

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.01.005

基于紫外成像的电晕放电环境影响因素的研究

李 兵¹, 邓 慰², 鄢 哲², 孙明利³, 李炼炼², 朱弘钊², 李明峪²

(1. 国网合肥供电公司, 合肥 230022; 2. 国网电力科学研究院, 武汉 430074;

3. 安徽继远电网技术有限责任公司, 合肥 230088)

摘要: 针对影响输变电设备电晕放电强度的温度、湿度、气压以及风4大环境因素, 在实验室中运用CoroCAM504型的紫外成像仪对环境因素影响棒—板间隙放电强度进行定量研究, 并分析了这4大环境因素对电晕放电强度的影响原因。试验结果表明, 棒—板间隙电晕放电强度会随着环境温度的上升而相应增强, 且呈现出一定的饱和趋势; 随着气压的上升或湿度的增加而减少; 风对电晕放电现象存在一定的削弱作用。
关键词: 紫外成像; 电晕放电; 环境影响因素; 光斑面积

Study on the Environmental Influencing Factors of Corona Discharge Based on UV Imaging

LI Bing¹, DENG Wei², YAN Zhe², SUN Mingli³, LI Lianlian², ZHU Hongzhao², LI Mingyu²

(1. Hefei Power Supply Bureau, Hefei 230022, China; 2. State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;

3. Anhui Jiyuan Electric Network Technology Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: Used the CoroCAM504 ultraviolet imager in laboratory, the UV imaging features of rod-plate gap discharge are quantitatively researched, and the four factors such as temperature, humidity, pressure and wind which could influence the test results of the discharge are analyzed. The results showed that corona discharge intensity of rod-plate gap will increase with the rise of temperature and show a degree of saturation trend, reduce with the rise of humidity or pressure. There is a certain weakening effect on the corona discharge phenomenon of the wind.

Key words: UV imaging; corona discharge; environmental influencing factors; spot area

0 引言

随着国民经济的快速增长, 居民和企业用电负荷不断增加, 对电力系统运行稳定可靠性要求越来越高, 然而输变电设备在长期的电、热、机械应力的作用下, 一定程度上会出现绝缘劣化等问题, 在一定的环境条件下出现输变电设备电晕放电现象。

电力设备在室外环境中运行, 环境温度、大气压力、湿度等条件的改变影响电晕放电的产生条件和放电量大小, 环境温度和大气压力的变化, 引起空气密度的改变, 导致空气的绝缘强度改变, 从而使电力设备的起晕电压改变, 电晕放电量改变。环境湿度的变化对电晕放电的影响较为复杂。当湿度在一定范围内, 空气中的水汽可以吸附自由电子,

从而抑制电离层的发展。但是当空气湿度进一步增大时, 导致导体表面的电场强度增加, 引起电晕放电点的增加。风对电晕放电研究较少, 由于空气加速流动, 风的吹弧作用带来的起晕电压升高导致电晕放电强度的降低^[1-7]。

由于电晕放电辐射的光波波长主要分布于紫外波段(200~400 nm), 而紫外成像设备的紫外探测通道由于采用了特殊的滤镜, 只探测 240~280 nm 波段的紫外光, 而太阳光此波段的紫外光在射入地面时被臭氧吸收, 从而避开了太阳光的干扰, 在白天也可以清晰地看到放电现象。紫外检测具有以下优点: ①能够以远距离、非接触、实时、快速地以在线检测方式获取设备的运行状态信息; ②分辨率高、形象直观、不受电磁干扰、安全可靠和效益投资比高等优点; ③可以在不停电、不取样、不解体的状况下进行故障的诊断分析, 不需要另备辅助信号源

收稿日期: 2014-07-01; 修回日期: 2014-07-24

基金项目: 安徽省电力公司科技项目(ADK/GW017-2013)。

Project Supported by the Anhui Province Electric Power Company(ADK/GW017-2013).

