

避雷线绝缘架设对杆塔雷电流分配的影响

陈奎¹, 曹晓斌¹, 吴广宁¹, 易志兴¹, 马御棠², 范建斌³

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 云南电力试验研究院(集团)有限公司电力研究院, 云南 昆明 650051;

3. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 建立了避雷线全线绝缘架设的输电线路雷击模型, 研究了雷电流幅值、杆塔接地电阻和杆塔档距对杆塔处雷电流分配特性的影响规律。研究发现: 雷电流较小的情况下, 雷电流分配主要受避雷线绝缘间隙击穿个数的影响; 如雷电流幅值为 1 kA 时, 避雷线绝缘架设和直接接地时的分流系数最大差别为 9%; 雷电流幅值大于 20 kA, 击穿间隙个数等于或大于 5 个时, 雷电流分配不再受避雷线绝缘架设的影响, 而是主要受杆塔接地电阻的影响。因此计算线路的耐雷水平时不需要考虑避雷线绝缘架设的影响。

关键词: 架空线路; 绝缘避雷线; 分流系数; 雷电流; 接地电阻; 杆塔档距

中图分类号: TM 72

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.02.022

0 引言

输电线路覆冰后由于线路荷载过重、不均匀脱冰、覆冰导线舞动等会造成输电线路倒杆和断线事故^[1-3]。当架空避雷线上的覆冰达到一定程度后, 将严重危害输电线路安全^[4-7]。为了利用直流对架空避雷线融冰, 对输电线路避雷线进行了全线绝缘化架设, 绝缘间隙达到了 120 mm, 远大于为了减小避雷线损耗而采用的绝缘间隙值(10~40 mm)^[8-9]。120 mm 绝缘间隙应用在避雷线中将改变输电线路耐雷水平和塔顶电位。输电线路耐雷水平和塔顶电位直接与杆塔分流系数相关^[10-11]。为了防止输电线路雷击闪络和避免雷击跳闸, 需要深入研究绝缘避雷线杆塔分流系数。

国内学者对绝缘化输电线路避雷线问题进行了大量的研究, 这些研究主要集中在不同避雷线绝缘方式、输电线路和避雷线换位、避雷线回路数、避雷线材料、杆塔等因素对输电线路避雷线损耗^[12-15]、短路时的避雷线分流系数^[16-19]和避雷线感应电压^[20-23]影响。基于雷击输电线路时杆塔分流系数的研究较少, 而杆塔分流系数对于分析杆塔顶端电位、探讨绝缘配合和开展输电线路防雷接地保护有着重要的意义。

为此, 本文利用电磁暂态仿真软件 ATP-EMTP 建立了全线绝缘化避雷线的输电线路雷击模型, 研究了在不同雷电流幅值下绝缘架设避雷线和杆塔中雷电流分配问题, 探讨了不同雷电流幅值、杆塔接地电阻和杆塔档距对直接接地避雷线和绝缘架设避雷线中的杆塔分流系数的影响, 得到了相关变化规律。相关结论可为工程设计和相关技术规范提供参考。

1 雷击杆塔模型

1.1 雷电流在输电线路分配模型

避雷线全线绝缘化架设方式为: 架空线路每隔 30 km 设置 1 个接地点, 线路终端杆塔均设置接地点; 非覆冰季节接地点进行可靠接地, 融冰季节来临前将线路接地点接地装置打开, 本文讨论了非融冰季节避雷线情况。输电线路正常运行时, 流过杆塔和绝缘避雷线的电流基本为 0。当发生雷击故障时, 雷电流将击穿绝缘避雷线间隙, 并经杆塔和绝缘避雷线流回大地。雷电流在输电线路分配模型如图 1 所示。

