

铁塔横担侧向避雷针对特高压交流线路的 绕击保护效果分析

于竞哲,周 浩

(浙江大学 电气工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要: 为评估铁塔横担侧向避雷针对特高压交流输电线路的防绕击效果,分别计算了其对 3 种特高压交流典型杆塔在不同条件下的保护距离。结果表明,为了实现较好的防绕击保护效果,ZBS2 型杆塔可考虑使用 6 m 或更长的侧向针;在地面倾角为 0° 、风偏角小于 25° 的条件下,ZMP2 型杆塔可考虑使用 4~5 m 长的侧向针,鼓形塔可考虑在杆塔中相横担处安装 4~5 m 长的侧向针。

关键词: 特高压输电; 交流输电; 侧向避雷针; 雷电绕击防护; 三维 EGM; 地面倾角; 风偏角

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.07.008

0 引言

国内外运行经验和研究表明,雷击是导致架空线路跳闸的重要原因,且随着电压等级的升高,绕击在雷击跳闸事故中所占的比重逐渐增大^[1-2]。在输电线路的设计阶段或其投入运行后,对易发生绕击的线路采取有针对性的防绕击措施,以较低的代价进一步提高线路运行的安全性,是很有意义的。

传统的防绕击措施主要是减小避雷线的保护角,但在实际应用时会受到较多限制,尤其在山地区域。而且对于已建成的线路,通过改变塔头结构来减小保护角较为困难。因为避雷针比避雷线更易产生迎面放电去拦截下行先导,有更强的引雷能力,所以文献[3]提出可在避雷线上架设水平侧向短针以增强线路的防绕击能力。但根据文献[4],此方法并没有起到预期效果且对避雷线的机械性能产生了负面影响。而对于斜山坡的坡面外侧导线,文献[5]提出了在斜山坡和山顶地段架设旁路屏蔽避雷线以补偿地面的引雷能力。此方法虽有较好的防绕击效果,但实施起来有一定难度且增加了工程成本。目前,较为常用的防雷改造方式是在杆塔上安装线路型避雷器,但这种改造方式成本较高,且安装和维护工作量较大^[6]。

文献[7]提出在杆塔横担上安装侧向避雷针来保护杆塔附近的导线以降低绕击跳闸率。侧向避雷针为一种具有尖端的金属细棒(以下简称侧向针),常用角钢安装在杆塔横担外侧,能引导雷电先导朝针的尖端发展,将绕击转化为反击。因为输电线路的反击耐雷水平要远高于绕击耐雷水平,所以通过侧向针将绕击转化为反击后,只要线路的反击耐雷水平足够高,一般不会造成线路跳闸。因此,侧向针可保护输电线路的杆塔周围的重点绕击危险区,

从而降低线路绕击跳闸率^[8-11]。同时,侧向针在金华电力局 110 kV 德姜线及浙江、江西等地的高压工程中也有令人满意的绕击保护效果,其防绕击作用被证实是有效的。

相关研究表明,在杆塔附近区域,因杆塔导致的电场畸变将产生引雷作用,导线不能得到有效屏蔽保护,致使杆塔附近区域的线路绕击率大幅提高。同时由于弧垂效应,杆塔附近避雷线的保护角一般大于档距中部,也使得绕击集中在杆塔附近。因此,高压输电线路的绕击多发生在杆塔附近区域。文献[12]通过相关模型试验得出,杆塔附近的绕击率确实远高于档距中央区域,高压输电线路的绕击多发生于杆塔两侧线路约 30 m 的范围内。

对于特高压输电线路,因为其反击耐雷水平很高,发生反击的可能性极小,雷击跳闸都是由绕击造成的。由于其杆塔很高且弧垂大,杆塔附近区域的绕击更为严重,尤其是耐张、转角杆塔。前苏联特高压线路运行经验表明,绕击跳闸多发生在转角、耐张杆塔附近。此外,在浙江省内运行的 1 000 kV 浙北—福州交流线路,曾在丽水境内发生一次绕击雷击跳闸,发生位置就是在单回路耐张塔的跳线上。因此,对于特高压输电线路杆塔,尤其是耐张、转角杆塔,进行有效的防绕击保护具有重要意义。本文提出可以在特高压输电线路中应用侧向针针对性地保护杆塔附近的绕击危险区域,并根据三维 EGM 模型对侧向针的保护效果进行了仿真计算。

