

## 避雷针保护范围计算方法的简化

广西大学发配电教研室

关于避雷针保护范围的确定，在我国过去都是沿用苏联的做法，其中为电力系统防雷所习用的是所谓曲线法〔文献1〕。根据这一方法，单支避雷针在一定的被保护物高度下的保护范围（半径），可以用下式表示：

$$r_x = \frac{1.6}{1 + \frac{h_x}{h}} h_a \quad (1)$$

式中： $r_x$ ——避雷针的保护半径；

$h$ ——避雷针高度；

$h_x$ ——被保护物高度；

$h_a = h - h_x$ ——避雷针的有效高度。

式(1)适用于 $h \leq 30$  米的避雷针。当 $h > 30$  米时，式(1)的结果须乘以系数  $p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ 。

根据式(1)画出的单支避雷针保护范围边界是一根曲线。由此可见，用这个曲线法决定避雷针的保护范围，无论计算或作图，都是比较复杂、烦琐的，而对两支及多支避雷针的保护范围的决定，则需要进行更复杂的计算，或者依靠复杂的曲线图表才能作出〔文献1〕。为了使计算和作图得以简化，在苏联还提出了所谓折线法〔文献2〕。这一方法也被引用于我国的建筑物防雷设计中〔文献3〕。它虽然在某些方面要比曲线法简单一些，但仍有不少烦琐与不便的地方。因此，即使在苏联，它也始终没有能够完全取代曲线法，从而形成两种方法长期并存的局面。

应该指出，所谓保护范围只是一个有条件的统计性的数量，它不但决定于避雷针的高度，而且与雷云高度、雷电流强度以及其他大气地理条件有关。这些条件一有改变，避雷针的保护范围也要跟着变化。因此，无论通过模拟试验或其他方式，要得到一个绝对精确的保护范围是不可能的。上述苏联现用的两种方法，虽然都是根据模拟试验的结果整理出来的，但是两种方法所决定的保护范围并不完全一致。这就说明，苏联这些方法并不是什么不可改变的标准。根据国内外的试验结果和长期运行经验，我们完全有可能打破苏修这套烦琐作法的束

缚，拟订出我国自己的一套简单合理的避雷针保护范围的计算方法。我们在这里提出的确定避雷针保护范围的新方法（简称新折线法），就是关于这个问题的一个尝试。

## 一、单支避雷针保护范围的确定

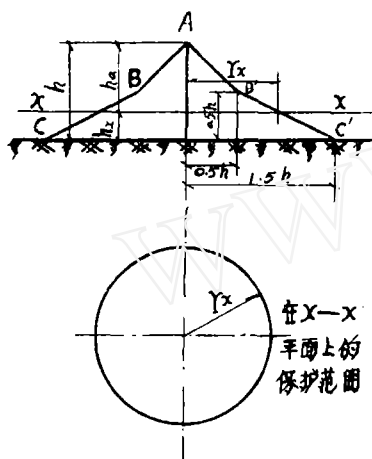


图1. 单支避雷针的保护范围

前面已提到，由式（1）画出的单支避雷针保护范围边界是一根曲线，本文提出的新折线法就是以折线来代替这根曲线。用新折线法确定的保护范围如图1所示。图中A点是避雷针顶点，B点是高度及与避雷针距离都等于 $h/2$ 之点，C点是地平面上与避雷针距离为 $1.5h$ 之点。连结A、B、C三点的折线，就是避雷针的保护范围边界。

与此相应的保护范围计算公式如下：

当 $h_x \geq h/2$ 时，

$$r_x = h - h_x = h_a \quad (2)$$

当 $h_x < h/2$ 时，

$$r_x = 1.5h - 2h_x \quad (3)$$

当 $h > 30$ 米时，上式的结果应乘以  $p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ 。

