

广播电视台发射台自动化控制系统的设计与优化

张若天

内蒙古自治区广播电视台传输发射中心呼伦贝尔广播发射中心台海拉尔 861 台，内蒙古自治区呼伦贝尔市，021000；

摘要：近年来，中央、省投资建设的多个覆盖工程，发射台设备、设施大幅增加，系统更加复杂，对台站运行维护和设备设施安全提出了更高的要求。然而随着机构改革的不断深入，县级广电、文化、体育和旅游等多领域机构合并，县级广播电视台从业人员尤其是广播电视台工程技术人员流失严重，为了解决这个问题，切实保障各级广播电视台发射台运行监督与管理，省中央广播电视台节目无线覆盖工程规划建设了台站自动化系统。

关键词：广播电视台；无线；自动化控制系统

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.016

为加强对广播电视台无线发射台站的运行管理，在实施中央节目无线数字化覆盖工程建设项目过程中，省规划建设了无线发射台站自动化控制系统。

1 系统设计核心要点

1.1 分层架构设计

采用“集中管理+分散控制”模式，通过 PLC、嵌入式控制器实现设备级控制，结合 B/S 架构的管理平台实现远程操作与数据交互，支持跨网络协同控制。主控层部署冗余服务器集群，确保系统容错能力；设备层采用模块化设计，支持热插拔更换。

1.2 多维度监测模块集成

信号监测系统需覆盖节目信号质量、发射机运行参数（如功率、频率）、天馈系统状态及供配电环境，采用嵌入式传感器实时采集数据，并通过阈值预警与智能分析实现故障预判。

1.3 硬件选型与接口标准化

优先选用工业级 PLC 和数字信号处理器（DSP），通过标准通信协议（如 TCP/IP、Modbus）实现设备互联，减少异构系统兼容性问题。天线交换控制系统需支持多指令并行处理，降低人工操作风险。

1.4 人机交互与流程优化

开发可视化操作界面，集成一键开机、自动巡检、智能调度功能。业务流程设计需匹配部门职能，例如检修任务自动派发、值班日志电子化归档，提升运维效率。

2 广播电视台发射台自动化控制系统设计概述

2.1 系统架构设计

采用分层控制架构，主控层通过 B/S 架构管理平台实现远程监控与数据交互，设备层由 PLC、嵌入式控制

器完成设备级控制，支持模块化部署与热插拔维护。冗余服务器集群与双机热备机制确保系统高可靠性，主备切换时间控制在毫秒级。

2.2 核心功能模块

信号监测与故障预集成多维度监测模块，实时采集发射机功率、频率稳定性、天馈系统状态等参数，结合阈值预警与 AI 算法实现信号异常自动识别与故障定位。智能调度与自动切换。支持信源、发射机、天线的智能切换逻辑，通过 PLC 指令控制天线交换系统，切换误差 ≤ 0.1 秒；异常场景下自动启用备用链路，减少人工干预风险。动环综合监控。整合供配电、温湿度、新风系统等环境数据，动态调节设备能耗，优化节电效率（可达 15%~20%）。

2.3 关键技术特点

硬件标准化：采用工业级 PLC 和数字信号处理器（DSP），通过 Modbus、TCP/IP 协议实现异构设备互联。

流程自动化：开发一键开机、智能巡检功能，电子化派单与值班日志归档提升运维效率。

数据安全保障：数据库异地双活备份与操作日志区块链存证技术，确保数据完整性与可追溯性。

2.4 应用价值

通过自动化控制系统建设，显著降低人工操作失误率，缩短故障响应时间至分钟级；多系统数据融合分析为设备寿命预测、能效优化提供决策支持。

3 广播电视台发射台自动化控制系统设计原则

3.1 稳定性与冗余优先，硬件冗余设计

关键节点（如信号切换模块、主控服务器）采用双机热备机制，主备系统实时同步数据，切换时间控制在

毫秒级，确保故障时业务连续性。模块化热插拔。设备层采用嵌入式模块化硬件设计，支持热插拔维护，避免单点故障导致系统瘫痪。防雷与抗干扰强化。电源、信号线路增加冗余防雷电路，提升系统在恶劣环境下的运行稳定性。

3.2 分层架构与功能解耦，集中管理+分散控制

主控层负责全局调度与数据整合，设备层通过PLC、嵌入式控制器实现本地化控制，降低系统整体风险。信号处理与展示分离。处理层通过嵌入式硬件完成信号采集、解调与监测，展示层提供多画面可视化界面，实现功能解耦与高效协作。

