

文章编号:1000-582X(2007)07-0042-04

不同型式绝缘子长串的直流污闪特性比较

罗利云, 蒋兴良, 张志劲, 胡建林, 孙才新

(重庆大学电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要:超、特高压直流输电的发展需要对长串直流绝缘子污闪特性研究。在人工气候室内对5种型式瓷和玻璃绝缘子进行直流人工污秽试验,分析了试品的50%闪络电压 U_{50} 与串长、盐密的关系及闪络电压梯度和有效爬电系数。根据5~23片绝缘子串得到试验结果,50%污闪电压与串长呈线性关系。试验结果表明:不同型式绝缘子的污秽闪络性能不同,污秽程度影响特征指数 a 与型式、结构和材质有关,其值在0.3~0.36间。在同一污秽度下,相同结构的玻璃绝缘子污秽性能优于瓷绝缘子;玻璃绝缘子具有比瓷绝缘子更高的沿面闪络梯度和有效爬电系数。

关键词:绝缘子;直流;闪络特性;闪络电压梯度;有效爬电系数

中图分类号:TM852

文献标志码:A

污秽闪络严重威胁电力系统安全运行,国内外虽对其进行了大量研究,取得了许多研究成果,但污闪事故仍时有发生,尤其是直流输电线路,其污闪更为严重。目前直流输电线路仍主要采用瓷和玻璃绝缘子,但直流污秽闪络特性仍有许多问题没有解决,因此研究瓷和玻璃绝缘子污闪特性仍有十分重要的意义。

绝缘子积污特性取决于其结构形状和作用电压类型^[1],深棱伞型绝缘子的积污程度一般较严重,结构简单的绝缘子积污较轻。在相同条件下,直流绝缘子表面积污量较交流多,是交流下的1.2~1.5倍^[2],也有结果表明是交流的1~3倍^[3],且其污闪电压比交流低20%~30%^[4]。由于受到风、雨清洗的影响,各种结构绝缘子上表面相对较为清洁,其积污差异并不明显;但由于结构形状的差异,其下表面积污存在很大差异,直流下绝缘子上下表面积污比为1/3~1/20,污秽越重,不均匀污秽的污闪电压可比均匀污秽时高10%~20%。

文献[5]由14种绝缘子直流污闪试验提出:影响污闪电压的特征指数 a 值在0.30~0.33之间,不同绝缘子的 a 值有一定差异。文献[6]提出:直流下 a 值为0.33,交流下则为0.20。文献[7]由12种支柱绝缘

子的直流污闪试验表明:支柱绝缘子的 a 值为0.32~0.41。重庆大学和东北电力试验研究院对160 kN及以下级别绝缘子的直流污闪试验提出, a 值在0.225~0.36之间^[8]。

国内外对小吨位直流绝缘子短串的污闪特性研究较多,随着国内 ± 800 kV特高压直流输电工程的建设,研究大吨位、长串绝缘子直流污闪特性则非常必要。笔者选择5种典型结构直流绝缘子进行污秽试验,为超高压、特高压直流输电工程提供技术参考。

1 试品、试验装置及方法

试验在直径7.8 m、高11.6 m的大型多功能人工气候室中进行^[9]。试验电压由 ± 600 kV/0.5 A双反馈直流污秽试验电源提供,其泄漏电流0.5 A时的动态压降小于5%,纹波系数小于3%,满足直流污秽试验对电源的要求。试验原理接线参见文献[10]。电压采用精度为2%的直流电阻分压器测量。

试品采用XP-160、XZP-210、XZP-300瓷绝缘子和LXZP-210、LXZP-300玻璃绝缘子,其基本技术参数及结构简图如表1和图1所示。

参照相关试验标准^[11],试验方法如下:

收稿日期:2007-03-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90210026)。

作者简介:罗利云(1976-),男,重庆大学硕士研究生,主要从事高电压与绝缘技术研究。蒋兴良(联系人),男,教授,博士生导师,(Tel)023-65106818;(E-mail)xljiang@cqu.edu.cn。

