

文章编号:1673-8411 (2015) 02-0116-05

# 如何正确运用滚球法确定接闪器的保护范围

胡夏初, 曾欣, 邓丰年, 宋爱武

(株洲市气象局, 湖南株洲 412003)

**摘要:**应用滚球法的原理入手针对运用滚球法易出错的地方进行分析,提出使用滚球法确定接闪器保护范围的一些有效的办法,在防雷实际工作中具有较好的指导作用。

**关键字:**滚球法; 雷击距; 滚球半径; 保护范围

中图分类号:P427.32

文献标识码:A

## Application of rolling sphere method on determination of the lightning arrester protecting extent

Hu Xia-chu Zeng Xin Deng Feng-nian Song Ai-wu

(Zhuzhou Municipal Meteorological Service, 412003)

**Abstract:** The normal mistakes of using the rolling sphere method were analyzed according to the principle to put forward some effective measures for the determination of the lightning arrester protecting extent by this method and guide the lightning protection practical work.

**Key words:** rolling sphere; striking distance; sphere radius; protection extent

### 1 引言

滚球法于 1980 年首先被美国采用,1990 年成为第一个国际防雷标准 IEC1024-1 推荐的接闪器保护范围计算方法。我国采用滚球法始于 1994 年 11 月 1 日实施的 GB50057-94《建筑物防雷设计规范》,此规范虽先后修订了两次,但接闪器的保护范围的计算方法仍沿用滚球法。与 IEC1024-1 不同的是,我国防雷规范规定:第一、二、三类防雷建筑物滚球半径分别取 30m、45m、60m,粮、棉及易燃物集中的露天堆场,滚球半径可取 100m。

滚球法在我国已使用二十余年,但笔者在实际防雷工作和一些防雷刊物中发现,仍然有人在滚球法的理解和运用上存在问题。略举两例说明如下:

个例 1:某学校教学楼为四层砖木结构建筑物,屋顶为两坡瓦屋顶,长 24m、宽 8m、高 16m,现要进行直击雷的防护,防雷技术人员设计在筑物长边的

一端屋脊位置安装一根高出建筑物 9m 的接闪杆,他的计算理由如下:

学校建筑物按第二类防雷建筑物进行设计,滚球半径  $h_r$  取 45m,接闪杆高设计为 9m 在屋面上滚动保护屋脊(16m 高度)的保护半径达到 27m,而建筑物的长度才 24m,离针最远端的檐角直线距离才 24.3m,檐角高度比屋脊低 2m,针高应取 11m(9m+2m),保护范围还会更大。

计算公式:  $r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)} = \sqrt{9(2 \times 45 - 9)} = 27.0\text{m}$

事例 2:某刊物上的一篇文章中,说某单位在一幢 25m 高的楼顶安装了一卫星接收天线,倾斜安放,天线顶边沿 2.5m 处安装了一支 9.0m 高的接闪杆,要求计算该针是否能保护此卫星天线。该作者认为用大地作基准面进行滚球法计算得出需安装一支 14m 的接闪杆的方法不切实际。该文作者认为正

收稿日期:2015-01-25

作者简介:胡夏初(1968-),男,湖南常德人,工程师,从事防雷技术工作。

解应该是:“在高楼环境下,其中一个支撑点选作“地面”,另一个选在楼面避雷带某一点或安装在阳台一角位置的避雷短针作为一个支撑点(原作者注:可认为不等高的双针保护),即选用楼面为参照面,以卫星天线的相对高度为保护高度,这样设计较为合理。”原文计算如下(原文图略):

取  $r_x=4.0\text{m}$ 、 $h_x=5.5\text{m}$ 、 $h_r=60$  代入下式:

解此方程得  $h=7.5\text{m}\approx 8.0\text{m}$ , 证实  $9.0\text{m}$  的接闪杆能保护该卫星天线。

上面列举的两个个例本人认为对滚球法的理解与  $r_0=\sqrt{h(2hr-h)}-\sqrt{5.5(2*45-5.5)}$  运用存在问题,到底错在哪里?本文将从滚球法原理、定义入手进行探讨,并提出自己的一些看法。

