
第八章 防雷保护、接地及接零

第一节 煤矿企业建筑物及构筑物的防雷保护

一、对雷电活动的认识

(一) 雷电活动的一般规律

1. 热而潮湿的地区要比冷而干燥的地区雷电活动多。
2. 雷电活动与地理纬度有关，赤道雷电活动最高，由赤道分别向北、南逐渐递减。
在我国大致是：华南>西南>长江流域>华北>东北>西北。
3. 山区雷电活动多于平原，陆地多于湖海。
4. 雷电活动多在7~8月份，活动的时间大部在14~22时。各地区雷暴的极大值和极小值，多出现在相同的年份。

(二) 雷电活动的选择性

1. 土壤电阻率的相对值小，有利于电荷很快积聚的地方易受雷击。
 - 1) 大片土壤电阻率较大，局部小的地方易遭受雷击；
 - 2) 土壤电阻率突变的地方、最易受雷击。如岩石与土壤、山坡与稻田交界的地方；
 - 3) 岩石山或土壤电阻率较大的山坡，雷击点多发生在山脚，山腰次之；
 - 4) 土山或土壤电阻率较小的山坡，雷击点多发生在山顶，山腰次之；
 - 5) 地下埋有导电矿藏（金属矿、盐矿）的地区，易受雷击；
 - 6) 地下水位高、矿泉、小河沟、地下水出口处，易受雷击。
2. 有利于雷云的形成与相遇的地形易受雷击。
 - 1) 雷击机会的分布是：山的东、南坡多于山的西、北坡；
 - 2) 山中的局部平地受雷击机会大于狭谷（因狭谷较窄，不易曝晒和对流、缺乏形成雷暴的条件）；
 - 3) 湖边、海旁遭受雷击机会较少，但海滨如有山丘，则靠海的一面山坡遭受雷击的机会较多；
 - 4) 雷暴走廊与风向一致，风口和顺风口的河谷，一般易受雷击。
3. 有利于雷云与大地建立良好放电通道的地方易受雷击。
 - 1) 空旷地中的孤立建筑物或建筑物群中的高耸建筑物易遭受雷击；
 - 2) 排出导电灰尘的厂房及废气管道，易受雷击；
 - 3) 屋顶为金属结构、地下埋有大量金属管道、室内安装大型金属设备的厂房易受雷击；
 - 4) 建筑群中个别特别潮湿的建筑物，如牛马棚、冰库等易受雷击；
 - 5) 尖屋顶及高耸建、构筑物易受雷击，如井架、水塔、烟囱、天窗、旗杆、消防梯等；

6) 屋旁大树、接收天线、山区送电线路易受雷击。

(三) 建筑物易受雷击的部位

根据模拟试验得出, 建筑物由于屋面坡度不同, 易受雷击部位分布情况见图8-1-1。

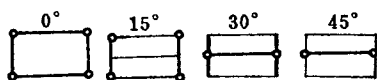


图 8-1-1 不同屋顶坡度建筑物
的雷击部位

○—雷击率最高的部位;
—可能遭受雷击的部位

根据实验分析认为: 屋顶的坡度不同, 建筑物受雷击的部位亦有所不同。屋角与檐角的雷击率最高, 屋顶的坡度越大, 屋脊雷击率越大, 当坡度大于40°时, 屋檐一般不再受雷击。

当屋面坡度小于27°, 长度小于30米时, 雷击点多发生在山墙。雷击屋面的可能性最小。

二、建筑物、构筑物防雷分类及防雷措施

根据建筑物、构筑物(以下简称建、构筑物)的性质及雷电事故的可能性和后果, 将煤矿企业的建、构筑物分为三类, 并依其类别的不同而采取相应的防雷措施 见表 8-1-1~表8-1-3。

(一) 建、构筑物的防雷分类

表 8-1-1 建、构筑物的防雷分类

防 雷 分 类		煤矿企业建、构筑物的防雷分类
分 类	危 险 程 度 说 明	
第 一 类	1. 建、构筑物中制造、使用或贮存大量爆炸物质(炸药、火药、起爆药、火工品等), 因电火花而引起爆炸、造成巨大破坏和人员伤亡者 2. 建、构筑物中在正常情况下, 能形成爆炸性混合物, 因电火花而引起爆炸者, 如Q-1级及G-1级场所	火药库、炸药库、瓦斯抽放站
第 二 类	1. 建、构筑物中制造、使用或贮存爆炸物质, 但因电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人员伤亡者 2. 建、构筑物中在不正常情况下能形成爆炸性混合物, 因电火花而引起爆炸者, 如Q-2级及G-2级场所	汽油库、雷管库、选煤厂主厂房、生产系统的选煤楼
第 三 类	1. 除第一类及第二类建、构筑物以外的爆炸、火灾场所, 按雷击的可能性及其后果对国民经济的影响确定需要防雷者 1) 建、构筑物中在不正常情况下, 只能在局部地区形成爆炸性混合物, 因电火花而引起爆炸, 如Q-3级场所 2) 有可燃物质的建、构筑物因电火花而引起火灾, 如H-1级、H-2级、H-3级场所 3) 保存有少量金属包装的爆炸物的房屋 2. 根据建筑物年可能雷击次数 $N \geq 0.03$ 次/年, 并结合当地雷击情况确定需要防雷者 3. 历史上雷害事故较多地区的重要建筑物 4. 高度一般在12~20米以上孤立的高耸建构筑物	制氧车间、主、副井井塔、水塔、烟囱、大型机械厂房

年雷击次数N的计算如下(经验公式)

$$N = 0.015nK(l + 5h)(b + 5h) \cdot 10^{-6} \quad (8-1-1)$$

式中 N——年雷击次数, 次/年;

n ——年平均雷暴日, 天;

$l \cdot b \cdot h$ ——建筑物的长 $\times$ 宽 $\times$ 高, 米;

K ——校正系数, 在一般情况下 $K = 1$ 。当在下列情况时: 位于旷野的孤立建筑物或金属屋面的砖木结构建筑物 $K = 1.6$; 建筑物群中超出25米, 旷野中超出20米的建筑物 $K = 1.7$; 位于河边湖边、山坡下或山地中土壤电阻率较小处、地下水露头处、土山顶部, 山谷风口等的建筑物以及特别潮湿的建筑物 $K = 1.8$; 地下有导电矿时 $K = 2.0$ 。

查表8-1-2数据, 可作为第三类建筑物是否需要防雷的参考。

表 8-1-2 雷暴日和建、构筑物高度防雷参考指标

分 区	年 平 均 雷 暴 日 n 天	建、构 筑 物 高 度 h m	备 注
轻 雷 区	$n < 30$	$h > 24$	防 直 击 雷
中 雷 区	$75 > n > 35$	平原 $h > 20$ 山区 $h > 15$	
重 雷 区	$n > 80$	平原 $h > 16$	
		山区 $h > 12$	

