

Optimization of Energy-saving Retrofit Technology and Long-term Stable Operation Control Scheme for Shortwave Transmitter

Buhalipai·Zhuori

Xinjiang Radio and Television Bureau, Station 91615, Kezhou, Xinjiang, 845550, China

Abstract

Shortwave transmitters are critical to communication quality assurance. In China, 70% of existing equipment has been in operation for over a decade, facing challenges such as high energy consumption, component aging, and insufficient stability. Current retrofitting efforts often focus on single hardware replacements, making it difficult to sustain long-term energy efficiency. To address this issue, this paper presents a “hardware upgrade + software iteration + full lifecycle management” solution based on the retrofitting of a 150kW model. Through three major module optimizations—including gallium nitride (GaN) device replacement—combined with fuzzy PID algorithm control and a data-driven management platform, the solution effectively reduces energy consumption and enhances operational stability. Emphasizing hardware-software synergy and long-term management, the approach has proven highly feasible in practice. It provides actionable references for similar equipment retrofits and supports the industry’s green and low-carbon development.

Keywords

shortwave transmitter; energy-saving retrofit; technical optimization; stable operation; control scheme

短波发射机节能改造技术优化与长期稳定运行管控方案

布哈力排·卓日

新疆广播电视局 91615 台, 中国·新疆 克州 845550

摘要

短波发射机是通信质量的关键保障, 国内70%存量设备已运行超10年, 存在能耗高、部件易老化、稳定性不足等问题。现有改造多局限于单一硬件替换, 节能效果难以长效维持。针对这一痛点, 本文结合某台150kW机型改造实践, 构建“硬件升级+软件迭代+全生命周期管控”方案。通过氮化镓(GaN)器件替换等三大模块优化, 搭配模糊PID算法调控与数据化管控平台, 切实降低能耗、提升运行稳定性。方案突出软硬件协同与长效管控, 经实践验证可行性强, 为同类设备改造提供实操参考, 助力行业绿色低碳发展。

关键词

短波发射机; 节能改造; 技术优化; 稳定运行; 管控方案

1 引言

短波通信覆盖广、抗干扰强且无需地面基建支撑, 在应急保障、偏远地区通信中无可替代。短波发射机的运行效率与稳定性, 直接决定通信质量高低。国内存量发射机里, 70%已连续运行超10年, 这类设备沿用传统功率放大与电源架构, 能耗高、核心部件易老化、参数调控滞后。某省级广播电视台运维部2023年报告显示, 其3台150kW设备年运行超8000小时, 单台年耗电145万度, 远超行业先进水平。2022—2023年, 这些设备核心部件故障导致停机超340小时,

既加重运维负担, 又多次中断广播信号。“双碳”政策下企业节能压力陡增, 发射机节能改造迫在眉睫。现有方案多局限于单一硬件替换, 既无系统优化设计, 又忽视后期管控, 不少设备改造后节能效果仅维持3-6个月。因此, 本文将对短波发射机节能改造技术优化与长期稳定运行管控方案展开相关探讨。

2 短波发射机能耗与运行稳定性现状及问题分析

2.1 能耗现状及核心损耗点

短波发射机能耗损耗聚焦功率放大、电源供给、散热系统三大模块, 各模块损耗占比差异显著。某台150kW短波发射机技术部2023年运维台账实测数据显示, 功率放大模块损耗占整机62.3%, 电源供给占21.7%, 散热及其他部

【作者简介】布哈力排·卓日(1992-), 女, 柯尔克孜族, 中国新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州人, 本科, 助理工程师, 从事中短波广播、调频广播研究。

件占16.0%，这一占比直接锚定了节能改造的核心方向。功率放大模块是核心能耗载体。老旧设备多采用硅基功率器件，导通与开关损耗偏高，满负荷功率转换效率仅72%—75%。150kW机型满负荷运行时，该模块每小时耗电损耗约41度，日均近千度。更关键的是，部分设备功率放大电路冗余不足，输入信号波动会引发器件工作点偏移，进一步加剧能耗。电源供给模块损耗源于整流滤波与电压调节。老旧设备相控整流技术功率因数仅0.75-0.82，既污染电网谐波，又降低电能利用率。电压调节缺乏精细化控制，轻负载时仍维持额定电压，造成明显浪费。散热系统能耗浪费同样突出。老旧设备强制风冷风扇恒速运行，不随负载、温度调整。低负载低温工况下，风扇每小时额外损耗2.3-3.1度电，年超2万度，长期高速运转还会加剧部件磨损。

