

# 基于污闪电压的自然积污绝缘子外绝缘状态评价

胡文堂<sup>1</sup>, 王少华<sup>1</sup>, 姜文东<sup>2</sup>, 吴尊东<sup>3</sup>

(1. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014; 2. 国网浙江省电力公司, 杭州 310007;  
3. 国网浙江省电力公司金华供电公司, 浙江 金华 321000)

**摘要:** 以浙江电网挂网运行的不同结构型式自然积污绝缘子为研究对象, 在人工雾室进行污闪试验得到其污闪电压, 并对其外绝缘状态进行评价, 分析各种型式自然积污绝缘子的污秽度安全区域。结果表明: 部分取样自然积污绝缘子的绝缘裕度较低, 应及时采取防污闪措施。绝缘子上、下表面的污秽分布越不均匀, 污秽不均匀度  $K$  值越小, 绝缘子安全运行的允许  $ESDD$  值越大。总体上, 钟罩型绝缘子的污秽度安全区域最大, 双伞型绝缘子次之, 普通型绝缘子的安全区域最小。

**关键词:** 绝缘子; 自然污秽; 输电线路; 污闪电压; 状态评价; 安全区域

中图分类号: TM216

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2016)03-0001-03

## External Insulation Condition Evaluation of Naturally Polluted Insulators Based on Pollution Flashover Voltage

HU Wentang<sup>1</sup>, WANG Shaohua<sup>1</sup>, JIANG Wendong<sup>2</sup>, WU Zundong<sup>3</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China;

3. State Grid Jinhua Power Supply Company, Jinhua Zhejiang 321000, China)

**Abstract:** Taking different types of naturally polluted insulators on overhead transmission lines in Zhejiang power grid as research objects, pollution flashover tests were conducted in the artificial fog chamber and the pollution flashover voltage was obtained. On this basis, the external insulation condition was evaluated. The contamination safety zone of naturally polluted insulators was analyzed. The results show that the insulation margin of some sampled naturally polluted insulators was very low. It is necessary to take some timely measures for prevention from pollution flashover. The unevenness of the pollution distribution of upper and lower surfaces of polluted insulators is, the smaller the unevenness degree is, the larger the allowed equivalent salt deposit density (ESDD) value for safe operation is. On the whole, the safety zone of bell jar insulators is the largest, followed by the double-shed insulators and the safety zone of the common type insulators is the smallest.

**Key words:** insulator; natural pollution; transmission line; pollution flashover voltage; condition evaluation; safety zone

## 0 引言

污闪事故的发生频率低于雷害事故, 但由于污闪事故涉及面广、不易排除, 其对电力系统的危害程度远远超过雷害事故。浙江电网在上世纪末、本世纪初发生过多次污闪事件, 随后开展了绝缘子调爬等技术改造工作, 使污闪事故得到抑制。然而, 随着大气环境的日益恶化, 污闪事故仍有可能发生。因此, 在绝缘子发生闪络之前,

做好预防工作, 积极开展积污绝缘子外绝缘特性研究及状态评价工作具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。

污闪特性是绝缘子外绝缘特性研究的主要内容之一。为掌握各种结构型式绝缘子的污闪特性, 国内外研究机构开展了大量的污闪试验研究工作, 获得了大量的成果<sup>[3-10]</sup>。目前绝缘子污闪特性研究主要是基于人工污秽试验, 然而人工污秽试验并不能完全真实地反映实际线路绝缘子的外绝缘特性, 因此有必要进行自然积污条件下的绝

绝缘子外绝缘特性研究。

以浙江电网挂网运行的 FC70P/146 与 XWP<sub>2</sub>-7 等结构型式自然积污绝缘子为研究对象,在人工雾室进行污闪试验得到其污闪电压,并对其外绝缘状态进行评价;在此基础上,分析各种型式自然积污绝缘子的污秽度安全区域,以期为输电线路绝缘子选型、绝缘配合和防污闪工作提供科学理论依据。

## 1 自然积污绝缘子外绝缘状态评价

综合考虑 50% 闪络概率的污闪电压、试验标准偏差、绝缘子单串闪络和多串并联闪络概率的差异,自然积污绝缘子的绝缘裕度  $K_s$  可用公式(1)计算:

$$K_s = \frac{U_{50\%}(1-3\sigma\%)K_1}{U_m/N} \approx \frac{U_f(1-3\sigma\%)K_1N}{U_m}, \quad (1)$$

式中:  $U_{50\%}$  为采用恒压升降法获得的平均每片具有 50% 闪络概率的绝缘子污闪或污耐受电压值,可用均匀升压法获得的  $U_f$  作为其近似值;  $\sigma\%$  为试验结果的标准偏差;  $K_1$  为表征单串闪络和多串并联闪络概率差异的系数,一般取 0.92;  $U_m$  为系统最高运行相电压;  $N$  为绝缘子串片数。