(二) 建、构筑物的防雷措施

表 8-1-3 建、构筑物的防雷措施

项 目	说 明
第 一 类	对第一类建、构筑物必须采取全面的防雷措施, 以防止直击雷、感应雷、高电位侵入等而引起的破坏性后果 1. 可装设独立避雷针或避雷线, 使被保护的建、构筑物处于被保护的范围之内 2. 避雷针及其引下线的全部构件和接地装置, 应与被保护的建、构筑物及与其有联系的金属物 (金属管道、电缆、导线等) 保持一定的距离, 应满足下式要求 地上部分: $S_1 \geq 0.3R_s + 0.1h_x$ (m) S_1一般不小于5米 地下部分: $S_2 \geq 0.3R_s$ (mm) S_2一般不小于3米 式中 R_s—接地装置的冲击接地电阻, 欧; h_x—被保护建、构筑物或计算点的高度, 米。 3. 避雷线离屋面和各种突出屋面的物体的距离, 应满足下式要求 $S_3 = 0.1R_s + 0.05l$ (m) S_3一般不小于3米 式中 l—避雷线的水平长度, 米。 4. 独立避雷针、线接地装置的冲击接地电阻应不大于10欧。对高土壤电阻率地区, 允许电阻值增长, 但必须满足2、3款规定的距离要求
第 二 类	1. 为防止静电感应, 建、构筑物内的金属物 (设备、管道、结构钢筋、电缆金属外皮等) 都应接到防感应雷的接地装置上。其接地电阻不大于10欧。如采用上述方法有困难时, 可在屋顶上装设网格不大于8~10米的金属网作为防静电感应的措施。金属结构或钢筋混凝土屋面的内钢筋 (经可靠的电气连接) 亦可代替金属网。金属网每隔18~24米用引下线接地一次 2. 为防止电磁感应, 长金属管道两端应接地。平行敷设的长金属管道 (包括电缆金属外皮), 当其接近距离小于100毫米时, 每隔20~30米用金属线跨接一次, 交叉接近距离小于100毫米及管道连接处, 不能保持良好接触时, 也应用金属线跨接 3. 防止感应雷的接地装置与防直击雷的接地装置应分开, 相互间距离不小于3米, 但与电气设备的接地装置共用 (相连), 接地电阻应满足最小要求 4. 防感应雷的接地装置一般在建筑物周围环形敷设

续表

项 目	说 明
第一类 防高电压侵入	1. 为避免沿电力线传入高电位, 最好使电气设备不设在室内 (如火药库照明) 2. 低压线路引入室内时, 可直接用电缆埋设方式, 电缆两端金属外皮应接地, 其接地装置可与防感应雷接地装置相连接 3. 允许从架空线上经一段不小于 50~100 米电缆引入室内。在电缆与架空线连接处, 应装设低压阀型避雷器, 且和杆上绝缘子铁脚、电缆金属外皮共同接地。其接地冲击接地电阻不大于 10 欧。引入端应与防感应雷接地装置连接 4. 金属管道架空引入建筑物时, 在入口处必须与防感应雷接地装置相连。管道在靠近建筑物 100 米内, 每隔 25 米接地一次, 其冲击接地电阻不大于 20 欧
第二类 防直击雷	1. 一般采用装设在被保护物上的避雷网或避雷针防直击雷。避雷网应沿屋脊、屋角、檐角和屋檐等易受雷击的部位敷设。并在屋面组成不大于 8~10 米的网格。多支避雷针应用金属带相连接 2. 金属屋面可做为接闪器, 但在屋顶上的非金属突出物 (如风管、烟囱等) 应加装避雷针或避雷带, 并和屋面引下线相连 3. 钢筋混凝土屋面的内钢筋可做为暗装避雷网, 但在山墙、屋脊、屋角等凸出部位应做重点保护 4. 引下线不应小于 2 根, 其间距不大于 24 米。引下线与附近的金属物之间距离按下式计算: $S_x = 0.04 l_x$ 式中 l_x —引下线计算点到地面的长度, 米 混凝土墙、砖墙的等效距离可按其厚度的 5 倍计算。如不能保持上述距离时, 金属物应与引下线相连 5. 钢筋混凝土电杆、基础内的钢筋作可靠的电气连接后, 总接驳电阻不大于 5 欧时, 可利用其钢筋作引下线和接地装置 6. 防直击雷接地装置一般沿建筑物四周敷设, 并和电气设备保护接地以及埋地金属管相连, 其冲击接地电阻不应大于 10 欧
第三类 防感应雷	1. 防止直击雷和防止感应雷接地装置共用, 不易设防感应雷接地装置。总的冲击接地电阻不大于 10 欧 2. 将建筑物内的主要金属物 (如设备、管道、构架) 和电气设备保护接地装置相连接, 以防静电感应。平行敷设的长金属物应符合第一类建、构筑物防雷电磁感应措施中之 2 款的规定, 以防电磁感应, 但用螺栓和丝扣连接的金属管道在其连接处不必另加跨接
第三类 防高电压侵入	1. 采用低压电缆埋地引入方式, 其要求与第一类同 2. 采用低压架空线引入时, 至少经 50 米的电缆引入建筑物内。入户端电缆金属外皮和电气设备保护接地装置相接, 电缆与架空线连接处, 应设阀型避雷器。避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚应共同接地, 其冲击接地电阻不应大于 10 欧 3. 爆炸危险性较小或年雷暴日在 30 日以下时, 允许架空线引入, 但必须保证: 1) 在入户处装设阀型避雷器或 2~3 毫米的保护间隙, 并和绝缘子铁脚共同接到保护接地装置上, 其总的冲击接地电阻不大于 5 欧 2) 在距建筑物 150 米以内的线段内, 每根电杆和绝缘子铁脚均需接地, 其冲击接地电阻除靠近建筑物第一根电杆为 10 欧外, 其余均为 20 欧 3) 架空和埋地金属管道在入口处应和防雷接地装置相连。离入户 25 米处需作一次接地, 其冲击接地电阻不应大于 10 欧
第三类 防直击雷	1. 第三类建、构筑物的直击雷防护, 可采用重点保护方式, 即根据雷击规律及被保护物的形式, 在其易受雷击的部位上装设避雷针或避雷带 采用避雷针时 1) 屋面的突出部分如天窗、风帽、烟囱、汽筒等加以保护 2) 平面屋顶及坡度不大于 1/10 的屋面: 屋角、女儿墙、屋檐等进行保护 3) 坡度大于 1/10, 小于 1/2 的屋面: 屋角、檐角、屋脊、屋檐等进行保护 4) 坡度不小于 1/2 的屋面: 屋角、屋脊、檐角等进行保护 采用避雷带时 1) 平顶或小坡屋顶, 屋脊和屋面高差小于 1 米, 当宽度小于 24 米时, 沿房屋四周的檐边进行保护。当

续表

项 目	说 明
第 三 类	宽度大于24米时,沿屋脊和房屋四周的檐边 2)陡坡屋顶,屋脊和屋檐高差大于1米,当宽度小于12米时,只沿屋脊,当宽度大于12米时,沿屋脊和房屋四周的檐边 3)屋顶面积很大时,除沿房屋轮廓线(屋脊、屋檐、山墙边)敷设避雷带外,还须加装补充网格尺寸为24×24米的避雷带 2.周长超过40米的建筑物,引下线不少于2根,其间距离不大于30米,当技术上处理有困难时,允许放大到40米 3.金属结构的烟囱、水塔、灯塔(桥)等构筑物,可利用本身做接闪器和引下线,但要求在构筑物外作妥善接地,接地点不少于2处 4.接地装置的冲击接地电阻不大于30欧,并和电气设备的接地装置相连
防 高 电 位 侵 入	1.为防止高电位沿低压架空线侵入建筑物,应将入户处或接户线电杆的绝缘子铁脚接地,其冲击接地电阻不大于30欧。但符合下列情况之一者,可不作上述接地: 1)平均雷暴日在30日以下 2)受建筑物遮蔽的地区 3)低压架空干线的接地点距入户处不超过50米 4)土壤电阻率在200欧·米及以下的铁横担钢筋混凝土电杆线路 2.进入建筑物的架空或埋设的金属管道,在入口处应和接地装置相连

