

两种不同染污方式下绝缘子交流闪络特性的比较

张志劲, 蒋兴良, 孙才新, 苑吉河, 张永记

(重庆大学高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆市 沙坪坝区 400044)

Comparison of the AC Pollution Flashover Characteristics of Insulators Under Two Different Polluting Manners

ZHANG Zhi-jin, JIANG Xing-liang, SUN Cai-xin, YUAN Ji-he, ZHANG Yong-ji

(Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Chongqing University, Shapingba District, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: Pollution insulator may flashover under disadvantage weather conditions such as fog or dew. The pollution flashover accidents may take place more frequently with the development of industry and agriculture which make the pollution worse. Some different artificial pollution manners have been commended to study the pollution flashover characteristic in IEC and correlative standards, but no any description about the difference among them. Taking XP-70 standard insulator example, the paper analyses and compares the AC pollution flashover characteristics of insulators under two different polluting manners. The testing results show that there are some differences with the pollution flashover characteristic under different polluting manners; the influence by man-made factor is obvious for the ration pasting method; the impact of kaolin on the pollution flashover characteristic is more obvious than that of diatomite. There are some differences for the impact of ESDD/NSDD on the pollution flashover under different polluting manners.

KEY WORDS: power system; pollution insulator; polluting manners; flashover characteristic

摘要: 染污绝缘子在雾、露等不利气象条件下, 将可能发生绝缘子的污秽闪络, 并且随着工农业生产的迅速发展, 污秽程度的日益加剧, 电力系统的污闪事故发生更加频繁, 危害更加严重。IEC 及我国推荐了几种不同的人工污秽方式以进行绝缘子闪络特性的试验研究, 但对于各种人工污秽方式之间的差异并没有给予说明和研究。文中以 XP-70 绝缘子为

例对浸污法、定量涂刷法两种不同的染污方式下绝缘子交流闪络特性进行了分析和比较。结果表明: 不同染污方式下绝缘子的闪络特性有一定的差异; 定量涂刷法受人为因素的影响比较大; 不同憎性材料物质下的染污绝缘子闪络特性有所不同; 盐密/灰密对不同染污方式下的闪络特性的影响有一定差别。

关键词: 电力系统; 污秽绝缘子; 染污方式; 闪络特性

0 引言

污秽绝缘子在雾、露、毛毛雨等不利气象条件下, 较低的电压作用就可能引起绝缘子闪络, 造成电网停电事故。据统计, 由于污秽而引起的绝缘闪络事故目前在电网总事故中已经占第二位, 仅次于雷害事故, 但污闪事故造成的损失却是雷害事故的10倍^[1]。因此自发生第一次污闪事故开始, 人们就对污秽绝缘子闪络特性及闪络机理产生了浓厚的兴趣, 并开展了大量的研究^[1-13]。

人工污秽试验长期以来被人们广泛用来作为研究污秽绝缘特性的一种重要手段。人工污秽试验方法中正确表征绝缘子表面的污秽程度以保证与污秽绝缘子实际运行情况吻合是十分重要的。IEC 60507 及 GB/T 4585 中推荐了几种不同的人工污秽方法, 但对于各种人工污秽方式下的绝缘子闪络特性是否存在差异, 到目前为止, 国内外对此并没有进行深入开展和比较研究。因此, 本文以 XP-70 绝缘子为例, 采用浸污法、定量涂刷法两种不同的染污方式, 进行染污绝缘子闪络特性的比较研究, 研究结果对于完善绝缘子人工污秽试验方法具有重要的现实意义和参考价值。

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目 (90210026)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (90210026).

