

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.06.014

输电线路用绝缘护套试验研究

董新胜, 张 东, 朱章甫, 庄文兵, 周利兵

(国网新疆电力公司电力科学研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 为了减少输电线路因鸟粪跳闸, 现采用绝缘护套增加线路绝缘以弥补其他防鸟措施的不足, 但在绝缘护套进行试验时发现绝缘护套的粘接方式、安装距离对其绝缘性能有较大的影响。为了使绝缘护套的性能达到最优, 通过试验分析了绝缘护套粘接方式和安装距离对绝缘护套绝缘性能的影响, 得出了绝缘护套在粘接时应当在绝缘护套的凹槽和凸棱两侧都应当涂粘接剂, 绝缘护套安装后裸露导体距离与可能出现鸟粪的距离最小应当大于 60 cm; 同时利用 ANSYS 对不同的粘接方式、不同长度的绝缘护套和安装效果进行了仿真, 仿真结果与试验结果较为吻合。对现场安装方式和安装效果进行了分析, 从现场运行效果来看, 线路安装绝缘护套可以有效防止鸟粪闪络。通过以上分析, 为绝缘护套在现场安装中提供了指导, 同时也为不同类型的绝缘护套试验提供了指导。

摘要: 绝缘护套; 鸟粪; 有限元; 电场强度

Analysis on the Insulating Sheath Test for Transmission Line

DONG Xinsheng, ZHANG Dong, ZHU Zhangfu, ZHUANG Wenbing, ZHOU Libing

(State Grid Electric Power Research Institute of Xinjiang Electric Power Company, Urumqi 830011, China)

Abstract: To reduce the tripping operation of transmission lines due to bird droppings, insulating sheath is adopted to compensate shortcomings of other anti-bird measures. Tests of insulating sheath showed that bonding method and installation distance impose significant effects on insulation property of the sheath. In this study, the effects of the bonding method and installation distance on insulation property of insulating sheath were analyzed experimentally to achieve optimal insulation performance. The results show that it is necessary to brush adhesive on the groove and both convex sides of the sheath in bonding process, and the minimum distance from the bare conductor to the possible place of bird droppings should be greater than 60 cm after installation of insulating sheath. Moreover, the finite element analysis software ANSYS was employed to simulate the insulating sheaths with different bonding methods and lengths and to investigate their installation performances. The simulation results are in good agreement with the experimental ones. On-site application of the insulating sheath demonstrates that it can effectively prevent bird droppings-induced flashover.

Key words: insulating sheath; droppings; ANSYS; electric field strength

0 引言

随着人类越来越注重环境保护, 野生动物生存

环境越来越好, 鸟类数量越来越多。同时电网建设步伐越来越快, 输电线路越来越密集, 鸟类活动对电网的影响也越来越大^[1-2]。输电线路因涉鸟故障呈现出

收稿日期:2016-02-12; 修回日期:2016-03-28

基金项目:国家自然科学基金(50977095); 国家电网 2013 科技资助项目(5230HQ1303HT)。

Project Supported by National Natural and Science Foundation of China(50977095), Science and Technology Project of SGCC (5230HQ1303HT)。

逐年增多的趋势,严重威胁着电网的安全运行^[3]。国内外学者对涉鸟故障原因和鸟类习性开展了深入的研究^[4-5],将涉鸟故障总结为大形鸟展翅时造成空气间隙距离不足、鸟类粪便造成绝缘子表面污染进而在绝缘子受潮时发生闪络和大型鸟类横担上排便造成绝缘子沿面闪络 3 种。从新疆电力公司近年来的统计数据来看,鸟害造成输电线路跳闸的故障仅次于外力破坏,居电网故障原因的第二位,发生涉鸟跳闸的主要为 110、220 kV 线路,造成输电线路跳闸的鸟类往往是大型鸟排便造成绝缘子闪络。

为了防止 110、220 kV 线路鸟粪闪络,现在采用较多的措施为在杆塔上安装防鸟刺、防鸟挡板和使用智能驱鸟器等^[6-8],这些措施都是防止鸟落在杆塔上排便以解决线路因鸟粪闪络,但在实际应用中还是有因装置安装不当造成线路跳闸的事件发生^[9-9]。目前又采用了一种新的措施,在线路上安装绝缘护套,以增加线路的绝缘性能防止鸟粪闪络。