3.3 业务流程匹配与自动化优先，贴合部门职能的流程设计

系统功能需匹配运维部门实际需求，例如自动派发检修任务、电子化值班日志归档，减少人为操作复杂度。全流程自动化控制。覆盖发射机自动开关机、信号源智能切换、故障倒置等场景，通过预设逻辑与AI算法减少人工干预。

3.4 标准化与可扩展性，通信协议与接口统一

采用TCP/IP、Modbus等标准协议实现异构设备互联，降低兼容性维护成本。软硬件可扩展架构。支持分布式部署与积木式扩展，例如新增监测模块或发射机时无需重构核心系统。

3.5 数据安全与实时性保障数据库双活备份

关键数据（如监测记录、操作日志）实施异地双活存储，确保数据零丢失。低延时传输与处理。信号监测数据通过嵌入式硬件实时处理，减少网络传输延迟，提升故障响应速度。

3.6 环境适应性与能效优化，动态能耗管理

根据用电峰谷时段调整非核心设备运行状态，结合发射机功率自适应算法，综合节电率可达15%~20%。健康度评估与预防性维护。基于设备运行时长、故障频次等数据构建寿命预测模型，指导维护计划制定，降低突发停机风险。

4 广播电视发射台自动化控制系统结构与功能

4.1 系统结构

主控层（集中管理）。基于B/S架构的远程监控管理平台，负责全局调度、数据整合与策略下发，支持多终端协同操作。部署冗余服务器集群，通过双机热备机制保障系统高可靠性，主备切换响应时间≤50ms。设备层（分散控制）。采用PLC、嵌入式控制器实现发射机、天馈系统等设备的本地化控制，支持模块化热插拔维护。

硬件接口标准化设计，兼容Modbus、TCP/IP协议，降低异构设备互联复杂度。监测层（数据感知）。集成多类型传感器网络，实时采集发射机功率、频率稳定性、环境温湿度等参数。音视频信号质量检测模块支持ASI码流、模拟信号节点等多维度分析，提升信号传输可靠性。通信层（数据传输）。采用光纤、5G等多链路冗余通信，保障控制指令与监测数据的低延时传输。存储层（数据管理）。分级存储体系包含在线SAN存储与近线备份存储，支持海量音视频素材及设备日志的快速存取。

4.2 核心功能

实时监控与数据采集。嵌入式技术实时采集发射机运行参数（如电压、电流、温度），支持阈值预警与历史数据追溯。安防系统集成门禁、消防监测功能，异常事件触发声光报警并联动应急机制。故障诊断与自动切换。AI算法结合历史数据训练模型，实现信号失真、设备过载等故障的精准定位。主备信号源、发射机、天线的智能切换逻辑，切换误差≤0.1秒，确保播出零中断。能效优化与环境管理。动态调节发射机输出功率与新风系统运行状态，综合节电率可达15%~20%。供配电监测模块实时分析用电负荷，预防电压波动对设备的冲击。远程控制与协同调度。支持移动端远程接收告警信息，一键下发检修任务并生成电子化值班日志。多站点协同控制功能，实现跨区域发射资源的统一调度。数据存储与安全审计。区块链技术保障操作日志的防篡改存证，支持全流程安全审计与责任追溯。数据库异地双活备份机制，确保监测数据零丢失。

4.3 典型应用场景

信号播出保障：主信号异常时，系统自动切换备用信号源并推送告警至运维终端，全程无需人工干预。
天馈系统控制：通过PLC逻辑预设多天线切换时序策略，支持远程手动干预与误差校准。
能效动态管理：基于用电峰谷时段优化非核心设备运行状态，降低整体能耗。通过分层架构与智能化功能设计，系统实现了从设备控制到全局管理的全链路自动化，显著提升安全播出水平与运维效率。

5 广播电视发射台自动化控制系统子系统设计与实现

5.1 信号调度控制子系统

核心功能。采用“N+1”冗余架构，主发射机与备用机通过射频开关实现毫秒级切换，保障播出零中断。支持多信源优先级调度，异常场景下自动启用备用链路（如卫星、光纤），切换误差≤0.1秒。实现技术。基于PLC逻辑控制射频开关矩阵，预设时序策略确保切换逻辑精确匹配播出需求。

5.2 设备监测与故障诊断子系统，核心功能

实时采集发射机功率、频率稳定性、驻波比等参数，阈值超限触发声光报警。AI 算法分析历史故障数据，预测设备寿命并生成预防性维护建议。实现技术。部署嵌入式传感器网络，采用 DSP 芯片实现高频信号参数快速解析。构建故障特征库，结合机器学习模型实现信号失真、过载等异常精准定位。

