

换流站直流侧空气净距及海拔修正计算方法

夏雪¹, 李宝金², 黄晓明¹, 罗兵³

(1. 西南电力设计院, 成都 610021; 2. 中国电力工程顾问集团公司, 北京 100120;
3. 南方电网技术研究中心, 广州 510623)

摘要: 对 g 参数法的计算原理进行了阐述, 提出了基于 g 参数法的直流侧空气净距迭代计算方法, 并应用该算法计算了国内在建的楚雄换流站和穗东换流站工程中直流侧空气净距。将计算结果与工程实际采用的推荐值比较表明, 该算法是可行的。

关键词: g 参数法; 海拔修正; 直流侧空气净距; 迭代

Air Clearance and Its Altitude Correction Method for the DC Side of Converter Stations

XIA Xue¹, LI Baojin², HUANG Xiaoming¹, LUO bing³

(1. Southwest Electric Power Design Institute, Chengdu 610021, China; 2. China Power Engineering Consulting Group Corporation, Beijing 100120 China; 3. CSG Technology Research Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: Introducing the calculation principle of g parameter method, this paper puts forward a new iterative approach based on g parameter, and applies it to calculate the DC air clearances of Chuxiong and Suidong Converter projects. The calculation results show that the new iterative method is feasible in comparison with the recommended values in those projects.

Key words: g parameter; altitude correction; DC air clearance; iterative

对于换流站直流侧空气净距的计算, 目前工程界达成的统一共识为: 直流侧空气净距的决定因素是放电电压和海拔高度, 而在影响海拔修正的因素中, 大气压力、温度、湿度等气象条件起着决定性的作用。

目前运用较广的海拔修正计算方法主要有: IEC 60071-2 法^[1]; 电力行业标准法^[2]; g 参数法^[3]。其中, 只有 g 参数法综合考虑了这几项因素的影响, 但对 g 参数法的实际计算过程的理解各不相同。

本文结合计算公式和工程实际, 提出了一种基于 g 参数的换流站直流侧空气净距和海拔修正的迭代计算方法。

1 基于 g 参数的换流站直流侧空气净距迭代算法

g 参数法的计算公式组如下^[3]:

空气间隙 50% 冲击放电电压计算公式为

$$u_{50} = \frac{K_1 u_p}{(1 - 2\sigma) K_q} \quad (1)$$

式中: u_{50} 为间隙的冲击电压波形下的 50% 的闪络电压; K_q 为气象修正系数; K_1 为裕度系数, 现有工程一般取 1.15; u_p 为避雷器相应的过电压冲击保护水平; σ 为间隙的冲击放电电压变异系数, 操作、雷电冲击放电电压变异系数分别取 6% 和 3%。

最小净空距离至少等于用下面的公式计算得到的值:

$$\text{对于操作冲击} \quad u_{50} = K_j \times 500 \times d^{0.6}; \quad (2)$$

$$\text{对于雷电冲击} \quad u_{50} = K_j \times 540 \times d. \quad (3)$$

式中: d 为最小空气净距; K_j 为表示电极形状特性的间隙系数, 导线对板 K_j 选 1.15, 导线对导线 K_j 选 1.3, 棒对棒 K_j 选 1.4。

式 (1) 中的气象修正系数 K_q , 是由空气密度修正系数 K_m 与温度修正系数 K_t 共同决定的:

$$\begin{cases} K_q = K_m \times K_t, \\ K_m = \sigma'^m, \\ K_t = K_x^w. \end{cases} \quad (4)$$

式中: σ' 为相对空气密度; K_x 为绝对湿度与相对空

气密度共同确定的一个修正系数。

σ' 和 K_x 的值按照式(5)进行计算:

$$\begin{cases} K_x = 1 + 0.014 \left(\frac{h}{\sigma'} - 11 \right), \\ \sigma' = \frac{(273 + t_0) p_{\text{amb}}}{(273 + t) p^{\circ}}. \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中: h 为计算环境的绝对湿度; p_{amb} 为环境气压; p° 为标准大气压(101.325 kPa); t_0 为标准温度(20°C)。