## 2 滚球法定义及原理的理解和探讨

### 2.1 滚球法定义及理论依据

GB50057-94 给滚球法的定义为:滚球法是以  $hr$  为半径的一个球体,沿需要防直击雷部位滚动,当球体只触及接闪器(包括被利用作为接闪器的金属物),或只触及接闪器和地面(包括与大地接触并能承受雷击的金属物),而不触及被保护的部位时,则该部分就得到了接闪器的保护。

事实上,滚球法理论的依据是雷击距。国际上公认的滚球理论的基础是 White head 提出的,学术上称电气几何法(EGM)。EGM 理论认为:雷电先导首先进入哪一物体的雷击距离,就对哪一物体放电,雷击距离是雷电流的函数,其理论可简略归纳为以下三点:

(1) 雷击距离与雷电流的幅值关系为

$$r=10*I^{0.65} \quad (2.1)$$

式中: $r$ —雷闪最后闪络距离(雷击距);

$I$ —雷电流幅值。

(2) 雷电先导对大地、导线及其它针物体的雷击距离是一致的。

(3) 雷电先导是斜向入射的,其入射角呈概率分布,即

$$g(\Phi)=\frac{1}{2}\cos^2\Phi \quad (2.2)$$

### 2.2 滚球法的保护原理

滚球法的定义和理论说明了滚球法是接闪器与可作为接闪器的物体(包括地面)进行联合保护的原理。它与旧标准 GB57-83 中的保护角法最大区别在于:滚球法除与接闪器本身及所选滚球半径有关外,

还与周边的地理环境及周边的接地金属物等有关,且接闪器的保护范围并不与其高度正相关。为直观理解滚球法原理,下面以接闪杆保护范围为例,选取地面作参考平面,用作图法详细说明其保护原理。

如图 1 所示,为滚球法确定闪杆保护范围时在某一方向上的截面图。图中接闪杆垂直安装于水平地面上,与地面的交点为  $O$  点, $L$  为接闪杆尖,其高度为  $h$ , $P_1$ 、 $P_2$  分别为雷击距为  $r_1$ ( $LP_1$ )、 $r_2$ ( $LP_2$ ) 的雷电先导的头部, $C$ 、 $E$  点为以滚球半径  $r_1$ 、 $r_2$  的球体滚动时与地面的切点, $B$  为被保护建筑物。从图中可以看出,当针的高度确定后,以不同雷击距作为滚球半径沿针和水平地面滚动时,在接闪杆所在的平面上,球心的轨迹为以  $(0, h/2)$  为顶点,  $L(0, h)$  为焦点的抛物线。抛物线上部为雷击接闪杆的区域,概率各占 50%,抛物线上部为雷击接闪杆的区域。圆弧  $LC$  或  $LE$  与针及地面围成的区域分别为以滚球半径  $r_1$ 、 $r_2$  确定的保护范围,图中  $B$  建筑物在以  $r_2$  为滚球半径时可以得到保护,但对以  $r_1$  为滚球半径的时,就不能得到保护了。

