［防雷设计］

滚球法和折线法防雷保护范围的计算比较

文/山东省建筑设计研究院有限公司　张翼凡

雷电是一种常见的自然灾害，会给建筑物和其内部设备带来极大威胁。所以人们在修建建筑物时通常进行防雷设计，通过拦截电流、疏导电流、最后将电流泄放入大地的一体化系统来防止雷电对建筑物及其内部设备的直击或电磁脉冲伤害。

通常，雷电带来的危害有三种方式：直击雷、感应雷和雷电过电压波入侵。感应雷的过电压一般可达500~600 kV，而直击雷过电压甚至可以达到几百万伏以上。对于直击雷，人们一般采用避雷针来保护建筑物和设备以及人身安全。避雷针的保护范围，有多种计算方式，这里用比较折线法和滚球法两种方法。这两种计算方式，在避雷针的保护范围计算上存在着较大的差异。这里只比较避雷针≤30 m时的情况。

单只避雷针时折线法和滚球法的比较

用折线法避雷保护计算中，单支避雷针以避雷针为轴的一个折线圆锥体作为保护范围。

滚球法，先假设一个半径为 h_r 的球围绕着避雷针滚动，而被球体和球面接触的地方可能遭受雷击，则球下未能触及的地方即为此避雷针的保护区域。

单只避雷针时，避雷针的保护范围：

1. 单只避雷针时的折线法

根据《工业与民用供配电设计手册》，避雷针在地面上的保护半径 $r=1.5h_p$，（$h\leqslant 30$ m时$p=1$）

避雷针在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径 r_x，应按下列各式确定

当 $h_x\geqslant 0.5h$ 时，$r_x=(h-h_x)p=h_ap$

当 $h_x<0.5h$ 时，$r_x=(1.5h-2h_x)p$

式中，r_x 是避雷针在被保护物高度，m；h_x 是水平面上的保护半径，m；h 是避雷针的高度，m；h_x 是被保护物的高度，m；h_a 是避雷针的有效高度，m；p 是高度影响系数，$h\leqslant 30$ m 时 $p=1$。如图1所示。

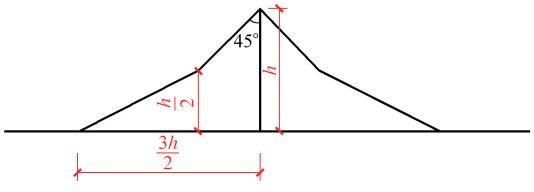

图1　单只避雷针时折线法示意图

如图2所示，当避雷针高度为7.5 m时，避雷针的保护空间下部为一个底面半径为11.25 m、顶面半径为3.75 m和高3.75 m的圆台，上部为一个底面半径为3.75 m、高3.75 m的圆锥。

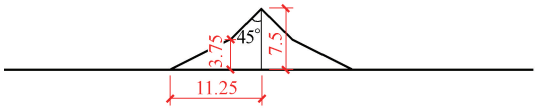

图 2　避雷针高度为 7.5 m 时示意图

2. 单只避雷针时的滚球法

根据《建筑物防雷设计规范》，当接闪杆高度 $h \leqslant h_r$ 时：

1）距地面 h_r 处做一平行于地面的平行线。

2）以杆尖为圆心，h_r 为半径做弧线交于平行线的 A、B 两点。

3）以 A、B 为圆心，h_r 为半径做弧线，弧线与杆尖相交并与地面相切。弧线到地面为其保护范围，保护范围为一个对称的锥体。

4）接闪杆在 h_x 高度的 xx' 平面上和地面上的保护半径，应按下式计算

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

$$r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)}$$

式中，r_x 是接闪杆在 h_x 高度的 xx' 平面上的保护半径，m；h_r 是滚球半径，m；h_x 是被保护物的高度，m；r_0 是接闪杆在地面上的保护半径，m。如图 3 所示。

