

关于变电站防雷接地技术的研究

邱成骏

华汇工程设计集团股份有限公司福建分公司

摘要: 本论文针对110kV变电站防雷系统提出并解决一些相关问题, 主要内容包括变电站直击雷防护、感应雷防护、变配电设备的防护、110kV变电站电源系统防雷保护及避雷器的选用、变电所弱电系统防雷保护、SPD的安装方法、综合自动化变电站二次系统防雷措施、电解离子接地系统在变电站接地网改造中的设计计算、二次系统的防护、建筑物的防护等。

关键词: 变电站; 雷电波; 防雷保护; 接地技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.07.074

一、绪论

电力系统的安全运行有两方面的要求, 一是要保证设备和及人生安全, 二是要保证电力系统的正常运行^[1]。这些都与接地装置的设计是分不开的。

雷电也是一直危害电力系统安全可靠运行的重要因素之一。随着科学技术的发展, 避雷器制造水平的提高以及金属氧化物避雷器的推广使用, 使变电站一次高压部分的雷电过电压的保护得到了保证。但另一方面, 随着电力系统自动化程度的提高, 以微电子为主要元件的控制、保护、信号、通信、监控等设备得到普遍应用。由于常规电磁保护的装置单元多为单元件的电阻、电感和电容等, 耐热容量大, 对尖峰脉冲的耐受能力也比较强, 所以能承受高能的雷电暂态冲击, 而对于运行电压只有几伏, 信号电流只有微安级的这些电子设备来说, 就不一定经受的住。电气和电子技术是现代物质文明的基础, 虽然其迅猛发展促进了生产力的发展, 加速了社会繁荣与进步的进程, 但同时也带来了麻烦问题: 一方面, 电气和电子设备的广泛应用造成了严重的环境电磁噪声干扰; 另一方面, 电子技术正向高频率、高速度、微型化、网络化和智能化方向发展, 电磁干扰、特别是雷电干扰对这些设备和系统的影响越来越突出, 对这些设备造成的损坏事故的发生率逐年增高。电子信息系统受损后, 除直接损失外, 间接损失往往很难估量, 这是90年代以来雷电灾害最显著的特征。

二、变电站的防雷保护

(一) 变电站的直击雷保护

变电站直击雷的防雷措施有:

(1) 防止反击: 设备的接地点尽量远离避雷针接地引线的入地点, 避雷针接地引下线尽量远离电气设备。

(2) 装设集中接地装置: 上述接地应与总线地网连接, 并在连接下加装集中接地装置, 其工频接地电阻不得大于 10Ω 。

(3) 主控室(楼)或网络控制楼及屋内配电装置直击雷的保护措施。①若有金属屋顶或屋顶有金属结构时, 将金属部分接地。②若屋顶为钢筋混凝土结构, 应将其钢筋焊接成网接地。③若结构为非导电的屋顶时,

采用避雷带保护, 该避雷带的网络为 $8\sim 10\text{m}$ 设引下线接地。

而架构避雷针是变电站防直击雷的常用措施, 避雷针是防护电气设备、建筑物不受直接雷击的雷电接收器, 其作用是把雷电吸引到避雷针身上并安全地将雷电流引入大地中, 从而起到保护设备效果; 雷击避雷针后, 不出现反击。

(二) 变电站的侵入波保护

变电所的雷电侵入波保护靠两道防线: 一是设置进线保护段, 以减少危险雷电侵入波产生的机会; 要限制流经避雷器的雷电电流幅值和雷电波的波度, 就必须对变电站进线实施保护。二是在变电所内装设避雷器, 以限制雷电侵入波过电压的幅值。变电站对侵入波的防护的主要措施是在其进出线上装设阀型避雷器, 避雷器装设在被保护物的引入端, 其上端接在线路上, 下端接地, 一般安装在变电站母线上。阀型避雷器的基本元件为火花间隙和非线性电阻。目前, SFZ系列阀型避雷器, 主要用来保护中等及大容量变电站的电气设备。FS系列阀型避雷器, 主要用来保护小容量的配电装置。