1 试验方法

为了验证导线用绝缘护套的工频耐压能力,根据 GB/T 3408.8—2007《电线电缆性能试验方法第 8 部分:交流电压试验》的空气绝缘距离试验要求^[10],设计的试验装置见图 1。图 1 中绝缘护套穿在导体上,导体由绝缘杆进行支撑。在导体下方设置有绝缘带,绝缘带可上下移动,在绝缘带中间放置导体并将导体接地,绝缘带上导体长度为 10 cm,宽度为 1 cm,绝缘带上导体距离绝缘护套距离为 10 cm。

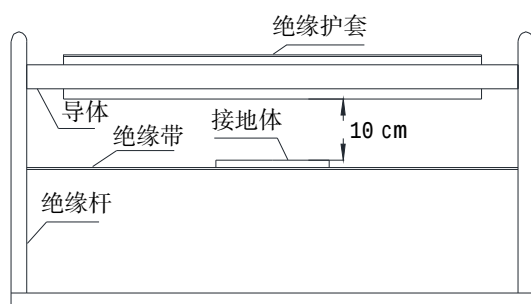


图 1 绝缘护套空间绝缘距离试验原理图

Fig. 1 Insulating sheath space insulation distance test diagram

试验时在导体上施加电压,施加电压速度 10 kV/min,该试验所用绝缘护套厚度为 4.42 mm 适用于 110、220 kV 电压等级的线路,在上述试验条件下,4.42 mm 厚的绝缘护套可以承受工频 72 kV 的电压,满足鸟粪从绝缘子附近下落时绝缘子不闪络。

2 粘接方式的影响

线路用绝缘护套打开后见图 2,图 2 中上下两

侧可以扣起来。

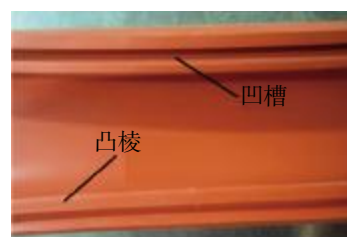


图 2 绝缘护套打开图

Fig. 2 The graph insulating sheath open

2.1 不涂粘接剂

对线路用绝缘护套仅扣住不用粘接剂粘接的情况下,将绝缘护套穿在导体上对地 10 cm 对导体施加电压,施加电压在 45 kV 左右时绝缘护套发生击穿。对比导体不加绝缘护套时击穿电压约为 31 kV,线路击穿电压有所提高,但还是达不到要求的 72 kV 电压耐受能力。由此可见,线路用绝缘护套在不粘接的情况下不能满足使用要求,需要对其开口处进行粘接。

在对线路用绝缘护套进行粘接时,粘接剂可以放在图 2 上侧的凹槽内,也可以放在图 2 下侧凸棱的两侧。下面分析粘接剂所放位置不同与耐受电压的关系。

2.2 在凹槽处涂粘接剂

试验所用粘接剂材料与绝缘套管材料一样,涂完等待 24 h 再进行试验。首先分析将粘接剂放在图 2 上侧的凹槽里,然后再将线路用绝缘护套合上,在合缝处也涂粘接剂,如果在凹槽所放粘接剂较少,合上后从绝缘护套内侧看可能会留有缝隙,见图 3,若内侧留有缝隙,其击穿电压约为 62 kV,不能满足要求。由于外侧缝处较深,再在外面涂粘接剂可能会造成原来看起来是涂好的,但干燥后会在外表出现类似图 4 的小孔,在内侧良好而外侧有图 4 小孔时绝缘护套的击穿电压约为 54 kV,也不能达到要求。

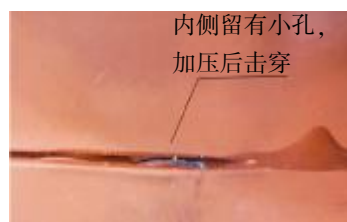


图 3 内侧没涂好留有小孔

Fig. 3 The inside is not painted a good left holes

2.3 在凸棱两侧涂粘接剂

在凸棱两侧涂粘接剂,凝固后护套外侧见图 5,切开后内侧见图 6。从图 5、6 中可以看出,该粘接剂涂法可以保证粘接部分从内外侧都是良好的,不会出现粘接后内外侧出现小孔的情况。但是由于凹槽

