

Common Faults and Rapid Repair Techniques of the RF Module in the DAM10kW Medium-Wave Transmitter

Sukhbaatar

Xinjiang Uygur Autonomous Region Radio and Television Bureau, Station 762 (7602), Bole, Xinjiang, 833400, China

Abstract

The DAM 10kW medium-wave transmitter is a key device for broadcasting signal transmission. The radio frequency (RF) module is the core component responsible for signal amplification, power combination, and stable output. The operational status of the module directly determines the overall performance of the transmitter and the quality of signal transmission. The RF module is subjected to long-term high power, heavy load, and continuous operation, making its internal circuits and components susceptible to various factors such as ambient temperature, power fluctuations, and electromagnetic interference, which can lead to sudden or gradual faults. The existing maintenance models have obvious shortcomings, including delayed fault localization, cumbersome repair processes, and disorganized spare parts management, which can easily result in excessive transmitter downtime and affect the safe and stable broadcast of signals. Based on the hardware structure and working mechanism of the RF module, this study analyzes the generation mechanisms and external manifestations of various typical faults, establishes a targeted rapid localization and standardized repair system, optimizes maintenance processes and technical specifications, and strengthens full lifecycle operation and maintenance management of the module. This can effectively shorten fault handling time, improve the operational stability of the module, provide technical support for the normalized and efficient operation of medium-wave transmitters, and address the practical shortcomings of traditional maintenance models.

Keywords

DAM 10kW medium-wave transmitter; radio frequency module; fault mechanism; rapid repair; operation and maintenance management

DAM10kW 中波发射机射频模块常见故障及快速修复技术

苏克巴特

新疆维吾尔自治区广播电视局七六二（七六0二）台，中国·新疆 博乐 833400

摘 要

DAM10kW中波发射机是广播信号传输的关键设备，射频模块是信号放大、功率合成和稳定输出的核心部件，模块运行状态直接决定发射机整体工作效能和信号传输质量，射频模块长期处于高功率、高负荷、连续运行的工作状态，内部电路和元器件容易受到环境温度、供电波动、电磁干扰等众多因素的影响，从而引发各种突发性或者渐进性的故障，现有的检修模式存在着故障定位滞后、修复流程烦琐、备件管理无序等明显的不足，很容易造成发射机停机时间过长，影响广播信号的安全稳定播出，基于射频模块的硬件结构和工作机理，分析各种典型故障的产生机理和外在表现，建立针对性的快速定位和标准化修复体系，优化检修流程和工艺规范，加强模块全生命周期运维管控，可以有效缩短故障处置时间，提高模块运行稳定性，为中波发射机常态化高效运行提供技术支撑，弥补传统检修模式的实操短板。

关键词

DAM10kW中波发射机；射频模块；故障机理；快速修复；运维管控

1 引言

中波发射机是广播传输网络中的核心硬件载体，DAM10kW 机型由于调制精度高、运行效率高、信号失真度低等特点，在国内广播台站得到大规模应用，射频模块是整机功率输出和信号处理的核心单元，集成大功率放大器件、合成网络、驱动电路和散热组件于一体，长期承受高频电磁

辐射和大功率能耗冲击，故障发生率远高于设备其他单元，传统的检修工作大多依靠技术人员的经验判断，缺少系统化的故障研判逻辑和标准化的修复流程，面对突发性故障时容易出现定位不准、处置无序、修复不彻底等问题，进而造成二次故障或者延长停机时间，广播信号传输对设备连续性有着严格的限制，射频模块的故障快速处置能力直接影响到安全播出底线，现有的技术文献大多只关注单一故障的处置方法，缺少对模块整体结构、故障谱系、标准化修复工艺的梳理，因此，深入剖析射频模块内部结构和工作原理，找出各种常见故障的产生原因和表现特征，建立一套流程规范、操

