

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.02.002

基于泄漏电流相位差的绝缘子污秽度表征方法研究

方春华¹, 周 毅¹, 贾伯岩², 王建国³, 樊亚东³, 汤世祥¹

(1. 三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 国网河北省电力公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021;
3. 武汉大学电气工程学院, 武汉 430072)

摘要: 针对电力系统运行中悬式绝缘子污秽度实时监测困难, 预测方法准确性不高。文中在多因子环境试验箱内对XP-70绝缘子进行大量人工污秽试验, 在非饱和湿度范围内控制湿度缓慢变化, 得到绝缘子泄漏电流与施加电压间的相位差(θ)变化规律及其与环境湿度(R_H)、盐密($ESDD$)和灰密($NSDD$)间的定量关系。指出 θ 与 R_H 呈现显著的负相关性, 特别是 $R_H > 65\%$ 后, θ 随 R_H 变化更为明显同时对污秽度变化较为敏感, 可作为反映绝缘子润湿程度和表面污秽度的表征。提出相位差与湿度变化范围的比值(k)可作为表征污秽度等级的参量, 测量 R_H 、 θ 后可通过 k 值与污秽度的关系式计算出绝缘子表面的污秽等级, 此方法可作为现场污秽度实时监测的有效手段。

关键词: 绝缘子; 泄漏电流; 相对湿度; 相位差; 等值附盐密度

Study of the Characterization Method of Insulator Contamination Degree Based on the Phase Difference of LC

FANG Chunhua¹, ZHOU Yi¹, JIA Boyan², WANG Jianguo³, FAN Yadong³, TANG Shixiang¹

(1. School of Electrical Engineering and New Energy, Sanxia University, Hubei Yichang 443002, China;
2. Electric Power Research Institute, State Grid Hebei Electric Power Company, Hebei Shijiazhuang 050021, China;
3. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to overcome the difficulties of real-time monitoring and the low accuracy of prediction technique to the pollution degree of suspension insulator in the power system operation, in this paper, large amount of artificial pollution experiments to the XP-70 insulator are done in multi-factor environmental test chamber. By changing the humidity slowly in the range of unsaturated humidity, the change law of phase difference(θ) of applied voltage and LC and the quantitative relationship between θ and ambient humidity(R_H), $ESDD$, $NSDD$ are obtained. The results are as follows: θ and R_H present a significant negative correlation, in particular, the correlation is more obvious when $R_H > 65\%$, meanwhile, θ is more sensitive to pollution degree change, hence θ could be a characterization to reflect the degree of wetting and surface contamination. The ratio (k) of θ and humidity range can be used as the parameter to characterize the degree of pollution. And the contamination level of insulator surface would be calculated using the relational expression after R_H , θ measured. This method can be used as an effective way for real-time monitoring of pollution degree.

Key words: insulator; leakage current; relative humidity; phase difference; equivalent salt deposit density

0 引言

输电线路绝缘子长期在户外环境下运行, 实时

收稿日期: 2015-10-19; 修回日期: 2015-11-26

基金项目: 国网河北省电力公司电力科学研究院科技项目(KJ2014-042); 三峡大学2015年硕士学位论文培优基金(2015PY041)。

Project Supported by Science and Technology Project of Hebei Electric Power Research Institute(KJ2014-042), Training Excellent Master's Degree Paper of China Three Gorges University in 2015(2015PY041).

掌握绝缘子表面的污秽状态对于提高供电可靠性具有重要意义^[1-2]。

长期以来,污秽度难以准确在线获取,而流经绝缘子表面的泄漏电流能综合反映污秽程度、受潮程度、绝缘子承受电压、性能和形状等因素,因此成为表征绝缘子外绝缘状态最具现实意义的评判标准^[3-10]。但泄漏电流的影响因素复杂多变,电流大小具有很大的随机性,分析难度较大。国内外学者提取电流特定的特征量来表征污秽度,文[11]中提取泄漏电流基波阻性分量来表示绝缘子的污秽程度,文[12]研究成果表明,在复合绝缘子老化试验中引入表面电阻评估绝缘子表面的污秽程度。这些研究成果为基于泄漏电流的污秽度监测提供研究基础和思路,但仍然缺少适合现场计算污秽度的方法或经验公式。