和各种检测装置,使得检测方法手段单一、操作方便,在电力系统中得到广泛运用^[8-16]。

笔者运用南非 CoroCAM504 日盲型紫外成像检测仪,在实验室环境中进行温度、湿度、气压以及风等环境条件对电晕放电影响的研究,研究结果对目前检测输变电设备电晕放电的现场应用及测试数据的分析具有一定的指导价值。

1 试验装置及步骤

1.1 试验装置

为了增强放电的持续性,笔者进行模拟试验时采用典型的极不均匀电极—棒—板间隙来获得稳定的电晕放电信号。电极在产生电晕放电的同时,周围空气中的电子不断进行能量的交换,当电子释放能量时,便会释放紫外线^[7]。设计一个环境参数可调的相对密闭金属罐体研究平台,温度、湿度、气压等环境影响因素在其密闭空间内可调,同时为便于观测棒—板电极放电,在密闭金属罐体上可开一观测窗,在窗体上安装 SiCl_4 合成石英玻璃,在密闭空间试验研究温度、湿度、气压等大气环境对高压电气设备电晕放电的影响。

试验采用 HY-AC20 工频高压试验变压器为极不均匀放电模型提供工频高压,采用的棒电极直径为 3.2 cm,其头部为圆锥形,顶端半径约 1.5 mm;电晕放电的图像由紫外成像仪探测,为了便于分析放电的动态过程,输出的视频信号由外接的视频录制设备进行存储。试验系统的接线原理图见图 1。

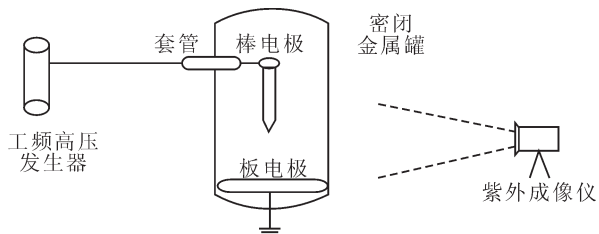


图 1 试验系统的接线原理图

Fig. 1 Wiring principle diagram of test system

1.2 试验步骤

由于紫外成像属于一种带电检测方法,在工程实际检测中,其检测的环境变化多样;根据实际环境,采取具体试验步骤如下:

1)在固定棒—板间隙距离下,根据棒—板间隙的击穿特性估计其击穿电压 U_b ,试验时给棒—板间隙稳步升电压,最终保持电压为 $0.8U_b$ 。

2)然后调节罐体温度、湿度和气压 3 个环境参数,每次保持其中两个参数不变,改变其中的一个参数,并记录紫外成像输出的棒—板间隙放电视频

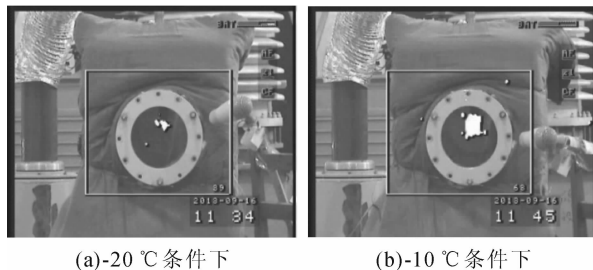
信号。

为实现量化环境因素对电晕放电强度的影响,一般会采用统计视频信号中的光子数或者光斑面积来进行分析,这里采用光斑面积作为量化参数。光斑面积是利用光斑区域图像与背景图像的灰度差异,通过阈值分割算法实现灰度图像向二值图像的转变,然后利用二值形态学的开启和闭合运算进行滤波处理。最后,统计图像矩阵中“1”像素点的个数,即计算光斑面积,从而表征其放电强弱^[18-19]。由于电晕放电具有一定的随机性,故采用取均值滤波法减小光斑面积计算时的误差。具体方法是从紫外成像视频中截取连续的 100 帧大小为 720×576 像素的图像,分别计算各帧中的紫外成像放电光斑的面积,然后对其取平均值实现对电晕放电强度的量化。

2 环境影响因素对电晕放电试验研究

2.1 温度对电晕放电的影响

通过加热和冷却器对罐体内空气进行升降温处理,试验时将温度范围控制在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在不同的温度下录制紫外视频,分析其光子面积、放电紫外成像特性以及图像参数的变化特性见图 2,棒—板间隙为 200 mm,工频电压为 50 kV,温度分别在 -20 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时紫外放电图像。得到棒—板间隙放电紫外光斑面积随温度的变化见图 3。



