

DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2018.03.014

均压环结构对800 kV罐式避雷器电位分布影响分析

赵新科, 孟庆喜, 王 焕, 袁艳鹤, 许兴涛

(河南平高电气股份有限公司, 河南 平顶山 467000)

摘要: 800 kV 罐式避雷器电阻片电压分担的均匀性对避雷器的可靠运行意义重大。文中通过 Ansys 软件分析 800 kV 罐式避雷器的电位分布, 通过调整均压环两环间距、均压罩高度、均压罩直径等尺寸, 分析各尺寸变化对 800 kV 罐式避雷器电位分布及电场强度的影响规律, 旨在为超高压以上等级罐式避雷器的设计提供技术支持。

关键词: 避雷器; 分析; 电位分布

Influence of Grading Ring Structure on the Potential Distribution of 800 kV Tank-type Lightning Arrester

ZHAO Xinke, MENG Qingxi, WANG Huan, YUAN Yanhe, XU Xingtiao

(Henan Pinggao Electric Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467000, China)

Abstract: The uniformity of shared-voltage on resistors of the 800 kV tank-type lightning arrester is of significance to safe operation of the arrester. In this paper, the potential distribution of 800 kV tank-type lightning arrester is analyzed via the software Ansys, and the influences of the parameters, such as the distance between two grading rings as well as the shell height and diameter of the grading ring, on the potential distribution and electric field intensity of the arrester are analyzed. This study may provide technical support for design of the tank-type lightning arrester of super-high voltage level.

Key words: arrester; analysis; potential distribution

0 引言

文中 800 kV 罐式金属氧化物避雷器主要用于 800 kV 交流系统电站进、出线间隔, 用于保护电站中其他电气设备免受雷电冲击、操作冲击等造成的损坏^[1]。

800 kV 罐式金属氧化物避雷器主要有非线性电阻片堆叠装配而成, 具有优良的非线性伏安特性, 其工作原理如下: 在系统持续运行电压下运行时, 避雷器呈高阻状态, 避雷器泄漏电流很小; 当系统遭受雷击等冲击时, 系统运行电压升高, 避雷器呈低阻状态, 避雷器泄漏电流很大, 释放冲击能量; 冲击过后 (雷电或操作冲击) 系统电压恢复正常, 避雷器电阻由低阻自行恢复到高阻状态, 系统恢复正常运行。

避雷器内部由电阻片串联组成, 由于均压罩、筒

体、底座等结构构成的杂散电容影响, 每片电阻片所分配的电压存在不均匀现象, 若单片电阻片分配的电压过高, 可能引起电阻片提早老化, 甚至热崩溃, 最终造成整支避雷器损坏。

文中采用 Ansys 仿真计算^[2], 得出关于避雷器均压环对避雷器电位分布的影响的相关结论, 主要阐述了两节均压环结构对电位分布的影响; 均压环结构尺寸对避雷器电位分布的影响, 有利于 800 kV 罐式避雷器的结构优化、小型化设计、降低成本等工作^[13]。

1 两节均压环结构分析

1.1 均压环结构

均压环结构采用传统的罩子形结构, 下部采用两个圆环平行放置, 两环之间采用铝管焊接结构, 尽量接近真实结构设计时的均压环结构, 减少对电场的影响, 具体结构图见图 1。

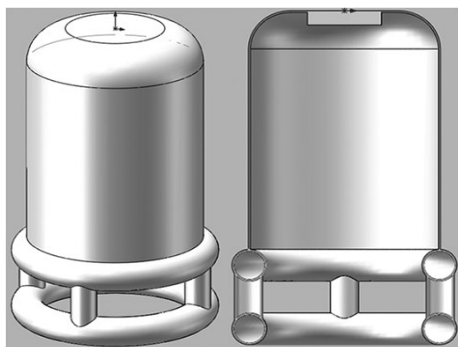


图1 均压环结构图

Fig. 1 Structure of grading ring

为了便于计算,均压环下部的两节均压环均直接采用直径 $\phi 100$ mm的圆环形结构(还可以进行进一步优化),两圆环之间的连接采用直径 $\phi 80$ mm的铝合金管件进行焊接,上部罩体采用厚度5 mm的板材旋压形成直径549 mm的圆筒结构,圆弧尺寸为 $R120$ mm,内部上表面采用40 mm厚的板材焊接增加整个均压罩的强度(实际生产时可增焊接加强筋)。