1 仿真模型与计算方法

文献[7]提出利用三维 EGM 模型来计算侧向针的防绕击距离。本节在此基础上考虑特高压输电线路工频电压对导线击距的影响对算法进行改进,并且在算法中加入了地面倾角和风偏角变量,以观察其对侧向针保护距离的影响。

1.1 线路的屏蔽系统模型

击距理论是 EGM 模型的核心^[13-14],本文采用 IEEE std 1234—1997^[15]推荐的击距公式:

$$r_{s1} = 10I^{0.65} \quad (1)$$

其中, r_{s1} 为雷电对避雷线的击距(m); I 为雷电流的幅值(kA)。地面的击距取为相同雷电流幅值下避雷线击距的 k_g 倍,侧向针的击距取为相同雷电流幅值下避雷线击距的 k 倍, k_g 、 k 均为击距系数。

对于特高压输电系统,工频电压可占到绝缘子串放电电压 $U_{50\%}$ 的 15%~20%,所以有必要考虑其对导线击距的影响。考虑工频电压影响后,击距的计算式修正如下:

$$r_{s2} = 1.63(5.015I^{0.578} - u_{ph})^{1.125} \quad (2)$$

其中, r_{s2} 为考虑工频电压影响后的雷电对导线的击距(m); u_{ph} 为导线上工频相电压瞬时值(MV)。

图 1 为单回输电线路的屏蔽系统模型图,其中 $\overline{AB}$ 、 $\overline{BC}$ 和 $\overline{CD}$ 位于与杆塔相距 d 的二维平面上,其中 $\overline{AB}$ 和 $\overline{CD}$ 分别为避雷线和地面屏蔽弧, $\overline{BC}$ 为导线暴露弧。

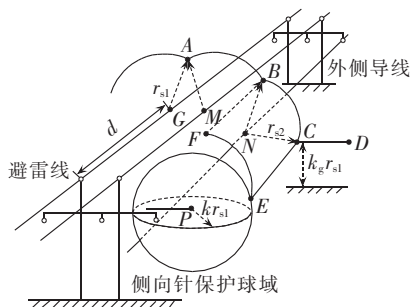


图 1 输电线路屏蔽系统模型

Fig.1 Model of lightning shielding system of transmission line

沿档距方向,导线上各点的暴露弧将连成如图 1 所示曲面 $BCEF$,即外侧导线在避雷线和地面屏蔽系统下的三维绕击暴露曲面。因为侧向针的放电发生在尖端上,所以可用一个以针尖 P 为球心,以击距 kr_{s1} 为半径的球面来表示其击距曲面,即图 1 中的球 P 。当屏蔽球 P 的球面与暴露曲面 $BCEF$ 存在交集时,由击距理论可知侧向针可以屏蔽位于球 P 内的导线暴露曲面。

图 2 为与杆塔相距 d 的二维平面的断面图。图中,坐标系以点 O 为原点,避雷线坐标为 $(0, y_1)$,导线坐标为 (x_2, y_2) ,在计算避雷线和导线坐标时还应考虑弧垂的影响; M 、 N 分别为避雷线和外侧导线在该平面上的点;导线的风偏角为 α_1 ,导线在风的作用下按逆时针方向偏移时角度为正;地面倾角为 α_2 ,地面按顺时针方向偏移时角度为正。

