

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.09.010

基于特高频技术及三维空间定位法的 GIS 套管局放检测与实例分析

宋方超, 卢 刚, 刘东明, 林丛玉, 孙晓晨, 金爱民

(国网烟台供电公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 通过对组合电器、变压器等电力设备进行带电检测,可以有效发现设备内部缺陷引起的局部放电。由于 GIS 套管结构、材料与 GIS 本体有很大不同,用于 GIS 本体带电检测及定位的方法往往不完全适用于 GIS 套管。为实现通过带电检测发现套管内部绝缘性缺陷的目的,文中基于 GIS 套管特高频局放检测、缺陷模式识别、放电源定位以及解体检析等技术,分析某 500 kV 变电站 220 kV 设备区 GIS 出线套管内部悬浮放电缺陷,根据特高频信号脉冲序列相位分布谱图(phase resolved pulse sequence,PRPS 图)、局部放电相位分布谱图(phase resolved partial discharge,PRPD 图)特征对缺陷类型进行识别,阐述基于时间领先法、平面分法、三角定位法的放电源精确定位过程,并结合其他检测手段进行综合分析判断,最后通过解体检析查明套管内部放电的具体原因为导电杆法兰与套管法兰对接面涂胶过多,使其接触不良,产生悬浮电位进而导致悬浮放电。从而验证特高频局放检测缺陷识别的正确性和放电源定位的准确性,以及多种带电检测技术综合应用的有效性和互补性。

关键词: 局部放电; 组合电器; 特高频检测; 定位; 解体

Example Analysis on Partial Discharge in the GIS Bushing Based on UHF Technology and Positioning Method in Three Dimensional Space

SONG Fangchao, LU Gang, LIU Dongming, LIN Congyu, SUN Xiaochen, JIN Aimin

(State Grid Yantai Power Supply Company, Shandong Yantai 264000, China)

Abstract: Through on-site testing on GIS, transformer and other electric equipment, the partial discharge (PD) caused by equipment internal defects can be detected. Because of the differences among the GIS bushing structure, material and GIS ontology, the methods which to detect and locate GIS ontology don't apply to GIS bushing. In order to find the bushing's internal insulation defects, this paper analyzes the suspended discharge defects in the GIS bushing of some 220 kV equipment in a 500 kV substation based on partial discharge detection with UHF method, defect pattern recognition, discharge position and dissolution test analysis. According to the figures of phase resolved pulse sequence(PRPS) and phase resolved partial discharge(PRPD), the defect types are recognized. The discharge positioning process is stated based on time leading method, point plane method and triangulation method and is judged combining with other testing means. In the end, this paper finds out the reason of bushing's internal discharge and the reason is too much glue between the pole flange junction and the bushing flange junction which leads to suspended discharge. Through the study, this paper validates the correctness of defect recognition, the accuracy of discharge position and the effectiveness and complementary of integrated application of various charged detection technologies.

Key words: partial discharge; GIS; ultra high frequency detection; positioning; disintegration

0 引言

特高频局部放电检测技术是 20 世纪 80 年代由

收稿日期:2016-04-20; 修回日期:2016-06-21

英国中央电力局首先提出,并由苏格兰电力公司于 1986 年最先引进并应用于 420 kV GIS 上,经过多年运行经验验证了该方法的可行性^[1]。20 世纪 90 年代中期,清华大学电机系进行了特高频诊断技术的研究,并开发出具有 GIS 局部放电监测和诊断功能的装置,多次发现放电缺陷并实现定位^[2]。20 世纪 90 年代末,各大高校及科技公司也开展了大量的研究和推广工作。2006 年以来,特高频局放检测技术在各电力企业得到广泛应用^[3]。