1 试验装置与试验方法

1.1 试验装置及试品

试验研究在 4m×4m×3m 的人工雾室进行。交流电源由 150kV/900kVA 污秽试验变压器提供，其短路阻抗为 8.25%，试验变压器配套的 10kV 调压器的短路阻抗为 8.34%；试验变压器输出电压 150kV（峰值）时的最大短路电流为 30A，满足 IEC 标准对污秽试验电源的要求，试验原理接线见参考文献[9-11]。

试验所采用的试品为 3 片串 XP-70，试品的技术参数如表 1 所示。

表 1 试品技术参数
Tab.1 The parameters of tested insulators

结构高度 <i>H/mm</i>	爬电距离 <i>L/mm</i>	伞裙直径 <i>D/mm</i>	绝缘子表面积 <i>S/cm²</i>
255	295	255	1590

1.2 试验预处理及方法

本文进行了不同染污方式下的绝缘子闪络特性的比较，试验前必须进行以下的预处理过程：

(1) 绝缘子的清洗。首先用磷酸三钠溶液仔细清洗绝缘子，除去污物和油脂的所有痕迹，然后用自来水彻底冲洗，若其表面形成大面积水膜，则已表明足够清洁，然后干燥待用。

(2) 定量涂刷法（涂污法）。根据试品所需染的盐密、灰密及绝缘子的表面积，计算出所需的 NaCl 量和灰量，加适量的蒸馏水搅拌均匀后，全部均匀地涂刷到试品的绝缘子表面上。

(3) 浸污法。根据试品所需染的盐密、灰密，配置出污秽物悬浮液，将试品浸入已经搅拌均匀的污秽物悬浮液中，转动试品，使绝缘子表面均匀覆盖一层污秽后取出。

(4) 阴干。将染污的试品放置阴凉处自然阴干 24h。

(5) 污层的湿润。将自然阴干的试品安装于雾室中，向雾室注入蒸汽雾，使试品的污层湿润充分均匀，即污层电导率增加到最大值或表面形成水膜，边缘将要滴水，试品附近的雾的温度控制在 5~40℃ 以内。

(6) 闪络试验。试验采用均匀升压法对试品施加电压直到绝缘子串闪络，每串进行 4~5 次闪络试验。在同一个污秽度下，绝缘子选 3 串试品，取其中与平均值误差不超过 10% 的所有闪络电压的平均值为该污秽度下绝缘子串的 50% 闪络电压。

2 试验结果与分析

2.1 不同染污方式下绝缘子闪络电压的比较

试验按照规程^[14-15]的涂污方式进行染污，对 3 片 XP-70 进行不同染污方式下（浸污法、定量涂刷法）闪络特性的比较研究，盐密成分为 NaCl，灰密成分为硅藻土及二氧化硅，不同盐密、灰密下染污绝缘子闪络电压结果如表 2 所示。

表 2 不同染污方式下的绝缘子闪络电压
Tab.2 The flashover voltage under different polluting manners

灰密/(mg/cm ²)	<i>U_f</i> /kV		
	盐密/(mg/cm ²)	浸污法	涂污法
1.0	0.06	26.7	30.0
	0.13	23.1	25.1
	0.25	18.6	20.3
0.5	0.04	33.9	37.8
	0.06	28.8	32.5
	0.12	24.2	26.4

表 2 可知：

(1) 不同染污方式下的绝缘子闪络电压是不同的，且在同等条件下，浸污法下的闪络电压比涂污法下的闪络电压低。

(2) 灰密为 1.0mg/cm²、盐密分别为 0.06、0.13、0.25 mg/cm² 时，两种染污方式下的电压差分别为 11%、8.0%、8.4%。

(3) 灰密为 0.5mg/cm²、盐密分别为 0.04、0.06、0.12 mg/cm² 时，两种染污方式下的电压差分别为 10.3%、11.4%、8.3%。

试验过程中，还发现定量涂刷法下所得的绝缘子闪络电压易受人为因素影响，分散性比较大，表 3 为采用定量涂刷法时（盐密成分为 NaCl，灰密成分为硅藻土），不同涂刷者下所得的绝缘子污秽闪络电压。

