

操作冲击电压下空间电荷对棒—线间隙放电的影响

詹花茂^{1,2}, 刘波³, 师伟⁴, 颜廷利⁵, 李成榕^{1,2}

(1. 华北电力大学高电压与电磁兼容北京市重点实验室, 北京 102206; 2. 新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206;

3. 国家电网公司交流建设分公司, 北京 100052;

4. 山东大学电气工程学院, 济南 250061; 5. 莱芜供电公司, 山东 莱芜 271100)

摘要: 绕击是造成超特高压输电线路雷击跳闸的主要原因,而在绕击事故中,空间电荷的作用不容忽视。为研究空间电荷对雷电绕击输电线路的影响,笔者对150 cm棒—线间隙施加正负操作冲击电压,采用高速摄像系统对放电发展过程进行观测并对外径不同的线电极上的击中次数进行了统计分析,测量了棒对不同外径线电极的预放电电流,采用积分电流法得到线电极周围的空间电荷量,通过ANSYS仿真得到空间电荷对电场的影响。实验结果发现:正操作冲击电压下空间电荷的屏蔽作用对放电击中点的影响较大,而负操作冲击电压下,空间电荷的屏蔽作用不是影响击中次数和放电路径的主导因素;空间电荷的屏蔽作用与线电极的尺寸有关,线电极的外径越大,其表面空间电荷的屏蔽作用越小。

关键词: 操作冲击; 空间电荷; 高速摄像; 击中次数

中图分类号: TM726 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)02-0092-07

Influence of Space Charge on Air Gap Discharge Under Switching Impulse

ZHAN Huamao^{1,2}, LIU Bo³, SHI Wei⁴, YAN Tingli⁵, LI Chengrong^{1,2}

(1. Beijing Area Major Laboratory of High Voltage and EMC, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. State Grid AC Engineering Construction Company, Beijing 100052, China; 4. Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 5. Laiwu Electric Power Company, Shandong Laiwu 271100, China)

Abstract: Shielding failure is the main factor for lightning trip-out of EHV and UHV transmission lines, and space charge plays an important role in the shielding failure accident. In order to investigate the influence of space charge on lightning discharge, a rod-line air gap of 150 cm in length was set up. Under the positive and negative switching impulse voltage, the discharge process of the gap was observed by a high speed video camera system and statistical analysis on the number of strikes on the line electrode with different diameter was performed. The current flowing through the positive rod-line air gap was measured to obtain the charge current, and the integral of the charge current was calculated to evaluate the amount of space charge. The influence of space charge on the electric field in the vicinity of the line electrode was explored through the ANSYS. Experimental results showed that shielding effect of space charge on discharge strike point is significant under positive switching impulse voltage, but under negative switching impulse voltage, this shielding effect is not a leading factor influencing strike number and discharge path. The shielding effect of space charge is related with the size of line electrode. The larger the line electrode diameter is, the smaller the shielding effect of space charge becomes.

Key words: switching impulse; space charge; high speed video camera; discharge strike number

0 引言

电力工业是国民经济的重要部门之一,高压架

空输电线路是电力系统的一个重要组成部分,高压架空输电线路运行状态和防雷保护,对电力系统的安全、稳定和经济运行具有十分重要的意义。

收稿日期:2013-07-13; 修回日期:2013-08-20

到目前为止,雷击仍然是输电线路的主要危害,是造成线路跳闸停电事故的主要原因。国际大电网会议公布的美国、前苏联等 12 个国家的电压为 275~500 kV,总长 3.27 万 km 输电线路连续 3 a 运行资料中指出,雷害事故占总事故的 60%^[1-3]。220 kV 新杭线多年观测表明,绕击跳闸占雷击跳闸事故的 59.6%^[4]。在中国,500 kV 线路的雷电绕击跳闸事故也日趋严重^[5-6]。

上行先导是分析雷电绕击输电线路的关键因素之一,由于雷电的随机性,鲜有输电线路上行先导的直接影像资料。前人的实验已证实输电线路上的上行先导是有可能存在的^[7];美国学者 Abdel-Salam 发现正极性预电压会影响避雷针的保护范围^[8-9];英国学者 Allen 发现当同极性的直流预电压与操作冲击施加在同一电极上时,流注和先导的起始会更为困难^[10-11]。另外,Cooray 等人通过在棒—板间隙下得到的流注—先导模型^[12],模拟直流预电压施加在针状物时的上行先导发展情况,研究了上行先导的起始及发展特性^[13]。

