

雷击地线档距中央的反击性能分析

周志成, 马勇, 陶风波, 陈少波, 魏旭

(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要:超高压输电线路高杆塔、大档距、交叉跨越、同塔多回、导线换相等应用越来越多,因雷击地线档距中央造成反击跳闸、地线断线等事故也较多,故研究输电线路档距中间反击耐雷性能有重要意义。利用PSCAD软件建立220 kV输电线路仿真模型,包括架空线路模型、杆塔的多波阻抗模型以及雷电流模型,从雷电流大小、雷击点位置和档距大小三方面,利用相交法和先导法计算分析了雷击档距中间地线时线路的反击耐雷性能,并用实例进行了验证。结果表明,校验线路雷击地线档距中央耐雷水平时,应以雷击档距中心位置为准,并考虑档距大小、杆塔塔头结构等因素影响。

关键词:雷击档距中央;反击性能;PSCAD仿真模型;相交法;先导法

中图分类号:TM863

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)06-0011-04

雷击是造成输电线路故障跳闸的主要原因,雷击主要分为反击和绕击,其中反击主要是强雷雷击塔顶及其附近地线引起绝缘子串闪络造成^[1]。近年来,超高压输电线路高杆塔、大档距、交叉跨越、同塔多回、导线换相等情况普遍出现,雷击地线档距中央造成反击跳闸、地线断线等事故逐渐增多。

1 雷击分析理论

1.1 绝缘闪络判据

1.1.1 规程法

规程法是比较绝缘子串两端出现的过电压与绝缘子串或空气间隙50%放电电压方法作为判据,过电压超过绝缘的50%放电电压即判为闪络^[2]。国内外运行经验表明规程法计算结果导致线路跳闸率明显偏高^[3],目前线路防雷计算中主要采用相交法和先导法。

1.1.2 相交法

相交法是只要绝缘子串上的过电压波与伏秒特性曲线相交,即发生闪络,不相交就不闪络。伏秒特性满足:

$$U_{s-t} = 400l + 710l/t^{0.75} \quad (1)$$

式(1)中: U_{s-t} 为绝缘闪络电压,kV; l 为绝缘距离,m; t 为从雷击开始到绝缘闪络所经历的时间,us。

对于50%击穿电压, t 取10 us,代入式(1),即:

$$U_{50\%} = 400l + 710l/10^{0.75}$$

1.1.3 先导法

由于作用在线路绝缘上的雷电过电压并非都是标准波形,其闪络不完全满足伏秒特性规律,故提出利用先导发展模型法作为绝缘闪络的判断依据^[4],即当线路绝缘上电压出现的时间达到一定的

流注发展时间 T_s 值时,先导开始发展,其速度随施加的瞬时电压与剩余间隙长度而变,当流注占满整个间隙长度 d 时,绝缘闪络。该方法理论上比较符合放电物理过程,但先导法的有关参数通过长空气间隙放电试验得出,其分散性会影响计算准确性^[4]。由长空气间隙放电研究得知,间隙击穿时间 T_b 由流注起始时间 T_p 、流注发展时间 T_s 、游离波传播时间 T_i 、先导发展时间 T_L 、气体加热时间 T_g 组成,近似取:

$$T_b \approx T_s + T_L \quad (2)$$

据实验数据得出 T_s 与先导发展速度 v_1 的经验公式^[3]:

$$1/T_s = AE/E_{50} - B \quad (3)$$

$$v_1 = k_1 d e^{k_2 d / (V/x - E_0)} \quad (4)$$

式(3,4)中: E 为闪络前最大平均场强,kV/m; E_{50} 为50%放电电压下的平均场强,kV/m; E_0 为先导发展的阈值场强,kV/m; A, B 为由间隙类型及电压极性决定的实验常数,分别取1.25和0.95^[5,6]; v_1 为先导发展速度,V/m; d 为间隙长度,m; V 为瞬时电压,kV; x 为剩余间隙长度,m; k_1 和 k_2 为与绝缘性质、电压极性等有关,分别取170和 1.5×10^{-3} ^[6]。