很容易看出，新折线法无论作图或计算都很简便，比之原曲线法和原折线法都有很大的改进。

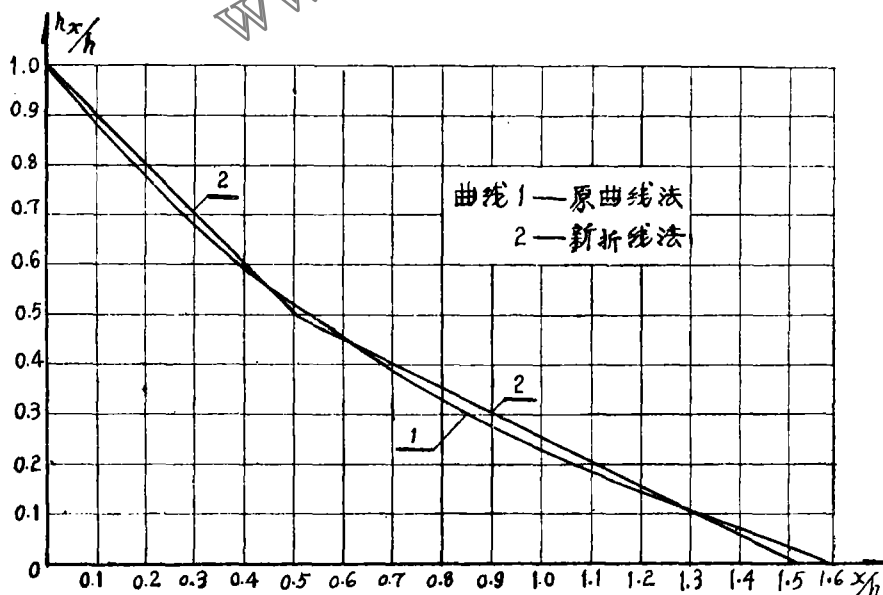


图2. 新折线法与原曲线法保护范围的比较

值得指出的是，新折线法所确定的保护范围与原曲线法却是很接近的。在某些范围内，两者的差别甚至比原折线法与原曲线法之间的差别还要小。新折线法与原曲线法的保护范围的比较见图 2 和表 1。

表 1. 新折线法与原曲线法保护范围的比较

$h_x/h$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$r_x/h$ 原曲线法	1.6	1.31	1.07	0.86	0.685	0.535	0.4	0.282	0.178	0.084
$r_x/h$ 新折线法	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
相差 %	-6.25	-0.77	+2.8	+4.65	+2.2	-6.2	0	+6.4	+12.3	+19

从表 1 中可看出，在  $h_x/h \leq 0.7$ ，即通常遇到的大多数情况下，新折线法计算得出的保护范围与原曲线法相比，不超过  $\pm 7\%$ ，可以认为是比较接近的。只有在  $h_x/h$  达到 0.8 以上时，相差值才达到 10% 以上，反映了在这一段范围内雷击概率有所增加。但实际运行经验证明，对建筑物采用  $45^\circ$  的保护角还是很可靠的。英、美、日等国家的建筑物防雷规程，对重要建筑物就是采用  $45^\circ$  的保护范围，对不重要建筑物则采用  $60^\circ \sim 63.5^\circ$  的保护范围。由此可见，用新折线法决定的保护范围是比较可靠的。

用新折线法可以很容易地解决另一类问题，即已知被保护物高度  $h_x$  及保护半径  $r_x$ ，求所需的避雷针高度  $h$ 。从前述式 (2)、(3) 可以推出下面两个计算公式：

当  $r_x \leq h_x$  时，

$$h = h_x + r_x \quad (4)$$

当  $r_x > h_x$  时，

$$h = \frac{2}{3} (2h_x + r_x) \quad (5)$$

## 二、两支避雷针间保护范围的确定

当应用两支或多支避雷针进行保护时，由于各避雷针间的互相屏蔽作用，针间的保护范围比单针时有所扩大。在确定两针或多针间的保护范围时，主要解决两个问题：一是针间保护范围最小高度  $h_0$  的确定问题；二是针间保护范围最小宽度  $b_x$  的确定问题。