本文所用模型正是在避雷线和地面屏蔽系统的

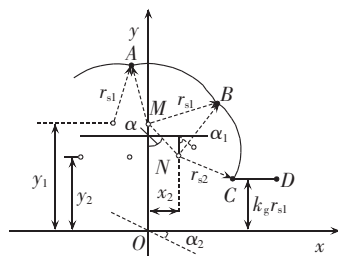


图 2 线路屏蔽系统模型的二维断面图

Fig.2 2D section diagram of lightning shielding system

基础上,考虑了屏蔽球 P 对暴露曲面 $BCEF$ 的屏蔽效果,以计算侧向针的保护距离,并考虑了风偏角 α_1 、地面倾角 α_2 以及侧向针的长度对保护距离的影响。

1.2 侧向针的保护距离计算方法

如图 1 所示,对于某一雷电流幅值 I ,当导线上点 N 的整条暴露弧都在屏蔽球 P 的球面内时,表明其受到侧向针的完全屏蔽。为了计算侧向针的保护距离,增加点 N 与杆塔的距离,直至屏蔽球 P 不能完全屏蔽导线上点 N 的暴露弧,此时点 N 与杆塔的距离 d 为侧向针的最大保护距离,记为 l 。在距离 l 内,由于受到侧向针的完全屏蔽,输电线路不会发生绕击。而当雷电流的幅值变化时,各个击距随之改变,进而改变了屏蔽球 P 和曲面 $BCEF$ 的半径及相对位置。所以,还应该计算在不同雷电流幅值 I 下,侧向针的最大保护距离 l 。

对于某条具体线路,只有雷电流幅值介于绕击闪络临界电流 I_{min} (能够引起输电线路绝缘闪络的最小可绕击电流)与最大可绕击电流 I_{max} (当雷电流幅值等于 I_{max} 时,图 2 中的点 B 、 C 重合即暴露弧长为 0) 之间的雷电流才会绕击导线并导致线路跳闸。因此,应该计算在 $[I_{min}, I_{max}]$ 区间内不同雷电流幅值 I 对应的侧向针的最大保护距离 l ;然后将计算结果按照雷电流幅值分布概率进行加权平均得到 l_i 。又因为考虑了工频电压对导线击距的影响,所以将电压相角视为等概率分布的随机离散变量,则确定侧向针的保护距离计算式为:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i / n \quad (3)$$

其中, L 为考虑工频电压相角后的侧向针平均最大保护距离; l_i 为在某一电压相角下的侧向针加权平均最大保护距离; n 为在 1 个工频电压周期中所取的相角个数。图 3 为 l_i 的计算流程图,三维 EGM 算法流程即将图 3 所示过程重复 n 次后按式(3)计算得到 L 值。

