

# 通信基站电源智能监控与远程运维技术的创新研究

徐哲

(中国铁塔股份有限公司常州市分公司, 江苏 常州 213001)

**摘要** 随着5G通信技术的规模化部署, 通信基站数量激增且覆盖范围不断向偏远区域延伸, 传统基站电源运维模式面临响应滞后、人力成本高、故障处置不及时等诸多难点。为破解这一困境, 本文开展通信基站电源智能监控与远程运维技术创新研究。首先剖析基站电源系统架构及运维核心需求, 随后重点阐述多维度状态感知、高效数据传输、智能故障诊断预测三大核心技术创新点, 进而设计实现包含总体架构、核心功能模块及安全防护的远程运维系统, 最后通过实验验证与应用效果分析证实技术可行性, 以期显著提升基站电源运维效率、降低运维成本提供借鉴, 进而为通信网络稳定运行提供可靠电源保障。

**关键词** 通信基站; 电源系统; 智能监控; 远程运维; 故障预测

**中图分类号**: TN91; TP2

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.06.010

## 0 引言

在数字经济高速发展的背景下, 通信网络作为关键基础设施, 其覆盖广度与运行稳定性直接影响社会经济发展。基站作为通信网络的核心节点, 其电源系统是保障通信设备持续运行的“心脏”。当前, 我国基站建设已实现城乡全域覆盖, 大量基站分布在山区、偏远乡村等交通不便区域, 传统“人工巡检+现场维修”的运维模式存在明显弊端: 一方面, 人工巡检周期长, 难以实时掌握电源运行状态, 易导致潜在故障漏判; 另一方面, 偏远区域基站故障处置需耗费大量人力物力, 响应时间长, 易造成通信中断。

随着5G技术普及, 基站设备功耗大幅提升, 对电源系统的可靠性要求更高, 传统运维模式已无法满足新时代通信网络运维需求。在此背景下, 智能监控与远程运维技术成为提升基站电源运维水平的关键路径。通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术, 构建基站电源智能监控与远程运维体系, 可实现电源状态实时感知、故障精准诊断、远程协同处置, 对保障通信网络稳定运行、降低运维成本具有重要现实意义。本文基于这一需求, 开展相关技术创新与系统设计研究。

## 1 通信基站电源系统架构与运维需求分析

### 1.1 基站电源系统核心组成

通信基站电源系统是一个多模块协同工作的复杂体系, 核心组成包括交流输入单元、整流模块、蓄电

池组、直流配电单元及监控单元五大部分。其中, 交流输入单元负责将市电引入并进行浪涌防护、防雷处理; 整流模块将交流电能转换为直流电能, 为基站主设备供电; 蓄电池组作为备用电源, 在市电中断时保障基站持续运行, 是基站电源系统的关键冗余保障部件; 直流配电单元负责将整流模块输出及蓄电池放电的直流电能分配至各通信设备; 传统监控单元仅能实现基础电压、电流数据采集, 功能较为单一。各模块协同工作, 形成“市电供电为主、蓄电池备用为辅”的供电模式, 确保基站24小时不间断运行<sup>[1]</sup>。

### 1.2 基站电源运维核心需求

结合基站运行实际与传统运维难点, 当前基站电源运维核心需求主要体现在以下三个方面: 一是实时监控需求, 需精准采集电源系统各模块的关键运行参数, 包括交流输入电压/电流、整流模块输出电压/电流、蓄电池电压/内阻/容量、环境温湿度等, 实现运行状态全面感知; 二是故障处置需求, 需快速识别电源系统故障类型(整流模块故障、蓄电池老化、线路短路等), 精准定位故障位置, 并支持远程下发处置指令, 缩短故障处置时间; 三是高效管理需求, 需通过数据整合分析实现运维流程规范化, 支持运维人员调度、工单管理、历史数据追溯等功能, 降低运维管理成本。

**作者简介**: 徐哲(1977-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 通信电源技术及节能减排的系统研究。

## 2 通信基站电源智能监控核心技术创新

### 2.1 多维度电源状态智能感知技术

针对传统监控感知维度单一、精度不足的问题,创新采用多维度融合感知技术。在硬件层面,部署高精度智能传感器网络,包括具备宽量程与高采样率的电压电流传感器、可实现非侵入式检测的蓄电池内阻传感器、抗干扰型温湿度传感器及高精度烟雾传感器等,通过传感器节点的分布式布局,实现电源电气参数与环境参数的全面、同步采集,避免因单点监测导致的信息遗漏。在算法层面,引入自适应滤波算法,针对不同传感器的信号噪声特性动态调整滤波参数,有效过滤电网波动、电磁干扰带来的原始数据噪声,显著提升数据采集精度。同时,基于时序数据特征构建参数关联分析模型,通过挖掘电压、电流、温度等多维度参数的耦合关系进行协同分析,能够精准捕捉电源系统隐性故障(蓄电池容量衰减、线路接触不良等)的早期特征信号,实现潜在故障的提前感知,从根源上解决传统感知技术难以发现潜在故障的问题。

