

沙尘暴条件下长棒形瓷绝缘子风洞带电积污试验

阳林¹, 郝艳萍¹, 李立涅¹, 赵宇明², 黎小林²

(1. 华南理工大学电力学院, 广州 510640; 2. 南方电网科学研究院, 广州 510080)

摘要: 为研究输电线路长棒形瓷绝缘子与三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的积污性能差异, 根据实际运行的积污数据综合分析了长棒形瓷绝缘子的自然带电积污特性, 并利用风洞模拟系统进行了沙尘暴气候环境下长棒形、三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的带电积污试验, 对比了不同绝缘子的空气动力学性能。结果表明: 在轻污秽地区长棒形瓷绝缘子的积污性能和自洁性优于盘型瓷绝缘子; 长棒形瓷绝缘子表面积污的饱和周期较短。在风洞模拟沙尘暴气候环境下, 三伞型瓷绝缘子表面积污量最大, 复合绝缘子次之, 长棒形瓷绝缘子最小。由于具有开放的伞形结构和光滑的瓷表面, 在沙尘暴气候环境下, 与三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子相比, 长棒形瓷绝缘子具有最优良的空气动力学特性。

关键词: 长棒形瓷绝缘子; 沙尘暴; 积污特性; 空气动力学特性; 伞形; 灰密; 输电线路

中图分类号: TM852; TM855 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6520(2010)11-0

Wind Tunnel Test for Contamination Deposited Characteristics of Porcelain Long Rod Insulators Under Sandstorm Circumstance

YANG Lin¹, HAO Yan-peng¹, LI Li-cheng¹, ZHAO Yu-ming², LI Xiao-lin²

(1. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Electric Power Research Institute, China Southern Power Grid Co. Ltd, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In order to compare contamination deposited characteristics among porcelain long rod insulator, three-shed type porcelain insulator and composite insulator, contamination deposited data under nature conditions of porcelain long rod insulator were analyzed. Wind tunnel test system was used to simulate the contamination deposited process of aforementioned three kinds of insulators, for comparing their aerodynamic performances. Research results show that in the light polluted regions, the contamination deposited performance of porcelain long rod insulators is better than that of cap and pin insulators, and the saturated contamination deposited cycle of the former is lower. Under the wind tunnel test conditions, NSDD of three-shed type porcelain insulator is heavier than both porcelain long rod insulator and composite insulator. Thanks to its open profile and slick surface on porcelain insulator, porcelain long rod insulator is best in the aerodynamic performance among the three kinds of insulators.

Key words: porcelain long rod insulators; sandstorm; contamination deposited characteristics; aerodynamic performance; shed shape; NSDD; transmission line

0 引言

外绝缘设计是输电线路的关键问题之一, 主要取决于运行电压下绝缘子的污秽特性^[1-4]。污秽特性包括绝缘子的自然积污特性和污秽绝缘子的闪络特性, 而了解绝缘子表面积污特性是研究其污闪特性的前提^[5-7], 因此进行绝缘子的积污特性研究是外绝缘设计基础和必需的工作。

基金资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2009CB724507); 国家“十一五”科技支撑计划(2009BAA23B02); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2009ZZ0008)。

Project Supported by National Basic Research Program of China (973 Program) (2009CB724507), National Eleventh-five Year Science and Technology Supporting Program of China (2009BAA23B02), Fundamental Research Funds for the Central Universities (2009ZZ0008).

国内外在交流输电线路常用的盘型瓷、玻璃和复合绝缘子积污特性方面进行了大量研究, 总结出了一系列的绝缘子积污规律和选型经验^[8-14]。但是近年来已在国内外输电线路应用较广泛的长棒形瓷绝缘子的积污特性研究却较少见, 使得其污秽外绝缘设计只能参考盘型瓷绝缘子的经验, 可能给线路运行安全带来隐患。试验和运行经验表明, 材质一样的绝缘子若伞形不同积污特性也存在差异^[13, 15], 因此长棒形瓷绝缘子的积污特性可能与盘型瓷绝缘子差异较大。长棒形瓷绝缘子外形与复合绝缘子相近, 具有不可击穿性、自洁性优良、破损率低等优点^[16], 主要应用在德国、奥地利、瑞士等欧洲国家, 日本, 及我国华东、华中和华北等地区。目前, 国内外有关长棒形瓷绝缘子的污秽特性研究不多, 且主要集中在人工污闪特性方面^[16-18], 其带电积污特性尚无系统报道, 因此亟待开展研究工作。

