

烟花爆竹场所雷电防护及检测技术探讨

李辉¹ 张艳² 王云林² 马宝林¹

(1. 瓦房店市气象局,瓦房店 116300; 2. 瓦房店市防雷中心,瓦房店 116300)

摘要:针对烟花爆竹场所,介绍了建筑物防雷类别划分、雷电防护技术与设计要求,概述了防雷防静电检测技术要点,并就烟花爆竹场所的雷电防护与检测技术进行了探讨。

关键词:烟花爆竹场所;防雷划分;雷电防护技术;静电防护;防雷检测技术

1 引言

烟花爆竹在中国的历史源远流长,一直可以追溯到我国的春秋时期。烟花爆竹产业固有的危险性,在生产、运输、储存、销售和燃放等过程容易发生燃烧和爆炸事故,并可造成严重的人员伤亡和财产损失。特别是在雷雨季节,雷电产生的火花温度之高可以熔化金属,雷电中的直击雷、雷电感应、雷电波侵入是引燃、引爆烟花爆竹燃烧、爆炸的危险因素。因此,对烟花爆竹场所雷电防护及检测技术的探讨显得非常重要。

2 烟花爆竹场所建筑物的防雷类型划分

烟花爆竹场所建筑物的防雷设计首先应确定防雷类别。防雷类别的准确划分是合理选择防雷设施的重要出发点。否则,将会选择无端复杂的防雷设施,人为地提高防雷技术难度和工程投资。

根据《烟花爆竹工厂设计安全规范》(GB50161-1992)中的要求^[1],按照不同的危险场所类别,可确定不同防雷等级。等级划分见表1。

从表1可见,危险等级为A级的大部分为一级防雷等级,危险等级为C级的大部分为三级防雷等级。由于烟花爆竹场所的建筑均列为危险性建筑物,按照《建筑物防雷设计规范》(GB50057-1994)2000年版中“第2.0.2条:凡制造、使用或贮存炸药、火药、起爆药、火工等大量爆炸物质的建筑物,因电火花而引起爆炸造成巨大破坏和人身伤亡者,均划为第一类防雷建筑物”的规定^[2],烟花爆竹场所的建筑应确定为第一类防雷建筑物。

3 直击雷、感应雷和球形雷防护设计

雷电主要是由于云层间、云与大地之间以及云

与空气间的电位差达到一定程度(25—30 kV/cm)时,所产生的猛烈放电现象。

通常雷击有3种形式:即直击雷、感应雷、球形雷。直击雷是带电的云层与大地上某一点之间发生迅猛的放电现象。感应雷是当直击雷发生以后,云层带电迅速消失,地面某些范围由于散流电阻大,出现局部高电压,或在直击雷放电过程中,强大的脉冲电流对周围的导线或金属物产生电磁感应发生高电压而发生闪击现象的二次雷。球形雷是球状闪电的现象。

基于上述原由,如果烟花爆竹场所建筑物没有防雷设施,则建筑物易遭受雷击。为了保护烟花爆竹场所建筑物避免雷击放电形成电火花引起爆炸,应从防护直击雷、感应雷、球形雷3个方面来考虑进行保护,最大限度地减少因雷击而造成的损失。

3.1 直击雷防护设计

依据建筑物的高度、结构等采取直击雷防护措施,防直击雷的避雷装置一般由3部分组成,即接闪器、引下线和接地装置。

3.1.1 接闪器

避雷针是最早的接闪器,也是目前世界上公认的最成熟的防直击雷装置。避雷带、避雷网、避雷线是避雷针的变形,其接闪原理是一致的。

由于烟花爆竹场所大多都位于郊区或远离城镇,而且建筑物小且多。针对这一特点,烟花爆竹场所建筑物防直击雷的接闪器可以由独立避雷针或架空避雷线(网)组成,或者由多种设施联合组成,共同构成防直击雷系统。无论采用哪种方法,对于避雷针、避雷线(网)保护范围的计算方法,一般来说,应采用“滚球”计算法,即根据被保护物的长、宽、高,按照第一类防雷建筑物,滚球半径 h_r 为30 m进行计算,决定需要几支独立避雷针才能完全保护被保护

