

短波发射机远程监控系统的设计与应用

杨 博

内蒙古自治区广播电视传输发射中心839台 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要：短波发射机运行状态直接影响通信质量。传统人工巡检存在响应慢、效率低、成本高等问题。本文设计了一套基于嵌入式技术和网络通信的短波发射机远程监控系统，由前端采集、网络传输和监控中心三部分组成，可实时监测功率、频率、驻波比、温度等关键参数，并具备远程开关机、参数调整、故障报警等功能。应用表明，该系统可降低运维成本，提高故障响应速度，保障发射机稳定运行。

关键词：短波发射机；远程监控；数据采集；嵌入式系统；网络通信

引言：短波发射机多部署于偏远地区或无人值守站点，传统人工巡检模式面临运维强度大、故障响应滞后、运行数据缺乏系统记录等问题。随着物联网技术发展，短波发射机远程监控成为现实。本文设计一套远程监控系统，通过实时采集运行参数、远程控制设备状态、智能预警故障异常，提升短波发射台运维效率和设备可靠性，满足无人值守台站的管理需求。

1 短波发射机远程监控需求分析

1.1 短波发射机运行特点与监控需求

短波发射机工作在高电压、大电流、强电磁辐射环境下，对温度、湿度、通风条件要求较高。关键运行参数包括射频输出功率（前向和反向）、工作频率、驻波比、功放管温度、各极电压电流、冷却系统状态等，这些参数反映发射机的工作状态和健康程度。例如，驻波比异常升高可能表明天线匹配不良或馈线故障；功放管温度持续偏高预示散热异常或功放老化。远程监控系统需实时采集这些参数，建立运行数据库并设定报警阈值，参数超限时及时通知运维人员。同时，系统应对开关机、功率升降、频率切换等操作提供远程控制能力，适应无人值守台站管理需求。

1.2 现有运维模式的问题

当前多数短波台站仍采用人工值守或定期巡检模式，存在诸多问题。一是人力资源消耗大，台站多位于偏远山区，通勤成本高且需24小时轮班，人员编制紧张。二是故障响应不及时，夜间或节假日故障无法第一时间到达现场，停播时间延长。三是数据记录不完整，人工抄表效率低、易出错，难以形成长期连续数据积累，无法支撑趋势分析和预测性维护。四是设备状态缺乏可视化，操作人员无法直观了解多台发射机状态，调度管理效率低下。五是缺乏历史数据回溯能力，故障后难以查询前后参数变化，不利于原因分析。这些问题迫

切需要通过自动化信息化手段解决^[1]。

1.3 远程监控系统功能目标

远程监控系统应实现以下功能目标。数据采集方面，实时采集功率、频率、驻波比、温度、电压、电流等关键参数，采集周期可根据需要设定（秒级或分钟级）。远程控制方面，支持开机、关机、功率设定、频率切换等操作，具备权限管理和操作日志功能。报警管理方面，设定参数正常范围和告警阈值，越限时自动产生报警，通过声光、短信或即时通讯工具推送。数据存储与查询方面，建立历史数据库，支持长期存储、趋势查询和报表生成，便于事后分析。可视化展示方面，通过图形化界面实时显示设备状态，支持多台发射机集中监控。系统需具备良好的可靠性和抗干扰能力，适应强电磁环境。

2 系统总体设计

2.1 系统总体架构

短波发射机远程监控系统采用分层分布式架构，由前端采集层、网络传输层和监控中心层三部分组成。前端采集层部署于发射机房，由数据采集终端和各类传感器构成，负责采集发射机的模拟量、开关量和状态量信号。网络传输层负责将前端采集的数据安全可靠地传输至监控中心，可采用有线以太网、光纤或4G/5G无线网络，对于偏远台站可采用无线传输方式。监控中心层部署于调度控制室或云服务器，由数据服务器、监控工作站和客户端组成，完成数据的接收、存储、处理、显示和控制指令的下发。系统采用模块化设计，可根据台站规模灵活扩展，支持单台发射机的独立监控和多台发射机的集中监控。监控中心与前端之间的通信协议采用工业标准的Modbus TCP及Modbus RTU协议，保证数据格式的统一性和系统的开放性。