(a)-20 °C 条件下 (b)-10 °C 条件下
图 2 不同温度下棒—板间隙放电紫外图像

Fig. 2 UV imaging of rod-plate gap discharge under different temperature

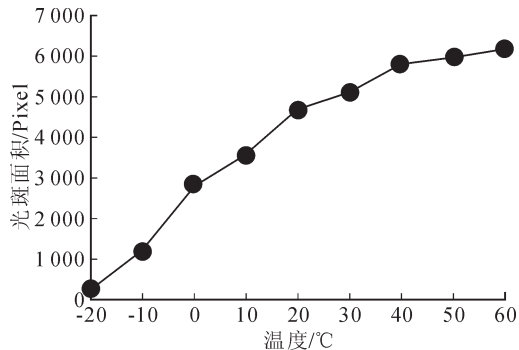


图 3 棒—板间隙放电紫外光斑面积随温度变化曲线

Fig. 3 Rod-plate gap discharge UV area changes with the temperature curve

由图3可以看出,随着温度的升高,棒—板间隙放电紫外光斑面积也随之增大,但放电紫外光斑面积变化特性曲线呈现一定的饱和趋势。在标准大气压下,空气的击穿场强在24~30 kV/cm,当电场参数超过这个值时,便会发生电晕现象^[20-21]。空气密度随着气压和温度的变化而变化,进而影响空气的电离过程,从而影响到棒—板间隙放电紫外光子面积。在罐体内空间一定和气压保持稳定时,随着温度的升高,根据理想气体方程,气体的摩尔数减少,空气的密度将减小,导致气体分子电离时自由电子的平均自由行程将增加,自由电子从电场中获得了更多的能量,容易引起空气分子的碰撞电离,从而降低空气电场场强,在相同的电压下使得棒—板间隙发生电晕变得容易,电晕现象变得更明显^[22]。当温度继续上升,空气密度进一步减小,虽然自由电子的平均自由行程进一步增加,但由于可引起碰撞电离的空气分子数量减少,从而放电紫外光斑面积表现出一定的饱和趋势。

2.2 湿度对电晕放电的影响

通过超声波冷雾加湿器控制罐体空间的湿度,相对湿度控制在40%~90%RH的范围内,湿度步长控制在10%,保持棒—板间隙距离和施加电压不变,然后在不同的湿度下录制紫外视频,分析其光斑面积、放电紫外成像特性以及图像参数的变化特性,棒—板间隙放电紫外光斑面积随湿度的变化关系见图4。

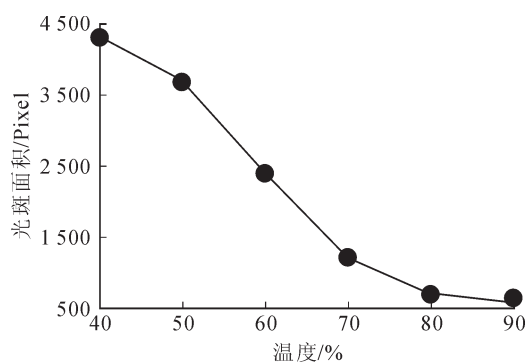


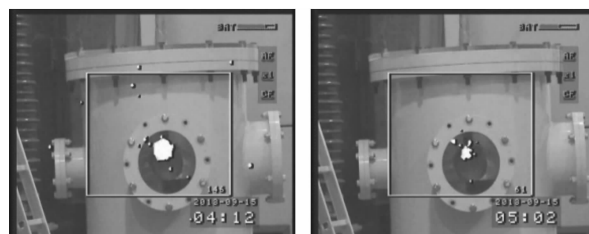
图4 棒—板间隙放电紫外光斑面积随湿度的变化曲线

Fig. 4 Rod-plate gap discharge UV area changes with the humidity curve

由4图可以知道,棒—板间隙放电的强度随湿度的增加而减少,因为棒—板间隙属于极不均匀电场,随着湿度的增加,空气中的水分子吸附电子形成负离子能力增强,导致电子形成负离子后其平均自由行程急剧减小,在电场中引起空气电离的能力削弱,从而使棒—板间隙的放电电压增大,紫外光斑面积也随之缩小^[23]。

2.3 气压对电晕放电的影响

保持棒—板间隙距离和施加电压不变,通过抽气机控制罐体内的气压,气压的控制范围为30.0~101.3 kPa,模拟从平原到高海拔地区棒—板间隙放电时其光斑面积、放电紫外成像特性以及图像参数的变化特性。气压分别在38.5 kPa和90 kPa时棒—板间隙放电紫外放电图像见图5。得到棒—板间隙放电紫外光斑面积随气压的变化见图6。