目前,随着城市电网的快速发展,电网规模的迅速扩大,供电连续性和供电可靠性不断提升,需要维护的电力设备不断增加,电力设备检修工作面临严峻挑战,传统的周期检修模式已经不能完全适应电网发展的需要,而状态检修机制的应运而生和带电检测技术的日益成熟,为提高检修针对性和有效性,降低设备维修成本,提高检修水平,使电网更加安全、经济、稳定运行提供了重要保障^[4-6]。特高频局放检测作为带电检测技术重要的检测方法之一,因具有检测灵敏度高、现场抗低频电晕干扰能力强、可实现放电源定位、便于缺陷识别等优点而被广泛使用^[7-10]。但目前对于 GIS 的缺陷识别与放电源定位主要集中于 GIS 罐体内部,对于 GIS 套管内部缺陷的特高频局部放电检测与放电源定位的工程应用案例则鲜有发现。文中围绕进行 GIS 特高频局部放电检测时,在其中一出线间隔 GIS 盆式绝缘子浇注孔处和周围环境中均检测到明显异常信号这一现象。首先介绍了异常情况及被测设备信息,其次分析了特高频检测结果,随后对该信号进行定位,确定放电源位置。对该套管解体,查明产生悬浮放电的原因,与检测分析结果一致。

1 检测概况

2015 年 5 月 28 日,在对某 500 kV 变电站 220 kV 设备区 GIS 进行特高频局部放电检测时,在 220 kV 某出线间隔 GIS 盆式绝缘子浇注口处和周围空间中均检测到明显信号,具有典型悬浮放电特征,且该信号覆盖面较大,在同一间隔的其他盆式绝缘子上均可检测到较强的信号。随后采取时间领先法、平面分法对该信号进行平面定位,确定该信号来自该间隔 A 相出线套管处,见图 1。

该产品型号为 SDA524,生产日期为 2014 年 9 月,2015 年 3 月 7 日至 17 日扩建施工,2015 年 4 月 29 日投运。投运前耐压及其它各项试验均合格。该 GIS 绝缘子结构外部有金属屏蔽层,仅能通过直径约为 2 cm 的圆形浇注孔(凹面)进行特高频检测^[11]。



图 1 A 相出线套管

Fig. 1 A phase outlet casing

2 缺陷类型识别与定位

2.1 特高频局部放电检测

仪器前置增益关闭的情况下,该间隔周围 20 m 空间和 GIS 绝缘盆子上都能检测到明显的局部放电信号。信号幅值大,脉冲数较少,一个周期内正负半波均有信号,有时呈现八字特征,具有典型悬浮放电特征^[12-14]。特高频检测信号见图 2。

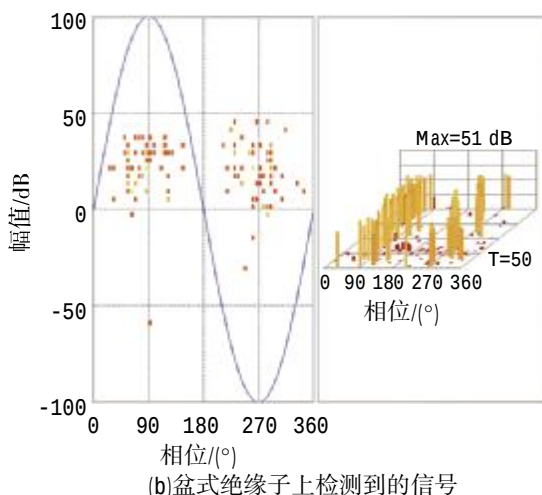
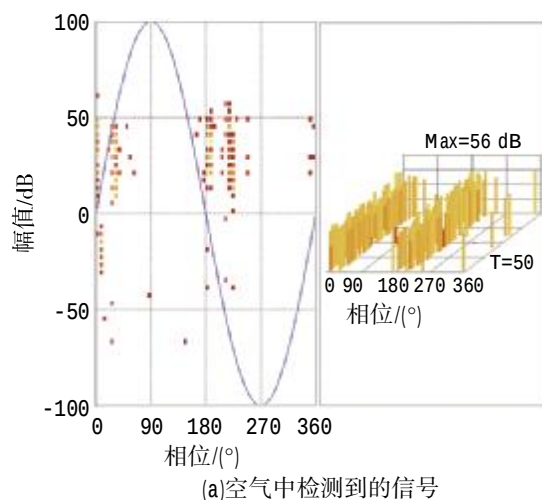


