

超高压输电线路击距系数研究

许 飞, 尹立群, 韦 巍, 邓雨荣, 夏小飞

(广西电力试验研究院, 广西 南宁 530023)

摘要: 为了更准确地对超高压线路进行防雷评价和计算, 笔者依据长间隙放电与雷击放电的相似性, 在实验室中建立击距系数模型, 研究击距系数与相关因素的关系。实验结果显示击距系数与雷电流幅值大小并无相关性, 但随着线路高度的增加而减小, 运用数学分析方法得到击距系数 K 与杆塔高度 h 之间满足关系式: $K=1.0323-0.0041 \times h$ 。试验结果成功地解释了 500 kV 天广线某些地段现场屏蔽失效的问题, 可以用于超高压输电线路防雷评价和计算。

关键词: 击距系数; 模拟实验; 电气几何模型

中图分类号: TM863

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)01-0112-02

Research on Striking Distance Factor for UHV Transmission Lines

XU Fei, YIN Li-qun, WEI Wei, DENG Yu-rong, XIA Xiao-fei

(Guangxi Electric Power Research Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: According to the comparability of lightning discharge and rod-plane gap discharge, a simulated experiment was carried out to determine the relation between striking distance factor and other parameter. Experimental result indicates that striking distance factor K decreases with the increase of line height h . The relation between K and h achieved from experimental data is: $K=1.0323-0.0041 \times h$. Based on the electromagnetic theory, some accidents on real transmission lines are explained satisfactorily with this expression. Therefore, the expression can be used in lightning protection calculation of UHV transmission lines.

Key words: striking distance factor; simulated experiment; electric geometry method

0 引言

击距是电气几何模型中最重要的概念, 本质上表示了雷电先导对目标物之间的临界击穿场强, Whitehead 认为雷电先导对导线、避雷线、地面三者的击距相等, 即三者的临界击穿场强相等^[1,2], 但国外的研究表明, 对于超高压线路, 由于杆塔高度较高, 先导对大地、避雷线和导线的击距是不相等的, 且随杆塔高度的变化而变化。电气几何模型法忽略了线路的多样性, 不能反映不同形式的临界场强对绕击率的影响, 也无法解释山区线路绕击率过大和某些理论上处于完全屏蔽的线路屏蔽失效的原因^[3-5]。很多学者提出了用击距系数 K (雷电先导对地击距与先导对导线击距的比值) 来描述雷电先导对地面与导体雷击强度的差别。击距系数 K 的取值对计算得到的绕击跳闸率有很大的影响, 正确合理的击距系数是准确计算绕击跳闸率, 进而对输电线路耐雷水平进行评价的基础。为更准确的对超高压输电线路进行防雷评价和计算, 有必要对超高压输电线路

的击距系数做进一步的研究。笔者根据长间隙放电与雷电过程的相似性, 利用了一系列的模拟放电试验, 得到超高压输电线路击距系数及相关因数的关系。

1 击距系数实验原理及模型

雷击击中点的概率分布由地面各目的物的吸引能力来决定, 吸引能力强者, 将有较大概率被击中。根据长间隙放电与雷电过程相似, 笔者利用棒-板间隙放电来模拟雷击放电的随机性^[6,7]。在实验室中, 根据 500 kV 天广输电线路(广西段)的一段杆塔, 制作了 4 基比实际尺寸小 50 倍的模拟杆塔来进行雷击放电试验, 并采用宽 2.0 m 的铝板沿杆塔铺设来模拟大地。为消除邻近效应的影响, 实验放电间隙到周边物体的距离大于放电间隙的 2.5 倍。用长 1 m、直径 10 mm 的铜棒模拟雷电先导的上电极, 见图 1。试验采用广西电力试验研究院高压大厅中的 3 600 kV 冲击电压发生器进行雷击放电试验, 产生波形为 1.2/50 μ s 的标准雷电波, 放电观测用高速摄像机拍摄(每秒 1 万张), 放电路径和击中点的判断以照片为依据统计。将模拟先导放置于模拟杆塔档距

收稿日期: 2008-03-05; 修回日期: 2008-10-21

作者简介: 许 飞(1977-), 男, 硕士, 从事过电压研究工作。

的中央位置,调节模拟先导尖端与地和导线的距离,进行40次冲击放电试验,如果试验中有18~22次为对地或对导线放电,即可认为此点即为对地和对导

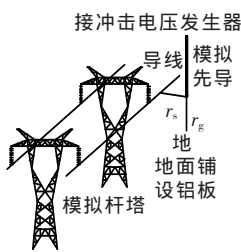


图1 试验布置图

线放电概率相等的点。此时先导到地的击距与到导线的击距之比可与击距系数 K 相对应,即 $K=r_g/r_s|_{p=50\%}$ 。模拟杆塔示意图见图1,图中 r_g 为先导对地击距, r_s 为先导对导线击距。原杆塔高度36 m,导线高度25.3 m,实验室中的模拟杆塔尺寸为实际的1/50。