2.2 前端采集终端设计

前端采集终端是系统的核心硬件,负责采集发射机各项参数并执行远程控制指令。采集终端以工业级嵌入式微控制器为核心,配备模拟量输入通道、开关量输入输出通道和通信接口。模拟量输入通道采集功率、电压、电流、温度等模拟信号,信号经隔离放大、滤波调理后送入模数转换器。为提高抗干扰能力,模拟量采集采用差分输入方式和软件滤波算法,有效抑制电磁干扰。开关量输入通道采集发射机的运行状态(待机/运行/故障)和保护动作信号;开关量输出通道通过继电器控制发射机的开机、关机、功率调整等操作。采集终端支持Modbus RTU协议,通过RS-485总线或以太网接口与上级监控系统通信。终端具备本地数据缓存功能,当网络中断时可暂存数据,待网络恢复后自动补传,保证数据完整性。设备选型优先考虑工业宽温级产品,适应机房-10℃至+50℃的工作环境。

2.3 通信网络设计

通信网络是连接前端采集终端与监控中心的桥梁,其可靠性直接影响监控系统的可用性。针对不同台站条件,系统支持多种通信方式。对于具备光纤或以太网接入条件的台站,优先采用有线网络,带宽高、时延低、稳定性好,采用VPN技术保证数据传输安全。对于偏远山区等不具备有线网络条件的台站,采用4G/5G无线通信方式,采集终端内置工业级无线模块,通过APN专线或VPN与监控中心建立安全连接^[2]。通信协议采用MQTT协议,该协议轻量级、低功耗,适合带宽受限和不稳定网络环境,支持发布/订阅模式,便于多台设备接入。为保证通信可靠性,系统设计心跳机制和断线重连机制,当检测到连接断开时自动重连,并在连接恢复后补传中断期间的数据。数据传输采用TLS加密,防止数据被窃取或篡改。

2.4 监控中心软件设计

监控中心软件是远程监控系统的管理核心,采用B/S架构设计,用户通过浏览器即可访问,无需安装客户端。软件功能模块包括数据接收与解析模块、实时监控模块、历史数据模块、报警管理模块、远程控制模块和系统管理模块。数据接收模块负责接收前端上传的数据并进行协议解析和有效性校验,将有效数据存入实时数据库。实时监控模块以仪表盘、趋势图、状态指示灯等形式直观显示发射机当前运行参数,支持多台发射机的概览视图和单台详情视图。历史数据模块支持按时间段、参数类型查询历史数据,生成变化曲线和统计报表,数据可导出为Excel格式。报警管理模块根据设定的阈值进行越限判断,产生报警记录并通过短信或微信推

送至维护人员,支持报警确认和报警历史查询。远程控制模块通过安全认证后下发控制指令,所有操作记录日志备查。

3 关键技术实现

3.1 数据采集与信号处理

短波发射机工作在高电压、大电流、强电磁辐射环境,数据采集必须解决抗干扰和信号隔离问题。模拟量采集方面,功率、电压、电流等信号采用霍尔传感器或隔离变送器进行电气隔离,将强电信号转换为标准4-20mA电流信号或0-10V电压信号,再送入采集终端。温度采集采用PT100铂电阻或数字温度传感器,传感器安装于功放模块散热片、变压器铁芯等关键部位。驻波比检测采用定向耦合器结合检波电路,通过采集前向功率和反向功率计算驻波比。所有模拟信号在进入模数转换器前,经过RC低通滤波和运放跟随处理,滤除高频噪声。软件层面采用中值滤波和滑动平均滤波算法,进一步平滑数据波动。采集周期根据参数类型设定,关键参数(如功率、驻波比)采用秒级采集,温度等缓变参数可采用分钟级采集,兼顾实时性与数据量^[3]。

3.2 远程控制与安全保障

远程控制功能涉及发射机的开关机和功率调节,必须确保操作的安全性和可靠性。系统设计了多级安全机制:一是操作权限管理,用户分为管理员、操作员、只读访客等不同角色,远程控制功能仅对授权用户开放。二是操作确认机制,执行关机、功率调整等关键操作前,系统要求用户二次确认,并提示操作风险。三是操作日志记录,所有远程控制操作均记录操作人、操作时间、操作内容、操作结果,日志不可篡改,便于事后审计和追溯。四是防误操作设计,控制指令采用命令-确认-执行三次握手协议,防止单包数据错误导致误动作。五是紧急保护机制,当检测到驻波比过高、温度超限等严重异常时,系统自动闭锁远程开机功能,并建议现场检查。控制指令下发后,系统通过读取返回状态确认指令是否执行成功,超时未响应则重复发送并记录异常。