关于  $h_0$  的确定，原曲线法采用了下面的简单计算公式：

$$h_0 = h - \frac{a}{7p} \quad (6)$$

式中： $a$ ——两支等高避雷针间的距离；

当  $h \leq 30$  米时,  $p = 1$ ;

当  $h > 30$  米时,  $p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ 。

由于式 (6) 比原折线法的计算公式〔文献 2、3〕简单得多, 我们在新折线法中保留采用这一简单公式。

至于两针间保护范围最小宽度  $b_x$  的确定, 原曲线法却给出了一个非常复杂的关系〔文献 4〕, 如下式所示:

$$\left(\frac{b_x}{r_x}\right)^{1.4} + \left(\frac{a}{7 h a \cdot p}\right)^{1.3} = 1 \quad (7)$$

如果不用公式, 就要查复杂的曲线图表, 不管怎样, 总是费时、费力, 同时难于得到准确的结果, 况且一离开计算尺或曲线图就毫无办法。难道真的非这样不可吗? 不, 在这里面一定可以找出更简单的规律来。

我们研究两针中间形成的以  $h_0$  为顶点的保护范围截面, 原折线法把这一截面看作是与单针保护范围相似的折线形状, 从而所求的  $b_x$  就是以  $h_0$  为顶点的假想避雷针的保护半径。在苏联较近期的著作中, 的确有不少是采用曲线法的公式 (6) 来确定  $h_0$  并且用假想避雷针的方法来确定  $b_x$  的〔文献 5、6〕。但这已不是原来的曲线法或折线法。所求得的  $b_x$  值也比原来的任一方法偏低偏严, 因而我们认为不可取。

我们把用曲线法作出的两针间保护范围截面与单针保护范围加以比较, 终于找出了一个简单的规律: 即在同一  $a/h$  下, 在各个水平面上的  $b_x$  与  $r_x$  之差基本上接近一致。也就是说, 两针间的保护范围宽度由两端 (等于  $r_x$ ) 到中间 (等于  $b_x$ ) 逐渐缩小, 而在不同高度上缩小的宽度是一样的。这样一个水平等差的概念可以用公式表示如下:

$$r_x - b_x = \text{常数 } K$$

由于在  $h_0$  高度上  $b_x = 0$ , 代入上式可求得常数  $K = r_{h_0}$  —— 即在  $h_0$  高度上单针的保护范围, 由此即可得到确定  $b_x$  的简单计算公式如下:

$$b_x = r_x - r_{h_0} \quad (8)$$

$r_x$  和  $r_{h_0}$  都根据单针保护范围的新折线法〔公式 (2)、(3)〕计算, 其中

当  $h_0 \geq \frac{h}{2}$  时,  $r_{h_0} = h - h_0$

当  $h_0 < \frac{h}{2}$  时,  $r_{h_0} = 1.5h - 2h_0$

新折线法的作图如图 3 所示。按照水平等差的原则, 只要通过  $h_0$  高度处作与外侧保护范围相平行的折线, 折线的转折点在  $h/2$  的水平面上, 就得到两针中间的保护范围。这个范围的边界, 在  $h_0 > \frac{h}{2}$  时是折线, 在  $h_0 \leq \frac{h}{2}$  时是一根直线。