1) 试品染污。试品染污采用固体涂层法。由于浸污法染污的绝缘子污层较均匀^[12],笔者采用浸污方式。

2) 试品布置。试品绝缘子垂直悬挂于人工气候室顶部的电动葫芦上,试品与接地体的最小间距 >3.5 m,满足“>0.5 m/100 kV”的要求^[13]。

3) 试品湿润。试品湿润采用蒸汽雾。蒸汽雾由 1.0 t/h 锅炉产生,由贴近人工气候室底部周围布置的多个放气孔使雾气分布均匀,放气孔雾气出口方向与试品绝缘子串轴心线成 90° 夹角,距离 >3.5 m,蒸汽雾输入速率为 $(0.05 \pm 0.01) \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$, 10 ~ 15 min 可使试品表面污秽充分湿润。湿润开始前试品与环境的温差 < ±2 °C; 试验过程中雾室温度控制在 <35 °C。

4) 加压方式。由于负极性污闪电压低于正极性^[8],笔者仅进行负极性试验。试验采用均匀升压法。试验时求取试品绝缘子的 50% 闪络电压,每串试品染污后闪络 4 ~ 5 次,共试验 3 串,取与平均值误差小于 10% 的所有闪络电压的算术平均值为该试品串在该污秽程度下的 50% 闪络电压。

表 1 试品参数 mm

型式	D	H	L
XP-160	254	146	290
XZP-210	320	170	545
XZP-300	400	195	635
LXZP-210	320	170	545
LXZP-300	400	195	635

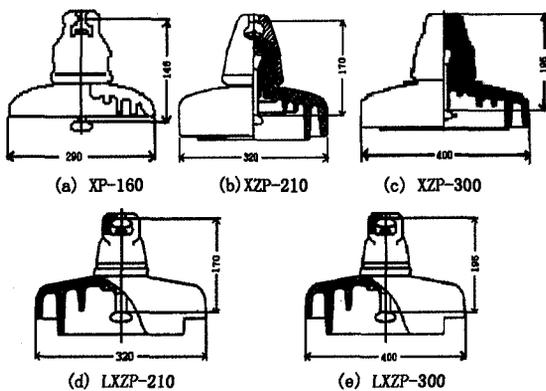


图 1 试品绝缘子结构示意图

2 试验结果及分析

2.1 不同型式绝缘子闪络特性

5 种试品绝缘子在不同串长下的 50% 闪络电压 U_{50} 与串长的关系如图 2 所示。由图 2 可知:试品绝缘子在不同盐密下的 U_{50} 与绝缘子型式有关;而对于 H, L 和 D 相同的绝缘子,如 LXZP-300 与 XZP-300、