图 2 特高频检测信号图(前置增益关闭)

Fig. 2 The figure of UHF detection signal

其他部位检测时,在前置增益打开的情况下,也可测到特征相同的信号,但前置增益关闭后,检测不到信号;且距离该间隔越远,检测到得信号越不明显,见图 3。据此分析认为该信号与上述信号为同一信号源发出,这也有利于提高三维空间定位法的定位精度^[15]。

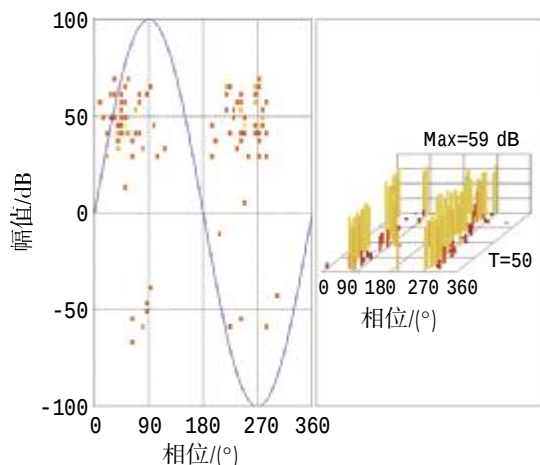


图 3 其他部位检测信号图(前置增益打开)

Fig. 3 Other parts of the detection signal figure

采用局部放电定位仪对该信号进行定位。首先使用时间领先法比较盆式绝缘子浇铸口处信号及空间中信号的响应时间,将传感器 1 放置于盆式绝缘子,传感器 2 以该测点为轴心,360°旋转传感器并观察示波器两信号的响应时间。同时将示波器设置为以传感器 1 为触发通道的信源,检测发现传感器 1 的信号始终滞后于传感器 2 的信号响应,判定该信号不是由 GIS 罐体内部发出^[16]。其次使用平面分法对信号源进行定位,首先将两个传感器按照相同朝向放置,移动两个传感器的位置,使示波器两个通道信号重叠,此时信号源距离两传感器的距离相等,可以确定信号源位于两个传感器中间的一个垂直平分面上^[17]。同样的方式在相对的方向上以及上下方向上各确定一个平面,最终三面相交即可查找到信号源位置,见图 4。文中所用平面分法定位受限于垂直高度的安全距离以及工具长度无法将传感器 2 置于套管上部,所以,仅确定其地面坐标位于该间隔 A 相出线套管垂直线正下方。

使用三角空间定位对放电源对地高度进行精确定位,见图 5。具体方法如下:将传感器 2 放置于放电源下方,传感器 1 放置于距传感器 25 m 远的距离,放置距离可以根据同轴电缆长度任意放置。由示波器可看出,两个传感器接收到信号时间差为 6.65 ns,见图 6,电磁波传播速度为 3×10^8 m/s,计算放电源距传感器 1、2 的距离差约为 2 m。