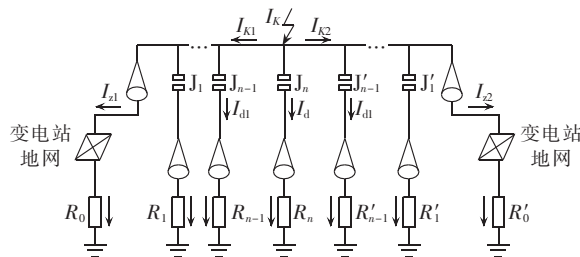


图1 雷电流分布模型

Fig.1 Model of lightning current distribution

图 1 中, $J_i, J'_i (i=1, 2, \dots, n-1)$ 表示对应杆塔的绝缘避雷线间隙; J_n 表示雷击杆塔处的绝缘避雷线间隙; I_k 为雷击点的全部雷电流; I_{k1}, I_{k2} 为流过雷击点两侧绝缘避雷线的雷电流; I_d 为雷击点击穿避雷线绝缘间隙的杆塔入地雷电流; I_{d1} 为雷击点相邻击穿避雷线绝缘间隙的两基杆塔雷电流; I_{d2} 为流经绝缘避雷线返回变电站地网的雷电流; R_i, R'_i 为接地电阻。基于雷电流分配模型, 本文研究了雷电流在输电线路杆塔的分配问题。

1.2 雷电流杆塔分流系数

当雷电击中输电线路杆塔及附近时, 足够大的雷电流幅值将击穿雷击点附近杆塔的绝缘间隙。击穿绝缘间隙的杆塔和绝缘避雷线将对雷电流分流。雷

电流在杆塔中的分流如图 2 所示。

图 2 中,J 对应杆塔上的绝缘间隙;D 对应杆塔上的绝缘子。基于雷电流杆塔分流模型,本文研究了绝缘避雷线中雷电流杆塔分流系数。

杆塔分流系数是反映雷电流在避雷线和杆塔中分布情况的重要参数,与输电线路反击耐雷水平关系密切。在本文中杆塔分流系数 β 定义为经杆塔入地的电流 I_d 与雷击杆塔的总雷电流 I_k 的比值,即:

$$\beta = \frac{I_d}{I_k}$$

2 实际线路雷电流分配的仿真分析

2.1 线路计算条件

南方电网某超高压输电线路为了利用直流直接融冰,架空避雷线进行了全线绝缘化设计。避雷线绝缘间隙为 120 mm,对于间隙击穿建模时作了理想化的假设,当间隙两端电压达到间隙 $U_{50\%}$ 即试验数值 83.4 kV 时,间隙击穿。线路仿真计算条件为:土壤电阻率为 $200 \Omega \cdot m$,变电站接地网等效电阻为 0.5Ω ;每档线路档距为 500 m;线路铁塔等效接地电阻为 15Ω ,铁塔波阻抗为 150Ω 。导、避雷线排列如图 3 所示。导线参数:相导线型号为 $4 \times JL/G1A-400/50-54/7$,分裂间距为 400 mm;避雷线型号为 LBGJ-120;光缆型号为 OPGW-100。

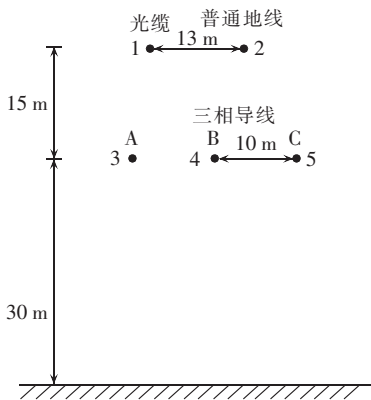


图 3 线路的几何结构

Fig.3 Geometric structure of transmission line

2.2 输电线路雷电流分配规律分析

利用已建模型,对雷击杆塔条件下杆塔分流情况进行了仿真。由仿真结果发现,当雷电流幅值小于 441 A 时,没有绝缘间隙击穿;雷电流幅值在 441 ~ 4 300 A 时,只有雷击点杆塔绝缘间隙击穿;当雷电流幅值大于 20 kA 时,靠近雷击点的 5 基杆塔绝缘