三、避雷针、线保护范围计算

(一) 单支避雷针保护范围计算

避雷针保护范围用折线作图法求得见图8-1-2。

$OA = h$ 为避雷针高度,垂直于地平线 DD' 。以顶点A向下作 45° 斜线交于B、B'两点,在OA上取C点,令 $OC = 0.75h$,在 DD' 线上取 $OD = OD' = 1.5h$,连CD及 CD' ; AB、 AB' 与CD、 CD' 交于E及E', D'E'AED即所求之锥形保护范围。

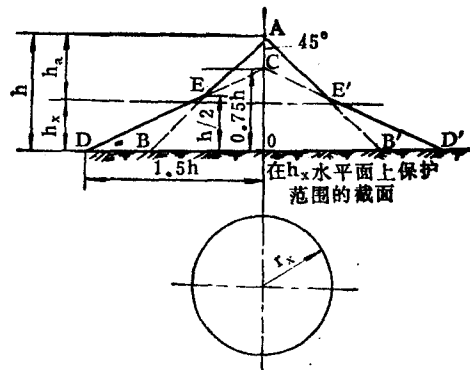


图 8-1-2 单支避雷针的保护范围

1. 避雷针在地面上的保护半径按下式确定

$$r = 1.5h \text{ (m)} \quad (8-1-2)$$

式中 h —— 避雷针的高度、米。

2. 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径 r_x 按下式确定

1) 当 $h_x \geq \frac{h}{2}$ 时:

$$r_x = (h - h_x)K_b = h_a K_b \text{ (m)} \quad (8-1-3)$$

2) 当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时:

$$r_x = (1.5h - 2h_x)K_b \text{ (m)} \quad (8-1-4)$$

4-8-6 地 面 供 电

式中 r_x ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径, 米;

h_x ——被保护物的高度, 米;

h_0 ——避雷针的有效高度, 米;

K_b ——高度影响系数, $h \leq 30$ 米, $K_b = 1$; $30 < h \leq 120$ 米, $K_b = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ 。

3. 单支避雷针在被保护高度 h_x 水平面上保护半径 r_x 按表8-1-4选择

表 8-1-4 单支避雷针在被保护高度 h_x 水平面上保护半径 r_x (m)

K _n	h	被 保 护 物 高 度 h _x , m																						
		5	6	7	7.3	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
1	10	5	4	3	2.7																			
	11	6.5	5	4	3.7																			
	12	8	6	5	4.7	4																		
	13	9.5	7.5	6	5.7	5	4																	
	14	11	9	7	6.7	6	5	4																
	15	12.5	10.5	8.5	7.9	7	6	5	4															
	16	14	12	10	9.4	8	7	6	5	4														
	17	15.5	13.5	11.5	10.9	9.5	8	7	6	5	4													
	18	17	15	13	12.4	11	9	8	7	6	5	4												
	19	18.5	16.5	14.5	13.9	12.5	10.5	9	8	7	6	5	4											
	20	20	18	16	15.4	14	12	10	9	8	7	6	5	4										
	21	21.5	19.5	17.5	16.9	15.5	13.5	11.5	10	9	8	7	6	5	4									
	22	23	21	19	18.4	17	15	13	11	10	9	8	7	6	5	4								
	23	24.5	22.5	20.5	19.9	18.5	16.5	14.5	12.5	11	10	9	8	7	6	5	4							
	24	26	24	22	21.4	20	18	16	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4						
	25	27.5	25.5	23.5	22.9	21.5	19.5	17.5	15.5	13.5	12	11	10	9	8	7	6	5	4					
	26	29	27	25	24.4	23	21	19	17	15	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4				
	27	30.5	28.5	26.5	25.9	24.5	22.5	20.5	18.5	16.5	14.5	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4			
	28	32	30	28	27.4	26	24	22	20	18	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5			
	29	33.5	31.5	29.5	28.9	27.5	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15.5	14	13	12	11	10	9	8	7	6			
	30	35	33	31	30.4	29	27	25	23	21	19	17	15	14	13	12	11	10	9	8	7			
	0.987	31	36.1	34.1	32.1	31.5	30.1	28.1	26.2	24.2	22.2	20.2	18.3	16.3	14.8	13.8	12.8	11.8	10.7	9.9	8.9	7.9		
0.972	32	36.9	35	33	32.5	31.1	29.2	27.3	25.3	23.3	21.4	19.4	17.5	15.6	14.6	13.6	12.6	11.7	10.7	9.7	8.7			
0.958	33	37.8	35.9	34	33.4	32.1	30.2	28.3	26.3	24.4	22.5	20.6	18.7	16.8	15.3	14.4	13.4	12.5	11.5	10.5	9.6			
0.943	34	38.7	36.8	34.9	34.3	33	31.1	29.2	27.3	25.5	23.6	21.7	19.8	17.9	16	15.1	14.2	13.2	12.3	11.3	10.4			
0.929	35	39.5	37.6	35.8	35.2	33.9	32	30.2	28.3	26.5	24.6	22.8	20.9	19	17.2	15.8	14.9	13.9	13	12.1	11.2			
0.917	36	40.3	38.5	36.7	36.1	34.8	33	31.2	29.3	27.5	25.7	23.8	22	20.2	18.3	16.5	15.6	14.7	13.8	12.8	11.9			
0.902	37	41	39.2	37.4	36.8	35.5	33.6	31.7	29.8	28	26.2	24.3	22.4	20.5	18.6	16.8	15.9	15	14.1	13.2	12.3			
0.892	38	41.9	40.1	38.3	37.7	36.4	34.5	32.6	30.7	28.9	27.1	25.2	23.3	21.4	19.5	17.7	16.8	15.9	15	14.1	13.2			
0.881	39	42.7	41	39.2	38.6	37.3	35.4	33.5	31.6	29.8	28	26.1	24.2	22.3	20.4	18.6	17.7	16.8	15.9	15	14.1			
0.870	40	43.5	41.8	40	39.4	38.1	36.2	34.3	32.4	30.6	28.7	26.8	24.9	23	21.1	19.3	18.4	17.5	16.6	15.7	14.8			

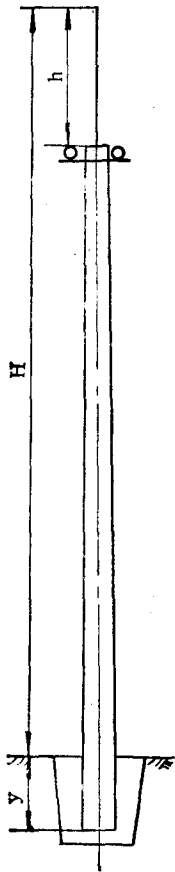
注: 粗折线下部适用于 $h_x < \frac{h}{2}$, 折线上部适用于 $h_x \geq \frac{h}{2}$ 。

