

高山通信塔防雷技术研究

姜建平 马沈鞍 (鞍山市防雷技术研究所 鞍山 114004)

摘要 以岫岩药山这一典型高山通信塔防雷设计工程为例,论证了关于防雷接地、接触电势及跨步电势与人身安全的关系,从中总结出高山防雷的技术理论。

关键词 防雷技术 接地 接触电势 跨步电势 人身安全

1 工程概况

为了加大信号的覆盖面,经常在高山上设信号转播塔。但由于高山地形特殊,一般为多雷区,输电线路复杂,在山峰顶又要架设一座高铁塔(塔上设置天线),因此遭受雷击机会较多,使机房内设备和值班员的人身安全受到威胁。

岫岩药山电视差转台,设在海拔 728 m 的双剑峰上,双剑峰顶建一高 44 m 的铁塔。距塔下 50m 垂直处是机房,峰顶至机房为整体岩石,无土层,机房下 20 m 有 10~30 cm 厚度不均的土层。阳面坡度 80°,全部为裸露岩石。背阳坡流水道有部分土层。根据岫岩县气象局多年资料,此地为雷雨多发区,年雷暴日大于 40 d,土壤电阻率极高,大于 1 000 $\Omega \cdot m$ 。

2 电视差转台的防雷基本措施

电视差转台的防雷设计,应以保护人身和设备的安全为主,尤其应以值班人员的安全为主要目标。设计重点应在出现雷击时,使值班人员不受危害,设备不受损坏。因此,我们采用了现代防雷系统工程技术,它包括直击雷防护,防止和抑制雷电电磁脉冲干扰,防止各种传输形式造成的危害等环节。采取的保护措施概括为:消减,拦截,屏蔽,均压,分流和接地等处理。属于为层层设防的总体防雷设计。

2.1 消减处理

近年来,我国已广泛使用消雷技术。消雷与传统的避雷针防雷法有本质上的不同。避雷针这种传统防雷方法,已使用 200 a 以上,由于受条件的局限,避雷针仍存在安全系数不够理

想和防护面积狭窄等弊端。避雷针是被动避雷,雷击不可避免。雷击发生后,它将强大的雷电流引入大地泄放。消雷器是主动消雷,使雷击不能产生或消减。在雷击形成前,它以感应电离激发出离子流,将雷电荷中和于空中,瓦解雷电能量,以先发制雷的方式实现主动消雷,使其保护范围内直击雷不会出现。在双剑峰顶铁塔上装一套感应电离消雷装置消雷器,从整体防雷来说,第一道防线是较稳妥的。

2.2 拦截处理

为了防止侧击雷损坏设在铁塔平台上的天线,我们设计在铁塔 30, 20 m 处分别加两层防侧击的避雷针,安装时高于天线,并分别做良好的接地。

2.3 屏蔽处理

机房是一座 3 层楼。在土建图纸上,我们特别对屏蔽进行了处理,要求梁中所有钢筋都有电气连接,并分 4 处接到地网上,形成“动态屏蔽笼”,可防止雷电感应的电压对人身和设备的危害。

2.4 均压一等电位处理

将铁塔的接地网与机房的接地网连接在一起,另外还有一个索道接地网,3 个网都连接在一起,使之成为一个均压网。此技术还可以降低接触电势和跨步电势。从塔底到机房的波导管有 50 m 长,在外皮与塔身连接的同时,多加了一条悬空避雷线。并把机房到塔底的一条 50 m 顺岩石架设的作业铁梯两端与中间分别与地网连接,可保护人身安全,防止波导管引雷

入室。

2.5 分流处理

分流是指在均压的同时与大地的接触点尽量多一些,分散雷电流,降低电压降。我们要求楼内设备与地网要有多点接触,可使分流充分。要求机房内所有金属物件,如机器外壳、电缆的金属外皮、管道等均与接地线连接。并对天馈线、电源进行了防雷设计,安装了多级防雷器件。

2.6 接地处理

接地处理是防雷的一个重要环节,也是消雷、屏蔽、分流的基础,如没有良好的接地,上述技术相当于无用。由于双剑峰的特殊地理条件,工程的难点就是接地。一是施工困难,二是降阻技术难度大。要求降阻材料使用长效降阻剂,由于该降阻剂是液态,而山上又很难找到一块平地,浇灌定型难度较大,施工起来很困难,为此在施工时采用一些降阻模块。但总体是以 $\phi 12$ 的钢筋为主,搭设地网的骨架。在塔底、机房底、索道房底分别设3个放射状地网,加降阻剂,岩石地进行爆破。3个放射地网再因地制宜地连在一起。山顶地网等电位,接地电阻尽量做到 $5\ \Omega$ 以下。