1.2 避雷器设计模型

通过 AutoCAD 对 800 kV 避雷器进行设计建模见图 2(左),转换为 IGES 文件,导入 Ansys 进行建模形成图 2(右)所示模型,面域 A_1 为六氟化硫气体(其中上部 A_1 面域为辅助筒体结构区域),面域 A_2 为绝缘子,面域 A_3 为电阻片。

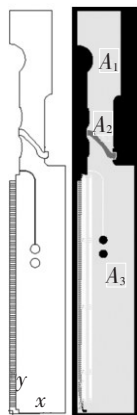


图2 800 kV 罐式避雷器模型

Fig. 2 800 kV tank type arrester model

1.3 相关参数设置

- 1)定义单元类型为 PLANE121 单元类型;
- 2)定义上述面域 A_1 、 A_2 、 A_3 的介电常数分别为 1.002、5、600^[4];

3)进行网格划分。网格划分的精确与否直接影响整个分析的正确性与经济性,对影响避雷器电位分布的关键元件进行了控制,主要包括均压罩罩体及两个圆环所示线进行网格划分为100段,电阻片沿着垂直方向所示线进行网格划分为800段,筒体处对计算结果影响比较小,沿垂直方向所示线网格

划分为为200段,控制好重要结构的网格大小后,对其他所有面采用自由网格划分,网格划分完成后形成网格数18 466个。

4)施加载荷。耦合电阻片表面铝层电压,对导体、均压罩等施加电压为462 kV(800 kV 罐式避雷器的持续运行电压),对外壳、底板施加电压为0 V(忽略外接监测器对电阻片的电位的影响,最下方电阻片下层铝层电压直接设置为0 V);

5)定义电阻片的序号自上而下依次增加,序号为1~111,总计111片电阻片。

2 均压环圆环间距、高度和直径对电位分布的影响

2.1 圆环间距的影响

通过改变两节环的距离(130、150、200、250、300、350 mm),来分析两节均压环对避雷器电位分布的影响,其中调节均压环距离主要为上环向上移动,下环位置保持不变来进行。

避雷器的电位分布图、电场强度图分别见图3、4。图3、4中:从左起至右依次为130、150、200、250、300、350 mm的电位分布图、电场强度图^[5],由于图形差别很小无法确定每片电阻片的电位分布电压,通过读取电阻片表面电位,并对数据分析可得电阻片电位分布见图5。



图3 电位分布图

Fig. 3 Potential distribution map

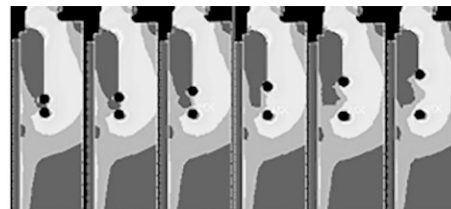


图4 电场强度图

Fig. 4 Electric field intensity map

通过对数据分析可知,单片电阻片的最大电位分布不均匀性、承受电压分布最大处电阻片的序号,最大电场强度见表1。

由图4、5,表1可以看出:①当避雷器高度为800 mm、直径为549 mm时,随着两环距离的增大,避雷器的电位不均匀性变小^[6];②承受电压最大的

电阻片序号均位于序号36附近区域,圆环间距在130~200 mm之间变化时,对电位分布不影响^[7];③环间距离大于200 mm且距离越大,序号小的电阻片承受的电压会升高,序号大的电阻片承受的电压会微降^[8],且避雷器的电场强度升高。

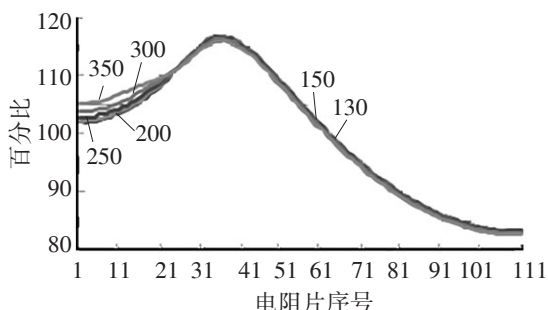


图5 电阻片电位分布图

Fig. 5 Potential distribution of resistance sheet

表1 各结构特性参数

Table 1 Characteristic parameter of each structure			
两环间距/mm	最大不均匀系数	承受电压最大的电阻片序号	最大场强/(kV·mm ⁻¹)
130	1.168	第35、36、37片	4.60
150	1.168	第35、36、37片	4.60
200	1.168	第36、37片	4.69
250	1.165	第35、36、37片	4.64
300	1.162	第35、36、37片	4.73
350	1.160	第36片	4.80

