

Study on Wind Deviation Influence of High Voltage Overhead Transmission Lines Based on Minimum Air Gap Calculation

Bo LIU

Jiangsu Fangtian Power Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000

Abstract

At present, the frequent occurrence of wind-induced flashover accidents in transmission lines in China has a great impact on the operation of power systems, and it is difficult to ensure its safety. In order to promote the stable development of the social economy, it is necessary to solve this problem. When conducting research, it is mainly possible to analyze the existing insulation string wind angle calculation model, discuss the current model problems, and then consider the solutions from the power line.

Key Words

Minimum Air Gap, Transmission Line, Wind Deviation

DOI:10.18686/dljsyj.v1i2.369

基于最小空气间隙计算的高压架空输电线路风偏影响研究

刘波

江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京, 210000

摘要

当前我国输电线路风偏闪络事故频发, 对于电力系统的运行产生了较大的影响, 难以保证其安全性。为了促进社会经济的稳定发展, 就需要对这种问题进行解决。在开展研究时, 主要可以分析现有的绝缘子串风偏角计算模型, 对目前模型的问题进行讨论, 然后从输电线方面考虑的解决措施。

关键词

最小空气间隙; 输电线路; 风偏

1.引言

电能是世界上最方便且最普遍的能源之一, 架空输电线路是作为电能传输的主要手段, 对工业生产生活有着重要的意义^[1]。当风作用在输电线上时, 垂直于输电线方向的分力, 将使得整个线路产生横向位移, 它的摆动幅度主要取决于风速大小, 绝缘体, 输电线重量和其他因素等, 当摆动到一定角度的绝缘子串和电线与铁塔主材的间隙比正常运行电气距离小, 就会发生击穿放电。超特高压输电线路的建设遍及范围越来越广泛且数量越来越多, 风偏特性将尤为突出, 因此, 对输电线和绝缘子串因素的抗风偏能力的提高要求更为明显^[2-4]。

近年来, 国网公司超过 110kV 的线路共发生风偏放电 300 多起, 南网公司的 500kV 线路亦发生多次风

偏闪络事故^[5-6]。悬垂绝缘子串的风偏角过大是产生风偏事故的直接原因, 因此高压输电线路悬垂绝缘子串的风偏研究受到工程界的广泛关注^[7-8]。深入研究输电线路风偏闪络的原因并提出有效的对策, 设计出风偏计算的算法模型和研制风偏在线检测系统对于提高电网的安全运行和高压输电线路杆塔的设计水平都具有重要的工程实际意义和技术经济效益。

2.风偏模型及风偏角计算

在架空送电线路设计规程中已明确规定了运行(工频)电压、操作过电压及雷击过电压工况下, 带电部分与杆塔构件之间必须保持足够的空气间隙数值。因此, 悬垂绝缘子串在各种电压情况下的风偏取决于相应的

风速取值,为了最终确定直线塔塔头间隙尺寸,还必须对悬垂绝缘子串的风偏大小进行计算。

2.1 绝缘子串的风偏模型

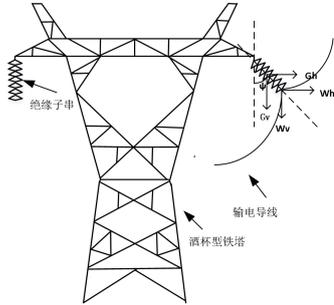


图1 绝缘子串的风偏受力模型图

如图1所示,设此时悬垂绝缘子串的垂向荷载为 G_v , 横向水平荷载为 G_h , 末端作用的电线荷载分别为 W_v 和 W_h 。

2.2 输电导线的风偏模型

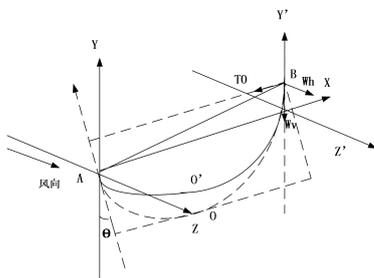


图2 输电导线风偏模型

输电导线风偏的模型图如图2所示, A和B是相邻不等高的杆塔的绝缘子串的最低点的位置。当风速是沿着AZ方向吹的时候,导线在无风静止的时候,其位置是在 $AO'B$, 受风的作用力,导线运动到 AOB 位置,此时导线与竖直平面的夹角 θ , 即导线的风偏角 θ 。