5.3 动环综合监控子系统，核心功能

整合供配电、温湿度、新风系统数据，动态调节设备能耗（综合节电率 15%~20%）。消防监测模块联动应急机制，异常温升或烟雾浓度超标时自动切断电源。实现技术。部署工业级 PLC 控制器，通过 RS485 总线采集环境传感器数据。开发自适应功率算法，根据负载变化动态调整发射机输出功率。

5.4 智能运维管理子系统，核心功能

电子化值班日志自动生成，支持移动端远程派单与任务进度跟踪。技术资料库与元器件管理系统联动，优化备件库存与维护周期。实现技术。基于 B/S 架构开发运维平台，采用 Struts+Spring+Hibernate 框架实现多终端兼容。区块链技术保障操作日志防篡改，支持全流程安全审计与责任追溯。

5.5 可视化展示子系统，核心功能

多维度呈现台站运行状态（如设备健康度、信号覆盖范围），支持大屏动态展示。告警信息分层分级显示，支持故障点三维定位与历史数据趋势分析。实现技术。采用 WebGL 技术构建三维可视化界面，实时渲染天馈系统拓扑结构。数据库异地双活备份，确保监测数据零丢失与快速调取。

6 广播电视发射台自动化控制系统优化策略

6.1 硬件冗余与模块化升级

“N+1”冗余架构优化。关键设备（如发射机、信号源）采用主备双机热备机制，切换时间控制在毫秒级，通过射频开关矩阵实现零中断播出。模块化集成设计支持多台调频发射机共享机柜，实现统一监测与可视化管理，降低运维复杂度。设备利旧与兼容性提升。结合设备使用年限与安全风险，制定利旧改造与更新采购的长期方案，减少重复投资。硬件接口标准化（如 Modbus、TCP/IP 协议），兼容异构设备互联，降低系统升级成本。

6.2 智能监控与故障诊断优化，全链路信号质量监测

部署嵌入式传感器网络实时采集发射功率、频率稳定性等参数，结合 AI 算法分析信号失真与设备过载风

险。空收信号与信源信号双通道对比监测，支持自动切换备用链路（误差≤0.1 秒）。预测性维护与故障定位。构建故障特征库，通过机器学习模型预测设备寿命，生成预防性维护建议。三维可视化界面分层显示告警信息，结合历史数据趋势分析快速定位故障点。

6.3 能效优化与动态管理，自适应功率调节技术

根据负载变化动态调整发射机输出功率，结合用电峰谷时段优化非核心设备运行状态，综合节电率达 15%~20%。供配电系统实时监测电压波动，通过智能断路器减少电力冲击风险。环境适应性增强。部署防雷电路与电磁屏蔽措施，抑制外部干扰对信号质量的影响。温湿度与新风系统联动控制，实现机房环境动态调节。

6.4 系统集成与架构优化，分层协同控制架构

采用“集中管理+分散控制”模式，主控层负责全局调度，设备层通过嵌入式控制器实现本地化操作，降低单点故障风险。多进程软件设计分离信号处理与展示功能，提升系统运行效率。多系统深度融合。整合节目传输、发射机监测、动环管理子系统，构建统一智慧化平台，支持远程多终端控制。通过私有广域网实现异地数据加密传输与远程应急干预。

6.5 数据安全与远程运维优化，全流程安全审计机制

采用区块链技术存储操作日志，保障数据防篡改与责任追溯。数据库异地双活备份，确保监测数据零丢失。智能化远程运维。移动端支持告警推送、电子工单派发与任务跟踪，实现无人值守机房的自动化管理。技术资料库与备件库存系统联动，优化维护周期与资源调配效率。典型优化场景示例。信号中断应急：监测子系统识别主信号异常→自动切换备用发射机→生成告警并推送至移动端→运维人员远程调取故障日志。能耗闭环管理：动环子系统采集用电数据→AI 算法生成动态功率策略→调度子系统执行功率调节→运维平台记录能效优化结果。

总之，通过多维度优化策略，系统可在保障安全播出的前提下，实现运维效率提升与可持续发展目标。为广播电视无线发射系统运行的监、控、管工作的开展提供强有力的技术支撑，为更好地保障广播电视安全播出打下了坚实的基础。

参考文献

- [1] 王宏宇。计算机自动监控技术在广播电视台高山无线发射台中的应用。2023.
- [2] 安海英。基于地面数字广播电视台自动化监测系统的研究。2022.