2.2 均压环高度的影响

通过调节均压环的高度来研究均压环高度对800 kV罐式避雷器电位分布的影响^[9],其中两环的间距保持不变为150 mm,避雷器的电位分布见图6。图6中从左至右依次为800、850、900、950、1 000、1 050 mm的电位分布图^[10]。通过读取电阻片表面电压,并对数据分析可得电阻片电位分布见图7。

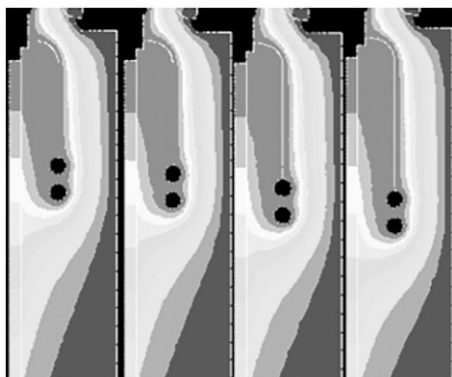


图6 电位分布图

Fig. 6 Potential distribution map

通过对数据分析可知,单片电阻片的最大电位分布不均匀性、承受电压分布最大处电阻片的序

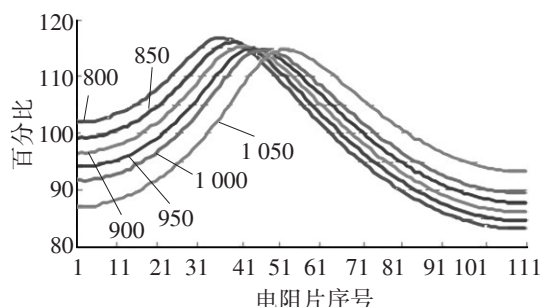


图7 电阻片电位分布图

Fig. 7 Potential distribution of resistance sheet

号^[11],最大电场强度见表2。

表2 各结构特性参数

Table 2 Characteristic parameter of each structure

均压环高度/mm	最大不均匀系数	承受电压最大的电阻片序号	最大场强/(kV·mm ⁻¹)
800	1.168	第36、37片	4.60
850	1.160	第39、40片	4.60
900	1.156	第42片	4.60
950	1.150	第44片	4.60
1 000	1.148	第47片	4.60
1 050	1.148	第51、52片	4.60

电阻片的电位分布图见图8。图8中列出了850、900、1 000、1 050 mm 4个位置时的电阻片电位分布曲线图,直线为理想平均值^[12],假设避雷器分为上下两节,由曲线可以看出,高度越高,上节分配的总电压越小,当距离超过一定值后,上节承受的总电压开始下降,最终小于下节承受的总电压,从图8中1 000 mm,位置与1 050 mm位置可以看出。

由图6-8,表1可以看出:①当避雷器两环的间距为150 mm、直径为549 mm时,随着均压环高度的增大,避雷器的电位不均匀性明显变小^[13];②承受电压最大的电阻片序号逐渐增大;③随着均压环高度的增加,序号小的电阻片承受的电压会明显升高,序号大的电阻片承受的电压会明显下降,但对电场强度不影响^[14]。

2.3 均压环直径的影响

通过调节均压环的直径来进行研究均压环直径对800 kV罐式避雷器电位分布的影响,其中两环的间距保持不变为150 mm,均压环的高度保持不变为1 000 mm^[15],避雷器的电位分布见图9,左起均压环直径分别为549、569、589、609、629、649 mm的电位分布图。通过读取电阻片表面电压,并对数据分析可得电阻片电位分布,见图10。