假设1: 架空导线两悬挂点间距离很大,导线材料的刚性对于悬挂于空中的导线的几何形状影响很小,可将导线视为一根铰接的柔软链条,即导线只能承受轴向张力,而不能承受弯曲力矩。

假设2: 假设导线上的作用荷载(包括本身质量)均指向同一方向,并且沿导线长度均匀分布。

根据上述假设的两点,导线就可以近似为抛物线。如图3所示,此时导线对B点的拉力F是沿抛物线的

切线方向,这个力可以分解为顺线路方向的力 T_0 , 导线顺杆塔横担方向的水平力 W_h 和导线垂向力 W_v 。

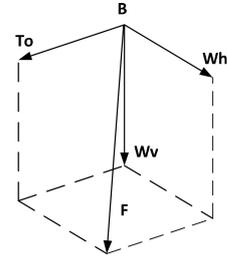


图3 绝缘子串悬挂点受力分析

2.3 绝缘子串风偏角的计算

通常情况下均假设悬垂绝缘子串为受均布荷载作用的刚体直杆,采用静力学平衡方法近似地计算悬垂绝缘子串的风偏角。图4给出了悬垂绝缘子串在受风情况下的受力图。

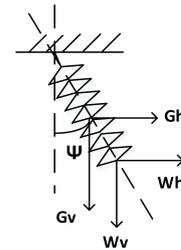


图4 悬垂绝缘子串受力图

设此时悬垂绝缘子串的垂向荷载为 G_v , 横向水平荷载为 G_h , 末端作用的电线荷载分别为 W_v 和 W_h , 如图3.4所示。根据作用力的平衡条件可以很容易地写出风偏角的计算表达式为:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{0.5G_h + W_h}{0.5G_v + W_v}\right) \quad (1)$$

$$W_h = P_h \left(\frac{l_{10} + l_{20}}{2}\right) + 2T_0 \sin \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

$$W_v = P_v \left(\frac{l_{10} + l_{20}}{2} + \frac{T_0}{P_v} \left(\frac{h_{10}}{l_{10}} + \frac{h_{20}}{l_{20}}\right)\right) = P_v l_v \quad (3)$$

式中, l_v 为杆塔的垂直档距。

该两表达式是按平斜抛物线得到的 W_v 和 W_h 的

计算式。

2.4 最小空气间隙的计算方法

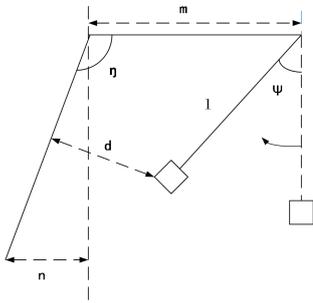


图5 杆塔风偏最小空气间隙模型

在强风作用下，绝缘子串和导线向杆塔倾斜，图3.5为最大风偏状态的模型， η 为杆塔主材与横担之间的夹角，度； d 为传输导线与杆塔主材之间的最小空气间隙距离， l 为悬垂绝缘子串的总长度， φ 为悬垂绝缘子串的风偏角， m 为横担长度； n 为悬挂点到杆塔垂直中心线的距离。

$$d = \frac{(m+n-l \sin \varphi) \tan \eta - l \cos \varphi - n \tan \eta}{\sqrt{1 + \tan^2 \eta}} \quad (4)$$

通过悬垂绝缘子的相关参数和给定杆塔上导线的型号，计算出相应的风偏角的大小，由此得到的风偏角值，再根据实际塔头的尺寸可计算出不同塔型在不同风偏角下的最小空气间隙距离。即计算出特定塔型在实际外界气象条件下的间隙距离，并根据电气强度判断是否会发生击穿放电。

3.风偏角影响因素研究

影响线路风偏角大小的主要因素有：最大风速的设计、风压不均匀系数、风速高度换算系数和强风暴雨扬沙、微地形微气候、风向与水平面夹角等。以风速大小，风与导线轴间夹角，风速高度换算系数，风压不均匀系数进行分析。