2 侧向针的保护效果计算

利用三维 EGM 法对图 4 所示 3 种 1000 kV 特高压典型杆塔进行侧向针防绕击效果分析。

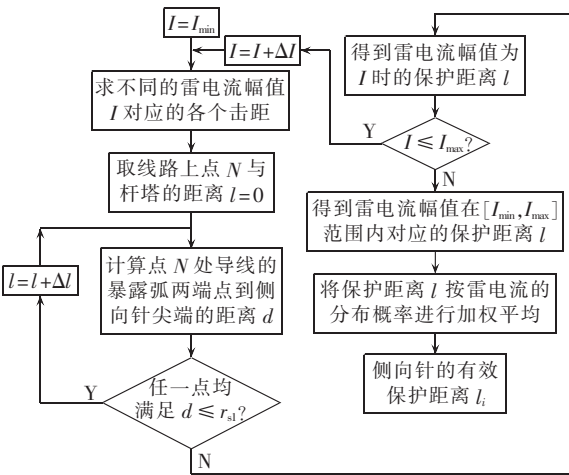


图 3 l_i 的计算流程
Fig.3 Flowchart of l_i calculation

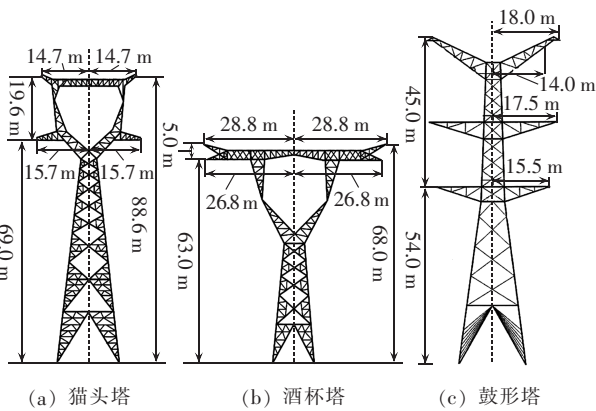


图 4 特高压交流输电线路的典型塔型
Fig.4 Typical tower shapes of UHVAC transmission line

因为图 4 所示的 3 种杆塔均为对称结构,所以只对其一侧进行分析。考虑侧向针的长度、风偏角和地面倾角 3 种影响侧向针保护效果的参数,针对不同杆塔改变相应参数,分析其对侧向针保护效果的影响。

2.1 对特高压单回线路猫头塔的保护效果分析

ZMP2 型猫头塔采用 M 型(边、中相导线分别采用 I 型、V 型绝缘子串)三角排列,一般只有外侧导线会发生绕击,杆塔结构如图 4(a)所示,设导线分裂间距为 400 mm,绝缘子串长 13.2 m,导线最大弧垂 20 m,避雷线最大弧垂为 18 m。因为猫头塔多用于平原地区,所以设其地面倾角为 0°。

2.1.1 侧向针长度对保护距离的影响

对侧向针应用在猫头塔时的保护效果进行分析,结果表明即使在风偏角 α_1 和地面倾角 α_2 均为 0° 的条件下,外侧导线已存在暴露弧,即导线存在被绕击的风险,此时需要安装侧向针对输电线路进行防绕击保护。在 α_1 和 α_2 均为 0° 的条件下改变侧向针长度,计算侧向针对杆塔一侧(沿档距方向)导线的保护距离,得到变化曲线如图 5 所示。由

图可知,侧向针长度为 3 m 时,其对导线的保护距离约为 33 m;侧向针长度为 5 m 时,其对导线的保护距离约为 40 m。在 α_1 和 α_2 均为 0° 的条件下,3 m 长的侧向针已经能够对杆塔两侧约 30 m 范围内的导线进行保护。

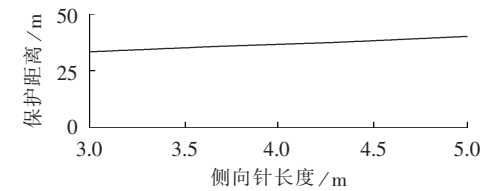


图 5 侧向针长度与保护距离的关系
Fig.5 Relationship between sideward rod length and protective distance

2.1.2 风偏角对保护距离的影响

雷电灾害出现时一般伴随有大风,由于特高压输电线路杆塔很高且输电线路绝缘子串较长,在大风的作用下导线会偏移一定角度,即图 2 所示的风偏角 α_1 。由图 2 可知,当 α_1 为正时,导线会在风的作用下远离避雷线,导致避雷线的保护作用减弱,从而使绕击率明显增大。因此有必要考虑风偏角对侧向针保护效果的影响。考虑雷击时的风速为 15 m/s^[16],此时导线的风偏角可达 25°^[17]。在地面倾角为 0° 的条件下增加风偏角,不同长度侧向针的保护距离随风偏角的变化如图 6 所示。

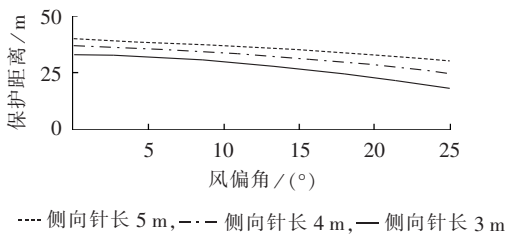


图 6 风偏角与侧向针保护距离的关系
Fig.6 Relationship between wind deflection angle and protective distance of sideward rod