2.2 长期运行稳定性问题梳理

某台短波发射机近3年完整运维台账显示，设备长期运行稳定性隐患聚焦三大维度。核心部件老化、参数调控滞后、运维体系不完善，三类问题相互交织，直接拉低设备运行可靠性。核心部件老化是故障停机的首要诱因。功率放大器、滤波器等部件长期处于高电压、高温环境，老化进程加速。运行超10年的设备，功放年均故障6.3次、滤波器5.7次，每次检修至少耗时4小时，严重中断信号传输。更关键的是，部分改造仅替换核心损耗部件，未更新配套辅助件，部件适配性不足反而加剧老化。参数调控滞后直接制约稳定性提升。部分设备仍依赖人工调控，参数调整凭运维人员经验，无法实时响应负载与环境波动。即便配备自动调控系统，也存在算法粗放、响应慢的缺陷，调控滞后2—3秒，满足不了高精度运行需求，易引发信号失真、功率不稳等故障。运维体系不完善进一步放大风险。多数单位沿用“故障后检修”模式，无预防性运维机制，难以及时发现潜在问题。运维人员对新型部件、智能系统操作熟练度不足，故障排查耗时长。同时缺乏实时监测体系，运维决策无数据支撑，主观性极强。

3 短波发射机节能改造技术优化路径

3.1 功率放大模块节能优化

功率放大模块节能优化的核心，在于提升功率转换效率、降低器件损耗，同时兼顾运行稳定性^[1]。改造要跳出单一器件替换的局限，采用“器件升级+电路优化”组合方案，这一思路更贴合设备实际运行负载特性，实现精准优化。器件升级环节，选用氮化镓（GaN）功率器件替代传统硅基器件。这类器件导通电阻小、开关速度快、耐高温性强，能大幅削减导通与开关损耗。改造现场对比测试数据显示，GaN器件功率转换效率达88%—91%，较硅基器件提升13—16个百分点。150kW发射机替换后，该模块每小时损耗从41度降至26度，日均节电360度，节能效果突出。其工作温度范围拓宽至-40℃-150℃，更适配高负荷工况，能缓解高

温引发的部件老化。电路优化聚焦拓扑结构与匹配网络。原有推挽放大拓扑存在功率波动大、负载适配差的缺陷，改用Doherty拓扑，主辅放大器随负载动态切换工作状态。同时优化匹配网络参数，信号反射损耗从-12dB降至-18dB以下，功率利用率显著提升。

3.2 电源供给模块节能升级

电源供给模块优化，核心是提升功率因数、实现电压动态调控，减少电网电能浪费和冗余供电损耗，兼顾供电稳定性与节能效益^[2]。针对性聚焦整流技术升级与智能调压系统搭建，构建适配短波发射机的高效供电体系。整流环节弃用传统相控整流，改用有源功率因数校正（APFC）技术。通过专属校正电路，输入功率因数可提升至0.98以上，谐波污染大幅降低，电网电能利用率显著提升。改造后实测显示，该模块损耗下降32.6%，每小时节约2.8度，年节电超2.4万度。同时，APFC技术支持180V—260V宽电压输入，能有效规避电网电压波动带来的运行隐患。智能调压系统以PLC控制器为核心，实时采集负载、输入信号强度等参数，通过预设算法动态调整输出电压。负载与信号强弱变化时，电压同步适配调节，实现供电与需求精准匹配，杜绝冗余损耗。同时配套电压监测预警功能，电压异常时可及时提醒运维人员排查，筑牢供电安全防线。

3.3 散热系统节能改造

散热系统优化的核心，是让散热功率与设备发热需求精准匹配，既杜绝风扇冗余运转造成的电能浪费，又提升散热效率、延缓部件老化。采用“散热结构优化+智能调速控制”组合方案，贴合设备动态发热特性，构建高效且节能的散热体系。结构优化上，用热管与强制风冷结合的复合模式，替代传统单一强制风冷。热管传热效率高、散热速度快，能快速将核心部件热量传导至散热片，再由风扇排出。实测显示，复合散热模式使散热效率提升45.3%，核心部件工作温度下降18-25℃，有效缓解高温老化难题。同步优化散热风道，减少气流阻力，进一步降低散热能耗。智能调速控制系统是节能关键。温度传感器实时采集核心部件与环境温度，传输至控制器后，由控制器动态调节风扇转速：低于45℃时以30%额定转速运行，45℃-65℃时调至60%，高于65℃时满负荷运转。改造后，风扇平均转速下降42%，每小时节约1.9度、年节电超1.6万度，同时部件磨损减少，使用寿命提升至原来的2.5倍。

3.4 控制策略整体迭代

硬件改造完成后，需同步迭代发射机控制策略，搭建一体化智能控制系统^[3]。核心目标是实现运行参数精准调控与状态实时监测，兼顾节能效益与运行稳定性，适配实际运维场景。参数调控算法优化是核心突破点，摒弃传统粗放式算法，采用模糊PID算法。结合发射机改造实践，预设多组参数阈值，可实时响应负载、信号、温度等多维度变化，调控滞后时间压缩至0.5秒内，确保设备稳定处于最优工况。