本文首先根据实际运行长棒形瓷绝缘子的积污数据综合分析了其自然环境下的带电积污特性,然后利用风洞模拟沙尘暴气候环境,试验研究了长棒形瓷绝缘子的带电积污特性,并与材质相同的三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子进行了对比,探讨了不同绝缘子的空气动力学性能。

1 长棒形瓷绝缘子自然带电积污特性

1.1 长棒形与盘型瓷绝缘子积污特性比较

文献[16]对交流 500 kV 斗渡 5903 线运行的长棒形瓷绝缘子和悬式瓷绝缘子的表面等值盐密进行了测量,其中长棒形瓷绝缘子已有两年未清扫,而盘型瓷绝缘子已于半年前清扫过,结果表明,在轻污秽地区前者较后者自洁性好。

文献[19]对±500 kV 葛南线相同地点的长棒形瓷绝缘子 LP75/16+15/1325 和钟罩型瓷绝缘子 CA-735EZ 的表面等值盐密进行了测量,结果表明:该地点前者的平均盐密为 0.011 mg/cm²,后者则为 0.037 mg/cm²,后者的盐密是前者的 3.4 倍,即在轻污秽地区长棒形瓷绝缘子的积污性能和自洁性优于钟罩型瓷绝缘子。

已有研究表明,同为盘型瓷绝缘子,三伞型的积污性能好于钟罩型^[13,15]。由于自然积污数据少、测量点孤立,目前还无法给出轻污秽地区长棒形瓷绝缘子与盘型瓷绝缘子的积污比。对于重污秽地区的积污性能比较,则还需要做大量研究工作^[16]。

1.2 长棒形瓷绝缘子长期积污规律

文献[20]从 1998 年起对一种 160 kN 的长棒形瓷绝缘子进行了长达 5 年的积污特性测试。该型绝缘子悬挂在 500 kV 斗渡 5903 线无锡段Ⅱ~Ⅲ级污秽等级地区,悬挂点相同或者相近,结果如图 1 所示。其中: ρ_{ESDD} 为多年未进行清扫的盐密测量数据;前 3 年盐密数据的采集时间在 11 月至 3 月之间,降雨较少,第 5 年的采集时间虽然为 5 月份,但仍赶在该地区夏天雨季到来之前,因此其数据能体现多年积污的结果。

由图 1 可知,随着积污时间的增加,长棒形瓷绝缘子的积污量并没有明显的增长,这说明其具有良好的自洁性,也反映出该型绝缘子表面积污的饱和周期较短,但具体的周期时间需要更多数据才能确定。虽然长棒形瓷绝缘子运行于Ⅱ~Ⅲ级污秽等级地区,但其多年的等值盐密测量值均≤0.015 mg/cm²,这说明其积污情况好于交流标准盘型瓷绝缘子。

长棒形瓷绝缘子在我国华东地区已应用较多,但在其他地区应用较少,且该型绝缘子可用的积污数据十分有限,目前无法全面评估其积污特性。因

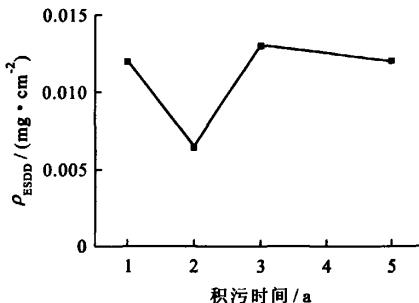


图 1 长棒形瓷绝缘子历年积污数据

Fig. 1 ρ_{ESDD} on surface of porcelain long rod insulators

此,应加强长棒形瓷绝缘子的污秽监测工作,并在不同地区的自然积污站开展自然积污工作。

自然积污试验周期长,易受气候、采样时间等影响,导致数据分散性较大^[14,21,22],为快速获得该型绝缘子的积污特性,本文在风洞中开展了绝缘子带电积污试验,比较了沙尘暴气候环境下长棒形瓷绝缘子、三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的积污特性。