2 实验分析及结果

为便于分析,在该模拟试验中作了以下假设^[8,9]:忽略导线的工作电位,认为地线和导线都保持地

表1 杆塔高度为39.0 m时不同雷电流下的击距系数

雷电流/kA	对导线击距/m	对地击距/m	击距系数 K
10.9	38.0	32.3	0.85
14.6	45.6	36.8	0.81
18.4	53.2	44.5	0.84
22.7	60.8	49.2	0.81
27.2	68.4	55.8	0.82

表2 杆塔高度为48.0 m时不同雷电流下的击距系数

雷电流/kA	对导线击距/m	对地击距/m	击距系数 K
10.9	38.0	30.8	0.81
14.6	45.6	37.2	0.82
18.4	53.2	43.3	0.81
22.7	60.8	49.0	0.81
27.2	68.4	53.2	0.78

电位;忽略上行先导的产生和发展过程,仅考虑当上电极(雷电先导)在目的物表面产生的电场强度达到临界击穿场强时就发生击穿的情况;不考虑下行雷电先导电荷外的其它所有电荷对空间电场的影响;下行先导头部电位由下行先导空间电荷在其头部形成的电位确定。

该试验中雷电流与击距的换算公式采用IEEE工作组推荐的击距公式^[10]: $r=8 \times I^{0.65}$ 。为了得到不同组的数据,在实验室中适当改变了杆塔高度 h ,并根据尺寸比例,得到了 h 为39.0、48.0、56.0和67.0 m时的4组数据,所得到的数据见表1~4。

将表1中的数据进行处理可得到杆塔高度、雷电流大小以及击距系数3者间的关系曲线,见图2。

3 结果分析及运用

通过图2可以得出:反应先导到地的击距与到

表3 杆塔高度为56.0 m时不同雷电流下的击距系数

雷电流/kA	对导线击距/m	对地击距/m	击距系数 K
10.9	38.0	30.0	0.79
14.6	45.6	35.1	0.77
18.4	53.2	40.9	0.77
22.7	60.8	46.2	0.76
27.2	68.4	51.3	0.75

表4 杆塔高度为67.0 m时不同雷电流下的击距系数

雷电流/kA	对导线击距/m	对地击距/m	击距系数 K
10.9	38.0	27.7	0.73
14.6	45.6	33.7	0.74
18.4	53.2	38.8	0.73
22.7	60.8	43.2	0.71
27.2	68.4	47.2	0.69

导线的击距之比的击距系数 K 的大小与雷电流的大小并无关系,这说明击距系数是一个与雷电流没有相关性的量;击距系数 K 随杆塔高度 h 增大而减小;

通过对试验数据的最小二乘法拟合,可以得到击距系数 K 与导线高度 h 之间的线性关系为: $K=1.0323-0.0041 \times h$,其关系曲线见图3。

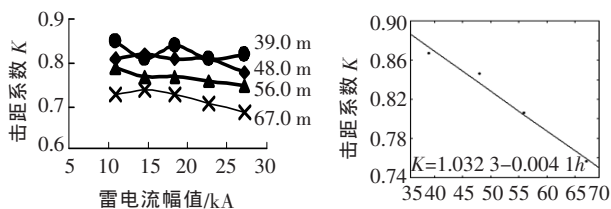


图2 击距系数 K 与雷电流大小、杆塔高度的关系曲线图

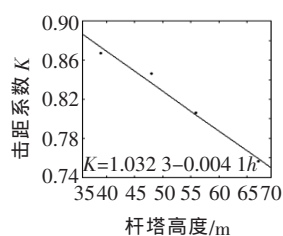


图3 试验数据线性拟合结果

与经典电气几何模型不同,在实验室通过模拟试验得到的公式描述了不同杆塔高度下线路击距系数的不同,而不是单纯地由一常数来描述线路同大地引雷能力的差别。比如2006年3月,500 kV天广线(广西段)的396号杆塔附近线路发生雷击跳闸,经重合闸成功。利用经典电气几何模型发现线路完全处于屏蔽状态,不可能发生绕击,而根据实验室得到的击距系数公式,可以得到发生绕击的雷电最大击距为 $r_{\max}=165.5$ m,远大于临界击距 $r_0=45.0$ m,证明了发生绕击的可能性。文中得到的击距系数公式可以进一步运用到输电线路雷击跳闸率的计算中,

比如2006年500 kV天广线的绕击跳闸率为 $n=0.205$ 次/百公里·年,而根据文中的结果计算,绕击跳闸率 $n=0.286$ 次/百公里·年,与实际运行情况很接近,证明了文中的结论对输电线路绕击耐雷性能的评价和计算有较实用的价值。

4 结论

(1)经典电气几何模型中认为雷电先导到导线、大地之间的击距相等是不合理的,不能解释某些线路绕击率过大和某些理论上处于完全屏蔽的线路屏蔽失效的原因。

(2)击距系数与雷电流的强弱没有相关性,但随线路高度的增加而减小。

(3)根据模拟试验得到击距系数 K 与线路高度 h 满足关系: $K=1.0323-0.0041 \times h$ 。运用此结果计算的输电线路绕击跳闸率与实际运行情况很接近,因此,实验结论可以用于超高压输电线路防雷评价、计算及防雷改造、杆塔设计等,有较大的实用价值。