在晴朗无雨的天气条件下,绝缘子泄漏电流的大小与污秽程度和绝缘子受潮程度有关,而影响绝缘子表面受潮程度的因素中,空气相对湿度是最直接的物理量^[13-14]。空气相对湿度的大小直接影响到绝缘表面污层的润湿情况,进而影响泄漏电流的特性,因此可通过研究特殊环境(晴朗无雨的天气)时泄漏电流与污秽度、湿度的关系获得污秽度表征方法。

正弦的泄漏电流波形由阻性分量和容性分量组成,绝缘子表面干燥、污秽较少时以容性电流为主,随着表面污秽度的增加,电流阻性分量逐步增加。而绝缘子电压—电流相位差可以综合表征泄漏电流阻性分量和容性分量信息,进而可以反映污秽度和污秽润湿程度的变化^[15]。

文中利用多因子环境试验箱模拟自然环境,对绝缘子在不同污秽等级时泄漏电流与施加电压相位差和湿度的关系进行了研究,结果表明:相位差与相对湿度呈现显著的负相关性,可以较好地反映绝缘子表面污秽度和润湿程度;利用相位差与湿度变化的比值对绝缘子表面污秽度进行计算和评估具有很好的参考价值。

1 试验原理及方法

1.1 试验原理

试验在多因子综合环境试验箱(图1)进行,试验接线见图2。高压电源通过穿墙套管引入多因子综合环境试验箱中,通过高压分压器测量交流电压并将电压波形连接到数据采集系统,泄漏电流通过泄漏电流传感器转换为电压信号后送入数据采集系统。实验过程中温度和湿度由误差在 $\pm 1\%$ 的高精度

温湿度传感器测量,并实时传入数据采集系统。泄漏电流采集软件实时存储、显示电压电流波形和温湿度数据。



图1 环境试验箱及加压装置

Fig. 1 Environmental test chamber and a pressure device

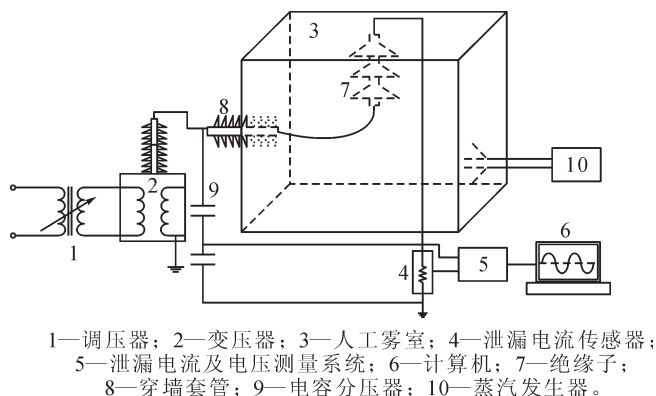


图2 试验接线原理图

Fig. 2 Schematic plan of cording diagram

试品为XP-70绝缘子,见图3,XP-70结构高度 H 为14.6 cm,直径 D 为25.5 cm,爬距为29.5 cm。采用恒压法试验,按2 kV/cm施加电压。

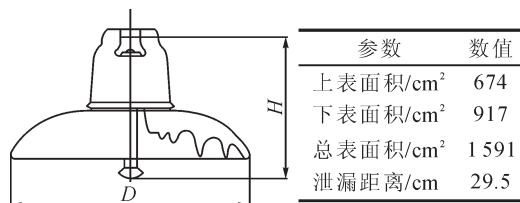


图3 XP-70绝缘子外形及参数

Fig. 3 XP-70 outline drawing and shape parameters

1.2 涂污方法

采用固体涂层法^[16-20]染污,污秽物分别由可溶性盐NaCl和不溶性物质硅藻土组成,涂污时用定量涂刷法。试验前须处理试品,清除其表面所有污垢和油脂。然后将清洗后的试品晾干。根据试品所需的ESDD、NSDD以及试品表面积,计算出每只试