由图 6 可知,当风偏角达到 25° 时,3 m 长的侧向针对杆塔一侧(沿档距方向)导线的保护距离为 20 m 左右。增加侧向针长度到 4 m 和 5 m,由图可知,当风偏角为 25° 时,4 m 和 5 m 长的侧向针的保护距离分别约为 26 m 和 31 m,保护效果较好。

综上,对于 ZMP2 型猫头塔,在地面倾角为 0°、风偏角小于 25° 的条件下,可以考虑使用 4~5 m 长的侧向针对特高压输电线路进行防绕击保护。

2.2 对特高压单回线路酒杯塔的保护效果分析

酒杯塔采用 M 型水平排列,杆塔结构如图 4(b)所示,一般只有外侧导线会发生绕击。设导线分裂间距为 400 mm,绝缘子串长 13.2 m,导线最大弧垂为 20 m,避雷线最大弧垂为 18 m。虽然 ZBS2 型酒杯塔采用负保护角,但因其多用于山区,所以当风偏

角或地面倾角不为 0° 时,避雷线可能无法对输电线路完全屏蔽,故有必要使用侧向针对线路进行保护。

2.2.1 地面倾角对保护距离的影响

山区的地面倾角 α_2 一般为 10°~30°。通过计算发现,在风偏角为 0° 的条件下,当 $\alpha_2 < 18^\circ$ 时,避雷线能对特高压输电线路实现完全屏蔽;当 $\alpha_2 \geq 18^\circ$ 时导线开始出现暴露弧即出现被绕击的风险,此时需要安装侧向针对外侧导线进行防绕击保护。因此,从 18° 开始增加 α_2 ,计算地面倾角对不同长度侧向针的保护距离的影响,结果如图 7 所示。

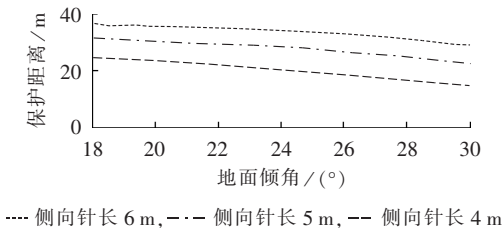


图 7 地面倾角与侧向针保护距离的关系

Fig.7 Relationship between ground inclination angle and protective distance of sideward rod

由图可知,当 α_2 为 18° 和 30° 时,4 m 长的侧向针的保护距离分别约为 24 m 和 10 m,保护效果较差。增加侧向针长度到 5 m 和 6 m。对于 5 m 长的侧向针,在 α_2 等于 18° 和 30° 时的保护距离分别约为 31 m 和 20 m。对于 6 m 长的侧向针,在 α_2 等于 18° 和 30° 时的保护距离分别约为 37 m 和 28 m,该种情况下的保护效果较好。

2.2.2 考虑风偏角对保护距离的影响

当风偏角为 0° 时,由图 7 可知 6 m 长的侧向针的保护距离与地面倾角的关系。考虑风偏角的影响后,分别在风偏角为 10°、15° 和 25° 的条件下,计算地面倾角对 6 m 长的侧向针的保护距离的影响,结果如图 8 所示。由图可知,在考虑风偏角的影响后,6 m 长的侧向针的保护距离有所下降。当风偏角小于 15°、地面倾角在 18°~30° 的范围内时,6 m 长侧向针的最小保护距离约为 20 m,对特高压输电线路仍有一定的保护效果。

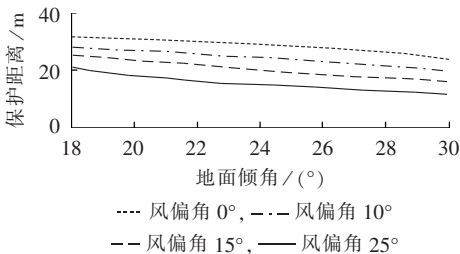


图 8 风偏角与地面倾角对侧向针保护距离的影响

Fig.8 Influence of wind deflection angle and ground inclination angle on protective distance of sideward rod