2 风洞模拟沙尘暴环境带电积污试验

2.1 沙尘暴模拟试验装置

风洞模拟沙尘暴气候环境系统的试验平台如图 2 所示。该系统利用风机在循环风道内产生循环气流,风道总体积为 9 m³,流体速度在 0~25 m/s 内精确可控,试品悬挂仓空间体积(长×宽×高)为 1.2 m×1 m×1.5 m,并在设计上保证了进风口面上风压为均匀分布^[23]。送尘器安装于进风口上面板,通过控制送尘器电机的转速可以实现流体中灰尘浓度的调节^[24]。

2.2 试品及试验方法

试品分别选择长棒形和三伞型瓷绝缘子及复合绝缘子。受风洞模拟系统试品布置高度限制,所用试品高度均≤1.5 m。长棒形瓷绝缘子选用单节结构高度为 1.38 m 的 LP85/17+16/1380 试品,由于不同机械负荷的长棒形瓷绝缘子伞形参数基本一致,因此 LP85/17+16/1380 的积污状况可代表其他型号的长棒形瓷绝缘子。三伞型瓷绝缘子选用了 XZSP-300,试验串长 5 片。复合绝缘子选用了一大一小伞形结构的短样试品,结构高度为 1.27 m。试验时 3 种绝缘子(串)中点高度基本相同。3 种绝缘子的主要参数见表 1,结构造型见图 3。

试验分别以 3 种绝缘子(串)中部一组(片)绝缘子为研究对象,其尺寸与试验舱相比很小,故其绝缘子表面的积污试验结果可信。

沙尘暴气候一般对应的风力为 4 级以上,最高

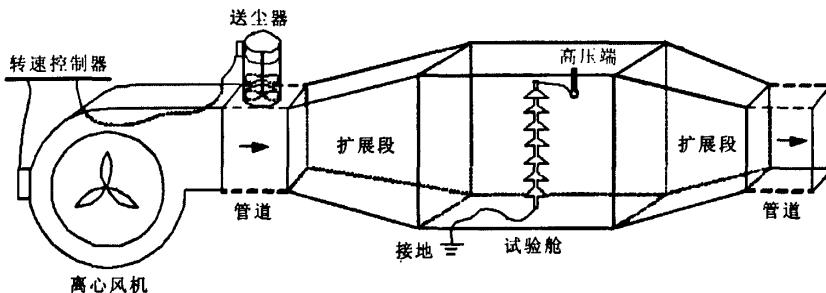


图 2 试验平台示意图
Fig. 2 Schematic diagram of experimental facility

表 1 绝缘子试品主要参数

Tab. 1 Dimensions of test insulators

型号	结构高度/mm	爬电距离/mm	伞径/mm
长棒瓷 LP85/17+16/1380	1380	4667	225/195
三伞瓷 XZSP-300	195	635	400
复合绝缘子 一大一小伞 (短样)	1270	3110	150/100

达 11 级。考虑到实际意义,试验风速为 7~15 m/s,对应的是中等沙尘暴及以下等级的气候;9 级风以上的强沙尘暴气候出现概率小且主要对电网造成功学破坏,故不考虑^[23]。文[23]还指出该风洞模拟系统内污秽在 10~13 m/s 风速区间具有最大积污速度,且积污时间约 60 min 时积污基本饱和,故本文试验风速选为 9、11、13、15 m/s,积污时间均固定为 60 min。

试验时绝缘子带电直流电压—50 kV 加在绝缘子上端。试验得到了不同风速下,相同积污时间、相同电压下 3 种绝缘子的上、下表面的积污量,每组积污数据均重复试验约 3 次,取其平均值。试验中污秽材料为颗粒度 <50 μm 的研磨干燥硅藻土,试验过程中均保持单位体积硅藻土量约为 56.6 mg/L,以符合沙尘暴环境灰尘含量。沙尘暴气候环境下绝缘子的积污性能用单位表面积的积灰量评价。

3 试验现象、结果及分析

3.1 试验现象

长棒形瓷绝缘子、三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子在风洞模拟沙尘暴气候环境下的带电积污情况如图 4 所示。试验结果表明,3 种绝缘子表面的积污分布基本均匀;由于试验过程中没有降水的影响,因

