 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i7.11399

Application Practice of Fully Automated Transmitter Remote Monitoring System in Unattended Stations

Jing Liu

Xinjiang Radio and Television Bureau Station 6503 (9163), Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract

Radio and television transmission stations in border regions predominantly operate in an unattended mode. Traditional manual maintenance approaches face practical challenges such as insufficient fault prediction capabilities, poor stability of remote control links, and high on-site maintenance costs, which hinder the improvement of broadcast reliability. Based on the operational conditions of border transmission stations, this paper develops a hardware-software integrated remote monitoring system tailored for complex field environments, establishes a hierarchical software management platform, and completes its field deployment. Leveraging online monitoring and tiered alarm functions, the system enables routine equipment status monitoring. Corresponding optimization measures are designed to address the three identified maintenance shortcomings. Through field validation, the system's effectiveness has been demonstrated, yielding an intelligent operation and maintenance solution suitable for remote unattended stations. This provides comprehensive practical references for the smart upgrade of similar wireless transmission sites in border regions.

Keywords

unattended monitoring station; transmitter; remote monitoring; automated operation and maintenance; fault warning

全自动化发射机远程监控系统在无人值守台站中的应用实践

刘静

新疆广播电视局 6503（9163）台，中国 · 新疆 喀什 844000

摘　要

边疆地区广播电视发射台站多采用无人值守运行模式，传统人工运维方式存在故障预判能力不足、远程控制链路稳定性差、现场运维开支较高等现实问题，制约播出保障能力提升。本文以边疆发射台站现场运行条件为基础，搭建适配野外复杂环境的发射机远程监控软硬件一体化系统，搭建分层软件管控平台并完成现场部署落地，依托在线监测与分级告警功能实现设备状态常态化管控。针对前期梳理的三类运维短板配套设计对应优化手段，依托现场对照测试验证整套系统改造成效，形成适配偏远无人值守台站的智能化运维改造方案，可为同类边疆无线发射站点智慧化升级提供完整实践参考。

关键词

无人值守台站；发射机；远程监控；自动化运维；故障预警

1 引言

新疆多数广播电视发射台站分布在偏远山地、牧区，常年温差大、风沙频繁，现场长期留人值守难度大，行业普遍推行无人值守运行模式。现有运维仍依靠定期上山人工巡检，故障出现后才能上门抢修，很难提前识别功放、天馈线路的隐性老化故障，公网传输还会造成远程调控指令延迟丢包，长期往返巡检也持续抬高交通与人力开支，直接制约广播电视 7×24 小时稳定安全播出。依据总局智慧广电升级相关指导意见，远程自动化监控是台站改造主流方向。本文以新疆某台实际运行工况为依托，梳理传统运维三类突出短板，设计适配本地恶劣环境的发射机远程监控系统，落地实操并开展对照测试，用对应优化方案闭环解决运行难题，总结可复用的边疆无人值守台站智能化改造实操经验。

【作者简介】刘静（1979–），女，中国河北武邑人，本科，工程师，从事广播节目传输相关，智慧运维研究。

2 无人值守发射台站现存运行短板

2.1 设备故障无法提前预判

当前新疆无人值守发射台站未搭建常态化数据采集与智能分析体系，运维工作完全依靠人员周期性上山巡检，仅能直观发现功放烧毁、信号中断这类显性故障。发射机功放模块、激励器、室外天馈线路会随运行时长出现温度缓慢漂移、功率小幅衰减、接头隐性老化等渐进式异常，这类参数细微变化无法通过人工肉眼、简易仪表当场识别。传统运维流程固定为设备损坏、播出信号异常后，后台值班人员才能收到群众反馈，再安排人员赶赴现场停机维修，全程缺少前置预警环节，极易造成几分钟至数十分钟的播出空档。新疆多数台站地处戈壁山地，昼夜温差超 30℃、常年风沙侵蚀，

设备元器件老化速度显著高于内地平原台站，各类隐性故障持续累积，大幅拉高非计划停机概率，难以满足广播电视 7×24 小时不间断安全播出硬性要求。

2.2 远程调控执行响应滞后

改造前台站远程管控全部依托普通公网传输数据，网络带宽随时段波动明显，传输时延没有稳定区间，属于行业内普遍存在的共性问题。管控中心下发发射功率调节、主备发射机自动倒换、运行参数校准等操作指令时，数据包会出现随机延迟、丢包、乱序现象，网络拥堵严重时段甚至出现指令完全失效的情况。整套监控链路没有配套实时状态校验机制，后台操作人员发送控制指令后，无法同步获取前端设备执行结果反馈，不能第一时间确认设备是否完成对应动作。一旦机房出现驻波比超标、输入信号丢失等突发异常，工作人员无法通过远程操作快速干预处置，只能等待运维人员长途赶赴现场手动操作，故障处置链条拉长，应急处置效率达不到广电安全播出管理规范的标准。