1.2 雷击计算模型

以220 kV典型线路模型为例,受击线路左右两边杆塔分别为ZTS-32.7、全高44.7 m,和FTSS3-27(双回路)、全高44.5 m,全线架设2根地线。如图1所示,因雷电流作用时间较短,为避免雷电流波折反射对雷击点的影响,雷击档距两侧各增加2个档距,并在线路终端增加10 km长线路^[7]。架空输电线路采用频率相关模型(Frequency Dependent(Phase)),相关参数如表1所示。输电线路杆塔采用传输线波阻抗(多波阻抗)模型^[8-12],接地电阻为 2Ω 。雷电通道采用一个受控的雷电流源与雷电通道波阻抗并联等效,雷电通道波阻抗取 400Ω ^[4]。

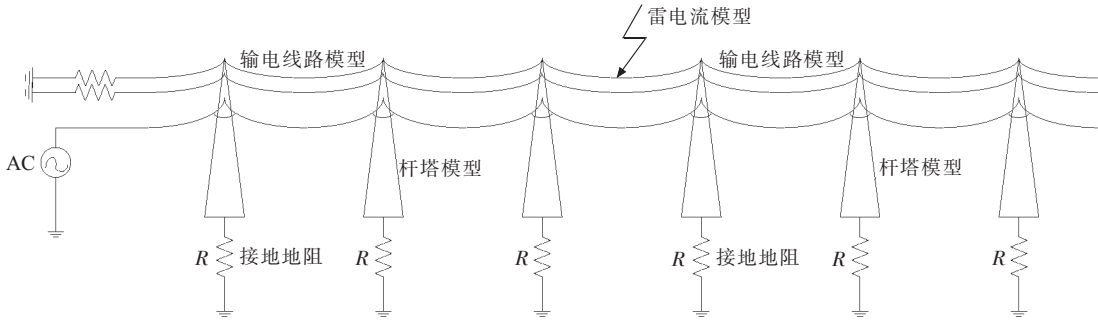


图 1 仿真模型示意图

表 1 线路相关参数

线路类型	导线	地线
直流电阻 / Ω	0.08	1.23
弧垂 / m	9	6

2 仿真分析

分别从雷电流幅值 I 、雷击点位置 s (s 为雷击点与指定一侧杆塔间的距离) 和档距 L 3 个因素考虑对线路反击耐雷水平的影响^[13]。

2.1 档距中央的反击耐雷水平分析

当线路档距为 420 m 和 200 m 时,分别模拟雷电流幅值大小为 75 kA, 100 kA, 125 kA, 150 kA 和 200 kA, 采用先导法计算雷击中档距中央地线的反击耐雷水平, 如图 2 所示。其横坐标为雷电流幅值 I , 纵坐标为雷击点地线与 B 相导线之间的电压 U , 虚线以上几种情况空气绝缘发生闪络。由图 2 可知, 雷电流越大, 地线与导线间电压差越大, 当雷击点电压大于间隙击穿电压时, 就会发生空气绝缘闪络。

2.2 雷击点对反击耐雷水平的影响

档距为 420 m 和 200 m 时,雷击档距中央地线和导线间的电压 U 与雷击点 s 的关系如图 3 所示。虚线以上几种情况空气绝缘发生闪络。

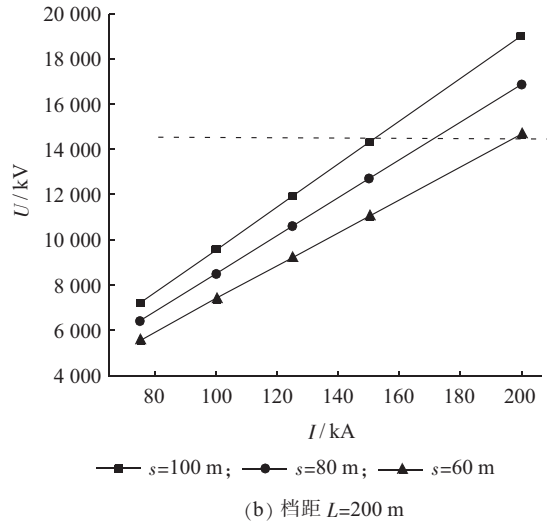
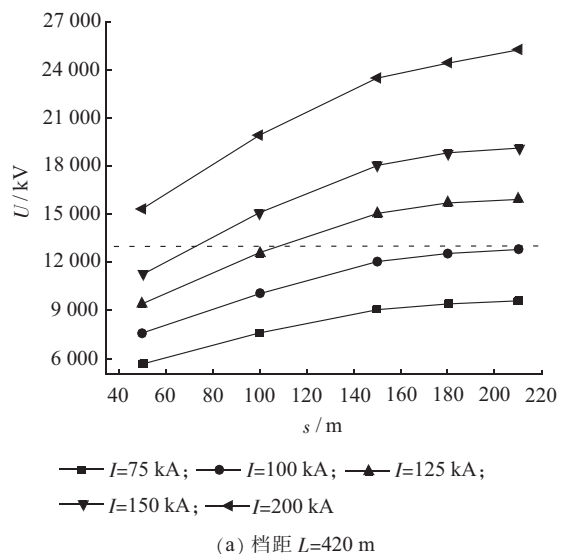
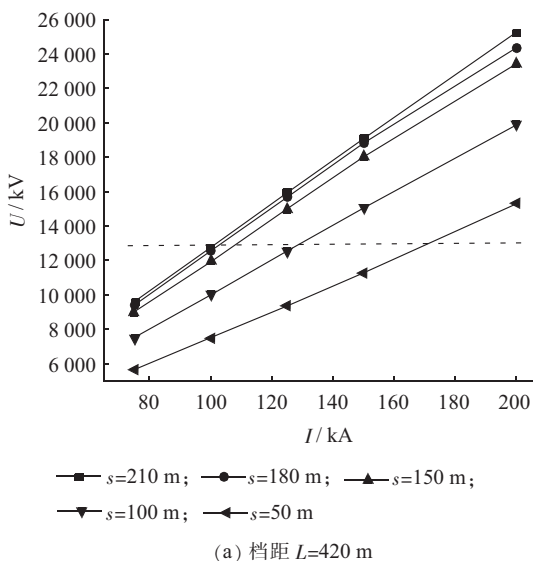