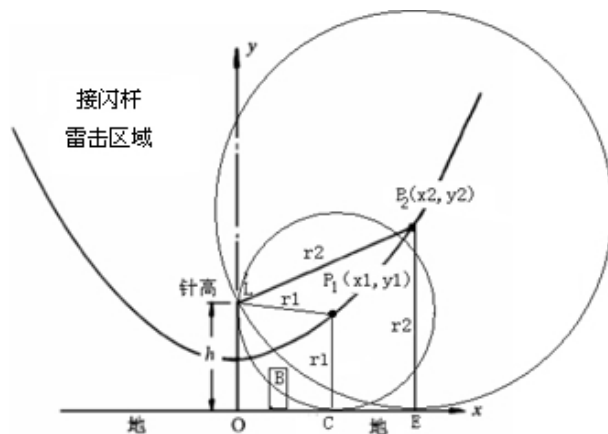


图1 雷击接闪杆、地面滚球法原理分析图

通过上面的分析,滚球法在选定滚球半径计算防雷保护范围时,雷击距大于滚球半径的雷电都会被接闪杆拦截或落到地面上。而雷击距小于所选滚球半径的雷电可能发生绕击在被保护物上,即所选滚球半径越小,保护范围越小,发生雷击绕击的概率越小,所选滚球半径越大,保护范围也越大,发生雷电绕击的概率也越大。

雷击距与雷电流幅值的函数关系在滚球法确定接闪器保护范围时可表述为:

$$hr=10*I^{0.65} \quad (2.3)$$

式中: $hr$ ——滚球半径;

$I$  是指  $hr$  相对应的得到保护的最小雷电流幅值 (KA), 即比该电流小的雷电流可能击到被保护的空間, 比该电流大的雷电流被针拦截或击在地面上。

将 (2.3) 式整理后为:

$$I = \left( \frac{hr}{10} \right)^{1.54} \quad (2.4)$$

将第一、二、三类防雷建筑物对应的滚球半径代入公式 (2.4) 中, 即可求得对应三类防雷建筑物的最小雷电流幅值分别为 5.4kA、10.1kA、15.8kA, 当防雷建筑物雷电流幅值小于其对应的雷电流时, 雷电拦截可能失效, 发生所谓的绕击现象。

### 3 滚球法计算方法的探讨

运用滚球法确定接闪器的保护范围, 是防雷技术人员几乎每天要面对的事情, 因篇幅有限, 下面仅以单根接闪杆保护范围为例探讨几种情况的计算方法, 对使用滚球法过程中容易出现问题的地方, 结合两个事例加以探讨。

#### 3.1 滚球法以足够大的水平地面作参照面时接闪杆保护范围的计算

接闪杆  $xx'$  平面上和地面上的保护范围 (如图 2), 按下列公式计算:

$$r_x = \sqrt{h(2hr-h)} = \sqrt{hx(2hr-hx)} \quad (3.1)$$

$$r_0 = \sqrt{h(2hr-h)} \quad (3.2)$$

式中:  $r_x$ —接闪杆在  $hx$  高度的  $xx'$  平面上的保护半径 (m);

$hx$ —被保护物的高度 (m);

$hr$ —滚球半径 (m);

$r_0$ —接闪杆在地面上的保护半径 (m)。

使用以上公式时, 根据接闪杆的高度不同, 分两种情况: (1) 针高  $h$  小于或等于  $hr$  时,  $h$  直接代入公式计算; (2) 接闪杆高度大于  $hr$  时,  $h$  用  $hr$  代替代入公式计算。

现在来分析一下事例 1 中错误的原因。事例 1 中, 建筑物为砖木构, 无任何防雷设施, 如设置接闪杆, 按滚球法的要求球体应沿大地地面 (而不是屋顶平面) 和接闪杆滚动而不触及建筑物。正确计算如下:

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{h(2hr-h)} = \sqrt{hx(2hr-hx)} \\ &= \sqrt{25 * (2 * 45 - 25)} = \sqrt{16 * (2 * 45 - 16)} \\ &= 9\text{m} \end{aligned}$$