利用勾股定理,设放电源对地高度 x m(即放电

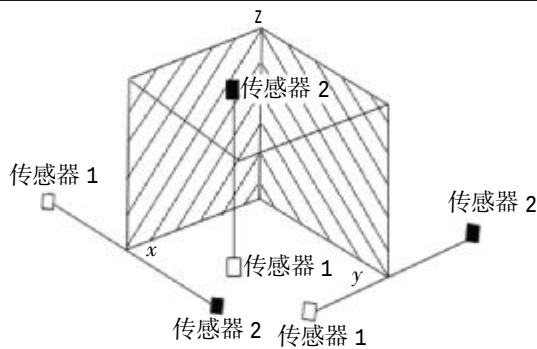


图 4 平面分法定位原理图

Fig. 4 Planar points legal principle figure

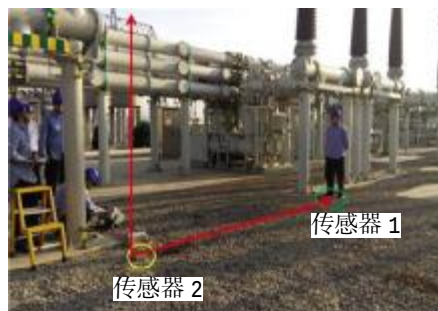


图 5 直角三角法空间高度定位示意图

Fig. 5 Right angle trigonometry space location figure

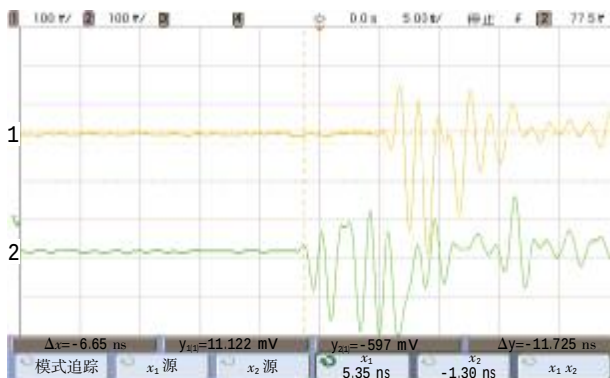


图 6 示波器检测两个通道波形及时差

Fig. 6 Oscilloscope to detect two channel differential waveform in time

源与传感器 2 的距离),传感器 1 的距离为 $(x+2)$ m,列方程计算放电源距离地面高度约为 5 m,见图 7。使用激光测距仪测量高压套管顶部法兰对地距离 5.4 m,由此可以确定该放电源位于该间隔 A 相出线套管上部,考虑测距仪测量误差和示波器信号初始峰识别造成的时间误差,判定放电源位于距离套管顶部法兰约 20 cm 处。

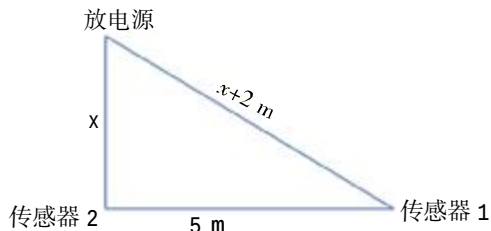


图 7 三角空间定位法高度计算图

Fig. 7 Triangular space positioning calculation figure

2.2 超声波局部放电检测情况

使用超声波局部放电检测仪对 A 相出线套管所属 GIS 气室进行检测, 套管下方及其他部位均未发现异常, 信号有效值为 0.16 mV, 峰值约为 0.5 mV, 无 50、100 Hz 相关性, 与背景值相同。

2.3 SF₆ 气体湿度及成分检测

对该间隔 A 相出线套管气室进行 SF₆ 气体湿度及成分检测, 结果见表 1。

表 1 A 相出线套管气室 SF₆ 气体湿度及成分检测表

Table 1 A phase outlet casing SF₆ gas humidity and component testing table

气室名称	SO ₂ /(μL·L ⁻¹)	H ₂ S/(μL·L ⁻¹)	CO/(μL·L ⁻¹)	湿度/%
A 相出线 套管气室	0.0	0.0	6.5	76.0