物。 避雷针保护范围计算方法包括单支、双支等高、双支不等高、4 支等高避雷针保护范围计算方法,其

3.1.1.1 避雷针保护范围计算

表 1 烟花爆竹场所工作间和仓库的危险场所类别及防雷等级

项目	危险等级	工作间和仓库名称	危险场所类别	防雷等级
黑火药	A ₃	三成分混合,造粒,干燥,凉药,筛选,包装	I	一
	C	硫炭二成分混合,硝酸钾干燥、粉碎和筛选,硫、炭粉碎和筛选	III	三
烟火药	A ₂	含氯酸盐或高氯酸盐的烟火药、摩擦类药剂、爆炸音剂、笛音剂等的混合或配制、造粒、干燥、凉药	I	一
	A ₃	不含氯酸盐或高氯酸盐的烟火药的混合或配制、造粒、干燥、凉药	III	三
	C	称原料、氯酸钾和过氯酸钾粉碎、筛选	III	三
爆竹	A ₂	含氯酸盐或高氯酸盐的爆竹药的混合或配制、装药	I	一
	A ₃	不含氯酸盐或高氯酸盐的爆竹药的混合、装药	I	一
	C	已装药的钻孔、切引、机械压药	II	二
烟花	A ₂	称原料,不含氯酸盐或高氯酸盐的爆竹药的筑药,插引,挤引,结鞭,包装	III	三
	A ₂	筒子并装药装珠,上引线,干燥	I	一
	A ₃	筒子单发装药,筑药,机械压药,钻孔,切引	II	二
礼花弹	A ₃	蘸药,按引,组装,包装	III	三
	A ₂	称量,装药,装珠,晒球,干燥	I	一
	A ₃	上发射药,上引线	II	二
引火线	C	油球,打皮,皮色,包装	III	三
	A ₃	含氯酸盐的引药的混合、干燥、凉药、制引、浆引、凉干、包装黑药的三成分混合、干燥、凉药、制引、浆引、凉干、包装	I	一
	C	硫、碳二成分混合,硝酸钾干燥、粉碎和筛选,硫、碳粉碎和筛选	III	三
仓库	C	氯酸钾粉碎和筛选	II	二
	A ₂	引火线,含氯酸盐或高氯酸盐的烟花药、爆竹药、爆炸音剂、笛音剂	I	一
	A ₃	黑火药,不含氯酸盐或高氯酸盐的烟火药、爆竹药,大爆竹,单个产品装药在 40 g 以上的烟花或礼花弹,已装药的半成品,黑药引火线	II	二
	C	中、小爆竹,单个产品装药在 40 g 以下的烟花或礼花弹	II	二

中常用的是单支避雷针保护范围计算方法。以下讨论单支避雷针保护范围计算方法。

单支避雷针计算方法。当避雷针高度 h 小于或等于 h_r 时,距地面 h_r 处作一平行于地面的平行线,以针尖为圆心 h_r 为半径,作弧线交于平行线的 a 和 b 点。以 a 和 b 点为圆心, h_r 为半径作弧线,该弧线与针尖相交并与地面相切,从此弧线起到地面止就是保护范围。保护范围是一个对称的锥体。

避雷针在高度的平面上和地面上的保护半径,由下列公式计算方法确定:

$$r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (1)$$

式(1)中,各 r_x 为避雷针在 h_x 高度平面上的保护半径(m); h_r 为第一类防雷建筑物保护半径(取 30 m); h_x 为被保护物的高度(m)。

3.1.1.2 接闪器材质及规格要求

避雷针宜采用圆钢或焊接钢管制成,其直径数

值:当针长 1 m 以下时,圆钢为 12 mm,钢管为 20 mm;当针长 1—2 m 时,圆钢为 16 mm,钢管为 25 mm。

对于采用架空避雷线(网)方式进行防御直击雷时,架空避雷线和避雷网宜采用截面不小于 35 mm² 的镀锌钢绞线。其中避雷网网格尺寸要求为不小于 5 m×5 m 或 6 m×4 m,而且架空避雷线(网)至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的距离不应小于 3 m。

无论烟花爆竹场所建筑物采用哪种接闪器作为防护直击雷系统,都应根据实际情况,通过计算及性价比来进行选择,使其达到设计合理,经济适用。

3.1.2 引下线

当雷电流经过接闪器引流后,将通过引下线进入大地“中和”。引下线布置的合理,会大大降低雷电过电压。在我国的《建筑物防雷设计规范》中,对于一类防雷建筑物引下线布置时规定:

(1)金属屋面周边每隔18—24 m应采用引下线接地一次^[2]。

(2)现场浇制的或由预制构件组成的钢筋混凝土屋面,其钢筋宜绑扎或焊接成闭合回路,周边每隔18—24 m应采用引下线接地一次。

(3)建筑物上有接闪器时,其周边引下线间距不大于12 m。

当采用独立避雷针或架空避雷线(网)时,其独立避雷针杆塔、架空避雷线的端部和架空避雷网的各支柱处,应至少设一根引下线。同时,应注意独立避雷针杆塔与被保护建筑物之间至少保持3 m的安全距离,架空避雷线(网)至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间至少应保持3 m的安全距离。

