# Study on Typical Failure Causes and Operational & Maintenance Support Strategies for Medium-Range Transmitters——Analysis and Exploration Based on Operational and Maintenance Practices of Frontier Station Facilities

**Peng Wang**

Program Transmission Center of Xinjiang Radio and Television Administration: 2071 Channels, Aksu, Xinjiang, 842300, China

**Abstract**

In response to the frequent failures and high risk of service interruptions experienced by medium-wave transmitters at border stations—caused by factors such as low temperatures, temperature fluctuations, dust and sand, and insufficient spare parts availability—this study takes Station A in northern Xinjiang as a case study. It analyzes the current status of equipment operation and maintenance, typical failure types and their causes, and specifically constructs a failure risk analysis framework focusing on environmental stress, equipment aging, inadequate maintenance, and human operational factors. The study also proposes measures including environmental adaptability protection, full-lifecycle management, condition-based maintenance, and emergency support. The results show that over the past three years, the average mean time between failures (MTBF) of the equipment at the station decreased from 1,280 h to 1,110 h. After implementing a comprehensive operation and maintenance strategy, the MTBF increased from 1,200 h to 1,600 h, the annual number of failures decreased from 25 to 15, and the annual service interruption duration reduced from 120 h to 60 h. This research demonstrates that a coordinated support model—integrating environmental monitoring, health records, preventive maintenance, and spare parts reserves—can effectively enhance the operational stability and broadcasting reliability of medium-wave transmitters at border stations.

**Keywords**

border radio stations; medium-wave transmitters; failure causes; condition-based maintenance; operation and maintenance support

# 中波发射机典型故障成因及运维保障策略研究——基于边疆台站运维实践的分析与探索

王鹏

新疆广电局节目传输中心2071台，中国·新疆 阿克苏 842300

**摘要**

针对边疆台站中波发射机受低温、温差、沙尘及备件保障不足等因素影响，故障频发、停播风险较高的问题，以新疆北部A台站为对象，分析设备运维现状、典型故障类型及其成因，重点从环境应力、设备老化、维护不足和人为操作等方面构建故障风险分析框架，并提出环境适应性防护、全生命周期管理、状态检修和应急保障等措施。结果表明，台站近3年设备平均无故障时间由1280 h下降至1110 h，实施综合运维策略后，MTBF由1200 h提高至1600 h，年度故障次数由25起降至15起，年度停播时长由120 h降至60 h。研究表明，基于环境监测、健康台账、预防性维护和备件储备的协同保障模式，能够有效提升边疆台站中波发射机运行稳定性和播出保障能力。

**关键词**

边疆台站；中波发射机；故障成因；状态检修；运维保障

## 1 引言

中波发射机承担着边疆地区广播信号覆盖和信息传输的重要任务，其运行稳定性直接关系到公共广播服务连续性以及特殊区域的应急信息传播能力。边疆台站通常存在地理位置偏远、气候条件复杂、专业技术力量不足和备件供应周期较长等现实约束，设备在长期高负荷运行过程中容易出现冷却系统失效、功率模块损坏、天线匹配网络失配及激励控制异常等问

【作者简介】王鹏（1994-），中国河南南阳人，本科，工程师，从事中波和调频发射技术，中波发射电子电路技术研究。

题[1]。传统运维方式主要依赖定期巡检和故障后维修，对环境负荷变化、部件性能衰减及操作风险缺乏连续识别，难以满足高可靠播出要求。本文以新疆北部A台站为研究对象，梳理中波发射机运行数据和故障记录，分析环境因素、设备老化、维护不足及人为管理漏洞的作用机制，明确影响设备可靠性的关键环节。在此基础上，构建涵盖环境防护、状态监测、备件管理、人员培训和应急处置的综合运维方案，并通过实施前后指标对比评估其应用效果，为类似边疆台站完善中波发射机运维体系和提升持续播出能力提供参考。

## 2 边疆台站中波发射机运维现状与典型故障梳理

### 2.1 边疆台站中波发射机运维现状

边疆台站远离设备制造商以及专业维修机构，交通距离较长，故障信息上报、技术会诊和备件调拨难以形成快速衔接，现场运维往往依赖值守人员独立开展排查工作。低温会改变功率器件及电容元件的电气特性，沙尘侵入容易引起散热通道堵塞和绝缘性能下降，季节性湿度波动还会加剧接插件氧化，使中波发射机长期承受复杂环境应力。与此同时，台站技术人员数量有限，专用检测仪器以及关键模块储备不足，常规巡检更多集中于运行参数记录，深层次预防性维护受到制约。