【作者简介】苏克巴特（1978-），蒙古族，中国新疆博乐人，本科，工程师，从事广播台站中波类研究。

作性强、高效精准的快速修复技术体系,对提高 DAM10kW 发射机运维水平、保证广播信号稳定传输具有重要的技术价值。

2 射频模块的结构原理

2.1 射频放大单元的电路构成

射频放大单元是射频模块的核心功能载体,以大功率场效应管为核心放大器件,搭配偏置电路、阻抗匹配网络、滤波器件和耦合元件组成完整的放大链路,场效应管承担射频信号的线性放大任务,偏置电路给器件提供稳定的静态工作点,防止信号放大过程中出现截止失真和饱和失真,阻抗匹配网络负责实现器件输出端和后续合成网络的阻抗匹配,减少信号反射损耗,滤波电路滤除放大过程中产生的杂散谐波和电磁干扰,保证输出信号的纯净度,整个放大单元采用模块化集成设计,各个子电路通过印制电路板紧密相连,形成高集成度、高功率密度的硬件结构,运行时需要承受大电流、高电压、高频电磁交变的作用,对器件稳定性以及电路工艺有很高的要求,任何一个子电路或者元器件的性能下降,都会直接导致放大单元工作异常,进而造成整个射频模块失效^[1]。

2.2 功率合成与分配网络设计

功率合成与分配网络是射频模块实现功率汇聚、信号分流的关键结构,采用多级合成拓扑设计,将多路放大单元输出的射频信号进行同相叠加,得到额定功率的稳定输出,同时完成驱动信号的均匀分配,保证各路放大单元工作负荷均衡,网络核心依靠高频合成变压器和微带线路来构建,磁芯材质和绕组工艺直接影响到合成效率和信号传输稳定性,分配网络要保证各路输出信号的幅度和相位一致,防止信号失衡造成局部功率过载,合成网络要承受叠加后的大功率信号冲击,具备良好的散热性能和绝缘性能,反之,网络内部阻抗失衡、磁芯性能劣化、线路接触不良等问题,会直接造成功率合成损耗超标、输出功率不稳、局部过热等连锁故障,成为射频模块故障高发的核心部位。

2.3 射频驱动与控制信号流程

射频驱动和控制信号流程贯穿射频模块的全部工作环节,驱动信号给前置放大单元提供基准激励信号,控制信号负责模块工作状态的实时调控和保护联动,驱动信号经过前置驱动电路放大整形后,均匀输送到各个功率放大单元,控制信号依靠采样回路实时采集输出功率、工作温度、运行电流等核心参数,与预设阈值进行比较,一旦参数超出正常范围,就立即触发保护动作,切断大功率供电回路,防止故障范围扩大,信号传输链路依靠精密控制线路和接口组件来实现,链路中信号衰减、相位偏移、接口接触不良等问题,会直接导致驱动能力不足、控制失灵,进而诱发放大单元工作异常或者保护误动作,驱动和控制信号的稳定性,是射频模块持续可靠运行的前提,也是故障排查中容易被忽略的隐性环节。

3 常见故障类型及成因

3.1 功率场效应管击穿失效

功率场效应管是射频放大单元的核心器件,长期处于高功率、大电流的工作状态,击穿失效是最常见的故障类型,多由多种不利因素叠加造成,供电回路瞬时浪涌电压会直接超过器件耐压阈值,造成栅源极或者漏源极击穿,散热不良造成器件结温持续超标,会引发芯片热疲劳和性能不可逆劣化,最终造成热击穿,阻抗匹配失衡导致的信号全反射,会使器件输出端承受超大的反向功率,从而造成击穿损坏,电磁干扰引起的栅极电压异常波动、静电积累没有及时释放、器件自身老化性能衰减,都会使器件耐压和耐流能力逐渐下降,最终导致突发性击穿,故障发生后模块输出功率急剧下降,甚至完全无功率输出,伴随局部过热和异味,是射频模块中危害性极强、处置时效性要求极高的故障类型^[2]。

