

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.02.011

用超声波检测法对GIL设备两次局放的诊断与分析

李红元, 陈 禾, 吴德贯, 周 禹

(中国南方电网超高压输电公司检修试验中心, 昆明 650000)

摘要: 笔者结合实际工作中发现的两起采用超声波法检测到的GIL局部放电异常事例,介绍了如何采用超声波法对GIL设备缺陷进行定位,如何通过超声波法的结果判断GIL设备缺陷类型,通过对测试异常后的设备解体检查,以及应用X射线透视技术进行验证,准确地查找到GIL设备3支柱绝缘子存在的缺陷,为GIL设备的缺陷查找与诊断提供参考。

关键词: GIL; 局部放电; 超声波法; 缺陷定位; 缺陷诊断

Diagnosis and Analysis of Two Partial Discharge in GIL Equipment by Ultrasonic Detection Method

LI Hongyuan, CHEN He, WU Deguan, ZHOU Yu

(M & T Center of EHV Power Transmission Company of CSG, Kunming 650000, China)

Abstract: In this paper, two abnormal cases caused by partial discharge defects in GIL(gas insulated line) are found by using ultrasonic detection method. According to these two cases, the author describes how to use the ultrasonic method for GIL equipment to locate defects and how to determine the results of GIL equipment defects type. Through the disintegration test after abnormal equipment checks, and application of X-ray fluoroscopy to verify, the defects in GIL three-pillar insulator device are accurately found. This experience provides a reference for defective GIL equipment to find and to diagnose.

Key words: gas insulated transmission line; partial discharge; ultrasonic method; defect location; defect diagnose

0 引言

气体绝缘管道输电线(GIL)以其超长距离、大容量输电得到越来越多的应用^[1]。文中结合实际工作中采用超声波法测试发现的两次 GIL 局放异常事例,介绍了采用超声波法对 GIL 局放异常的缺陷查找流程和缺陷类型分析方法^[2-3]。

文中的 GIL 设备由于距离长^[4-6],单个气室在 100 m 左右,且法兰面采用全金属封闭,外部测试无法接收到电信号,因此外部测试不能采用特高频法(UHF)对 GIL 进行局放检查^[7]。用超声检测法采用超声传感器紧贴在 GIS 或 GIL 金属壳体的外部,可接收到超声波信号^[8-9]。

局放的超声检测有多种图谱对缺陷进行判断,其

主要有幅值图谱、相位图谱、波形图谱 3 种方式^[10-11],对缺陷进行定位后,通过对缺陷位置进行各种模式下的图谱测试,对比各种图谱下的图形状态,参考测试规程 DL/T 1250—2013《气体绝缘金属封闭开关设备带电超声局部放电检测应用导则》中特征图谱,可对缺陷类型进行较为准确的判断^[12]。

1 GIL 三支柱绝缘子滚轮开裂的局放定位与缺陷分析

2014 年 3 月 20 日,试验人员应用超声检查设备对某换流站极 1 低端进线 GIL 进行局放测试,测试发现 A、B 相拐角处的一个单元局放值异常偏大,通过对 A、B 相局放异常单元选取了多个点进行测试,局放值最大的位置位于异常单元的中部附近,即异常单元中部的滑动三支柱绝缘子附近。其测试点的位置见图 1,测试结果如表 1。

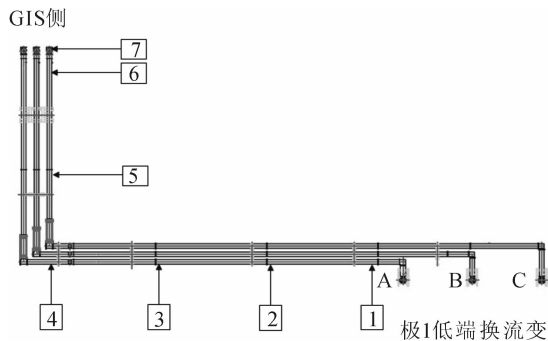


图 1 超声波进行局放测试的位置图

Fig. 1 PD ultrasonic testing location map

表 1 超声波法测试极1低端换流变进线GIL的结果

Table 1 Ultrasonic test method results of converter transformer pole 1 low-end incoming GIL

测试位置	局放信号大小(318 kV)					
	A相		B相		C相	
	有效值	峰值	有效值	峰值	有效值	峰值
1	0.5	1.4	0.6	0.8	0.7	1.9
2	0.7	1.1	1.2	2.6	0.7	1.7
3	3.7	7.2	5.0	8.5	0.5	0.7
4	2.4	5.5	1.8	4.3	0.5	0.8
5	2.6	5.1	0.7	1.4	0.5	0.8
6	1.5	3.6	0.6	1.9	0.5	0.7
7	0.6	3.5	0.5	0.7	0.5	0.8

该换流站所采用的 GIL 技术参数如下:额定电压 550 kV;额定电流 5 000 A;额定频率 50 Hz;工频耐受电压 1 min 740 kV;额定雷电冲击耐受电压(相对地)1 675 kV;额定操作冲击耐受电压(相对地)1 300 kV;额定短时耐受电流 63 kA/2 s;额定峰值耐受电流 ≥ 160 kA;GIL 外壳防护等级 IP57;绝缘气体成分 SF_6 ;绝缘气体的额定压力值 0.5 MPa;电容 50 pF/m。