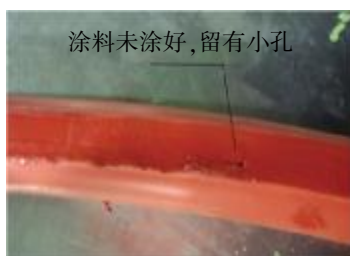


图 4 外侧没涂好留有小孔

Fig. 4 Not painted a good left outer holes

内没有涂粘接剂, 在粘接好后凹槽内和凸棱间不会粘接在一起。此时对绝缘护套进行加压, 其击穿电压为 68 kV 左右, 还是不能满足耐压 72 kV 的要求。造成只在凸棱两侧涂粘接剂耐压达不到要求的可能原因是凹槽内有空气, 下面将凹槽也用粘接剂填满再进行试验。



图 5 粘接良好后外侧

Fig. 5 Good adhesion to the outside after



图 6 粘接良好后内侧

Fig. 6 Good adhesion to the inside after

2.4 在凹槽和凸棱两侧都涂粘接剂

由上面的分析可知, 为了避免粘接后合缝处的小孔和凹槽内的空气, 应当在凹槽和凸棱两侧都涂粘接剂。此时涂粘接剂应当将凹槽涂满, 在凸棱两侧涂约 1 mm 厚既可, 然后再将绝缘护套合上等待粘接剂凝固, 凝固后时行工频耐压试验。此次绝缘护套通过了 1 min 72 kV 电压耐受。但在试验中发现绝缘护套较短时放电首先发生在导电杆对地, 下面研究绝缘护套长度对放电部位的影响。

3 最短安装距离确定

将绝缘护套截成不同的长度, 其长度从 80 cm 开始, 每次增加 10 cm, 最长为 150 cm。将不同长度的护套按第 2 节中的正常的绝缘护套粘接方式进行粘接, 然后对不同长度的绝缘护套进行对地耐压试验。该试验施加电压为 72 kV, 在试验中观察放电位

置, 直至 72 kV 试验电压下试验装置加压导体对接地体不放电, 试验结果见表 1。

表 1 试品长度不同时放电位置表

Table 1 Sample length is not the same discharge location table

试品长度/cm	放电位置
80	导体对地
90	导体对地
100	导体对地
110	导体对地
120	导体对地
130	不放电
140	不放电
150	不放电

从表 1 中可以看出, 在试品长度小于等于 120 cm 时, 施加 72 kV 电压时试验装置加压导体总是对接地体先放电, 在试品长度大于等于 130 cm 时在试验电压 72 kV 时将不发生放电。考虑接地体长度 10 cm, 既绝缘护套长度距离可能出现接地体最小应当为 60 cm。

4 仿真分析

ANSYS 有限元软件在电场仿真计算中有使用非常广泛^[11-12], 同时其与 CAD 具有良好的接口。使用 CAD 根据实验原理建立仿真模型见图 7, 然后将建好模型导入 ANSYS。所有材料都选取 3D Brick122 模型^[13-14], 在仿真中空气介电常数取 1, 绝缘护套介电常数取 3.2, 导体介电常数最无穷大, 施加荷载为导体施加交流电压 72 kV, 接地体施加 0 V。分别仿真计算了绝缘护套长度不同时的电场, 绝缘护套外侧有小孔和内侧有小孔及完好时的电场。

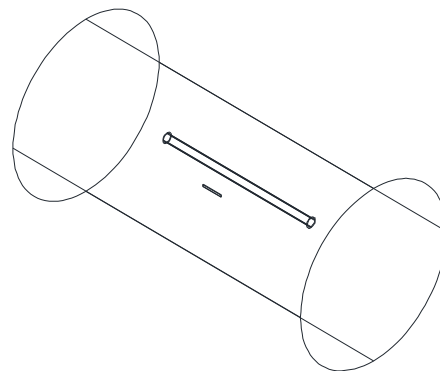


图 7 绝缘护套仿真模型

Fig. 7 Insulating sheath simulation model

4.1 绝缘护套安装影响因素分析

粘接完好绝缘护套长度为 80、160 cm 时绝缘护套周围的场强见图 8、9。从图 8 中可以看出, 绝缘护

套长度为 80 cm 时护套周围电场强度最大达 35 kV/cm, 且最大场强成一环状包括在绝缘护套外侧达到空气击穿场强 3 kV/cm, 会造成空气击穿而引起导体对地放电。绝缘护套所承受场强最大为 1.5 kV/cm, 达不到绝缘护套击穿场强; 从图 9 可以看出, 绝缘护套长度为 160 cm 时最大电场强度才 0.04 kV/cm, 不会造成空气或绝缘护套击穿放电。但是从图 9 可以看出, 由于在导体末端没有采取均压措施, 导体末端电场强度较为不均匀, 在以下的绝缘护套粘接不好的情况进行分析时, 不再考虑末端电场, 主要对粘接不好存在小孔的地方的电场进行分析, 且导体和绝缘护套的长度都选取为 160 cm。