在人工雾室进行污闪试验,得到自然积污绝缘子的污闪电压;在此基础上,根据式(1)可计算得到各种型式自然积污绝缘子的绝缘裕度  $K_s$ 。污闪电压试验结果和绝缘裕度计算结果见表 1。

表 1 自然积污绝缘子的绝缘裕度

线路名称	电压等级/kV	杆塔号	绝缘子型号及片数	单片绝缘子污闪电压/kV	绝缘裕度 $K_s$
民盐 1292 线	110	47	XWP <sub>2</sub> -7*8	29.4	2.20
城瓯山湖 1952 线	110	6	XWP <sub>2</sub> -7*8	36.4	2.73
仙村 1546 站前支线	110	2	FC70P/146*8	22.8	1.71
南峙 1310 线	110	23	FC7P/146*8	16.5	1.24
南岑 1926 线	110	6	FC7P/146*9	15.9	1.35
南岑 1926 线	110	26	FC7P/146*9	21.9	1.85
岩都 2Q24 线	220	20	FC70P/146*15	28.5	2.09
丹仪 5460 线	500	117	FC160P/170*28	21.6	1.36
双兰 5427 线	500	106	LXHY <sub>5</sub> -160*32	36.5	2.63

由表 1 可知:相对而言,嘉兴民盐 1292 线 47 号塔、温州城瓯山湖 1952 线 6 号塔 XWP<sub>2</sub>-7

绝缘子和双兰 5427 线 106 号塔 LXHY<sub>5</sub>-160 绝缘子的绝缘裕度较高;丹仪 5460 线 117 号塔 FC160P/170 绝缘子、南峙 1310 线 23 号塔和南岑 1926 线 26 号塔 FC7P/146 绝缘子(积污时间分别为 155, 66 和 49 个月)的绝缘裕度较低,应及时采取防污闪措施。

## 2 自然积污绝缘子污秽度安全区域

按污耐受电压选择绝缘子串片数的原则是:使绝缘子串的污耐受电压大于该系统的最高运行相电压  $U_m$ , 并且留有一定的裕度;绝缘子串片数应满足式(2):

$$N \geq \frac{K_s U_m}{U_{50\%}(1-3\sigma\%)K_1} \approx \frac{K_s U_m}{U_f(1-3\sigma\%)K_1} \quad (2)$$

综合考虑平均  $ESDD$ (等值盐密)、 $NSDD$ (灰密)及积污不均匀度的污闪电压校正公式可用式(3)表示:

$$U_f = K_f K_1 (ESDD)^{-a} \cdot NSDD^{-b} = K_f (1-N \cdot \ln K) ESDD^{-a} \cdot NSDD^{-b} \quad (3)$$

对  $NSDD/ESDD$  比值数据进行统计分析,其分布情况如表 2 所示。

表 2 自然污秽  $NSDD/ESDD$  比值的分布

$NSDD/ESDD$ 范围	所占比例/%	$NSDD/ESDD$ 范围	所占比例/%
1~2	2.06	4~5	9.28
2~3	27.84	5~10	14.43
3~4	38.14	>10	8.25

由表 2 可知,测试样本中,47.42%的  $NSDD/ESDD$  比值位于 3~5 之间。考虑  $NSDD/ESDD=5$ , 联立式(2)和式(3),可得自然积污绝缘子污秽度安全区域:

$$\begin{cases} ESDD \leq \text{EXP} \left( \frac{\ln K_f + \ln(1-N \cdot \ln K) - b \cdot \ln 5 - \ln U_f}{a+b} \right) \\ U_f = \frac{K_s U_m}{(1-3\sigma\%)K_1 N} \end{cases} \quad (4)$$

对于 110 kV 线路,若采用 8 片绝缘子串,考虑安全裕度系数  $K_s=1.1$ ,根据式(4)可计算得到,采用 LXHY<sub>1</sub>-70, FC7P/146, FC70P/146 和 XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子时,其污秽度安全区域见图 1。

对于 220 kV 线路,若采用 15 片绝缘子串,

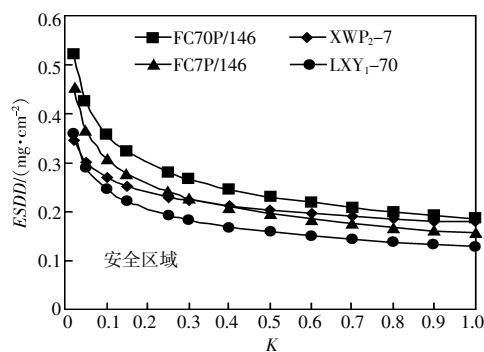


图1 110 kV 线路绝缘子的污秽度安全区域

考虑安全裕度系数  $K_s=1.1$ , 根据式(4)可计算得到, 采用 FC70P/146 和 XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子时, 其污秽度安全区域如图 2 所示。

