

高压输电线路绕击跳闸率的计算

吴玉麟¹, 高建勇²

(1. 成都电业局城网管理所, 四川 成都 610041; 2. 成都电业局自动化通信管理所, 四川 成都 610021)

摘要:基于电气几何模型提出了利用暴露距离计算线路绕击跳闸率, 并与规程法进行了对比结果表明采用该方法计算绕击跳闸率更准确。并且研究了输电线路避雷线和导线的布置, 以及地面倾角等对绕击率的影响。通过实例表明了绕击率的变化趋势, 这为线路的设计提供了重要的依据。

关键词:输电线路, 绕击跳闸率, 电气几何模型, 暴露距离

Abstract: Uncovered distance is adopted to calculate the shielding failure flashover rate of the transmission line based on EMG. Compared with the regulation method, it is more accurate. The parameters consist of phase wire, shield wire and the ground angle. The results show that the shielding failure flashover rate is a function of shielding angle, stroke lightning amplitude and ground angle. It will help the designers in making the correct judgment.

Key words: transmission line; shielding failure flashover rate; EGM; uncovered distance

中图分类号: TM726 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)03-0016-03

中国目前 110~220 kV 输电线路跳闸故障仍以雷击闪络为主, 绕击跳闸是主要原因^[1,2]。输电线路运行经验表明雷击跳闸主要发生在山区线路上, 最大可达平原的 10 倍以上, 远大于规程计算^[3]。因此, 合理评价输电线路的绕击跳闸率非常重要。目前, 对于绕击跳闸率的计算依据的是规程法和电气几何模型。前者因为传统的线路绕击率计算未考虑雷电流大小和地面倾角对屏蔽效果的影响, 而是按经验和小电流试验模型而提出综合平均法, 常不能反映线路的具体特性, 无法解释屏蔽失效的问题和绕击率过大的原因。而后者较细致的考虑了雷击线路的过程, 引入绕击率与雷电流幅值相关的观点^[4,5], 可以充分考虑线路结构和雷电流参数对绕击率的影响从而得到和实际运行情况相吻合的结果并通过对杆塔参数的合理调整将输电线路绕击率降至可接受的水平。

目前国内外对电气几何模型作了许多的改进, 利用暴露距离对绕击跳闸率进行计算, 分析了保护角、杆塔高度以及地形因素对绕击的影响。

1 高压输电线路雷电绕击性能分析

1.1 电气几何模型

电气几何模型(EGM)是将雷电流与线路结构联系起来, 其原理为^[6]:

1) 雷电先导到达被击物体临界击距前是不确定的, 到达哪一物体的击距内即向其放电。

2) 击距是雷电流的函数, 大小与雷电流幅值相关。

3) 不考虑雷击物体的形状效应和其它因数的影响, 假定对地面和导线击距相等。

1.2 雷电绕击性能计算

利用电气几何模型计算雷电绕击跳闸率, 首先应确定以下参数:

1.2.1 击距概率密度 $f(r)$

当对地闪络的雷电流幅值分布已知时, 即可由雷电流幅值的分布导出击距的分布; 当击距函数采用式(1), 雷电流幅值对数概率分布为式(2)时^[7], 导出的击距的概率密度为:

$$r_s = 8I^{0.65} \tag{1}$$

$$\lg P = -\frac{I}{88} \tag{2}$$

$$F(r_s) = 1 - 10^{-((\frac{r_s}{8})^{1/0.65})/88} \tag{3}$$

由 $f(r) = F'(r)$ 得:

$$f(r) = 0.001 \times 10^{-\frac{1.54}{2 \times 157} \times r^{0.54}} \tag{4}$$

1.2.2 最小击距 r_{\min}

由击距公式可知雷电流幅值与击距成正比, 只有当雷电流大于线路绕击耐雷水平时, 才会发生闪络, 此时与 I 对应称为 r_{\min} 。

当击距小于最小击距 r_{\min} 时, 线路不会引起绝缘闪络。计算方法如下:

$$I_A = 2U_{50\%}/Z \tag{5}$$

通过式(1)得:

$$r_{\min} = 8(1U_{50\%}/Z)^{0.65} \quad (6)$$

1.2.3 最大击距 r_{\max}

这主要由杆塔几何尺寸及地形决定的一个击距。当击距大于 r_{\max} 的雷击时,将被避雷线完全屏蔽掉。经几何关系的推导可得^[8]:

$$r_{\max} = \frac{h_g + h_c + 2\sqrt{h_g h_c} \sin \alpha}{2 \cos^2 \alpha} \quad (7)$$