图 2 雷击档距中央地线和导线间电压与雷电流大小关系

从图 3 中可以看出,相同雷电流下,雷击点越靠近杆塔(即 s 越小),地线与导线间的电压 U 越小,当雷击点位于档距正中间附近时变化时,电压 U 变化不大。同样条件下,雷击地线档距正中央,地线与导线的电压差最大,雷击点电位较高。因为雷击档距中央时,雷电波分别沿线路向两边的杆塔传播,此时传播至杆塔的距离最长,杆塔反射来的负雷电波所需时间较大,雷击点易形成高电压。而雷击点位于杆



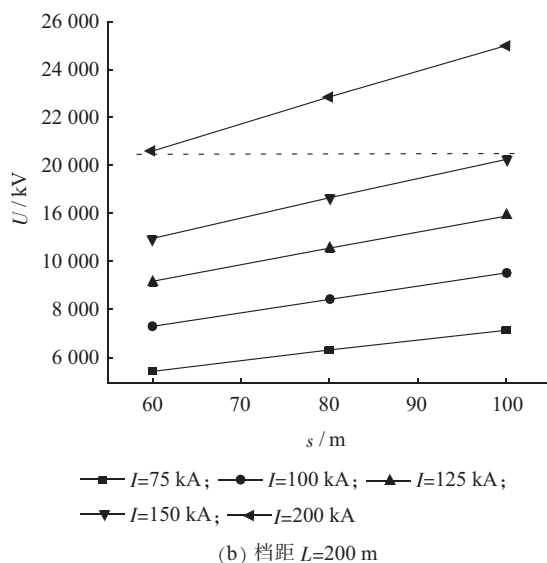


图3 雷击档距中央地线和导线间的电压与雷击点的关系

塔附近时, 杆塔快速反射回来的负雷电波会削弱雷击点电压。

2.3 档距大小对反击耐雷水平的影响

雷击点位于档距 $1/2$ 和 $1/3$ 处时, 线路档距耐雷水平的关系如图4所示。

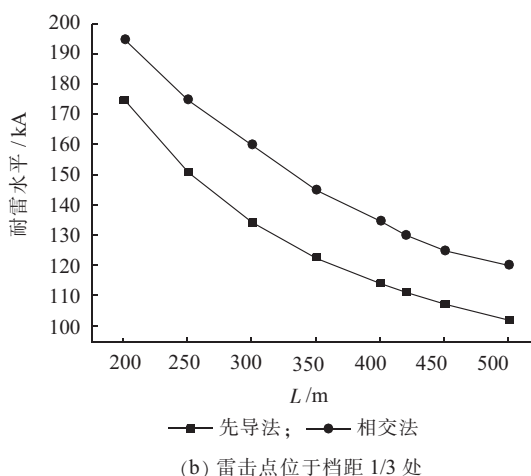
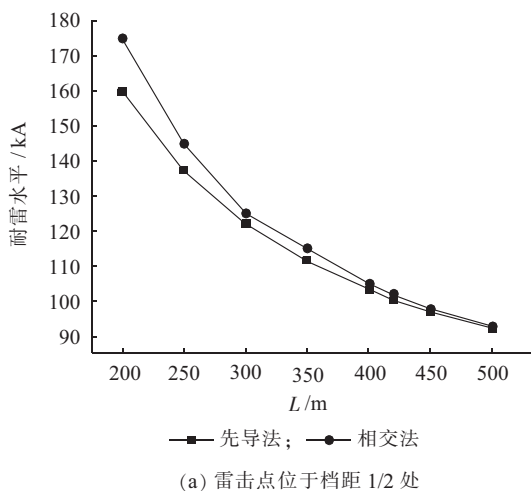