SF₆ 气体湿度及成分检测合格, 测量前后表压均为 0.66 MPa。

2.4 红外热像检测

使用红外热像仪对 A 相套管进行精确测温及 SF₆ 气体泄漏检测, 套管端部及整体温度正常, 亦未见漏气。

2.5 紫外放电检测

使用紫外热像仪对套管及外部进线进行检测, 未见外表面存在明显放电, 见图 8。



图 8 紫外放电检测照片

Fig. 8 Ultraviolet discharge test photos

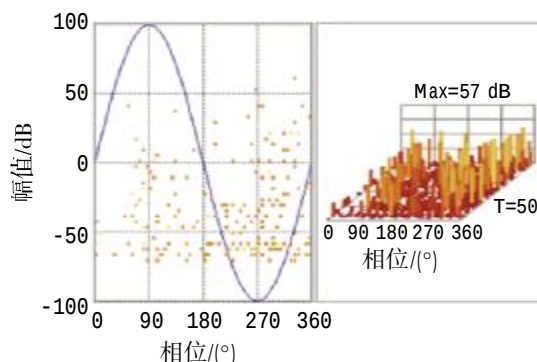
3 综合分析

通过对放电源进行定位, 判断该间隔 A 相套管中上部存在放电现象。通过紫外成像仪、红外热像仪对套管端部及外部区域进行检查, 未在外发现放电点, 判断在套管内部上端可能存在金属部件接触不良, 进而引发悬浮放电。SF₆ 气体成分检测无异常, 但由于该气室容积较大, 加之该间隔投运时间短, 若有分解物产生, 不能保证其浓度达到检测仪器的最小检测限而被有效检测^[20]。另外由上文定位结果知信号源在套管上部, 而悬浮放电产生的超声信

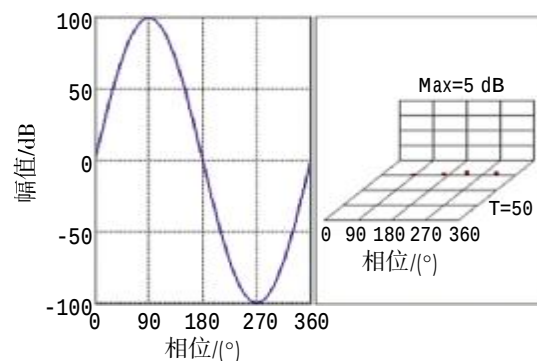
号经过较长距离传播, 途经套管根部法兰, 转角等部位, 可以确定超声信号衰减所剩无几, 不能反映套管内部放电情况, 虽然超声检测无异常, 但不能排除套管内存在悬浮放电的可能^[19-20]。

4 验证情况

因现场不具备套管解体检查条件, 2015 年 6 月 4 日, 对该间隔 A 相套管进行更换。恢复送电后进行复测, 在仪器前置增益打开时, 可看到有较明显信号, 但前置增益关闭后检测不到信号, 见图 9。采用时间领先法、平面分法及三角定位法对该信号源进行定位, 确定信号源来自设备区外部杆塔方向, 更换套管前定位到的异常信号消失, 设备正常运行。



(a) 前置增益打开时



(b) 前置增益关闭后

图 9 更换套管后特高频测试谱图

Fig. 9 Replacement of casing UHF testing spectra

6 月 9 日, 对更换下来的套管进行解体, 拆解导电杆法兰与套管法兰连接处时, 发现导电杆法兰与套管法兰连接面涂胶较多, 见图 10; 其中一个螺栓孔有放电灼烧痕迹, 见图 11。分析认为两个法兰对接面因涂胶较多, 造成接触不良, 运行中产生悬浮放电。

通常两个法兰连接在金属对接后, 在注胶孔注防水胶以及在外螺栓等部位涂抹防水胶。该套在安装时, 采用在对接面涂防水胶然后对接粘合。如果防水胶涂抹较厚, 进入螺栓孔, 且螺栓、垫片等部件也被胶浸没, 便可能造成两个法兰对接面接触不良。由于两个对接面间没有电流通过, 因此不会引起发



图 10 导电杆法兰与套管法兰对接面 图 11 法兰对接面栓孔处有放电痕迹

Fig. 10 Flange joint surface of conductor and casing Fig. 11 Discharge traces on the bolt hole of flange joint surface

热,但会因接触不良产生悬浮电位,造成悬浮放电。后经测量,放电处距离套管顶部法兰约 16 cm,与定位结果基本一致,误差约 4 cm。

5 结论

围绕对某 500 kV 变电站 220 kV 设备区 GIS 进行特高频局部放电检测时,在其中一出线间隔 GIS 盆式绝缘子浇注口处和周围环境中均检测到明显异常信号,结合其他带电检测手段进行了一系列的检测、定位、综合分析工作,得出以下结论:

