

# 浙江电网通信站综合防雷技术研究与实践

叶忠民 叶纪伟 申屠天生

浙江电力调度通信中心

**摘要：**高山（微波）通信站地处海拔几百米甚至近千米的山峰上，山上土少石多，接地电阻难以降低，有的站高达十几欧姆，对雷电流的泄放造成很大困难，再随着现代通信设备的更新换代，集成芯片的广泛应用，降低了设备的抗冲击能力，使现代通信设备受雷电影响及损坏的机率增大。据统计雷击障碍已成为影响高山微波通信站正常运行的最大隐患。本方案结合浙江电网高山微波通信站的防雷现状情况，对高山微波通信站的综合防雷技术进行研究和实践。

**关键词：**电网通信站 防雷防过电压 技术研究和实践

## 一、概述

浙江电网高山（微波）通信站地处海拔几百米甚至近千米的山峰上，山上土少石多树木少，接地电阻很难降低，有的站高达十几个欧姆，对雷电流的泄放造成很大困难。随着现代通信设备的更新换代，集成芯片的广泛应用，降低了设备的抗冲击能力，使现代通信设备受雷电影响及损坏的机率增大。据统计，近年来雷击损害已成为影响高山微波站正常运行的最大隐患，1996~2001年通信站设备经常不同程度地受到雷击损坏，其中1996年全省通信站受雷击次数为28次，浙江台州狮子岩微波通信站1996年受雷击高达7次，击坏交流压敏电阻器和交流接触器4次；通过几次专项防雷改造，特别是省调2002年对全省微波通信站的低压供电线路的过电压防护进行了改造，有效的抵挡了由交流供电线路引入的雷击事故，但高压输电线路、地电位反击、电磁脉冲震荡等引起的雷害未得到根本的解决，2004年狮子岩的3次雷击（信道机-48V保护动作，设备未受损害），均为高压输电线路受雷或地电位反击所引起的。

本方案结合浙江电网高山微波通信站的防雷现状情况，对高山微波通信站的综合防雷技术进行研究和实践。

## 二、现代防雷技术要点

现代防雷技术强调全方位防护、综合治理、层层设防。通信和信息系统的防雷及过电压保护是一项系统工程，必须贯彻整体防护思想，综合运用分流（泄流）、均压（等电位）、屏蔽、接地和保护（箝位）等各项技术，构成一个完整的防护体系，才能取得明显的效果。

雷电过电压保护的基本原理是在瞬态过电压的极短时间内,在被保护区域内的所有导电部件之间建立一个等电位,这种导电部件包括了供电系统的有源线路和信号传输线,也就是说为了保证信息系统免遭雷击,要在极短的时间内,将高达数倍于十千安的雷电流从电源传输线和信号传输线分流或传导入地。

### 三、通信站防雷对象、现状情况与雷击隐患

#### 1、防雷对象

本研究与实施项目主要为浙江台州电网狮子岩(微波)通信站的综合防雷改造,共涉及6块内容,分别为:低压变压器的移位及低压铠装电缆的埋设、均压等电位的改造、接地降阻、低压供电线路过电压防护、机房屋顶避雷网的改造与设置、雷电记录器的安装。主要保护10kV变压器、交流配电屏、开关电源、微波通信设备等电子设备。

#### 2. 现状情况

狮子岩通信站地处浙江台州三门和临海二县交界点,海拔600m,呈东西走向的山脊上,山崖陡峭,北面山坡坡度80°左右,地面覆盖层最厚处不超过30cm,部分岩石裸露,岩质为白云质灰岩,灰白色,隐晶质结构,微密,岩心完整,无渗蚀现象,含水量小,导电性能差,等效土壤电阻率为 $5000\Omega\cdot\text{m}$ ,微波铁塔高为85m,年雷暴日在50天/年左右。