通过对数据分析可知,单片电阻片的最大电位分布不均匀性、承受电压分布最大处电阻片的序号,

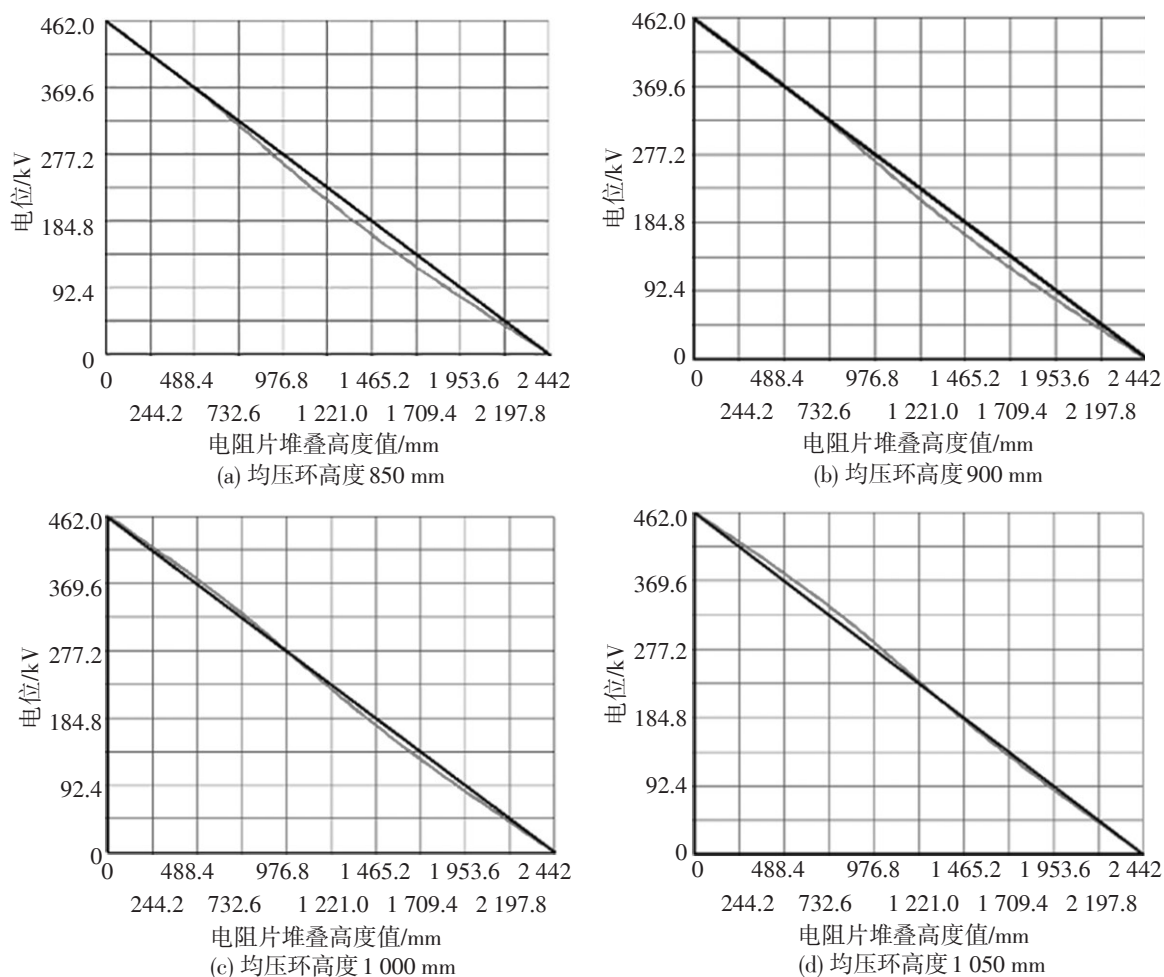


图 8 电阻片表面电位分布曲线图

Fig. 8 Surface potential distribution curve of resistance sheet

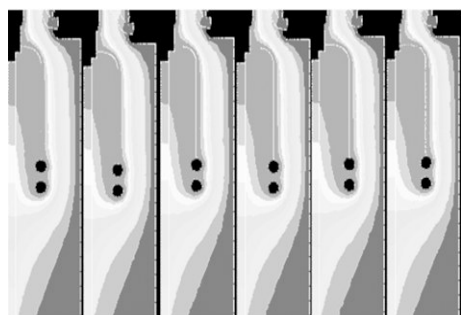


图 9 电位分布图

Fig. 9 Potential distribution map

最大电场强度见表 3。

表 3 各结构特性参数

Table 3 Characteristic parameter of each structure			
均压环 半径/mm	最大不均 匀系数	承受电压最大的 电阻片序号	最大场 强/(kV·mm ⁻¹)
549	1.148	第 47 片	4.60
569	1.144	第 49、50 片	4.64
589	1.141	第 50 片	4.67
609	1.139	第 50 片	4.73
629	1.134	第 48、49、50、51、52 片	4.79
649	1.134	第 50 片	4.86