3.1.3 接地装置

烟花爆竹场所接地装置的选择和布置可以大大影响建筑物的防雷效果^[3],对于独立避雷针、架空避雷线或架空避雷网应安装其独立的防雷接地装置。安装在建筑物上的避雷针、避雷网(带),其接地装置可以与电气设备接地,防雷电感应接地合并设置,取其中接地电阻的最小值。接地装置的布置应采用环形接地体敷设方式,即围绕独立避雷针或建筑物周围圈式敷设。

3.1.3.1 垂直接地体的工频接地电阻计算

在防雷设计中,通常涉及接地体的冲击接地电阻。冲击接地电阻是指暂态脉冲电流经接地体泄散入大地时所遇到的接地电阻。由于雷电流的幅值和等值频率较高,接地体在泄散雷电流入地时所呈现出接地电阻与工频接地电阻在散流特性上有着明显的差别。在设计防雷工程时,在工频接地电阻的基础上,通过引入一定的系数来确定冲击接地电阻。这种方法已普遍使用在防雷工程设计中。

单个垂直接地体的计算方法就是按电位与电流之比来求电阻。对于一些形状较为规则的接地体,可以先设定一个由接地体散到大地中的总电流 I ,根据 I 求出接地体周围土壤中的电流密度 J ,将 J 代入式(2),即:

$$E = \rho J \quad (2)$$

求出土壤中的 E 电场,沿土壤中散流路径求取 E 的积分得到接地体的 U 电位:

$$R_g = \frac{U}{I} \quad (3)$$

按式(3)求出接地电阻 R 。为了证明这一计算步骤,可先考虑一个半球接地体,即:

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (4)$$

式(4)中,若距球心 r 处的半球面,则该处土壤中的

电场:

$$E = \rho J = \frac{\rho I}{2\pi r^2} \quad (5)$$

对(5)式电场求积分,得到接地体电位:

$$U = \int_a^\infty E dr = \int_a^\infty \frac{\rho I}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (6)$$

式(6)中, a 为半球接地体的半径。于是,半径接地体的接地电阻:

$$R_{gs} = \frac{U}{I} = \frac{\rho}{2\pi a} \quad (7)$$

式(7)中, R_{gs} 为半球接地体的接地电阻。

再考虑一个垂直接地体,在距接地体轴线 r 处的曲面上,电流密度:

$$J = \frac{I}{2\pi(r^2 + rl)} \quad (8)$$

式(8)中, l 为垂直接地体埋入地中长度。该处土壤中的电位:

$$E = \rho J = \frac{\rho I}{2\pi(r^2 + rl)} \quad (9)$$

对式(9)中电场积分,得到接地体的电位:

$$U = \int_{\frac{d}{2}}^\infty E dr = \int_{\frac{d}{2}}^\infty \frac{\rho I}{2\pi(r^2 + rl)} dr \\ = \frac{\rho I}{2\pi l} \ln \frac{2l + d}{d} \quad (10)$$

式(10)中, d 为垂直接地体的直径,则垂直接地体的接地电阻:

$$R_{gv} = \frac{U}{I} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l + d}{d} \quad (11)$$

对于常用的垂直接地体由 $l \gg d$,则式(11)可以简化为:

$$R_{gv} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} \quad (12)$$

如果垂直接地体是圆钢或管钢,那么式(12)中的 d 取其外径或平均外径;如果垂直接地体是扁钢或角钢,则应取等值直径作为式(12)中的 d 。

3.1.3.2 跨步电压防护方法

对于烟花爆竹场所,为了防止跨步电压,防直击雷的人工接地体距建筑物出入口或人行道不应小于3 m。小于3 m时,应采取下列措施之一:

- (1)水平接地体局部深埋不应小于1 m;
- (2)水平接地体局部应包绝缘物,可敷设50—80 mm厚的沥青层;

(3)采用沥青碎石地面或在接地体上面敷设50—80 mm厚的沥青层,其宽度应超过接地体2 m。

3.2 感应雷防护设计

感应雷的防护措施是对雷云发生自闪、云际闪、云地闪时,在进入建筑物的各类金属管、线上所产生

雷电脉冲起限制作用,从而保护建筑物内人员及各种电气设备的安全。采取措施时,应根据各种设备的具体情况,除要有良好的接地和布线系统、安全距离外,还应视供电线路,电源线、信号线、通信线、馈线的情况,安装相应避雷器以及采取屏蔽措施。

