

Research on Lightning Protection and Grounding System of Radio and Television Satellite Uplink Station

Jun Liu Qianchuan Gu

Guizhou Provincial Radio and Television Bureau 751, Guiyang, Guizhou, 550002, China

Abstract

This paper discusses the lightning protection and grounding technology in depth for the high-definition radio and television satellite uplink system. Combined with the current situation of the site and the existing lightning protection design specifications, the standard of lightning protection classification of the high-definition radio and television satellite uplink system was understood. The lightning protection design is carried out for the high-definition radio and television satellite uplink system to be protected from lightning hazards, mainly from the direct lightning induction lightning and lightning wave intrusion and other corresponding lightning protection measures, combined with the detailed design of the lightning protection device on the project site, such as the lightning rod, lightning wire, lightning rod, down wire and grounding device are strictly calculated and designed, and finally the safety management of the lightning protection device is analyzed, and effective lightning protection and grounding measures are proposed to ensure the stable operation of the system.

Keywords

radio and television satellites; lightning protection and grounding; lightning protection design; lightning protection engineering

广播电视卫星上行站防雷接地系统的研究

刘骏 古黔川

贵州省广播电视局七五一台, 中国·贵州 贵阳 550002

摘 要

论文针对高清广播电视卫星上行系统, 深入探讨了防雷接地技术。结合现场的现状以及现有的防雷设计规范, 了解了高清广播电视卫星上行系统防雷等级划分的标准。针对高清广播电视卫星上行系统得到免遭雷电危害进行了防雷设计, 主要包括对直击雷感应雷以及雷电波入侵等设计了相应的防雷措施, 同时结合项目现场详细设计了防雷装置, 如对避雷针、避雷线、避雷杆以及引下线和接地装置等进行了严格的计算和设计, 最后对防雷装置的安全管理进行了分析, 提出了有效的防雷接地措施, 以确保系统的稳定运行。

关键词

广播电视卫星; 防雷接地; 防雷设计; 防雷工程

1 引言

雷电属于一种自然现象, 也可以将其看作是出现在大气层中极具有破坏性的声、光、电物理反应, 其形成的电压可超过 100 万伏, 瞬态电流则超过数十万安培, 通常在雷击点的 1.5~2.5km 半径内都会形成危险电涌。它的出现会对人类社会带来不容忽视的影响, 其中, 由此产生的危害从古至今都影响着大千世界所有生物的生命。在当代电子信息社会实现快速发展的背景下, 雷电彰显出独特性, 且造成的危害范围逐步拓宽, 不仅覆盖建筑、电力等传统领域, 而且还辐射到各个行业, 尤其是和微电子技术有直接相关的行业, 例如: 国防安全、网络通信、电子工程、石油开采、化

工科研等。

闪电击中建筑物后, 由雷电波、过电压等顺着线路侵入; 并转换成空间闪电的脉冲电磁场, 从而形成一个巨大的三维空间, 在整个空间范围内侵袭电子设备、危及人身安全、无孔不入的造成灾害。

由于技术的持续发展, 微电子技术已经渗透到所有行业中, 但是其元器件相对灵敏、脆弱, 极易遭到雷电电磁脉冲的破坏, 引起功能下降。这种现象造成的直接或间接性损失是非常严重的。所以, 在当前防雷技术层面, 必须体现出现代性、综合性等优势, 具体来说, 则需要由直击防雷转变成现代化的综合性防雷。

2 雷电入侵的途径

雷电对建筑物和电子、电气设备造成灾害的渠道很多, 一般可分为以下几类。

【作者简介】刘骏 (1969-), 男, 中国贵州贵阳人, 本科, 高级工程师, 从事卫星传输研究。

2.1 直击雷雷击

雷电直接波及建筑物，由此能够释放大量的能量，形成非常强烈的电效应、机械效应、热效应等，从而对建筑物带来非常严重的破坏。

2.2 闪电电涌

闪电电涌又称作是雷电波，它属于闪电直击防雷系统或线路及经闪电静电感应或雷击电磁脉冲等造成的，属于非常典型的过电压、过电流等瞬态电波。因为雷电通常会对金属物、架空或电流线路等造成破坏，并由此能够波及建筑物，从而对人员生命安全及财产等造成威胁。