4. 单支避雷针安装图选择见表8-1-5~表8-1-7 (选用电气装置国家标准图集D511)

1) 单支环形杆避雷针安装图选择见表8-1-5。

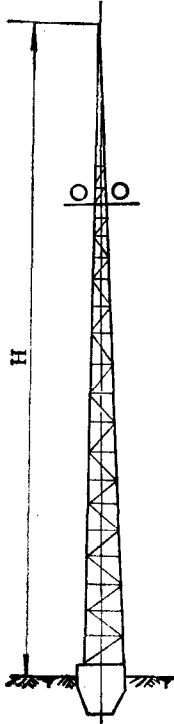
表 8-1-5 单支环形杆避雷针安装图选择

总高 H	针高 h	埋深 y	基本 风压 kg/m ²	地基 强度 T/m ²	照明 台	针号	安装 图页次	构 件 图 页 次
9	1	2	50 70	10 10	无 无	H ₁ H ₂	1	9、13、19、20、21
11	3	2	50 70	10 10	无 无	H ₃ H ₄	1	9、13、19、20、21
13	5	2	50 70	10 10	无 无	H ₅ H ₆	1	9、13、19、20、21
15	2.5	2.5	50	10	无 双	H ₇ H ₈	2 4	9、15、19、20、21 9、15、19、20、21、22、24、25
					无 单	H ₉ H ₁₀	2 3	9、14、19、20、21 9、15、19、20、21、22、23、24、25
					双	H ₁₁	4	9、17、19、20、21、22、23、25
					双	H ₁₁	4	9、17、19、20、21、22、23、25
17	4.5	2.5	50	10	无 双	H ₁₂ H ₁₃	2 4	9、15、19、20、21 9、15、19、20、21、22、23、25
					无 单	H ₁₄ H ₁₅	2 3	9、14、16、19、20、21 9、15、19、20、21、22、24、25
					双	H ₁₆	4	9、17、19、20、21、22、23、25
					双	H ₁₇	4	9、17、19、20、21、22、23、25
19	6.5	2.5	50	10	无 双	H ₁₈ H ₁₉	5 6	10、15、16、19、20、21 10、15、16、19、20、21、22、23、25
19	6.5	2.5	50 70	15 10	双 无	H ₂₀ H ₂₁	6 5	10、15、16、19、20、21、22、23、25 10、15、16、19、20、21
21	8.5	2.5	50	10	双 双	H ₂₂ H ₂₃	6 6	10、17、19、20、21、22、23、25 10、17、19、20、21、22、23、25
					无 双	H ₂₄ H ₂₅	5 7	10、16、19、20、21 10、15、16、19、20、21、22、23、25
					无 双	H ₂₆ H ₂₇	5 7	10、15、16、19、20、21 10、17、19、20、21、22、23、25
					双	H ₂₈	7	10、17、19、20、21、22、23、25
23	10.5	2.5	50	10	无 双	H ₂₉ H ₃₀	5 7	11、14、16、19、20、21 10、15、16、19、20、22、21、23、25
					无 双	H ₃₁ H ₃₂	5 7	11、15、16、19、20、21 11、18、19、20、21、22、23、25
					双	H ₃₃	7	11、18、19、20、21、22、23、25
					双	H ₃₃	7	11、18、19、20、21、22、23、25
25	10	2.7	50	10	无 双	H ₃₄ H ₃₅	8 8	11、14、16、19、20 11、18、19、20、22、24、25
					无 双	H ₃₆ H ₃₇	8 8	11、15、16、19、20 11、18、19、20、22、24、25
					无 双	H ₃₆ H ₃₇	8 8	11、15、16、19、20 11、18、19、20、22、24、25
					无 双	H ₃₆ H ₃₇	8 8	11、15、16、19、20 11、18、19、20、22、24、25



2) 单支钢筋结构避雷针安装图选择见表8-1-6。

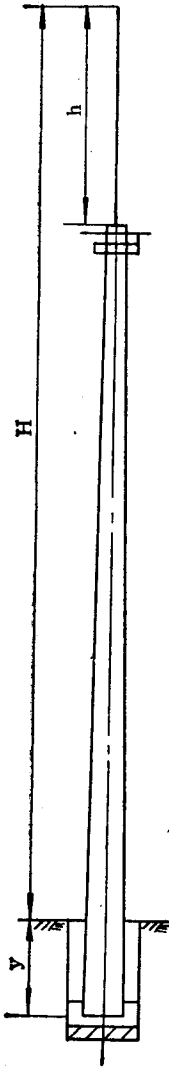
表 8-1-6 单支钢筋结构避雷针安装图选择

	总 高	基 本	地 基	照 明	针 号	安装图	构 件 图 页 次
	H	风 压 kg/m ²	强 度 T/m ²	台		页 次	
	20	50	10	无 双	G ₁	1	7, 8, 10, 11
					G ₂	1	7, 8, 10, 11, 14
			15	无 双	G ₃	1	7, 8, 10, 11
					G ₄	1	7, 8, 10, 11, 14
		70	10	无 双	G ₅	2	7, 8, 10, 11
					G ₆	2	7, 8, 10, 11, 14
25		50	10	无 双	G ₇	3	7, 8, 10, 12
					G ₁₀	3	7, 9, 10, 12, 14
			15	无 双	G ₁₁	3	7, 9, 10, 12
					G ₁₂	3	7, 9, 10, 12, 14
		70	10	无 双	G ₁₃	4	7, 9, 10, 12
					G ₁₄	4	7, 9, 10, 12, 14
			15	无 双	G ₁₅	4	7, 9, 10, 12
					G ₁₆	4	7, 9, 10, 12, 14
30		50	10	无 双	G ₁₇	5	7, 8, 9, 10, 13
					G ₁₈	5	7, 9, 8, 10, 13, 15
			15	无 双	G ₁₉	5	7, 8, 9, 10, 13
					G ₂₀	5	7, 8, 9, 10, 13, 15
		70	10	无 双	G ₂₁	6	7, 8, 9, 10, 13
					G ₂₂	6	7, 8, 9, 10, 13, 15
			15	无 双	G ₂₃	6	7, 8, 9, 10, 13
					G ₂₄	6	7, 8, 9, 10, 13, 15

