 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i8.11573

Analysis of Common Issues and Exploration of Routine Maintenance Techniques for Radio Broadcasting Antenna Feeding Systems

Hui Pang

Laiyuan County Converged Media Center (Laiyuan County Radio and Television Station), Baoding, Hebei, 074300, China

Abstract

The radio frequency (RF) feeder system is responsible for the transmission, radiation, and reception of RF signals; its operational status directly impacts broadcast coverage quality and transmission reliability. This paper examines common issues such as signal attenuation, abnormal standing wave ratio (SWR), as well as feeder aging and corrosion, analyzes the root causes of faults—including connector oxidation and loosening, impedance mismatch, moisture ingress in the dielectric material, and antenna directional deviation—and proposes routine maintenance techniques such as periodic inspection, environmental protection measures, parameter calibration, and segmented fault diagnosis. Taking a radio and television transmission system at a certain station in City H as an example, after implementing these maintenance measures, the signal attenuation rate was reduced from 12% to 3%, the monthly fault occurrence rate decreased from 8 incidents to 2 incidents, and the monthly maintenance cost was lowered from RMB 5,000 to RMB 3,000. The study demonstrates that establishing a management mechanism that combines preventive maintenance with rapid fault repair can improve the transmission performance of the feeder system, reduce the risk of unplanned downtime, and enhance the stability and cost-effectiveness of the radio and television broadcasting links.

Keywords

radio broadcasting feeder system; signal attenuation; abnormal standing wave ratio; feeder aging; routine maintenance

广电天馈线系统常见问题分析与日常维护技术探究

庞辉

涞源县融媒体中心（涞源县广播电视台），中国 · 河北 保定 074300

摘　要

广电天馈线系统承担射频信号传输、辐射与接收任务，其运行状态直接影响广播电视覆盖质量和播出安全。本文围绕信号衰减、驻波比异常以及馈线老化与腐蚀等常见问题，分析接头氧化松动、阻抗失配、介质受潮和天线方向偏移等故障成因，并提出周期巡检、环境防护、参数校准以及分段诊断等日常维护技术。以H市某广播电视发射系统为例，维护后信号衰减率由12%降至3%，故障月发生率由8次降至2次，月维护成本由5000元降至3000元。研究表明，建立预防性维护与快速修复相结合的管理机制，能够改善天馈线传输性能，降低非计划停机风险，提升广电播出链路的稳定性与经济性。

关键词

广电天馈线系统；信号衰减；驻波比异常；馈线老化；日常维护

1 引言

随着广播电视数字化传输和多频段业务持续发展，天馈线系统承担的信号传输任务更加复杂，其运行质量不仅关系到发射功率的有效利用，也影响节目覆盖范围、接收稳定性和播出连续性。与室内设备相比，天馈线长期设置于塔桅、楼顶等开放环境，容易受到雨水、紫外辐射、温差变化、风振及盐雾等因素影响，接头松动、密封失效、馈线受潮和天线偏移等问题具有较强的隐蔽性与累积性。一旦缺陷未能及时识别，局部损耗可能进一步演变为驻波升高、功率下降甚至发射设备保护性停机[1]。当前部分维护工作仍偏重故障发生后的抢修，对运行参数趋势、结构状态和环境风险的连续记录不足。因此，系统分析天馈线常见故障机理，完善预防性检查、快速诊断和效果评估方法，对于提高维护工作的针对性、降低维修成本、保障广播电视安全播出具有现实意义。本文结合具体运行案例，对相关问题及维护技术进行探讨。

2 广电天馈线系统的概述与研究意义

广电天馈线系统是广播电视传输链路中的关键环节，

【作者简介】庞辉（1991–），男，中国河北保定人，本科，中学一级教师，从事电子工程研究。

由接收天线、发射天线、馈线以及匹配器等部件协同构成，承担把射频信号在空间与设备端之间高效耦合的任务。该系统在覆盖半径扩展、频段资源利用以及阻抗匹配控制方面发挥基础作用，直接关系到信号到达范围、传输质量稳定性以及播出链路的连续运行。

从运行环境来看，天馈线长期处于风雨侵蚀、温差波动以及电磁干扰交织的条件下，连接点松动、驻波异常和线路老化等问题容易累积为系统性隐患。围绕常见问题机理开展分析，并结合日常维护技术进行针对性处置，能够减少故障停机时间，降低链路损耗，提升传输效率，也为广电网络的稳定保障提供更具可操作性的技术支撑。

3 广电天馈线系统常见问题分析

3.1 信号衰减问题分析

广电天馈线系统中的信号衰减，是指射频信号沿天线、馈线及连接组件传输时，因导体损耗、介质损耗和接触损耗而发生的功率降低现象。接收端通常表现为场强读数持续下降，数字电视节目出现马赛克、音视频间歇卡顿，调频广播业务则易出现底噪增大和有效覆盖边缘收缩。鉴于发射链路功率配置相对稳定，短周期内出现接收质量波动时，应把馈线连接状态、线缆传输性能以及天线机械指向纳入排查范围。