### 2.2 典型故障类型及影响分析

新疆北部A台站2024年共记录23起设备故障，类型以及发生频率见表1。冷却系统失效发生7起，多由风道堵塞以及风机性能衰减引起，容易触发过温保护。功率模块烧毁平均停播4.6 h，维修成本较高；天线匹配网络失配会增大反射功率，使有效覆盖半径明显收缩。

**表1 某边疆台站典型故障类型及发生频率统计表**

| 故障类型 | 次数 | 频率 | 平均停播时长 | 覆盖损失峰值 |
|---|---|---|---|---|
| 功率模块烧毁 | 6 | 26.1% | 4.6 h | 100% |
| 天线匹配网络失配 | 5 | 21.7% | 2.8 h | 42% |
| 冷却系统失效 | 7 | 30.4% | 3.2 h | 68% |
| 激励控制故障 | 3 | 13.1% | 1.7 h | 35% |
| 供电单元异常 | 2 | 8.7% | 2.1 h | 55% |

## 3 中波发射机典型故障成因的深度分析

### 3.1 环境因素导致的故障成因分析

边疆台站所处环境具有低温持续时间长、昼夜温差大以及沙尘活动频繁等特性，外部应力会沿散热、绝缘以及电气连接路径传递至发射机内部。低温使电解电容等效串联电阻增大，还会把功率器件的导通阈值推离额定区间，由此形成元器件参数漂移，即器件电气参数偏离标称值的现象。设备启动阶段若伴随快速升温，焊点、陶瓷基板以及金属连接件因热膨胀系数不同而产生交变应力，长期作用容易诱发焊点裂纹以及接触电阻升高，进而造成激励控制异常或功率模块损坏。

为刻画多种环境应力对设备故障风险的叠加作用，可在统一时间窗口内对监测量进行归一化，并构建环境关联概率模型：

$$P=\alpha\times C_d+\beta\times\left|\frac{\Delta T}{\Delta t}\right|+\gamma\times H$$

其中，$P$ 表示中波发射机在设定时间窗口内的故障概率，$C_d$ 表示归一化沙尘浓度，$\left|\frac{\Delta T}{\Delta t}\right|$ 表示归一化温度变化率，$H$ 表示归一化相对湿度，$\alpha$、$\beta$、$\gamma$ 为依据台站历史环境数据以及故障记录拟合得到的权重系数。

该模型把沙尘沉积、温度冲击以及湿度侵蚀纳入同一风险尺度，可用于识别环境负荷快速累积的运行时段。由于三类因素还可能产生耦合作用，实际分析中需同步核对结温、绝缘电阻以及反射功率变化，避免把设备老化引起的渐进性异常完全归因于单一环境变量。

### 3.2 设备老化与维护不足的成因

新疆北部A台站中波发射机平均使用年限已达10年，长期通电运行使功率模块、电解电容、冷却风机以及接插件逐步进入性能衰减阶段。功率器件导通损耗增加后，工作结温持续升高；电解电容容量衰减及等效串联电阻增大，会削弱直流母线的滤波能力；风机轴承磨损则会造成转速下降和风量不足。多类部件性能变化相互叠加，使设备在额定负荷下的运行裕度逐渐收窄，功率模块过热、供电波动以及激励控制异常由此呈现关联性。

### 3.3 人为操作与管理漏洞的成因

在新疆北部A台站，人员操作习惯以及岗位协同

方式会直接影响中波发射机的运行稳定性。发射机开停机、功率调整、激励切换以及天线匹配状态确认均具有明确的操作顺序，任一环节执行偏差都可能使设备承受瞬时电应力。值守人员未完成参数复核便调整输出功率，或在反射功率尚未降至安全范围时进行负载切换，容易造成驻波比异常、功率器件电流突增以及保护电路误动作。2024年新疆北部A台站曾发生一起功率模块故障，值守人员在更换激励单元后未核对驱动电平和匹配状态，便恢复额定功率运行，随后设备出现输出电流快速升高，功率模块因过载而损坏。该事件表明，误操作并非孤立的按键失误，而是参数确认、状态判断以及操作权限控制同时失守后的结果。