(a)气压38.5 kPa

(b)气压90 kPa

图5 不同气压条件下棒—板间隙放电紫外图像

Fig. 5 UV imaging of rod-plate gap discharge under different air pressure

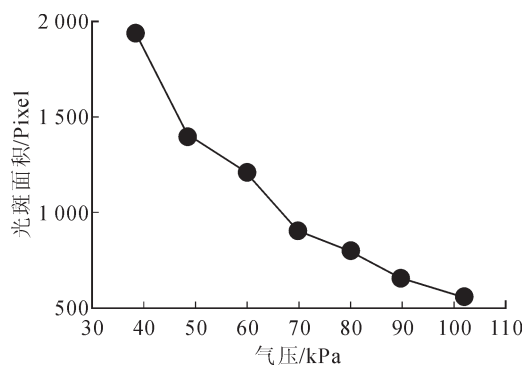


图6 棒—板间隙放电紫外光斑面积随气压的变化曲线

Fig. 6 Rod-plate gap discharge UV area changes with air pressure curve

由气体放电理论可以知道,当气压减小时,空气密度减小,气体分子电离后电子的平均自由行程增加,电离过程加强,碰撞发生激励产生光子的概率增加,故棒—板间隙放电随着气压的降低而加强。

2.4 风对电晕放电的影响

该试验采取类似图1的接线方式,去除外部的金属罐体。在紫外成像仪增益为70%观测距离分别设置为4、8 m条件下给棒—板间隙施加40 kV电压,观察风对棒—板间隙放电紫外光斑面积的影响。增益70%时40 kV电压不同距离观测风对棒—板间隙放电紫外光斑面积的影响见图7。

由图7可看出,在任何同一增益下,风对放电紫外图像的光斑面积都有影响,有风比无风时光斑面积明显减小,这充分说明了风对放电强度产生削

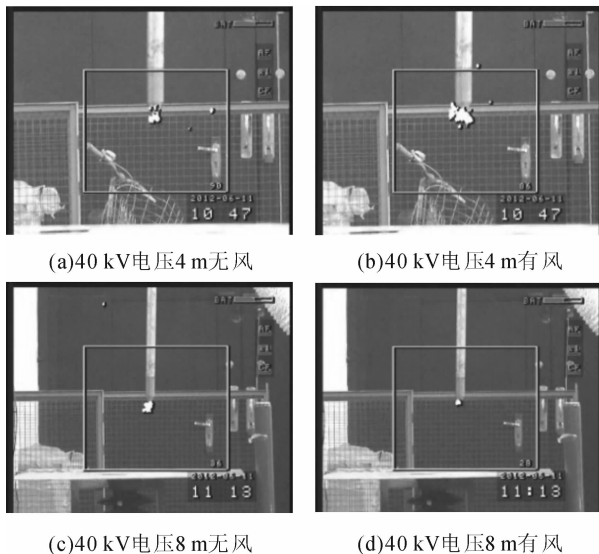


图7 增益70%时40 kV电压不同距离观测风对棒—板间隙放电紫外光斑面积的影响

Fig. 7 Gain 70% when 40 kV voltage under different distance observation wind for UV area of rod-plane gap discharge

弱作用。

同时在棒—板间隙施加50 kV电压不变,距离保持在16.5 m的情况下,改变紫外成像仪的增益,分别在不同增益下观察紫外图像的变化,见图8。

棒—板间隙施加50 kV电压不变,距离保持在16.5 m的情况下,不同增益时风影响放电光斑面积关系图见图9。

由图9直观看出不同增益下风对放电强度的影响。不管有风还是无风,随增益的增大光斑面积也逐渐增大,但有风的时候明显要比无风时的光斑面积小。由于吹弧效应,风对棒—板间隙放电具有明显的削弱作用,光斑面积的变化可直观反应风对棒—板间隙放电强度的影响,即同等条件下有风时,则反应在棒—板间隙放电上有风时,要比无风时的放电强度小。

3 结论

通过运用紫外成像仪对环境因素影响棒—板间隙电晕放电强度进行检测试验研究,可以得出如下结论:

1)在紫外成像检测电晕放电过程中,环境温度、湿度、气压以及风的变化,会影响电晕放电的强度,从而对检测结果产生一定的影响;

2)随着环境温度的上升或者气压下降时,容易引起空气分子的碰撞电离,从而降低空气电场场强,导致电晕现象变得更明显。但当温度继续上升,棒—板间隙放电强度呈现非线性上升,反映在紫外