3.1 风速

风速是影响输电导线风偏角大小的首要关键因素，风速越大，风偏角越大，以致相应条件下输电线（或绝缘子串）的最小空气间隙距离也变小。过改变风速的大小计算得到导线的风偏角值，如表1所示。

表1 不同风速下的风偏角的计算值

V	5	9	13	17	21	25	29	33
φ	2.9	9.4	19.0	30.5	37.5	47.4	55.6	59.2

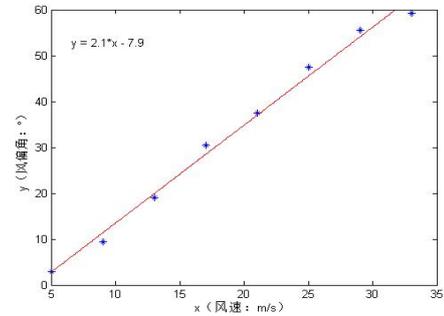


图6 风偏角大小随风速的变化示意图

3.2 风向

表2 不同风向与导线轴间夹角下风偏角计算

θ	10	20	30	40	50	60	70	80	90
φ	4.1	10.	20.	30.	39.	46.	50.	53.	54.
		7	2	5	5	3	8	3	1

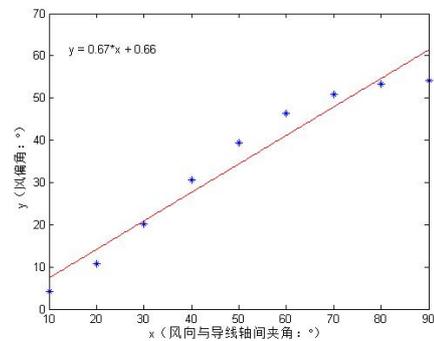


图7 风偏角大小随风向与导线轴间夹角变化示意图

在风偏角计算中，风压力主要考虑垂直作用于导线和绝缘子串方向的力，一般我们均假设风向与导线夹角为 90° ，取 $V=30\text{m/s}$ 时，分析不同夹角下的风偏值，如图7所示可知，当夹角为 50° 时，斜率最大，即变化最大。随着夹角的渐渐增大，影响效果也逐渐减小。在设计塔头的尺寸时，为了能够留有足够的裕度，应当考虑影响最大的气象条件，即风垂直吹向导线（即 90° ）的情况。

3.3 风速高度换算系数

当气流沿着地球表面流动时,受地表粗糙程度的影响,产生摩擦力,使接近地表的风速和风向随着高度不同而发生变化。随着高度增加,摩擦层对风速的影响逐渐减弱。故风速随高度的增加而变大,且在低气层中增加相对很快,而很高时则逐渐减慢。因此,铁塔的架设高度大于基本的风速高度(10米)时,塔头设计风速的取值将不再是最大基本风速,而应该利用风速高度换算系数将基本风速换算成高空的风速。输电线气象条件不变,风速取定为30m/s时改变K值,求出不同的风偏角值。

K	1	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30
φ	33.3	34.6	35.8	37.0	38.2	39.3	40.4

表3 不同高度换算系数下风偏角计算

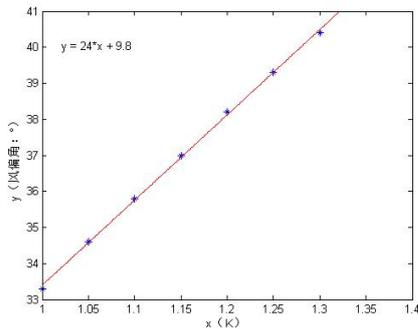


图8 风偏角大小随K值变化示意图

由图可以看出,风偏角与风速高度换算系数也近似成线性关系。对大跨越的铁塔,导线所处高度越高,K值的影响就更大。

3.4 风压不均匀系数

导地线和绝缘子串风偏角度的计算,是对作用在导地线上的水平力和垂直力之比求其反正切值。显然作用在导地线上的水平力越大,绝缘子串风偏的角度越大,要求的杆塔尺寸也相应增加。研究表明,作用在导地线上的水平风压与其直径有关,随悬挂高度的增加而增加。风并不是每时每刻都以同样的程度作用在输电线路,同一时刻每一点的风速更是不均匀的。因此,在输电线路设计的风压计算中引入了风压不均匀系数 α ,以表