## 4 边疆台站中波发射机运维保障策略及效果评估

### 4.1 基于环境适应性的运维优化策略

鉴于新疆北部A台站低温、温差以及沙尘活动叠加的运行条件，应把环境适应性运维纳入中波发射机日常保障体系，即依据外部环境变化调整设备防护、运行监测以及维护频次。机房进风口宜设置可更换式防尘过滤系统，采用初效滤网与精细过滤单元组合的方式拦截颗粒物，并根据压差变化及时清理或更换滤材，避免风阻增大后造成冷却风量下降。设备柜内应配置温湿度传感器以及结露监测装置，结合恒温恒湿设备把温度、相对湿度控制在设备允许范围内，低温启动阶段则安排预热过程，减小电容参数突变和焊点热冲击。

针对沙尘季节故障集中出现的情况，台站应把滤网、风机叶片、散热器翅片、功率模块表面以及接插件列为重点清洁对象，采用防静电吸尘和干燥气流清洁方式，避免颗粒物进入高压及射频部位。清洁作业还应结合绝缘电阻、风机转速、散热器温升以及反射功率变化开展状态核查，形成环境记录与设备参数的对应关系。新疆北部A台站实施进风过滤改造、机房温湿度调节以及沙尘季节加密清洁后，该时段故障次数较改造前下降30%，说明针对环境负荷设置分层防护和动态维护能够缓解沙尘对发射机稳定运行的不利影响。

### 4.2 设备全生命周期管理策略

设备全生命周期管理应贯通投运、检修、更新以及退役环节，并把设备健康台账作为状态追踪载体。健康台账是汇集部件履历及性能变化的数字档案，需按唯一编码记录运行时长、环境暴露、故障现象、维修措施以及备件批次，使关键部件状态具备可追溯性。

结合边疆台站检测条件，应按月核查输出功率、反射功率、风机转速以及纹波电压，按季度检测绝缘电阻、接触电阻和模块温升，并依据参数偏移调整检修周期。对接近设计寿命、性能持续劣化或重复故障的部件，应提前安排更换；功率模块以及专用风机则需结合采购周期和故障频率设置安全库存，减少临时拆件替代。

### 4.3 运维保障效果评估与持续改进

运维保障效果评估应把平均无故障时间、年度故障次数以及年度停播时长纳入同一评价周期，分别反映设备连续运行能力、故障发生密度以及播出业务受损程度。新疆北部A台站选取策略实施前后各1年的完整运维记录，并统一故障登记口径以及停播计时边界，减少统计差异对评价结论的干扰[3]。

持续改进需把指标波动转化为维护计划调整依据，按月复核故障类型、停播环节以及告警处置记录。针对人员专项培训覆盖不足，应围绕射频匹配、保护联锁以及故障趋势判断开展分层培训和现场考核。同时完善停播应急预案，明确远程会诊、备件调用、负载切换以及信息上报流程，并把复盘发现的问题纳入操作卡修订工作，使运维措施随设备状态以及边疆环境变化持续校正。

## 5 结语

边疆台站中波发射机故障具有环境诱发性、部件老化性和管理关联性等特征，单纯依靠故障后维修难以消除长期运行风险。新疆北部A台站的实践表明，强化进风过滤、温湿度控制和沙尘季节清洁，能够降低外部环境应力；建立健康台账、开展关键参数监测并完善安全库存，能够缩短隐患滞留时间；规范操作流程、落实分级授权和强化专项培训，则有助于减少人为失误。综合措施实施后，MTBF提高33.3%，年度故障次数下降40.0%，年度停播时长下降50.0%。后续应持续积累多季节、多设备运行数据，优化故障预警阈值和风险模型，推动边疆台站运维由经验维护向数据驱动和主动保障转变。

## 参考文献

[1] 林鑫明.全固态PDM中波发射机典型故障浅析[J].东南传播,2022,(11):129-130.

[2] 张昌达.PDM1kW中波广播发射机故障分析与处理[J].数字传媒研究,2024,41(03):70-72.

[3] 赵梦奇.DAM中波发射机二类故障剖析与处置[J].电子技术与软件工程,2022,(09):142-145.