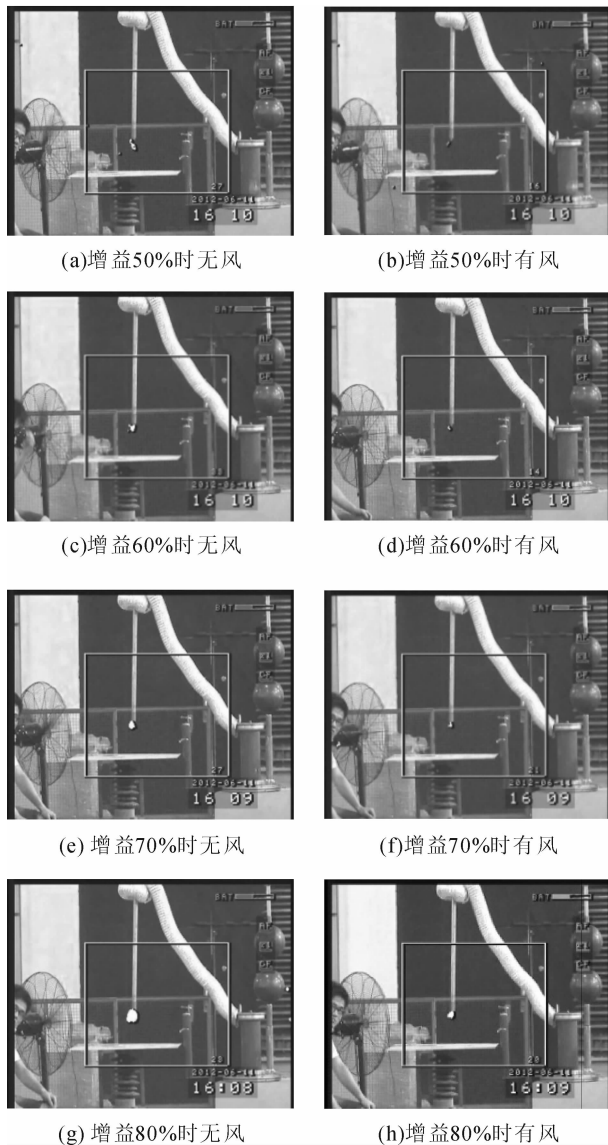


图8 棒—板间隙施加50 kV电压距离16.5 m时不同增益下风对放电的影响

Fig. 8 16.5 m distance when 50 kV voltage under the different gain observation wind for UV area of rod-plane gap discharge

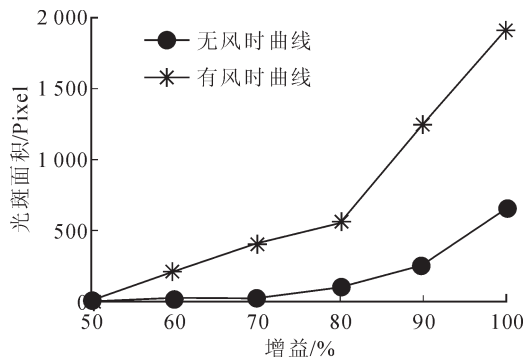


图9 棒—板间隙施加50 kV电压距离16.5 m时不同增益下风对光斑面积影响曲线

Fig. 9 16.5 m distance when 50 kV voltage under the different gain observation wind for UV area of rod-plane gap discharge curve

光斑面积上表现出一定的饱和趋势;

3)当相对湿度增大时,空气中的水分子能够吸附电子,棒—板间隙电晕放电点周围的电子数降低,导致电晕强度减弱;

4)由于吹弧作用,风对电晕放电现象有存在一定削弱。

建议检测输变电设备电晕放电时宜选择在晴朗、相对湿度较小、无风或者微风的气候环境条件下进行,同时检测时注意环境温度和气压对检测结果的影响。检测时宜记录各种环境参数,以便以后的数据研究分析,从而提高故障诊断的可靠性。由于试验条件有限,建议下一步在风洞中研究风量(风速)对输变电设备电晕放电的影响。

参考文献:

- [1] 胡 琴,舒立春,蒋兴良,等. 大气参数对导线交流起晕电压的影响及校正[J]. 电网技术,2010,34(11):70-76.
HU Qin,SHU Lichun,JIANG Xingliang,et al. Effect of atmospheric factors on AC corona inception voltage of conductors and its correction[J]. Power System Technology, 2010,34(11):70-76.
- [2] 林浩然,牛海清,张耿斌,等. 高湿条件下空气间隙放电规律的试验研究[J]. 高压电器,2014,50(1):87-91.
LIN Haoran,NIU Haiqing,ZHANG Gengbin,et al. Experimental study on air-gap discharge characteristics in heavy humidity[J]. High Voltage Apparatus,2014,50(1):87-91.
- [3] 张耿斌,罗 新,沈杨杨,等. 大气条件对气隙放电电压的影响及神经网络在放电电压预测中的应用[J]. 高电压技术,2014,40(2):564-571.
ZHANG Gengbin,LUO Xin,SHEN Yangyang,et al. Effect of atmosphere condition on discharge characteristics of air gap and the application of neural network[J]. High Voltage Engineering,2014,40(2):564-571.
- [4] 胡 毅,王力农,邵瑰玮,等. 风雨对导线—杆塔空气间隙工频放电特性的影响[J]. 高电压技术,2008,34(5):845-850.
HU Yi,WANG Linong,SHAO Guiwei,et al. Influence of rain and wind on power frequency discharge characteristic of conductor-to-tower air gap[J]. High Voltage Engineering, 2008,34(5):845-850.
- [5] 耿翠英,陈守聚,张 科,等. 风对空气间隙工频闪络电压影响的试验研究[J]. 河南电力,2007(1):5-7.
GENG Cuiying,CHEN Shouju,ZHANG Ke,et al. The research on the affection of wind to power frequency flashover of air-gap[J]. Henan Electric Power,2007(1):5-7.
- [6] 徐 勇,汪霄飞,朱英浩,等. 大气条件对空气间隙放电特性的影响及其数值解析式[J]. 电工技术学报,2007,22(4):21-26.
XU Yong,WANG Xiaofei,ZHU Yinghao,et al. Effect of atmosphere condition on discharge characteristic of air gap and its analytic equation of numerical value[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2007,22(4):21-26.
- [7] 沈 琪,汲胜昌,祝令瑜. 交流滤波电容器装置电晕的噪声评估[J]. 电力电容器与无功补偿,2012,33(1):57-62.
SHEN Qi,JI Shengchang,ZHU Lingyu. The assessment of corona noise on the AC filtering capacitor installation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2012, 33(1):57-62.
- [8] 律方成,戴日俊,王胜辉,等. 基于紫外成像图像信息的绝缘子表面放电量化方法[J]. 电工技术学报,2012,27(2):261-268.
LYU Fangcheng,DAI Rijun,WANG Shenghui,et al. Study of insulator surface discharge quantification method based on ultraviolet imaging image information[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(2):261-268.
- [9] 王胜辉,律方成,李和明. 基于紫外成像图像参量的交流电晕特性研究[J]. 高压电器,2011,47(1):29-33.
WANG Shenghui,LYU Fangcheng,LI Heming. Study on the AC corona characteristic based on UV imaging parameter[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(1):29-33.
- [10] 王少华,梅冰笑,叶自强,等. 紫外成像检测技术及其在电气设备电晕放电检测中的应用[J]. 高压电器,2011,47(11):92-97.
WANG Shaohua,MEI Bingxiao,YE Ziqiang,et al. Ultraviolet imaging detection technology and application in corona discharge detection of electrical equipment[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(11):92-97.
- [11] 叶会生,雷红才,臧春艳,等. 极不均匀场中电晕放电的紫外成像检测特性研究[J]. 高压电器,2010,46(1):35-39.
YE Huisheng,LEI Hongcai,ZANG Chunyan,et al. Study on UV imaging detection characteristics of corona discharge under non-uniform electric field[J]. High Voltage Apparatus,2010,46(1):35-39.
- [12] 陈 磊,邓 慰,周仿荣,等. 基于紫外成像的电晕放电海拔因素的研究[J]. 电瓷避雷器,2013(6):124-129.
CHEN Lei,DENG Wei,ZHOU Fangrong,et al. Study on the altitude factors of corona discharge based on UV imaging[J]. Insulators and Surge Arresters,2013(6):124-129.
- [13] 王胜辉,郭 晶,刘宏亮,等. 基于紫外成像放电检测光斑面积与观测距离关系研究[J]. 陕西电力,2013,41(8):5-9.
WANG Shenghui,GUO Jing,LIU Hongliang,et al. Research on relationship between facular area and observation distance based on UV imaging discharge detection[J]. Shaanxi Electric Power,2013,41(8):5-9.
- [14] 张 曦,邹 宣,何增科,等. 支持式管型母线在330 kV户外配电装置中的应用研究[J]. 陕西电力,2013,41(5):66-68.