笔者搭建试验平台,用不同外径的线电极模拟避雷线和导线,在研究空间电荷对上行先导起始和对不同线电极的引雷能力的影响的同时,探索绕击的机理和导线、避雷线周围的空间电荷的作用。

1 试验系统

1.1 试验内容

在高压电极上施加操作冲击电压,在间隙击穿情况下观测放电发展过程、统计放电击中不同外径线电极的次数;在间隙预击穿情况下测量流过线电极的电流。主要试验装置包括冲击电压发生器、棒—线电极系统及高速摄像观测系统^[14-21]。

击穿情况下放电观测的电路见图 1。预击穿情况下电流测量的试验电路见图 2。

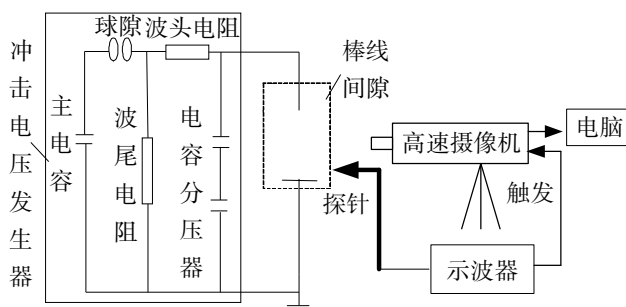


图 1 击穿时放电观测实验电路

Fig. 1 The experiment circuit for observation of breakdown discharge

1.2 放电观测系统

采用高速摄像系统观测放电发展过程。高速摄

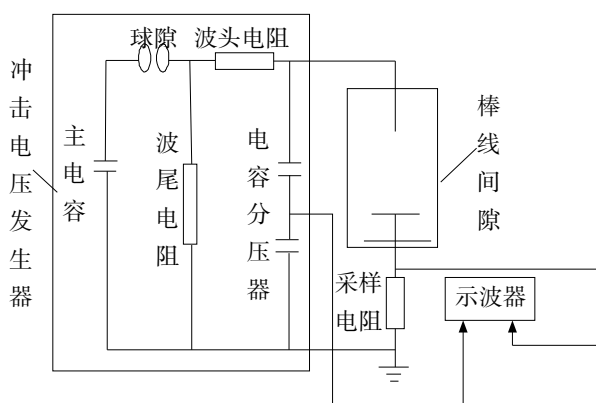


图 2 预击穿时电流测量试验电路

Fig. 2 The test circuit for measurement of pre-breakdown current

像机为美国约克科技公司产品 Phantom V1210,最高分辨率 1 280×800,标准情况下最大拍摄速率 571 000 帧/s,最小曝光时间 1 ns,在选择方式下可达 820 000 帧/s,最小曝光时间 500 ns,拍摄时采用 1.4 的最小光圈。

数字示波器用来记录试验中采集的波形,示波器为美国泰克公司生产的 DPO3054 型号数字示波器,具有 1~125 Mpoints 存储深度,带宽为 500 MHz,最高采样率为 2.5 GS/s。

1.3 电极系统

棒—线电极系统中,棒电极上施加操作冲击电压。棒—线间隙实物见图 3。上棒电极长度为 2 m,外径为 20 mm,头部为顶角 30°的圆锥体的铜棒。线电极包括两个导体。导线 1 和导体 2 均采用铁管,导体 1 外径固定为 17 mm,导体 2 外径分别设置为 25、40、50 mm,棒到两导体的距离均为 150 cm。棒—线间隙示意图见图 4。