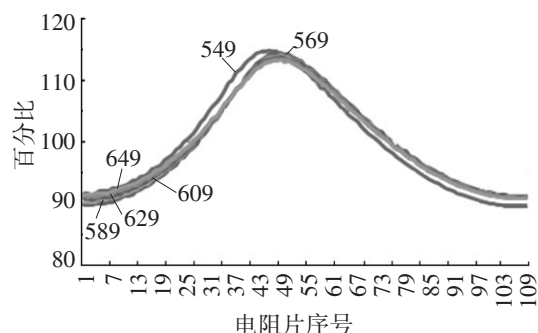


图 10 电阻片电位分布图

Fig. 10 Potential distribution of resistance sheet

由图 9、10、表 3 可以看出:①当避雷器两环的间距为 150 mm、高度为 1 000 mm 时,随着均压环半径的增大,避雷器的电位不均匀性明显变小^[16];②承受电压最大的电阻片序号基本保持不变;③随着均压环半径的增加,各序号电阻片承受电压不会发生大幅变化,但电场强度会明显增大。

2.4 小结

由于电阻片在避雷器内部呈串联结构,所以单片电阻片承受电压的理想电压为避雷器承受电压值/电阻片数,即 $U_{\text{平均}} = 462/111 = 4.16 \text{ kV}$,分布不均匀

率为电阻片承受的电压/ $U_{\text{平均}}$,其最大不均匀系数不宜大于1.15^[17]。

两环间距太小时,由于圆环截面直径比较大,在一定区间内对800 kV罐式避雷器的电位分布不影响,随着间距的增大,可以微调800 kV罐式避雷器的电位分布,但同时电场强度增大也比较明显。

随着均压环高度的增大,800 kV罐式避雷器的电位分布不均匀性越来越小,但从电位分布曲线图可以看出当高度超过一定值后,序号大的电阻片承受的电压也会越来越大,不均匀性反而会增大,在本例中均压环高度大约为电阻片自上而下至总高度的35%处时,电位分布最为合理,且调整均压环高度对800 kV罐式避雷器的电场强度几乎无影响^[18]。

该案例中均压环直径由549 mm逐渐增大,800 kV罐式避雷器的电位分布不均匀性减小(但直径减小,均匀性不一定不会增大,考虑到直径减小后对电阻片表面电场影响比较大,影响避雷器性能,不再进行分析减小后情况),直径增大电场强度会明显增大。

通过上述分析可知,承受电压最大的电阻片序号与下环的位置有一定关系。

综上所述,优化800 kV罐式避雷器时,宜合理调节均压罩高度,当均压罩高度达到最优值时,通过微调均压罩直径来达到优化800 kV罐式避雷器电位分布的目的,不建议用于两节均压环结构调节避雷器的电位分布,但可能对800 kV罐式避雷器电阻片表面的电场可能有一定影响^[19]。

3 结语

800 kV罐式避雷器所处的电压等级为超高压领域,产品的安全运行对电力系统的稳定运行意义重大。文中通过分析均压环的各重要尺寸的变化对800 kV罐式避雷器电位分布的影响,有利于800 kV罐式避雷器的性能提升,但文中均压环采用的结构为传统结构,且均压环直接采用圆环结构,并非最优的结构,在均压环的结构形式上希望800 kV罐式避雷器设计人员能够创新结构形式,让产品性能进一步提升^[20]。

Ansys建模分析对电位分布不均匀性分析比较快捷,且APDL语言建立分析模型的脚步语言,使用与复杂模型及需要多次修改的重复分析的问题,文中即采用APDL命令流的建模分析方式。

参考文献:

[1] 刘振亚. 特高压交直流电网[M]. 北京:中国电力出版

社,2009.

LIU Zhenya. Ultra-high voltage AC & DC grid[M]. Beijing:China Electric Power Press,2009.