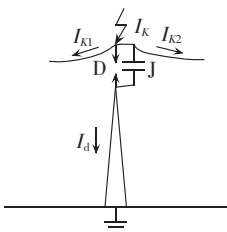
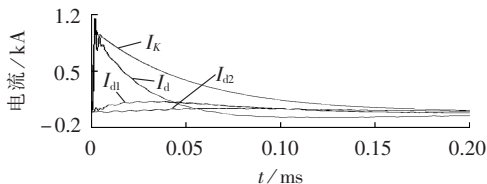


图 2 杆塔分流模型

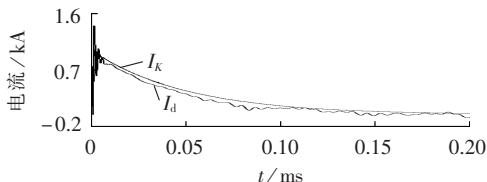
Fig.2 Model of tower lightning current shunt

间隙击穿;雷电流幅值大于 50 kA 时,靠近雷击点的 12 基杆塔绝缘间隙击穿。以下分别讨论不同雷电流幅值条件下的杆塔分流情况。

雷电流幅值为 1 kA 时,雷击点杆塔绝缘间隙击穿。雷电流从击穿绝缘间隙的杆塔、绝缘避雷线和线路终端接地杆塔分流,与直接接地时分流情况的对比如图 4 所示。图中, I_{d1} 、 I_{d2} 为雷击点相邻击穿避雷线绝缘间隙的 4 基杆塔雷电流。



(a) 直接接地



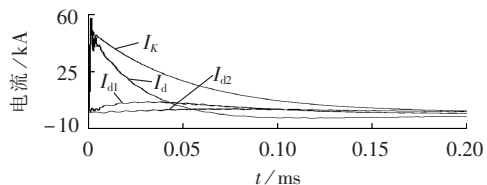
(b) 绝缘架设

图 4 雷电流幅值为 1 kA 时分流情况

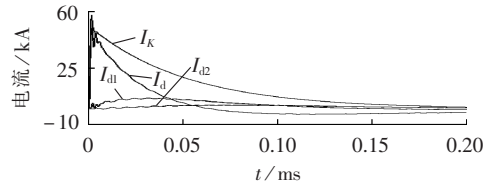
Fig.4 Lightning current distribution when its amplitude is 1 kA

由图 4 可见,绝缘架设避雷线杆塔分流作用大于直接接地时分流作用。因为雷电流幅值为 1 kA 时,绝缘架设避雷线情况下只有雷击点杆塔击穿,雷击点杆塔分走 97% 的雷电流。

雷电流幅值为 50 kA 时,雷击点附近 12 基杆塔的绝缘间隙击穿。雷电流从击穿绝缘间隙的 12 基杆塔、绝缘避雷线和线路终端接地杆塔分流,与直接接地时分流情况的对比如图 5 所示。



(a) 直接接地



(b) 绝缘架设

图 5 雷电流幅值为 50 kA 时分流情况

Fig.5 Lightning current distribution when its amplitude is 50 kA

由图 5 可见,直接接地与绝缘架设避雷线杆塔分流峰值都为 57 kA,并且杆塔入地雷电流波形相似,分流作用相近。因为杆塔绝缘间隙达到 12 基,绝缘架

设避雷线与直接接地避雷线一样能起到良好的分流作用。与图 4 中绝缘架设避雷线杆塔分流相比,更多的杆塔绝缘间隙击穿,击穿间隙的杆塔分流作用加强。同时雷击点附近 3 基杆塔分流较多,随后 4、5 基杆塔分流较少。

雷电流幅值为 150 kA 时,雷击点附近 12 基杆塔的绝缘间隙击穿。雷电流从击穿绝缘间隙的 12 基杆塔、绝缘架设避雷线和线路终端接地杆塔分流,与直接接地时分流情况的对比如图 6 所示。

