

中波发射台防雷体系建设研究

郭凌希

宁夏广播电视台传输发射中心 宁夏 银川 750000

摘要：城郊布局的中波发射台开阔无遮挡，遭受雷电侵袭风险突出。受制于绝缘辐射桅杆射频工作特性，无法架设常规接闪装置，使得中波发射台防雷设计与通信钢塔防雷方案存在显著差异。雷电可通过直击天线桅杆、线路感应耦合、大地电位突变反击等途径，造成天调网络、全固态发射主机等精密器件损毁，直接引发安全播出中断。本文立足于基层中波台现场运维经验，结合中波1kW、10kW全固态发射系统运行工况，从天馈链路防护、供电多级浪涌抑制、弱电信号线路防护、统一接地网络搭建、机房等电位施工以及长效运维机制等层面搭建综合防雷架构，阻断雷电多条侵入路径，降低雷击故障发生概率，保障中波调幅广播持续可靠播出。

关键词：中波发射台；绝缘桅杆；雷电防护；联合接地；安全播出

0 引言

中波调幅广播是基层公共文化服务、应急信息传播不可或缺的基础设施。现阶段各转播台大量投入使用全固态发射设备，内部半导体元器件耐受瞬时过电压能力有限，更容易在雷电冲击下发生故障。部分台站开展防雷升级改造时，直接套用普通铁塔防雷思路，尝试在辐射桅杆加装避雷针，此举会改变天线电气参数，破坏原有匹配状态，带来驻波比异常、播出指标劣化等一系列问题。由此可见，防雷设计必须贴合中波发射系统独有的电气特征。

雷电对台站设备的破坏形式主要分为三类：一是雷电直接击中绝缘桅杆，巨大低频浪涌沿着馈线传导至机房内部；二是周边区域落雷形成交变电磁场，在电力线缆、音频信号线之上耦合产生感应过电压；三是雷电流向大地泄放瞬间，地表不同位置电势出现剧烈波动，相互独立的接地系统形成电位差，诱发地电位反击击穿电路板^[1]。依靠单一避雷器、放电间隙难以实现全面防护，只有构建多层次综合防护架构，兼顾浪涌泄放、能量阻隔、电位均衡，才能满足广电行业不间断播出要求。

1 天馈系统雷电防护重点举措

中波辐射桅杆保持对地绝缘状态，依靠自身金属结构向外辐射射频信号，禁止安装任何接闪构件。当前主流防护方案依靠桅杆底部放电间隙与天调网络相互配合实现防雷。

如图1所示，桅杆基座装配石墨球形放电间隙。正常播出工况下间隙保持开路状态，不会干扰射频信号传输；一旦桅杆遭受雷击、电位急剧抬升，空气间隙被击穿，雷电流直接导入天线辐射地网。间隙间距不可随意调整，距离过大将无法及时导通泄放雷电流，间距过小

则容易诱发射频持续打火，额外产生杂散辐射干扰。

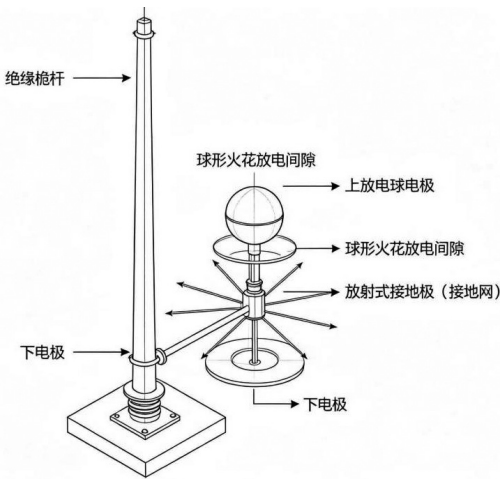


图1 中波天线桅杆底部放电间隙防雷布置示意图

天调网络作为天线与发射机之间的匹配单元，构成阻挡雷电侵入设备的第一道屏障。整套防护单元由隔直高压电容、低频泄放扼流圈组成。隔直电容可以顺利通过中波射频交流信号，阻挡雷电低频直流分量向发射机传导；扼流圈对低频雷电浪涌呈现低阻抗，引导冲击能量入地，同时对工作频段射频表现出高阻抗，防止射频能量对地短路^[2]。结合循天系列发射机长期运维情况来看，雷雨季节天调网络高压电容是故障高发器件，每年雷季来临前，应当逐一检测绝缘性能，及时更换老化受损元器件。

同轴馈管外层屏蔽层实施多点可靠接地，馈线进入机房墙体的位置，配备适配中波频段的射频浪涌保护器。选型过程不能直接复用移动通信避雷器，频段不匹配会增大信号插入损耗，造成调幅信号失真，影响播出质量。