图4 线路档距与耐雷水平的关系

由图4可知, 相交法比先导法得到的耐雷水平大, 但规律相同, 即随着档距增大, 耐雷水平逐渐减小, 当档距 >350 m 时, 耐雷水平减小速度变慢。雷击地线档距中央时, 雷电波沿地线向两边传播, 经两侧杆塔反射的时间随档距大小而不同。档距较小时, 雷电波传播至两边杆塔, 产生负反射波沿地线快速传播回来, 降低雷击点过电压, 避免绝缘闪络, 提高了耐雷水平; 档距增大时, 产生的负反射波传播至雷击点的时间加长, 雷击点易形成高的过电压, 地线与导线间的电压超出绝缘水平时发生闪络, 故重雷害区域, 线路档距不宜过大, 必要时应采取其他措施提高线路耐雷水平^[13,14]。

3 雷击地线反击实例分析

某 220 kV 线路 7 号与 8 号塔间地线雷击断线, 断线点位置距离 7 号塔约 180 m, 在导线 180 m 处发现有电弧烧伤痕迹。7 号塔型为 ZTS-32.7、全高 44.7 m, 8 号塔型为 FTSS3-27 (双回路)、全高 44.5 m, 档距 420 m。地线为 GJ-50 镀锌钢绞线 (7 根单线直径 3.0 mm)。地线为 2 根水平排列, 7 号、8 号塔附近地形平坦, 导线交叉换相。

据雷电定位系统查询, 该线路落雷雷电流幅值为 103.3 kA。利用 ATP 及 PSCAD 建立模型仿真, 分别用相交法和先导法计算地线与导线之间的闪络判据, 如图 5、图 6 所示。图 5 中地线和导线间的电压波形与伏秒特性曲线刚好相交, 图 6 中 12 μ s 左右时, 先导发展速度为 0, 地线和导线上的电压相等, 即发生绝缘闪络。2 种方法都计算得出该雷击造成了导线发生闪络, 相交法以标准雷电波计算, 未考虑杂散参数影响, 对避雷器伏秒特性需准确掌握; 先导法模拟了雷电先导发展的物理过程, 但相关时间参数由经验得出, 计算值偏保守。

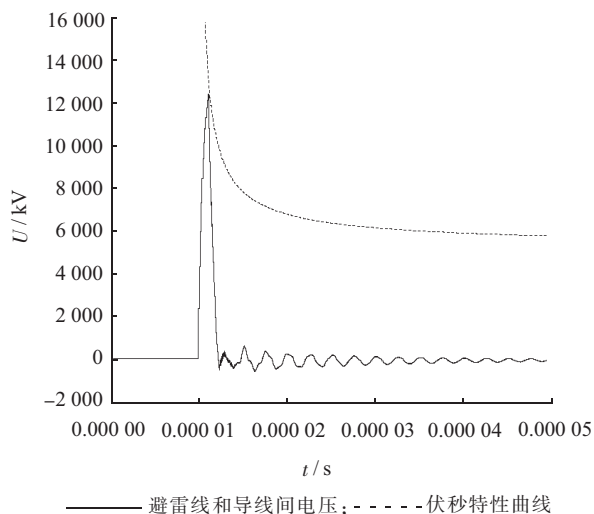
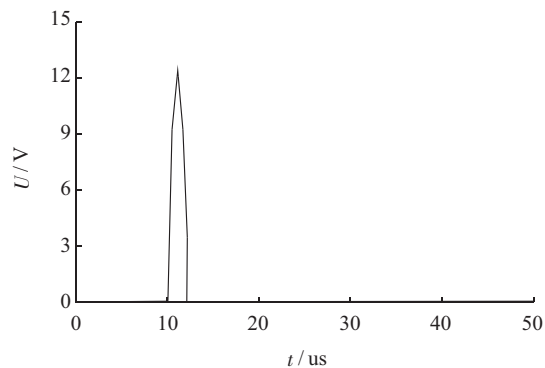
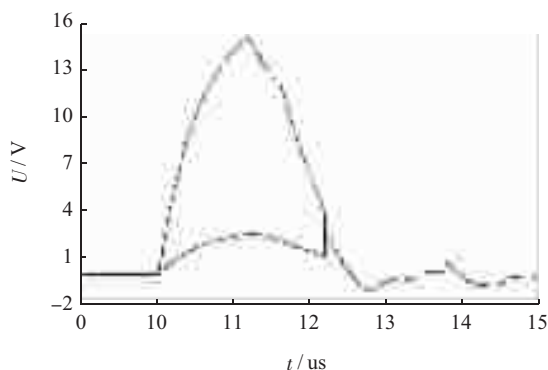


