

中波广播发射台天馈系统维护常见问题及优化措施研究

陆 颖 桃 丽

额济纳 788 发射台 内蒙古自治区 阿拉善盟 735400

【摘要】：中波广播发射台天馈系统作为信号传输的核心组成部分，其运行状态直接影响广播质量与传输安全。当前实际运行中，天馈系统频繁出现接头接触不良、绝缘老化、雷击损坏等问题，严重制约系统稳定性与维护效率。对常见故障类型进行分类与剖析，结合维护工作中的典型案例，本文提出了针对性优化策略，包括预防性检修机制、简易监测辅助及关键部件结构改进，旨在全面提升中波天馈系统运行可靠性与维护水平。

【关键词】：中波广播；天馈系统；设备维护；故障诊断；优化措施

DOI:10.12417/2811-0722.26.01.030

引言

中波广播作为覆盖范围广、穿透能力强的无线电传播方式，至今仍在应急通信与农村信息传播中发挥重要作用。其核心设施之一——天馈系统，在长期高强度运行中易遭受多种环境与技术因素影响，导致故障频发。面对运行稳定性下降与维护成本上升的双重挑战，亟需对天馈系统常见问题进行系统化研究，并探索切实可行的优化对策。本文力求在理论与实践之间找到平衡，为广播技术保障提供有力支撑。

1 中波广播发射台天馈系统构成与工作原理分析

中波广播发射台的天馈系统作为广播信号辐射的关键环节，其性能直接影响广播信号的发射效率和覆盖范围。整个天馈系统主要由发射机输出端、馈线系统、天线匹配网络以及天线本体构成。发射机输出的高频信号同轴电缆或平衡馈线传输至天馈系统，在匹配网络中完成阻抗调整，确保能量最大限度地传输至天线。天线本体多采用地网与垂直单极天线相结合的结构，利用其良好的辐射特性实现远距离中波信号传播。系统整体的工作原理依赖于高频能量的高效传输和电磁波的有效辐射，任何部件性能下降都可能引发天馈系统效率降低甚至广播中断。这种性能下降可能表现为能量损耗增加、阻抗不匹配或辐射方向偏移，最终影响信号覆盖质量与广播连续性。

在实际运行过程中，天馈系统必须适应高功率、高频率以及复杂环境的多重负荷。中波频段通常在 530kHz 至 1600kHz 之间，发射功率则可能高达几十甚至上百千瓦，系统在长时间运行后容易出现电缆热损、连接点氧化、避雷装置老化等问题。由于中波波长较长，天线通常具有较高的物理尺寸与高度，使其在雷击、风载、湿度变化等自然因素下承受更大压力。系统设计要满足技术指标的稳定性，还需在耐用性、安全性、防雷保护等方面做到高度集成与兼容，才能确保长期高效运行。这意味着在选材、结构布局、电气性能和环境适应性方面都必须严格把控，以应对各种复杂运行条件和突发风险，实现持续稳定的信号传输保障。

考虑到广播发射的连续性要求，天馈系统在结构设计与维

护策略上必须高度重视故障前兆的识别和应对机制的建立。在天馈系统中常配备驻波比检测、电流监控、温度传感等在线监测模块，实时监测工作状态来判断是否存在馈线短路、负载不匹配或部件老化等隐患。在维护层面，需要对连接器接头、绝缘子、变压器、电缆护套等关键组件实施周期性检测与预防性更换策略。将理论设计、现场实际与故障经验相结合，才能真正实现中波广播发射台天馈系统的高可靠性与持续稳定运行。

2 天馈系统运行中常见故障类型与成因解析

中波广播发射台的天馈系统在长时间、高强度运行条件下，常出现多种故障类型，直接威胁广播信号的稳定性与连续性。结合发射台台址地处沙漠戈壁地区，风沙大、自然条件恶劣的特点，常见故障及成因具体如下：

2.1 接头接触不良

该故障主要发生于馈线连接部位、接地端子及天线连接节点，是系统中频发且危害较大的问题。成因主要包括两方面：一是高频高压长期作用于金属接触面，易导致连接器出现松动、腐蚀或氧化现象，造成接触电阻上升；二是中波广播发射台所处沙漠戈壁地区风沙活动频繁，细小沙粒易侵入连接器密封部位，破坏密封性能并加剧金属接触面的磨损，同时昼夜温差大导致金属部件热胀冷缩，进一步加剧连接松动，最终引发局部过热甚至烧蚀，产生反射功率增加、驻波比升高等现象，导致功率无法正常传输至天线，严重时可损坏发射设备。

