 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11523

Analysis of Fault Characteristics in Medium and Short-Wave Transmitters and Exploration of Advanced Maintenance Technologies

Gulikezi· Tuoheti

Xinjiang Uygur Autonomous Region Radio and Television Bureau, Station 91616, Kashgar, Xinjiang, 844500, China

Abstract

This paper investigates the operational failure characteristics of medium and shortwave transmitters and advanced maintenance techniques. By analyzing operational logs and maintenance records from a specific medium and shortwave transmission station, it identifies typical anomalies in power amplification, modulation, power supply, cooling systems, and RF output networks, and proposes a maintenance workflow based on state data acquisition, feature recognition, trend analysis, and modular troubleshooting. Results demonstrate that the failure recurrence rate decreased from 15% to 5%, average maintenance time was reduced from 4 hours to 1.5 hours, and continuous operation duration increased from 72 hours to 168 hours, indicating that this approach significantly enhances transmitter reliability and maintenance efficiency.

Keywords

medium and shortwave transmitter; fault characteristics; precision maintenance; modular diagnosis; operational reliability

中短波发射机故障特征分析与精细化维修技术探究

古丽柯孜·托合提

新疆维吾尔自治区广播电视局 91616 台，中国·新疆 喀什 844500

摘　要

本文围绕中短波发射机运行故障特征与精细化维修技术展开研究，结合某中短波发射台值机日志和检修记录，分析功率放大、调制、电源、冷却及射频输出网络的典型异常表现，提出基于状态数据采集、特征识别、趋势研判和模块化处置的维修流程。应用结果表明，故障复发率由15%降至5%，平均维修时间由4 h缩短至1.5 h，连续运行时长由72 h提升至168 h，说明该技术可有效提升发射机运行可靠性与维修效率。

关键词

中短波发射机；故障特征；精细化维修；模块化诊断；运行可靠性

1 引言

中短波发射机是广播传输系统中的关键设备，其运行状态直接关系到节目覆盖质量和播出安全。发射机长期处于高电压、大电流、连续热负荷和复杂射频环境中，功率放大模块、电源系统、调制链路及天馈匹配网络容易出现渐进性劣化。一旦故障识别不及时，可能引发输出功率下降、调制度异常、驻波比升高或保护动作频繁等问题，影响播出连续性 [1]。传统维修方式较多依赖值机经验和整机排查，容易造成故障边界不清、停机时间延长及备件消耗增加。随着监测装置和后台数据采集系统不断完善，利用运行参数开展故障特征识别已具备现实基础。基于此，本文结合发射台实际运行记录，对中短波发射机常见故障表现、数据采集方法、诊断流程和模块化维修策略进行分析，旨在为发射台提升维修精度、压缩停机窗口和保障安全播出提供参考。

【作者简介】古丽柯孜·托合提（1992–），女，维吾尔族，中国新疆喀什人，本科，助理工程师，从事中短波发射机故障研究。

2 中短波发射机故障特征分析

2.1 常见故障类型及特征

中短波发射机由功率放大模块、调制系统、电源系统、射频输出网络以及冷却控制单元共同维持连续播出状态。结合某中短波发射台 2023 年值机日志以及检修记录来看，功率放大模块故障多表现为输出功率缓慢下滑、末级管温升异常以及驻波比升高，影响范围通常集中在单频点播出链路。调制系统异常会把音频电平波动、包络畸变以及邻频杂散增大表现出来，持续时间相对较短，却容易引起监听质量下降。电源系统波动则具有突发性特性，母线电压跌落、整流纹波增大以及保护动作频繁是主要识别依据 [2]。表 1 把不同故障的发生频次、持续时间以及影响范围进行归集，可为后续故障特征识别提供基础参照。

表 1 某发射台常见故障类型及特征统计

故障部位	典型故障类型	年发生次数	平均持续时间	主要特征表现	影响范围
功率放大模块	输出功率下降	18 次	2.6 h	载波功率下降 8% 至 15%，末级电流偏低	单台发射机单频点
功率放大模块	驻波比升高	11 次	1.4 h	反射功率升高，保护阈值接近动作值	射频输出链路
调制系统	音频信号失真	9 次	1.1 h	调制度波动超过 6%，监听音质发闷	播出音频质量
电源系统	直流母线波动	7 次	0.8 h	母线电压瞬时跌落，整流纹波增大	整机稳定运行
冷却控制单元	风机转速异常	6 次	3.2 h	机柜温度上升，温控报警频繁	功放散热环境
射频输出网络	匹配状态偏移	5 次	2.1 h	天调参数漂移，输出效率降低	天馈系统匹配状态

2.2 故障特征识别与数据采集方法

中短波发射机故障特征识别需把运行状态量、射频指标以及环境参数纳入同一监测链路。鉴于功率放大模块热负荷较高，可在末级管散热器、合成器输出端以及电源整流柜设置温度传感点，把温升速率当作绝缘老化以及散热衰减的早期判据。风机轴承以及高压变压器适宜布设振动监测装置，振动有效值以及频谱峰值可反映机械松动、轴承磨损等隐性异常。射频侧则依靠载波功率、反射功率、调制度、音频电平以及邻频杂散进行信号分析，重点观察幅度漂移、包络畸变以及频谱旁瓣变化。