1)所测异常信号为悬浮放电信号,放电源位置为 A 相出线套管上部距法兰约 20 cm 处,与最终解体后判定的缺陷位置基本一致,误差在 5 cm 之内。验证了特高频带电检测缺陷识别的正确性及特高频定位的准确性。

2)通过返厂解体检查,确认该出线间隔 A 相套管端部套管内出现悬浮放电原因为导电杆法兰与套管法兰对接面涂胶过多引起两法兰接触不良,从而产生悬浮电位,引起放电。

3)建议生产厂家严格控制安装工艺,改进注胶密封方式,确保产品质量,保证设备安全、可靠运行。

4)通过此次对异常放电信号检测、定位、识别、诊断及处理,验证了多种带电检测方法综合分析的有效性和互补性,在设备运行过程中,加强设备的带电检测,对发现设备潜在隐患有重要意义。

参考文献:

- [1] 曾雄杰,刘旭明. GIS 设备局放类型图谱以及现场局放测试诊断图谱的应用[J]. 高压电器,2013,49(11):31-35.
ZENG Xiongjie,LIU Xuming. Illustrated catalogue application of PD types and on-site diagnostic of PD test in GIS[J]. High Voltage Apparatus,2013,49(11):31-35.
- [2] 丁登伟,高文胜,刘卫东.采用特高频法的 GIS 典型缺陷特性分析[J]. 高电压技术,2011,37(3):706-710.

DING Dengwei,GAO Wensheng,LIU Weidong. Analysis on the typical partial discharge using UHF detection method for GIS[J]. High Voltage Engineering,2011,37(3):706-710.

- [3] 丁登伟,唐 诚,高文胜,等. GIS 中典型局部放电的频谱特征及传播特性[J]. 高电压技术,2014,40(10):3243-3251.
DING Dengwei,TANG Cheng,GAO Wensheng,et al. Frequency attributes and propagation properties of typical partial discharge in GIS[J]. High Voltage Engineering,2014,40(10):3243-3251.
- [4] 高文胜,丁登伟,刘卫东,等.采用特高频检测技术的局部放电源定位方法[J]. 高电压技术,2009,35(11):2680-2684.
GAO Wensheng,DING Dengwei,LIU Weidong,et al. Location of PD by searching in space using UHF method[J]. High Voltage Engineering,2009,35(11):2680-2684.
- [5] 程 序,陶诗洋,王文山.一起 110 kV XLPE 电缆终端局放带电检测及解体分析实例[J]. 中国电机工程学报,2013,33(s):226-230.
CHENG Xu,TAO Shiyang,WANG Wenshan. The partial discharge detection and location as well as dissection of 110 kV XLPE cable terminal[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(s):226-230.
- [6] 李晓峰,刘 振,庞先海,等. 特高频局部放电检测技术在 GIS 设备上的典型应用[J]. 高压电器,2013,49(7):100-103.
LI Xiaofeng,LIU Zhen,PANG Xianhai,et al. Typical application of UHF partial discharge detection in GIS[J]. High Voltage Apparatus,2013,49(7):100-103.
- [7] 彭 江,程 序,刘 明,等. 电网设备带电检测技术[M]. 北京:中国电力出版社,2014:6-7.
PENG Jiang,CHENG Xu,LIU Ming,et al. On-site testing technology of power grid equipment[M]. Beijing:China Electric Power Press,2014:6-7.
- [8] RUDD S,MCARTHUR S D,JUDD M D. A generic knowledge-based approach to the analysis of partial discharge data[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation,2010,17(1):149-156.
- [9] 吴张建,李成榕,齐 波,等. GIS 局部放电检测中特高频法与超声波法灵敏度的对比研究[J]. 现代电力,2010,27(3):31-36.
WU Zhangjian,LI Chengrong,QI Bo,et al. Partial discharge detection for GIS: A comparison of sensitivity between UHF and ultrasonic methods[J]. Modern Electric Power,2010,27(3):31-36.
- [10] 唐 炬,朱 伟,孙才新,等. GIS 局部放电的特高频检测[J]. 高电压技术,2003,29(12):22-23.
TANG Ju,ZHU Wei,SUN Caixin,et al. Analysis of UHF method used in partial discharge detection in GIS[J]. High Voltage Engineering,2003,29(12):22-23.