[2] 谢龙汉,耿煜,邱婉. Ansys电磁场分析[M]. 北京:电子工业出版社,2012.

XIE Longhan, GENG Yu, QIU Wan, et al. Ansys electromagnetic analysis[M]. Beijing: Electronic Industry Press,2012.

[3] 黎斌. SF₆高压电器设计[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社,2009.

LI Bin. Design of SF₆ high voltage electrical apparatus [M]. 3rd ed. Beijing:China Machine Press,2009.

[4] 谢竟成,胡军,何金良,等. 压敏陶瓷—硅橡胶复合材料的非线性压敏介电特性[J]. 高电压技术,2015,41(2):446-425.

XIE Jingcheng, HU Jun, HE Jinliang, et al. Nonlinear dielectric and conductivity properties of ZnO varistor/silicone rubber polymer composites[J]. High Voltage Engineering,2015,41(2):446-425.

[5] 车文俊,千叶智基,张晓星,等. 1 000 kV瓷外套金属氧化物避雷器的电位分布研究[J]. 中国电机工程学报,2009,29(22):53-57

CHE Wenjun, CHIBA T, ZHANG Xiaoxing, et al. Research on potential distribution characteristics of 1 000 kV porcelain housed metal oxide surge arrester [J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(22):53-57.

[6] 王世山,李彦明. 500 kV无间隙MOA电压分布分析及其均压化措施[J]. 电瓷避雷器,2000(4):30-36.

WANG Shishan, LI Yanming. Analysis on electric stress along 500 kV gapless MOA and its evening measurement[J]. Insulators and Surge Arrester,2000(4):30-36.

[7] 李小建. 金属氧化物避雷器基本参数分析[J]. 高电压技术,2008,34(1):37-39.

LI Xiaojian. Comparison and analysis of the basic parameters of currents of metal oxide surge arrester[J]. High Voltage Engineering,2008,34(1):37-39.

[8] 郭洁,何计谋,李小峰. 750 kV无间隙MOA电压分布分析及其均压化措施[J]. 中国电力,2006,39(1):15-17

GUO Jie, HE Jimou, LI Xiaofeng. Study on the potential distribution of 750 kV metal oxide surge arrester [J]. Electric Power,2006,39(1):15-17.

[9] 金立军,郭裕,薛以飞,等. 高压绝缘套管电场分析及结构优化[J]. 高压电器,2015,51(4):7-12.

JIN Lijun, GUO Yu, XUE Yifei, et al. Electric field analysis and structure optimization for high voltage insulation bushing[J]. High Voltage Apparatus,2015,51(4):7-12.