2.3 闪电静电感应

因为雷云的影响，导致周围导体中形成和雷云符合完全不同的电荷。在放电的情况下，中和先导通道的电荷，于导体中形成感应电荷，若并未在附近利用防雷设备传至地下，则会形成极高电压。

2.4 闪电电磁感应

因为雷电流变化极快，在其附近形成瞬态强电波磁场，导致周围导体形成极强的电动势效应。

2.5 闪电感应

当闪电放电的过程中，在四周导体中形成的雷电静电或电磁等感应，通常会导致金属物形成电火花。

2.6 雷电电磁脉冲

雷电电磁脉冲（Lightning Electromagnetic Pulse），是雷闪产生的电磁效应，包含闪电电涌和辐射电磁场。其传播渠道非常多，如果闪电击中避雷设备接闪器，或在建筑物周围出现时，那么作为发生源的闪电通道则会向附近极远之处以波的形式进行传输，它可以在各种导线上（电源线、信号线）产生电涌并沿导线侵入建筑物内部。远处落雷甚至视线以外的雷闪产生的雷电电磁脉冲也可能沿导线悄然进入建筑内干扰、损坏电子设备^[1]。

2.7 反击

因为雷电流形成，导致正常状态下处在低电位的导体诸如接地体等电位增大，造成导体放电，此现象又称为“反击”，也可以将其称作是“逆闪络”。若要解决这一问题，一般有两种方法：①作等位连接，通过金属导体或电涌保护器将其衔接在一起，使其发生雷击的情况下电位相同。②扩大二者的间距。

3 雷电的防护措施

根据闪电危害的特点以及入侵方式表明，雷击属于一个非常复杂的物理变化，并非利用一两种先进防雷技术就能够完全规避，或者削弱其破坏力，必须根据其侵入路线，对所有可能形成雷击的原因逐一剔除，通过综合防治手段诸如：接闪、屏蔽、电涌保护、接地、分流等来解决，方可达到安全有效防雷的目的。

3.1 接闪

接闪装置一般是人们经常使用的避雷带、避雷线、避雷针等，它能够避免特定范围的雷电随意释放，且仅根据人们提前确定的防雷通道来放电，逐渐将雷电能量平稳地转移到地面中。

3.2 分流（泄流）

把接闪器捕捉到的雷电通过引线的方式将其转移到接地系统中，由此能够让雷电能量逐步转移到地面下。增加引线的数量，促使雷电能量的释放力度大幅提升，并且还能够有效地降低建筑物中的电磁感应。

3.3 屏蔽

屏蔽是用来弱化雷电电磁效应的一个常见手段，对信息系统来说非常关键。它主要是借助于金属网、壳或管道等导体将一些亟待安全防护的对象环绕起来，让雷电电磁波的侵入路径受到阻挠。全部的屏蔽套、壳等都必须与大地相连接，由此能够有效地预防雷电电磁脉冲对电子产品造成的破坏及干扰。

3.4 等电位连接

等电位连接属于雷电安全保护的一个常见方法，其基本理论的创建是由国内外很多学者通过对雷闪过程的观察形成的。其内容强调的是：雷电电流并非一个电压源，却属于一个电流源，标准地讲，则属于一个电流波。雷电造成的破坏效应取决于强大的电流属性，却并非放电过程中形成的高电压，在雷电能量释放的过程中如果侵入电子设备，那么雷击就持续了；若在全局设备及管道及建筑物中没有形成电位差，那么其释放渠道则能够根据预先设定的标准与大地相接，由此达到设备防雷的目的。所以，完全消除雷电造成的具有破坏性的电位差，则是防雷的一个重要原理，若要达到这一目的必须实现等电位连接。对一个系统的外露导电部位进行设计，使其当作等电位连接的导体，由此创建一个网络系统称等电位连接网络。其中，外露道路部分包括：信号线、金属管、电源线、金属物件、建筑物中的钢筋结构等，它们都需要利用电涌保护装置实施等电位连接，由于接闪器在启动时，引下线会形成高电位，则会对防雷系统附近处在低电位的导体形成旁侧闪烁，导致其出现高电位，由此会对人员及设备安全等造成威胁。很多保护区域都需要进行区域性的等电位连接，随后还需要将其和主等电位相连接，方可创建一个系统、标准的等电位连接网络^[2]。