图 3 棒—线间隙实物图
Fig. 3 The real figure of rod-line clearance

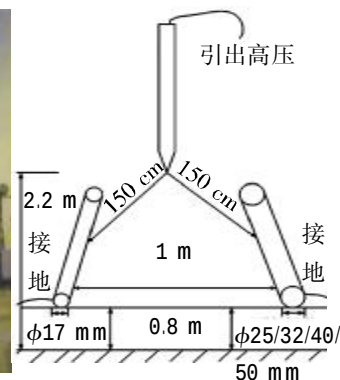


图 4 棒—线间隙示意图
Fig. 4 The schematic diagram of rod-line clearance

1.4 试验电压

采用华北电科院沙河高压试验站高压大厅的冲击电压发生器,额定电压为 3 000 kV,总体 15 级,每

级充电电压可达 200 kV。试验电压波形为操作冲击 (250/2 500 μ s)。

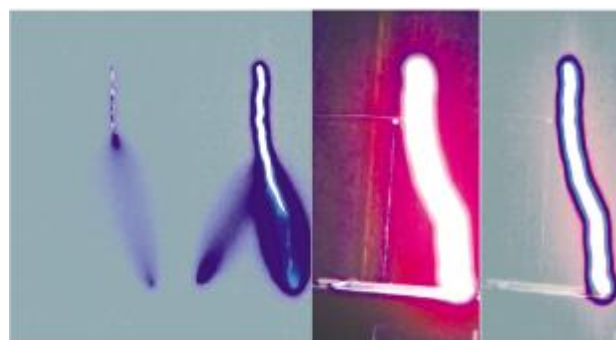
2 棒—线间隙击穿特性

2.1 正操作冲击下的击穿特性

在上极板施加正操作冲击电压,采用高速摄影系统^[22]对放电发展过程进行拍摄,发现无论线电极尺寸形状如何,放电首先从上棒电极起始,放电路径向着线电极的方向发展,拍摄的棒—线电极的放电发展过程见图 5。



(a)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 25$ mm



(b)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 40$ mm



(c)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 50$ mm

图 5 不同棒—线电极的放电发展过程

Fig. 5 The discharge development process of different rod-line electrodes

从拍摄的放电发展过程可知:下面线电极外径越大,电极表面越容易起始上行先导,击穿时放电通道越明亮。

对每种棒—线电极进行 50 次试验,并对不同外径线电极上的放电次数进行统计。统计结果为见表 1。

表 1 正操作下不同外径线电极击中次数统计表

Tab. 1 Statistical table on the hit numbers of line electrode with different outer diameters under the positive switching impulse voltage

(电极 1 外径/mm)/(电极 2 外径/mm)	击中次数
$\phi 17/\phi 25$	20/30
$\phi 40/\phi 25$	39/11
$\phi 50/\phi 25$	37/13

实验发现,正操作电压下,导体外径越大,击中次数越多。

2.2 负操作冲击电压下的击穿特性

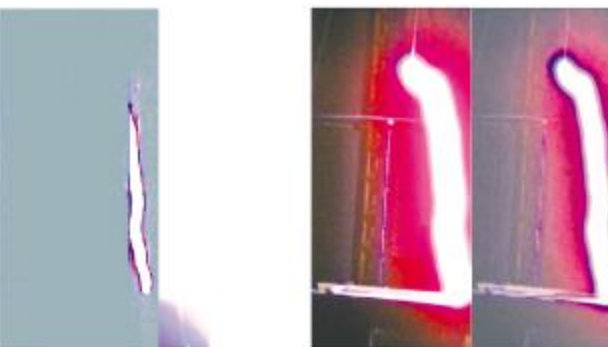
保持棒—线电极间隙不变,施加负极性操作冲击电压进行不同棒—线电极放电的试验研究,发现放电首先从线电极起始,放电路径向着上棒电极的方向发展。拍摄的棒—线电极的放电发展过程见图 6。



(a)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 25$ mm



(b)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 40$ mm



(c)左线电极 $\phi 17$ mm,右线电极 $\phi 50$ mm

图 6 不同棒—线电极的放电发展过程

Fig. 6 The discharge development process of different rod-line electrodes

对每种棒—线电极进行 50 次试验, 并对不同外径线电极上的放电次数进行统计。统计结果见表 2。

表 2 负操作下不同外径线电极击中次数统计表

Tab. 2 Statistical table on the hit numbers of line electrode with different outer diameters under the negative switching impulse voltage

(电极 1 外径/mm)/(电极 2 外径/mm)	击中次数
$\phi 17/\phi 25$	36/14
$\phi 40/\phi 25$	33/17
$\phi 50/\phi 25$	22/28