表 3 不同涂刷者下的绝缘子闪络电压
Tab.3 The flashover voltage under different polluting manners

灰密/(mg/cm ²)	盐密/(mg/cm ²)	<i>U_f</i> /kV		
		甲	乙	丙
1.0	0.06	31.5	30.0	37.1
	0.13	23.9	25.1	26.9
	0.25	22.1	20.3	21.8
0.5	0.04	39.6	37.8	35.9
	0.06	30.2	32.5	32.3
	0.12	29.3	26.4	28.5

从表 3 可以看出：

(1) 在同一灰密、盐密下，3 组不同涂刷者下所得的绝缘子污秽闪络电压差别较大。如当灰密为

1.0mg/cm²、盐密为 0.06mg/cm²时, 3组不同涂刷者下所得的绝缘子污秽闪络电压最大差值达 7.1kV。

(2) 不同涂刷者下所得绝缘子污秽闪络电压随机性较大: 当灰密为 1.0mg/cm²、盐密为 0.06mg/cm²时, 丙组涂刷的绝缘子闪络电压最高, 甲组涂刷的绝缘子闪络电压次之, 乙组涂刷的绝缘子闪络电压最低; 但当灰密为 0.5mg/cm²、盐密为 0.06mg/cm²时, 乙组涂刷的绝缘子闪络电压最高, 丙组涂刷的绝缘子闪络电压次之, 甲组涂刷的绝缘子闪络电压最低。

2.2 不同惰性材料物质下闪络特性的比较

绝缘子表面的污秽物包括可溶解污物和不可溶解污物或惰性污物, 而且不同地区的污秽物的化学成分可能会有所不同, 规程中灰密的表征推荐采用的是硅藻土、高岭土或砥石粉等惰性物质。本文以涂污法为例, 对不同惰性物质材料下的交流闪络特性进行试验研究, 结果如表 4 所示。

表 4 不同惰性物资材料下的绝缘子闪络电压

Tab.4 The flashover voltage under different inert materials

灰密/(mg/cm ²)	盐密/(mg/cm ²)	U _f /kV	
		硅藻土	高岭土
1.0	0.06	30.0	28.7
	0.13	25.1	24.0
	0.25	20.3	18.9
0.5	0.04	37.8	36.3
	0.06	32.5	30.6
	0.12	26.4	24.8

从表 4 可以看出:

(1) 在相同灰密、盐密下, 不同惰性物质材料下的绝缘子闪络电压是不同的, 硅藻土下的绝缘子闪络电压比高岭土下的闪络电压高。

(2) 灰密为 1.0 mg/cm²、盐密分别为 0.06、0.13、0.25 mg/cm²时, 硅藻土下的绝缘子闪络电压分别比高岭土下的闪络电压高 4.3%、4.4%、6.9%。

(3) 灰密为 0.5mg/cm²、盐密分别为 0.04、0.06、0.12 mg/cm²时, 硅藻土下的绝缘子闪络电压分别比高岭土下的闪络电压高 4.0%、5.9%、6.1%。

2.3 盐密对不同染污方式下绝缘子闪络特性的比较

试验结果表明(如表 2 所示), 无论是浸污法还是定量涂刷法, 在相同灰密下, 绝缘子的闪络电压随着盐密的增加(污秽程度的加剧)将减小, 以灰密为 1mg/cm²为例, 如图 1 所示。

通过对试验数据进行多种形式拟合, 结果表明

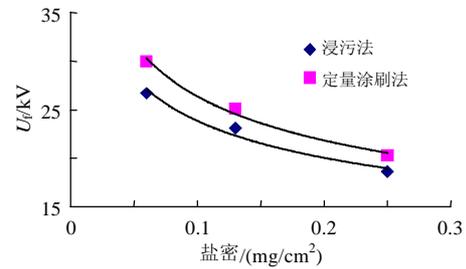


图 1 不同染污方式下盐密与闪络电压的关系

Fig.1 The relation of ESDD and flashover voltage under different polluting manners