基于上述情况, 本文提出在多雷地区新设计110kV敞开式变电所时MOA宜装设在每回进线的断路器线路侧。并通过对110kV 敞开式变电所雷电侵入波过电压的计算分析, 给出了MOA的最大保护距离。

对于新设计的变电所宜在每回进线的断路器线路侧装设MOA, MOA至变压器之间的电气距离最远, 其值超过最大保护距离时应适当考虑在母线上或变压器支路上增设MOA。

在标准的制订过程中, 曾对 $35\sim 220\text{kV}$ 敞开式变电所采用MOA后的保护距离进行过大量的计算研究, 研究中采用“耐雷可靠性相对比较法”确定最大保护距离, 即以采用普通阀式避雷器(FZ)保护时变电所的耐雷可靠性指标作为“基准”, 以采用MOA保护时变电所的耐雷可靠性指标为“目标”, 调整MOA至变压器间的距离, “目标”接近或优于“基准”时的距离为MOA的最大保护距离。

110kV敞开式变电所在单进线、两种布置方式时。将MOA装在进线和母线上两种位置进行比较, MOA至变压器间的最大保护距离均取文献[1]中规定的数值, 对于110kV变电所进线保护段长度为 1km 时为 55m , 进线保护段长度为 2km 时为 125m ; 斜线两侧的数据分别为BIL为 950kV 和 850kV 时的最大保护距离。

110kV敞开式变电所在两回进线、两种布置方式时, 将MOA装在进线和母线两种位置时进行比较, MOA至变压器间的最大保护距离暂取文献[1]中规定的数值, 对于110kV变电所, 进线保护段长度为 1km 时为 85m , 进线保护段长度为 2km 时为 170m 。

显而易见, 在3回、4回进线情况下, 装在进线上

MOA的数量随之增加，与MOA装在母线上相比，保护效果将更加优越。从理论上讲，2回及以上进线情况下，MOA装在进线上与MOA装在母线上相比较，MOA至变压器间的最大保护距离会逐渐扩大，但考虑到实际变电所中MOA至变压器间的距离不会太长，现行过电压标准[1]规定的数值已经较大，因此未进行扩大距离的详细计算，可取现行过电压标准中规定的数值。当有超过最大保护距离规定值的情况时，可按照本节采用的方法进行装设，一般不必再增设MOA。

(三) 变电站的进线段保护

对全线无避雷线的35~110kV架空线路，应在变电所1~2km的线路上架设避雷线，此段线路称进线段。

对全线有避雷线的架空线路，将距变电所2km长的一段线路叫做进线段。

在进线段内，避雷线的保护角应适当减小，以减少在进线段发生绕击的机会，并采取措施提高其耐雷水平，以减少进线段发生反击的机会，使雷击线路导线发生在进线段以外的地方。^[2]

(四) 避雷针与避雷线的保护范围的计算

避雷针的保护范围，以它能防护直击雷的空间来表示。1994年的《建筑物防雷设计规范》则规定采用IEC推荐的“滚球法”来确定。

所谓“滚球法”，就是选择一个半径为 hr （滚球半径）的球体，沿需要直击雷的部位滚动，如果球体直接接触到避雷针与地面，而不触及需要保护的部位，则该部位就在避雷针的保护范围之内。

按实际运行经验校验后，我国标准目前推荐 d_1 和 d_2 应满足下式要求：

$$\begin{aligned} d_1 &\geq 0.2R_1 + 0.1h, \\ d_2 &\geq 0.3R_1 \\ d_1 &\geq 0.2 \times 4.5 + 0.1 \times h, \\ d_2 &\geq 0.3 \times 4.5 \end{aligned}$$

在对较大面积的变电所进行保护时，采用等高避雷针联合保护要比单针保护范围大。因此，为了对本站覆盖，采用四支避雷针。被保护变电所总长108.5m，宽79.5m，查手册，门型架构高15m。避雷针的摆放如图1所示。