H 市广播电视发射台 1 套 UHF 数字电视发射系统连续运行 6 个月后，覆盖区固定监测点的平均信号强度较投运初期下降 15 dB。维护人员对发射天线馈电端、主馈线接头以及塔顶连接部位开展驻波和接触电阻检测，发现 12 处衰减源集中于接头氧化、螺纹松动及防水密封失效，其占全部 20 处异常点的 60%。接头表面氧化层会增大接触电阻，松动状态则使高频电流分布不均，由此把局部连接损耗放大为链路功率损失。具体统计情况见表 1。

表 1 某广电系统信号衰减原因统计

衰减原因	异常点数量	占比	对平均衰减量的贡献	主要表现
馈线接头氧化与松动	12 处	60%	9.0 dB	接触电阻增大、驻波波动
馈线长期使用损耗	5 处	25%	3.8 dB	外护套老化、介质性能下降
天线方向角偏移	3 处	15%	2.2 dB	主瓣偏离目标覆盖区域
合计	20 处	100%	15.0 dB	接收场强整体下降

馈线长期暴露于高温、潮湿和紫外辐射环境，外护套开裂后易使水汽侵入绝缘介质，进而增加介质损耗；天线方向角受强风振动、抱杆紧固件位移影响发生偏移时，辐射主瓣难以持续指向设计覆盖区域，也会使远端接收电平下降。在线路损耗计算中，可将馈线本体损耗和接头损耗作为主要构成项目进行估算。

$$L_{total}=L_{cable}+L_{joint}$$

其中，L_{total} 表示天馈线链路总衰减量，单位为 dB，L_{cable} 表示馈线本体传输衰减量，单位为 dB，L_{joint} 表示接头、转接器及匹配连接部位产生的附加衰减量，单位为 dB。

3.2 驻波比异常问题分析

驻波比是表征天馈线系统阻抗匹配状态的关键参数，反映入射射频功率与反射功率之间的关系。当馈线、连接器以及天线输入端的特性阻抗保持一致时，射频能量能够较为充分地传输至辐射端，系统驻波比处于合理范围。若阻抗匹配状态发生偏离，部分入射功率会沿馈线反向返回，形成明显反射，既会降低发射功率的有效传输效率，还可能引起馈线局部发热、连接部位放电以及发射机保护性降功率。驻波比持续升高时，发射设备的末级功放、输出滤波器以及功率合成部件承受的电压和电流应力同步增加，严重情况下会诱发器件击穿，影响广播电视节目的连续播出。

从故障形成机理来看，馈线阻抗与天线输入阻抗不匹配是驻波异常的主要缘由。天线结构参数改变、频段调谐偏移或馈线型号选配不当，均可能使负载端反射系数增大。接头接触不良同样会改变连接处的等效阻抗，螺纹未压紧、导体表面氧化、接触面污染以及密封失效，都会使高频电流分布出现不均匀现象。若天线振子变形、馈电点受潮或绝缘支撑件老化，天线自身的谐振特性也会发生变化，进而把驻波异常传导至整条发射链路。

3.3 馈线老化与腐蚀问题分析

馈线老化通常伴随外护套开裂、绝缘层失去弹性以及内部导体氧化等现象，其影响会沿射频传输链路逐步累积。馈线长期架设在塔桅或楼顶等户外位置，持续承受雨水浸润、紫外线照射、昼夜温差以及风振作用，外护套在反复热胀冷缩后容易出现龟裂和局部剥落。裂纹形成后，水汽能够沿破损部位进入绝缘介质，使介电性能发生变化，馈线的传输损耗随之增加。对于屏蔽层受潮的线路，潮气还可能引起金属表面电化学腐蚀，削弱屏蔽连续性，并且使外部电磁干扰更容易耦合至有用信号通道。

H 市广播电视发射系统的运行记录表明，馈线投入使用 5 年后，外护套开裂率达到 40%。现场检查发现，裂纹主要分布在塔顶转弯段、固定卡具受力处以及防水接头附近，这些位置长期受到机械应力与雨水滞留的共同作用。部分馈线内部导体已经出现氧化变色，导体表面形成的氧化层增大了高频电流传输阻力，使射频能量不能保持稳定传递，信号传输损耗较初始状态增加20%。当腐蚀继续向连接端延伸时，还会造成接触电阻升高以及局部温升变化，进而诱发驻波波动，与前述信号衰减和阻抗匹配异常形成叠加影响。

从维护技术角度来看，馈线老化与腐蚀并非单一部件失效，而是材料性能退化、防水结构失效以及安装环境变化

共同作用的结果。外护套表面出现细小裂纹时，不能仅依靠临时缠绕材料进行遮蔽，还需结合绝缘状态、接头密封状况以及链路衰减变化判断是否具备继续运行条件。对于导体氧化明显、绝缘层受潮或损耗持续上升的馈线，应把更换受损区段以及重新制作密封接头纳入维修安排，并且对固定夹具和弯曲半径进行同步校正，以减缓环境因素对天馈线传输性能的持续影响 [2]。