在地面倾角 $\theta_g \neq 0$ 的情况下,最大击距为:

$$r_{\max} = \frac{(h_g + h_c) \cos \theta_g + \sqrt{(h_g + h_c)^2 \cos^2 \theta_g - \frac{2 \cos(\alpha + \theta_g)}{\cos \alpha} (h_g - h_c)^2 \sin(\alpha + \theta_g)}}{2 \cos^2(\alpha + \theta_g)} \quad (8)$$

本文取 α 以基准轴反时针方向通过导线为“+”,反之“-”; θ_g 以杆塔处水平地面为基准,向下倾斜 θ_g 为“+”,反之“-”。

1.2.4 绕击闪络概率 P_α

依据此物理模型,绕击闪络概率的计算公式为:

$$P_\alpha = 2 \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} Z_s \cdot f(r) dr \quad (9)$$

此时在地面倾角 θ_g 的情况下,

$$Z_s = x_B - x_A = \frac{d}{2} \cdot \sin(\theta + \theta_g) - \cos(\theta + \theta_g) \sqrt{\frac{2-d}{r_s} - \frac{d}{4}} + \sqrt{\frac{2}{r_s} - ((\sqrt{\frac{2}{r_s} - h_c})^2) \cdot \sin(\theta_g) + (r_s - h_g) \cdot \cos(\theta_g) + d \cos(\theta) \cos(\theta_g)} \quad (10)$$

1.2.5 雷电绕击跳闸率 n

计算年落雷次数,采用国际大电网会议推荐的公式计算,国际大电网会议推荐的地面落雷密度的计算公式如下:

$$N_g = 0.023 T_d^{1.3} \quad (11)$$

则线路长度为 100 km 的年落雷次数为:

$$N = N_g / 10 \quad (12)$$

根据暴露距离的物理概念,可以得到整段线路绕击跳闸率为:

$$n = N \cdot P_\alpha \cdot \eta \quad (13)$$

2 计算实例

2.1 220 kV 输电线路参数对绕击率的影响

线路运行经验表明,雷电绕过避雷线直击导线的概率与避雷线对导线的保护角、杆塔高度及线路所经过地区的地形因素相关。本文分别采用规程法和暴露距离对线路绕击跳闸率进行了计算。所选线路为

四川某供电局管辖的 220 kV 输电线路,线路参数如下:杆塔类型 SZ2,杆塔高度 44.5 m,导线高度 25.2 m,平均档距 358 m,导线型号为 LGJ-400,避雷线型号 GJ-50,导线弧垂为 3.6 m,避雷线弧垂为 0.3 m,导线挂线点对塔中心水平距离 10.8 m,避雷线挂线点对塔中心水平距离 3.8,避雷线保护角为 18° ,所处地形为山地,地面倾角为 30° 。绝缘子串长度为 1.78 m。

由表 1 可见,由于采用暴露距离来计算绕击跳闸率充分考虑了地形,杆塔参数对绕击率的影响,这点规程法不能定量描述,因此,采用两种方法算出的跳闸率不同,基于电气几何模型计算结果大于规程法所的结果更加准确。

表 1 计算结果比较

方法	绕击闪络跳闸率(1/100km/a)
规程法	0.599 1
暴露距离(EGM)	1.06

2.1.1 保护角对绕击率的影响

为了计算绕击率随保护角的变化趋势,保持导线的位置,避雷线距杆塔中心的距离 x 每次变化 1 m 来改变保护角。通过上述仿真计算得出以下曲线,如图 1。

避雷线保护角与绕击跳闸率的关系

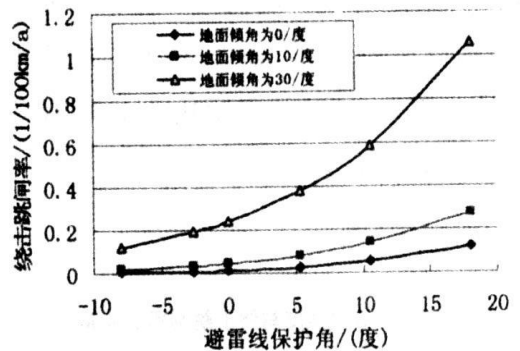


图 1 在不同地面倾角下保护角与绕击跳闸率的关系

从图 1 中可以看出,当地面倾角为 0° ,保护角为 -5° 时绕击跳闸率在 0.010 2(1/100km/a),随着保护角增大到 10° 以后,绕击跳闸率明显增加。在保护角 -5° 的情况下,地面倾角增大到 30° ,绕击跳闸率变为 0.12(1/100 km/a),当保护角为 18° 时,绕击跳闸率达到了 1.06(1/100 km/a),明显可以看出山区的绕击