试验发现, 线电极外径的改变, 击中次数并未形成规律, 可能是由于负极性操作波下线电极上行先导的起始条件较易满足, 空间电荷的屏蔽作用不是影响击中次数和放电路径的主导因素。

3 棒—线间隙空间电荷量测量

3.1 测量原理

为了进一步研究空间电荷对放电发展过程和放电点的影响, 在上棒电极施加标准正操作冲击电压, 测量预放电中棒—线电极的预放电电流, 并用积分电流法得到不同尺寸棒—线电极预放电形成的空间电荷量的大小。测量回路见图 2, 无感采样电阻为 $100\ \Omega$ 。

在预放电电流测量方法中, 文[18]测量得到的电流信号中包含了电磁干扰信号, 而文[17]中测量得到的电流信号中包含了位移电流分量(容性电流分量)和电荷电流分量。通过线电极串联采样电阻测量得到的电流信号中应该包含干扰信号、位移电流信号及放电形成的电荷电流信号 3 部分。

在预放电电流测量前, 为了确定施加于棒—线间隙的试验电压, 保证间隙不击穿, 试验电压取 $0.6U_{50\%}$ 以下的电压值^[22-24]。因为操作冲击电压的变异系数 α 为 6%, 当外加电压为 $U_{50\%}(1-3\alpha)=0.82U_{50\%}$ 时, 气隙的耐受概率达 99.86%^[24-26]。

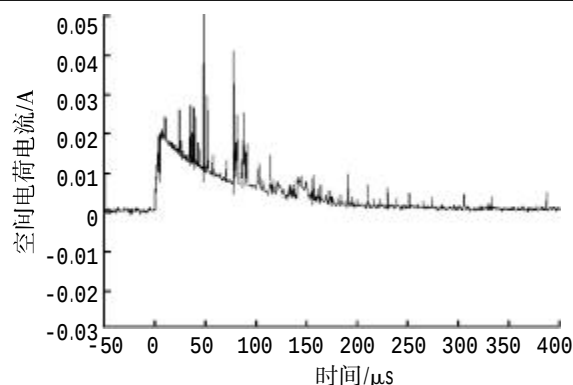
得到的电流波形见图 7。图 8 为空间电荷电流的波形。将得到的空间电荷电流积分就可以得到外径不同的线电极的棒—线电极在预放电时形成的空间电荷量。求解式为

$$Q = \int i dt = \frac{\int \Delta u dt}{r} \quad (1)$$

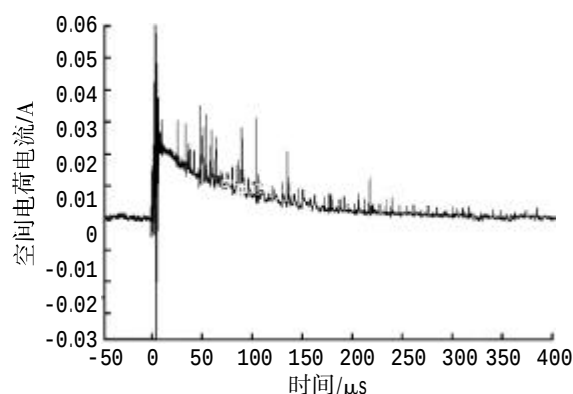
3.2 测量结果与分析

试验电压波形为标准正操作冲击电压波, 试验条件为: 大气压 102.3 kPa, 温度 21.5 °C, 相对湿度 49%。

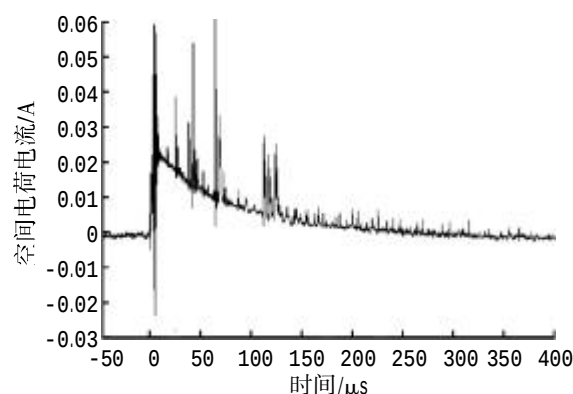
试验电压为 0.6 倍棒— $\phi 50\text{ mm}$ 线电极间隙的 $U_{50\%}$ 。用示波器记录不同的棒—线电极对应的采样电阻上的电压信号, 得到预放电时棒—线电极中流