3.5 电涌保护

电涌保护属于当前防雷行业的一个重要应用，是保障电子产品或系统安全的一个必要策略。雷电电磁效应形成干扰源，一般将其称作是能量脉冲，它不但能够形成过电压，而且还能够形成电磁或电流等辐射效应。所以，雷电电磁脉冲并非属于过电压，或者过电流等现象，则被看作是一类能量冲击，故而将其命名成“电涌”（Surge）或“浪涌”，

它一般会对供配电装置中的电子或电气系统等造成破坏，特别是对弱电设备的稳定运行造成干扰，必须采取相应的防护措施。在所有和外部相连的导体诸如数据线、通信管道、电力电源线等和防雷系统或接地设备之间需要串联或者并联一个电涌保护装置（SPD），如果直击雷或雷电电磁在线路中形成的电涌顺着导线转移至室内或装置中，那么 SPD 的电阻会瞬间降到最小值，使其形成短路，把雷电电涌经此处引导至接地装置，通过接地装置将雷电能量泄放到大地上。待雷电电涌释放后，依旧还会有一些残余能量顺着导线转移至装置中，从而破坏那些耐压性弱的电子设备，所以在选择电涌保护器时，应根据各种设备的耐冲击过电压额定值，采取分层次（分区）多级防护。除此之外，还应根据线路的敷设情况、被保护设备的抗扰度及雷电防护等级等来确定电涌保护器的数量。

3.6 接地

接地是雷电防护中重要的环节，接地不好，所有防雷措施的防雷效果都不能有效发挥出来，甚至扩大灾害程度。不管是内部防雷措施、外部防雷措施，都必须为其提供一条合理的低阻抗通道让雷电电流安全地与地面相连，却不可使其能量聚集在防雷设备的某一区域，从而会对被保护物造成严重破坏。

接地一般可分为：防雷（建筑物或电涌保护器）、设备安全、屏蔽或静电、交流或直流接地等。

接地系统通常需要配置共用接地装置（离地），不提倡独立接地。共用接地系统由接地装置和等电位连接网络组成。采用共用接地系统的目的是达到均压、等电位以减小各种接地设备间、不同接地系统间的电位差。其接地电阻因采取了等电位连接措施，所以按接入设备要求最小值确定接地

电阻值。

外部防雷措施主要由接闪器诸如避雷针、避雷网、避雷带及引下线、接地设备等构成，其目的主要吸引雷电并尽快和畅通无阻地将雷电流引入大地中安全泄放。而内部防雷措施则是防闪电电涌、闪电静电感应、闪电电磁感应、闪电感应及雷电电磁脉冲所产生的电磁效应、电涌等侵入造成电子电气设备毁坏的技术措施，这是外部防雷无法保证的。因此、一项完整的防雷系统工程，是由外部防雷措施和内部防雷措施组成的，如果被分割，势必留下安全隐患^[3]。

4 防雷区（LPZ）

在做防雷设计之前，我们先来了解一下防雷区的概念，才能综合的、安全有效地设计好防雷系统方案。

层次性是物质世界的一个根本性质，也是系统的根本特征之一。现代综合防雷系统也是有层次性的，在《建筑物防雷设计规范》第六章雷电电磁脉冲中提出了防雷区（LPZ），如图1、图2所示。