综上,对于 ZBS2 型酒杯塔,可以考虑使用长度为 6 m 或更长的侧向针对线路进行防绕击保护。

2.3 对特高压双回线路鼓形塔的保护效果分析

鼓形塔采用 I 型绝缘子串布置方式,杆塔结构如图 4(c)所示。设导线分裂间距为 400 mm,绝缘子串长 12.5 m,导线最大弧垂为 14.4 m,避雷线最大弧垂为 12.55 m。因为鼓形塔主要应用于平原地区和丘陵地区,而丘陵地区的地面倾角为 0°~6°,对侧向针的保护效果影响较小,所以下面主要分析侧向针对平原地形上的特高压同塔双回输电线路的保护效果,即设地面倾角为 0°。同时,因为避雷线对下相导线的保护角很小以及导线位置很低,所以在风偏角的合理变化范围内,避雷线始终可以对下相导线实现完全屏蔽,故不需要考虑侧向针对下相导线的保护效果。

2.3.1 侧向针安装位置对保护距离的影响

通过计算发现,在地面倾角和风偏角均为 0° 的条件下,上相和中相导线已经存在暴露弧,即导线存在被绕击的风险,需要安装侧向针进行保护。对于鼓形塔,因为有上相、中相和下相 3 个横担位置可考虑安装侧向针,所以需要首先确定侧向针的安装位置。在地面倾角和风偏角均为 0° 的条件下,分别计算安装于鼓形塔 3 个不同横担位置处的 3 m 长的侧向针对上、中相导线的保护距离,结果如表 1 所示。由表可知,当侧向针安装在中间横担时对上相和中相导线的保护距离最大,并且此时侧向针已经能够对杆塔两侧约 30 m 范围内的导线进行保护,故考虑侧向针安装在鼓形塔的中相横担上。

表 1 侧向针不同安装位置对鼓形塔导线保护距离的影响

Table 1 Influence of installation position of sideward rod on protective distance for drum-shape tower

侧向针位置	保护距离 / m	
	上相导线	中相导线
上相横担	14.2	7.2
中相横担	38.0	34.8
下相横担	22.1	17.3

2.3.2 风偏角对保护距离的影响

在侧向针安装于杆塔中相横担上以及地面倾角为 0° 的条件下,改变风偏角 α_1 的大小,分别计算不同长度侧向针的保护距离。此时,侧向针对上相导线的保护距离如图 9 所示,对中相导线的保护距离如图 10 所示。

由图 9 知,当风偏角达到 25° 时,3 m 长的侧向针对上相导线的保护距离小于 20 m。而 4 m 和 5 m 长的侧向针对上相导线的保护距离分别约为 26 m 和 33 m,保护效果较好。同理,由图 10 可知,当风偏角为 25° 时,4 m 和 5 m 长的侧向针对中相导线的保护距离分别约为 25 m 和 31 m,保护效果也较好。

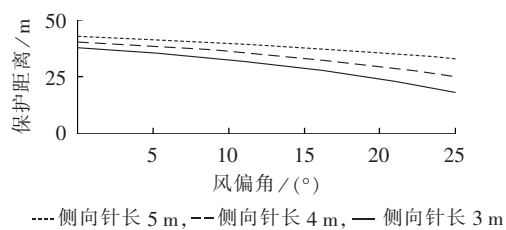


图 9 风偏角与侧向针对上相导线保护距离的关系

Fig.9 Relationship between wind deflection angle and protective distance of sideward rod for upper-phase conductor

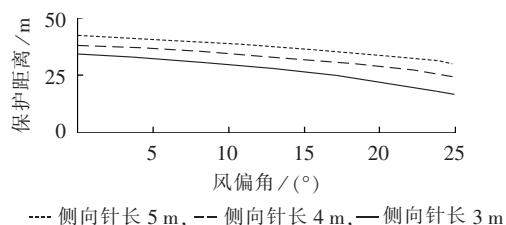


图 10 风偏角与侧向针对中相导线保护距离的关系

Fig.10 Relationship between wind deflection angle and protective distance of sideward rod for middle-phase conductor