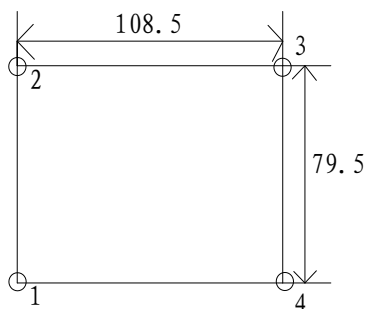


图1 避雷针装置

$$\begin{aligned} D_{12}-D_{34} &= 79.5\text{m}; \quad D_{23}-D_{14} = 108.5\text{m}; \\ D_{\max} &= \sqrt{79.5^2 + 108.5^2} = 135\text{m} \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$H_0 = h - \frac{D}{7} \quad (式3.2)$$

所以，需要避雷针的高度 h 为：

$$h = 15 + \frac{135}{7} = 34.3\text{m} \quad (2.2)$$

四只避雷针分成两个三只避雷针选择。

验算：首先验算1、2、3号避雷针
对保护的高度：

$$1、2号针之间的高度：h_0 = 34.3 - \frac{79.5}{7} = 23\text{m} > 15\text{m}$$

$$2、3号针之间的高度：h_0 = 34.3 - \frac{108.5}{7} = 18.8 > 15\text{m}$$

1、3号针之间的高度：

$$h_0 = 34.3 - \frac{\sqrt{108.5^2 + 79.5^2}}{7} = 34.3 - 19 = 15.1\text{m} > 15\text{m}$$

由上可见，对保护物的高度是能满足要求的。

对保护宽度：

$$1、2号针的保护宽度：b_x = 1.5 (h_0 - h_x) = 1.5 (23 - 15) = 12 > 0$$

$$2、3号针之间的宽度：b_x = 1.5 (h_0 - h_x) = 1.5 (18.8 - 15) = 5.7 > 0$$

由此可见，对保护物的宽度是能满足要求的。

所以，1、2、3针是满足要求的。

由于4针的摆放是长方形，所以，134针也是满足要求的。即，四只高度选为35m的避雷针能保护整个变电所。

(五) 变压器的保护

变压器的基本保护措施是在接近变压器处安装避雷器，这样可以防止线路侵入的雷电波损坏绝缘。

装设避雷器时，要尽量接近变压器，并尽量减少连线的长度，以便减少雷电电流在连接线上的压降。同时，避雷器的连线应与变压器的金属外壳及低压侧中性点连接在一起，这样就有效减少了雷电对变压器破坏的机会。

变电站的每一组主母线和分段母线上都应装设阀式避雷器，用来保护变压器和电气设备。各组避雷器应用最短的连接到变电装置的总接地网上。避雷器的安装应尽可能处于保护设备的中间位置。

三、变电站的防雷接地

变电站接地包含工作接地、保护接地、雷电保护接地。工作接地即为电力系统电气装置中，为运行需要所设的接地；保护接地即为电气装置的金属外壳、配电装置的构架和线路杆塔等，由于绝缘损坏有可能带电，为防止其危及人身和设备的安全而设的接地；雷电保护接地即为为雷电保护装置向大地泄放雷电流而设的接地。变电站接地网安全除了对接地阻抗有要求外，还对地网的结构、使用寿命、跨步电位差、接触电位差、转移电位危害等提出了较高的要求^[3]。

（一）接地概述

接地根据工作内容划分为以下几种：

（1）工作接地

工作接地是为系统正常工作而设置的接地。如为了降低电力设备的绝缘水平，在及以上电力系统中采用中性点接地的运行方式，在两线一地的双极高压直流输电中也需将其中性点接地。除主设备的接地外，在微电子电路中，根据电路性质不同，还有各种不同的工作接地比如直流地、交流地、数字地、模拟地、信号地、功率地、电源地等。

（2）防雷接地

为了避免雷电的危害，避雷针、避雷线和避雷器等防雷设备都必须配以相应的接地装置以便将雷电流引入大地。

（3）安全接地

为了保证人身的安全，将电气设备外壳设置的接地。任何接地极都存在着接地电阻，正因为如此，当有电流流过接地体时，在接地电阻上的压降将引起接地极电位的升高电流在地中扩散时，地面会出现电位梯度。