3) 单支预制钢筋混凝土杆避雷针安装图选择见表8-1-7。

表 8-1-7 单支预制钢筋混凝土杆避雷针安装图选择

总高 H	针高 h	埋深 y	基本 风压 kg/m ²	地基 强度 T/m ²	照明 台	针号	安装 图页 次	构 件 图 页 次
10	1	2	50 70	10 10	无 无	T ₁ T ₂	1 1	9, 12, 13, 27, 28 9, 12, 13, 27, 28
12	2	2	50 70	10 10	无 无	T ₃ T ₄	1 1	9, 12, 13, 27, 28 9, 12, 13, 27, 28
14	3	2	50 70	10 10	无 无	T ₅ T ₆	1 1	9, 12, 13, 27, 28 9, 12, 13, 27, 28
16	1	2.5	50	10	无 单	T ₇ T ₈	2 3	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
				15	无 单	T ₉ T ₁₀	2 3	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
			70	10	无 单	T ₁₁ T ₁₂	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
				15	无 单	T ₁₃ T ₁₄	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
18	3	2.5	50	10	无 单	T ₁₅ T ₁₆	2 3	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
				15	无 单	T ₁₇ T ₁₈	2 3	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
			70	10	无 单	T ₁₉ T ₂₀	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
				15	无 单	T ₂₁ T ₂₂	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 19, 27~33
20	5	2.5			无	T ₂₃	2	9, 14, 15, 16, 27, 28
20	5	2.5	50	10	单	T ₂₄	3	9, 17, 18, 27~33
				15	无 单	T ₂₅ T ₂₆	2 3	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 27~33
			70	10	无 单	T ₂₇ T ₂₈	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 27~33
				15	无 单	T ₂₉ T ₃₀	4 5	9, 14, 15, 16, 27, 28 9, 17, 18, 27~33
23	6	3	50	10	无 单	T ₃₁ T ₃₂	6 7	10, 20, 21, 22, 27, 28 10, 23~33
				15	无 单	T ₃₃ T ₃₄	6 7	10, 20, 21, 28, 22, 27 10, 23~33
			70	10	无 单	T ₃₅ T ₃₆	6 8	10, 20, 21, 22, 27, 28 10, 23~33
				15	无 单	T ₃₇ T ₃₈	6 8	10, 20, 21, 22, 27, 28 10, 23~33
25	8	3	50	10	无 单	T ₃₉ T ₄₀	6 7	10, 20, 21, 22, 27, 28 11, 23~33
				15	无 单	T ₄₁ T ₄₂	6 7	11, 20, 21, 22, 27, 28 11, 23~33
			70	10	无 单	T ₄₃ T ₄₄	6 8	11, 20, 21, 22, 27, 28 11, 23~33
				15	无 单	T ₄₅ T ₄₆	6 8	11, 20, 21, 22, 27, 28 11, 23~33



(二) 多支避雷针保护范围计算

1. 两支等高避雷针保护范围 见图8-1-3

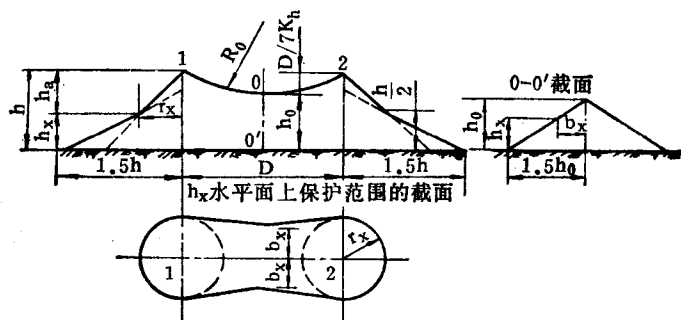


图 8-1-3 两支等高避雷针的保护范围

两针外侧的保护范围可分别按单支避雷针的保护范围确定；两针间的保护范围应按通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 0 的圆弧确定。圆弧的半径为 R_0 ，0 点为假想避雷针的顶点，其高度按下式计算

$$h_0 = h - \frac{D}{7K_b} \quad (8-1-5)$$

式中 h_0 ——两针间保护范围上部边缘最低点的高度，米；

D ——两针间的距离，米。

两针间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度按下式计算

$$b_x = 1.5(h_0 - h_x) \quad (8-1-6)$$

式中 b_x ——保护范围的一侧最小宽度，米。

当 $D = 7h_x K_b$ 时， $b_x = 0$ 。

求出 b_x 后，按图8-1-3即画出的两针间的保护范围，两针间距离与针高之比 D/h 不宜大于 5。

〔例 1〕 已知两支等高避雷针 $h = 27$ 米， $h_x = 10$ 米， $D = 70$ 米，求两针间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度 b_x

解：1. 因为 $h = 27$ 米 < 30 米， $h_x = 10$ 米 $< \frac{h}{2} = 13.5$ 米，由表8-1-4查得 $r_x = 20.5$ 米

2. $h_a = h - h_x = 27 - 10 = 17$ 米，由式8-1-5得

$$h_0 = h - \frac{D}{7K_b} = 27 - \frac{70}{7 \times 1} = 17 \text{ 米}$$

3. 由式8-1-6得 $b_x = 1.5(h_0 - h_x) = 1.5(17 - 10) = 10.5$ 米

2. 两支不等高避雷针

两支不等高避雷针的保护范围按图8-1-4确定，先按单支避雷针的计算方法，确定较高避雷针 1 的保护范围，然后由较低避雷针 2 的顶点，作水平线与避雷针 1 的保护范围相交于点 3，取点 3 为等效避雷针的顶点，再按两支等高避雷针的计算方法确定避雷针 2 和 3 间的保护范围。把避雷针 1 内侧保护范围直线和避雷针 2、3 保护范围弧线连接起来，即可得避雷针 1、2 的内侧保护范围，避雷针 2、3 顶点保护范围最低点的圆弧，其弧垂按

下式计算: $f = \frac{D'}{7K_h}$

式中 f —— 圆弧的弧垂, 米;

D' —— 避雷针 2 和等效避雷针 3 间的距离, 米。

3. 多支等高避雷针

三支和四支等高避雷针的保护范围分别按图8-1-5及图8-1-6确定。

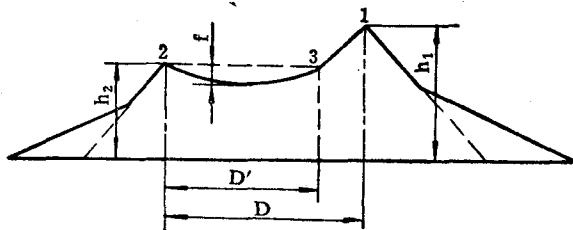


图 8-1-4 两支不等高避雷针的保护范围

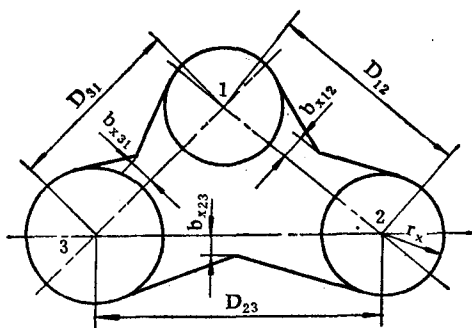


图 8-1-5 三支等高避雷针 1、2 及 3 在 h_x 水平面上的保护范围

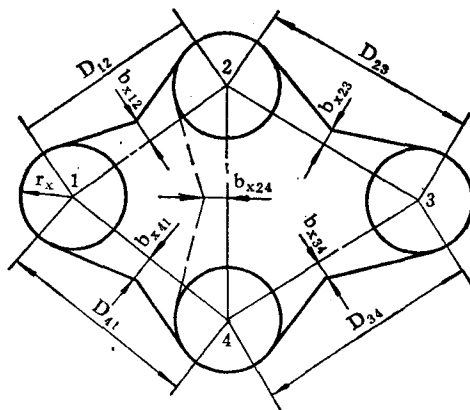


图 8-1-6 四支等高避雷针 1、2、3 及 4 在 h_x 水平面上的保护范围

(1) 三支等高避雷针所形成三角形 1、2、3 的外侧保护范围, 应分别按两支等高避雷针的计算方法确定, 如在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上, 各相邻避雷针间保护范围的一侧最小宽度 $b_x > 0$ 时, 则全部面积即受到保护。