大多数烟花爆竹场所一般只有电源线,很少有通信线及信号线等。因此,讨论电源线的雷电防护设计方法。

当雷电接近架空管线时,高压冲击波会沿架空管线侵入室内,造成高电流引入,这样可能引起设备损坏或人身伤亡事故。特别是烟花爆竹场所附近有大量的可燃物,容易酿成火灾。

为防止雷电波沿电源线路进入建筑物内造成危害,将进入烟花爆竹场所的电源线路电缆直接埋地敷设,在入户端应将电缆的金属外皮、钢管接到防雷电感应的接地装置上。当全线采用电缆有困难时,可采用钢筋混凝土杆和铁横担的架空线,并应使用一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入,其埋地长度应符合下列表达式的要求,但不应小于 $15 \text{ m}^{[2]}$:

$$l \geq 2\sqrt{\rho} \quad (13)$$

式(13)中, l 为金属铠装电缆或护套电缆穿钢管埋于地中长度(m), ρ 为该处土壤电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)。

在电缆与架空线连接处,应安装避雷器。避雷器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等连接在一起接地,其接地电阻不应大于 10Ω 。

3.3 球形雷防护设计

球形雷(即球状闪电)是一种橙色或红色的类似火焰的发光球体,偶尔也会产生黄色、蓝色或绿色。大多数火球的直径为 $10\text{--}100 \text{ cm}$ 。球形雷多在强雷暴时空中普通闪电最频繁的时候出现。球形雷通常沿水平方向以 $1\text{--}2 \text{ m/s}$ 的速度上下滚动,有时距地面 $0.5\text{--}1.0 \text{ m}$,有时升至 $2.0\text{--}3.0 \text{ m}$ 。它在空中漂

游的时间为几秒到几分钟不等。球形雷常由建筑物的孔洞、烟囱或开着的门窗进入室内,有时也可通过不接地的门窗铁丝网进入室内。最常见的是沿大树滚下进入建筑物并伴有嘶嘶声。球形雷有时会自然爆炸,有时遇到金属管线而发生爆炸。球形雷遇到易燃物质(如木材、纸张、衣物、被褥等)则容易造成燃烧,遇到可爆炸的气体或液体还会造成更大的爆炸。有的球形雷会不留痕迹地无声消失,但大多数均伴有爆炸声且响声震耳。爆炸后偶尔有硫磺、臭氧或二氧化碳气味。球形雷火球可辐射出大量的热能,它的烧伤力比破坏力还要大。

防护球形雷并不困难。就防护球形雷措施而言,最好是采用笼式避雷网;如果达不到笼式避雷网条件,应在建筑物的门窗上安装金属纱网并接地;处理好建筑物墙面上不必要的孔洞;烟囱与出气管上口均要加装铁丝网并接地;储存或损伤易燃易爆物体的仓库和厂房的烟囱和放气管应加装阻火器并接地。对高大树木下的重要建筑物尤其要采取防护球形雷的措施。对于烟花爆竹场所建筑物的球形雷防护,主要是在建筑物的窗户上安装用至少为 $\varphi 10$ 的圆钢编织成的金属屏蔽网,网格尺寸为 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$,并且将金属屏蔽网至少两点接地,接地电阻不大于 $10 \Omega^{[4]}$ 。

4 静电防护

在烟花爆竹场所,安装人体静电棒是防止引燃爆炸、伤及人员的不可缺少的一种防护静电措施。《烟花爆竹工厂设计安全规范》GB50161-92第11.6.6条规定:危险工作间的出口处,应设置消除人体静电设施,其接地电阻值不得大于 100Ω 。人体静电棒安装部位见表2^[1]。

由表2可知,为了防止静电的产生,特别是在烟花爆竹场所的一些工作间出口处,必须设置可消除

表2 必须安装静电棒工作间和仓库

库房名称	危险等级	库房名称	危险等级	库房名称	危险等级
配药房	A ₂	鞭装药房	A ₂	固引中转库	A ₂
药中转房	A ₂	装球药中转棚	A ₂	装发射药房	A ₂
造粒房	A ₂	装球房	A ₂	珠球中转棚	A ₂
造粒中转房	A ₂	球晒房	A ₂	半成品中转棚	A ₂
筛选厂房	A ₂	亮珠库	A ₂	成品球中转棚	A ₂
亮球珠晾晒场	A ₂	引线库	A ₂	珠球组装	A ₂
亮珠中转房	A ₂	半成品中转库	A ₂	球组装中转房	A ₂
凉药房	A ₂	雷子中转库	A ₂	成品库	A ₂
配药方	A ₂	发射药中转库	A ₂	黑火药库	A ₂
烟花装药房	A ₂	半成品中转棚	A ₂		
药中转棚	A ₂	插引厂房	A ₂		

