

Transmission Lines and Negative Angle of Attack Around Lightning Rod Applications

LI Chun-sheng, GUO Xiao-feng, LI Hong-kui, ZHANG Jian-bin

(Pingdingshan Power Supply Company, Henan Pingdingshan 467001, China)

E-mail:xljxyb@163.com

Abstract: The overhead transmission lines is an important part of power system, lightning performance of transmission lines to measure the pros and cons, projects mainly lightning withstanding level and rate of these two indicators trip through the statistical data found in the current high-pressure and high pressure overhead transmission lines, tripping Shielding absolute leading position, how to properly analyze the causes of Shielding to reduce or prevent the attack around, as every electrical worker must face. This according to the principle of mine, from the introduction of the causes of Shielding, Shielding characteristics of this paper introduces measures to reduce Shielding failure, from which these responses, select a method that is a negative angle of protection of a brief introduction.

Key words: transmission line; lightning protection; circling lightning strike; negative angle protection

输电线路防绕击和负角避雷针的应用

李春生, 郭晓峰, 李红奎, 张建彬

(平顶山供电公司, 河南 平顶山 467001)

xljxyb@163.com

【摘要】 架空输电线路是电力系统的重要组成部分, 衡量输电线路防雷性能的优劣, 工程上主要采用耐雷水平和雷击跳闸率这两个指标, 通过统计数据发现, 在当前的高压和超高压架空输电线路中, 绕击跳闸占绝对主导地位, 如何恰当的分析绕击的成因, 减少或者防止绕击, 成为每一个电力工作者所必须面对的问题。本文根据防雷的原则, 从介绍绕击的成因, 绕击的特点入手, 介绍了减少绕击故障的对策, 从这些对策当中, 选择了一种方法, 即负角保护进行了简单的介绍。

【关键词】 输电线路; 防雷; 绕击; 负角保护

0 引言

架空输电线路长度大, 且暴露在旷野, 极易受雷击, 因此电网的事故中以线路雷害占大部分。雷击线路的直接后果是线路绝缘子闪络, 导致线路跳闸, 使供电中断。雷击线路时沿线路入侵变电站的雷电波又是造成变电站雷害事故的重要因素。

1 防雷原则

根据技术经济比较的结果, 因地制宜采取合理的保护措施。而线路本身的实际运行经验, 是衡量其防雷保护是否可靠的最好指标。《过电压保护设计规范》中所推荐的各种防雷保护方法, 系根据全国一般地区大多数线路的运行经验以及技术经济的合理性而制定的, 所以在选择每一条线路具体的防雷技术措施时, 必须从实际出发, 具体情况具体分析, 做到区别对待, 因地制宜, 以便在节约的原则下做好防雷工作。

制定输电线路的防雷保护措施时, 主要应该考虑以下几个方面: ①防止直接雷击。线路直击雷事故有

绕击和反击两种, 线路的绕击耐雷水平是远低于其反击耐雷水平的; ②防止发生反击; ③防止雷击闪络后建立工频短路电弧; ④保证线路不间断供电; ⑤特殊杆塔的保护。

2 绕击的成因

高空带电雷云激励地面接地体, 使其快速强烈的响应, 自顶端产生迎面先导与之交汇。装有雷电接闪装置的接地体, 将把雷云先导发展方向引向自身。有些接地体在顶端装设避雷针、线等, 用以控制接地体上部高空雷电先导对建筑物的危害。但并不是所有的高场强雷云在不断向下分级发展的过程中, 都恰好被装在高接地体顶端的雷电接闪装置所吸引。装设在接地体顶端的雷电接闪装置能否接闪, 不仅与接闪装置产生异性电荷的能力和异性电荷迁移速率有关, 也与雷电先导头部电场游离范围即先导对接地体迁移异性电荷的吸引半径有关; 同时也和接地体产生迎面先导的能力有关。雷云在随风向快速移动的过程中, 受到雷云与雷云之间, 雷云与大地之间各种不断变化的随

机因素影响。雷云先导在接受各种影响的同时，不断地调整先导头部分级发展的方向，从而使先导头部向接地体定向发展时的定位高度并不一定恰在接地体的上部空间。发展到接地体侧面低空的雷电先导，将向便于泄放自己能量的方位“最后阶跃”，这是雷电先导有可能向接地体绕击的原因，而接地体自身是否存在易于遭受绕击的条件，也是绕击能否发生的重要原因。

它的机理有另一种说法，绕击的发生是由于雷电流小于所选滚球半径对应的最小雷电流而产生的一种雷击现象。

3 绕击的特点

在我国实际的 220kV 的线路的观测中，绕击跳闸次数占了整个跳闸事故的 60% 左右，而在 500kV 的输电线路中绕击的事故就更加严重了，因此对线路绕击的研究对保证电网的安全可靠的运行是非常重要的。事故分析发现绕击率高的分布点主要集中在离输电导线较近的中间部位，主要原因是：在高于一定高度后的空间是属于避雷线的吸引半径范围之内，其绕击概率是很低或不发生绕击，而在低于这一高度之后，即至地面的吸引半径之后，如果此处落雷的话，绕击的概率也是很低或是不绕击。