品所需的可溶性盐和不溶性物质的量。用精度为 0.1 mg 的电子秤称量, 然后在小烧杯中加入适量去离子水, 用小排刷进行充分搅拌, 呈现糊状, 将糊状污液用小排刷均匀的涂刷于试样表面, 在涂污过程中, 注意尽量均匀, 不能出现严重分块积污情况。绝缘子涂污后在多因子环境试验箱内静置 24 h 再开始进行试验。盐密和灰密的配比见表 1。

表1 盐密和灰密配比表

Table 1 ESDD and NSDD proportion table

污秽等级	ESDD/(mg·cm ⁻²)	NSDD/(mg·cm ⁻²)
c	0.05	2.0
d1	0.10	2.0
d2	0.20	0.5
d3	0.20	1.0
e	0.20	2.0

1.3 环境温、湿度控制

表面污秽随机地分布于绝缘物表面, 当环境湿度的增加, 污秽吸湿, 污层电阻减小, 泄漏电流增大, 表面发热; 当环境湿度减小时, 污秽吸湿的速率减小, 泄漏电流相应变小, 发热蒸发水分的速率也减小, 最后发热蒸发水分同吸湿会达到动态平衡, 泄漏电流会稳定在一定的数值。

为获得湿度变化时泄漏电流达到动态平衡的时间。试验时将湿度由 95% 快速变化为 75%, 监测电流相位差稳定时间, 见图 4, 湿度平均每变化 1%, 需要 2.5 min。不同污秽度试验数据点读取时间间隔均为 3 min。

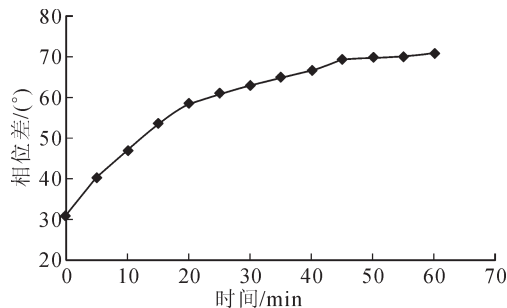


图4 相位差稳定时间

Fig. 4 Phase difference stable time

2 泄漏电流相位差提取

绝缘子泄漏电流和施加电压相位差(θ)实际为泄漏电流基波相位同电压基波相位之间的差^[21-23]。在正常情况下泄漏电流大小在几十微安到几百微安, 电流波形容易受到干扰。相位差是基于电压和电流基波, 信号处理流程简单, 提取不受外界干扰, 极大提高了信号精度。

泄漏电流相位差示意图见图 5, θ_{is0} 为泄漏电流

基波分量相位, θ_{u50} 为施加电压基波分量相位, $\theta = \theta_{is0} - \theta_{u50}$ 。

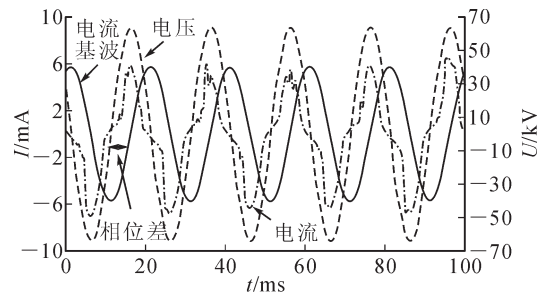


图5 泄漏电流相位差示意图

Fig. 5 Schematic diagram of current and voltage phase difference

相位差计算是通过将 5 个周波的电压—泄漏电流进行 FFT 变化后, 提取基波的相位相减而得到的, 设输入电压电流信号分别为 $u(t)$ 和 $i(t)$, 可得式 (1)、(2)。

$$u(t) = u_0 + \sum_{k=1}^{\infty} u_{km} \sin(k\omega t + \theta_{uk}); \quad (1)$$

$$u(k) = DFT[u(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} u(n) e^{-j \frac{2\pi n k}{N}} =$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} u(n) [\cos(2\pi k n / N) - j \sin(2\pi k n / N)] = \text{Re}[u(k)] + j \text{Im}[u(k)]. \quad (2)$$

基波相位为 $\tan \theta_k = \text{Im}[u(k)] / \text{Re}[u(k)]$, 其中 $k = f_0 N / f_s + 1$, f_s 是采样频率, N 是采样点。