参数 g 定义如下:

$$g = \frac{u_{50}}{500 d K_x \sigma'}. \quad (6)$$

在式(6)中, u_{50} 和 d 的定义同式(2)和式(3)。式(4)中 m 和 w 是 g 的函数,通过查找IEC 60060-1的相应的计算曲线(见图1),就可以确定 m 和 w 的值。最后,将所得值代入式(1)、式(2)和式(3),就可以计算出 u_{50} 以及 d 。

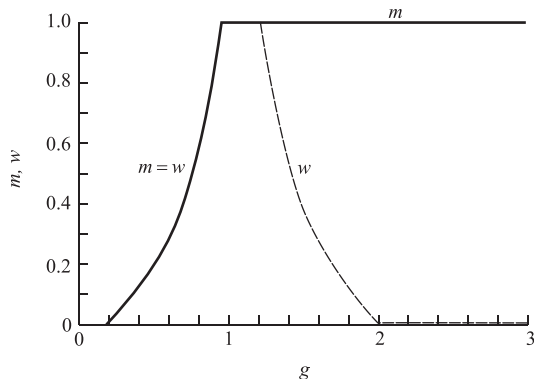


图1 m , w 和 g 参数的关系曲线^[3]

Fig. 1 Calculation Curve for m , w and g ^[3]

图1中,横坐标为 g 值,纵坐标为 m 和 w 参数值。

为得到在特定温度、湿度、大气压力条件下的海拔修正系数,需要对 m 和 w 的值进行反复迭代,使 m 和 w 值收敛。迭代的过程如下:

1) 设 m 和 w 值为0,此时高海拔修正因数为1,即通过式(1)计算在海拔0 m时的放电电压,通过式(2)或式(3),计算出不进行海拔修正的 d 值;

2) 通过式(6)计算 g 值,通过查找图1中的曲线,得到新的 m 和 w 值;

3) 将新的 m 和 w 值代入式(4)和式(1),

计算放电电压,再通过式(2)或式(3),计算出新的 d 值;

4) 重复第2步和第3步。

当前后两次计算出的 m 或 w 值相差很小时,就可以停止迭代,此时就可以得到该实际条件下的高海拔修正因数及最小空气净距 d 。

从孤立分析的角度出发,根据计算公式,在气压确定的条件下,对于阀厅内的设备,由于阀厅的温度很高,相对空气密度就小于标准条件下的相对空气密度1,因此温度越高,假设其他条件不变时,50%放电电压水平就会越高。

而在气温取定值的假设条件下,绝对湿度越高,就会导致气象修正系数升高,50%放电电压水平就会降低。

绝对湿度与相对湿度这两个物理量之间并无函数关系。例如,温度越高,水蒸发得越快,于是空气里的水蒸汽也就相应地增多。所以在一天之中,往往是中午的绝对湿度比夜晚大。而在一年之中,又是夏季的绝对湿度比冬季大。但由于空气的饱和汽压也要随着温度的变化而变化,所以又可能是中午的相对湿度比夜晚的小,而冬天的相对湿度又比夏天的大。对于阀厅而言,其温度变化范围不大,近似认为其为一恒定值,因此当绝对湿度升高时,也会导致阀厅蒸气压升高,而在温度恒定时阀厅内的饱和蒸气压为保持不变,相应地阀厅相对湿度也会上升。根据上面的分析结果,在阀厅温度不变的假设下,相对湿度的上升,也会导致50%放电电压水平的降低。

从最小空气气隙的计算式(2)和式(3)中可以看出,50%放电电压和最小空气气隙成正比的,因此温度和最小空气气隙成正比,相对湿度和最小空气气隙成反比。

同时需要注意的是,对空气净距值起主导作用的是操作过电压。

2 g 参数法计算验证

云广直流输电工程为世界第一条800 kV等级的直流输电工程。送端楚雄换流站海拔约1850 m,受端穗东换流站海拔低于500 m,两个换流站的过电压水平基本一致。

由于楚雄站属于高海拔地区,对于空气气隙的要求也更加严格,需要考虑气象修正系数的影响,

以体现绝缘水平和保护水平在高海拔的条件下相对于标准气象条件下的差异。

楚雄换流站和穗东换流站阀厅内直流侧空气净距计算结果见表1和表2。

海拔越高,气压和温度越低,空气密度降低,50%放电电压水平升高,因此空气气隙也会相应增大,从表1和表2可以看出,情况正是如此。

云广直流工程成套设计技术支持方S公司的推荐最小空气净距如表3所示。

将表1、表2的计算值与S公司提供的推荐值相比较,可以看出,本文所提出的基于g参数法的迭代计算结果与推荐值很接近。在实际工程中,可以根据实际情况在计算结果基础上加上适当的裕度。