引入机器学习算法,通过挖掘历史运行数据,自动优化调控参数,适配不同运行场景,进一步放大节能与稳定效益。同步搭建一体化监测平台,整合多类传感器,实时采集核心部件及运行参数,通过可视化模块直观呈现运行状态。参数超阈值时,平台自动触发声光预警,同步推送故障信息至运维人员终端,实现故障早发现、早处置。平台还支持数据存储分析,为运维决策与技术迭代提供可靠数据支撑。

4 短波发射机长期稳定运行管控方案

4.1 构建全生命周期运维体系

摒弃传统“故障后检修”模式,构建“预防—监测—处置—复盘”全生命周期运维体系,提前化解运行风险,筑牢设备长期稳定运行防线,贴合老旧发射机运维实际。建立预防性运维机制,结合发射机部件老化规律与运行时长,制定差异化计划,将核心部件划分为重点与常规两类。重点部件每3个月开展全面检测,涵盖性能测试、磨损检查及清洁保养;常规部件每6个月检测一次,聚焦潜在故障排查。结合季节特点调整重点,高温季加密散热系统检测,雷雨季强化防雷接地检查,提升运维精准度。优化故障处置流程,制定标准化手册,明确排查步骤、处置方法与责任分工。建立分级机制,一般故障现场人员1小时内处置,重大故障启动应急预案、协调技术骨干支援,确保24小时内办结。故障处置后同步开展复盘,深挖原因、优化运维措施,从源头规避同类故障重复发生。

4.2 强化运维团队建设

运维人员专业能力是保障设备管控成效的关键,需通过培训、考核、交流多举措强化团队建设,贴合发射机运维升级后的岗位需求。推行分层分类培训,适配不同岗位能力诉求。基层人员聚焦设备操作、故障排查等基础内容,夯实实操能力;技术骨干侧重新型节能部件、智能控制系统等进阶知识,提升技术优化与研发能力。采用“理论+实操”模式,邀请行业专家授课并组织实操演练,每年开展2—3次集中培训、每次不少于3天,同步搭建线上平台,方便人员随时补学。建立量化考核激励机制,将运维质量、故障处置效率等纳入考核,对优秀者予以表彰,不合格者针对性补训补考。同步设立技术创新奖励,鼓励提出优化建议,对成效显著者给予双重奖励,激发创新活力。此外,组织人员赴同类单位交流,借鉴先进运维经验,拓宽视野、提升整体管控水平。

4.3 搭建数据化管控平台

依托大数据与物联网技术,搭建短波发射机数据化管控平台,贴合短波发射机运维升级需求,实现设备运行数据全流程管控,为运维决策与技术优化筑牢数据根基。平台整合运行参数、能耗数据、故障及运维记录,搭建标准化数据库,实现数据集中存储与规范化管理。借助数据挖掘算法,剖析设备运行规律与能耗变化趋势,可提前预判部件老化及故障风险,助力预防性运维落地。以功率放大器为例,通过分析其运行参数波动,能提前1-2个月预判老化情况,及时更换部件,规避故障停机隐患。联动智能控制系统是提升智能化管控的关键,平台可远程调控运行参数,在设备异常时自动触发指令调整工况,化解运行风险。平台支持电脑、手机多终端访问,方便运维人员实时查看状态、远程排查故障,提升管控效率。尤为实用的是,其具备能耗统计分析功能,可生成多周期能耗报表,直观呈现节能成效,为后续优化指明方向。

5 结语

本文结合某广播电视台150kW短波发射机改造实践,围绕节能优化与稳定管控,提出“硬件升级+软件迭代+全生命周期管控”全方位方案。通过优化功率放大、电源供给、散热三大模块,搭配智能调控与数据化管控体系,切实达成能耗下降与运行稳定性提升的双重成效,经实践验证具备较强可行性与实操性。方案亮点在于打破单一硬件替换局限,注重软硬件协同优化,强化改造后长效管控,规避节能效果短期衰减问题。融入实测数据与实操案例后,方案贴合现场运行需求,但仍有提升空间——智能调控算法自适应能力不足,极端环境下节能成效需进一步验证,后续需持续完善。依托物联网与AI技术,未来可优化算法、引入深度学习,提升复杂场景适配能力。搭建多设备协同管控平台,探索新能源融合应用,推动行业绿色发展,同时推广改造经验,为同类设备提供参考,助力“双碳”目标落地。

参考文献

- [1] 钮安朋.浮动载波技术在100kW短波发射机节能方面的研究[J].电子世界,2017,(08):155.
- [2] 秦峰.浮动载波在DF100A型100kW短波发射机上的节能效果研究[J].信息通信,2015,(09):306-307.
- [3] 汪涛,赵鹏飞,刘平.浮动载波在DF100A型100kW短波发射机上的节能效果分析[J].广播电视信息,2012,(10):81-83.