① LPZ 0A 区：该区中的所有物体都存在遭受雷击风险；该区中的电磁场效应并未减弱。

② LPZ 0B 区：该区中的所有物体遭受超过所选滚球半径的雷电袭击的风险比较低，但是该区中的电磁场效应并未减弱。

③ LPZ 1 区：该区中的所有物体直接遭受雷击的概率为零，通过所有导体的电流明显小于 LPZ 0B 区；该区中的电磁场效应或许会减弱，主要与屏蔽作用有关。

④ LPZ_{n+1} 后续防雷区：如要求不断减弱流经的电流、电磁场效应等，则需要扩大后续防雷区域的面积，且根据待保护对象的实际情况确定其环境标准。

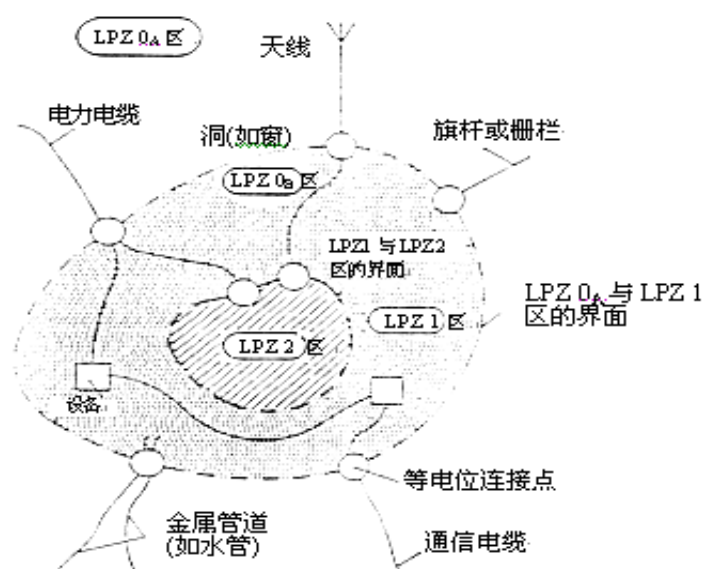


图1 把一个亟待防护的区域划分成各类防雷区的基本准则

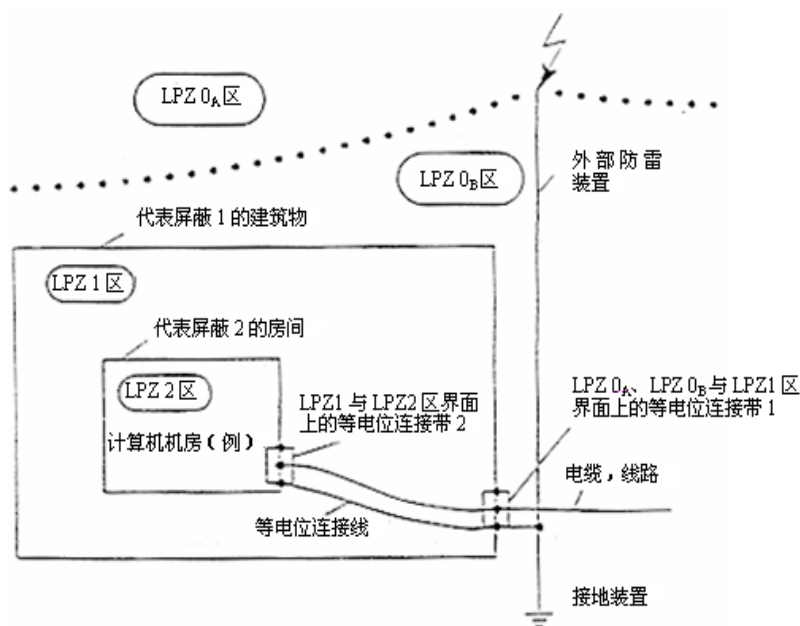


图2 把一建筑物划分成若干防雷区、满足标准规定的等电位连接的案例

层次分析法告诉我们在研究和处理问题时，要重视和发挥“中介”的作用，促使事物整体化发展。所有防雷保护区周围的等电位连接、电涌保护系统等都是利用屏蔽、分流、电涌保护与接地技术等配置的，能够让侵入的干扰源能量逐步减弱。LPZ0区主要是拦截（直接雷击的防护）；中介面LPZ0和LPZ1处为初级保护，装设（开关型或限压型）大通流容量电涌保护器；中介面LPZ1和LPZ2处为次级保护，进一步完善屏蔽、等电位连接、接地措施、装设限压型电涌保护器；中介面LPZ2后为精细保护，装设限压型、低残压型电涌保护器，更高要求完善屏蔽、等电位连接、接地措施。