3.2 射频驱动信号异常缺失

射频驱动信号异常缺失多表现为模块无输出、输出功率偏低或者信号失真,其根本原因在于驱动信号链路出现传输阻滞、幅值衰减或者相位偏移,前置驱动电路元器件性能下降,会使得驱动信号放大能力不足,无法给功率放大单元提供足够的激励,控制回路采样异常或者保护误动作,会主动切断驱动信号传输,造成信号缺失,接口插件长期使用出现氧化松动、线路虚焊断线,会造成驱动信号传输中断,外部电磁辐射对驱动线路产生干扰,会使信号波形畸变、幅值不稳,此类故障没有明显的硬件损毁表征,常规目视排查很难快速定位,容易被误判为功率器件故障,从而延误检修时机,驱动信号的隐性异常还会逐渐损坏后端功率放大器件,引起二次故障,扩大故障影响范围。

3.3 合成变压器磁芯损坏

合成变压器磁芯损坏具有渐进性和突发性并存的特点,磁芯是功率合成网络的主要部件,长期处于高频交变磁场和热量冲击之下,磁芯材质会慢慢出现老化、磁导率下降,合成效率降低、发热加剧,环境温度超标、散热不良导致的磁芯局部过热,会造成磁芯碎裂、烧结,绕组线圈与磁芯接触不良、绝缘层破损,会引发局部短路,进一步加剧磁芯损坏速度,磁芯损坏后,功率合成损耗大幅上升,模块输出功率显著下降,变压器壳体温度异常升高,严重时会出现绕组烧蚀、线路熔断,此类故障多伴随局部过热和轻微异响,如果不及处理,会逐渐蔓延到整个合成网络,甚至烧毁周边放大电路,修复难度和成本随之大幅上升^[3]。

3.4 散热系统失效引发过热

散热系统是射频模块正常工作的基础,失效后会导致模块全面过热,进而引起各种连锁故障,散热风道堵塞、散热风扇停转、散热硅脂干涸老化,会使大功率器件和合成网络产生的热量不能及时散发,局部温度持续升高,温度监控器件失灵、过热保护回路失效,会使模块在超温状态下持续工作,加剧元器件热疲劳,散热结构与模块主体接触不良,

会形成热阻过大的隔热层,热量不能有效传导到散热组件,过热状态下,功率器件性能快速劣化、磁芯参数偏移、电路绝缘层老化加速,短时间内就会导致器件击穿、线路短路等严重故障,此类故障初期表现不明显,容易被运维人员忽略,一旦发展到严重阶段,就会造成模块整体损毁。

4 快速修复技术方法

4.1 故障模块在线快速定位

在设备自带监测参数和专项检测工具联动的基础上,实现故障模块在线快速定位,无需将整个设备拆解。先通过设备主控制面板读取射频模块运行参数,确定输出功率、工作电流、温度等异常指标,初步确定故障范围,用专用射频检测仪逐级检测信号幅值和波形,比对正常运行工况下信号特征,区分功率放大、合成网络、驱动链路的故障归属,用红外测温仪扫描模块表面温度分布,定位局部过热的准确部位,对应功率器件击穿、磁芯损坏、散热失效等典型故障的温度特征,再缩小故障点范围,接口插拔测试、线路通断检测排查驱动信号传输链路的隐性故障,整个定位流程按照由整机到模块、由模块到单元、由单元到元器件的递进逻辑,摒弃盲目拆解和经验判断,大幅缩短了定位时间,为后续快速修复争取了时间^[4]。

