是高铁通信系统安全运行的基础保障。(2) 环境监控系统定义与功能：该系统聚焦高铁通信机房、沿线基站的设备运行环境，针对机房温湿度、烟感、门禁、漏水、空气质量等关键环境参数开展全天候实时监测。可精准捕捉环境异常信息并触发报警预警，有效规避温湿度失衡、渗水、火情隐患等环境问题引发的设备故障、线路损耗，保障设备适配高铁运行环境需求。(3) 一体化监控系统运行逻辑：系统依托数据采集、网络传输、智能分析、异常预警、应急处置的闭环运行流程，打破电源设备与环境监控的独立运行壁垒，实现动力设备与机房环境的一体化联动监控，全方位保障高铁通信系统全天候、不间断稳定运行。

1.2 系统整体架构与组成模块

(1) 感知采集层：作为系统数据源头，由电压电流传感器、温湿度传感器、烟感探测器、门禁及漏水检测模块等终端设备构成，全域采集电源运行参数与机房环

境状态数据，为后台分析管控提供原始数据支撑。(2) 网络传输层：依托高铁专用通信网络、5G-R、以太网等可靠传输通道，遵循IEC61850行业通信协议，完成终端采集数据的实时上传与平台控制指令的下行传输，保障数据传输高效、精准、稳定。(3) 平台管控层：是系统的核心管控中枢，集成数据处理、状态监测、故障报警、数据存储、远程管控等功能，可实现全线站点监控数据的集中统筹管理与可视化展示，便于运维人员实时掌握系统运行状态。(4) 终端执行层：由高频开关电源、UPS、蓄电池组、空调、通风设备等执行设备组成，精准接收平台管控指令，动态调整设备运行状态，完成各类故障的应急处置，落地系统管控决策^[1]。

1.3 系统运行技术标准与规范

(1) 行业通用技术标准：严格遵循国家及铁路行业相关设计、施工、验收标准，明确系统设备选型、运行参数阈值、通信传输协议等核心规范，保障系统建设与运行的合规性、标准化。(2) 高铁专用运维规范：结合高铁高密度发车、全天候不间断运营的场景特点，制定适配性专项运维规范，明确系统日常巡检、运行监测、故障处置、定期检修的标准化流程。(3) 安全防护规范：明确系统防雷、防静电、网络防护、数据加密等安全标准，全方位筑牢系统安全防线，保障监控系统及高铁通信主系统的运行安全与数据安全。

2 系统关键技术与应用现状分析

2.1 核心监测技术应用

(1) 电源状态精准监测技术：该技术主要针对高铁通信系统的交流配电、直流开关电源、蓄电池组、UPS等核心动力设备开展精细化监测。通过高精度传感采集装置，实时捕捉系统运行电压、电流、输出功率、电池剩余容量、回路绝缘状态等关键运行参数，能够精准捕捉电压漂移、电流异常、电池老化、绝缘下降等隐性问题，

替代传统人工巡检模式,有效提升电源系统运行状态的监测精度,为电源设备稳定运行提供数据支撑。(2)机房环境智能感知技术:该技术聚焦高铁通信机房与野外基站的环境管控需求,集成温湿度自适应监测、火灾烟感智能识别、漏水精准定位、门禁安防联动等多项技术。可根据机房设备运行工况自动适配环境监测阈值,精准识别烟雾火情、管线漏水等安全隐患,并结合门禁系统实现人员出入记录与安防联动预警,全方位规避环境异常引发的设备损坏、线路故障等问题,保障机房设备运行环境安全稳定^[2]。(3)设备故障诊断技术:当前系统故障诊断包含传统诊断与智能诊断两类技术体系。传统技术依托参数阈值判断、实时数据对比、运行趋势分析,可快速识别过载、断电、温湿度超标等常规故障。同时,AI智能故障识别、大数据隐患预判技术已逐步普及,能够基于历史运行数据训练模型,提前预判设备老化、性能衰减等潜在隐患,实现从被动报修向主动预警的运维升级。