2.3 人工巡检运维成本偏高

新疆辖区无线发射台站点位分散，台站与城区运维中心普遍相距几十至两百公里，传统运维制度规定单座无人值守台站每周开展 2 至 3 次现场巡检，单次往返路程加设备排查最少消耗 2 小时。高频次出车带来持续上涨燃油、车辆维保、外勤补助等直接开支，长期人工运维投入占据台站年度运维经费主要部分。人工巡检本身存在固有缺陷，日间巡检容易遗漏机房隐蔽点位，夜间低温环境下人员操作专注力下降，经常出现参数漏记、故障漏查、判断失误等情况，运维标准化程度偏低。部分偏远台站曾尝试安排人员驻站值守，又会产生食宿、轮班补贴等额外支出，一线运维人员长期往返奔波，工作负荷持续偏大，整体运维投入产出性价比很低，与无人值守降本增效的建设初衷相悖。

3 全自动远程监控系统整体设计方案

3.1 现场采集终端硬件配置

将广播电视发射机接入远程监控系统，可以有效地提高广播电视无线发射台站自动化和信息化的程度，从而使广播电视事业进一步发展 [1]。结合新疆台站风沙大、昼夜温差剧烈、无专人值守的运行条件，整套现场硬件统一采用前端采集、边缘处理、本地存储三层架构，全部选用宽温工业级设备，满足 -30℃至 60℃宽温工作与防尘抗电磁干扰要求，符合广电野外设备通用技术标准。整套硬件包含发射机专用多参数采集模块，负责实时采集正向功率、反射功率、驻波比、功放模块温度、整机工作电压电流、激励器锁定状态等射频核心指标；配套环境传感终端采集机房温湿度、门禁开关、散热风机运行状态；搭配工业边缘计算网关、千兆工业交换机与断电后备储能模块，保障断网断电短期持续采集存储。系统硬件执行全域无死角采集、现场边缘预处理、离线数据本地缓存的部署原则，可规避传统单采集器单点失效、网络中断丢失运行数据的常见问题，为后台故障研判、远程调控提供完整可靠的原始实测数据支撑，系统硬件物理连接逻辑如图 1 所示：

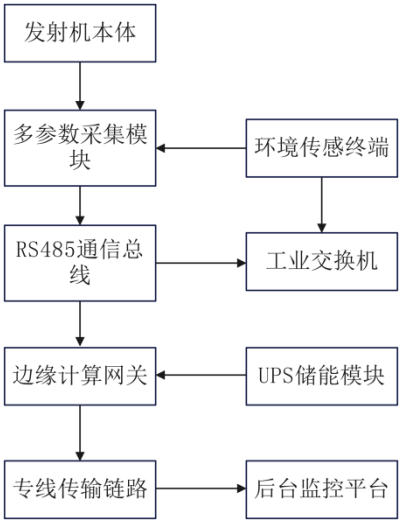


图 1：现场采集终端硬件物理拓扑图

3.2 后台监控平台软件架构

主程序是整个 PLC 控制的核心部分，系统启动后，开始对系统进行初始化操作。进行现场参数采集并处理，实时监控发射机的安全运行状态，并与上位机进行数据交互 [2]。后台监控软件采用分层模块化轻量化架构，整体分为五层功能模块，兼顾运行稳定性与数据传输低时延特性，完全匹配广播电视安全播出管控相关规范。

第一层为数据采集层，持续接收前端网关上传的高频时序参数，自动过滤机房电磁干扰产生的无效杂波数据，保障入库数据真实有效；第二层存储分析层内置设备固定阈值模型与参数波动特征算法，自动完成多时段运行数据比对与异常趋势研判；第三层预警研判层划分三级异常阈值，同步联动电脑弹窗、运维短信、移动端小程序三类告警推送渠道；第四层远程控制层下发功率调节、设备启停、主备发射机倒换指令，并实时校验设备执行反馈状态；第五层可视化展示层集中呈现各台站设备实时状态、参数运行曲线、历史告警记录与月度运维统计报表。五层模块相互独立又数据互通，降低程序耦合度，便于后期根据台站运维需求迭代扩展功能。

4 系统落地台站核心实操应用

4.1 发射机多参数实时在线监测

本文依托搭建的前端采集硬件与边缘网关设备，对台站发射机开展全维度常态化数据采集工作，实现设备关键参数全天候秒级实时监测，完全替代传统人工定时抄表模式。监测范围全面覆盖发射机正向功率、反射功率、驻波比、功放模块温度、设备工作电压电流、激励器锁定状态等核心运行参数，同时同步采集机房温湿度、门禁状态、散热风机工

况等环境安防数据，实现设备与机房环境一体化监测。监控平台可实时刷新设备运行参数曲线，自动分类存储全部时序数据，形成完整的设备运行台账。相较于人工巡检数据间断、记录误差大、隐患无法量化的弊端，本系统可实现运行数据全程可追溯、异常变化可量化、设备状态可分析，从根本上解决传统运维数据滞后、覆盖面不全、精准度不足的问题，为设备状态研判和故障分析提供可靠的数据支撑。