从上所述可见, 新折线法在确定两针中间保护范围最小宽度  $b_x$  时, 由于应用了水平等

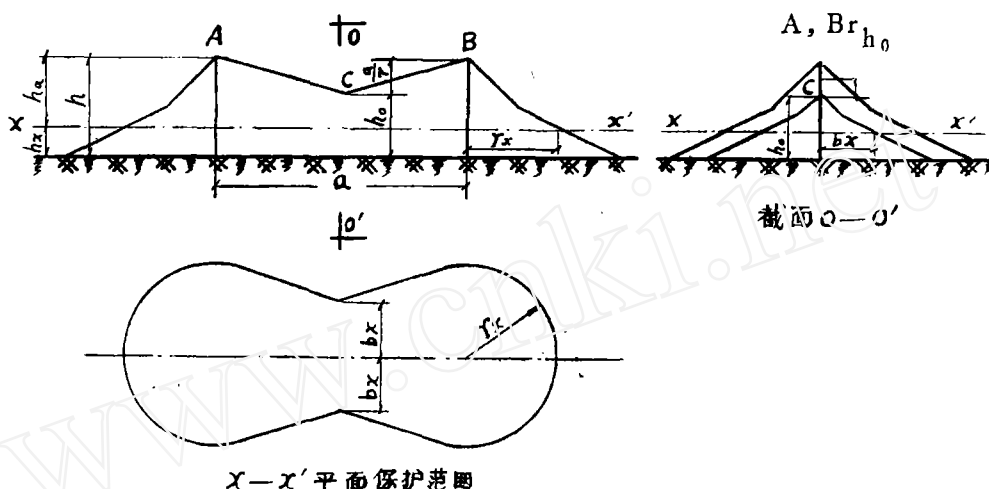


图 3. 两支等高避雷针的保护范围

差的原则，计算和作图都很方便。

为了与原曲线法进行比较，在图 4 中给出了在不同的  $a/h$  值下用两种方法作出的  $b_x/h$  与  $h_x/h$  的关系曲线。从图中可看出，两种方法作出的保护范围还是比较接近的，只是在新折线法折线转折处有稍大的差别，而且误差是偏于安全侧。因此，我们认为，用新折线法作出的保护范围是合理可用的。

总之，我们认为新折线法所根据的概念比较简单清楚，也比较合理。与此相比，原曲线法没有给出外侧保护范围 ( $r_x$ ) 与中间保护范围 ( $b_x$ ) 之间的任何简单的关系。原折线法认为中间保护范围是与外侧保护范围相似的折线（即以  $h_0$  为假想避雷针作出的保护范围），这在针间距离较远即  $h_0$  较小时不见得合理。《电力设计技术规范》征求意见稿中拟采用的直线法〔文献 7〕则把中间保护范围边界简化为一直线，这在两针距离较近时显得不合理，因为在这种情况下，很难解释怎么样从外侧的折线保护范围过渡到中间的直线保护范围。较大的误差也就是在这些地方出现的。新折线法根据水平等差的概念，在两针距离较近时能保证中间保护范围与外侧保护范围接近，而在两针距离较远时 ( $h_0 \leq \frac{h}{2}$ )，中间保护范围又能以简单的直线表示。

采用新折线法可以很容易解决另一类问题，即已知  $h_x$ 、 $a$ 、 $b_x$  求  $h$  的问题，有关计算公式如下：

$$\text{当 } h_x \leq \frac{a}{7} - \frac{b_x}{2} \text{ 时, } h = h_x + \frac{a}{7} + \frac{b_x}{2} \quad (9)$$

$$\text{当 } h_x \geq \frac{a}{7} + b_x \text{ 时, } h = h_x + \frac{a}{7} + b_x \quad (10)$$

$$\text{当 } \frac{a}{7} + b_x > h_x > \frac{a}{7} - \frac{b_x}{2} \text{ 时, } h = \frac{2}{3} (2h_x + \frac{a}{7} + b_x) \quad (11)$$