### 2.2 高效可靠的数据传输技术优化

针对偏远区域基站网络覆盖不稳定、数据传输易中断的问题,优化设计“主备协同+边缘预处理”的混合传输架构。在网络选择上,优先采用运营商 4G/5G 网络进行大批量实时数据传输,依托其广覆盖、高带宽特性保障常规监控数据的高效传输;同时预留低功耗、长距离的 LoRa 备用传输通道,构建智能切换机制,当主网络信号强度低于阈值或发生中断时,系统可在 500 ms 内自动切换至 LoRa 通道,优先传输设备故障告警、关键运行参数等核心数据,最大限度保障极端场景下的传输可靠性。在数据处理上,采用边缘计算技术,在基站本地部署轻量化边缘计算节点,对采集到的海量原始数据进行清洗、聚合、特征提取等预处理操作,筛选出关键数据与告警信息后再上传至云端平台,可将数据传输量压缩 60% 以上,大幅降低传输带宽占用,显著提升传输效率。此外,通过采用国密 SM4 加密传输协议与断点续传技术,对传输数据进行全程加密保护,同时针对网络中断场景实现数据断点续传,确保数据传输过程中的安全性、完整性与连续性<sup>[2]</sup>。

### 2.3 电源故障智能诊断与预测技术

基于大数据与人工智能技术,构建“数据驱动+模型融合”的电源故障智能诊断与预测模型。首先,建立多源异构电源故障样本库,全面整合历史故障数据、设备全生命周期参数、实时运行环境数据及运维

记录等多维度数据,通过数据标准化、异常值剔除、特征工程等预处理步骤,提升样本数据质量,为模型训练提供可靠数据支撑。其次,采用随机森林算法对故障样本进行深度训练,通过构建多决策树集成模型,融合多棵决策树的诊断结果,有效提升模型抗干扰能力,可根据实时采集的运行参数快速识别整流模块故障、蓄电池老化、线路短路等 10 余种常见故障类型,并精准定位故障位置,经测试诊断准确率可达 95% 以上。最后,引入长短期记忆网络(LSTM)构建故障预测模型,利用其对时序数据的强拟合能力,深度分析电源参数在不同工况下的时序变化特征,精准捕捉渐进性故障的早期衰减趋势,实现对蓄电池容量衰减、整流模块老化等渐进性故障的提前 3~7 天预测,提前发出多级预警信号并推送针对性处置建议,成功实现从“事后维修”向“事前预警、精准运维”的根本性转变。

## 3 基站电源远程运维系统设计与实现

### 3.1 系统总体架构设计

远程运维系统采用“云一边一端”三级架构设计。终端层部署在通信基站内,由智能传感器、边缘网关等设备组成,负责完成电源状态数据采集与本地预处理;边缘层通过边缘网关实现数据本地分析、故障初步诊断及本地控制指令执行,可在网络中断时独立完成基础运维决策;云端层为远程运维管理平台,部署在运营商数据中心,实现数据存储、深度分析、故障预警、工单管理、远程控制等核心功能。三级架构协同工作,既保障了数据处理的实时性,又实现了运维管理的集中化<sup>[3]</sup>。

### 3.2 核心功能模块开发

系统核心功能模块包括状态监控模块、故障管理模块、远程控制模块及运维管理模块。状态监控模块实现电源系统各参数的实时展示、历史数据查询及数据可视化分析;故障管理模块基于智能诊断模型,自动生成故障工单,明确故障类型、位置及处置建议,并跟踪工单处理进度;远程控制模块支持运维人员远程下发控制指令,实现整流模块启停、蓄电池充放电控制等操作;运维管理模块实现运维人员权限管理、巡检计划制定、运维报表生成等功能,提升运维管理规范水平。各模块功能及对应技术支撑如表 1 所示。