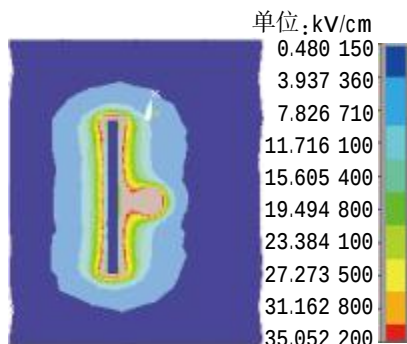


图 8 绝缘护套长 80 cm 时电场分布图
Fig. 8 80 cm long insulating sheath electric field distribution

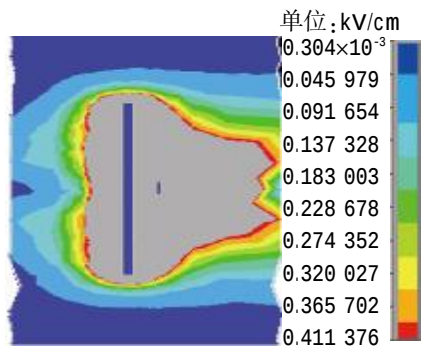


图 9 绝缘护套长 160 cm 时电场分布图

Fig. 9 160 cm long insulating sheath electric field distribution

绝缘护套外侧带小孔时绝缘护套附近电场分布见图 10, 图 10 中绝缘护套小孔位于接地中间位置左右, 但小孔没穿透。从图 10 中可以看出, 小孔附近和接地体附近电场强度最大为 49.7 kV/cm, 达到空气击穿场强, 击穿绝缘护套, 造成导体对地放电。

绝缘护套内侧带小孔时绝缘护套附近电场分布见图 11, 图 11 中绝缘护套小孔位于接地中间位置左右, 但小孔没穿透。从图 11 中可以看出, 小孔附近和接地体附近电场强度最大为 24.5 kV/cm, 达到空气击穿场强, 击穿绝缘护套, 造成导体对地放电。对比图 10、11 可以看出, 内侧带小孔时电场强度小于

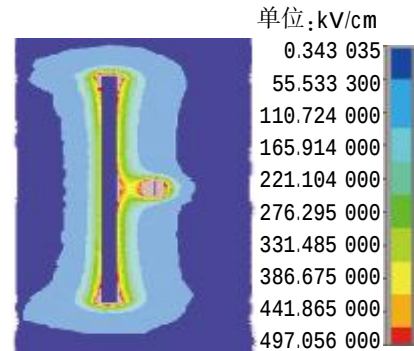


图 10 绝缘护套外侧带小孔电场仿真结果图

Fig. 10 The outer insulating sheath electric field simulation results with small holes Figure

外侧带小孔时的电场强度, 这与试验中外侧带小孔时击穿电压较低的结果较为吻合。

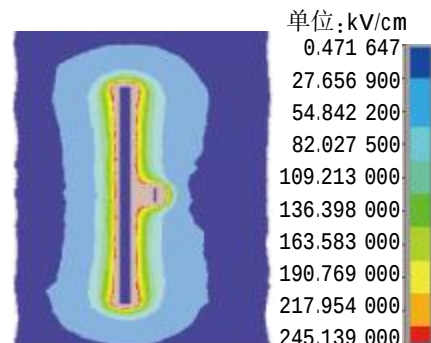


图 11 绝缘护套内侧带小孔电场分布图
Fig. 11 Insulating sheath electric field distribution inside of the belt holes

4.2 绝缘护套安装效果对比分析

不带绝缘护套时接地体附近电场分布见图 12。从图 12 中可以看出, 不带绝缘护套时接地体附近电场强度最大为 25.5 kV/cm, 达到空气击穿场强, 会造成绝缘护套击穿, 造成导体对地放电。对比图 9、12 可以看出, 导线带绝缘护套会很大程度上降低导线附近电场, 对于防鸟粪闪络有较好的抑制作用。