- **外部防雷情况:** 现役通信机房屋顶设有避雷带( $\Phi 10$ 圆钢,已腐烂),通信机房的北侧20米处建有85米高的微波铁塔,相当于接闪器,微波机房处于保护范围之内。
- **原有地网敷设情况:** 通信机房地网与铁塔地网组成一个共地网(接地电阻为 $12\Omega$ ),10kV变压器无单独地网,变压器的接地通过电缆沟内的钢管连接到铁塔地网上。
- **机房接地情况:** 通信机房内四周沿墙设有均压带( $40\times 4\text{mm}$ 扁铁,单点接地网相连),电缆沟内设有接地汇流排( $40\times 4\text{mm}$ 扁铁),电源防护SPD及设备接地线采用10或 $16\text{mm}^2$ 黄绿色BVR线就近与汇流排相连。
- **供电线路过电压防护情况:** 10kV变压器输出的电缆经穿管埋地(山石上筑沟人工敷土)后进入机房,室内过电压防护采用了三级防护措施(交流第一、二级,直流第三级)
- **机房屏蔽:** 通信独立机房建筑物本身未采取屏蔽措施。

#### 3. 雷击隐患

狮子岩通信站的防雷接地系统虽已按照原部颁的《电力系统通信站防雷运行管理规程》进行了改造。但是,从近几年的运行情况来看,各站的雷害仍然严重,雷击隐患主要为:

- 1) 狮子岩通信站地处雷电高发区域,年雷暴日在50天/年左右。物理位置又处于高山顶峰,附近或周围的雷暴活动频繁且活动大,在雷电流泄流路径周围存在强烈的电磁脉冲震

荡，使得机房内的微波通信系统设备容易损坏。

- 2) 当建筑物外部接闪装置（铁塔或楼顶避雷带）接闪时，强大的雷电流通过引下线向地泄放，在这过程中会以引下线为中心在建筑物周围产生高频的电磁场，这个高频的电磁场会通过耦合和传导的形式，使其周围的各种导线（如高压输电线路、380V 交流电源、天馈线等）产生感应过电压（流）侵袭损坏通信设备。
- 3) 雷电流下泄过程中直接击中通信站系统外连的线路，雷电流沿线路侵袭设备，存在此种威胁的线路主要是指通过雷暴活动区域的线路。对微波站来讲，即为高压线路和天馈线。若高压线路受雷，首当其冲，损坏的是 10kV 变压器（另克已多次被打断），雷电流通过 10kV 变压器感应到低压侧，有可能造成机房内交流配电设备（屏）损坏，或开关电源损坏。由于整流回路中串联着变压器及滤波电感，在其直流输出端雷电波将受到很大的减弱，但是仍有可能使部分抗过电压能力较弱的通信设备遭受损坏。另外与交流电源相连的电源监控设备也可能受到损坏；若天馈线受雷，那么微波通信设备首当其冲。这是因为一方面通信设备直接与天馈线相连，另一方面，通信设备中的电路集成度较高，抗过电压的能力较弱。在这种情况下，如果雷电流足够大，还可能沿直流供电线路对机房内的整流设备造成损坏。
- 4) 当雷击机房所在的铁塔或建筑物时，由于接地电阻较大（ $12\Omega$ ），且均压等电位措施不够完善，强大的瞬态雷击电流将引起地电位的急剧升高，势必对靠近雷电泄流通道的通信设备造成反击。

## 四、高山微波站综合防雷的设计

### 1、设计原则

现代防雷技术综合运用拦截（接闪）、分流（泄流）、均压（等电位）、屏蔽、接地、保护（箝位）和滤波等各项技术，构成一个完整的防雷体系。本方案主要为高山微波通信站综合防雷防过电压的设计。

### 2、高山微波站综合防雷改造措施

#### 2.1 外部防雷——避雷针

高山微波站的外部防雷措施首先是在微波站的铁塔上安装避雷针，这种方法经济简单，但要严格按照以下要求进行安装。

- ①. 避雷针应当装设在高于天线尖端数米的地方，避雷针与天线之间应有一定的间隔，以防由于避雷针的存在而损坏天线的辐射图形影响通信效果。
- ②. 避雷针引下线的直流通路的电阻要求足够低，由于雷电浪涌电流较大，频谱较宽且持续时间短，因此要求必须有尽量小的电感量。