综上所述,对于鼓形塔,在地面倾角为 0° 、风偏角小于 25° 的条件下,可以考虑在杆塔中相横担处安装 $4\sim 5\text{ m}$ 长的侧向针,对特高压输电线路进行防绕击保护。

3 结论

a. 本文采用三维 EGM 模型,加入了地面倾角和风偏角变量并考虑了工频电压的影响。此模型不仅可用于计算侧向针对特高压输电线路的绕击保护距离,也可以用于分析其他复杂线路的绕击保护情况。

b. 分别计算了在多种条件下侧向针对 3 种典型的特高压输电线路杆塔的保护距离。对于 ZMP2 型猫头塔,在地面倾角为 0° 、风偏角小于 25° 的条件下,可以考虑使用 $4\sim 5\text{ m}$ 长的侧向针对输电线路进行防绕击保护。对于 ZBS2 型酒杯塔,可以考虑使用 6 m 或更长的侧向针对线路进行防绕击保护。对于鼓形塔,在地面倾角为 0° 、风偏角小于 25° 的条件下,可以考虑在杆塔中相横担处,对输电线路进行防绕击保护。

c. 计算结果表明侧向针可提高 3 种典型的特高压输电线路杆塔的防绕击性能。又因为侧向针还有经济耐用、便于安装维护等优点,故可重点考虑在特高压耐张、转角杆塔的防雷中进行应用。

致 谢

本文的研究得到了陈稼苗教授级高级工程师、沈志恒工程师的帮助,特此致谢!

参考文献:

- [1] 陆俊杰,王巨丰,彭宇宁,等. 架空输电线路雷击监测系统[J]. 电力自动化设备,2010,30(1):132-135.
LU Junjie,WANG Jufeng,PENG Yuning,et al. Lightning strike monitoring system of overhead transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(1):132-135.
- [2] 姚陈果,王婷婷,杨庆,等. 特高压交流输电线路绕击耐雷性能仿真分析[J]. 高电压技术,2013,39(3):526-533.
YAO Chenguo,WANG Tingting,YANG Qing,et al. Simulated analysis of lightning shielding failure performance of UHVC transmission lines[J]. High Voltage Engineering,2013,39(3):526-533.
- [3] 郭秀慧,李志强,钱冠军. 输电线路绕击防护的新措施[J]. 高电压技术,2005,31(7):37-41.
GUO Xiuhui,LI Zhiqiang,QIAN Guanjun. New measure of lightning shielding of transmission lines[J]. High Voltage Engineering,2005,31(7):37-41.
- [4] 沈志恒,赵斌财,周浩,等. 输电线路避雷线上安装水平侧向短针的防绕击效果分析[J]. 高电压技术,2012,38(4):905-913.
SHEN Zhiheng,ZHAO Bincai,ZHOU Hao,et al. Analysis of protection effects of using side needle on ground wires against shielding failure in transmission line[J]. High Voltage Engineering,2012,38(4):905-913.
- [5] 钱冠军,王晓瑜,丁一正,等. 输电线路绕击防护的新措施[J]. 华中理工大学学报,1998,26(9):71-74.
QIAN Guanjun,WANG Xiaoyu,DING Yizheng,et al. New measure of lightning shielding of transmission lines[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology,1998,26(9):71-74.
- [6] 陈奎,曹晓斌,吴广宁,等. 避雷线绝缘架设对杆塔雷电流分配的影响[J]. 电力自动化设备,2016,36(2):136-140.
CHEN Kui,CAO Xiaobin,WU Guangning,et al. Influence of insulated ground wire installation on lightning current shunt by tower[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(2):136-140.
- [7] 沈志恒,赵斌财,周浩,等. 铁塔横担侧向避雷针的绕击保护效果分析[J]. 电网技术,2011,35(11):169-177.
SHEN Zhiheng,ZHAO Bincai,ZHOU Hao,et al. Analysis on effect of protecting transmission lines from shielding failure by sideward rods installed onto crossarm of towers[J]. Power System Technology,2011,35(11):169-177.
- [8] 应洪正. 消雷器与避雷针防雷特性的对比试验[J]. 电网技术,1996,20(8):20-25.
YING Hongzheng. A comparison test for lightning rod and lightning eliminator[J]. Power System Technology,1996,20(8):20-25.
- [9] 刘兴茂,林圣,李小鹏,等. 利用基波电流相量变化率识别行波保护中雷击干扰[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):55-61.
LIU Xingmao,LIN Sheng,LI Xiaopeng,et al. Apply fundamental current phasor change rate to identify lightning disturbance to travelling wave protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(2):55-61.
- [10] 李涵,周文俊,周世平,等. 电力系统雷击远程在线监测系统[J]. 电力自动化设备,2010,30(8):125-127.
LI Han,ZHOU Wenjun,ZHOU Shiping,et al. Remote online monitoring system of power system lightning current[J]. Electric