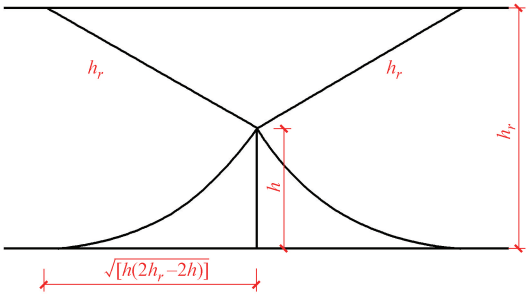

图 3　单只避雷针时的滚球法示意图

（1）当避雷针高度为 7.5 m 时

分别按滚球半径 30 m、45 m 和 60 m 计算，避雷针的保护空间分别为一个底面半径为 19.8 m、24.9 m 和 29 m 的椎体。

2）比较滚球法和折线法，滚球半径为 60 m 的保护范围最大，滚球半径为 45 m、30 m 的保护范围依次减小，折线法的保护范围最小。

（2）当避雷针高度为 15 m 时

1）按折线法计算，避雷针的保护空间下部为一个底面半径为 22.5 m、顶面半径为 7.5 m 和高 7.5 m 的圆台，上部为一个底面半径为 7.5 m、高 7.5 m 的圆锥。

2）当避雷针高度为 7.5 m 时，分别按滚球半径 30 m、45 m 和 60 m 计算，避雷针的保护空间分别为一个底面半径为 26 m、33.5 m 和 39.7 m 的椎体。

3）比较滚球法和折线法

如图 4 所示，滚球半径为 60 m 的保护范围最大，滚球半径为 45 m 的保护范围与折线法的保护范围相近，滚球半径为 30 m 的保护范围最小。

（3）当避雷针高度为 22.5 m 时

1）按折线法计算，避雷针的保护空间下部为一个底面半径为 33.75 m、顶面半径为 11.25 m 和高 11.25 m 的圆台，上部为一个底面半径为 11.25 m、高 11.25 m 的圆锥。

2）当避雷针高度为 22.5 m 时，分别按滚球半径 30 m、45 m 和 60 m 计算，避雷针的保护空间分别为一个底面半径为 29 m、39 m 和 46.8 m 的椎体。