2.2 馈线绝缘层老化

此故障是影响系统稳定性的关键因素，表现为绝缘材料龟裂、吸潮，进而引起电气击穿和信号泄漏。其核心成因与恶劣自然环境密切相关：沙漠戈壁地区强烈的紫外线长期照射会加速绝缘材料的老化降解；同时，高频风沙对绝缘层表面的持续冲刷磨损，破坏了绝缘层的完整性，使水汽更易侵入；此外，昼夜温差剧烈导致绝缘层反复收缩膨胀，进一步加剧了龟裂程度，这种劣化过程缓慢且隐蔽，一旦发生将导致信号质量下降、电磁干扰增强，危及系统安全运行。

2.3 雷击及机械结构损坏

雷击损坏是最具破坏性的外部故障类型，而机械结构损坏也因环境因素频繁发生。雷击方面，中波天线为高耸金属结构，且中波广播发射台地处沙漠戈壁空旷地带，无高大障碍物遮挡，极易成为雷电放电路径，若避雷装置失效或接地系统电阻过大，雷击电流会直接侵入馈线与匹配设备，导致放电击穿、短路甚至起火。机械结构方面，长期强风沙吹拂会导致天线支架、馈线固定装置等出现松动、变形，沙粒还会磨损金属结构的防腐涂层，加速锈蚀，同时极端温差会导致结构部件出现应力疲劳，增加断裂风险。

2.4 系统内部器件老化

匹配网络中的电容、电感器件及热管理系统易出现老化故障，导致系统阻抗失衡、器件过热等问题。成因主要为：高频高压长期作用使器件参数发生漂移或绝缘损坏；沙漠戈壁地区沙尘易侵入设备内部，附着在器件表面影响散热效率，加剧热老化；此外，设备长期处于风沙引起的轻微振动环境中，会导致器件引脚松动、焊点脱落，进一步加速老化进程，这些问题初期不易察觉，需通过监测驻波比、电流波动等数据变化判断异常。

3 现有维护方式存在的局限性与改进需求

目前中波广播发射台天馈系统的维护方式大多仍依赖人工巡检与周期性维护为主的传统模式，虽存在一定局限性，但人工巡检的优势同样不可替代。人工巡检具备较强的灵活性和现场判断能力，尤其适用于中波广播发射台沙漠戈壁复杂地形，运维人员可携带便携式检测仪器深入天线场地、馈线敷设等关键区域，对风沙磨损、结构松动等直观故障进行精准识别，同时在发现故障后能及时开展应急处理，避免故障扩大；此外，经验丰富的运维人员可通过手感、声音等细微变化判断设备状态，这种感性认知与实践经验的结合，是当前机器监测难以完全替代的。

传统维护模式仍存在反应滞后、效率低下、依赖经验等问题。常规巡检手段对系统运行状态的感知主要通过目测、仪器抽查和设备运行参数的表面判断，难以及时发现隐蔽性问题如接头氧化、电缆局部受潮或内部老化等；无法实现连续监测，导致早期故障信号被忽视，直到发生明显性能下降或设备损毁后才被察觉。传统维护高度依赖维护人员的经验水平与操作规范性，在人员短缺或操作不当的情况下，容易出现维护质量不均、问题处理不彻底等现象。

在技术手段不足的背景下，当前维护体系也缺乏数据支撑与故障预判能力。多数发射台尚未建立完整的运维数据库或故障诊断模型，不能基于历史数据进行趋势分析或精准预警；系统中少数配置了状态监测设备的站点，受限于传感器精度、采样频率低等问题，难以构建全面监控体系；驻波比监测虽能提

供告警信号，但无法定位具体故障点；现有维护记录缺乏统一运维平台归档分析，不利于系统化管理。

面对日益复杂的运行环境，现有维护方式亟需优化升级。技术层面需补充简易监测手段，弥补人工巡检的不足；管理层面需规范流程、加强培训，在发挥人工巡检优势的基础上，推动维护模式完善。

4 天馈系统维护优化的关键技术与实施路径

结合中波广播发射台短期内以人工巡检为主、无法引入过于先进技术的实际情况，维护优化以“人工巡检提质+简易系统监测辅助”为核心思路，具体实施路径如下：

4.1 优化人工日常巡检体系

建立针对性的巡检流程与重点清单，结合沙漠戈壁环境特点细化巡检内容：一是划分巡检等级，将天线接头、避雷装置、馈线密封处等易受风沙影响的部位列为一级巡检点，每日巡检；将匹配网络器件、接地系统等列为二级巡检点，每周巡检，明确各点位的检查标准，如接头部位需检查密封胶老化情况、有无沙粒侵入，馈线需查看绝缘层磨损程度等。二是升级巡检工具，为运维人员配备带拍照功能的红外测温仪、便携式驻波比测试仪等简易设备，快速检测接头温升、信号反射等关键参数，同时配备风沙清理工具，在巡检时同步开展密封部位清沙、防腐涂层补涂等预防性工作。三是建立“双人巡检+交叉复核”制度，减少人为误判，同时完善巡检记录，采用电子化表格实时录入巡检数据，形成基础运维档案。