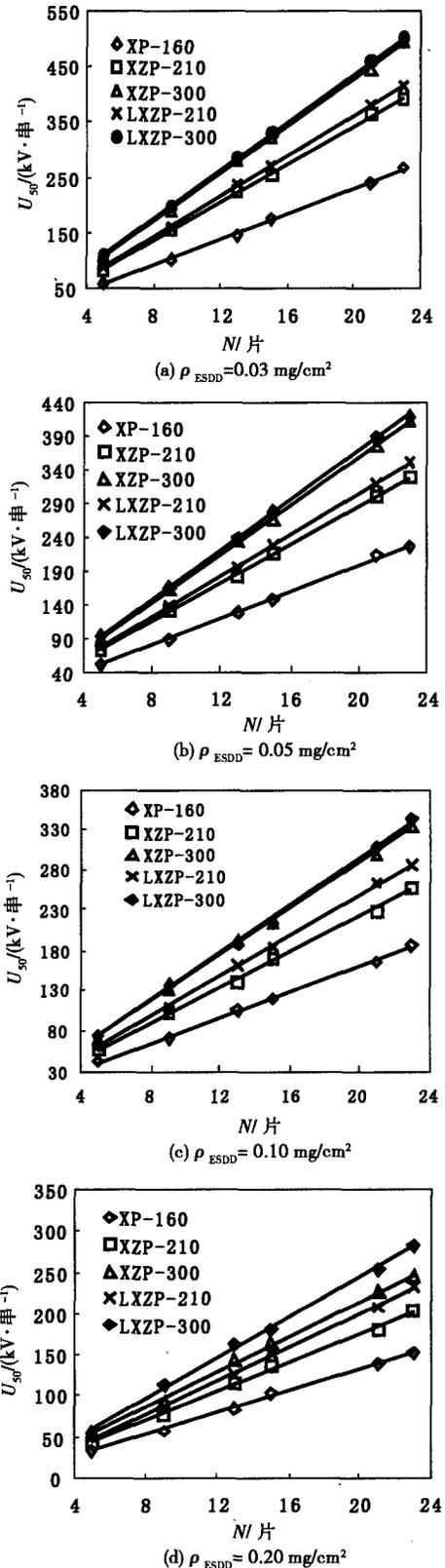


图 2 串长 N 与直流污秽绝缘子 U_{50} 之间的关系

LXZP-210 与 XZP-210, 玻璃绝缘子的污闪电压高; 且 U_{50} 与串长呈线性关系。

根据污闪电压与等值附盐密度的关系

$$U_f = A\rho_{ESDD}^{-a}, \quad (1)$$

式中: U_f 为绝缘子污闪电压, kV; A 为与绝缘子形状和污秽程度有关的系数; ρ_{ESDD} 为等值附盐密度, mg/cm^2 ; a 为表征 ρ_{ESDD} 对污闪电压影响的特征指数, a 与绝缘子结构以及绝缘子型式和材料有关。

根据污闪电压与串长的线性关系可得平均每片绝缘子的 50% 闪络电压与 ρ_{ESDD} 的关系如图 3 所示。

由图 3 可知: 各种绝缘子的 U_{50} 均随 ρ_{ESDD} 的增加而下降。当 ρ_{ESDD} 较小时, U_{50} 随 ρ_{ESDD} 增加而下降的速度较快; 当 ρ_{ESDD} 较大时, U_{50} 下降趋势变缓。且 ρ_{ESDD} 对不同型式绝缘子 U_{50} 的影响有差异, 其中, XP-160 的 U_{50} 随 ρ_{ESDD} 增加而降低的趋势最为平缓, 其次是玻璃绝缘子。

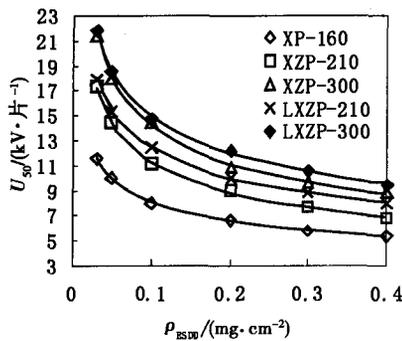


图3 ρ_{ESDD} 对不同型式绝缘子每片 U_{50} 的影响

由表 2 可知: A 值与 H 和 L 有关, 但无简单的数学关系, 即 U_{50} 不是随爬电距离的增大而呈简单的线性增加; 不同型式绝缘子的 a 值也存在差异。

表 2 A 和 a 值

型式	A	a	R^2
XP-160	4.04	0.30	0.96
XZP-210	4.94	0.36	0.95
XZP-300	6.32	0.35	0.97
LXZP-210	6.04	0.31	0.95
LXZP-300	7.13	0.32	0.98

2.2 沿面闪络梯度

污秽绝缘子沿面闪络梯度^[8]为

$$E_c = U_{50}/L, \quad (2)$$

式中: E_c 为污闪绝缘子的沿面闪络梯度, kV/cm ; L 为绝缘子的爬电距离, cm 。

由式(1)、(2), 并令 $E_0 = A/L$, 可得:

$$E_c = \frac{A}{L} \times \rho_{ESDD}^{-a} = E_0 \times \rho_{ESDD}^{-a}, \quad (3)$$