③. 为增大地表屋的泄放面积，可埋设由具有一定间隔的多根接地体组成的接地网，且相互焊接构成一个闭合接地网。

## 2.2 微波站的接地系统

### (1) 连接与接地

正确的连接和接地可有效地防止由于地电位的变化而对微波设备造成的危害。等电位连接，可以起到均衡电位的作用。微波站的机房应设置环形接地母线，并不少于三点与地网连接。所有站内设备都连接到站内的接地环母上，最好每一个机架用一根接地线直接连接到母线上。

### (2) 接地网

微波站的接地网由机房地网、铁塔地网和变压器地网组成，同时应将机房建筑物的基础(含地桩)及铁塔基础内的主钢筋作为接地体的一部分。

微波天线应在其避雷针的保护范围内。避雷针与引下线应可靠焊接连通，机房屋顶应设避雷网且与屋顶避雷带焊接连通；微波站机房四角应设雷电流引下线，该引下线可利用机房四角房柱内两根以上的主钢筋，其上端应与避雷带焊接连通下端应与地网均压环焊接连通。

## 2.3 接地电阻的降低

在传统的接地工程中，通常使用扁铁、铜棒等作为接地材料。在山区沙石土壤或高阻土壤中使用，需加入食盐、木炭等，现在发展为使用化学降阻剂以及非金属接地模块，均可起到使接地电阻有所降低的作用。

① 非金属接地模块具有较强的保湿性和吸湿性，充分发挥了接地体中电解质的导电作用，增大了接地体和土壤的接触面积，从而增大了接地体本身的散流面积，减少了接地体和土壤的接触电阻。

② 化学降阻剂是普遍使用的一种接地材料，接地电阻降低效果比较显著。因为化学降阻剂渗透性极强，在灌到接地体坑内几分钟后就可以通过沙石缝向土壤深层渗透。凝固后，它紧紧包裹在接地体周围并与土壤紧密接触，形成一个较大的导体。该导体在大地中出现树枝状的延伸体，产生树枝效应，这样就可以大大降低接地电极与土壤表面的接触电阻，起到降阻的功效。

## 2.4 过电压防护措施

微波系统供电线路分布广，是金属材料用量最多的线路之一，大量供电线路仍以架空为主体，雷电冲击波容易从供电线路侵入并破坏电源设备，甚至损坏用电设备。根据雷害事故的统计分析，在雷害事故中 60%以上是因供电线路引起的，因而供电线路防雷是微波站整

个系统防雷的关键之一。

#### (1) 最大限度地降低高压线进线端遭雷击的概率

提出改造方案：将架空线进线段改用铠装埋地电缆入站，电缆两端安装高压氧化锌避雷器。

#### (2) 低压供电线路的过电压防护

虽然对高压进线段作了防雷保护，但是保护段以外的电力线仍有遭雷击的可能。一旦出现这种情况，部分雷电波仍会沿电力线侵入机房。

#### (3) 物理信息端口过电压防护

数据传输线路、微波（卫星）天馈线路、计算机网络数据传输线路等对防雷电浪涌有更高要求，感应雷击是计算机网络雷害事故的主要原因。

#### (4) 通信站天馈线系统的防护

微波站的发射和接收天线比较高，其天线馈线较长。馈线的屏蔽接地是微波站防雷的主要环节之一，因此要求馈线在天线端、中间、进入机房前采取三点接地处理。馈线较长的可在中间再增加接地点，以保证其接地的可靠性。为消除感应雷击，在天线馈线系统中可安装天馈浪涌保护器。

## 五、实施方案

为了确保狮子岩微波通信站的防雷体系更为坚固，进一步提高抵御雷害的可靠性，本改造方案共提出了 6 项改造措施，分别为：变压器的移位及低压铠装电缆的埋设、均压等电位的改造、接地降阻、低压供电线路过电压防护、机房屋顶避雷网的设置、雷电记录器的安装。