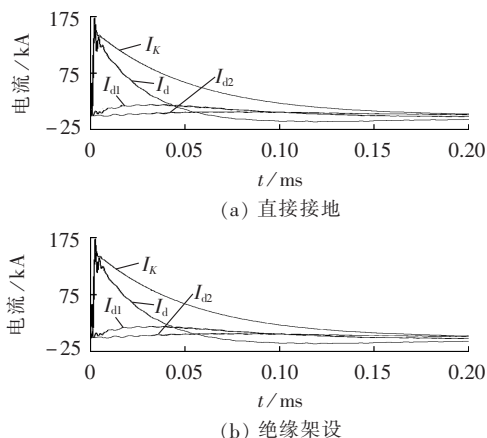


图 6 雷电流幅值为 150 kA 时分流情况

Fig.6 Lightning current distribution when its amplitude is 150 kA

由图 6 可见,直接接地与绝缘架设避雷线杆塔分流峰值都为 170 kA,并且杆塔入地雷电流波形相似,分流作用几乎相同。与图 5 中绝缘架设避雷线杆塔分流相比,每基杆塔分得了更多的雷电流。

由图 5、图 6 发现:当雷击杆塔时,雷击点两边击穿绝缘间隙的杆塔分流呈对称分布;两边对应杆塔分流几乎相同,线路末端接地杆塔和绝缘避雷线分流较小。雷电流在避雷线和杆塔中的分配与杆塔绝缘间隙的击穿个数有关,杆塔入地电流峰值与绝缘间隙的击穿个数关系不大。

由此可知,在实际输电线路中雷击点处的雷电流主要由绝缘间隙击穿的杆塔分流,并且杆塔分流达到 80% 以上。这说明在绝缘架设避雷线-杆塔接地系统中,从雷击点看进去的输入阻抗要比绝缘架设避雷线阻抗小得多。绝缘架设避雷线在足够大的雷电流击穿绝缘间隙后,其雷电流分配与直接接地避雷线差别不大,都主要由雷击点附近杆塔分流。绝缘架设避雷线对雷电流杆塔分流影响不大。当避雷线绝缘间隙可靠击穿后,绝缘架空避雷线接地,发挥避雷线在防雷时的分流及耦合作用。