式中: E_0 是由绝缘子结构特性决定的常数, 反映了单位爬电距离绝缘子的污闪特性。由式(3)可知: E_c 随 ρ_{ESDD} 的变化规律与 U_{50} 随 ρ_{ESDD} 的变化规律一致。

由表 1、2 及 E_0 的定义可得文中试品绝缘子的 E_0 , 如表 3 所示。由大到小的顺序依次为 XP-160、

LXZP-300、XZP-210、XZP-300 和 XZP-210。

表 3 E_0 值

型式	XP-160	XZP-210	XZP-300	LXZP-210	LXZP-300
E_0	0.139	0.091	0.100	0.111	0.112

2.3 不同型式绝缘子的有效爬电系数

绝缘子的有效爬电系数可表示为^[11]

$$K = \frac{E'_c}{E_c}, \quad (4)$$

式中: K 为绝缘子的有效爬电系数, 反映了人工污秽试验条件下不同型式绝缘子的结构特征和爬电距离的有效性; E'_c 为非标准绝缘子的闪络梯度, kV/cm ; E_c 为标准悬式绝缘子(XP-160)的闪络梯度, kV/cm 。

由式(3)、(4)可得绝缘子的有效爬电系数与 ρ_{ESDD} 关系为

$$K = M \times \rho_{ESDD}^m, \quad (5)$$

式中: M 为由绝缘子结构参数决定的常数; m 为有效爬电距离系数的污秽程度影响特征指数。由式(3)、(4)和表 3, 可得以标准悬式绝缘子(XP-160)为参考时的 M 和 m 的值, 如表 4 所示。

由式(5)和表 4 得 4 种直流绝缘子的有效爬电系数 K 与 ρ_{ESDD} 的关系如图 4 所示。

表 4 M 和 m 值

型式	M	m
XZP-210	0.651	-0.06
XZP-300	0.714	-0.05
LXZP-210	0.796	-0.01
LXZP-300	0.806	-0.02

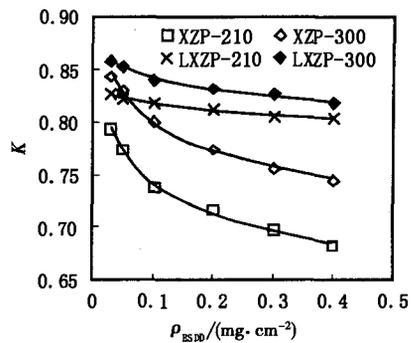


图 4 ρ_{ESDD} 对有效爬电系数 K 的影响

由图 4 可知:

1) K 随着 ρ_{ESDD} 的增加而下降, 且其下降趋势与绝缘子型式及材质有关。

2) 当 $\rho_{ESDD} \leq 0.05 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 时, LXZP-300 和 XZP-300 具有较高的 K 值; 当 $\rho_{ESDD} \geq 0.1 \text{ mg}/\text{cm}^2$ 时, LXZP-300 和 LXZP-210 具有较高的 K , 即玻璃绝缘子的 K 值高于瓷绝缘子。

3) XZP-300的 K 值高于XZP-210,且随着 ρ_{ESDD} 的增加,其差值增大。

3 结论

1) 串长 ≤ 23 片时,直流绝缘子串污闪电压与串长呈线性关系(试验盐密为 $0.03 \sim 0.20 \text{ mg/cm}^2$)。

2) 瓷和玻璃绝缘子污闪电压的污秽程度影响特征指数 a 与型式结构和材质有关,其值为 $0.30 \sim 0.36$ 。

3) 结构高度和爬电距离相同的玻璃绝缘子污闪电压高于瓷绝缘子,前者比后者高约5%。

4) 玻璃绝缘子具有比瓷绝缘子高的沿面闪络梯度和有效爬电系数。

5) 材质相同、结构相似的两组绝缘子,爬距大的沿面闪络梯度和爬距有效系数大。

参考文献:

- [1] 周建国,肖嵘. 多伞盘式绝缘子的污秽特性[C]// 电工陶瓷第七次学术年会暨学术交流会论文集. 西安:中国电工技术委员会电工陶瓷专业委员会,2001: 77-81.
- [2] LAMPE W, HOGLUND T, NELLIS C, et al. Long-term tests of HVDC insulators under natural pollution conditions at the big eddy test center[J]. IEEE Trans Power Delivery, 1989, 4(1): 248-258.
- [3] 宿志一. $\pm 500 \text{ kV}$ 葛南直流输电设备外绝缘运行概况分析[J]. 电网技术, 2001, 25(1): 57-60.
- [4] TAKASU K, SHINDO T, ARAI N. Natural contamination test of insulators with DC voltage energization at inland areas[J]. IEEE Trans Power Delivery, 1988, 3(4): 1847-1853.

- [5] SUNDARARAJAN R. Effect of insulator profiles on DC flashover voltage under polluted conditions[J]. IEEE Trans Dielectrics and Electrical Insulation, 1994, 1(1): 124-132.
- [6] NAITO K, MATSUOKA R, SAKANISHI K. Investigation for the insulation performance of the insulator covered with ice[J]. IEEE Trans Power Delivery, 1991, 6(3): 1634-1640.
- [7] BAKER A C, ZAFFANELLA L E. Contamination performance of HVDC station post insulators[J]. IEEE Trans Power Delivery, 1988, 3(4): 1968-1975.
- [8] 顾乐观,孙才新. 电力系统的污秽绝缘[M]. 重庆:重庆大学出版社,1990: 95-96.
- [9] 蒋兴良,张志劲,胡建林,等. 高海拔下不同伞形结构750 kV合成绝缘子短样交流污秽闪络特性及其比较[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(12): 159-164.
- [10] 蒋兴良,武利会,司马文霞,等. 低气压下XZP/XZWP4-160直流绝缘子覆冰闪络特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(6): 111-115.
- [11] GB/T 16434, 高压架空线路和发电厂、变电所环境污区分级及外绝缘选择标准[S]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [12] 张志劲,蒋兴良,孙才新,等. 两种不同染污方式下绝缘子交流闪络特性的比较[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(8): 124-127.
- [13] VLASTOS A E, FEIJU Y. Clean fog rapid procedure test of artificially and naturally polluted HVDC porcelain barrel insulator[J]. IEEE Trans Power Delivery, 1991, 6(4): 1791-1797.

Comparison of DC Pollution Flashover Performance of Various Types of Long String Insulators

LUO Li-yun, JIANG Xing-liang, ZHANG Zhi-jin, HU Jian-lin, SUN Cai-xin

(Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: With the development of EHV/UHV DC transmission projects, it is inevitable to study DC pollution flashover performance of long insulator strings. The DC artificial pollution tests of five types of porcelain and glass insulators have been carried out in the artificial climate chamber. The paper analyzes the relationship between 50% flashover voltage U_{50} and string length, the relationship between U_{50} and salt deposit density, flashover voltage gradients and valid creepage distances of DC polluted insulators. Based on the test results of insulator strings of 5 ~ 23 units, there are linear relationship between the 50% DC flashover voltages and string length. The experimental results show that the pollution flashover performances of various types of insulators are different, and that the pollution degree exponents of polluted insulators are affected insulator materials and shapes, whose values are 0.3 to 0.36. Under the same pollution degree, the pollution performances of glass insulators have advantage of those of porcelain insulators with the same configuration and the flashover voltage gradient along creepage distance and valid creepage distances of glass insulators are higher than those of porcelain insulators.

Key words: insulator; direct current; flashover performance; flashover voltage gradient; valid creepage distance

(编辑 李胜春)