### 1、变压器的移位及低压铠装电缆的埋设

(1) 在停车场靠北面处的电线杆处新立一根电线杆，在离地面约 2m 处固定变压器的安装支架，将原位于狮子岩微波站最高处铁塔下方的 10kV 变压器移至该位置上。

(2) 在围绕电线杆四周敷设一组接地装置，作为变压器的地网。接地装置的水平接地极采用 50×5mm 热镀锌扁钢，埋设深度为距地面 0.7m 以下，垂直接地极采用非金属接地模块，并采用降阻剂或优质土进行回填。

(3) 进行凿岩开沟，低坑处回填，变压器至机房的穿管埋地电缆采用 3×16 + 1×10mm<sup>2</sup> 的多股铜芯铠装电缆，总长度为 230 米。

(4) 泥土回填，砌砖，埋地钢管壁厚不小于 0.35mm，一端与变压器地网相连，另一端与机房地网均压环连接，中间每隔 5m 进行一次接地，在无接地的位置，设置一根垂直接地极（5#角钢）。

## 2、均压等电位的改造

根据 DL548-94《电力系统通信站防雷运行管理规程》及 GB50343-2004《建筑物电子信息系统防雷技术规范》的要求，狮子岩微波站的均压等电位的改造措施如下：

### 2.1 室外均压等电位改造

(1) **机房地网均压环的设置：**沿微波站围墙四周增设一条均压环，均压环材料选用镀锌扁钢，规格为 50×5mm，埋地深度大于 30cm。该均压环与机房建筑物基础横竖梁内的 2 根以上主钢筋以及机房的延伸地网进行多点焊接。

(2) **铁塔地网均压环的设置：**沿铁塔四周增设一条均压环（50×5mm 镀锌扁钢），均压环每隔 3~5 米与铁塔地网进行一次连接，且不少于 4 点。

(3) **微波站地网的组成：**将机房地网、铁塔地网各自的均压环分别采用两条及两条以上 50×5mm 镀锌扁钢相互进行焊接，且每条连接线的埋地距离不小于 15m。

(4) **外墙均压环：**沿微波机房所在的建筑物外墙增设三圈均压环，均压环材料采用镀锌扁钢，规格为 40×4mm，与金属门窗，环母引下线焊接连通。

### 2.2 机房室内均压等电位改造

(1) 在微波通信机房内沿墙四周敷设规格为 40×4mm 的紫铜排作为环形接地母线，距地面高约 100mm，每间隔 800 mm 用绝缘子与墙面绝缘可靠连接。环形母线采用四点接地，对称连到机房地网的均压环上，外引线采用 50×5mm 热镀锌扁钢（或 40×4mm 紫铜排），每条引下线之间间隔不得大于 18 米。

(2) 均压带、引下线每隔 15cm 用中黄、中绿油漆间隔涂刷。

(3) 在桥架上敷设汇流排（40×4mm 紫铜排），汇流排与桥架每隔 1000mm 用螺丝固定，汇流排两端与均压带相连，在靠近设备处的桥架汇流排每隔 50cm 预留  $\Phi$ 8mm 安装孔，以作设备接地用。

(4) 机房内的设备机架接地线采用 25mm<sup>2</sup>BVR 黄绿线就近与桥架汇流排相连，各接地材料之间的连接方式采用焊接或热熔焊接。当采用气焊有困难（如气焊时的高温对附近线路产生影响）时，可采用  $\Phi$ 6mm 铜螺栓压接，螺栓数量不少 4 颗，中间加涂 DG-1 型导电膏，厚度 $\leq$ 0.03mm。

## 3、接地降阻

良好的接地是防雷中至关重要的一环。接地电阻值越小，过电压值就越低。因此，在经济合理的前提下应尽可能降低接地电阻。根据现场测量，狮子岩接地电阻为 12 欧姆，改造后要求小于 5 欧姆，具体改造措施如下：