参考文献:

- [1] BROWN G W, WHITEHEAD E R. Field and Analytical Studies of Transmission Lines[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1968, 87(1): 270-281.
- [2] IEEE 1243-1997. IEEE Guide for Improving the Lighting Performance of Transmission Lines[S]. 1997. (下转第115页)



图1 拐臂箱主轴

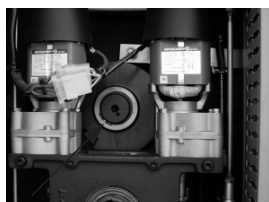


图2 机构箱主轴

各项试验及现场安装调试。

5 原因分析

通过故障现象和解体检查分析,造成断路器拐臂箱主轴和机构箱主轴损坏的原因是:设备出厂前限位开关和合闸缓冲器调整不到位,导致限位开关BW1、BW2逻辑关系不对应,即BW1接通时BW2仍接通,电机该停不停,同时合闸缓冲器没有真正起到缓冲作用,致使断路器在合闸过程中机构箱主轴受力过大而产生主轴弯曲。按照厂家说明书要求,合闸缓冲器和限位开关的维护均需在运行15年或分合闸操作2500次以上的情况下进行,并且由经过厂家培训的专业人员完成。在没有达到上述要求的情况下,用户没有进行很好的检查维护,在长期操作功的作用下,导致机构箱主轴弯曲严重,进而造成水平操作杆在分合闸过程中传动力的方向有所改变,最后导致本体拐臂箱主轴外穿损坏。

6 防范措施

经过运行统计和故障分析,BLG1002A型操作机构在运行中相对较薄弱之处是机构箱主轴,其它部件的异常,经常会在机构箱主轴上有所体现,因而出现异常的几率就相对较高,其中永源变电站就曾经发生两次机构箱主轴异常。所以,在运行现场寻求判断操作机构箱主轴是否扭曲的简便易行的方法,是非常必要的。下面是在处理断路器故障过程中,与厂家技术人员共同总结出的判断操作机构箱主轴是否扭曲的两个简便方法:

方法1:断路器在分闸状态,将电机电源关掉,

进行一次合闸和分闸操作,将弹簧能量全部释放掉,观察操作机构背面联锁臂与联锁盘之间的位置和机构正面合闸掣子的位置是否正常,即当图3中两箭头所指部件刚好接触时,若联锁盘和联锁臂之间的间隙大于2mm(图4中箭头所指位置),则判断机构箱主轴正常;如联锁盘和联锁臂之间的间隙小于2mm,则判断机构箱主轴有一定程度的扭曲。



图3 机构箱正面合闸掣子正常位置

图4 机构箱背面联锁臂和联锁盘的间隙
间隙大于2mm是正常的

方法2:断路器在合闸状态,储满能的情况下,不用释能,也不用动其它部件,直接按照方法1的位置对应关系进行判断机构箱主轴是否扭曲。

7 结语

定期检查并正确地判断机构箱主轴的运行状况,有利于早期发现设备隐患,避免设备损坏事故的发生。但是,如果操作机构已经发生机械闭锁,或者说机构处于半分半合状态(如图2所示的状态),此时无法判断机构箱主轴是否扭曲,应先手动卸能,将掣子和拐臂的位置恢复到正常后再去检查联锁臂和联锁盘之间的间隙,并做判断。

建议在厂家技术人员的指导下,每3~5年对机构箱内输出主轴、分合闸电磁铁、限位开关等部件进行一次检测,同时检查本体拐臂箱内各部件的运行情况,以提高设备的稳定运行水平。设备用户要严格按照说明书的操作要求进行检测维护,切忌电机储能未结束即进行低电压试验或保护传动试验,避免由于现场人员维护不当而造成设备缺陷。

(上接第113页)

- [3] MOUSA A M, STRIVASTRARA K D. A Revised Electogeometric Model for the Termination of Lightning Stroke on Ground Objects [C]// Proceedings of the 1988 International Areospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma, 1988: 342.
- [4] 钱冠军. 输电线路绕击分散性的实验研究 [J]. 高电压技术, 1998, 24(3): 42-45.
- [5] 李如虎. 架空输电线路下导线遭受雷电绕击的分析 [J]. 高电压技术, 1993(9): 31-35.
- [6] DELLERAL G E. Lightning Stroke Simulation by Means of the Leader Progression Model. Part I: Description of the Model and Evaluation of Exposure of Free-standing Structures[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1990, 5(4): 2009-2017.
- [7] 钱冠军. 下行雷闪屏蔽问题的研究及其在输电线路中的应用 [D]. 华中理工大学, 1998.
- [8] IEEE Working Group on Estimating Lightning Performance of Transmission Lines. A simplified Method for Estimating lightning Performance of Transmission Lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1985, 104(4): 919-932.
- [9] 张志劲, 司马文霞, 蒋兴良, 等. 超/特高压输电线路雷电绕击防护性能研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10): 1-6.
- [10] IEEE Working Group on Estimating Lightning Performance of Transmission Lines. Estimating lightning Performance of Transmission Lines -Updates to Analytical Models[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(3): 1254-1267.