2 供电系统多级浪涌抑制方案

供电系统多级浪涌抑制方案是保障发射台站设备安

全运行的关键环节。外部市电线路跨越广阔区域，极易耦合远距离感应雷电冲击，其瞬态过电压幅值高、能量巨大，单级防护无法有效泄放^[3]。工程实践中普遍采用三级SPD分级防护架构，实现雷电能量的逐级衰减与有序释放。市电进线首先经由配电室安装的一级SPD（通常为10/350 μ s波形开关型）泄放大部分雷电流，残压降至数千伏；随后进入机房总配电柜的二级SPD（8/20 μ s限压型）进一步削减过电压；最后在发射机、UPS电源及音频处理器等精密设备前端设置三级SPD（精细保护级），将残压限制在设备耐受水平以内。各级防雷器件之间严格保证规范要求的线缆间距（通常不小于5米或采用退耦器件），确保能量配合有效，避免保护盲区或器件过载，完整拓扑结构见图2。

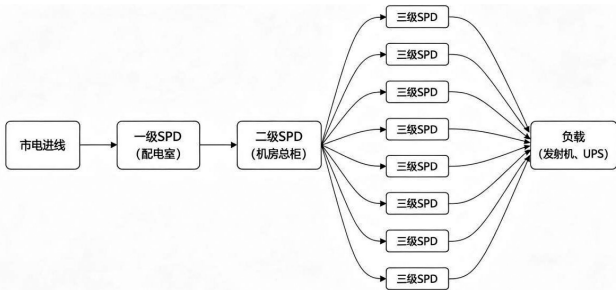


图2 供电系统三级浪涌保护器分级防护拓扑

不间断电源的输入、输出回路同样需要配套浪涌防护装置，不容忽视。即便市电中断，雷电感应过电压依然可能经由负载回路反向冲击发射设备，造成停机或损坏。日常巡检过程中，维护人员需持续关注SPD状态指示窗口（通常为绿色正常、红色失效），一旦出现失效标识，必须第一时间完成模块更换，确保防雷屏障始终处于有效投运状态，保障供电系统安全可靠运行。

3 弱电传输线路防护措施

在台站内，除了大功率射频链路外，还密集布设了音频传输通道、监控网线、远程遥控线缆等弱电线路。这些线路通常传输电平低、抗干扰裕量小，且往往穿越不同防雷分区，成为最容易被忽视的雷击入侵通道。雷击发生时，即便不直接击中线缆，附近数百米内的地电位反击或雷电电磁脉冲也足以在弱电回路中感应出破坏性过电压，轻则导致设备误码、死机，重则烧毁接口板卡，甚至沿信号回路侵入核心播控设备，引发系统性故障。

针对音频信号传输，应优先选用光纤介质，利用其光电隔离特性从物理根源上切断雷电传导路径，这是最彻底的防护手段。若受现场条件限制只能使用铜芯音频线缆，则必须在线路两端分别加装音频专用信号防雷器，且防雷器的接地端应就近接入机房等电位接地排，确保泄放通道阻抗尽可能低。对于所有室外敷设的监控

网线（含PoE供电线路），进入机房端口前必须装配适配网络速率的浪涌保护器（如RJ45接口电涌保护器），同时线缆全程穿镀锌金属管进行屏蔽防护——金属管接头处应做跨接焊接，且管道两端（室外引入口和机房入口）均须做可靠接地处理，接地电阻应符合联合接地系统要求，以形成连续法拉第笼效应。室外卫星接收天线引下的同轴电缆，在机房入口处应配套对应工作频率和功率等级的专用避雷器，并确保其放电管或半导体抑制器件性能完好，不得随意代用或短接^[4]。

此外，所有弱电线缆在路由规划时，应尽可能避免与电力电缆（尤其是380V/220V动力线）长距离平行敷设，若无法避开，则平行间距不得小于规范要求，且交叉处宜采用垂直正交方式，以最大限度降低工频及雷电瞬态电磁耦合带来的干扰风险。施工完成后，还应利用专业测试仪表对每一路信号防雷器的限制电压、响应时间等关键参数进行抽检，并纳入年度防雷检测计划，及时更换劣化失效的保护器件，确保防护措施长期有效。通过上述多层次、全链路的精细化防护，方能从根本上保障弱电系统在雷雨季节的稳定运行。

4 联合接地网与机房等电位施工

接地设施是所有防雷器件发挥作用的基础。过去部分基层台站存在天线地网、机房保护地相互独立布设的误区，两套接地系统互不连通，雷电发生时极易形成电位差，引发地电位反击故障。

一体化联合接地体系布局见图3。以桅杆基座为中心向外铺设放射状辐射地网，机房周边修建闭合环形接地体，天线地网、机房防雷地、设备保护地、配电工作地多点连通，整合为完整接地网络。中波发射台联合接地工频接地电阻建议控制在4 Ω 以内。土壤电阻率偏高区域，可以增设垂直接地极，选用环保型降阻材料，杜绝使用具备强腐蚀性的降阻药剂。