（二）接地电阻

根据主接地网的接地电阻计算公式，计算得出该变电站接地电阻： $R=1.413\Omega$ 。但是按接地设计规程对接地电阻的要求 $R \leq 2000 / I$ ，其中， I 为入地短路电流， 8.95kA 。计算后得： $R=0.223\Omega$ 。

接地电阻就是电流由接地装置流入大地再经大地流向另一接地体或向远处扩散所遇到的电阻，它包括接地线和接地体本身的电阻、接地体与大地的电阻之间的接触电阻以及两接地体之间大地的电阻或接地体到无限远处的大地电阻。

（三）变电所接地装置

由计算可知，主接地网的接地电阻为 1.413Ω ，而按接地设计规程计算接地电阻为 0.223Ω ，因此，该站接地系统设计拟采取降阻措施。需将接地电阻降至 0.5Ω 以下，验算是否满足接地装置的跨步电位差和接触电位差的要求。

该站接地降阻材料采用物理型石墨复合接地体和石墨降阻剂，在水平接地主网上包裹石墨降阻剂和垂直敷设石墨复合接地体形成复合接地网，达到降低工频接地电阻值、瞬间泄流的目的。

在主接地网、其外沿一周及与避雷针相连处，重要设备附近采取降阻措施来增大接地体的有效接地面积，从而达到降低接地电阻的目的。

（四）变电站的接地原则

变电站接地网设计时应遵循以下原则：

（1）尽量采用建筑物地基的钢筋和自然金属接地物统一连接地来做为接地网；

（2）尽量以自然接地物为基础，辅以人工接地体补充，外形尽可能采用闭合环形；

（3）应采用统一接地网，用一点接地的方式接地。

（五）降低变电所接地装置工频接地电阻的措施

（1）接地引线电阻，是指由接地体至设备接地母线间引线本身的电阻，其阻值与引线的几何尺寸和材质有关。

（2）接地体本身的电阻，其电阻也与接地体的几何尺寸和材质有关。

（3）接地体表面与土壤的接触电阻，其阻值与土壤的性质、颗粒、含水量及土壤与接地体的接触面积及接触紧密程度有关。

（4）从接地体开始向远处（20米）扩散电流所经过的路径土壤电阻，即散流电阻。决定散流电阻的主要因素是土壤的含水量。

（5）垂直接地体的最佳埋置深度是指能使散流电阻尽可能不而又易于达到的埋置深度。决定垂直接地体的最佳深度，应考虑到三维地网的因素，所谓三维地网，是指垂直接地体的埋置深度与接地网的等值半径处于同一数量级的接地网。

（6）接地体的通常设计，是用多根垂直接地体打入地中，并以水平接地体并联组成接地体组，由于各单一接地体埋置的间距仅等于单一接地体长度的两倍左右，此时电流流入各单一接地体时，将受到相互的限制而妨碍电流的流散，即等于增加各单一接地体的电阻，这种影响电流流散的现象，称为屏蔽作用。

（7）化学降阻剂的应用，化学降阻剂机理是，在液态下从接地体向外侧土壤渗出，若干分钟固化后起着散流电极的作用。

四、结论

本文在以前的基础上对变电站设备的防雷保护进行了设计，主要工作总结如下：1. 系统地分析了雷电的形成以及雷电由一次系统侵入二次系统的途径，通过雷电的危害实例，分析了对二次系统的影响。对于110kV变电站的不同防雷需要，选用了不同的防雷措施；2. 根据变电站的实际面积和防护需要，利用“滚雷法”计算出避雷针的高度；针对雷电主要从电源系统侵入二次系统弱电设备，提出一种新的电源系统保护方案；4. 雷电流沿地网散流时，会经地线对弱电设备造成干扰，针对上述问题，本文设计了降低接地电阻、改善电位分布、等电位连接以及金属屏蔽接地等抑制地电位干扰的有效措施。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 建筑物防雷设计规范GB 50057-94[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014: 3-5.
- [2] 张一尘. 高电压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 118-120
- [3] 李景禄. 接地装置的运行与改造[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015: 85-92.