(2) 四支及以上等高避雷针所形成的四角形或多角形, 可先将其分成两个或几个三角形, 然后分别按三支等高避雷针的方法计算, 如各边保护范围的一侧最小宽度 $b_x > 0$ 时, 则全部面积即受到保护。

(三) 避雷线保护范围的计算

1. 单根避雷线

保护变电所的单根避雷线的保护范围计算见图8-1-7。

从单根避雷线的顶点向下作与其垂线成 25° 的斜线, 构成保护空间的上部, 从距离避雷线底部两侧各 h 处 (因单根避雷线在地面上的一侧保护宽度为 h) 向避雷线 $0.7h$ 高度处作连接线, 与上述 25° 斜线相交, 交点以下的斜线内部构成保护范围的下部。

在被保护物高度 h_x 的平面上, 避雷线每侧保护宽度 r_x 按下式计算:

当 $h_x \geq \frac{h}{2}$ 时,

$$r_x = 0.47(h - h_x)K_h \quad (8-1-7)$$

当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时,

$$r_x = (h - 1.53h_x)K_b \quad (8-1-8)$$

式中 r_x ——每侧保护范围的宽度，米；

h ——避雷线高度，米。

2. 两根避雷线

1) 保护变电所的平行等高避雷线的保护范围见图8-1-8

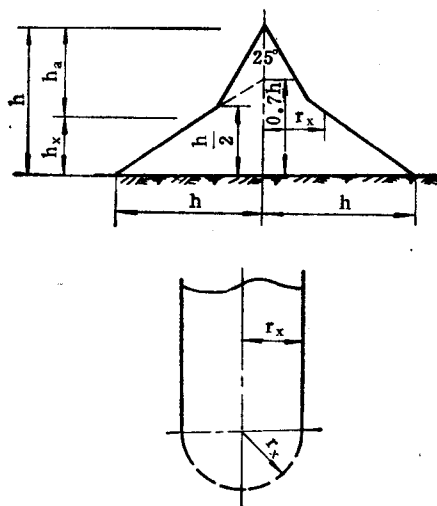


图 8-1-7 单根避雷线的保护范围

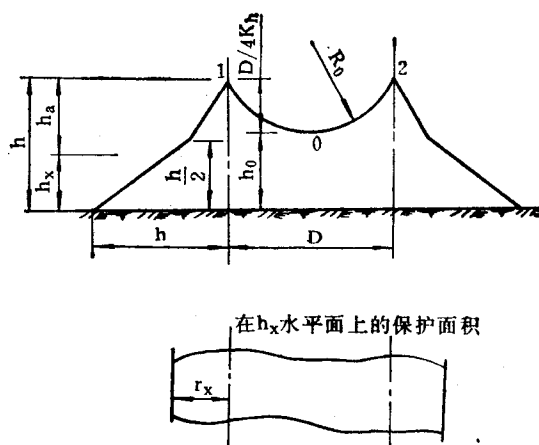


图 8-1-8 两根平行等高避雷线 1 和 2 的保护范围

两根平行等高避雷线外侧的保护范围，按单根避雷线的计算方法确定，内侧保护范围的横截面，由通过两根避雷线 1、2 点及保护范围上部边缘最低点 0 的圆弧确定，0 点的高度按下式确定

$$h_0 = h - \frac{D}{4K_b} \quad (8-1-9)$$

式中 h_0 ——两根避雷线间保护范围边缘最低点的高度，米；

h ——避雷线的高度，米；

D ——两根避雷线间的距离，米。

其端部保护范围，可按两支等高避雷针的计算方法确定，等效避雷针的高度可近似取避雷线悬点高度的80%。

2) 两根不等高避雷线的保护范围，可仿照两支不等高避雷针保护范围的计算方法，并参照两根等高避雷线的方法及式8-1-9进行确定。

(四) 避雷针和避雷线的联合保护范围计算

在必要时，可考虑相互靠近的避雷针和避雷线的联合保护作用。联合保护范围可近似地按下列方法确定，见图8-1-9。

将避雷线上的任一端点，近似看作一等效避雷针，其等效高度可近似地取该点避雷线高度的80%，然后分别按两针保护范围计算。求出其主要点的保护范围，即可确定其联合保护范围。

〔例 2〕 某35千伏变电所，其配电装置如图8-1-10，母线架高 5.5 米，进出线门型架

高7.3米, 要求确定避雷针的布置, 数量及高度。

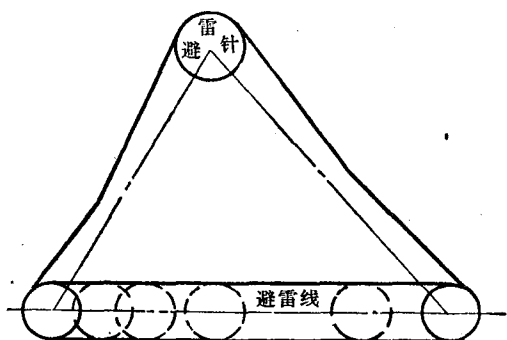


图 8-1-9 避雷针和避雷线的联合保护范围

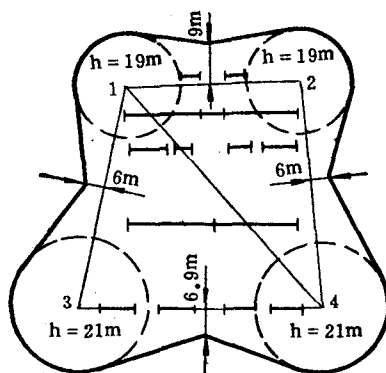


图 8-1-10 避雷针布置

解: 1. 避雷针的布置如图8-1-10所示。确定避雷针的布置时, 首先应考虑利用照明灯塔, 同时应满足避雷针与配电装置带电部分在地中和空气中应有最小距离要求, 即每支避雷针距架构5米以上, 其接地线在地下与设备接地线相距3米以上。

2. 求 h_a 及相应的 h

图中4支避雷针所形成的多角形, 可将其分成2个三角形, 每个三角形外侧按双支避雷针的方法计算, 当三角形相邻各对避雷针的 $b_x > 0$ 时, 则全部面积受到保护。

由双支避雷针保护范围计算可知, 当 $b_x > 0$ 时, 其条件为 $D \leq 7h_a$ 。

1) 针1、2的距离 $D_{12} = 40$ 米

$$h_a = \frac{D}{7} = \frac{40}{7} = 5.7 \text{ 米}$$

针1、3的距离等于针2、4的距离即 $D_{13} = D_{24} = 56$ 米

$$h_a = \frac{56}{7} = 8 \text{ 米}$$

针3、4的距离 $D_{34} = 64$ 米

$$h_a = \frac{64}{7} = 9.2 \text{ 米}$$

针1、4的距离等于针2、3的距离即 $D_{14} = D_{23} = 72$ 米

$$h_a = \frac{72}{7} = 10.3 \text{ 米}$$

2) 由以上计算可知针1的高度应为 $7.3 + 5.7 = 13$ 米, 考虑留有一定富裕度取19米。针3、4的高度应为 $7.3 + 10.3 = 17.6$ 米, 取21米。