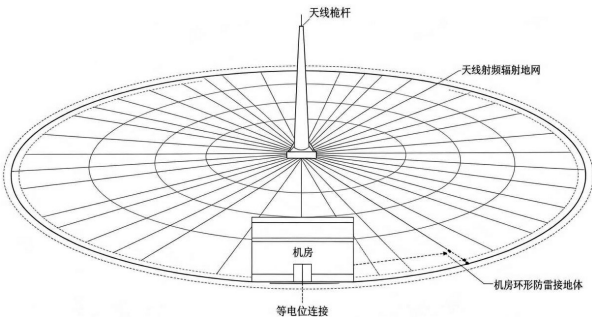


图3 发射台联合接地网平面布置示意图

机房墙体敷设环形等电位铜排，发射机机柜、天调柜体、金属桥架、配电柜外壳、静电地板支架，均使用短导线就近接入等电位母线，均衡机房内部全部金属构

件电位，消除电位差值，规避地电位反击风险。

5 附属设施防雷及长效运维管理

办公楼、值班室、围墙监控立杆、独立钢结构塔，严格参照《建筑物防雷设计规范》GB50057相关要求，布设接闪带、避雷针、引下线，并确保各构件搭接长度、焊接工艺及材料规格均满足规范强制性条文。在此明确划分界限：民用建筑、监控支撑塔可正常配置接闪设施；承担中波信号辐射任务的绝缘桅杆严禁加装接闪构件，改造施工阶段务必严格区分，规避设计失误。室外各类金属护栏、钢支架保持电气连通，统一接入总接地网络，连通电阻值不应大于0.5Ω，且需做好跨接处理，防止因松动或锈蚀导致断接。

防雷工程并非一次性建设即可一劳永逸，防护能力会随着时间推移逐步衰减，需要建立常态化运维机制，将防雷系统纳入年度设备检修计划，实行专人专责、闭环管理。

第一，每年雷雨季节到来前开展全面检测：复测接地电阻（工频阻值应不大于4Ω，联合接地不大于1Ω）、紧固所有接地连接端子、检查放电间隙氧化烧蚀情况并测量间隙距离是否偏移、核查全部SPD劣化指示及脱扣状态，对金属连接点位实施防腐处理，涂覆导电防护脂，同时做好检测记录归档备查。

第二，建立雷击故障登记台账，详细记录雷暴时间、强度、受损器件及处置措施。强雷暴天气结束后，调取发射机各类告警记录，重点排查天线驻波异常、电源扰动记录，定位防雷薄弱环节，针对性优化放电间隙、避雷器配置，必要时委托专业机构开展波形分析，为后续改造提供数据支撑。

第三，完善极端天气应急处置流程。收到强雷电预警时，按照操作规程有序关停发射设备，最大限度降低器件受损概率；预警解除后，严格执行重启前绝缘测试和驻波比较验，确认安全方可恢复运行，并明确各岗位响应职责与时限要求。

第四，组织技术人员常态化业务学习，每半年至少开展一次防雷专题培训，厘清中波天线防雷与通信钢塔

防雷的核心差异，重点掌握绝缘桅杆等电位连接与隔离技术的操作要点，规避各类改造误区，同步更新内部技术导则，确保设计、施工、运维各环节认知统一^[5]。

完整的多层次防护框架汇总如图4所示。

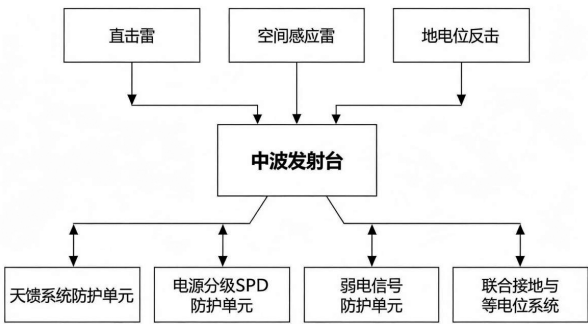


图4 中波发射台多层次综合防雷体系框图

结语

中波发射台防雷工程不能直接照搬通用钢结构铁塔施工标准，最大限制条件就是绝缘辐射桅杆不允许加装接闪装置。一套完善的雷电防护体系，需要统筹天馈链路防护、电源多级浪涌抑制、弱电线路隔离、一体化联合接地、机房等电位均衡多项技术手段，全方位抵御直击雷、感应雷、地电位反击带来的威胁。

对于基层中波转播台而言，防雷升级改造应当硬件建设配套长效运维机制。持续完善防雷基础设施，定期开展检测维护工作，最大限度减少雷击造成的设备损坏与播出中断事故，为中波广播安全稳定运行筑牢硬件保障。

参考文献

[1]赵体辰.中波广播发射系统的防雷措施[J].电视技术,2022,46(11):96-102.

[2]郭焕.广播中波发射台防雷设施改造实例[J].电视技术,2023,47(06):108-111.

[3]旦增.中波发射台雷电灾害防护的实时监测与数据分析方法研究[J].电视技术,2025,49(10):194-196.

[4]王远.中波发射台综合防雷接地措施[J].中国宽带,2022,18(06):94-96.

[5]蒲超.浅谈中波发射机的防雷技术[J].西部广播电视,2024,45(15):161-164.