人体静电设施的人体静电棒,并通过接地连接线与接地装置连接,为泄放静电荷提供一条通道,以达到消除静电的目的。

5 防雷防静电检测要求

新建和已建的烟花爆竹工厂,对其施工设计图纸要严格进行审核。查验图纸的设计和施工是否按照《建筑物防雷设计规范》(GB50057-1994)2000年版和《烟花爆竹工厂设计安全规范》(GB50161-1992)国家防雷标准执行,查验避雷针、避雷器、静电系统整体布局是否合理,整个厂区内是否采取等电位连接措施,各防护设备是否处于良好状态^[3]。

烟花爆竹场所防雷系统在运行中,每半年进行测试一次,各个部位检测要求:厂区内所设置的避雷针是否达到被防护建筑物的技术要求,塔架与接闪器、避雷带(网)是否锈蚀,对已经腐蚀的金属材料,要及时做防腐处理,保证每根引下线都能在雷电流泄放时畅通无阻;建筑物的电源线、零线应重复接地,接地装置可与防雷电感应接地装置共用;避雷针、避雷带(网)接地电阻不应大于 $10\ \Omega$;电器设备正常时,不带电的金属部分均应接地。接地装置的接地电阻不应大于 $4\ \Omega$;建筑物设置的避雷带(网)的引下线的间距不得大于 $12\ \text{m}$;工作间及库房的出入口处,应设置有防人体静电装置(人体静电棒),其接地电阻值不得大于 $100\ \Omega$ 。

6 讨论

烟花爆竹场所雷电防护是一个综合工程,要充分考虑防雷问题的各个方面,按照直击雷、感应雷和球形雷防护设计的思想,根据第一类防雷建筑物国家规范要求,并根据以下要求分别采取防护措施:

(1)由于烟花爆竹场所具有偏远性、分散性,而且建筑物小且多,生产具有季节性等特点,因此根据

GB50057-94(2000年版)的要求,对于烟花爆竹场所的防雷设计应因地制宜,并在认真调查地理、地质、土壤、气象、环境等条件和雷电活动规律以及被保护物的特点等的基础上,从直击雷、感应雷、球雷、静电防护等几方面,研究防雷装置的形式及其布置。并且要做到安全可靠、技术先进、经济合理。这同时也是对烟花爆竹场所建筑物设计防雷设施的原则。

(2)根据致灾环境的危险性,即烟花爆竹场所的危险性分析,掌握雷电活动规律,可以采取区域性雷电防护:在雷电活动的主导和次主导方向安装各方向的接闪装置,减少雷电对生产场所的破坏。目前该方法属于探讨之中,需要一些实例予以验证,才能得出正确结论。

(3)按照雷击选择性的特点,在烟花爆竹场所基建选址时,应该躲开多雷区或易遭雷击的地点,以免日后增大防雷工程的开支和费用。

(4)防雷是一个系统工程,防雷装置特别强调可靠性,因此必须加强防雷防静电装置的检测。按有关规定,烟花爆竹场所防雷系统在运行中每半年进行测试一次,才能有效地保证防雷装置处于良好的运行状态。

参考文献

- [1] 国家技术监督局,中华人民共和国建设部. 烟花爆竹工厂设计安全规范 GB50161-1992[S]. 北京:中国计划出版社,2005:1-198.
- [2] 国家技术监督局,中华人民共和国建设部. 建筑物防雷设计规范 GB50057-1994(2000年版)[S]. 北京:中国计划出版社,2001:1-253.
- [3] 申红石,李志江,李红海. 沈阳某银行防雷工程设计和施工[J]. 辽宁气象,2002(3):40-41.
- [4] 杨晓东. 雷击种类及其综合防护技术浅析[J]. 气象与环境学报,2006,22(3):48-50.

Discussion on thunder and lightning protection and examination technology in store of fireworks and firecracker

LI Hui¹ ZHANG Yan² WANG Yunlin¹ MA Baolin²

(1. Wafangdian Meteorological Bureau, Wafangdian 116300; 2. Wafangdian Lightning Protection Center, Wafangdian 116300)

Abstract: Lightning protection category of buildings, thunder, lightning protection technology and its design request were introduced for the place of storing fireworks and firecracker. Examination technologies of lightning protection and electrostatic protection were summarized. And thunder and lightning protection and examination technology in store of fireworks and firecracker were discussed for different conditions.

Key words: Fireworks and firecracker place; Lightning protection category division; Lightning protection technology; Electrostatic protection; Lightning protection examination technology