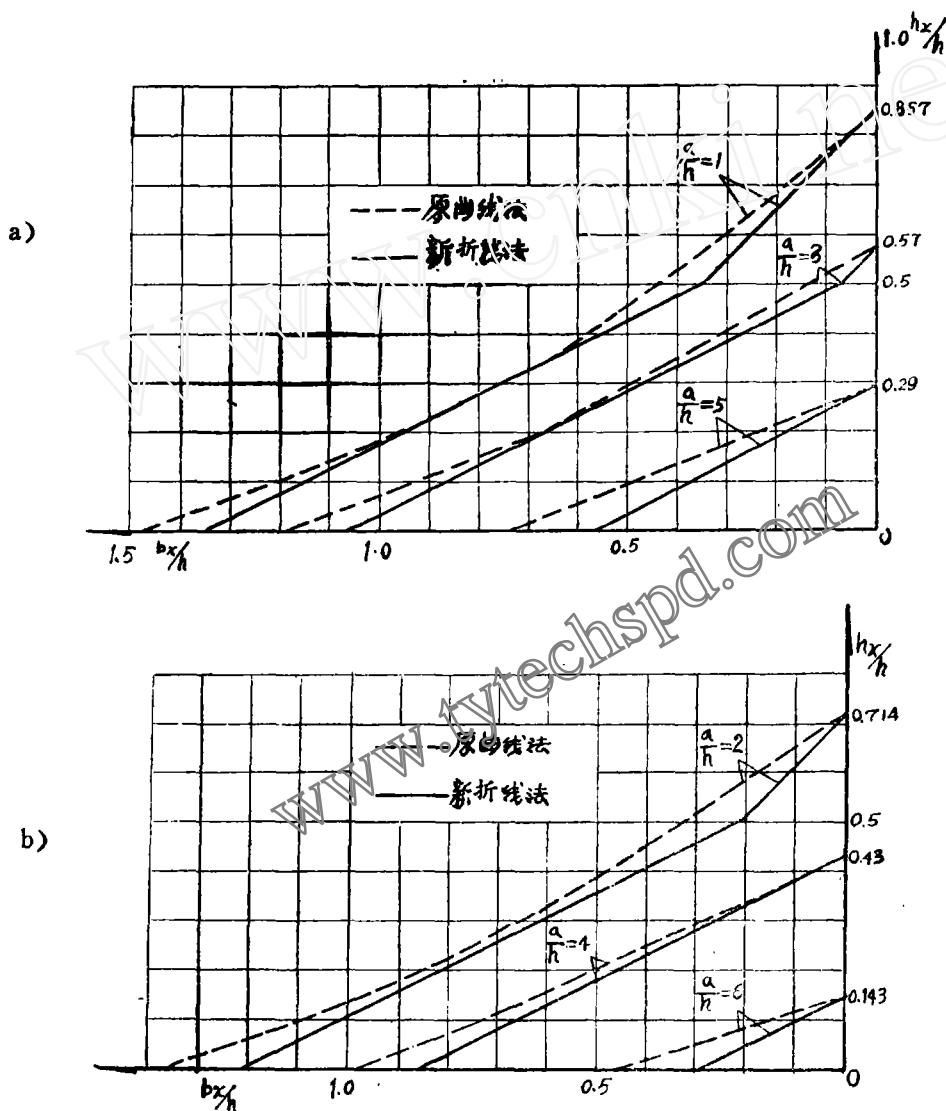


图 4. 新折线法与原曲线法确定的两针间保护范围的比较

## 参 考 文 献

1. 水利电力部制订：《过电压保护规程》，1959 年。
2. 斯捷柯里尼柯夫主编：《工业结构物和房屋的防雷保护》，1951 年（中译本 1958 年版）。
3. 中国科学院电工研究所、北京市建筑设计院研究室合编：《民用建筑物防雷保护》，1962 年。
4. 西北电力设计院、东北电力设计院合编：《电力工程设计手册》，第一册，1972 年。
5. 拉里安诺夫：《住宅与工业建筑物的防雷》，1960 年俄文版（有中译本）。
6. 拉泽维格：《高电压工程》，1964 年俄文版。
7. 《电力设计技术规范·过电压保护篇·建筑物和构筑物的防雷篇》征求意见稿，1973 年。

www.tytechspd.com