3 污秽度对相位差的影响

温度为 25° 时不同 ESDD 和不同 NSDD 时相位差变化曲线见图 6、7。

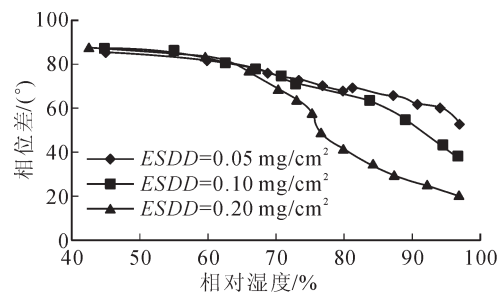
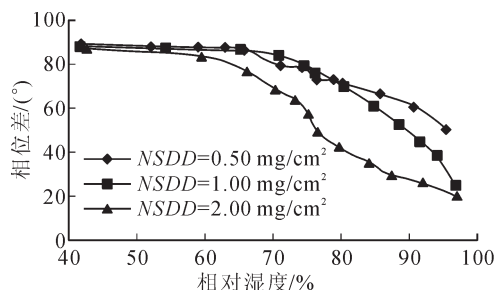


图6 不同 ESDD 时相位差变化曲线(NSDD=2.0 mg/cm²)

Fig. 6 Phase difference of different ESDD (NSDD=2.0 mg/cm²)

当相对湿度 $R_H < 65\%$ 时, 不同 NSDD 和 ESDD 的绝缘子相位差非常接近, 且随着相对湿度的增加, 3 种 NSDD 和 3 种 ESDD 的绝缘子相位差变化趋势基本相同; $R_H > 65\%$ 时, 随着相对湿度增加, 相位差明显快速下降, 且 NSDD 越大, 对应相位差随相对湿度的增加下降越明显, ESDD 越大, 对应相位差随相

图7 不同NSDD时相位差变化曲线($ESDD=0.2 \text{ mg/cm}^2$)Fig. 7 Phase difference of different NSDD
($ESDD=0.2 \text{ mg/cm}^2$)

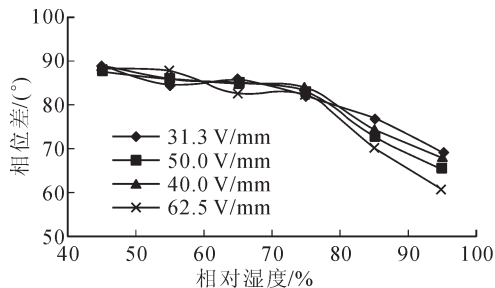
对湿度的增加下降越明显,也就是说,在 R_H 一定的情况下,相位差随着NSDD和ESDD的增大而减小。

NSDD对相位差影响规律类似于ESDD,绝缘子表面的污秽不溶物虽本身并不导电,但它保持的水分却可以溶解电解质,增大污秽导电率。随着附着在绝缘子表面不溶物的增加,绝缘子表面所吸收的水分越多,形成了更厚的水膜,降低染污绝缘子表面电阻,导致泄漏电流和相位差的增大。

4 电压梯度对相位差的影响

现场运行绝缘子电压等级和串长存在一定差异,为研究电压梯度对相位差的影响。文中施加4种不同的电压梯度62.5、50.0、40.0、31.3 V/m,对应绝缘子爬电比距分别为1.6、2.0、2.5、3.2 cm/kV,试验 $ESDD=0.1 \text{ mg/cm}^2$, $NSDD=1.0 \text{ mg/cm}^2$ 。

不同电压梯度下 θ 变化曲线见图8。在不同电压梯度下, θ 与 R_H 关系均能满足第4节中的对应关系。当电压从18.4 kV变化到8.2 kV时, θ 在60°至89°间变化,当 $R_H < 65\%$ 时,不同电压梯度下,几乎没有区别,当 $R_H > 65\%$ 后, θ 随着施加电压,不同电压梯度间的 θ 有所区别,在 R_H 达到95%时,最低相位梯度与最高相位梯度 θ 相差11.9%。