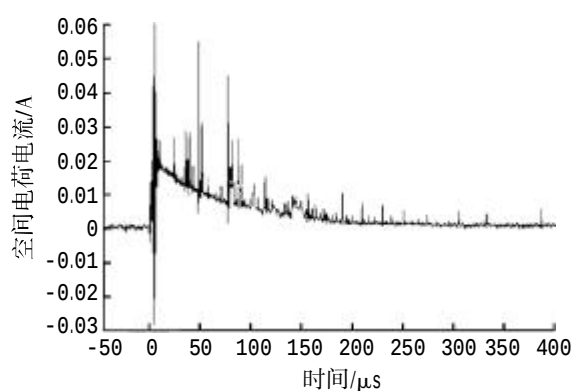
(a) $\phi 17\text{ mm}$ 线电极的电流波形



(b) $\phi 25\text{ mm}$ 线电极的电流波形



(c) $\phi 40\text{ mm}$ 线电极的电流波形



(d) $\phi 50\text{ mm}$ 线电极的电流波形

图 7 棒—线间隙的电流波形

Fig. 7 The current waveforms of rod-line clearances

过线电极的电荷量。测量结果显示: 同一电压下, 随着线电极外径的增大, 空间电荷量减小。

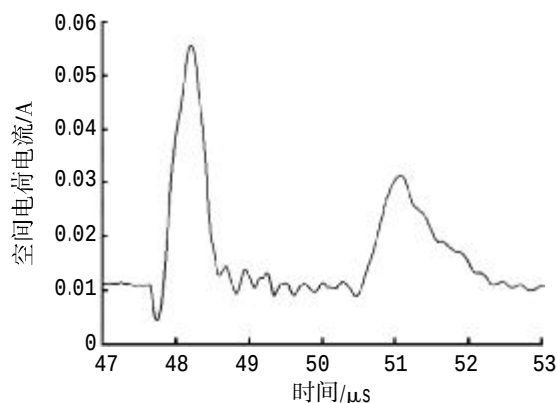


图 8 空间电荷电流的波形

Fig. 8 The waveform of space charge current

将电荷电流进行积分, 可得到不同尺寸的棒—线电极在预放电时, 随着线电极外径的变化, 空间电荷量变化的曲线见图 9。

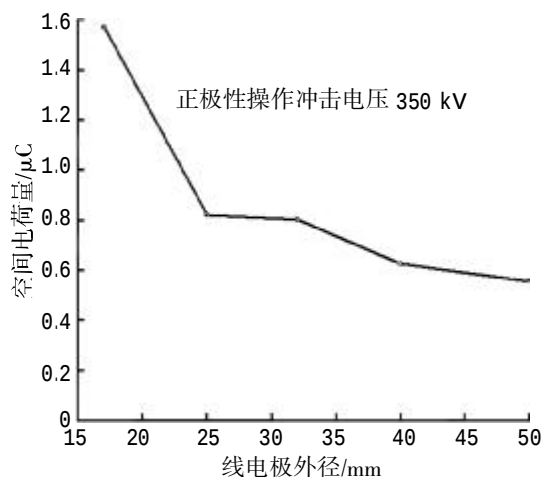


图 9 间距为 150 cm 棒—线间隙预放电产生的空间电荷随线电极外径的变化情况

Fig. 9 The changes of space charge of 150 cm rod-line clearance during pre-discharge with different line electrode diameters

由图 9 可知, 电压幅值相同时, 棒— $\phi 17$ mm 线电极间隙的空间电荷量最大, 随着线电极外径越来越大, 空间电荷量逐渐变小, 棒— $\phi 50$ mm 线电极间隙下的空间电荷量最小。

上述测量结果说明空间电荷对间隙放电的影响: 空间电荷在棒电极周围形成了屏蔽层, 空间电荷量越大, 使得放电击中外径越大的线电极的概率减小; 线电极外径越大, 形成的空间电荷量越小, 屏蔽作用也越小。这说明 $\phi 50$ mm 线电极的电场畸变程度比 $\phi 17$ mm 线电极要小, 从而更容易吸引放电。为了更好的说明空间电荷的作用, 通过仿真计算线电极在加电荷前后的电场变化。