- Power Automation Equipment, 2010, 30(8): 125-127.
- [11] 兰贞波, 赵常威, 阮江军. 海底电缆-架空线路雷击过电压分析与计算[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(10): 133-137.
LAN Zhenbo, ZHAO Changwei, RUAN Jiangjun. Analysis and calculation of submarine cable-overhead line lightning over-voltage[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(10): 133-137.
- [12] 钱冠军, 王晓瑜, 徐先芝, 等. 沿输电线路档距方向绕击概率的变化[J]. 高电压技术, 1999, 25(1): 23-25.
QIAN Guanjin, WANG Xiaoyu, XU Xianzhi, et al. The variation of shielding failure probability along transmission line[J]. High Voltage Engineering, 1999, 25(1): 23-25.
- [13] ARMSTRONG H R, WHITEHEAD E R. Field and analytical studies of transmission line shielding[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 1968, 87(1): 270-281.
- [14] BROWN G W, WHITEHEAD E R. Field and analytical studies of transmission line shielding; part II[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and System, 1969, 88(5): 617-626.
- [15] Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE guide for improving the lightning performance of transmission lines: IEEE std 1234-1997[S]. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 1997.
- [16] 王茂成, 张治取, 滕杰, 等. 1000 kV 单回特高压交流输电线路的绕击防雷保护[J]. 电网技术, 2008, 32(1): 1-4.
WANG Maocheng, ZHANG Zhiqu, TENG Jie, et al. Lightning shielding failure protection for 1000 kV single circuit UHVAC transmission line[J]. Power System Technology, 2008, 32(1): 1-4.
- [17] 王声学, 吴广宁, 范建斌, 等. 500 kV 输电线路悬垂绝缘子串风偏闪络的研究[J]. 电网技术, 2008, 32(9): 65-69.
WANG Shengxue, WU Guangning, FAN Jianbin, et al. Study on flashover of suspension insulator string caused by windage yaw in 500 kV transmission lines[J]. Power System Technology, 2008, 32(9): 65-69.

作者简介:



于竞哲

于竞哲(1991—),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向为电力系统过电压(E-mail: 21510213@zju.edu.cn);

周浩(1963—),男,浙江绍兴人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为电力系统过电压、特高压交直流输电技术(E-mail: zhouhao_ee@zju.edu.cn)。

Shielding-failure protective effect of sideward rod on tower crossarm of UHVAC transmission line

YU Jingzhe, ZHOU Hao

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to evaluate the protective effect of sideward lightning rod installed on the tower crossarm of UHVAC transmission line, its protective distance is calculated for three typical UHVAC towers in different conditions, which shows that, for better effect of shielding failure protection, the length of sideward rod installed on ZBS2 tower should be 6 m or more; in the conditions that the ground inclination angle is 0° and the wind deflection angle is less than 25° , the length of sideward rod installed on ZMP2 tower could be 4 m~5 m; if installed in the middle-phase crossarm of drum-shape tower, it could also be 4 m~5 m in the same conditions.

Key words: UHV power transmission; AC power transmission; sideward rod; lightning shielding; three-dimensional EGM; ground inclination angle; wind deflection angle