3）比较滚球法和折线法

如图 5 所示，滚球半径为 60 m 的保护范围与折线法的保护范围相近，滚球半径为 45 m、30 m 的保护范围依次减小。

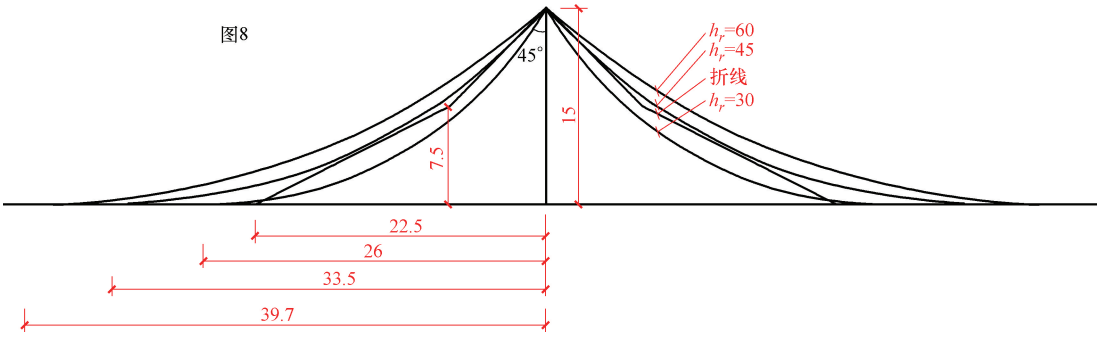

图 4　避雷针高度为 15 m 时示意图

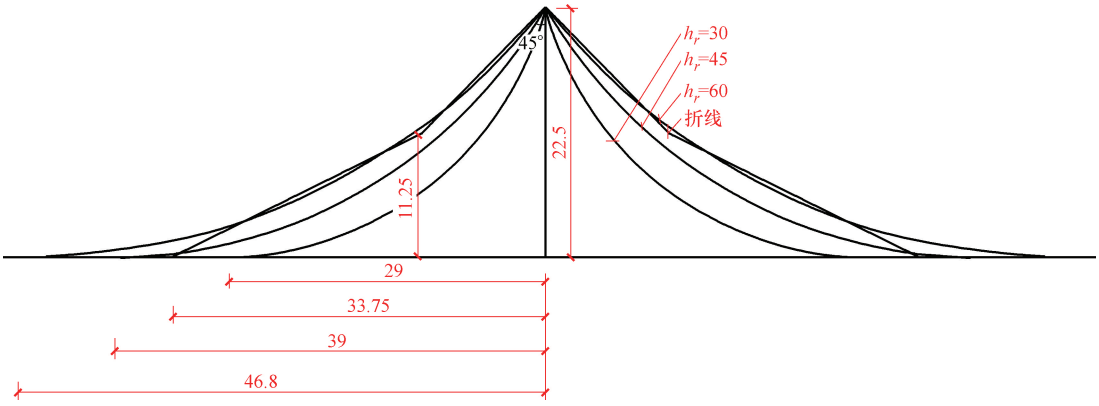

图 5　避雷针高度为 22.5 m 时示意图

（4）当避雷针高度为 30 m 时

1）按折线法计算，避雷针的保护空间下部为一个底面半径为 45 m、顶面半径为 15 m 和高 15 m 的圆台，上部为一个底面半径为 15 m、高 15 m 的圆锥。

2）当避雷针高度为 22.5 m 时，分别按滚球半径 30 m、45 m 和 60 m 计算，避雷针的保护空间分别为一个底面半径为 30 m、42.4 m 和 52 m 的椎体。

3）比较滚球法和折线法

如图 6 所示，折线法的保护范围最大，滚球半径为 60 m、45 m 和 30 m 的保护范围依次减小。

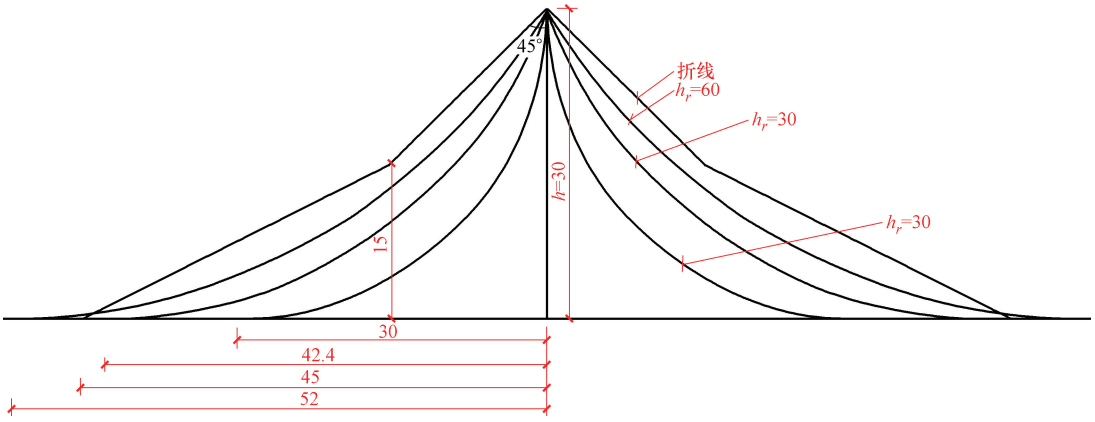

图 6　避雷针高度为 30 m 时示意图

两只等高的避雷针时折线法和滚球法的比较

1. 根据《工业与民用供配电设计手册》

1）两支避雷针外侧的保护范围应按单支避雷针的计算方法确定。

2）两针间的保护范围应按照通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定，O 点为假想避雷针的顶点，其高度为 $h_o=h-D/(7p)$，如图 7 所示。

2. 滚球法

根据《建筑物防雷设计规范》附录 D，两支等高接闪杆的保护范围在接闪杆高度 $h\leqslant h_r$ 的情况下，

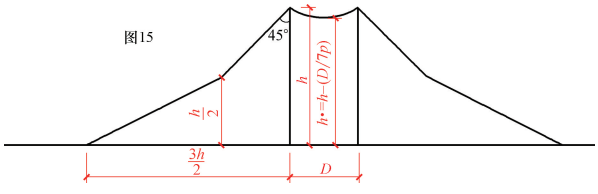

图 7　两支避雷针保护示意图

当两支接闪杆距离 $D\geqslant 2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 时，应各按单支接闪杆所规定的方法确定；当 $D<2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 时，应按下列方法确定：

1）$AEBC$ 外侧的保护范围应按单支接闪杆的方法确定。

2）C、E 点应位于两杆间的垂直平分线上。在地面每侧的最小保护宽度应按下式计算

$$b_0 = CO = EO = \sqrt{h(2h_r - h) - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