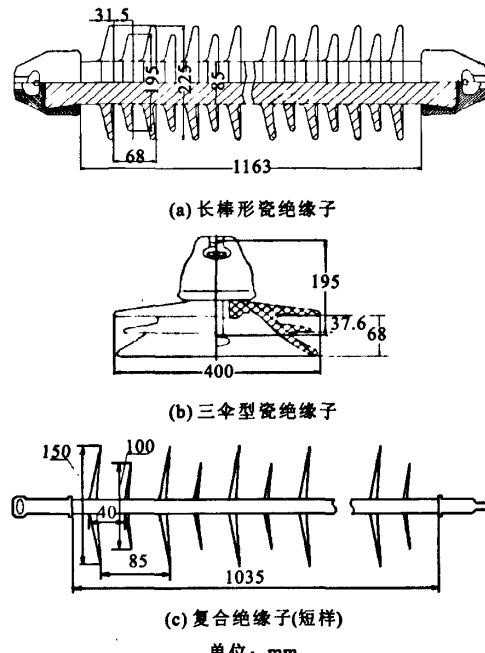


图 3 绝缘子造型图(单位:mm)
Fig. 3 Shed profile of test insulators

此绝缘子上表面的积污大于下表面。

本文试验条件下,三伞型瓷绝缘子每片第 2、第 3 伞裙上表面背风侧会出现积污量严重的扇形区域,积污量明显大于迎风侧,如图 3(b) 所示。该结果与文献[25]进行的低风速下风洞积污试验结果一致。

3.2 试验结果

根据风洞模拟沙尘暴气候环境试验得到的 3 种绝缘子表面的灰密原始数据计算了每片(组)绝缘子全表面平均灰密值和上、下表面的灰密值。

3.2.1 绝缘子平均灰密

单片(组)绝缘子在不同风速下的全表面平均灰密结果如图 5 所示。对于不同类型的绝缘子:

- 1) 三伞型瓷绝缘子的平均灰密最大,复合绝缘

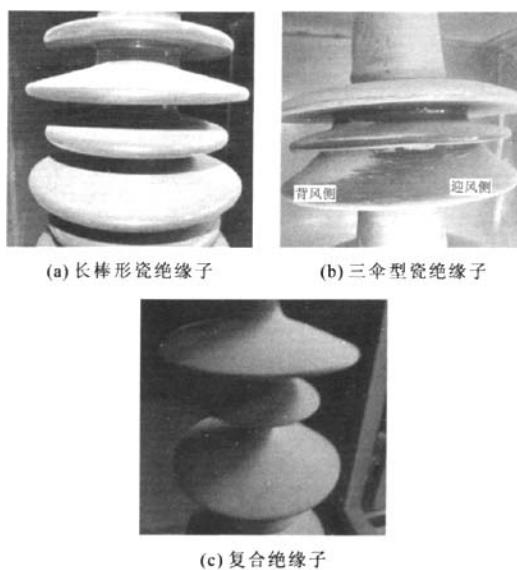


图 4 3 种绝缘子的带电积污情况

Fig. 4 Photos on contamination deposit of test insulators under DC voltage

子次之,长棒形瓷绝缘子最小。

2)三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的平均灰密受风速影响较大,长棒形瓷绝缘子受风速影响较小。

3.2.2 绝缘子上、下表面灰密

单片(组)绝缘子在不同风速下的上表面灰密结果如图 6 所示。对于不同类型的绝缘子:不同风速下,三伞型瓷绝缘子的上表面灰密最大,复合绝缘子次之,长棒形瓷绝缘子最小;变化规律与平均灰密基本一致。

单片(组)绝缘子在不同风速下的下表面灰密结果如图 7 所示。对于不同类型的绝缘子:

1)不同风速下,复合绝缘子的下表面灰密比长棒形与三伞型瓷绝缘子都大。

2)考虑到试验数据采集误差,长棒形与三伞型瓷绝缘子下表面灰密相差很小,可视为相同。

3.3 分析与讨论

影响风洞模拟绝缘子带电积污试验结果的因素包括污秽物自身重力、所受电场力和风力。当风力较小时,重力或电场力对交流绝缘子的积污起主导作用;但随着风力的加大,风力逐渐对绝缘子积污起主导作用。对于直流,文献[12]指出:当风速较小时,电场强度对直流绝缘子的积污起主导作用,不同形状绝缘子的积污与电场强度有关;但随着风速的增加,风力逐渐对绝缘子积污起主导作用,此时由于不同形状绝缘子的空气动力学特性不同,积污会有很大的区别。