经过总结发现，“绕击”的特点是：①定位高度比反击低；②只在满足绕击充要条件时发生。现在提出一种输电线路绕击防护的新思路，输电线路的屏蔽系统由地线、杆塔和大地三者构成。输电线路发生绕击跳闸事故可归咎于屏蔽系统的引雷能力不够。对于具体情况，增强某一屏蔽体的引雷能力，可有效地防止绕击跳闸事故的发生。相关的模拟试验和仿真计算研究的结果证明了它的可行性。

4 绕击率的计算

关于绕击率，其物理意义是：每年雷电绕过避雷线直击于导线的次数对（总的）线路雷击次数（均按单位长度）的比值，可表示为：

$$P_a = \frac{N_2}{N}$$

式中 N_2 ——每年每单位长度线路的雷绕击次数（次/100km · a 或次/100km · 40 雷暴日）；

N ——线路雷击次数（次/100km · a 或次/100km · 40 雷暴日）。

前苏联 M. B. К о с т е н к о 根据实验模拟试验结果，以及对较高杆塔系统运行经验的分析提出了

绕击计算的公式：

$$\lg P_a = \frac{a\sqrt{h}}{90} - 4$$

式中， α 为地线对边导线的保护角， h 为避雷线的悬挂高度。

我国电力行业标准 DL / T620-1997《交流电气装置过电压保护与绝缘配合》，根据运行经验推荐用下列分式计算绕击率：

$$\text{对于山区线路} \quad \lg P_a = \frac{a\sqrt{h}}{86} - 3.9$$

$$\text{对于山区线路} \quad \lg P_a = \frac{a\sqrt{h}}{86} - 3.35$$

从公式可以看出，山区的绕击率是平原的 3 倍，或者相当于保护角增大 8° 。规程中的计算式，是运行经验的总结，具有简单明了的特点，对一般线路的设计及防雷计算十分便捷。但是它也存在十分粗略的缺点，最明显的是，对于山区不同的边坡角度无法区别开来。于是便有了其他一些计算方法。如：EMTP 方法，统计模拟法，蒙特卡罗法等等，这里就不再逐一介绍了。

5 减少绕击故障的对策

减少绕击对输电线路造成的故障具有多种对策：

① 接地电阻的改善；② 尽可能降低铁塔高度；③ 增强线路的绝缘；④ 采用分裂导线；⑤ 减小边导线保护角（山区线路可采用负保护角）；⑥ 杆塔横担上加装侧向避雷针；⑦ 避雷线上加装侧向短针；⑧ 加装塔顶拉线；⑨ 加装旁路架空地线。

试验数据表明，普通避雷针的引雷能力大约是架空地线的 46 倍。在架空地线上装设短针，能有效提高地线的引雷能力，对高压输电线路而言，在架空地线上装设防绕击预放电避雷针，其作用有：①减少了雷击跳闸率；②降低线路保护角，进而减少线路的绕击率；③具有较强的引雷作用；④具有较小的雷电流；⑤较大的保护范围。

由于反击耐雷水平远高于绕击耐雷水平，此时，将可能绕击于导线的低幅值雷击引到架空地线上。而此雷电流幅值小于其反击耐雷水平，从而防止绕击跳闸事故的发生。

如果采用防绕击预放电避雷针，因为其具有一般侧针所没有的技术特点，防绕击预放电避雷针可得到比传统避雷针提前的放电先导，它可将动态雷闪所产

生的高频脉冲电压重复不间断的送达针尖，以触发针尖空气电离提前放电，击穿空气介质，形成向上先导，在空中与雷云所产生的下行先导闪接，以达到防绕击的目的。

6 负角保护针

山区输电线路的杆塔大都处于山坡或山顶，由于地形起伏较大，气流多变活动强烈，导致雷击活动频繁，落雷密度高，是雷电的多发地带。同时山区的土壤电阻率较高，边坡角度大，加上雷电发生时常常伴有大风天气，使得较大档距中央的避雷线对边导线的保护角失效，装设避雷线的线路经常出现雷绕过避雷线而击于导线的现象。

在 220kV 线路多雷区和易击点的杆塔上安装负角保护针，通过改善屏蔽，减小临界击距，能够有效减少输电线路遭受雷电绕击，降低雷击跳闸率，提高输电线路安全运行水平。

试验研究成果表明：护角为 0 度的时候，绕击概率为 0，如图 1 所示，可以看出，负保护角在防止绕击上有着绝对的优势。尤其是负角保护针中 -5° 的保护角在防绕击性能上，跟其他的保护角相比有着绝对的优势。