4 电场仿真分析

为了验证棒—线间隙实验结果, 以间隙为原型, 在 ANSYS 里搭建仿真模型, 左线电极外径为 17 mm, 右线电极外径为 25 mm, 上棒电极施加幅值为 350 kV 的正极性操作冲击电压, 下线电极接地。在以 $\phi 17$ mm 导体圆心为中心, 内径 20 mm 外径 150 mm 圆环上加 15713 μC 电荷 (实验计算结果), 电荷密度为 148 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ 。在以 $\phi 25$ mm 导体圆心为中心, 内径 20 mm 外径 150 mm 圆环上加 0.820 92 μC 电荷 (实验计算结果), 电荷密度为 82.4 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ 。加电荷前后, $\phi 17$ mm 导体周围电场计算结果见图 10。

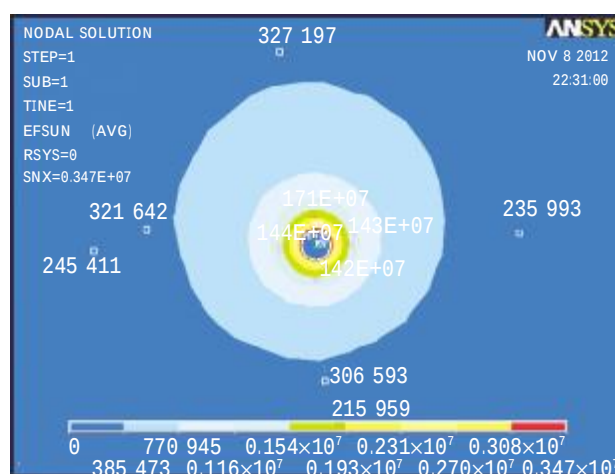
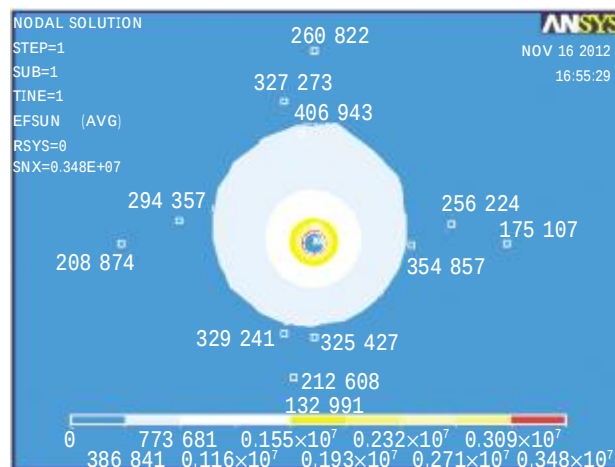
(a) $\phi 17$ mm 线电极加电荷前电场计算结果(b) $\phi 17$ mm 线电极加电荷后电场计算结果

图 10 线电极加电荷前后电场计算结果

Fig. 10 The electric field calculation results of line electrode with or without charge

加电荷前, 线电极临界电晕半径处的电场值大约 300 kV/m。加电荷后, 线电极临界电晕半径处的电场值大约 270 kV/m。电场值减小了 10%。

空间电荷在电极周围形成了屏蔽层, 削弱了线电极表面的电场。线电极的外径越大, 空间电荷越

少,对放电的屏蔽作用越小,线电极表面越容易起始上行先导,被击中的概率越大。

5 结论

1)正操作冲击电压下,击中外径大的线电极的概率大,外径越大,空间电荷屏蔽作用越小,电极表面越容易起始上行先导;

2)负操作冲击电压下,线电极周围的电场和空间电荷的屏蔽作用共同决定了放电的发展路径,空间电荷对线电极表面的电场畸变作用只是影响因素之一;

3)空间电荷量的测量结果表明,空间电荷的屏蔽作用与线电极的形状有关,线电极的外径越大,其表面空间电荷的屏蔽作用越小。

参考文献:

- [1] GRANT I S. A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1985, 104(4): 919-932.
- [2] IEEE Working Group. Estimating lightning performance of transmission lines II—Updates to analytical models[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(3): 1254-1267.
- [3] 维列夏金, 吴维韩. 俄罗斯超高压和特高压输电线路防雷运行经验分析[J]. 高电压技术, 1998, 24(2): 76-79.
WEI Liexiajin, WU Weihuan. The analysis of lightning protection for EHV and UHV transmission lines in Russia [J]. High Voltage Engineering, 1998, 24(2): 76-79.
- [4] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
LI Fushou. Neutral point of effective operation of the grounding grid [M]. Beijing: Water Conservancy Electric Power Press, 1993.
- [5] 张纬钺, 高玉明. 电力系统过电压与绝缘配合[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
ZHANG Weibo, GAO Yuming. Power system over-voltage and insulation coordination [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1987.
- [6] 王晓彤, 施 围, 刘文泉. 改进电气几何模型计算输电线路绕击率[J]. 高电压技术, 1998, 24(1): 85-87.
WANG Xiaotong, SHI Wei, LIU Wenquan. Improve the electrical geometry model transmission lines around rate [J]. High Voltage Engineering, 1998, 24(1): 85-87.
- [7] 王东辉, 王明策, 李连富. 220 kV 线路防雷技术探讨[J]. 东北电力技术, 2003(6): 1-3.
WANG Dongye, WANG Mingce, LI Lianfu. 220 kV line lightning protection technology discussed in this paper [J]. Northeast Electric Power Technology, 2003(6): 1-3.
- [8] 罗大强, 许志荣, 唐 军, 等. 根据历史跳闸记录对 10 kV 配电线路防雷现状和问题的分析[J]. 电瓷避雷器, 2012(2): 40-45.
LUO Dajiang, XU Zhirong, TANG Jun, et al. Present situation and problems analysis for lightning protection of 10 kV power distribution line based on historical trip records [J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(2): 40-45.
- [9] 孙 萍. 新杭线 I 回路雷击闪络跳闸分析及绕击率、跳闸率的实测计算[J]. 浙江电力, 1997(3): 16-20.
SUN Ping. Xinhang line I lightning flashover trip circuit analysis and around, tripping rate measured calculation [J]. Zhejiang Electric Power, 1997(3): 16-20.
- [10] 张 鑫, 邓 鹏, 徐 鹏, 等. 10 kV 架空绝缘导线雷击断线原因机理分析及防护措施[J]. 电瓷避雷器, 2012(1): 65-69.
ZHANG Xin, DENG Peng, XU Peng, et al. Mechanism analysis and protective measures on the lightning break reason of 10 kV overhead insulation conductor [J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(1): 65-69.
- [11] WATANABE Y. Influence of preexisting DC voltage on switching surge flashover characteristics [J]. IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 1968, 87(4): 964-969.
- [12] SALAM M A, SALEH U, LATIF A A. Simulation of energized franklin rods for lightning protection [J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 1997 (3393): 651-659.
- [13] ALLEN N L, GOURGOULIS D E. Effects of negative direct voltage pre-stressing on the breakdown of conductor-rod gaps under positive impulse voltages [J]. IEEE Proceedings Science, Measurement and Technology, 1998, 145 (3): 105-109.
- [14] LI Zhizhao, ZENG Rong, YU Zhanqing. Research on the upward leader emerging from transmission line by simulation experiments [C]//7th Asia-Pacific International Conference on Lightning. [S.l.]: IEEE, 2011: 555-558.
- [15] BECERRA M, COORAY V. A self-consistent upward leader propagation model [J]. J. Phys. D: Applied Physics, 2006, 39(16): 3708-3715.
- [16] BECERRA M, COORAY V. Laboratory experiments cannot be utilized to justify the action of early streamer emission terminals [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2008, 41(8): 41-47.
- [17] GOELIAN N, LALANDE P, BONDIOU A, et al. A simplified model for the simulation of positive-spark development in long air gaps [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1997, 30(27): 2441-2452.
- [18] GALLIMBERT I. The mechanism of long spark formation [J]. Physique Coll., 1972, V40(C7): 193-250.
- [19] 廖蔚明, 崔国华, 孙昭英, 等. ± 800 kV 直流线路杆塔塔头空气间隙的直流叠加操作冲击放电特性[J]. 电网技术, 2008, 32(9): 6-9.