3）在 AOB 轴线上，距中心线任一距离 x 处，其在保护范围上边线上的保护高度应按下式计算

$$h_x = h_r - \sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2}$$

该保护范围上边线是以中心线距地面 h_r 的一点 O' 为圆心，以 $\sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$ 为半径所做的圆弧 AB。正面和剖面如图 8、图 9 所示。

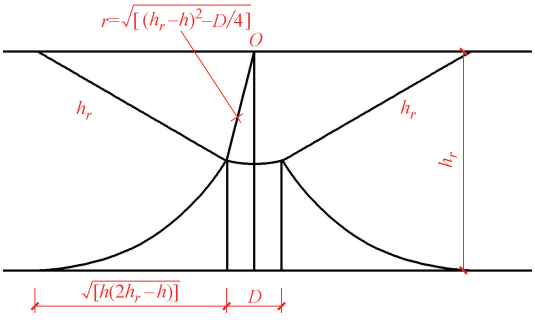

图 8　正面

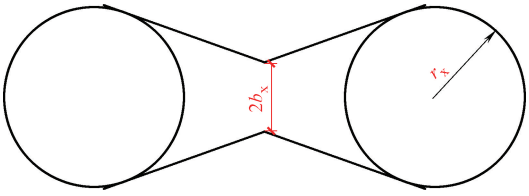

图 9　剖面

（1）当避雷针高度为 7.5 m 时

如图 10 所示，滚球半径为 60 m 的保护范围最大，滚球半径为 45 m、30 m 的保护范围依次减小，折线法的保护范围最小。

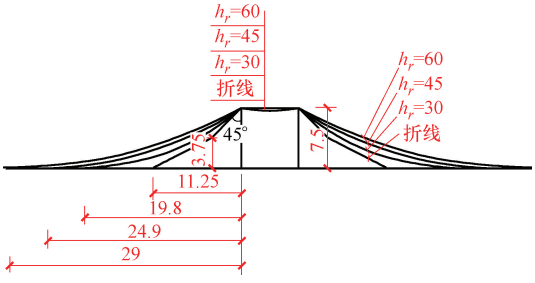

图 10　避雷针高度为 7.5m 时示意图

（2）当避雷针分别为 15 m、22.5 m 和 30 m 时

1）滚球半径为 60 m 的保护范围最大，滚球半径为 45 m 的保护范围与折线法的保护范围相近，滚球半径为 30 m 的保护范围最小。

2）滚球半径为 60 m 的保护范围与折线法的保护范围相近，滚球半径为 45 m、30 m 的保护范围依次减小。

3）折线法的保护范围最大，滚球半径为 60 m、45 m 和 30 m 的保护范围依次减小。

折线法与滚球法的保护范围关系

可以看出，折线法与滚球法的保护范围关系如图 11 所示。

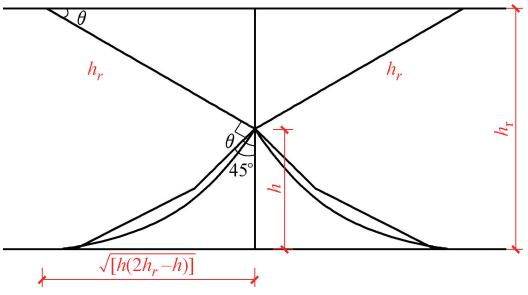

图 11　折线法与滚球法的保护范围关系

由图可得 $\theta = \arcsin[(h_r - h)/h_r]$

所以：①角 $\theta \gg 45°$ 时，$0.293h_r > h$，折线法计算的保护范围小；②角 $\theta \ll 45°$ 时，$0.293h_r < h$，折线法计算的保护范围大；③角 θ 大小在 45°附近时，$0.293h_r \approx h$，折线法和滚球法计算的保护范围差不多。

结束语

滚球法和折线法在防雷原理及保护范围的计算上存在着较大的差异，采用不同的方法导致不同的结果。当避雷针高度比 0.3 倍的滚球半径小很多时，选折线法比较可靠；当避雷针高度比 0.3 倍的滚球半径大很多时，选滚球法比较可靠；当避雷针高度和 0.3 倍的滚球半径差不多时，两者计算的保护范围基本一致。**EA**

（收稿日期：2021-05-20）