3. 由式 8-1-4 求各针的 r_x

$$r_{x1} = r_{x2} = (1.5h - 2h_x)K_h = 1.5 \times 19 - 2 \times 7.3 = 13.8 \text{ 米}$$

$$r_{x3} = r_{x4} = 1.5 \times 21 - 2 \times 7.3 = 16.9 \text{ 米}$$

4. 求各针间的 b_x

1) 针1与2

$$h_0 = h - \frac{D_{12}}{7} = 19 - \frac{40}{7} = 13.3 \text{ 米, 由式8-1-6}$$

$$b_{x12} = 1.5(h_0 - h_x) = 1.5(13.3 - 7.3) = 9 \text{ 米}$$

2) 针 1 与 3 等于针 2 与 4

$$D'_{13} = D'_{24} = D_{13} - (h_3 - h_1) = 56 - (21 - 19) = 54 \text{ 米}$$

$$h_0 = h_1 - \frac{D'_{13}}{7} = 19 - \frac{54}{7} = 11.3 \text{ 米}$$

$$b_{x13} = b_{x24} = 1.5(11.3 - 7.3) = 6 \text{ 米}$$

3) 针 3 与 4

$$D_{34} = 64 \text{ 米}$$

$$h_0 = h - \frac{D_{34}}{7} = 21 - \frac{64}{7} = 11.9 \text{ 米}$$

$$b_{x34} = 1.5(11.9 - 7.3) = 6.9 \text{ 米}$$

4) 针 1 与 4 等于针 2 与 3

$$D'_{14} = D'_{23} = D_{14} - (h_4 - h_1) = 72 - (21 - 19) = 70 \text{ 米}$$

$$h_0 = 19 - \frac{70}{7} = 9 \text{ 米}$$

$$b_{x14} = b_{x23} = 1.5(9 - 7.3) = 2.5 \text{ 米}$$

5. 由各 $\frac{D}{2}$ (或 $\frac{D'}{2}$) 作相应的两针间连接的中垂线, 量取各相应的 b_x 值。由 b_x 端点

作对应针的保护圆的切线 (对不等高的避雷针, 作真实避雷针保护圆的切线) 即得全部保护范围。若变电所所有被保护物都被包括在内, 即达到保护要求。

〔例 3〕 已知某矿区总炸药库的土壤为砂质粘土, 测得土壤电阻率为 1×10^2 欧米, 其库房平面布置及其贮存炸药类别如图 8-1-11, 库房屋面为钢筋混凝土结构。库房供电电源用 380 伏架空线送至距 ⑦ 号库房 100 米处变成电缆, 接至 ⑦ 号库房后, 再用电缆转接至 ⑥ 号库房内, 试设计并安装其防雷保护装置。

解: (一) 防雷保护

矿区总炸药库房按第一类建筑物保护, 根据表 8-1-1 及表 8-1-3 中有关规定, 应考虑防直击雷、防感应雷及防高电位侵入保护措施。

1. 防直击雷

采用避雷针保护, 根据库房平面布置及库房高度, 在图中共设置 10 根高 17 米钢筋混凝土环形杆避雷针, 由图中量得

$$D_{12} = 50 \text{ 米}; D_{23} = 60 \text{ 米}; D_{34} = D_{56} = D_{78} = D_{910} = 70 \text{ 米}; D_{45} = 85 \text{ 米};$$

$$D_{110} = 90 \text{ 米}; D_{67} = D_{89} = D_{58} = D_{49} = D_{310} = 80 \text{ 米}; D_{57} = D_{48} = D_{39} = D_{210} = 100 \text{ 米}$$

库房高 5 米, 护堤高 6 米, 故 10 根避雷针高度是 $h = 17 + 6 = 23 \text{ 米}$

库房高度是 $h_x = 5 \text{ 米}$, 查表 8-1-4 得 10 根避雷针保护半径是

$$r_x = 24.5 \text{ 米}$$

$$1) \text{ 当 } D_{12} = 50 \text{ 米, } h_{012} = h - \frac{D_{12}}{7K_b} = 23 - \frac{50}{7 \times 1} = 15.86 \text{ 米} > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x12} = 1.5(h_{012} - h_x) = 1.5(15.86 - 5) = 16.29 \text{ 米}$$

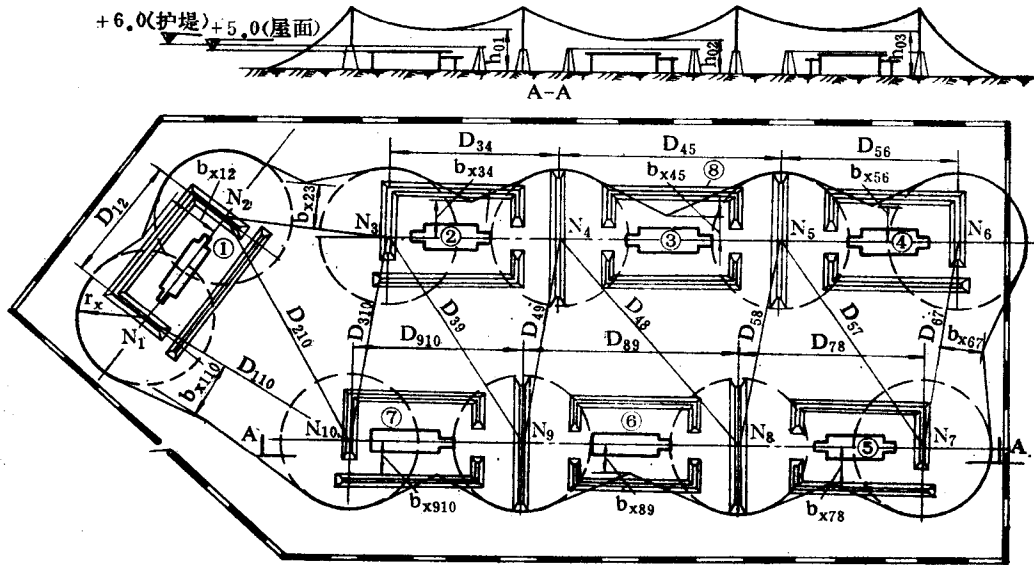


图 8-1-11 炸药库防雷保护平面图

①—20吨雷管库；②、③、④、⑤—40吨硝酸铵类炸药库；⑥、⑦—20吨硝化甘油类炸药库；⑧—护堤； $N_1 \sim N_{10}$ —避雷针

$$2) \text{ 当 } D_{23} = 60 \text{ 米, } h_{023} = h - \frac{D_{23}}{7K_b} = 23 - \frac{60}{7 \times 1} = 14.43 \text{ 米} > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x23} = 1.5(h_{023} - h_x) = 1.5(14.43 - 5) = 14.15 \text{ 米}$$

$$3) \text{ 当 } D_{34} = D_{56} = D_{78} = D_{910} = 70 \text{ 米, } h_{034} = h_{056} = h_{078} = h_{0910} = h - \frac{D_{34}}{7K_b}$$

$$= 23 - \frac{70}{7} = 13 \text{ 米} > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x34} = b_{x56} = b_{x78} = b_{x910} = 1.5(h_{034} - h_x) = 1.5(13 - 5) = 12 \text{ 米}$$

$$4) \text{ 当 } D_{45} = 85 \text{ 米, } h_{045} = h - \frac{D_{45}}{7K_b} = 23 - \frac{85}{7} = 10.86 \text{ 米} > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x45} = 1.5(h_{045} - h_x) = 1.5(10.86 - 5) = 8.79 \text{ 米}$$