染污绝缘子闪络电压与盐密可以按式(1)表示

$$U=KS^{-b} \quad (1)$$

式中: K 为相关常数; S 为盐密, mg/cm²; b 为污秽影响特征指数。

不同灰密、不同染污方式下的相关系数如表 5 所示。

表 5 不同染污方式下污秽影响的相关系数

Tab.5 The correlation factor of pollution impact under different polluting manners

灰密/(mg/cm ²)	染污方式	K	b	R^2
1	浸污法	13.372	0.2513	0.9738
	涂污法	14.084	0.2724	0.9904
0.5	浸污法	12.67	0.3008	0.9829
	涂污法	13.227	0.3238	0.9965

从拟合结果表明可以看出, 在同等条件下, 不同染污方式下的绝缘子污秽影响特征指数有一定差别, 且浸污法下的 b 值比定量涂刷法下的 b 值小。

2.4 灰密对不同染污方式下绝缘子闪络特性的比较

试验结果表明(如表 2 所示), 无论是浸污法还是定量涂刷法, 在相同盐密下, 绝缘子的闪络电压还受灰密的影响。

(1) 对于浸污法, 盐密为 0.06mg/cm²时, 灰密为 1mg/cm²下的闪络电压比灰密为 0.5mg/cm²下的闪络电压低 7.3%。

(2) 对于定量涂刷法, 盐密为 0.06mg/cm²时, 灰密为 1mg/cm²下的闪络电压比灰密为 0.5mg/cm²下的闪络电压低 6.2%。

2.5 不同染污方式下绝缘子闪络特性差异分析

由试验得知, 采用浸污法的绝缘子污秽闪络电压比定量涂刷法的闪络电压低, 造成这种结果主要是由于采用浸污法染污的绝缘子表面污秽程度均匀, 在湿润过程中能保证绝缘子表面各点的污秽同时达到饱和湿润状态, 即能保证所有的污秽在绝缘子闪络过程中都产生作用。而定量涂刷法染污绝缘子则易受人为因素影响, 染污的绝缘子表面污秽均

匀度比浸污的差，在湿润过程中绝缘子表面各点的污秽物无法同时达到饱和湿润状态，即若以绝缘子表面污秽薄的位置判断绝缘子的饱和湿润状态，则绝缘子表面污秽厚的位置并没有完全达到饱和湿润；而以绝缘子表面污秽厚的位置判断绝缘子的饱和湿润状态，则绝缘子表面污秽薄的位置由于过饱和导致污秽的流失。这两种判断污秽湿润方式均导致污秽在绝缘子闪络过程中产生作用的比实际涂刷的污秽量少，因此浸污法下的绝缘子污秽闪络电压比定量涂刷法下的低。

3 结论

(1) 在同等情况下，浸污法的闪络电压比定量涂刷法的闪络电压低 10%，由于定量涂刷法下的绝缘子闪络电压受人为因素影响较大，不同涂刷者涂刷的绝缘子闪络电压分散性大，建议进行人工污秽试验时，以浸污法为主，定量涂刷法为参考。

(2) 在同等情况下，不同惰性物质材料下的绝缘子闪络电压是不同的，硅藻土下的绝缘子闪络电压比高岭土下的闪络电压约高 4%~7%，建议在进行人工污秽试验时，应根据污秽地区的污秽成分选择合理的惰性物质。