- [11] 孙曙光,陆俭国,俞慧忠,等. 基于超高频法的典型 GIS 局部放电检测[J]. 高压电器, 2012, 48(4): 7-12.
SUN Shuguang, LU Jianguo, YU Huizhong, et al. Detection of typical GIS partial discharge based on UHF method[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(4): 7-12.
- [12] 李 信,李成榕,丁立健,等. 基于特高频信号检测 GIS 局放识别模式识别[J]. 高电压技术, 2003, 29(11): 26-30.
LI Xin, LI Chengrong, DING Lijian, et al. Identification of PD patterns in gas insulated switchgear (GIA) based on UHF signals[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(11): 26-30.
- [13] 王卫东,赵现平,王达达,等. GIS 局部放电检测方法的分析研究[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 13-17.
WANG Weidong, ZHAO Xianping, WANG Dada, et al. Analysis on the method of GIS partial discharge detection [J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(8): 13-17.
- [14] HAMPTON B F. Dianostic measurements at UHF in gasinsulated substations[J]. IEE Proceedings C of Generation, Transmission and Distribution, 1988, 135(2): 137-144.
- [15] PAYNE T G, SOUTHAM A D, ARVANITIS T N, et al. A signal filtering method for improved quantification and noise discrimination in fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry-based metabolomics data[J]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2009, 20(6): 1087-1095.
- [16] 姚 勇,岳彦峰,黄兴泉. GIS 超高频/超声波局放检测方法的现场应用[J]. 高电压技术, 2008, 34(2): 422-424.
YAO Yong, YUE Yanfeng, HUANG Xingquan. The application of GIS partial discharge detection based on UHF and AE[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2): 422-424.
- [17] 李 信,李成榕,丁立健,等. 基于超高频信号检测 GIS 局放模式识别[J]. 高电压技术, 2003, 29(11): 26-30.
LI Xin, LI Chengrong, DING Lijian, et al. Dentification of PD patterns in gas insulated switchgear(GIS) based on UHF signals[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(11): 26-30.
- [18] 罗 兵,林志明,刘卫东. GIS 局部放电带电测试特性研究[J]. 高电压技术, 2001, 27(z1): 81-82.
LUO Bing, LIN Zhiming, LIU Weidong. Study on GIS partial discharge on line detection[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(z1): 81-82.
- [19] REID A J, JUDD M D, FOURACRE R A, et al. Simultaneous measurement of partial discharges using IEC 60270 and radio-frequency techniques[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2011, 18(2): 444-455.
- [20] SHIBUYA Y, MATSUMOTO S, TANAKA M. Electromagnetic waves from partial discharges and their detection using patch antenna[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17(3): 862-871.
- 宋方超(1988—),男,工程师,主要从事电气试验、带电检测工作。

(上接第 54 页)

- [14] 张洪才. ANSYS 14.0 理论解析与工程应用实例 [M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
ZHANG Hongcai. ANSYS 14.0 theory analysis and engineering application examples[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [15] 方煜瑛. 关于梅花触头的设计要领[J]. 华通技术, 2005, 24(2): 38-40.
FANG Yuying. About important design aspects of tulip contacts[J]. Hua Tong Technology, 2005, 24(2): 38-40.
- [16] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
LI Bin. Design of SF₆ high-voltage electric apparatus[M]. [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- 王红艳(1980—),女,工程师,主要从事 12~40.5 kV 中压电器产品研发工作。