显然 9m 针不能对教学楼完全保护, 设计人员错选了滚球滚动的基准面。

规范中给出的与地面有关的公式, 其前提条件是指足够大的水平地面, 滚球与地面相切与接闪器相切或相交的情况推导出来的。

#### 3.2 建筑物屋面设施防雷保护基准面的选取

##### 3.2.1 滚球基准面在天面上或其延伸面上

如图 3 所示, 滚球和接闪杆相交并与屋面 (安装有避雷网、带的屋面) 相切, 即接闪杆的屋面的保护范围  $r_0$  (按公式  $r_0 = \sqrt{h(2hr-h)}$  计算所得) 小于针到建筑物边沿的距离。防雷保护范围可以直接使用公式 (3.1)、(3.2) 进行计算; 还可能出现另外一种情况, 即建筑物周边设有较高的金属围栏、广告牌 (有防雷接地) 或女儿墙 (表面安装避雷带) 时, 将图 3 中的被保护物换成栏杆或女儿墙情况, 而建筑物的右边墙在虚线位置, 滚球并不与屋面相切, 但与其延伸面相切, 这种情况下, 金属围栏 (或女儿墙) 和接闪杆之间的保护范围, 仍可以直接使用公式 (3.1) 进行计算。

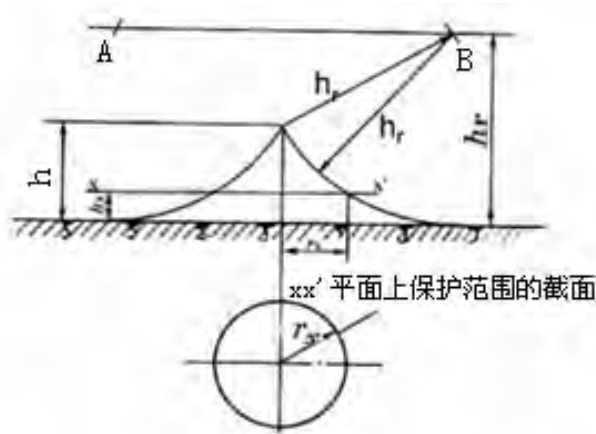


图2 单支接闪杆的保护范围

##### 3.2.2 滚球基准面在屋面下

当接闪杆以屋面为基准面的保护半径  $r_0$  大于接闪杆到建筑物边沿的接闪带或接闪网的距离时, 滚球与接闪杆相交或相切, 与屋面边沿相交。而与滚球相切的水平基准面位于屋面的下方。这时就不能直接应用上面的 (3.1)、(3.2) 公式计算了。如果能够计算出屋面与下方基准面的距离, 进行一些简单的变换, 使其符合公式的条件, 则可以套用公式来计算其保护范围。下面进行屋面与基准面距离计算:

设滚球 (滚球半径为  $hr$ 、圆心为  $P$ ) 与接闪杆和

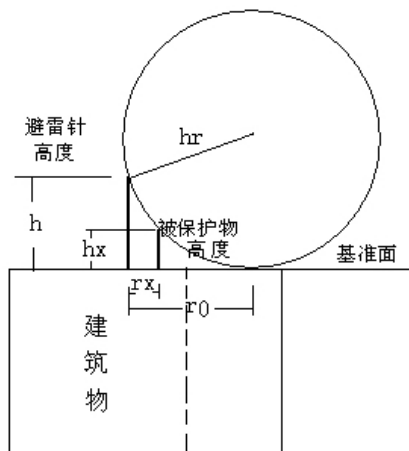


图3 建筑物屋面作为基准面的滚球法保护范围

屋面分别交于A、B两点,以针与屋面的垂足O为圆点,OA、OB及其延长线为坐标轴建立坐标系如图4所示。则A、B、P各点的坐标分别为A(0,h)、B(D,0)、P(a,b)。

则圆的方程为:  $(x-a)^2 + (y-b)^2 = hr^2$  将A、B两点的坐标代入其中得到以下a、b参数的方程组:

$$\begin{cases} a^2 + (h-b)^2 = hr^2 & (1) \\ b^2 + (D-a)^2 = hr^2 & (2) \end{cases}$$