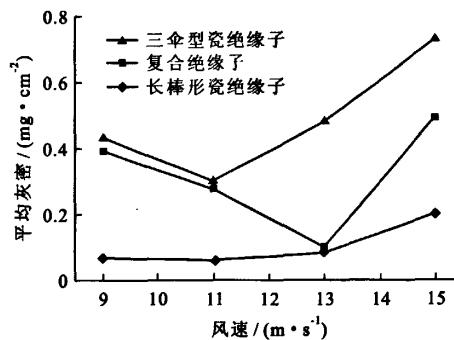


图 5 不同风速下绝缘子的平均灰密

Fig. 5 NSDD on whole surface of test insulators under different wind speed conditions

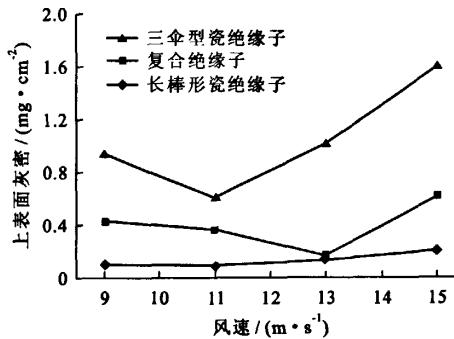


图 6 不同风速下绝缘子的上表面灰密

Fig. 6 NSDD on upper-surface of test insulators under different wind speed conditions

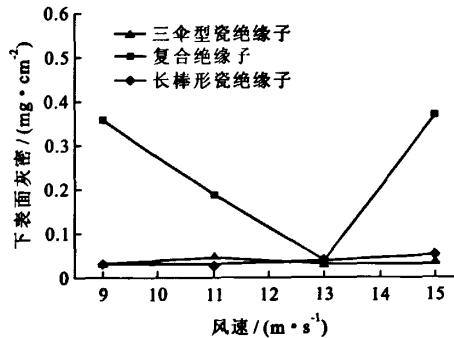


图 7 不同风速下绝缘子的下表面灰密

Fig. 7 NSDD on lower-surface of test insulators under different wind speed conditions

本文风洞模拟沙尘暴气候环境下,绝缘子的电场强度信息见表 2。3 种绝缘子的试验场强差别不大,在本文积污时间短且风速较大的条件下,电场的差异对于积污结果的差异可认为不起决定作用。由于大风速下电场对绝缘子积污已不起控制作用,风

表 2 试验绝缘子的直场场强

Tab. 2 DC stress on surface of test insulators

参数	长棒瓷	三伞瓷	复合绝缘子
型号	LP85/17+16/1380	XZSP —300	一大一小伞 (短样)
爬电比距 (mm·kV ⁻¹)	80.5	63.5	62.2
试验场强 (kV·m ⁻¹)	43.0	51.3	48.3

洞试验决定绝缘子表面积污状况的因素是风速,本文根据较高风速下的绝缘子积污结果,可比较沙尘暴气候环境下不同形状绝缘子的空气动力学特性。

由图 5~7 可知,同为棒形且其伞间距更大的复合绝缘子表面的积污无论是上表面还是下表面均明显大于长棒形瓷绝缘子,其原因可能是复合绝缘子表面电阻率高、表面光洁度较瓷绝缘子低,伞裙因与污秽颗粒摩擦带电而易吸灰的缘故。复合绝缘子的材料差异使其表面更容易积污,因此其积污性能差于长棒形瓷绝缘子。

由图 5~7 可知,由于三伞型瓷绝缘子每片第 2、第 3 个伞裙上表面背风侧出现了积污量最大的扇形区域,导致其平均和上表面的积污量均远大于长棒形瓷绝缘子;而下表面则二者积污情况基本一致。造成这种现象的原因是二者的结构差异。文献[25]进行的三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的流场数值模拟结果表明,三伞型瓷绝缘子盘后的流场出现较大范围的湍流,空气回流、湍流造成绝缘子积污的增加,而复合绝缘子的流动性能则明显好于前者。由于伞形结构与复合绝缘子相似,具有开放的伞形结构,在较高风速下长棒形瓷绝缘子上表面的积污及其分布明显好于三伞型瓷绝缘子,因此其在沙尘暴气候环境下空气动力学特性和积污特性优于三伞型瓷绝缘子。