3 雷电流幅值对杆塔分流系数和波长的影响

雷电流幅值是影响绝缘避雷线中杆塔分流系数

和波长的重要因素。变动雷电流幅值,保持其他仿真条件不变,分别得到绝缘避雷线和直接接地避雷线在 1.3 μs 时的杆塔分流系数和波长,所得结果如图 7、8 所示。

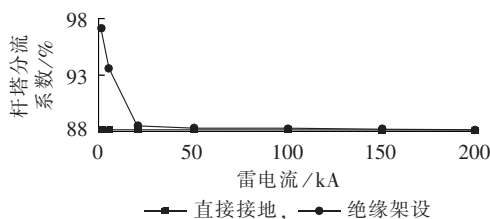


图 7 不同雷电流幅值下的杆塔分流系数

Fig.7 Tower shunt coefficient for different lightning current amplitudes

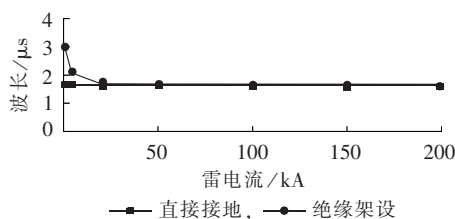


图 8 不同雷电流幅值下的波长

Fig.8 Wave length for different lightning current amplitudes

由图 7、图 8 可知:随着雷电流增大,不同避雷线架设方式下杆塔分流系数和波长变化趋势并不相同。绝缘架设避雷线中杆塔分流系数和波长随着雷电流幅值增大而减小,避雷线直接接地方式的杆塔分流系数和波长保持定值。绝缘架设避雷线中雷电流幅值小于 20 kA 时,雷击点附近 2 基杆塔分流,分流系数保持在 90% 以上,波长为 2 μs 以上;雷电流幅值大于 50 kA 时,雷击点附近 12 基杆塔分流,分流系数保持在 88% 左右,波长为 1.67 μs ;而在直接接地方式下无论雷电流幅值变化多少,杆塔分流系数都维持在 88% 左右,波长为 1.67 μs 。这是因为在直接接地避雷线中,雷电流幅值增加而输电线路分流电路结构没有改变。在绝缘避雷线系统中,随着雷电流增大,击穿避雷线绝缘间隙个数增加,杆塔接地的数目增加,更多的杆塔参与分流,杆塔分流系数减小且波长变短。随着雷电流幅值增大,击穿个数达到一定程度后,分流系数和波长将不再减少,绝缘避雷线杆塔分流系数和波长最终趋于直接接地时的分流系数和波长。与避雷线直接接地相比,当雷电流幅值超过 20 kA 时,绝缘架设避雷线对输电线路杆塔雷电分流系数和波长影响不大。

4 杆塔分流系数的规律分析

4.1 杆塔接地电阻的影响

杆塔接地电阻对绝缘避雷线中杆塔分流系数有很大的影响。在雷电流幅值为 150 kA 时,改变杆塔

接地电阻的值,保持其他仿真条件不变,得到不同杆塔接地电阻在 $1.3 \mu\text{s}$ 时的分流系数,所得结果如图 9 所示。

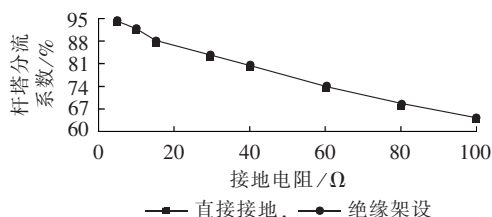


图 9 不同杆塔接地电阻下的杆塔分流系数

Fig.9 Tower shunt coefficient for different tower grounding resistances

由图 9 可以看出雷电流幅值为 150 kA 时,直接接地与绝缘避雷线 2 种方式在不同接地电阻时的分流系数近似。杆塔接地电阻为 5Ω 时,直接接地和绝缘架设避雷线杆塔分流系数为 95% 左右;杆塔接地电阻增大到 100Ω 时,已经下降到 65% 左右。随着接地电阻增大,不同避雷线架设方式下杆塔分流系数变化趋势相同,即随着接地电阻增大,分流系数减小。这是因为幅值为 150 kA 时雷电流击穿绝缘间隙较多,绝缘避雷线分流作用与直接接地时差别不大。杆塔接地电阻越大,雷电流从杆塔分流越小,杆塔分流系数减少。同时杆塔接地电阻增大,还会影响地电位升高。

4.2 杆塔档距的影响

杆塔档距对绝缘避雷线中杆塔分流系数有一定的影响。在雷电流幅值为 150 kA 的情况下,改变杆塔档距的值,保持其他仿真条件不变,得到不同的杆塔档距在 $1.3 \mu\text{s}$ 时的分流系数,所得结果如图 10 所示。

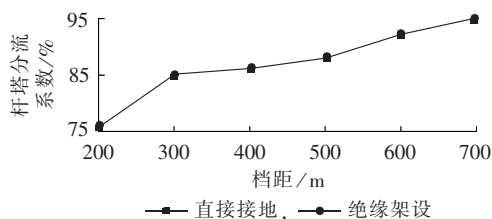


图 10 不同档距下的杆塔分流系数

Fig.10 Tower shunt coefficient for different tower spans

由图 10 可以看出雷电流幅值为 150 kA 时,直接接地方式与绝缘架设方式在不同杆塔档距的分流系数几乎一样。 700 m 档距时分流系数为 95% 左右, 200 m 档距时分流系数下降到 75% 左右。随着档距增大,不同避雷线架设方式下杆塔分流系数变化趋势相同,分流系数都随着档距增大而增大。随着档距的增大,雷电流从杆塔分流得越多,杆塔系数越大。输电线路设计时可以适当增大档距,以增大杆塔雷电流分流系数。