跳闸率大于平原地区。

2.1.2 地面倾角的影响

由于规程法中,不能有效定量地评估出地形对绕击跳闸率的影响。因此,本文采用电气几何法,通过地面倾角来描述地形与地貌,从而定量的研究地形对绕击跳闸率的影响。如图2所示。

地面倾角与绕击跳闸率的关系

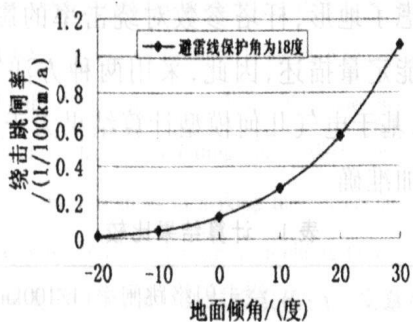


图2 绕击跳闸率随着地面倾角的变化

从曲线可以看出当地面倾角较小时(5°)时,山坡地形对输电线路的绕击跳闸率影响不大;当地面倾角超过 10° 时,山坡地形对绕击跳闸率将有较大的影响,而且随着地面倾角的增加到 20° ,线路的绕击跳闸率很高,因此,线路经过山坡地段时,应加强雷电绕击保护,降低其绕击跳闸率。

2.1.3 导线高度对绕击跳闸率的影响

SZ2型搭避雷线对地平均高度为44.3 m,边相导线对地平均高度为22.75 m,保持避雷线对地高度不变,改变导线对地高度,每次变化5 m,计算线路的绕击跳闸率,计算结果如图3所示。

导线高度与绕击跳闸率的关系

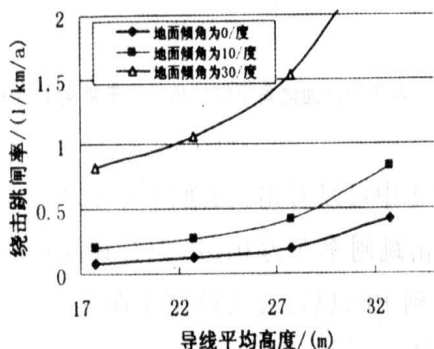


图3 不同地形下绕击跳闸率与导线高度的关系

从图3可以看出,在地面倾角一定的情况下,随着导线高度的增加,绕击跳闸率也呈正比的增大。当地面倾角为 0° 时,导线高度为17 m,绕击跳闸率为0.085(1/100 km/a),随着地面倾角增大为 30° 时,导线高度为22.75 m,绕击跳闸率达到了1.06(1/100 km/a)。

3 结论

利用暴露距离对绕击跳闸率进行计算并与规程法进行了对比,发现由于前者充分考虑了地形,杆塔参数对绕击跳闸率的影响,因此,计算结果比后者大,更加准确。同时,结合实例,计算仿真分析了避雷线保护角、杆塔所在地面倾角及导线高度的变化将引起绕击跳闸率的变化。当避雷线保护角、地面倾角增大,导线高度升高,绕击跳闸率将增大;反之则减小。为了保证较低的绕击跳闸率,通过本文的仿真计算,避雷线保护角采用 -5° ,绕击跳闸率从1.06(1/100 km/a)降为0.12(1/100 km/a)。

参考文献

- [1] 维列夏金,吴维韩.俄罗斯超高压和特高压输电线路防雷运行经验[J].高电压技术,1998,24(2):76-79.
- [2] Anderson J. G.. 345 kV及以上超高压输电线路[M].北京:电力工业出版社,1981.
- [3] 张纬发等.电力系统过电压与绝缘配合[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [4] Brown G. W., Whitehead E. R.. Field and analytical studies of transmission line shielding, Part II [J]. IEEE Trans. PAS, 1969,88(5):617-625.
- [5] Eriksson A. J.. An improved electrogeometric model for transmission line shielding analysis [J]. IEEE Trans. On Power Delivery, 1987,2(3): 859-870.
- [6] 王晓彤,施围等.改进电气几何模型计算输电线路绕击率[J].高电压技术,1998,24(1):85-87.
- [7] DL/T 620/1997A.交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [8] 李如虎.西南线23号塔雷害事故的分析[J].高电压技术,1985(3):67.
- [9] 司马文霞,陈宁等.高杆塔大跨越输电线路防雷保护[J].重庆大学学报,2002,25(9):25-28.
- [10] 赵智大.高电压技术[M].浙江大学:中国电力出版社,1998.

(收稿日期:2008-02-10)