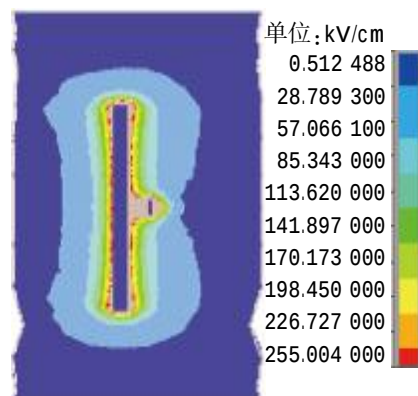


图 12 未安装绝缘护套电场分布图

Fig. 12 Insulating sheath electric field distribution is not installed

5 现场安装及效果

绝缘护套现场安装情况见图 13, 前面只介绍了绝缘护套在线路上的安装情况, 对于现场安装, 应当把所有金具都包括起来。如果存在裸露导体, 则相当于绝缘护套存在小孔, 横担上有鸟粪落下时还会造成绝缘子闪络; 同时包括复合绝缘子金具时应当将绝缘护套与复合绝缘子粘接在一起。对于安装良好的绝缘护套, 从运行效果来看, 现场安装的线路在安装绝缘护套前几乎每年秋季都会因鸟粪闪络, 在 2013 年春季进行安装绝缘护套改造后, 经过 2 年的运行经验, 没有发生过因鸟粪闪络的事故。



图 13 绝缘护套现场安装图

Fig. 13 Insulating sheath on-site installation diagram

6 结语

根据 GB/T 3408.8—2007《电线电缆性能试验方法第 8 部分: 交流电压试验》的空气绝缘距离试验要求, 设计了绝缘护套空气绝缘距离试验装置, 但在绝缘护套进行试验时发现绝缘护套的粘接方式、安装距离对其绝缘性能有较大的影响。为了使绝缘护套的性能达到最优, 通过试验研究分析了绝缘护套粘接方式和安装距离对绝缘护套绝缘性能的影响, 得出了绝缘护套在粘接时应当在绝缘护套的凹槽和凸棱两侧都应当涂粘接剂, 绝缘护套安装后裸露导体距离可能出现鸟粪的距离最小应当大于 60 cm。利用 ANSYS 对不同的粘接方式进行了仿真, 仿真结果与试验结果较为吻合。对现场安装方式和安装效果进行了分析, 从安装效果来看, 线路安装绝缘护套可以有效防止鸟粪闪络。通过以上分析, 为绝缘护套在现场安装中提供了指导, 同时也为不同类型的绝缘护套试验提供了指导。

参考文献:

- [1] SUNDARARAJAN R, BURNHAM J, CARLTON R, et al. Preventive measures to reduce bird related power outage-part II: Steamers and contamination[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2004, 19(4): 1848-185.
- [2] 易 辉, 熊幼京. 1 000 kV 交流特高压输电线路运行特性分析[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 1-7.

YI Hui, XIONG Youjing. Analysis on operating char-

acteristic for 1 000 kV AC UHV transmission line [J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 1-7.

- [3] 王 峰, 黄福勇, 曾 昊, 等. 湖南省输电线路鸟害障碍分析及防治[J]. 高压电器, 2011, 47(10): 97-105.
- [4] 易 辉, 熊幼京, 周 刚, 等. 架空输电线路鸟害故障分析及对策[J]. 电网技术, 2008, 32(20): 95-100.
- [5] 薛 彬, 范利江, 藏国民. 预防超高压线路鸟害故障的措施[J]. 电网技术, 2008, 32(1): 157-158.
- [6] 宋德隆, 雒元平. 高压输电线路鸟粪闪络故障特征及防止对策[J]. 高电压技术, 2006, 32(5): 122-123.
- [7] 王少华, 叶自强. 架空输电线路鸟害故障及其防治技术措施[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 61-67.
- [8] 黄道春, 余 俊, 张 宇, 等. 220 kV 线路悬式绝缘子串异物临近放电机制研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(24): 4161-4170.
- [9] 张东阳, 朱瑞刚, 谢 强, 等. 多普勒探鸟与多方式驱鸟相结合的智能驱鸟器[J]. 电力科学与工程, 2010, 26(5): 38-41.
- [10] GB/T 3408.8—2007 电线电缆性能试验方法第 8 部分: 交流电压试验[S]. 2007.