4.2 场效应管批量替换工艺

场效应管批量替换要遵循标准化工艺规范,杜绝随意更换引起的二次故障,先切断模块供电回路,释放内部静电积累,拆除故障模块外壳,精准摘除击穿失效的场效应管,清理焊接点位残留焊锡,保证焊接面平整无杂质,选用同型号、同参数的合格器件,严格按照防静电操作规范进行焊接,控制焊接温度与时长,避免高温损伤器件与周边电路,批量替换时保证所有器件型号一致、性能匹配,焊接完成后逐一检查焊接质量,杜绝虚焊、假焊、短路问题,安装完成后涂抹全新散热硅脂,保证器件与散热结构紧密贴合,替换后不直接整机通电,先进行低压通电测试,检测器件静态工作点和偏置电压,确认参数正常后再逐步加载功率,完成性能校验,保证替换后的放大单元稳定运行,避免因工艺不规范导致再次损坏。

4.3 信号链路逐级检测流程

信号链路逐级检测针对驱动信号异常缺失类故障,构建从驱动输入端到功率输出端的全链路检测体系,从驱动信号输入接口开始,用信号检测仪逐段检测信号幅值、波形、相位,记录每一级电路的信号传输状态,比对正常传输参数,定位信号衰减、中断、畸变的准确位置,接口插件清洁除锈、紧固,排除接触不良问题,驱动电路元器件性能参数检测、更换劣化元器件、修复虚焊断线线路,完成单段链路修复后,立即检测信号传输状态,确认正常后进入下一级检测,直至

全链路信号传输恢复正常,检测过程中做好电磁屏蔽,避免外部干扰影响检测结果,修复完成后进行长时间空载测试,验证信号传输稳定性,保证驱动和控制信号完全满足模块运行要求^[5]。

4.4 模块备件标准化管理

模块备件标准化管理是快速修复的基础保障,创建分类清楚、存储规范、校验及时的备件管控体系,对功率场效应管、合成变压器、驱动电路组件等核心备件,按型号、规格分类存放,配备专用防静电、恒温、防潮存储设备,防止备件因存储环境不好造成性能下降,建立备件出入库和定期校验制度,对库存备件定期开展性能检测,剔除性能变坏、不符合使用标准的备件,保证库存备件随时可用,根据模块故障高发规律,合理安排核心备件库存数量,防止备件短缺影响修复,编制备件适配手册和快速更换指引,明确各类备件更换工艺、检测标准和注意事项,统一运维人员操作规范,减少人为操作失误,以标准化管理为基础,实现故障模块损坏部件的及时更换,大幅缩短修复准备时间。

5 结语

DAM10kW中波发射机射频模块故障高发且诱因复杂,快速修复技术的核心就是精准把握模块结构原理和故障机理,摒弃传统的经验式检修的盲目性,构建系统化、标准化、高效化的故障处置体系,功率场效应管击穿、驱动信号异常、合成变压器磁芯损坏、散热系统失效是四类主要故障,它们的诱发原因都与长期高负荷工况、环境因素、运维管控不到位有关,根据上述故障特征,搭建起在线快速定位、标准化器件替换、全链路逐级检测、备件规范化管控的一体化快速修复技术路径,可以有效地提高故障处理效率,缩短发射机停机时间,降低二次故障发生率,射频模块的稳定运行既需要事后快速修复,也需要事前运维管控的优化,加强日常巡检和预防性维护,从根源上降低故障发生的概率,根据上述技术路径的落地实施,可以全面提高DAM10kW中波发射机射频模块运维水平,筑牢广播信号安全稳定播出的技术防线。

参考文献

- [1] 张锦,刘莎莎,邹嵩.DAM 10 kW中波发射机控制板二类故障分析与处置[J].电视技术,2025,49(9):156-160.
- [2] 张蓝青.DAM 10 kW中波发射机射频部分工作原理及故障维修[J].电视技术,2022,46(12):139-142+158.
- [3] 梁小青.DAM 10kW中波广播发射机射频系统的常见故障及维护[J].卫星电视与宽带多媒体,2024(8):25-27.
- [4] 蒋红云.DAM10kW中波广播发射机控制板二类故障的分析[J].广播与电视技术,2024,51(12):117-119.
- [5] 宋学贤.10kW中波广播发射机射频功率放大器的原理与维护[J].数字传媒研究,2022,39(7):56-58+80.