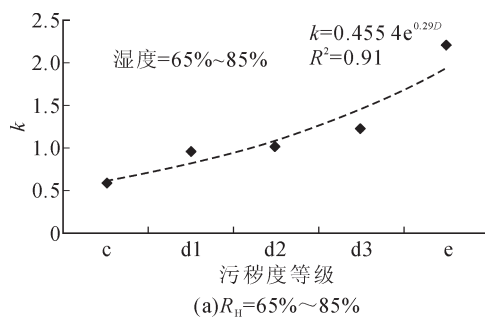
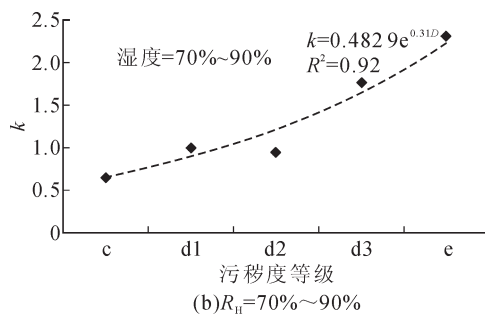
图8 不同电压梯度时相位差($ESDD=0.1 \text{ mg/cm}^2$, $NSDD=1.0 \text{ mg/cm}^2$)Fig. 8 Phase difference with different voltage gradient
($ESDD=0.1 \text{ mg/cm}^2$, $NSDD=1.0 \text{ mg/cm}^2$)

电压梯度不同,相同污秽度和湿度时泄漏电大小会有较大差异,但对 θ 影响较小,可以忽略。

5 k 与污秽度的关系

通过3、4节的分析可知, R_H 小于65%时泄漏电流的幅值和 θ 均变化较小,不适合作为污秽度表征方法的有效数据, R_H 大于65%后,泄漏电流与 θ 、 R_H 有较强的关系,而且不同污秽度时区分明显。

但 R_H 范围不同时, θ 变化幅度也不一样,因而要以 θ 作为污秽度的表征,必须确定 R_H 的变化范围。正常天气下湿度较少在短时间内从65%变化至100%,选取经常出现的湿度天气65%~85%,70%~90%。定义 $k=\Delta\theta/\Delta R_H$, $\Delta\theta$ 为相位差 θ 变化范围, ΔR_H 为湿度变化范围,其中不同污秽度下 k 值见图9。

(a) $R_H=65\% \sim 85\%$ (b) $R_H=70\% \sim 90\%$ 图9 污秽度等级与 k 的关系Fig. 9 The relationship between the degree of pollution and the k

将污秽度与 k 拟合,分别获得两拟合表达式 $k=0.455 4e^{0.29D}$ (65%~85%); $k=0.482 9e^{0.31D}$ (70%~90%)。 R_H 变化范围不同拟合式的系数存在一定的差异,总的来说,在 R_H 变化幅度相同时,起始 R_H 越大,拟合式的系数也越大。

6 结论

通过多因子环境箱内对悬式绝缘子,在非饱和和湿润条件下试验,主要结论有:

1)绝缘子表面污秽和湿润程度的变化将引起绝缘子泄漏电流阻性分量和容性分量相互变化,综合表现在相位差的变化,相位差与相对湿度呈现显著的负相关性,当湿度增加时,相位差减小,湿度减小时,相位差增大。

2)泄漏电流相位差是绝缘子表面污秽程度、润

湿程度综合的反映,在 R_H 一定的情况下,相位差随着 $NSDD$ 和 $ESDD$ 的增大而减小。

3)相位差与湿度变化的比值可作为表征污秽度等级的参量,通过测量晴天环境下湿度与泄漏电流,通过 k 值与污秽度的关系式计算出绝缘子表面的污秽等级。

参考文献:

- [1] 宿志一. 防止大面积污闪的根本出路是提高电网的基本外绝缘水平——对我国电网大面积污闪事故的反思[J]. 中国电力, 2003, 36(12): 57-61.
SU Zhiyi. To intensify basic external insulation level of power system-fundamental way for prevention of large-scale pollution flashover[J]. Electric Power, 2003, 36(12): 57-61.
- [2] 高勇宽. 绝缘子泄漏电流数据特征量提取算法的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
GAO Yongkuan. The research of extraction algorithms of insulators leakage current data characteristics[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [3] 苗鹏超, 徐志钊. 输电线路绝缘子泄漏电流特征量提取综述[J]. 高压电器, 2014, 50(8): 127-138.
MIAO Pengchao, XU Zhiniu. Summary of the transmission line insulator leakage current characteristics extraction[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(8): 127-138.
- [4] 聂一雄, 尹项根, 刘春, 等. 用模糊逻辑方法对绝缘子串在线检测结果的评定[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 131-136.
NIE Yixiong, YIN Xianggen, LIU Chun, et al. Evaluation on the on-line detection results of insulator strings using fuzzy logic method[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 131-136.
- [5] MONTAYA G, RAMIREZ I, FIERRO-CHAVEZ J L. Correlation among $ESDD$, $NSDD$ and leakage current in distribution insulators[J]. IEEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution, 2004, 151(3): 334-340.
- [6] 何相佑, 向凤红, 忽建蕊. 基于模糊输出 BP 神经网络的绝缘子等值盐密预测[J]. 陕西电力, 2008, 36(5): 1-4.
HE Xiangyou, XIANG Fenghong, HU Jianrui. $ESDD$ prediction of insulator based on fuzzy math & BP artificial neural network[J]. Shaanxi Electric Power, 2008, 36(5): 1-4.
- [7] MAO Yingke, GUAN Zhicheng, WANG Liming, et al. Frequency characters of leakage current on the surface of outdoor insulators in different relative humidity[C]//IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Xi'an, China: IEEE, 2006: 692-695.
- [8] 乐波, 王黎明, 毛颖科. 污秽绝缘子高频泄漏电流特征的研究[J]. 高压电器, 2005, 41(6): 401-404.
YUE Bo, WANG Liming, MAO Yingke. Study on the characteristics of high frequency leakage current of contaminated insulator[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(6): 401-404.
- [9] 关志成, 毛颖科, 王黎明. 污秽绝缘子泄漏电流特性研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(1): 1-6.
GUAN Zhicheng, MAO Yingke, WANG Liming. Review on leakage current characteristics of contamination insulators[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(1): 1-6.
- [10] 毛颖科, 关志成, 王黎明, 等. 基于泄漏电流脉冲主成分分析的外绝缘污秽状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(8): 39-45.
MAO Yingke, GUAN Zhicheng, WANG Liming, et al. Evaluation of contamination levels of outdoor insulators based on the principal components analysis of leakage current pulses[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(8): 39-45.
- [11] 张晋, 汲胜昌, 欧小波, 等. 基于泄漏电流基波阻性分量的绝缘子污秽度表示方法的研究[J]. 高压电器, 2010, 46(6): 29-33.
ZHANG Jin, JI Shengchang, OU Xiaobo, et al. Representation method of insulator pollution degree based on leakage current fundamental resistive component[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(6): 29-33.
- [12] QUE W, CASALE E P, SEBO S A. Voltage-current phase angle measurements during aging tests of polymer insulators[C]//2002 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Chicago, USA. Department of Electrical Engineering and S & C Electric Company. [S.l.]: IEEE, 2002: 367-370.
- [13] 戴云航, 王志刚, 杜欣慧, 等. LXY-120 型绝缘子在不同湿度下泄漏电流特性的研究[J]. 华东电力, 2006, 34(9): 27-29.
DAI Yunhang, WANG Zhigang, DU Xinhui, et al. Leakage current characteristics of LXY-120 isolators exposing to different humidity[J]. East China Electric Power, 2006, 34(9): 27-29.
- [14] 梅红伟, 毛颖科, 卞星明, 等. 相对湿度对绝缘子泄漏电流最大值的影响[J]. 高电压技术, 2010, 36(3): 627-631.
MEI Hongwei, MAO Yingke, BIAN Xingming, et al. Effect of relative humidity on the maximum leakage current of insulators[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(3): 627-631.
- [15] 吕健双, 文远芳, 文康珍, 等. 单片绝缘子泄漏电流阻容分量研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(5): 135-138.
LYU Jianshuang, WEN Yuanfang, WEN Kangzhen, et al. Analysis of resistive and capacitive component of leakage current for single insulator[J]. Water Resources and Power, 2010, 28(5): 135-138.
- [16] IEC 60507—1991 Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on AC systems[S]. 1991.