- LIAO Weiming, CUI Guohua, SUN Zhaoying, et al. ± 800 kV DC superposition of DC line tower air clearance of tower head impact operating discharge properties [J]. Power System Technology, 2008, 32(9): 6-9.
- [20] 王黎明, 毛苏春, 关志成. 板-针间隙在交直流预电压作用下的冲击特性[J]. 清华大学学报, 2002, 42(3): 285-287.
- WANG Liming, MAO Suchun, GUAN Zhicheng. Plate-needle clearance in advance AC/DC voltage under the action of impact properties[J]. Journal of Tsinghua University, 2002, 42(3): 285-287.
- [21] LIU Q, WANG Z D. Secondary reverse streamer observed in an ester insulating liquid under negative impulse voltage[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2011, 44(40): 2276-2283.
- [22] 杨波, 王黎明, 关志成, 等. 交直流预电压下导线-针间隙的冲击特性[J]. 清华大学学报, 2002, 42(S1): 49-51.
- YANG Bo, WANG Liming, GUAN Zhicheng, et al. AC/DC voltages wire in advance impact properties of the needle clearance [J]. Journal of Tsinghua University, 2002, 42(S1): 49-51.
- [23] 曲振旭, 王巨丰, 苏浩益, 等. 特快速暂态过电压下避雷器模型的研究与应用[J]. 电瓷避雷器, 2012(2): 51-56.
- QU Zhenxu, WANG Jufeng, SU Haoyi, et al. Application and research on surge arrester models under very fast transient overvoltage [J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(2): 51-56.
- [24] 蒋兴良, 王军, 胡建林, 等. 1 m 针-板空气间隙正极性操作冲击放电特性及电压校正[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(16): 137-143.
- JIANG Xingliang, WANG Jun, HU Jianlin, et al. 1 m needle-normal polarity operation impact plate air gap discharge characteristic and voltage correction [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16): 137-143.
- [25] 林盛强, 林宏, 王巨丰. 高速气流灭弧防雷间隙建弧模型的研究[J]. 电瓷避雷器, 2012(2): 57-61.
- LIN Shengqiang, LIN Hong, WANG Jufeng. Study on model of constructing arc about parallel gap lightning protection device with arc-extinguished by high-speed airflow [J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(2): 57-61.
- [26] 殷勤, 郭洁, 严强, 等. 外绝缘放电电压校正方法的分析与比较[J]. 电瓷避雷器, 2011(4): 9-13.
- YIN Qin, GUO Jie, YAN Qiang, et al. Analysis and comparison to correction methods of discharge voltage of external insulation [J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(4): 9-13.
- 詹花茂(1976—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为气体放电与电力系统过电压。
- 刘波(1987—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为气体放电与电力系统过电压。
- 师伟(1987—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为气体放电与电力系统过电压。
- 顾廷利(1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为气体放电与电力系统过电压。

(上接第 91 页)

- The Bonwill Power Administration Ecology Research Group of the United States. The recitation of the electric effect and ecological effect on transmission line [M]. Beijing: Electric Power Research Institute of Power Water Conservancy, 1987.
- [20] 郭雄, 万保权, 蒋虹, 等. ± 800 kV 云广特高压直流输电线路电磁环境指标的研究[R]. 武汉: 国网公司电力科学研究院, 2005.
- WU Xiong, WAN Baoquan, JIANG Hong, et al. Research on the index of electromagnetic environment under ± 800 kV Yun-Guang UHVDC transmission line [R]. Wuhan: State Grid Electric Power Research Institute, 2005.
- 蔡焕青(1985—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事输电线路的运行维护、电网防灾减灾技术研究工作。
- 邵瑰玮(1974—), 男, 博士, 高级工程师, 长期从事输电线路带电作业、运行维护和状态检修研究工作。
- 陈怡(1987—), 女, 本科, 工程师, 主要从事输电线路运行维护技术服务、电网防灾减灾技术研究工作。
- 闵绚(1984—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事输电线路的运行维护、电网防灾减灾技术研究工作。
- 孔晨华(1976—), 男, 本科, 工程师, 主要从事带电作业及运行检修工作。
- 蔡维丽(1983—), 女, 大专, 助理工程师, 主要从事煤矿安全教学与培训工作。
- 张业茂(1982—), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统电磁兼容和电磁环境研究。
- 刘红太(1974—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事变电检修工作。