(下转第 97 页)

- LIANG Zhicheng, FU Jingbo, LI Futong, et al. Electrical fast transient burst immunity of protection equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(11): 65-68.
- [9] 李清泉, 李彦明, 牛亚民. 变电站开关操作引起的瞬变电磁场及其防护[J]. 高电压技术, 2001, 27(4): 35-37.
- LI Qingquan, LI Yanming, NIU Yamin. The transient electromagnetic fields caused by the operation of disconnector in substation and protection[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(4): 35-37.
- [10] ZHAN Huamao, DUAN Shaofeng, LI Chengrong, et al. A novel arc model for very fast transient overvoltage simulation in a 252 kV gas-insulated switchgear[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2014, 42(10): 3423-3429.
- [11] LU Tiebing, QI Lei, CUI Xiang. Effect of multilayer soil on the switching transient in substations[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2006 42(4): 843-846.
- [12] XIN Weifeng, ZHANG Guogang, WANG Jianqiang, et al. Simulation of very fast transient overvoltage caused by disconnector switch operation in SF₆ gas insulated switchgear using multi-restrike arcing model[C]//2nd International Conference on Electric Power Equipment-Switching Technology (ICEPE - ST). Matsue, Japan: IEEE, 2013: 1-4.
- [13] BUROW S, KOEHLER W, TENBOHLEN S, et al. Measurement system for very fast transient overvoltages in gas insulated switchgear[C]//Electrical Insulation Conference (EIC). Ottawa, Canadian: IEEE, 2013: 215-219.
- [14] 万亦如, 杜 鹃, 刘 庄. 隔离开关多次重燃的 VFTO 计算模型[J]. 浙江电力, 2014(2): 22-25.
- WAN Yiru, DU Juan, LIU Zhuang. VFTO calculation model for multiple restrikes of disconnecting switches[J]. Zhejiang Electric Power, 2014(2): 22-25.
- [15] 李良书, 赵宏博, 杨兰均, 等. 多次重燃弧 VFTO 的仿真隔离开关模型研究[J]. 电气技术, 2010(s1): 88-91.
- LI Liangshu, ZHAO Hongbo, YANG Lanjun, et al. Investigation of simulation disconnect switch model for VFTO with multi-restrike[J]. Electric Technology, 2010(s1): 88-91.
- [16] KUMAR V V, THOMAS M J, NAIDU M S. Influence of switching conditions on the VFTO magnitudes in a GIS[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(4): 539-544.
- [17] RAO M M, THOMAS M J, SINGH B P. Frequency characteristics of very fast transient currents in a 245 kV GIS [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20 (4): 2450-2457.
- [18] 王 娜, 林 莘, 徐建源, 等. 特高压 GIS 变电站中快速暂态过电压仿真及其特性分析[J]. 高电压技术, 2012, 38 (12): 3310-3315.
- WANG Na, LIN Xin, XU Jianyuan, et al. Simulation and characteristics analysis of very fast transient overvoltage in gas insulated substation with ultra high voltage[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(12): 3310-3315.
- [19] 林 莘, 李 爽, 徐建源, 等. 超高压 GIS 暂态壳体电压的仿真研究[J]. 高压电器, 2011, 47(3): 12-17.
- LIN Xin, LI Shuang, XU Jianyuan, et al. Simulation of transient enclosure voltage in EHV GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(3): 12-17.
- [20] 许 军. 特高压 GIS 快速暂态过电压(VFTO)的测量及分析[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- XU Jun. Measurement and analysis of very fast transient overvoltage(VFTO) induced by operating disconnector in 1 000 kV GIS[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.

刘震寰(1979—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为电力系统电磁兼容。

(上接第 90 页)

- [11] 张 东, 陶凤源, 董新胜. 雷击城轨杆塔对整流变电站的影响分析[J]. 电瓷避雷器, 2014(5): 100-104.
- ZHANG Dong, TAO Fengyuan, DONG Xinsheng. Analysis of lightning urban rail tower impact on the rectifier substations[J]. Insulators and Surge Arresters, 2014(5): 100-104.
- [12] 金维芳. 电介质物理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.
- JIN Weifang. Dielectric physics[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2009.
- [13] 赵 博. Ansoft 在工程电磁场中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- ZHAO Bo. Ansoft electromagnetic field application engineering [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2010.
- [14] 杨 庆, 董 岳, 司马文霞, 等. 鸟粪导至交流输电线路塔窗—导线空气间隙放电的特性研究[J]. 高电压技术, 2014, 40 (1): 55-60.
- YANG Qing, DONG Yue, SIMA Wenxia, et al. Discharge characteristics of tower-line air gap of AC transmission line caused by bird streamer[J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(1): 55-60.
- 董新胜(1972—), 男, 硕士, 工程师, 从事高压电气设备试验及电气设备状态评价工作。
- 张 东(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为输电线路防雷与接地。