3 中短波发射机精细化维修技术

3.1 基于故障特征的精细化诊断技术

某中短波发射台日常值机数据呈现出故障征兆分散、状态量变化不同步以及报警信息滞后的运行特性，诊断模型需把载波功率、反射功率、母线电压、调制度、机柜温度以及风机振动等参数纳入同一判别链路。鉴于功率放大模块、电源系统以及射频输出网络之间存在耦合关系，诊断过程可把历史故障记录当作特征样本库来使用，并且依据故障部位建立特征标签，使实时采集数据能够同既有样本进行相似度比对。特征匹配侧重识别同一时段内多参数的组合状态，趋势分析则关注温升速率、驻波比爬升幅度以及母线电压波动持续时间等渐变信息，由此把瞬时扰动同部件劣化区分开来。

3.2 模块化维修策略制定与实施

模块化维修策略需要把中短波发射机划分为功率放大模块、调制单元、电源组件、射频输出网络以及冷却控制部件等可独立处置对象，并且把故障特征同备件更换、参数校准以及链路复测工作建立对应关系。鉴于某中短波发射台承担连续播出任务，维修方案不宜停留在整机排查层面，而应围绕故障影响边界开展模块隔离。载波功率缓慢下降时，可把末级功放板、合成器支路以及驱动级偏置电路当作重点对象来处理，维修人员需在停机窗口内完成模块拆卸、端口标识、静态参数检测以及替换件导通核验。若故障表现为驻波比升高，则维修重心需转向天调网络接点、同轴馈线接头以及匹配电容状态，借助网络分析仪开展阻抗曲线复核，并对偏移参数进行重新整定。

结合 2023 年盐城中短波发射台一次功率下降检修过程来看，值机人员依据末级电流偏低以及散热器温升不均的记录，把故障范围收敛至 3 号功率合成支路。检修班组在断开高压电源并完成放电确认后，对功率模块进行拆卸，随后检测场效应管栅极偏置、电源端纹波以及输出端耦合电容状态，发现模块内部焊点热疲劳迹象较为明显。维修处置没有开展整机大范围拆解，而是选用同型号备件进行替换，并对驱动电平、静态电流、载波输出以及反射功率进行分级调试。该类流程把拆卸、检测、更换以及调试压缩在同一维修闭环内，能够减少盲目排查造成的停播风险，同时把可修复部件送入离线检修环节，降低备件消耗以及现场维护成本。

3.3 维修过程质量控制要点

维修过程质量控制应嵌入故障定位、器件替换、工艺处置以及复机确认的全过程，不能仅把故障消除当作维修终点。鉴于中短波发射机长期处于高电压、大电流以及连续热负荷环境，元器件选型需围绕耐压等级、功率裕量、温度系数以及射频损耗开展核验，功放管、耦合电容、整流模块以及射频连接件应同原机技术手册参数保持一致，并且把批次追溯记录纳入维修档案。焊接工艺控制侧重焊点润湿状态、引脚热应力以及接地回流路径，某中短波发射台在功率模块返修中通常把目视检查、万用表通断核验以及绝缘电阻检测组合使用，避免虚焊、残余焊剂以及铜箔翘起继续诱发间歇性故障。性能测试环节需覆盖静态参数以及动态播出参数，维修人员应在低功率激励状态下完成偏置电流、母线纹波以及驱动电平校准，再逐级提高载波输出，观察反射功率、调制度、机柜温升以及风机振动变化。针对关键模块更换后的质量确认，可运用值机人员和检修人员双重检测机制，把现场读数同后台采集曲线进行交叉比对。维修质量评估标准宜包括参数回归范围、连续运行稳定性、报警复现情况以及检修记录完整性，其中载波功率、驻波比、调制度以及温升速率应作为核心判据，从而把维修处置从经验判断转向可复核的过程控制 [3]。

4 精细化维修技术应用效果评估

4.1 维修效果量化评估指标体系

围绕中短波发射机精细化维修效果开展评价时，指标体系需把故障处置后的可靠性、维修组织效率以及播出运行稳定性纳入同一评价框架。故障复发率可作为衡量维修闭环有效性的核心指标，重点反映同一模块在完成更换、校准以及复机确认后是否仍存在重复异常。维修时间则用于表征现场处置效率，统计口径宜从故障确认时刻延伸至设备恢复额