3.3 报警机制与推送服务

报警机制是远程监控系统实现无人值守的关键功能。系统根据发射机技术手册和运行经验,为每个监测参数设定三级报警阈值:注意阈值(参数偏离正常范围但可接受)、告警阈值(需关注处理)、紧急阈值(需立即停机检修)。当参数越限时,系统自动产生报警记录,包含报警设备、报警参数、当前值、阈值、报警时间等信息。报警信息通过多种渠道推送:监控中心软件界面弹出报警窗口并发出声光提示;通过短信网关向指

定维护人员发送报警短信；通过企业微信或钉钉机器人推送报警消息。报警根据严重程度设定推送策略，紧急报警立即推送并重复通知直到确认，一般告警可合并推送减少打扰。系统支持报警确认和处置记录，维护人员可在系统中登记报警处理情况和维修结果，形成闭环管理。历史报警记录可按时间、设备、类型等条件检索，为故障分析和设备改进提供依据。

4 系统应用与效果分析

4.1 系统部署与应用

该系统已在某短波广播发射台进行了实际部署应用，覆盖台站内4台100kW短波发射机。部署实施过程包括：现场勘察确认采集点位；安装传感器和采集终端；配置网络通信参数；调试监控中心软件与前端通信；培训台站人员使用系统。系统投入运行后，运维人员可在调度中心实时监控4台发射机的运行状态，无需频繁前往机房查看。每日自动生成运行报表，记录各发射机的累计运行时间、功率输出情况、异常事件等，减轻了人工记录的工作量。系统试用三个月期间，累计记录运行数据超过200万条，成功预警异常事件8起，包括冷却风机故障导致的温度异常升高、天线匹配网络老化引起的驻波比上升等，为预防性维护提供了及时有效的指导^[4]。

4.2 应用效果分析

从实际应用效果看，远程监控系统在以下几个方面取得了显著成效。运维效率方面，日常巡检频率从每天多次降低为每周一次，运维人员可通过监控中心随时查看设备状态，大幅减少了现场往返时间。故障响应速度方面，系统实时监测并即时推送报警，故障发现时间从小时级缩短至秒级，平均修复时间明显缩短，数据管理方面，系统自动记录和存储运行数据，彻底改变了传统人工抄表模式，数据完整率和准确率达到99.9%以上。设备管理方面，基于长期积累的运行数据，可分析设备性能变化趋势，指导备件储备和计划检修，实现从“事后维修”向“预防性维护”转变。安全保障方面，远程控制的安全机制和操作日志功能，杜绝了误操作风险，使

无人值守成为可能。

4.3 存在问题与改进方向

在实际应用中，系统也存在一些需要改进的问题。一是强电磁环境下的通信稳定性有待进一步提升，个别无线传输节点在发射机大功率工作时出现短暂断连，后续应考虑采用光纤传输或增强屏蔽措施。二是传感器在长期运行中可能存在零点漂移，需要定期校验和校准，可引入自校准机制减少人工干预。三是报警阈值的设定需要根据季节变化和老化情况进行动态调整，未来可引入自学习算法优化阈值设定。四是随着监控设备数量增加，数据存储量快速增长，需考虑数据压缩存储和分级存储策略，降低存储成本。五是系统的网络安全防护需要持续加强，防范网络攻击和数据泄露风险。这些改进方向将在后续系统升级中逐步完善。

结束语

本文针对短波发射机传统运维模式的不足，设计了一套基于嵌入式技术和网络通信的远程监控系统。系统由前端采集终端、网络传输单元和监控中心三部分组成，实现了功率、频率、驻波比、温度等关键参数的实时采集与远程控制，具备智能报警、历史数据存储与分析等功能。应用表明，该系统有效降低了运维强度，缩短了故障响应时间，提高了设备可靠性。后续将在抗干扰、动态阈值、网络安全等方面持续改进，提升系统智能化水平。

参考文献

- [1]余靓.中短波广播发射机网络管理系统架构及其应用优势[J].西部广播电视,2024,45(13):175-178.
- [2]白岩军.BBEF-10kW全固态短波发射机控制系统简述[J].数字传媒研究,2021,38(12):3-6.
- [3]杜晓冬.大功率短波发射机监控系统的设计与应用[J].卫星电视与宽带多媒体,2023,20(21):1-3.
- [4]索白.短波广播发射机远程控制与智能运维系统的创新实践[J].中国信息化,2025,(9):103-104.