5 结论

本文对比分析了避雷线直接接地和绝缘架设的雷电流分配情况及影响因素,得出结论如下。

a. 避雷线绝缘架设时,雷电流的分配与杆塔绝缘间隙的击穿个数有关,通过杆塔入地的雷电流幅值受间隙击穿个数影响较少,而波长受间隙击穿个数的影响较大。

b. 雷电流幅值小于 20 kA ,避雷线绝缘架设与直接接地相比,由于雷电流的杆塔分流系数受间隙击穿个数的影响,二者的差别较大,其中雷电流幅值为 1 kA 时分流系数相差达到 9% 。

c. 当雷电流幅值大于 20 kA ,绝缘间隙击穿 5 级以上时,避雷线绝缘架设与直接接地时的分流系数基本相同,此时杆塔分流系数主要受杆塔接地电阻的影响。

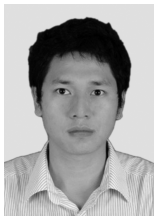
通过上述研究,避雷线绝缘架设时,输电线路的雷击分流系数主要受雷电流的影响,当雷电流幅值远大于 20 kA 时,计算线路的耐雷水平时不需要考虑避雷线融冰绝缘架设的影响。

参考文献:

- [1] 黄新波,马龙涛,肖渊,等. 均匀覆冰下的架空线有限元找形分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(6):72-76.
HUANG Xinbo,MA Longtao,XIAO Yuan,et al. Form-finding analysis based on finite element method for line with uniform ice-coating[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(6):72-76.
- [2] 宋刚,张彤. 特高压直流输电线路直线塔重覆冰不平衡张力计算[J]. 电力自动化设备,2014,34(7):119-123.
SONG Gang,ZHANG Tong. Unbalanced tension calculation of UHVDC transmission lines and suspension towers with heavy ice-coating[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(7):119-123.
- [3] 杨浩,吴畏. 基于三维重建的绝缘子覆冰图像监测[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):92-98.
YANG Hao,WU Wei. Insulator icing monitoring based on 3D image reconstruction[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):92-98.
- [4] 张恒旭,刘玉田,张鹏飞. 极端冰雪灾害下电网安全评估需求分析与框架设计[J]. 中国电机工程学报,2009,29(16):8-14.
ZHANG Hengxu,LIU Yutian,ZHANG Pengfei Requirements analysis and framework design for power system security assessment considering extreme ice disasters[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(16):8-14.
- [5] 郑欢,江道灼,金文德,等. 基于电磁感应原理的绝缘子防(融)冰技术方案探讨[J]. 电力自动化设备,2010,30(2):135-138.
ZHENG Huan,JIANG Daozhuo,JIN Wende,et al. Insulator deicing based on electromagnetic induction principle[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(2):135-138.
- [6] 胡志坚,李洪江,文云山,等. 基于差分 GPS 的输电线路舞动和风偏在线监测方法[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):120-124.