### 3.3 系统安全性设计

为保障系统运行安全与数据安全,从三个层面进行安全性设计。在数据安全层面,采用 AES 加密算法对传输数据与存储数据进行加密处理,防止数据泄露;

表1 远程运维系统核心功能模块说明表

功能模块	核心功能	技术支撑
状态监控模块	实时参数展示、历史数据查询、数据可视化	数据可视化技术、时序数据库
故障管理模块	故障诊断、工单生成、进度跟踪	随机森林算法、工单管理系统
远程控制模块	远程设备启停、参数调节	加密传输协议、边缘控制技术
运维管理模块	权限管理、巡检计划、报表生成	角色权限控制、大数据分析

在访问安全层面，实施基于角色的权限管理机制，细化运维人员操作权限，实现操作行为全程追溯；在设备安全层面，边缘网关内置防火墙，抵御网络攻击，同时对远程控制指令进行多重校验，防止误操作或恶意操作导致电源系统故障，确保系统稳定可靠运行。

## 4 实验验证与应用效果分析

### 4.1 实验环境构建

以10个不同类型的通信基站作为实验对象，其中城区基站5个、偏远山区基站5个，包括宏基站、微基站这两种主流类别，基站电源系统含有不同品牌、不同服役年岁的设备，以保障实验结果的通用性。在各基站安放本文设计的智能感知设备以及边缘网关，构建远程运维系统测试环境，同时留存原有的传统监控设备作为对照基准，实验的时间周期为3个月，应对多雨、高温等复杂气候情形，实时采集电源系统运行数值，模拟各类电源故障，重点对系统监控精度、故障诊断准确率以及远程控制有效性三大核心指标加以验证。

### 4.2 技术性能验证

实验结论表明，系统各项技术性能皆符合设计要求：多维度感知技术能全面采集电源参数和环境参数，不同负载状况下数据采集精度误差均在2%以内，大幅超越传统监控设备5%的误差阈值；偏远山区基站网络信号不稳定时的混合传输架构，数据传输成功概率超98%，就算信号强度在低于-100 dBm的极弱网络环境里，依然能保障关键告警数据稳定传递；故障诊断模型对常见故障诊断的准确率达95.6%，针对蓄电池老化等隐性故障的诊断准确率为89%；故障预测模型可在3~7天间，对蓄电池容量衰减等渐进性故障进行预测，预警准确程度达92%；远程控制指令响应时长少于3秒，能实现设备准确掌控，把误差控制在±1%范围<sup>[4]</sup>。

### 4.3 应用效果评估

将该系统运用到实验基站运维中，获得明显应用效果：一是运维效率极大提升，偏远基站故障平均处

置时长从原本的4~6小时缩减至1小时以内，处置效率增长75%以上，部分简单故障能借远程控制径直处理，无需现场值班；二是运维成本明显下降，实验基站人工巡检次数降低六成，3个月内累计省下运维人力成本约8万元，同时削减了巡检车辆油耗、设备损耗这类间接成本；三是电源系统可靠性上扬，基站电源故障所引停机时间减少80%，未因电源故障导致大面积通信中断的事情发生，切实维护了通信网络稳定运行，优化了用户通信体验<sup>[5]</sup>。

## 5 结束语

本文实施通信基站电源智能监控和远程运维技术创新研究，依靠多维度感知、高效传输、智能诊断预测三大核心技术的创新，构建了“云一边一端”三级远程运维体系，成功攻克了传统基站电源运维模式的诸多难关。经过实验验证与应用效果分析发现，该技术可显著增进运维效率、削减运维成本、提升电源系统可靠性，为5G时代通信基站电源运维提出了可行技术方案，能进一步改进故障预测模型算法，提升隐性故障预测的精准度；将该技术融入基站能源管理，可实现电源系统节能优化，为通信网络低碳绿色运行提供技术支持。

## 参考文献：

- [1] 韩玉昕. 基于物联网技术的基站电源监控系统研究与设计[J]. 通信电源技术, 2020(37):92-98.
- [2] 周建鹏. 电气工程自动化技术在机械设备中的运用[J]. 户外装备, 2023(02):154.
- [3] 李文浩. 电气工程领域自动化系统研究及应用[C]// 2024人工智能与工程管理学术交流会议论文集. 2024.
- [4] 尹晓亮. 基站运维数字化管理转型升级方案探讨[J]. 通信世界, 2022(08):14-16.
- [5] 姚元祺. 基于数字化转型视角下医院运维监控设计与应用研究[J]. 长江信息通信, 2023,36(01):175-177.