图5 相交法判断地线与导线是否发生闪络



(a) 先导发展速度



(b) 地线和B相导线的电压

图 6 先导法判断地线与导线是否发生闪络

计算结果表明该地线与 B 相导线之间的最大耐受雷电流约为 97.3 kA, 故线路在雷电流为 103.3 kA、雷击档距中间 180 m 处时, 地线与导线间会发生空气绝缘闪络, 其主要原因: (1) 7 号与 8 号杆塔较高 (约 45 m), 档距也较大 (达 420 m), 雷击点易形成高电位; (2) 雷击点距离 7 号塔 180 m 处, 位于档距中央附近, 雷击点电压相对较高; (3) 该档距进行导线三相的交叉换相, 略缩小了 B 相与地线的间距; (4) 雷电流幅值高达 103.3 kA, 超过雷击档距中央的耐雷水平^[15]。

4 结束语

(1) 雷击地线档距中间时, 档距正中央附近的耐雷水平最低, 当雷电流较大时易发生绝缘闪络。雷击点靠近杆塔时, 杆塔处快速反射回来的负雷电波可削弱雷击点的电压, 故校验线路雷击地线档距中央的耐雷水平时应以档距中心位置为准。

(2) 档距增大, 线路耐雷水平逐渐降低。档距较小时, 雷电波传播至两边杆塔, 产生负反射波沿地线快速传播回来, 降低雷击点过电压, 避免绝缘闪络, 故可通过适当减小档距来提高线路耐雷水平。

(3) 增大档距中的导地线间距可增大线路的耐雷水平, 可改善杆塔塔头结构来提高导地线闪络电压, 但成本较高。

参考文献:

- [1] 熊信银, 张步涵. 电气工程基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [2] DL/T 620—1997, 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [3] 陈国庆. 交流输电线路绕击仿真模型及同杆双回耐雷性能的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [4] 黄炜纲, 周东平. 对线路防雷计算中绝缘闪络判据的研讨[J]. 中国电力, 1999(11): 61-65.
- [5] 杨庆, 赵杰, 司马文霞, 等. 云广特高压直流输电线路反击耐雷性能[J]. 高电压技术, 2008(7): 1330-1335.
- [6] 庞启成, 张宇, 阮江军. 基于先导发展法的绝缘闪络判据的研究[J]. 广西电力, 2006(2): 51-53.
- [7] 陈国庆, 张志劲, 孙才新, 等. 输电线路耐雷性能计算方法的研究现状分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2003(5): 137-142.
- [8] 张颖, 高亚栋, 杜斌, 等. 输电线路防雷计算中的新杆塔模型[J]. 西安交通大学学报, 2004(4): 365-368.
- [9] 刘渝根, 苏玉萍, 刘敏. 750 kV 单回和同杆双回输电线路反击耐雷性能[J]. 高压电器, 2009(5): 96-99.
- [10] 梁义明, 葛栋. 同塔多回线路防雷计算中的杆塔模型[J]. 高电压技术, 2006(1): 76-77.
- [11] 袁忠君, 常树生, 王钦钦, 等. 基于分段传输线模型的同杆双回线路反击耐雷性能研究[J]. 东北电力大学学报, 2007(6): 14-18.
- [12] 张志劲, 廖瑞金, 司马文霞. 用行波法分析 110 kV 荆含线路的反击耐雷性能[J]. 电工技术, 2001(11): 22-23.
- [13] 肖国斌. 应用线路避雷器提高交流输电线路耐雷水平的研究[J]. 电瓷避雷器, 2003(5): 34-36.
- [14] 李瑞芳, 吴广宁, 马御棠, 等. 特高压交流输电线路耐雷水平相关因素研究[J]. 电瓷避雷器, 2009(3): 14-17.
- [15] 钱冠军, 王晓瑜, 丁一正, 等. 500 kV 线路直击雷典型事故调查研究[J]. 高电压技术, 1997(2): 70-72.