- 1) 上述第 2 项改造措施实施后,微波站地网即由机房地网、铁塔地网组成,并且利用了机房建筑物基础及铁塔基础内的主钢筋作为接地体的一部分,组成一个共网接地体。
- 2) 共网接地体的接地电阻采用延伸扩大接地面积的办法降阻,在地网外围增设 2 组环形网状接地装置。接地装置由水平接地体和垂直接地体组成,水平接地体采用 5#接地扁钢,周边为封闭式,垂直接地体采用非金属接地模块,每隔 3 米左右敷设一个,并与水平接地体进行焊接连接。
- 3) 埋深的接地体上端距地面应不小于 0.7 米,接地坑的回填采用优质土或降阻材料。
- 4) 该接地装置与地网均压环之间应每间隔 3—5 米相互焊接连通一次;
- 5) 接地体之间所有焊点,除浇注在混凝土中的以外,均应进行防腐蚀处理。防腐层厚度为 1CM 以上沥青涂层。

#### 4、低压供电线路过电压防护措施

狮子岩微波站供电线路的过电压防护改造措施如下:

- 1) 机房内的电源第一级 SPD 器件拆装至变压器低压侧。
- 2) 在机房供电线路入室处安装一套专用于基站的复合式电涌保护器(残压值 $\leq 1.5\text{kV}$ ),并配套相应的遥信模块(实现远程监察)及雷击计数器。
- 3) 在机房的空调及照明电源的输入端串联安装一只 5kVA 隔离变压器,在高频开关电源的交流输入端串安装一只带屏蔽的 10kVA 隔离变压器。
- 4) 在开关电源直流输出母线上安装一只直流电源电涌保护器。在直流供电设备前端各加装一只直流滤波器,共 6 只。

#### 5、机房屋顶增设避雷网

在微波机房屋顶增设避雷网(50×5mm 热镀锌扁钢),其网格尺寸不大于 5 米×5 米,且与屋顶避雷带(原避雷带已腐烂,更换为 $\Phi 12\text{mm}$ 圆钢)一一焊接连通,微波机房所在的建筑物五个角增设 5 条雷电流引下线(50×5mm 热镀锌扁钢),其上端与避雷带、中间与建筑物均压环、下端与机房地网均压环焊接连通。机房屋顶上其它金属设施分别就近与避雷带焊接连通。

#### 七、施工工艺要求

- 1) 电源 SPD 三相五线(A B C N G)连接导线必须采用黄、绿、红、黑、黄绿色多股铜芯线。
- 2) 为实现最佳的过压保护,SPD 的所有连接导线应尽可能短。
- 3) 电源 SPD 的接地导线:电源第一级为 25mm<sup>2</sup>黄绿色 BVR 线,电源第二级为 16mm<sup>2</sup>黄绿色 BVR 线,电源第三级为 6mm<sup>2</sup>黄绿色 BVR 线。

- 4) 电源 SPD 安装完毕，再检查接线是否正确，是否牢固，是否电气导通，检查无误后，电源 SPD 可以工作。
- 5) SPD 连接导线的走线、连线要求美观，如直线、弯线、连接头等，SPD 及导线要求整洁美观，连接牢固可靠。
- 6) 所有接地材料均选用免维护材料，以保持长久、稳定。

## 六、系统试运行报告

本项目于 12 月份完成系统安装、调试后，开始试运行，经过一段时间的试运行，系统如下：

- (1)、由于机房顶部增设了避雷网，避免雷击电磁波对通信设备冲击，使通信设备工作在一个较为安全的环境中。
- (2)、低压供电线路室内、室外都增加了防护器件，同时加装了屏蔽式隔离变压器，大大降低了雷电流的峰值。
- (3) 低压变压器的移位，将原有低压电缆埋地不到 10 米，增加到 230 米，使得线路引入雷电流最小。
- (4) 室外接地系统的改造，特别是通信站接地电阻的降低，使得雷电流泻流速度更快，避免了地电位升高反击现象的出现。

**截止目前该项目已经受一次较大等级的雷害，并通过考验。**