2.2 数据传输与处理技术

(1)专用网络传输技术:高铁监控系统依托高铁专用通信网络、5G-R铁路专网、工业以太网构建立体化传输体系。相较于普通网络,该传输架构具备抗干扰、低延迟、高可靠的优势,可适配高铁沿线复杂电磁环境与野外部署场景,保障监测数据实时上传、控制指令精准下行,杜绝数据丢包、传输延迟等问题,满足全天候监控传输需求。(2)边缘计算数据预处理技术:针对高铁监控海量终端数据冗余量大、云端处理滞后的痛点,系统引入边缘计算技术。在终端站点完成数据清洗、筛选、降噪与预处理工作,剔除无效重复数据,仅将有效关键数据上传云端,大幅降低网络传输压力,提升数据处理效率,保障系统响应的实时性与稳定性^[3]。(3)大数据融合分析技术:该技术可对全线多站点、多设备、多维度的电源与环境监测数据进行整合融合、关联分析。通过搭建全域数据分析模型,打破单一设备、单一区域的数据孤岛,实现电源运行状态与机房环境状态的联动研判,精准分析设备运行规律与风险分布,为全线通信设备运维、状态评估提供全域数据支撑。

2.3 主流应用方案与工程案例

(1)基站一体化监控方案:针对高铁沿线基站数量多、布局分散、运维距离远、巡检难度大的特点,行业普遍采用小型化、一体化监控方案。将电源监测、环境感知、数据传输模块集成一体,设备体积小、部署便捷,可适配野外基站复杂工况,实现无人值守基站的全天候自主监控,大幅降低运维成本。(2)中心机房集中监控

方案:高铁枢纽中心机房设备密集、功能复杂,多采用集中式网络化监控方案。通过整合机房内所有电源、空调、安防、环境监测设备数据,搭建统一管控平台,实现多设备、多区域运行状态的集中展示、统一调度、故障集中处置,有效提升枢纽机房的运维管理效率与管控标准化水平。(3)典型工程应用案例:目前该系统已广泛应用于国内各类干线高铁、城际高铁工程。实际应用中,一体化监控体系有效解决了沿线设备运维盲区多、故障响应慢的问题,依托智能监测与大数据分析技术,大幅降低设备故障发生率,提升高铁通信系统运行稳定性,积累了成熟的工程落地经验与运维实操方案。

3 现存问题、优化策略与发展趋势

3.1 当前系统应用现存核心问题

(1)设备层面:现阶段国内早期建设的高铁通信站点存在大量老旧设备长期服役的情况,硬件老化问题较为突出。部分传统传感器灵敏度下降、监测精度不足,对微小电压波动、温湿度细微变化等隐性参数变化捕捉能力较弱。同时,多数站点蓄电池组监测体系不完善,仅能实现基础电压检测,无法精准评估电池容量衰减、单体电池差异及老化程度。此外,沿线野外基站长期暴露在极端高低温、强雨雪、强电磁干扰环境中,设备适配性与稳定性大幅下降,极易出现监测数据失真、设备停运等问题,直接影响通信供电安全。(2)技术层面:高铁全线各站点监控系统建设周期不同、设备型号繁杂,采用的传输协议与数据标准不统一,导致各站点监测数据互联互通性较差,数据孤岛问题十分突出,无法实现全线数据统一汇总与关联分析。在智能研判技术方面,现有系统故障识别方式较为单一,大多依靠固定参数阈值进行判断,缺乏大数据趋势分析与智能模型研判能力。仅能在参数超标后触发被动报警,无法提前识别设备性能衰减、隐患演变趋势,前置预警与风险预判能力薄弱,难以适配智慧高铁的防控需求。(3)运维层面:目前高铁通信电源及环境监控系统自动化处置水平有限,系统仅具备监测与报警基础功能,大部分设备故障、环境异常问题仍需依靠运维人员现场排查、人工处置,整体运维流程繁琐、响应速度慢,运维效率偏低。同时,行业尚未形成标准化、智能化的闭环运维体系,无人值守运维模式落地不完善,远程管控、自动联动、智能复盘功能缺失,传统人工运维模式难以适配现阶段高铁高密度、全天候、高效率的运营管控需求,整体智能化运维水平存在明显短板。