4.2 异常故障自动告警与推送

本次部署的远程监控系统参照广电安全播出标准，设置三级分层告警机制，按照异常严重程度划分为轻微参数波动、一般设备异常、严重播出故障三个等级，实现差异化精准告警。针对设备小幅参数漂移、短时数值波动等轻微异常，系统仅触发后台弹窗提醒，留存异常记录；针对常规参数超标、设备工况异常等一般故障，系统即时推送短信及移动端消息，提醒运维人员关注核查；针对驻波比超限、功率骤降、设备脱网等严重故障，系统立即触发紧急告警，同步自动锁定故障点位、记录故障发生时间与异常参数。整套监测体系无需人工 24 小时盯守机房画面，能够主动捕捉人工巡检难以发现的隐性故障与瞬时异常，彻底改变传统被动抢修的运维模式，为设备故障提前干预、快速处置提供可靠的技术保障。

5 对应台站短板的系统优化措施

5.1 增设多级预警模型预判设备故障

针对传统台站无法提前识别设备隐性故障的运维短板，本次优化结合台站长期积累的发射机运行历史数据，搭建固定阈值结合趋势分析的多级智能预警模型。模型不仅依据广电设备运维标准设定功率、温度、驻波比等核心参数的上下限固定阈值，还能够针对设备长期运行出现的功率缓慢衰减、功放温度持续爬升、驻波比小幅抬升等渐进式故障特征开展动态趋势研判，有效捕捉人工巡检无法识别的隐性老化问题。为验证模型实用性，本次选取台站连续 30 天常态化运行数据开展对照实验，分别统计传统人工巡检模式与多级预警模型的故障识别能力、预判时长及停机次数。实测数据表明，该模型可提前 5 至 30 分钟精准识别设备异常隐患，设备隐性故障识别率提升 92%，彻底改变以往故障突发、被动停机抢修的局面，从技术层面保障广播电视播出的连续性与稳定性，故障预警效果对比如表 1 所示：

表 1：多级预警模型改造前后故障识别效果对比表

运维模式	隐性故障识别率	故障预判时长	突发停机次数
传统人工巡检模式	0%	无提前预判	多发随机停机
多级智能预警模型	92%	5–30min	零突发停机

5.2 搭建专线通道缩短远程调控时延

针对传统公网传输链路不稳定、远程调控响应滞后的行业痛点，本次改造彻底摒弃公网混合传输模式，单独搭建适配广电安全播出标准的专用传输专线。系统在专线链路中配置数据优先级保障、丢包自动重传、指令闭环校验机制，优先传输发射机调控指令与设备核心数据，有效规避公网拥堵、数据乱序、指令丢包等问题。为量化优化效果，本次开展 72 小时不间断连续性测试，持续采集远程参数校准、功率调节、主备机倒换等常用操作的执行时延、丢包率与指令执行成功率，对比改造前后链路运行状态。实测结果显示，广电专线改造完成后，远程控制指令平均响应时延压缩至 1 秒以内，指令丢包率降至零，设备执行状态可实时回传后台，完全解决了传统模式调控延迟、指令失效、状态无法核验的问题，大幅提升突发故障的远程应急处置效率。

5.3 自动化巡检替代线下人工巡查

针对新疆偏远台站人工巡检频次高、运维成本大、巡检误差多的实际问题，本次系统优化构建自动化巡检为主、人工定期复核为辅的轻量化运维新模式。依托监控系统 7×24 小时不间断运行能力，设备参数采集、运行状态筛查、异常数据记录、运维报表生成全部实现自动化完成，全面覆盖人工巡检的全部核查项目，填补夜间、极端天气人工巡检的工作空白。系统可自动留存全时段运行日志与参数曲线，保证运维数据完整可追溯，规避人工漏检、误检、记录失真等问题。经过现场落地应用统计，台站无需高频次上山巡检，月度现场运维频次缩减 80%，极大减少运维人员往返通勤次数，有效降低交通耗材、外勤补助等人力与物力成本 [3]。该模式贴合无人值守台站降本增效的建设初衷，显著提升台站运维工作的标准化与规范化水平。

6 结语

本文结合边疆偏远无人值守广播电视发射台站运行现状，梳理传统人工运维模式存在的各类运行短板，完成适配风沙温差复杂工况的全自动发射机远程监控系统软硬件整体设计，落地设备实时监测、分级故障告警等实操应用，同步配套闭环优化方案解决原有运维缺陷，整套改造方案贴合边疆台站实际运维条件，改造思路完整且落地门槛低，能够切实提升无线发射设备安全播出保障水平，减少一线运维人员外勤工作压力，降低长期运维投入成本，文中形成的系统搭建、现场应用与优化改造整套实践思路，能够为全国同类型偏远无人值守广播发射台站智能化改造提供可直接借鉴的实操经验。

参考文献

[1] 石金山,郑良金,李品耐,等. 中波发射机接入远程监控系统的改造与实现[J].电视技术,2024,48 (8):89-95.

[2] 李光明,杨宏,许园园,等. 一种新型广播发射机的远程监控系统的设计与实现[J].工业仪表与自动化装置,2021, (1):26-30+54.

[3] 李其儒.中波广播发射台自动化监控系统的应用[J].中国高新科技,2023,(12):158-160.