4 广电天馈线系统日常维护技术探究

4.1 预防性维护策略

针对天馈线系统长期处于高空、露天以及连续带载运行状态的实际条件，维护工作应把周期性检查、环境防护以及参数校准纳入统一安排。季度巡检期间，维护人员需对馈线接头、转接器以及天线馈电端进行紧固检查，清除连接表面的氧化物和污染物，并核验防水密封状态，避免接触电阻增大或局部阻抗突变。半年检修应着重开展线缆外观检测，重点查看塔顶转弯段、固定卡具受力处以及接头附近是否存在外护套开裂、鼓包、变色和受潮痕迹，同时记录馈线弯曲状态以及支撑件稳固程度。

鉴于雨水、紫外辐射以及盐雾环境会加速金属部件腐蚀，可在馈线外表面及金属连接部位涂覆适宜的防腐蚀涂层，并把天线馈电区域纳入防水罩保护范围，减少水汽沿接口进入绝缘层。设备校准则按季度开展，分别测量天线方向角以及馈线系统驻波比，结合设计覆盖方向核对天线机械指向，依据驻波变化趋势判断连接界面和负载端是否出现异常。H 市某广电系统将上述措施纳入维护制度后，故障发生率较调整前降低 50%，说明预防性维护能够把隐患处置环节前移，并减少突发性链路中断 [3]。

4.2 故障快速诊断与修复技术

针对广电发射台突发场强下降、发射机反射功率告警以及覆盖边缘接收不稳等运行情形，故障处置应建立具有顺序约束的快速诊断流程。见图 1，值班人员接收故障上报后，需把告警时间、业务频段以及发射功率变化记录纳入工单，随即开展馈线外护套、接头密封层和天线机械结构的外观检查。未发现明显破损时，应选用驻波比测试仪以及信号强度仪，对发射机输出端、主馈线中段和天线馈电端进行分段检测，依据参数突变位置缩小故障范围。

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

其中，$VSWR$表示电压驻波比，$|\Gamma|$表示反射系数的模值，无量纲。

驻波比异常位置确定后，维护人员应结合接触电阻、馈线衰减量以及天线方向角测量结果判断故障缘由。接头导体氧化或焊接面松脱时，可把受损接头拆除后重新完成焊接和密封处理；馈线绝缘介质受潮、屏蔽层腐蚀或局部损耗超限时，应更换对应受损区段，并复核弯曲半径和固定卡具受力状态。天线主瓣偏离设计覆盖方向时，需依据方向角测量数据调整抱杆连接部位。H 市广播电视发射台将该流程用于 UHF 数字电视链路处置后，把单次故障修复时长压缩至原时长的 30%，现场处置过程也能够形成可追溯的维护记录 [4]。

4.3 维护效果评估

维护效果评估应围绕信号传输质量、故障发生频次以及维护成本开展综合判定，把馈线链路衰减率作为传输质量的直接指标，把月度故障工单数量用于反映系统运行稳定性，并将备件更换、登塔作业及人工检修支出纳入成本核算。H 市广播电视发射台在 UHF 数字电视天馈线链路实施接头密封整治、馈线老化区段更换以及驻波参数定期校准后，维护前后运行数据呈现出较为明显的变化，具体情况如表 2 所示。

表 2 某广电系统维护前后性能对比表

评估项目	维护前	维护后	变化情况	运行影响
信号衰减率	12%	3%	下降 9 个百分点	覆盖边缘场强波动减小
故障月发生率	8 次	2 次	减少 6 次	非计划停机风险降低
月维护成本	5000 元	3000 元	减少 2000 元	备件及登塔支出下降

从表 2 的数据关系来看，信号衰减率由 12% 降至 3%，表明馈线受潮、接头接触不良等附加损耗得到控制，射频功率向天线辐射端的传递状态趋于稳定。故障月发生率降至 2 次，说明周期巡检能够较早识别防水层破损、紧固件松动等隐患，减少驻波告警引发的临时抢修。月维护成本由 5000 元调整为 3000 元，主要缘由在于受损区段在早期完成处置后，紧急登塔作业和大范围线缆更换需求有所减少。

5 结语

广电天馈线系统的运行故障具有多因素叠加特征，信号衰减、驻波比异常以及馈线老化腐蚀之间往往相互影响。维护过程中应以接头状态、馈线绝缘性能、天线机械指向和阻抗匹配参数为重点，形成从外观检查、分段测试到故障修复和复测确认的完整流程。实践结果表明，接头密封整治、老化区段更换和驻波参数校准能够有效改善链路性能，并减少故障停机和维护支出。后续工作还应加强运行数据积累、趋势分析与维护档案管理，依据设备状态动态优化巡检周期，推动天馈线维护由被动抢修转向状态维护，为广播电视系统长期稳定运行提供保障。

参考文献

[1] 张勇.NTP时间同步技术在广播发射台专网的应用[J].广播电视信息,2025,32(06):69-72.

[2] 武彦军.数字调幅中波广播发射机的维护及故障处理研究[J].中国宽带,2024,20(01):160-162.

[3] 王伟.中波发射机的常见故障与维护措施[J].电视技术,2022,46(08):117-119.

[4] 张荣建,张轩,佘方毅,盛国芳.基于悬空方式的调频广播覆盖技术探究[J].广播电视信息,2023,30(08):76-79.