3.2 系统优化与改进策略

(1)硬件设备优化:针对老旧站点硬件短板,开展

全域设备迭代升级,更换老化失效的电源、UPS及监测终端设备,批量部署高精度、高灵敏度智能感知传感器。重点优化蓄电池组专项监测模块,实现单体电池容量、内阻、温度等参数的全方位精准监测。同时结合高铁沿线复杂环境特点,强化设备防雷、防静电、抗电磁干扰性能,优化设备高低温适配能力,提升野外站点设备运行的稳定性与环境适应性,从硬件层面降低故障发生率。

(2) 技术体系优化:统一全线监控系统数据传输协议与数据标准,搭建全线通用的一体化数据交互共享平台,打通各站点、各设备数据壁垒,彻底解决数据孤岛问题。依托大数据、人工智能技术优化系统算法模型,摒弃单一阈值判断模式,结合设备历史运行数据、环境数据、故障数据开展多维度趋势分析,构建智能故障识别与隐患预判模型,实现故障从被动报警向主动预判转变,全面提升系统监测精度与智能研判能力^[4]。(3) 运维模式优化:重构智能化运维管理体系,搭建集自动监测、智能报警、远程调控、联动处置、数据复盘于一体的运维闭环流程。完善基站、机房无人值守运维模式,依托远程管控平台实现设备状态实时监管、故障远程研判与简易故障自动处置,减少人工现场作业频次。通过智能化手段简化运维流程、缩短故障处置时长,有效降低人工运维成本,全面提升高铁通信动力与环境系统的运维效率与管控水平。

3.3 行业未来技术发展趋势

(1) 一体化集成化发展:未来高铁通信电源与环境监控系统将朝着软硬件深度集成的一体化方向发展,打破传统电源监测、环境感知、安防管控独立运行的模式。通过一体化集成设计精简系统架构,整合各类采集、传输、执行设备功能,实现动力系统与环境监控系统的高度融合、协同联动,减少设备冗余,提升系统整体运行的协调性、稳定性与兼容性。(2) 全场景智能化升级:随着物联网、人工智能、数字孪生技术的普及,监控系统将实现全场景、全生命周期智能化升级。依托智能算

法与实时数据建模,完成设备运行状态动态监测、故障智能溯源、隐患提前预判,同时实现部分常规故障的自动化联动处置。结合数字孪生技术构建虚拟仿真监控场景,实现设备运行可视化、风险可控化,全面打造智慧化、无人化的监控运维体系^[5]。(3) 数字化标准化发展:行业将逐步推进监控系统数据格式、传输协议、管控流程的统一标准化建设,规范系统建设、运维、数据应用全流程。实现全线各站点、各区域监控数据互联互通、统一汇聚,适配智慧高铁一体化运维平台。依托数字化技术完成全域运行态势可视化管控,通过数据深度挖掘与分析,为设备检修、运维调度、系统优化提供精准的数据支撑,推动高铁通信监控运维向标准化、数字化、智慧化转型。

结束语

综上所述,高铁通信电源及环境监控系统对保障高铁通信安全至关重要,当前行业已形成成熟的技术体系与应用方案,但仍存在硬件、技术与运维层面的诸多短板。唯有通过硬件迭代更新、统一数据技术标准、构建智能闭环运维模式,才能破解现存应用难题。未来随着物联网、大数据及数字孪生技术的融合应用,系统将实现一体化、智能化、数字化转型,全面适配智慧高铁的高质量发展需求。

参考文献

- [1]李哲.铁路通信电源的故障诊断与维护技术研究[J].移动通信,2024,46(5):344-346.
- [2]刘伟.高速铁路通信电源系统设计与应用研究[J].铁道通信信号,2022,58(4):25-30.
- [3]代茜.基于物联网架构的变配电所辅助监控系统研究[J].铁路计算机应用,2022,31(9):25-28.
- [4]王通.基于云网边端协同的铁路无人值守牵引变电所运维方案研究[J].铁路计算机应用,2022,31(7):58-62.
- [5]王强,李俊.UPS配置方式对铁路通信系统稳定性的影响分析[J].铁路技术创新,2022,11(2):45-50.