(1)、(2)式整理消去a得到:

$$b^2 - hb + (D^2 + h^2)/4 - D^2 hr^2 / (D^2 + h^2) = 0 \dots (3)$$

得到:  $b = h/2 \pm D \sqrt{hr^2 / (D^2 + h^2) - 1/4}$

因  $b \geq h$

故  $b = h/2 + D \sqrt{hr^2 / (D^2 + h^2) - 1/4}$

$b = h/2 - D \sqrt{hr^2 / (D^2 + h^2) - 1/4}$  不合要求舍弃。

$$\Delta h = h/2 - D \sqrt{hr^2 / (D^2 + h^2) - 1/4} \quad (3.3)$$

向下延长接闪杆与基准面相交, 见图中虚线部

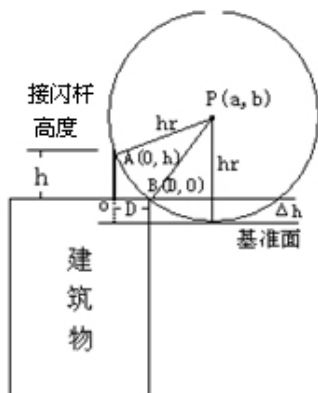


图4 基准面在建筑物屋面下的滚球法保护范围

分,即  $h + \Delta h$  代替实际接闪杆高度,  $h_x + \Delta h$  的高度就是保护物的高度。经过这些变换后就可以套用上面公式进行保护范围的计算了。

### 3.2.3 滚球基准面在屋面上

滚球基准面在屋面上的情况,如图5所示,AA'为接闪杆高度h,BB'为建筑物上接地金属物,高度为h'。如果以接闪杆和金属物的高度差即  $h - h'$  为接闪杆的高度,就可利用上面3.2.2的结论,求出  $\Delta h$ ,然后以  $h - h' + \Delta h$  为针的高度,以  $h_x + \Delta h - h'$  为被保护物的高度,就可以利用公式(3.1)计算保护范围。

根据上面的结论推而广之,接闪器无论是在安装了防雷设施的建筑物屋上,还是在规则或不规则的地面上,利用滚球法确定接闪器保护范围时,球体沿接闪器滚动时的任一位置,总可以找到一个平面,并对接闪器和被保护物高度进行一定的数据变换后用标准公式计算接闪器的保护范围。了解到滚球法这些特点和计算方法后,我们在防雷设计中,确定接闪器的选型、位置布局等方面带来极大的便利,并会收到事半功倍的效果。

最后再分析一下事例2的问题。首先作者的正解中,说一个支撑点选作“地面”,另一个支撑点选避雷带或短针,再加一注解:可理解为不等高的双针保护,双针保护时只在两针外侧适用公式(3.2),两针之间的保护并不适用此公式。其次就算是以楼顶屋面作参照面,球体是否与楼面相切,如果球体与楼面相交,那么照搬公式来计算保护范围,显然也是不正确的,这样的错误应该引起我们的重视。

## 4 小结

(1)采用滚球法对建筑物的防雷保护,不能保证

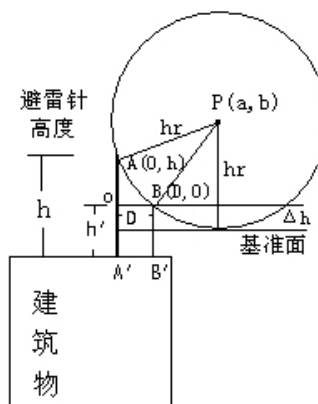


图5 基准面在建筑物屋面上的滚球法保护范围

下转第125页



关注度也随之不断提高。因此,在撰写地市级电视天气预报节目演播稿扩展信息时,应将气象公共服务与防灾减灾知识相结合,宣传一些必要的防灾减灾常识,如应对台风、暴雨、高温等天气的应急措施,以增强全社会的防灾减灾意识,推动全民防灾减灾知识和避灾自救技能的普及推广,提高各级综合减灾能力,从而最大限度地减轻自然灾害的损失。