$$5) \text{ 当 } D_{67} = D_{89} = D_{58} = D_{49} = D_{310} = 80 \text{ 米}$$

$$h_{067} = h_{089} = h_{058} = h_{049} = h_{0310} = h - \frac{D_{67}}{7K_b} = 23 - \frac{80}{7} = 11.58 \text{ 米} > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x67} = b_{x89} = b_{x58} = b_{x49} = b_{x310} = 1.5(h_{067} - h_x) = 1.5(11.58 - 5) = 9.87 \text{ 米}$$

$$6) \text{ 当 } D_{57} = D_{48} = D_{39} = D_{210} = 100 \text{ 米}$$

$$h_{057} = h_{048} = h_{039} = h_{0210} = h - \frac{D_{57}}{7K_b} = 23 - \frac{100}{7} = 8.72 > 5 \text{ 米}$$

$$b_{x57} = b_{x48} = b_{x39} = b_{x210} = 1.5(8.72 - 5) = 5.58 \text{ 米}$$

根据已得各数值画出防直击雷的保护平面和断面见图8-1-11。各库房均在保护范围

之内。

2. 防感应雷

1) 将每栋库房屋面板内的钢筋网绑扎或焊接连成一体后, 用截面 12×4 毫米²扁钢在每栋库房两侧各引一条接至屋外防感应雷接地装置上。

2) 将每栋库房的金属窗棂, 均用一根直径8毫米圆钢接至屋外防感应雷接地装置上。

3. 防高电位侵入

在380伏架空线与电缆连接处、装设一组避雷器, 其接地装置与电缆外皮、绝缘子铁脚共用, 接地装置冲击接地电阻不大于10欧。

(二) 接地装置

根据表8-1-3中规定防直击雷、防感应雷及防高电位侵入的冲击接地电阻均不应大于10欧。

1. 接地电阻计算

防直击雷及防高电位侵入的接地装置均采用钢管垂直埋设, 根据表8-3-12中简易公式及式8-3-2计算:

$$R = 0.3\rho = 0.3\phi\rho_0 = 0.3 \times 1.5 \times 10^2 = 45 \text{ 欧}$$

不考虑管间的屏蔽作用, 选用直径50毫米, 长2.5米的钢管5根。工频接地电阻

$$R_t = \frac{R}{n\eta_0} = \frac{45}{5 \times 1} = 9 \text{ 欧}$$

冲击接地电阻

$$R_s = \alpha R_t = 0.7 \times 9 = 6.3 \text{ 欧} < 10 \text{ 欧} \quad (\text{查表8-3-21, } I_s \text{ 按20千安, 取 } \alpha = 0.7)$$

防感应雷接地装置选用长50米, 截面 40×4 毫米²钢带水平埋设按表8-3-14中简易公式计算, 其工频接地电阻为

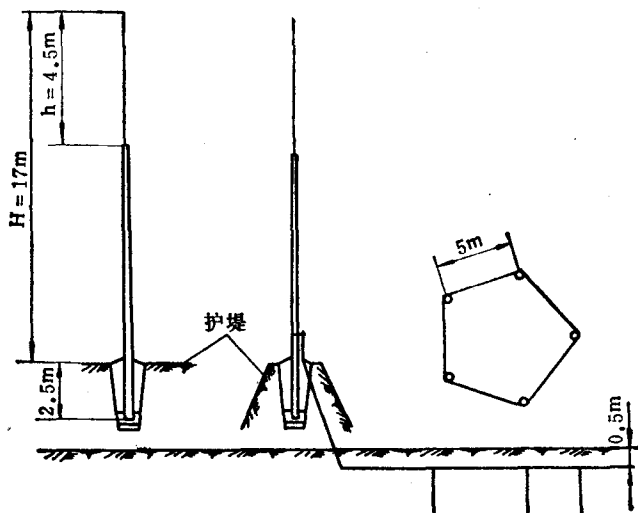


图 8-1-12 避雷针及其接地装置安装

说明 1. 独立避雷针采用国家标准图集D511;

2. 避雷针埋设在护堤上、埋设时应加固;

3. 接地极间距离为5米。

$$R_s = 0.03\rho = 0.03\psi\rho_0 = 0.03 \times 1.5 \times 10^2 = 4.5 \text{ 欧} < 10 \text{ 欧}$$

2. 接地装置敷设

1) 防直击雷的接地装置与防高电位侵入的接地装置均采用 5 根钢管组成的多边形埋入地下见图 8-1-12。

2) 防感应雷的接地装置采用一根长 50 米，截面积为 40×4 毫米² 扁钢，埋入在每栋库房两侧距房基 3 米，距地面 0.7 米处的土内。

3) 防直击雷和防感应雷的接地装置之间距离，应满足表 8-1-3 中的规定。

四、防雷装置及其要求

1. 防雷装置由接受器、引下线及接地装置所组成，其材料用途及最小尺寸见表 8-1-8。

2. 引下线沿建筑物应以最短路径接至接地体，弯曲处应为软弯，一般应大于 90° 。如弯曲小于 90° 时，弯曲处两端的直线距离，不应小于弯曲弧实际长度的 $1/10$ 。

3. 防雷装置的各部接点应牢固可靠。钢筋与钢筋的连接或扁钢与扁钢的连接均应焊接，钢筋的搭接长度不得小于钢筋直径的 6 倍，扁钢的搭接长度不得小于扁钢宽度的 2 倍。

4. 在没有特殊要求时，应充分利用建筑物本身的防火梯等金属构件作为引下线。

5. 采用多根引下线时，为便于测试冲击接地电阻，在距地面 1.5 米处应设置断线卡。

6. 在易受机械损伤的地方，引下线在地面以上 1.4 米线段需用钢管、角钢、竹管等加以保护。

7. 防雷装置的全部铁件均应镀锌处理，如无法取得镀锌件时，应按下列办法处理

1) 避雷针尖除锈后涂锡、涂锡长度不得小于 200 毫米；

2) 避雷线、引下线或其他铁件涂刷樟丹油一道，灰色油二道。

8. 接地装置：垂直埋设时一般采用钢管、角钢或圆钢；水平埋设时采用扁钢、圆钢等。在腐蚀性较大的土壤中，应加大截面。

9. 垂直接地体的长度一般采用 2.5 米。接地体埋深不得小于 0.5 米。接地装置应远离由于高温影响使土壤电阻率增高的地方。为减小相邻接地体的屏蔽效应，垂直接地体间距

表 8-1-8 防雷装置的最小尺寸

防雷装置		圆钢直径 mm	钢管直径 mm	扁钢截面 mm ²	角钢厚度 mm	钢绞线截面 mm ²	备 注
接 闪 器	避雷针在 1 米以下时	12	20				镀锌或涂漆，在腐蚀性较大的地带应加大一级
	避雷针在 1~2 米时	16	25				
	避雷针装在烟囱顶端	20					
	避雷带（网）	8		48、厚 4mm			
	避雷带装在烟囱顶端	12		100、厚 4mm			
	避雷线					35	
引 下 线	明 设	8		48、厚 4mm			同上
	暗 设	10		60、厚 5mm			
	装在烟囱上时	12		100、厚 4mm			
接 地 体	水 平 埋 设	10		48、厚 4mm			在腐蚀性土壤中应镀锌或加大截面
	垂 直 埋 设		50 壁厚 3.5		4		