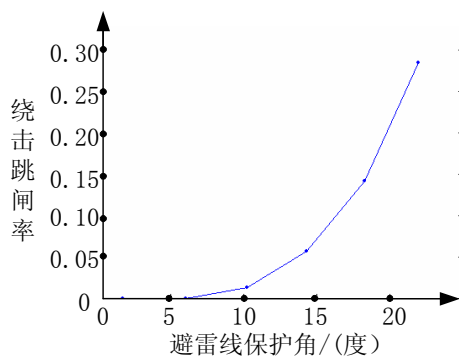


Figure 1 lightning outage rate and shielding angle
图 1 绕击跳闸率与保护角关系图

通过相关试验表明负保护角在防止绕击上有着绝对的优势：

(1) 通过典型的 500kV 输电线路 (ZB6T 型杆塔) 在保护角为 $+12^{\circ}$ 下的 1:40 比例模型试验，试验得出了空间各点绕击概率的分布规律：在离输电线路越近的空间，其绕击的空间便越大，其绕击的雷电幅值便越小，随着距离输电线路越远，其绕击空间便越小，且绕击空间慢慢上升。这和电气几何模型计算分析时

的绕击空间分布规律是一致的。

(2) 在不同的地形及来雷方向的条件下，通过对不同保护角进行绕击试验，验证了绕击概率随着保护角的减小而减小，实验数据结果尤其突显了负保护角在防止绕击性能上的优越性。

(3) 导线上有无电压对引雷的影响研究表明：在雷击瞬间，输电导线上所处的电压值对引雷影响很大，随着导线上与雷电的相反极性电压值的升高，其引雷的能力就越来越强。在平原地区，即使考虑导线上的运行电压，采用 -5° 的保护角对边相导线也不会发生绕击。

(4) 斜山坡地形对输电线路绕击概率的影响研究表明：无论是发生绕击的空间还是许多具体空间落雷点的绕击概率都随着地面的倾斜角度的增大而增大。总之，整体看来，试验数据都清楚地表明随着地面倾斜角度的增大，线路的绕击概率明显增加。当采用 -5° 的保护角时，对于电流较大的时候绕击无明显增加，但在电流较小时，参考 0° 的试验数据，绕击也应有所增大。

(5) 山区跨越深山谷线路绕击概率的变化规律，实验数据表明，大跨距时由于弧垂的不一样而导致避雷线与输电线之间的垂直距离增大，本身垂直距离的变化对绕击概率本无明显影响，只是由于其垂直距离变化而水平距离没变从而保护角变小，因此才导致绕击概率变小；跨越深山谷时，由于地面的屏蔽性能急剧减弱甚至没有，此时无论是发生绕击的空间还是许多具体空间落雷点的绕击概率都随着山谷的深度的增大而增大，输电线路的绕击率明显增大。大跨距和大弧垂对于 -5° 保护角的绕击无明显影响。

7 结论

防绕击作为防雷工作的一种，我们必须给予足够的重视，而负角避雷针的恰当使用可以有效的应对绕击，相信通过电力系统相关科技人员的研究，必将有更加有效的方法出现。

References (参考文献)

- [1] LIU Zhen-ya. extra high-pressure power network[M]. Beijing: China Power Press.2005.
刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 电力工业出版社, 2005.
- [2] XUN Kai. Overhead line lightning rod for anti-Shielding Practical Technology[J]. High Voltage Engineering. 2008(6):1301-1302.
寻凯. 架空线路防绕击避雷针实用化技术[J]. 高电压技术, 2008 (6); 1301-1302.

- [3] QIAN Guan-jun.etc. Transmission Line Shielding Dispersion Test[J]. High Voltage Engineering. 1998, 24(3):17.
钱冠军等. 输电线路绕击分散性的试验研究[J]. 高电压技术, 1998, 24 (3) : 17.
- [4] ZHOU Ze-cun. High Voltage Engineering[M].Beijing: Water Resources and Electric Power Publishing House,1998.
周泽存. 高电压技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [5] Wuhan High Voltage Research Institute of State Grid. Controlled discharge of lightning research and application reports[R].Wuhan: Wuhan High Voltage Research Institute of State Grid.2006.
国网武汉高压研究院. 可控放电避雷针的研究及应用报告[R]. 武汉: 国网武汉高压研究院, 2006.
- [6] Trip Rate Calculation and Analysis[J] Fujian Power and Electrical Engineering.2008,28(2):5-12.
跳闸率的计算与分析[J]. 福建电力与电工, 2008, 28 (2) : 5-12.
- [7] WANG Xi-xun. Overhead Transmission Line's "four lines of defense"[J]. Rural Electric.2005,7:32.
王西训. 架空输电线路防雷的“四道防线” [J]. 农村电工, 2005. 7:32.
- [8] GUO Xiu-hui.etc. Transmission Line Shielding Protective new measures[J]. High Voltage Engineering. 2008,31(7):37-38.
郭秀慧等. 输电线路绕击防护的新措施[J]. 高电压技术, 2008, 31 (7) : 37-38.