综上所述,由于具有开放的伞形结构和光滑的瓷表面,在沙尘暴气候环境下,与三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子相比,长棒形瓷绝缘子具有最好的空气动力学性能和积污性能。

4 结论

本文综合分析了运行长棒形瓷绝缘子的积污特性,利用风洞模拟沙尘暴气候环境,试验研究了长棒形瓷绝缘子、三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子的伞形结构空气动力学性能,结果表明:

a) 在轻污秽地区长棒形瓷绝缘子的积污性能和自洁性优于盘型瓷绝缘子;重污秽地区的积污性能还需要开展大量研究工作。

b) 长棒形瓷绝缘子表面积污的饱和周期较短。

c) 沙尘暴气候环境下,三伞型瓷绝缘子每片第 2、第 3 个伞裙上表面背风侧会出现积污严重的扇形区域,积污量明显大于迎风侧。

d) 由于具有开放的伞形结构和光滑的瓷表面,在沙尘暴气候环境下,与三伞型瓷绝缘子和复合绝缘子相比,长棒形瓷绝缘子具有最优良的空气动力学性能和积污性能。

参 考 文 献

- [1] 吴光亚,蔡伟,卢燕龙,等. 直流输电线路绝缘子串片数的防污设计[J]. 高电压技术, 2001, 27(6): 51-53.
WU Guang-ya, CAI Wei, LU Yan-long, et al. Selection of numbers of insulator of pollution insulator strings for DC transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(6): 51-53.
- [2] 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 Zhi-yi, LIU Yan-sheng. 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.
- [3] 关志成,张福增,王新,等. 特高压直流输电线路外绝缘设计和绝缘子选型[J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 120-124.
GUAN Zhi-cheng, ZHANG Fu-zeng, WANG Xin, et al. Consideration on external insulation design and insulator selection of UHVDC transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(12): 120-124.
- [4] 吴光亚,郭贤珊,张锐. 特高压直流输电线路污秽外绝缘设计及配置[J]. 高电压技术, 2008, 34(5): 862-866.
WU Guang-ya, GUO Xian-shan, ZHANG Rui. Pollution external insulation design and arrangement of UHVDC transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(5): 862-866.
- [5] 宿志一,范建斌,谷琛,等. 高压直流换流站污秽水平预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(13): 1-5.
SU Zhi-yi, FAN Jian-bin, GU Chen, et al. The research of pollution level prediction method of HVDC converter stations[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(13): 1-5.
- [6] 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.
GU Le-guan, SUN Cai-xin. Polluted insulation of power system [M]. Chongqing, China: Chongqing University Press, 1990.
- [7] Wu D, Su Z. The correction factor between DC and AC pollution levels: review and proposal[C]//10th International Symposium on High Voltage Engineering. Montreal, Canada: [s. n.], 1997.
- [8] GB/T 16434-1996 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], 1996.
- [9] CIGRE TF 33.04.01. Polluted insulators: a review of current knowledge[M]. Paris, France: CIGRE, 2000.
- [10] IEC 60815-1-2002 Selection and dimensioning of high voltage for polluted conditions, part I: definitions, information and general principles[S], 2002.
- [11] Su Z Y, Liang X D, Yin Y, et al. Outdoor insulation selection