- ZHANG Xi,ZOU Xuan,HE Zengke,et al.330 kV outdoor switchgear with support type tubular busbar[J]. Shaanxi Electric Power,2013,41(5):66-68.
- [15] 杨 铭,许和平,许其品,等. 自饱和电抗器在大功率电解铝整流中的控制特性分析[J]. 变压器,2014,51(7):6-10.
- YANG Ming,XU Heping,XU Qipin,et al. Control characteristics analysis of self-saturated reactor in lager-power rectifying device for aluminum electrolysis[J]. Transformer, 2014,51(7):6-10.
- [16] 陈世省,陈 益,郭 英. 大型电力变压器几种器身定位结构的介绍[J]. 变压器,2014,51(6):15-17.
- CHEN Shisheng,CHEN Yi,GUO Ying. Introduction of active part fix position structures of large power transformer[J]. Transformer,2014,51(6):15-17.
- [17] 马 斌,周文俊,汪 涛,等. 棒—板模型交流电晕放电紫外数字图像处理及其应用判据[J]. 电力系统自动化, 2008,32(24):74-79.
- MA Bin,ZHOU Wenjun,WANG Tao,et al. An experimental investigations on applicable criterion for AC corona discharge evolvement of rod-plane gap based on UV digital image processing[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(24):74-79.
- [18] 王胜辉,律方成,李和明. 高压设备电晕紫外成像检测图像增强方法的研究[J]. 高压电器,2009,45(6):15-19.
- WANG Shenghui,LYU Fangcheng,LI Heming. Study on image enhancement method of high voltage equipment corona UV imaging detection[J]. High Voltage Apparatus, 2009,45(6):15-19.
- [19] 律方成,戴日俊,王胜辉,等. 极不均匀电场中电晕放电紫外成像图像参量变化特性研究[J]. 华北电力大学学报,2012,39(2):1-7.
- LYU Fangcheng,DAI Rijun,WANG Shenghui,et al. Study on the corona discharge ultraviolet image parameters characteristic in extremely uneven electric field[J]. Journal of North China Electric Power University,2012,39(2):1-7.
- [20] 武建华,付炜平,霍春燕. 外界条件对紫外成像仪检测结果的影响[J]. 河北电力技术,2009,28(5):1-4.
- WU Jianhua,FU Huiping,HUO Chunyan. Influence of external condition on test result of ultraviolet imaging meter[J]. Hebei Electric Power,2009,28(5):1-4.
- [21] 杨 宁,吴旭涛,毕建刚,等. 紫外成像技术在电晕放电检测中影响因素的试验研究[J]. 高压电器,2012,48(12): 59-64.
- YANG Ning,WU Xutao,BI Jiangang,et al. Experimental research of influence factors in detecting corona discharge by UV imaging method[J]. High Voltage Apparatus,2012, 48(12):59-64.
- [22] 孙才新,司马文霞,舒立春. 大气环境与电气外绝缘[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [23] 严 璋,朱德恒. 高电压绝缘技术[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- 李 兵(1978—),男,工程师,研究方向为输电设备运维检修。

(上接第 23 页)

- 2003,10(2):13-18.
- ZHANG Guoxiang. A new fe-based amorphous alloy with excellent soft magnetic properties[J]. Metallic Functional Materials,2003,10(2):13-18.
- [19] 刘吉磊,朱正吼,尹 镭,等. 线切割工艺对 Fe78Si9B13 非晶合金铁芯工频软磁性能的影响[J]. 南昌大学学报(理科版),2012,36(4):351-354.
- LIU Jilei,ZHU Zhenghou,YIN Lei,et al. Effect of wire saw technic on the soft magnetic properties of Fe78Si9B13 amorphous alloy under line frequency[J]. Journal of Nanchang University(Natural Science),2012,36(4):351-354.
- [20] IEC 60205-2009 Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts[S]. 2009.
- 岳天琛(1989—),男,硕士研究生,研究方向为电力设备在线监测。