(3) 盐密对不同染污方式下闪络特性的影响有一定差别，在同等条件下，浸污法的绝缘子污秽影响特征指数 b 值比定量涂刷法的小。

(4) 无论是浸污法还是定量涂刷法，灰密对绝缘子的闪络特性有一定的影响，对于 XP-70 绝缘子，当盐密为 $0.06\text{mg}/\text{cm}^2$ 时，灰密为 $1\text{mg}/\text{cm}^2$ 下的闪络电压比灰密为 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 下的闪络电压约低 6%~7%。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Komatsubara I M, Matsuoka M, R. Behavior of insoluble materials in artificial contamination tests[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996, 3(3): 432-438.
- [3] Lambeth P J. Variable voltage application for insulator pollution tests[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1988, 3(4): 2103-2111.
- [4] Sundararajan R, Gorur R S. Role of non-soluble contaminants on the flashover voltage of porcelain insulators[J]. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996, 3(1): 113-118.
- [5] Sundararajan R. Effect of insulator profiles on DC flashover voltage under polluted conditions[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulations, 1994, 1(1): 124-132.
- [6] 蒋兴良, 张志劲, 胡建林, 等. 高海拔下不同伞形结构 750kV 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.

- Jiang Xingliang, Zhang Zhijin, Hu Jianlin, et al. AC pollution flashover performance and comparison of short samples of 750kV composite insulators with different configuration in high altitude area [J]. Proceeding of the CSEE, 2005, 25(12): 159-164(in Chinese).
- [7] 孙才新, 蒋兴良, 舒立春, 等. 高海拔、污秽、覆冰环境下超高压线路绝缘子交直流放电特性及闪络电压校正研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11): 115-120.
- Sun Caixin, Jiang Xingliang, Shu Lichun. et al.. (AC/DC flashover performance and its voltage correction of UHV insulators in high altitude and icing and pollution environments[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(11): 115-120(in Chinese).
- [8] 司马文霞, 蒋兴良, 武利会, 等. 低气压下覆冰染污 10kV 合成绝缘子直流电气特性[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 122-126.
- Sima Wenxia, Jiang Xingliang, Wu Lihui, et al.. DC electrical performance of icing and polluted 10kV composite insulator at low atmospheric pressures[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 122-126(in Chinese).
- [9] 余德芬, 顾乐观, 孙才新, 等. 酸性湿沉降对绝缘子闪络特性的表征量研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(4): 15-19.
- Yu Defen, Gu Leguan, Sun Caixin, et al. The research to token on flashover characteristics of insulator in the acid wet precipitation [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(4): 15-19(in Chinese).
- [10] 宿志一, 刘燕生. 我国北方内陆地区线路与变电站用绝缘子的直、交流自然积污试验结果的比较[J]. 电网技术, 2004, 28(10): 13-17.
- Su Zhiyi, Liu Yansheng. Comparison of natural contaminants accumulated on surfaces of suspension and post insulators with DC and AC stress in northern China's inland areas[J]. Power System Technology, 2004, 28(10): 13-17(in Chinese).
- [11] 江秀臣, 安玲, 韩振东, 等. 等值盐密现场测量方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(4): 40-44.
- Jiang Xiucheng, An Ling, Han Zhendong, et al. Study on the method of ESDD on site measurement[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(4): 40-44(in Chinese).
- [12] 宿志一. 用饱和盐密确定污秽等级及绘制污区分布图的探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 16-19.
- Su Zhiyi. Study on defining pollution classes and mapping, pollution areas by saturated equal salt deposit density[J]. Power System Technology, 2004, 28(8): 16-19(in Chinese).
- [13] Matsuoka R, Kondo K. Influence of nonsoluble contaminants on the flashover voltages of artificially contaminated insulators[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11(1): 420-430.
- [14] GB/T4585-2004. 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验[S]. GB/T4585-2004. Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on AC systems[S](in Chinese).
- [15] IEC 60507-1991. Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on AC systems[S].

收稿日期: 2005-12-14.

作者简介:

张志劲(1976—), 男, 博士研究生, 讲师, 从事高电压与绝缘技术方面的研究工作, zhangzhijing@cqu.edu.cn;

蒋兴良(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 从事高电压外绝缘技术与输电线路覆冰及防护技术方面的研究工作;

孙才新(1944—), 男, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 长期从事高电压与信息监测及故障诊断技术方面的科研工作。

(责任编辑 韩 蕾)