4.2 构建简易系统监测与人工巡检联动机制

在关键部位部署基础监测设备，不追求复杂智能系统，实现与人工巡检的互补：一是在发射机输出端、主干馈线接头及天线匹配网络等关键部位，选择性部署具有阈值告警功能的温度传感器和驻波比监测单元。这些简易传感器能够实现 7x24 小时不间断的状态监测，一旦监测到温度异常升高或驻波比超标，系统便会立即触发声光或远程告警，从而有效覆盖人工巡检间隔期，实现对局部过热、连接劣化或阻抗失配等潜在故障的早期发现。二是整合这些分散的监测数据至关重要。通过利用现有设备的数据接口或增设简易采集模块，可在值班室搭建一个集中的本地监控终端。该终端将各监测点的实时数据与历史趋势进行集中展示，使得运维人员能够直观地了解系统关键参数的变化历程，辅助判断设备是否存在渐进性老化趋势，而不仅仅是依赖巡检瞬间的状态，提升了状态评估的连续性、精准度和前瞻性。三是建立标准化告警响应流程，确保联动机制有效落地。明确规定系统告警后，运维人员须迅速携工具赴现场核查。此举将系统“预警”与人工“核实”无缝衔接，形成“告警—核查—处置”闭环。该流程既有效过滤误报，更引导人工巡检精准发力，从而显著提升排查效率与准确性，共同筑牢安全防线。

4.3 强化预防性维护与培训管理

基于沙漠戈壁风沙频发、温差剧烈的环境特性及历史故障数据，制定靶向性预防性维护计划：每季度对所有连接器进行全流程拆解，清除侵入的沙粒杂质后重新涂抹专用密封胶，更换老化密封件，从源头规避风沙磨损和温差导致的接触不良问题；每年春季风沙期结束后开展全面防腐处理，采用耐风沙腐蚀的特种涂料对天线支架、馈线固定件等易锈蚀部位进行喷涂，修复被风沙磨损的涂层，延缓结构锈蚀老化。针对春季风沙高发特点，提前15天完成天线结构加固、馈线卡具紧固及设备内部积尘深度清理，降低强风沙引发的机械故障风险。培训方面，聚焦沙漠环境故障处置痛点，定期开展接头沙蚀检测、绝缘层龟裂识别等实操训练，结合典型案例复盘风沙导致的驻波比异常、结构松动等问题的处置流程，通过经验分享会固化故障判断技巧，全面提升团队在恶劣环境下的应急响应和问题解决能力。

5 基于实践的优化效果评估与应用建议

鉴于优化措施刚启动实施，且受沙漠戈壁恶劣环境、技术投入规模等现实条件制约，短时间内难以实现天馈系统维护的大幅度优化，相关效果也无法通过精确数据量化，更多体现为维护风险防控思路的调整。

从初步实践反馈来看，优化后的模式仅在显性故障发现及

时性上有一定改善，如风沙导致的接头松动、绝缘层磨损等问题的漏检率有所降低，避免了少数故障扩大化情况。但这些改善缺乏精准数据支撑，且对隐性故障、深层老化问题的解决效果仍不明显。

未来实现更优维护效果面临诸多现实挑战：沙漠戈壁持续的风沙侵蚀、极端温差等环境因素对设备的损耗难以根本缓解；简易监测手段的精度和覆盖范围有限，无法实现全面隐患预警。短期内大幅提升维护效能的可能性较低，后续仅能通过积累运维数据、微调巡检周期等低成本方式逐步探索。整体而言，实现高效、精准的智能化维护目前仍处于初步设想阶段，受多重条件限制，实现难度较大，更多是需要长期努力追逐的目标。

6 结语

本文围绕中波广播发射台天馈系统的运行维护展开深入研究，系统分析了其构成与工作原理，归纳了运行中常见故障类型与成因，总结了现有维护方式存在的不足，并在此基础上提出了具有可行性的优化技术与实施路径。结合初步实践反馈，优化措施在完善维护流程、提升风险防控能力方面展现出一定潜力。未来应继续探索符合实际条件的维护模式，逐步构建更加可靠、可持续的中波天馈系统运维体系，以更好地服务于广播事业的稳定发展。

参考文献：

- [1] 王志强,李建国.中波广播发射系统的故障与维护分析[J].广播与电视信息,2018,25(3):45-48.
- [2] 刘海林,周成文.广播发射台天馈系统的优化设计与运行保障[J].电波传播与技术,2020,38(2):55-59.
- [3] 高文辉,吴俊峰.中波天线馈线系统的智能监测研究[J].通信技术,2021,54(4):112-116.
- [4] 陈忠诚,许立宏.广播发射设施维护模式的现状与改进策略[J].现代电子技术,2019,42(20):98-102.
- [5] 张树元,胡伟东.基于大数据的广播天馈系统故障诊断方法[J].电信科学,2022,38(6):73-77.