表1 楚雄换流站阀厅直流侧最小空气净距值(计算值)

Tab. 1 Minimum Clearance for Valve Hall of Chuxiong Converter Station (calculated value)

被保护设备	最小空气净距/m		
	$K_j = 1.15$	$K_j = 1.3$	$K_j = 1.4$
直流高压极母线阀侧对地	7.519	6.506	5.969
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相对地	7.137	6.216	5.684
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相间	1.522	1.304	1.173
高端 12 脉动阀桥的 6 脉动中点对地	5.247	4.872	4.352
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相对地	5.247	4.872	4.352
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相间	1.522	1.304	1.173

表2 穗东换流站阀厅直流侧最小空气净距值(计算值)

Tab. 2 Minimum Clearance for Valve Hall of Suidong Converter Station (calculated value)

被保护设备	最小空气净距/m		
	$K_j = 1.15$	$K_j = 1.3$	$K_j = 1.4$
直流高压极母线阀侧对地	7.250	6.760	6.027
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相对地	6.792	5.594	4.986
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相间	1.186	0.981	0.875
高端 12 脉动阀桥的 6 脉动中点对地	4.900	4.710	4.419
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相对地	4.900	4.710	4.419
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相间	1.186	0.981	0.875

3 结论

从楚雄换流站和穗东换流站阀厅直流侧空气净

表3 S公司推荐的阀厅直流侧最小空气净距值

Tab. 3 Recommended Minimum Clearance for Valve Hall of Yun-Guang Project of the S Company

被保护设备	最小空气净距/m	
	楚雄站	穗东站
直流高压极母线阀侧对地	7.572 ($K_j = 1.15$)	7.191 ($K_j = 1.15$)
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相对地	6.403 ($K_j = 1.15$)	6.035 ($K_j = 1.15$)
高端 Yy 换流变压器阀侧, 相间	1.126 ($K_j = 1.3$)	1.016 ($K_j = 1.3$)
高端 12 脉动阀桥的 6 脉动中点对地	5.704 ($K_j = 1.15$)	5.347 ($K_j = 1.15$)
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相对地	5.171 ($K_j = 1.15$)	5.026 ($K_j = 1.15$)
高端 Yd 换流变压器阀侧, 相间	1.126 ($K_j = 1.15$)	1.016 ($K_j = 1.15$)

距的计算结果可以看出,本文所提出的基于g参数法的迭代计算海拔修正的方法是比较准确的。

但是需要注意的是,g参数法仅适用于海拔2000m以下站址^[3]。对于海拔在2000m以上的换流站直流侧空气净距修正方法,还需要做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 电力行业标准DL/T 620—1997. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
DL/T 620—1997. Overvoltage Protection and Insulation Coordination for AC Electrical Installation [S].
- [2] IEC 60071-2: 1996, 绝缘配合 第2部分: 应用导则[S].
IEC 60071-2: 1996, Insulation Co-ordination Part 2: Application Guide [S].
- [3] 国际大电网会议(CIGRE)第33委员会, 33.05工作组. 高压直流换流站绝缘配合和避雷器保护使用导则[S]. 巴黎: CIGRE, 1983.
CIGRE 33.05. Insulation Coordination and Service Guide for Arrester in HVDC Converter Station [S]. Paris: CIGRE, 1983.

收稿日期: 2009-08-12

作者简介:

夏雪(1980),男,工程师,硕士,主要从事变电工程设计工作和交直流输电工程关键技术研究(e-mail)xia_xuefish@163.com;

李宝金(1964),男,教授级高级工程师,主要从事输变电工程专业咨询和理论研究工作;

黄晓明(1963),女,高级工程师,主要从事变电工程设计研究工作和交直流输电工程关键技术研究。