[10] 江汛,王仲奕. 复合高压套管的电场计算和分析[J]. 高电压技术,2004,30(3):17-21

- JIANG Xun, WANG Zhongyi. Calculation and analysis for the electric field of composite high voltage bushing[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(3): 17-21.
- [11] 冯 勇, 彭宗仁, 刘 鹏, 等. 特高压交流输电线路瓷绝缘子的均压特性[J]. 高电压技术, 2010, 36(1): 270-271.
- FENG Yong, PENG Zongren, LIU Peng. et al. voltage-sharing characteristics of porcelain insulators for UHV AC transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(1): 270-271.
- [12] 安翠翠, 刘 航, 王 琼, 等. 特高压直流母线 MOA 的电位与电场分析[J]. 高压电器, 2009, 45(5): 9-11.
- AN Cuicui, LIU Hang, WANG Qiong, et al. Calculation of electric potential and field distribution of UHVDC busbar MOA[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(5): 9-11.
- [13] 吴光亚, 王铁街. 劣化绝缘子对长串绝缘子电位分布的影响[J]. 高电压技术, 1997, 23(4): 59-60.
- WU Yaguang, WANG Tiejie. The effect of aging insulators on voltage distribution of insulator string[J]. High Voltage Engineering, 1997, 23(4): 59-60.
- [14] 孙西昌, 罗 兵, 陈子岩. 800 kV 直流系统用棒形支柱瓷芯复合绝缘子电场分布计算及均压环配置优化[J]. 电瓷避雷器, 2009(1): 1-6.
- SUN Xichang, LUO Bing, CHEN Ziyang. Electric field distribution calculation and grading ring optimization of rod ceramic core post insulator for 800 kV DC system[J]. Insulators and Surge Arrester, 2009(1): 1-6.
- [15] 郭 洁, 刘良璧, 朱 跃. 雷电冲击下氧化物避雷器动作研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(2): 18-20.
- GUO Jie, LIU Liangbi, ZHU Yue. Operating duty of metal oxide surge arresters at lightning surge[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(2): 18-20.
- [16] 丁美新, 李慧峰, 朱子述. 雷电流波形的数学模型及频谱仿真[J]. 高电压技术, 2002, 28(6): 8-10.
- DING Meixin, LI Huifeng, ZHU Zishu. The mathematical model and frequency spectrum simulation of lightning current[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(6): 8-10.
- [17] 吴 波. 高铁牵引变电所雷电过电压保护方案研究[J]. 电瓷避雷器, 2013(6): 6-9.
- WU Bo. Research on the protection project of lightning overvoltage for the high-speed rail traction substation[J]. Insulators and Surge Arrester, 2013(6): 6-9.
- [18] 汪 里, 岳灵平, 方书博, 等. 500 kV 直流线路棒形悬式瓷绝缘子闭式卡具设计[J]. 电瓷避雷器, 2013(6): 25-28.
- WANG Li, YUE Lingping, FANG Shubo, et al. Design of enclosed clamp for long rod suspension ceramic insulator in 500 kV DC transmission line[J]. Insulators and Surge Arrester, 2013(6): 25-28.
- [19] 王黎明, 侯志刚, 梅红伟. 500 kV 港城变电站绝缘子均压环放电现象研究[J]. 高压电器, 2012, 07: 30-36.
- WANG Liming, HOU Zhigang, MEI Hongwei. Study on discharge of grading rings for insulators in the 500 kV Gangcheng Substation[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 07: 30-36.
- [20] 洪国耀, 赵羲英, 陈 冰. 小型化 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备的研究开发[J]. 高压电器, 2012, 48(10): 78-82.
- HONG Guoyao, ZHAO Xiyang, CHEN Bing. Research and development of the optimized & miniaturization GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(10): 78-82.

赵新科(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向高压避雷器开发工作。

(上接第 97 页)

- Power System Technology, 2006, 30(12): 1-7.
- [11] 孙西昌, 党镇平, 丁京玲, 等. 特高压交流棒形悬式复合绝缘子的研究[J]. 电瓷避雷器, 2006, 30(12): 1-7.
- SUN Xichang, DANG Zhenping, DING Jingling. et al. Study on UHV AC composite insulators[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006, 30(12): 1-7.
- [12] 张 锐, 吴光亚, 周国华. 棒形悬式复合绝缘子在变电站的应用及前景[J]. 电瓷避雷器, 2006(3): 23-27.
- ZHANG Rui, WU Guangya, ZHOU Guohua. The application and prospect of composite insulator used in substation[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006(3): 23-27.
- [13] 丁京玲. 棒形悬式复合绝缘子金属附件连接区域机械性能的研究[J]. 电瓷避雷器, 2006, (1): 7-11.
- DING Jingling. Study on mechanical property of connection zone of metal fitting for composite insulator rod[J]. Insulators and Surge Arresters, 2006, (1): 7-11.
- [14] 张 锐. 复合绝缘子用硅橡胶材料的配方设计与老化性能评估[J]. 电瓷避雷器, 2012(6): 39-45.
- ZHANG Rui. The ingredient design and aging performance evaluation for silicone rubber of composite insulator[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(6): 39-45.
- [15] 吴经锋, 邱毓昌, 张建荣, 等. 运行中复合绝缘子质量的分析[J]. 电瓷避雷器, 2001(3): 19-22.
- WU Jingfeng, QIU Yuchang, ZHANG Jianrong, et al. Quality evaluation for composite insulators in operation[J]. Insulators and Surge Arresters, 2001(3): 19-22.
- [16] 标称电压高于 1 000 V 交流架空线路用复合绝缘子使用导则: DL/T 864—2004[S]. 2004.
- Application guide of composite insulators for AC overhead lines with a nominal voltage over 1 000 V: DL/T 864—2004[S]. 2004.
- 胡 雯(1987—), 女, 博士, 讲师, 从事电力物联网、输电智能运维等方面的研究工作。
- 赵 淳(1985—), 男, 博士, 高工, 从事电网防灾减灾、输电智能运维等方面的研究工作。