勘探时山顶塔底有土层。但实际施工时发现土层很浅,并且面积很小,机房地网,索道房地网也有此类问题。后经进一步勘察,发现背阳面山坡流水沟有较厚土层,距山顶有 $60\sim 70\text{ m}$,我们重新设计将塔底4个角每角引出3根钢筋,呈放射状顺山势向阳坡底方向敷设遇土入地,绕开岩石,实在绕不开就从上面越过,最后到达土层较厚处,浇降阻剂或埋降阻模块入地进行良好施工,使机房和索道地网就近与此连接多处。这样山顶整个罩了一个铁网帽,并多处进行良好接地。经检测都在 $4\ \Omega$ 以下,较好地完成了防雷的基础工作。

3 防雷接地、接触电势及跨步电势与人身安全的关系

由于药山双剑峰顶地网已形成网帽状,在雷雨天必须要产生接触电压和跨步电压,那么对山顶的游人或工作人员的人身安全就会有影响,其影响程度可从以下几个方面讨论。

3.1 理论上地网的面积是否能实现

网状接地装置的接地电阻计算

$$R = 0.5(\rho/\sqrt{S}), \text{ 则 } S = (0.5\rho/R)^2$$

式中,接地电阻要求值 $R = 5$,土壤电阻率 $\rho = 1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$,接地地网面积

$$S = (0.5\rho/R)^2 = 1\ \text{万}\ \text{m}^2$$

计算表明,在山头敷设一个边长为1万m的正方形地网是不可能的,一是需耗钢材150 t,二是施工不可能成为水平施工。因此在理论上地网面积是不可能实现的,只有因地制宜,使地阻降至最低。

3.2 保证设备和人身安全的主要措施

(1)安装消雷器、避雷针。

(2)均压,减小接触电压和跨步电压。

(3)屏蔽,防止感应过电压及直接雷击。

(4)避免电位转移,避免同时触及两种不同电位。

(5)降低接地电阻,降低对地电位。

3.3 雷击时接触电势和跨步电势的计算

冲击接地电阻,单独接地体冲击系数,接地装置冲击电位,工频接地电阻的计算公式分别为:

$$R_{ch} = (R_{ch}/h) \times (1/\eta_{ch})$$

$$\alpha = 1/(0.9 + 2.2I_{ch}\rho^{0.8}/L^{1.2})$$

$$E_{ch} = IR_{ch}$$

$$R = \rho(L_n L^3/hd + A)/2\pi l$$

则 $I_{ch} = 150/\text{kA}$, $\eta_{ch} = 0.8$, $R' = 125\ \Omega$, $\rho = 1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$

式中,h为水平放射接地体的根数。

代入公式计算得出表1—表2。

表1 接地装置的冲击地阻冲击电位

地点	R/Ω	R_{ch}/Ω	α	h	E_{ch}/kV
药山双剑峰	32.6	21.3	0.82	6	3 200

表2 最大接触电势最大跨步电势

地点	K_i	K_r	E_i/kV	E_p/kV
药山双剑峰	0.096	0.095	307	304

表2中, K_i 为接触系数, K_r 为跨步系数, E_i 为最大接触电势, E_p 为最大跨步电势。

取 $n = \infty$,计算跨步系数K时取接地网接

地体总长度与外缘边线总长度比 $L/L_1 = \infty$ 。

3.4 接触电势跨步电势允许值与人身安全

计算接触电势、跨步电势允许值分别为：

$$E_j = I_s(R_r + 0.5R_j) \quad E_R = I_s(R_r + 2R_j)$$

式中, I_s 为人的致死电流(单位:A), 取 $I_s = 30$ A。 R_r 为人体电阻(单位: Ω), $R_r = 1\ 500\ \Omega$ 。 R_j 为脚对地的接触电阻(单位: Ω)。

$R_j = 3\ 400\ \Omega$ 。代入上两式, $E_j = 660\ \text{kV}$, $E_R = 495\ \text{kV}$ 。

用 495, 660 kV 与表 2 中的 307, 304 kV 相比较, 虽然药山双剑峰站的最大接触电势和跨部电势的绝对值还很高, 但可保证人身安全。

4 小结

4.1 采用消雷装置, 可以有效地防直击雷, 并能减小雷电发生的频率和能量。

4.2 在敷设地网时应因地制宜, 根据地形情况浇灌降阻剂或埋降阻模块, 这样可以节省钢材和降低经济核算。

4.3 经过计算, 为保证山顶游人安全, 地网的敷设网格和线距要超过 3 m, 辐射性地网长度不应超过 80 m。

以上技术处理可以推广应用到高山顶通信塔, 达到较好的防雷效果和降低经济核算, 并能保证人身安全。