作者简介:

周志成(1977), 男, 湖南株洲人, 高级工程师, 从事防雷与接地、过电压分析、电力设备状态监测、输电线路运行管理等方面的研究工作;

马勇(1986), 男, 湖北襄樊人, 助理工程师, 从事电网设备状态检测、过电压计算工作;

陶风波(1982), 男, 江苏常州人, 工程师, 从事输变电设备状态检测与评估研究工作;

陈少波(1963), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事输变电工程调试、开关技术研究工作;

魏旭(1974), 男, 江苏连云港人, 高级工程师, 从事输变电设备技术管理、高电压技术研究工作。

通过仿真结果可以看出,单相断线后系统侧中性点电压将会发生偏移,同时由于缺相运行,配变低压侧两相电压降低,且出现很多的负序分量,这与前文的分析是吻合的。

4 结束语

断线断口两端悬空时中性点偏移与线路长度、线路类型、断线点、线路条数都有关系。对于出线多、电缆线路长的变电所某条架空线路断线,或者线路末端断线,对 10 kV 母线电压影响很小,凭电压或电流波动情况并不能判断出断线。因此,当变电所 10 kV 母线电压异常,要结合电压、电流以及用户反应的情况,才能正确判断出线路故障类型。

断线后部分低压用户设备将不能正常运行甚至会损坏。因此,作为供电部门一方面要加强巡视,减

少断线故障发生几率;另一方面敦促用户装设相应的保护装置,减小设备损害风险。

参考文献:

- [1] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京:中国电力出版社, 1995.
[2] 叶水音. 电机学[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

- 徐红喜(1970),男,江苏连云港人,工程师,从事配电管理工作;
封波(1983),男,江苏灌云人,助理工程师,从事电力系统运行分析、方式安排等工作;
李红(1980),女,江苏连云港人,工程师,从事电力系统规划设计及分析等工作;
伏祥运(1977),男,江苏赣榆人,高级工程师,从事电力系统运行分析、无功功率补偿及谐波抑制等工作。

An Analysis on Single-phase Disconnection Fault of a 10 kV Line

XU Hong-xi, FENG Bo, LI Hong, FU Xiang-yun

(Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222004, China)

Abstract: Generally, 10 kV distribution line belongs to the indirectly grounding power system. Distribution lines especially overhead transmission lines have some characteristics like complicated wire-traveling geographical environment, fast-aging equipment and vulnerable to external forces destroy, so disconnection faults often happen on these lines. The disconnection faults may have adverse effects on normal supplying users power and the passerby around the fractures. The effects of a single-phase disconnection fault of a 10 kV line were analyzed, including the voltage of the front end and back end of the fracture and the effect on power supply for users. The analysis can offer reference for judgment and handling of a similar phenomenon in scheduling process.

Key words: disconnection; grounding; voltage deviation

(上接第 14 页)

Analysis on Counterattack Performance of the Lightning Stroke at the Middle of a Span of Ground

ZHOU Zhi-cheng, MA Yong, TAO Feng-bo, CHEN Shao-bo, WEI Xu

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: With more and more applications of high tower, span, cross-cutting, multi-circuit in one tower, wire commutation of EHV transmission lines and more and more accidents of counterattack trip and ground broken which are created by the lightning ground files from central, it is of important value to do research on counterattack the lightning protection performance of transmission lines span the middle. 220 kV transmission line simulation model including overhead line model, multi-wave impedance model tower lightning current model is built in PSCAD. Intersection and pilot method are used to analyze counterattack the lightning protection performance of lines with lightning span middle ground from three points of size of the lightning current, location of the lightning and the size of span. Examples are used to validate. It is proved that when lightning withstand level of the lightning stroke at the middle of a span of ground is checked, the location of lightning stroke at the middle of a span should be as standard with consideration of factors such as size of a span and structure of rod Tata head.

Key words: lightning stroke at the middle of a span; counterattack performance; PSCAD simulation model; intersect method; pilot method