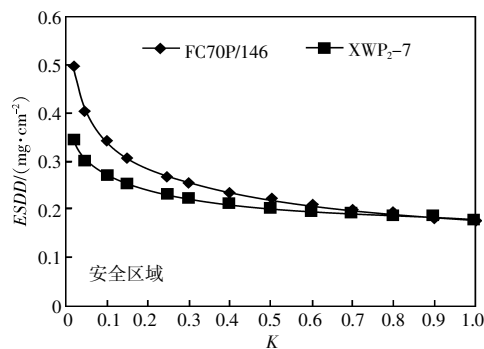


图2 220 kV 线路绝缘子的污秽度安全区域

对于 500 kV 线路, 若采用 25 片绝缘子串, 考虑安全裕度系数  $K_s=1.1$ , 根据式(4)可计算得到, 采用 FC160P/170 和 XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子时, 其污秽度安全区域如图 3 所示。

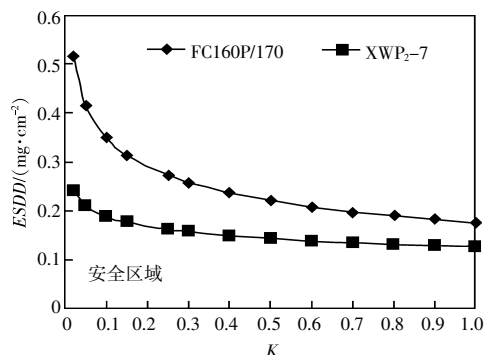


图3 500 kV 线路绝缘子的污秽度安全区域

由图 1—3 可知:

(1) 绝缘子上、下表面的污秽分布越不均匀,

污秽不均匀度  $K$  值越小, 绝缘子安全运行的允许  $ESDD$  值越大。

(2) 总体上, 钟罩型绝缘子的污秽度安全区域最大, 双伞型绝缘子次之, 普通型绝缘子的安全区域最小。

(3) FC7P/146 和 XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子的污秽度安全区分界线存在交叉, 当不均匀度  $K>0.33$  (即绝缘子上下表面等值盐密比为 1:1~1:3) 时, XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子的污秽度安全区域大于 FC7P/146 绝缘子; 当  $K<0.33$  (即绝缘子上下表面等值盐密比大于 1:3) 时, FC7P/146 绝缘子的安全区域大于 XWP<sub>2</sub>-7 绝缘子。

### 3 结论

基于自然积污绝缘子的污闪电压, 对其外绝缘状态进行了评价, 分析了自然积污绝缘子污秽度安全区域, 主要得到以下结论:

(1) 部分取样自然积污绝缘子的绝缘裕度较低, 应及时采取防污闪措施。

(2) 绝缘子上、下表面的污秽分布越不均匀, 污秽不均匀度  $K$  值越小, 绝缘子安全运行的允许  $ESDD$  值越大。总体上, 钟罩型绝缘子的污秽度安全区域最大, 双伞型绝缘子次之, 普通型绝缘子的安全区域最小。

(3) 考虑到积污年限对污秽度的影响, 在目前状态检修体系下, 进行输电线路外绝缘设计时, 应考虑自然积污绝缘子串在饱和污秽度下的污闪特性, 确保绝缘子串足够的污耐受电压强度。

### 参考文献:

- [1] 孙才新, 司马文霞, 舒立春. 大气环境与电气外绝缘[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 关志成. 绝缘子及输变电设备外绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 王向朋, 周军, 王黎明, 等. 高海拔下特高压直流绝缘子的污闪特性[J]. 高电压技术, 2008, 34(9): 1869-1874.
- [4] 范建斌, 黄志秋, 谢荣坤, 等. 直流输电线路 Y 型绝缘子串污闪特性研究[J]. 电网技术, 2007, 31(18): 32-35.
- [5] 关志成, 龙彪, 张福增, 等. 高海拔地区直流绝缘子不同悬挂方式污闪特性[J]. 高电压技术, 2007, 33(10): 1-5.
- [6] 胡建林, 蒋兴良, 张志劲, 等. 布置方式对直流绝缘子串人工污秽闪络特性的影响[J]. 电网技术, 2006, 30(23):

(下转第 9 页)

(上接第3页)

- 15-18.
- [7] 李震宇,崔吉峰,周远翔,等.绝缘子安装结构对污闪电压的影响[J].电网技术,2005,29(16):56-59.
- [8] JIANG XINGLIANG, WANG SHAOHUA, ZHANG ZHI-JIN, et al. Investigation of flashover voltage and non-uniform pollution correction coefficient of short samples of composite insulator intended for  $\pm 800$  kV UHVDC[J]. IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17(1):71-80.
- [9] LAMPE W, HÖGLUND T, NELLIS C, et al. Long-term tests of HVDC insulators under natural pollution conditions at the Big Eddy Test Center[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(1):248-258.
- [10] TAKASU K, SHINDO T, ARAI N. Natural contamination test of insulators with DC voltage energization at inland areas[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1988, 3(4):1847-1853.

---

收稿日期: 2015-11-04

作者简介: 胡文堂(1962), 男, 高级工程师, 主要从事高电压技术研究工作。

(本文编辑: 方明霞)

**建设世界一流电网 建设国际一流企业**