定播出状态时刻，能够把备件准备、模块拆装、参数调试以及复测确认所消耗的时间统一纳入评估范围。设备运行稳定性应结合连续无报警运行时长、载波功率波动幅度、驻波比偏移程度以及机柜温升速率进行综合判断，其中连续无报警运行时长更适宜反映维修后的短周期稳定状态，载波功率以及驻波比变化则能呈现射频链路恢复质量。

$$R_f=\frac{N_r}{N_t}\times 100\%$$

其中，R_f 表示故障复发率，N_r 表示统计周期内同一故障部位或同类故障再次发生的次数，N_t 表示统计周期内完成闭环处置的总维修次数。

鉴于某中短波发射台连续播出任务对停机窗口较为敏感，评价指标还需保留可追溯的数据来源。故障复发率可依靠值机日志以及检修记录进行交叉核验，维修时间由监控系统时间戳以及工单记录共同确认，运行稳定性则依托后台采集曲线来开展连续观察。为避免单项指标掩盖维修质量差异，评估时可把故障复发率当作可靠性约束，把平均维修时间当作效率约束，把额定功率保持率、调制度偏差以及温升速率当作性能恢复约束。上述指标之间并非简单并列关系，而是共同指向维修处置是否真正完成从故障消除到状态回归的转变，为后续案例对比以及技术推广价值判断提供量化依据。

4.2 某案例维修效果对比分析

结合某中短波发射台 2023 年功率放大模块以及射频输出网络检修记录，可把精细化维修技术应用前后的运行状态进行对照分析。应用前，故障定位主要依赖值机人员经验判断，模块隔离边界不够清晰，功放支路、电源母线以及天馈匹配网络之间的耦合异常容易被合并处置，导致同类故障在短周期内重复出现。应用后，检修流程把特征识别、趋势曲线复核以及模块化更换当作连续环节来使用，维修对象由整机排查转向故障部位收敛，处置节奏明显趋于稳定。由表 2 可见，故障复发率由 15% 降至 5%，平均维修时间由 4 h 缩短至 1.5 h，设备连续运行时长由 72 h 延长至 168 h，说明精细化维修在降低重复故障、压缩停机窗口以及改善播出稳定性方面具有较为直接的支撑作用。

表 2 某发射台精细化维修技术应用前后效果对比表

评价指标	应用前数据	应用后数据	变化幅度	指标含义
故障复发率	15%	5%	降低 10 个百分点	反映同类故障闭环处置后的重复发生情况
平均维修时间	4 h	1.5 h	缩短 2.5 h	反映故障确认至额定播出恢复的现场处置效率
设备连续运行时长	72 h	168 h	延长 96 h	反映维修后无报警稳定运行能力
载波功率保持率	91%	98%	提高 7 个百分点	反映射频输出链路恢复质量
驻波比平均值	1.42	1.18	降低 0.24	反映天馈匹配状态改善程度
温升速率	3.6 ℃ /h	1.4 ℃ /h	降低 2.2 ℃ /h	反映功放散热以及热负荷控制状态

4.3 技术应用推广价值

精细化维修技术的推广价值，主要体现在把中短波发射机维护工作由故障后处置逐步转向状态证据驱动的预防性处置。对于承担连续播出任务的发射台而言，功率放大模块、电源系统以及天馈匹配网络的异常往往具有渐进积累特性，运用特征识别、趋势研判以及模块化维修流程后，值机人员能够把隐性劣化从常规波动中分离出来，维修对象也更容易收敛到具体功能单元。由此可减少整机拆检频次，降低备件无效更换以及停机等待造成的运维成本，同时提高发射机在额定功率状态下的运行可靠性 [4]。

从同类中短波发射台的运行条件来看，该技术具备较强的推广可行性。多数发射台已经配置功率、电压、驻波比、温度以及报警开关量采集装置，具备开展数据归集以及特征建库的基础条件。推广过程中需把设备型号、播出频段、天馈结构以及本台值机制度当作适配依据来使用，不能简单移植单一发射台的阈值参数。人员培训也需同步推进，重点覆盖数据判读、模块隔离、高压安全处置以及复机质量确认等环节，使技术流程能够嵌入日常值机、检修工单以及备件管理体系之中。

5 结语

中短波发射机精细化维修的核心在于以状态数据为依据，将故障识别、模块隔离、参数校准和复机确认纳入统一闭环。通过对功率、反射功率、母线电压、调制度、温升及振动等参数进行综合研判，可提高故障定位的准确性，减少经验化排查带来的不确定性。模块化维修策略能够缩小处置范围，使备件更换、离线检修和现场复测更具针对性。后续应用中，应持续完善故障样本库和维修档案，结合不同设备型号及天馈条件优化阈值设置，并加强人员在数据判读、高压安全和质量确认方面的培训，从而进一步提升发射台运维管理水平。

参考文献

[1] 刘洪彬.中波广播发射机故障处理分析[J].西部广播电视,2023,44(01):234-237.

[2] 次旺卓玛.短波广播发射机的故障诊断与维护检测分析[J].电视技术,2024,48(12):125-127.

[3] 马洋.中波广播发射机故障维修处理方法研究[J].电声技术,2023,47(06):121-124.

[4] 陈春杰.中波广播发射机故障分析及维护措施[J].电视技术,2023,47(12):129-131.