- [17] GB/T 4585—2004 交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验[S].2004.
GB/T 4585—2004 Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on AC systems[S]. 2004.
- [18] 廖青华,吕 葵,唐林权. 基于灰靶理论的高压绝缘子污秽状态综合评判[J]. 电瓷避雷器,2012(3):9-14.
LIAO Qinghua,LYU Yan,TANG Linquan. Synthetic evaluation of high voltage insulator pollution state based on grey target theory[J]. Insulators and Surge Arresters,2012 (3):9-14.
- [19] 丁 龙,郝虎在,吕玉祥,等. 基于支持向量机回归法的绝缘子污闪电压预测研究[J]. 电瓷避雷器,2014(1): 23-25.
DING Long,HAO Huzai,LYU Yuxiang,et al. Research on the prediction of the pollution flashover voltage of insulators based on support vector machine regression[J]. Insulators and Surge Arresters,2014(1):23-25.
- [20] 黄成才,李永刚. 基于复合绝缘子污闪模型的闪络特性分析[J]. 电瓷避雷器,2014(4):31-35.
HUANG Chengcai,LI Yonggang. Analysis on flashover characteristics based on pollution flashover model of composite insulator[J]. Insulators and Surge Arresters,2014 (4):31-35.
- [21] 蒋兴良,石 岩,黄 欢,等. 污秽绝缘子泄漏电流频率和相位特征的试验研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30 (7):118-124.
JIANG Xingliang,SHI Yan,HUANG Huan,et al. Experimental research on the frequency and phase characteristics of leakage current of artificially polluted insulators[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(7):118-124.
- [22] 赵新德. 人工污秽绝缘子泄漏电流、湿度、盐密关系及对比研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2008.
ZHAO Xinde. Research on correlation among equivalent salt deposit density,relative humidity and leakage current in artificially polluted insulators[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology,2008.
- [23] 宋 毅. 冷雾环境下绝缘子污层饱和湿润特性分析[J]. 高压电器,2014,50(11):122-127.
SONG Yi. Analysis on saturated wetting characteristic of pollution layer on insulator in cold fog environment[J]. High Voltage Apparatus,2014,50(11): 122-127.
- 方春华(1980—),男,博士,讲师,主要从事高电压绝缘与在线监测技术方面的研究工作。

(上接第6页)

- [16] 王淑平. GIS中电磁式电压互感器铁磁谐振分析[J]. 高压电器,2014,50(6):118-123.
WANG Shuping. Ferromagnetic resonance analysis of voltage transformer in GIS[J]. High Voltage Apparatus,2014, 50(6):118-123.
- [17] 李宗垒. 电力机车诱发牵引系统谐振过电压研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
LI Zonglei. Research on resonance overvoltage of traction power supply system caused by electric locomotive[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2014.
- [18] 冉 旺,李 雄,刘 冰,等. 地面自动过分相中开关切换的瞬态过程研究[J]. 电工技术学报,2011,26(11):150-154.
RAN Wang,LI Xiong,LIU Bing,et al. Research on transient process of ground's auto-passing neutral section at switching time[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2011,26(11):150-154.
- [19] 刘建强,郑琼林,杨其林. 高速列车牵引传动系统与牵引网谐振机理[J]. 电工技术学报,2013,28(4):221-227.
LIU Jianqiang,ZHENG Qionglin,YANG Qilin. Resonance mechanism between traction drive system of high-speed train and traction network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2013,28(4):221-227.
- [20] 吴 昊. 车体浪涌过电压[D]. 成都:西南交通大学,2013.
WU Hao. Research on vehicle body over-voltage surge[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2013.
- 律方成(1963—),男,博士,教授,博导,主要从事电气设备绝缘机理、电气设备在线监测与故障诊断、电气设备状态检修等方面的研究。
- 韩 芳(1987—),女,硕士研究生,主要从事高电压与绝缘技术研究。