- HU Zhijian, LI Hongjiang, WEN Xishan, et al. Online monitoring of transmission conductor wave and wind gallop based on differential GPS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(3):120-124.
- [7] 胡毅. 电网大面积冰灾分析及对策探讨[J]. 高电压技术, 2008, 34(2):215-219.
- HU Yi. Analysis and countermeasures discussion for large area icing accident on power grid[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2):215-219.
- [8] 司马文霞, 叶轩, 谭威, 等. 高海拔 220 kV 输电线路绝缘子串与并联间隙雷电冲击绝缘配合研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(10):168-176.
- SIMA Wenxia, YE Xuan, TAN Wei, et al. Lightning insulating coordination between insulator string and parallel gap device of 220 kV transmission line at high altitude area[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(10):168-176.
- [9] 吴伯华, 张孝军, 方瑜. 超高压线路绝缘地线的研究[J]. 中国电力, 1997, 30(3):11-12.
- WU Bohua, ZHANG Xiaojun, FANG Yu. Study on the performance of insulated ground wire on EHV transmission lines[J]. Electric Power, 1997, 30(3):11-12.
- [10] 吴广宁. 高电压技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2007:199-2005.
- [11] 王巨丰, 齐冲, 车谄颖, 等. 110 kV 高压输电线路杆塔分流系数的研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(3):46-48.
- WANG Jufeng, QI Chong, CHE Yiyang, et al. Research of lightning distribution coefficient of the tower on high-voltage transmission line of 110 kV[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(3):46-48.
- [12] 李本良, 袁兆祥, 惠旭, 等. 降低高压交流输电线路避雷线损耗的运行方式[J]. 电网技术, 2011, 35(3):98-102.
- LI Benliang, YUAN Zhaoxiang, HUI Xu, et al. Operation mode of ground wire to reduce ground wire loss of HV AC transmission lines[J]. Power System Technology, 2011, 35(3):98-102.
- [13] 张勇, 郎需军, 杨博. 1000 kV 特高压输电线路导线排列方式和换位对地线能耗的影响[J]. 电网技术, 2011, 35(4):21-24.
- ZHANG Yong, LANG Xujun, YANG Bo. Influences of conductor arrangement and line transposition adopted in 1000 kV transmission project on power loss in ground wire[J]. Power System Technology, 2011, 35(4):21-24.
- [14] 王育飞, 徐兴, 薛花. 考虑避雷线影响的同时多回输电线路不平衡度衡量新方法[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(11):107-112.
- WANG Yufei, XU Xing, XUE Hua. Measuring unbalance degree of multi-circuit transmission lines on same tower with consideration of lightning conductor[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(11):107-112.
- [15] 赵丹丹, 韩政, 郭洁. 750 kV 架空地线接地方式及损耗研究[J]. 高压电器, 2013, 49(2):67-73.
- ZHAO Dandan, HAN Zheng, GUO Jie. Grounding modes and electric loss of 750 kV overhead ground wire[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(2):67-73.
- [16] 何金良, 张波, 曾嵘, 等. 1000 kV 特高压变电站接地系统的设计[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7):7-12.
- HE Jinliang, ZHANG Bo, ZENG Rong, et al. Urounding system design of 1000 kV ultra-high voltage substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7):7-12.
- [17] 杨鑫, 李卫国, 李景禄. 变电站内短路时架空地线分流系数的计算方法[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(11):107-110.
- YANG Xin, LI Weiguo, LI Jinglu. Calculation of overhead ground line shunt coefficient for substation grounding fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(11):107-110.
- [18] 陈奎, 曹晓斌, 吴广宁, 等. 超高压输电线路融冰绝缘地线单相短路电流分析[J]. 电网技术, 2014, 38(11):3266-3270.
- CHEN Kui, CAO Xiaobin, WU Guangning, et al. Analysis on single-phase short-circuit current in insulated ground wire during ice-melting of EHVAC transmission lines[J]. Power System Technology, 2014, 38(11):3266-3270.
- [19] 许高雄, 赵大平, 威力彦, 等. OPGW 与普通地线构成的双地线系统中单相短路电流分流的计算[J]. 电网技术, 2011, 35(1):229-232.
- XU Gaoxiong, ZHAO Daping, QI Liyan, et al. Calculation of short-circuit current distribution between OPGW and ordinary ground wire under single-phase earth fault occurred in transmission system simultaneously configuring both kinds of ground wires[J]. Power System Technology, 2011, 35(1):229-232.
- [20] 宋立军, 蒋陶宁, 邹军, 等. 特高压交流输电线路地线绝缘间隙电压的研究[J]. 电网技术, 2013, 37(3):686-691.
- SONG Lijun, JIANG Taoning, ZOU Jun, et al. Research on voltages across both terminals of ground wire insulation gap for UHVAC transmission line[J]. Power System Technology, 2013, 37(3):686-691.
- [21] 张龙伟, 吴广宁, 朱军, 等. 耦合因素对特高压交流同塔双回路不平衡度的影响分析及相序优化[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(7):124-128.
- ZHANG Longwei, WU Guangning, ZHU Jun, et al. Influences of coupling factors on imbalance of dual UHVAC transmission lines installed on same tower and optimization of phase sequence arrangement[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(7):124-128.
- [22] 王晓彤, 班连庚, 朱普轩, 等. 750 kV 同塔同窗同相序双回紧凑型线路的潜供电流和感应电压[J]. 电网技术, 2011, 35(1):90-96.
- WANG Xiaotong, BAN Liangeng, ZHU Puxuan, et al. Research on secondary-arc currents and induced voltages for 750 kV compact double-circuit transmission lines on the same tower with the same phase sequence in the same tower window[J]. Power System Technology, 2011, 35(1):90-96.
- [23] 黄旭峰. 光纤复合架空地线接地方式的改进[J]. 高电压技术, 2010, 36(2):356-364.
- HUANG Xufeng. Improvement of the grounding method of OPGW[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(2):356-364.