信号线：所有信号线及天馈设备等都属于接收或感应雷电的重要载体。该站中的卫星接收天线中的天馈设备都没有实施防雷保护策略。尤其是其中的等电子系统存在抗电压性弱等情况，极易出现过电压现象而受到破坏。

5 设计方案

5.1 工艺高频接地体

在高功放室西侧场地，采用垂直预埋 $2000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的紫铜板做工艺高频室外接地体，接地电阻不大于 1Ω ；如果场地地质条件不能满足接地电阻要求时，可采用增加降阻剂或接地铜棒的施工措施，达到小于 1Ω 的接地电阻要求。另外，高频接地体应就近与台区新建的接地网做电气连接，并且高频接地体与台区新建接地网之间的相互搭接应不少于两个点。

5.2 设备机房内工艺接地系统

采用 $200\text{mm} \times 1\text{mm}$ 紫铜带做接地主干线，一端与室外高频接地体电气连接，另一端分别接入高功放室、小信号室及监控值班室；各室内工艺设备的接地采用M型（网状）

连接方式，即在活动地板下采用 $200\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 的铜带做接地支干线，以 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ 网格敷设，交叉处使用焊接；采用 $100\text{mm} \times 0.75\text{mm}$ 紫铜带做接地支线，将各个设备立柱的接地引出线汇接到紫铜带上；各室接地主干线分别沿电缆桥架敷设至高功放室外工艺高频接地体电气连接。另外各室内工艺设备的接地支干线 $200\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 的紫铜带，应与室内预留的等电位均压环 $40\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的紫铜带通过等电位连接器电气连接。

5.3 室外发射和接收天线工艺接地系统

在地球站机房楼南侧东边场地布置的一副 $\Phi 12\text{m}$ 和两副 $\Phi 9\text{m}$ 卫星发射天线，每副天线的接地系统均采用 50×5 镀锌扁钢做接地干线，与各自的基础主筋焊接，并与就近的新建台区接地网电气连接，与接地网电气连接点不少于两个点；每副天线的避雷针引下线及天线主体需与基础预留接地扁钢电气连接。接地电阻不大于 1Ω 。

在高功放室屋顶布置的一副 $\Phi 2.4\text{m}$ 卫星接收天线和二层屋面布置的一副 $\Phi 0.6\text{m}$ 微波天线的接地系统采用 40×4 镀锌扁钢做接地干线，一端与基础主筋焊接，另一端与屋顶避雷带接地引下端子电气连接，接地电阻不大于 1Ω ；同时将避雷针引下线与天线安装基础面上的预留接地扁钢电气连接。

在高功放室东侧场区地面布置的一副 $\Phi 3\text{m}$ 卫星接收天线的接地系统采用 40×4 镀锌扁钢围绕天线安装基础闭环敷设，并与基础主筋焊接，做接地干线，接地电阻不大于 1Ω ；同时将避雷针引下线与天线安装基础面上的预留接地扁钢电气连接。

各副天线的同轴馈线在天线处和机房设备处均分别接入同轴防雷器，防雷器需就近接地。

6 综合防雷系统

6.1 防直击雷措施

①根据该台站所处的地质特点和设备的重要性,此项目按二类建筑物设计;必须考虑直击雷的各种隐患,如直击雷、侧击雷、滚雷等因素。

②现台站新建三座室外卫星天线,新建室外三副卫星天线;分布位置:左(Φ9m卫星天线)最高点为10.5m;居中(Φ12m卫星天线)最高点为15.2m;右(Φ9m卫星天线)最高点为10.5m。