另外,作为气象公共服务的重要途径,在电视天气预报演播稿时,还应利用这个平台,做好气象科普宣传工作。在撰写演播稿扩展信息时,向观众传递一些基本和必要的气象知识、解读一些气象现象、科学分析某些气象谚语、介绍某些气象趣闻等等,将气象与生活的方方面面联系起来,宣传和普及气象知识,进而增进公众对气象工作的了解与支持。

#### 4 结语

电视天气预报节目演播稿是电视天气预报节目的灵魂,在撰写电视天气预报演播稿工作中,要求我们不仅是一个具有扎实气象业务能力和深厚文学功底的电视天气预报演播稿编辑人员,还要是一个观看电视天气预报节目的普通观众,更是一个时刻为

人民服务的气象工作者。要从传统的“媒体本位”转变到“受众本位”,时刻牢记气象工作的服务性和人文关怀理念,从更实际、更负责的角度从观众需要、节目效果和气象工作的使命去考虑,反复“思考、学习、实践、交流、总结、改进”,不断完善和提高我区地市级电视天气预报演播稿的撰写质量。

参考文献:

- [1] 丘良,黎琮炜.拓展广西气象影视服务新道路[J].气象研究与应用,2011,32(4):100-102.
- [2] 谢海云,陈阳.谈地市级电视气象节目演播稿的修改[J].气象研究与应用,2009,30(S1):241-243.
- [3] 丘良,陈阳.演播稿质量与提升地市级天气预报节目的探讨[J].气象研究与应用,2010,31(1):110-112.
- [4] 邓正良,许伟彪,周海元.浅谈电视天气预报演播稿的写作[J].科技风,2011,(19):204.
- [5] 何草青,郭洪权.地市级电视天气预报节目演播稿的撰写技巧[J].气象研究与应用,2010,31(2):100-102.
- [6] 唐昌秀,邓丽玲,严玲等.浅谈如何撰写观众喜爱的电视天气预报节目演播稿[J].气象研究与应用,2010,31(2):110-112.
- [7] 石昌民.谈电视天气预报节目解说词的写作[J].陕西气象,1997,(6):40-41.

(上接第119页)

建筑物绝对不会遭到雷击,当雷击距小于所选滚球半径时,仍有可能发生雷电绕击被保护物的情况。

(2)滚球法在保护低、小的建筑物时,接闪杆更有优势;但对保护高、大的建筑物及其附属物的保护,应采用接闪杆、接闪带、接闪网、接闪线进行任意组合使用更为方便有效。

(3)使用滚球法在确定接闪保护范围时,切忌机械套用规范中的公式,而应在充分理解其原理和适用条件的基础上正确运用,确保接闪器的选型及选址布局既做到安全可靠又经济合理。

(4)滚球法是一种物理统计模型,也有其局限性。GB/T 21714-2008(IEC62305-3:2006)规范中推荐了确定接闪器保护范围的三种方法:保护角法、滚球法、网格法,其中滚球法适用于任何场合;保护角法用于外形简单的建筑物,但受接闪器高度的限制;网格法用于对平面表面的保护,在防雷工作,可以根

据实际情况将三种方法组合使用更为简单有效。

参考文献:

- [1] 建筑物防雷设计规范 GB50057-94, GB50057-94(2000), GB50057-2010.
- [2] 吕禄,张家文.防雷设施安装中应注意的问题[J].气象研究与应用,2009,30(1):85-87.
- [3] 杨召绪等.关于新旧《建筑物防雷设计规范》的对比分析[J].气象研究与应用,2011,32(3):92-93.
- [4] 马宏达.接闪杆保护范围的模拟试验理论与争议[J].工科技物理,1998年.
- [5] 陈秀芸等.电气几何模型在高层建筑绕击概率计算上的应用[J].气象研究与应用,2013,34(S1):153-154.
- [6] 叶丽娜等.浅议太阳能热水器的防雷措施[J].气象研究与应用,2013,34(S1):185-186.
- [7] 雷电防护 第3部分:建筑物的物理损坏和生命危险 GB/T21714. (IEC62305-3:2006).