作者简介:



陈奎

陈奎(1989—),男,四川南充人,硕士研究生,研究方向为超高压输电线路过电压与接地技术(E-mail:ckcj911901@163.com);曹晓斌(1974—),男,湖南衡阳人,副教授,博士,主要从事特高压输电、防雷与接地、过电压及接地技术的应用与研究;

吴广宁(1969—),男,江苏南京人,教授,博士研究生导师,博士,主要从事特高压输电、防雷与接地、高压电气设备绝缘评估及状态检修等方面的研究工作。

(下转第 147 页 continued on page 147)

Decision-making scheme of ice-melting sequence considering grid safety risk

ZHOU Xiaoyu,LI Huaqiang,LIU Peiqing,LÜ Xinyao

(School of Electrical Engineering and Information,Sichuan University,Chengdu 610065,China)

Abstract: Based on the reliability theory and risk theory and with the consideration of wind and ice loads, a failure probability model of icing lines in the ice disaster is proposed,which is combined with the comprehensive severity index for measuring the consequence of accident to build an icing risk index for reflecting the influence of faulty iced lines on the safety of system operation. According to the monitored meteorological information,a line-icing prediction model is proposed and a system icing index is built to measure the grid-wide icing level. An ice-melting index is built by combining the icing risk index with the icing level index,which considers both the safety level of grid operation and the development tendency of grid-wide icing,and a decision-making scheme of ice-melting sequence is proposed. The simulative results of IEEE 30-bus system verify the rationality and feasibility of the proposed scheme.

Key words: ice disaster; ice-melting strategy; grid safety; operational risk; icing prediction; risks

.....
(上接第 140 页 continued from page 140)

Influence of insulated ground wire installation
on lightning current shunt by tower

CHEN Kui¹,CAO Xiaobin¹,WU Guangning¹,YI Zhixing¹,MA Yutang²,FAN Jianbin³

- (1. School of Electrical Engineering,Southwest Jiaotong University,Chengdu 610031,China;
2. Yunnan Electric Power Test Institute Co.,Ltd.,Electric Power Research Institute,Kunming 650051,China;
3. China Electric Power Research Institute,Beijing 100192,China)

Abstract: The lightening model of power transmission line with wholly insulated installation of ground wire is established for studying the influences of lightening current amplitude,tower grounding resistance and tower span on the lightning current shunt by tower,which shows that,it is mainly influenced by the number of insulation gap breakdown when the lightning current is smaller,for example,the maximum difference of shunt coefficient between the insulated and directly-earthed installations of ground wire is 9% when the lightning current amplitude is 1 kA;it is mainly influenced by the grounding resistance of tower when the lightning current amplitude is larger than 20 kA and there are five or more insulation gap breakdowns. Therefore,it is not necessary to consider the influence of insulated installation of ground wire during the calculation of line lightening resistant level.

Key words: overhead transmission line; insulated ground wire; shunt coefficient; lightning current; grounding resistance; tower span