③台站原有避雷针(值班室屋面)针高13m,距离左边新建Φ9m卫星天线中心为29.5m。

依据GB50057—2010《建筑物防雷设计规范》,保护范围根据滚球法计算,原有避雷针在水平面的保护半径为31.64m可保护左侧卫星天线;

此副天线处于原有避雷针保护范围。

④现需对室外新建右边(Φ9m卫星天线)和(Φ12m卫星天线)进行直击雷防护。

拟在台站凉亭旁增设一座25米高避雷塔对其进行保护,新建避雷塔距右边Φ9m卫星天线中心为36.5m,距Φ12m卫星天线中心为34.4m。

根据GB50057—2010《建筑物防雷设计规范》;按滚球法计算新建避雷塔25m在水平面上的保护半径为40.31m。此两副天线在保护范围内。

并在塔顶部增设提前放电避雷针,采用35mm²的软铜芯线与地网连接;作为防直击雷、侧击雷、滚雷保护措施。

另将避雷塔任意两角引下线在土层中连接室外防雷接地装置,能够有效的泄流。

6.2 等电位连接处理

机房金属设备、室外卫星接收天线等做等电位连接处理,室外金属物构件采用-40×4热镀锌扁钢或φ12mm的镀锌圆钢做等电位连接并接地;机房内设备等电位连接采用φ16mm²多股软铜芯线进行连接处理。

6.3 防感应雷措施

根据建筑物电子信息系统防雷技术规范:(所有防雷器电源部分产品均为DEHN产品)需在台站的总电源前端分别安装一台100kA三相电源防雷器作为一级电源浪涌保护(共计2套);每个分配电箱及重要设备室分别安装一套40kA三相电源防雷器作为二级电源浪涌保护共计6套;在机房设备及其他设备电源端分别安装20kA三相电源或单相

电源等防雷系统,可以将其看作是Ⅲ级浪涌保护(共计15套);另采用防雷插座对重要弱电设备作精细保护;在卫星天线高频头安装同轴信号浪涌保护器。(根据现场实际情况可做安装位置的调整)。

所有防雷器及重要性金属物设备需做好防雷接地处理,并且与室外防雷接地网相互连接。其中,全部防雷系统接地引出线都选择的是25mm²的软铜芯线,按照就近原则与室内(均压环)地网相接。

6.4 防地电位反击措施

在机房加装雷电矢量控制箱以防止地电位反击。

6.5 防雷接地网建设

室内均压环建设:围绕机房装置后侧配置紫铜排(口字型或田字形),这属于室内设备系统的均压环,同时利用-40×4mm热镀锌扁钢超外出,和引下线、室外地网等对接。

包括高清UPS机房、高低压配电房等所有机房均需设置均压。

室外地网建设:根据项目现场周边地质情况。需在台站周边土壤较好处开挖水平地沟,埋设环形水平接地体(50×5mm热镀锌扁钢)、垂直接地体(离子接地极、防雷接地模块),水平接地体埋设深度不得小于0.5m,垂直接地体不小于1~2m,所有沟槽内材料用降阻剂包裹再回填土壤。

所有开挖尺寸根据现场开挖地面可作调整,台站室外防雷接地电阻值≤1Ω。

注:根据台站建筑物及设备接地端走向,将原有防雷接地网进行重新埋设安装,原有地网将新建室外防雷接地网与原有室外防雷接地网相互连接,并且不少于两处。

7 结语

防雷接地是高清广播电视卫星上行系统中不可或缺的重要环节。通过合理的设计和实施,可以有效地提高系统的抗雷击能力,保障系统的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 任更新.基于广播电视卫星上行站的质量检测系统性能研究[J].电声技术,2023,47(9):121-124.
- [2] 蒋志祥.广播电视发射台防雷接地系统改造[J].电视技术,2023,47(4):101-103.
- [3] 王伟.探讨卫星电视接收天线系统的防雷与接地问题[J].卫星电视与宽带多媒体,2019(19):2.