征风场的上述特征。输电线条件不变,风速取定30m/s,改变 α 值,求出不同的风偏角值,如表4所示,并由图9给出了两者的曲线关系。

表4 不同的 α 下风偏角计算

α	0.5	0.61	0.65	0.7	0.75	0.8	0.9	1
φ	25.9	30.5	32.1	34.0	35.8	37.5	40.8	43.7

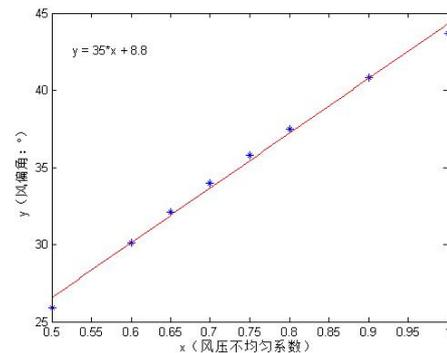


图7 风偏角大小随风压不均匀系数变化示意图

在表4中,通过曲线拟合可知,风偏角与风压不均匀系数二者成线性关系 $y = 35 * x + 8.8$ 。可见,在相同大小的风速下,风压不均匀系数较大程度地影响输电导线风偏角的值。当在选定最大设计风速时,风压不均匀系数取值越大,风偏角值越大。通过对塔头风偏闪络实例计算验证,按照最大设计风速计算,风压不均系数取0.61,塔头间隙设计合理,然而,当风压不均系数计算,塔头大小设计则不能满足要求。因此,风压不均匀系数的设置会影响铁塔的安全运行。

4. 实际输电线路的风偏事故预防

提高线路的抗风能力应与线路防污闪和防雷综合考虑,不能顾此失彼。防风偏改造后应使直线杆塔能抵抗强风。

(1) 对耐张塔风偏闪络的治理措施。

转角塔外角跳线: 45°及以上转角塔外角跳线宜采用双串绝缘子; 45°以下外角跳线宜采用单串绝缘子串;

转角塔内角跳线: 15°及以下转角塔的内角跳线宜采用单串绝缘子串。

(2) 对直线塔风偏闪络的治理措施。

三相改V型串。需改变铁塔横担结构,对风偏故

障能起到根本性改善。但改造费用高、线路停电时间长。

中相改 V 串边相加长横担。虽然能增加空气间隙,对风偏故障起到根本性改善。但交叉跨越处要搭跨越架,施工周期较长,导线落地后看护工作量过大,安全难以保证。而且改造费用也较高、线路停电时间较长。

三相加挂双串加重锤。在直线上加装重锤片或安装 8 字形双串绝缘子,并加装重锤片。

(3) 拉线固定法。这种方法只能作为临时性的防范措施,缺点是占地面积较大,安全防范措施成本高。

(4) 塔窗横向弹性支撑法。此种方法适用于上、下排列的杆塔形式。

5.结论

主要针对导线风偏情况进行研究和系统开发。建立绝缘子串和导线风偏模型,获得风速、风压不均匀系数等因素对风偏角的影响特点,通过分析线路的综合荷载,获得悬垂绝缘子串的风偏角,揭示线路风偏的机理;根据模型研究出悬垂绝缘子串与杆塔主材之间最小空气间隙的算法,掌握导线相对运动规律,为线路风偏预警

系统开发奠定理论基础。

参考文献

- [1] 汤广福. 中国先进输电技术创新与特高压技术发展探索[J]. 电器工业, 2015(9): 43-47.
- [2] 钟宜生. 最优控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [3] 朱德恒, 严琼, 谈克雄, 等. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 244-302.
- [4] 胡毅. 输电线路运行故障分析与防治[M]. 北京: 中国电力出版社. 2007.
- [5] 陈化钢. 配电网过电压及其故障分析[R]. 沈阳: 东北电力试验.
- [6] 王清葵. 送电线路运行与检修[M]. 中国电力出版社. 北京: 2003.12.
- [7] 李光辉, 高虹亮. 架空输电线路运行与检修[M]. 中国三峡出版社. 北京: 2000.
- [8] 张金广. 论电力线路检修及缺陷的预测[J]. 广东科技. 2008.02.