- method of HVDC lines[C]// 14th International Symposium on High Voltage Engineering. Beijing, China: [s. n.], 2007.
- [12] 范建斌,宿志一,李武峰,等.高压直流支柱绝缘子和套管伞形结构研究[J].中国电机工程学报,2007,27(21):1-6.
FAN Jian-bin, SU Zhi-yi, LI Wu-feng, et al. Research on profiles of HVDC post insulator and bushing[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(21): 1-6.
- [13] 高海峰,樊灵孟,李庆峰,等.±500 kV 高肇直流线路绝缘子积污特性对比分析[J].高电压技术,2010,36(3): 672-677.
GAO Hai-feng, FAN Ling-meng, LI Qing-feng, et al. Comparative analysis on pollution deposited performances of insulators on the ±500 kV Gao-Zhao DC transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (3): 672-677.
- [14] 钱之银,肖 峰.华东电网 500 kV 线路绝缘子人工和自然积污比较[J].高电压技术,2010, 36(3): 705-710.
QIAN Zhi-yin, XIAO Rong. Comparison between artificial pollution and nature pollution of 500 kV transmission line insulators in East China Grid [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(3): 705-710.
- [15] Zhou J G, Dong G, Imakoma T, et al. Contamination performance of outer-rib type suspension insulators[C]// Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Yokohama, Japan: IEEE/PES, 2002: 2185-2190.
- [16] 吴光亚,蔡 炜,张 锐,等.输电线路长棒型瓷绝缘子特性分析[J].高电压技术,2001, 27(2): 36-38.
WU Guang-ya, CAI Wei, ZHANG Rui, et al. Analysis of the characteristics for porcelain long rod insulators in transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(2): 36-38.
- [17] Chrzan K L, Vokalek J, Sklenicka V, et al. Pollution flash-over of long rod insulators with different profiles[C]// 13th International Symposium on High Voltage Engineering. Delft, Netherlands: [s. n.], 2003.
- [18] Seifert J M, Petrusch W, Janssen H. A comparison of the pollution performance of long rod and disc type HVDC insulators [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2007, 14(1): 125-129.
- [19] 武汉高压研究所.长棒形瓷绝缘子试验报告[R].武汉:国家电网公司武汉高压研究所,2004.
- [20] 无锡供电公司.长棒形瓷绝缘子试运行报告[R].无锡:江苏省电力公司无锡供电公司,2003.
- [21] Lampe W, Hoglund T K E, Nellis C L, 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): 248-259.
- [22] Zedan F M, Akabar M A. Performance of HV transmission line insulators in desert conditions, IV: study of insulators at a semicoastal site in the eastern region of Saudi Arabia[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1991, 6(1): 439-447.
- [23] 贺 博,万 军,陈邦发,等.人工模拟沙尘气候环境下线路绝缘子积污特性研究[J].西安交通大学学报,2008, 42(12): 1510-1514.
HE Bo, WAN Jun, CHEN Bang-fa, et al. Contamination depositing characteristics of suspension insulators under sand-storm circumstance simulated artificially[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(12): 1510-1514.
- [24] 贺 博,张 刚,陈邦发,等.沙尘环境对板-板电极气隙放电特性影响的模拟试验研究[J].中国科学:物理学力学天文学,2010, 40(3): 296-302.
HE Bo, ZHANG Gang, CHEN Bang-fa, et al. Experiment study on influence on plate-to-plate electrode gap discharge characteristic of sandstorm circumstance[J]. Scientia Sinica (Physica, Mechanica & Astronomica), 2010, 40(3): 296-302.
- [25] 谢从珍,张 尧,郝艳萍,等.±800 kV 特高压直流悬式复合绝缘子伞形的风洞模拟[J].高电压技术,2010, 36 (1): 212-217.
XIE Cong-zhen, ZHANG Yao, HAO Yan-peng, et al. Wind tunnel simulation on shed shape of ±800 kV UHV DC composite insulators[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (1): 212-217.

阳 林



YANG Lin
Ph. D. candidate

E-mail: lin.yb@mail.scut.edu.cn

郝艳萍



HAO Yan-peng
Post-doctorate
Associate professor
1974—,女,博士(后),副教授,博导
于 1998、2003 年分别获西安交通大学学士、
博士学位。2005 年从清华大学电机系博士后
出站。2005 年至今在华南理工大学电力学院
任教。获 2005 年度“全国百篇优秀博士学位
论文”,2008 年度“教育部新世纪优秀人才”。
主要从事关键电力设备绝缘状态诊断、电力
系统过电压及其防护、大气压介质阻挡放电
等研究。作为负责人承担 1 项国家“十一五”
科技支撑计划项目、1 项国家自然科学基金项
目研究和 1 项中央高校基本科研业务费专项资金项目等,作为主要研
究人员参与多项国家、省部级和横向项目研究

E-mail: yphao@mail.scut.edu.cn

李立涛建



LI Li-cheng
Professor
CAE member
1941—,男,教授,博导,中国工程院院士
1967 年毕业于清华大学电机系,现任中国南
方电网公司专家委员会秘书长,华南理工大
学教授,名誉院长。主要从事直流输电关键
技术、电力系统外绝缘、输电线路在线监测
和故障预警、电力系统过电压及其防护等研
究。主持的科研项目中获部级科技进步奖 5
项,授权专利 4 项
E-mail: lile@csg.cn

收稿日期 2010-08-21 修回日期 2010-10-18 编辑 任 明