该类型的 GIL 采用直线单元结构,每个直线单元内由两个三支柱绝缘子进行绝缘支撑,其中一个为滑动三支柱绝缘子,另一个为固定三支柱绝缘子^[13-14]。滑动的三支柱绝缘子位于直线单元的中部,其位于下部的两个支柱有尼龙材料的滚轮作为支撑,并可在安装和拆卸内导体时在筒内壁滑动,固定三支柱绝缘子位于直线单元端部,通过焊板焊接在直线单元筒的内壁上,各个直线单元之间则采用金属法兰面连接,其直线单元结构见图 2、3。

1.1 缺陷位置定位

从表 1 可以看出,各测试点中 1、2 两点三相的局放值相差不大,可以确认异常位置不在 1、2 两个测试点附近,3、4 两个测试点的局放值中,A、B 相的局放测试值比 C 相大了很多,且测试点 3 的局放值

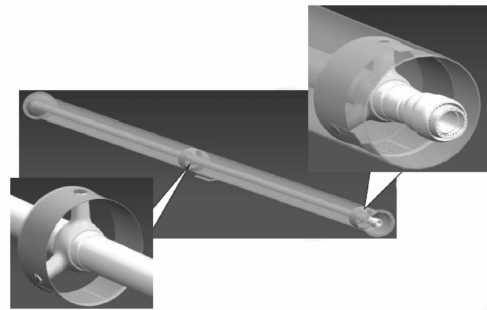


图 2 GIL 设备直线单元结构形态

Fig. 2 GIL equipment straight line construction shape

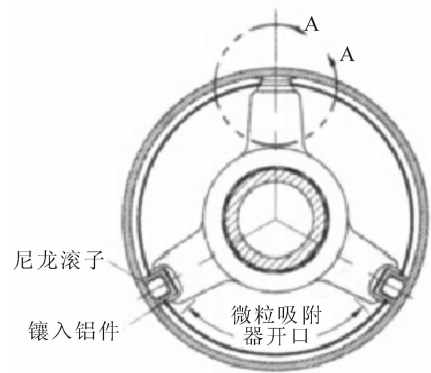


图 3 滑动三支柱绝缘的结构

Fig. 3 Insulation structure of sliding three-pillar

最大,而离测试点 3、4 越远,局放测试值越小,因此初步判断异常位置位于测试点 3、4 之间。通过对测试点 3、4 之间的单元选择多个测试点进行测试,发现 A 相局放的最大值分别为 8.4 mV/15.8 mV(有效值/峰值),B 相局放的最大值为 13.7 mV/30.2 mV(有效值/峰值),且 A、B 相局放最大值位置均位于测试点 3、4 之间的直线单元中部,即测试点 3、4 之间直线单元的滑动三支柱绝缘子位置附近,因此判断缺陷位置位于测试点 3、4 之间的直线单元的滑动三支柱绝缘子处。

通过对测试点 3、4 之间的单元进行拆解和解体,发现缺陷位置位于测试点 3、4 之间直线单元的中部的滑动三支柱绝缘子处,与测试所确定的缺陷位置相同。

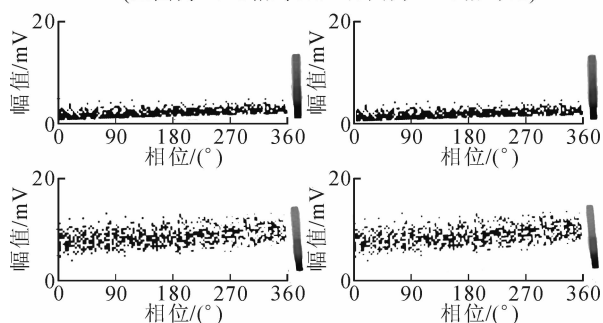
1.2 缺陷类型判断

该次测试所使用局放测试仪,通过超声传感器将局放信号转化为多种超声图谱模式,方便试验人员对缺陷进行分析^[15]。为了确定该缺陷类型,分别对 A、B 相异常位置进行了幅值图谱测试(连续模式测试)、相位图谱测试和波形图谱测试,并将其与 C 相相同位置的测试结果进行了对比,其测试结果见图 4。

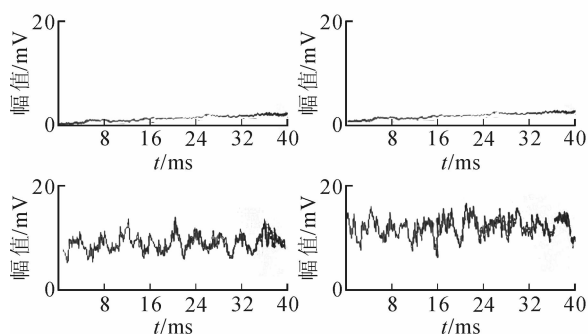
通过 A、B 的异常单元与 C 相的相同位置单元的测试结果进行对比,发现 A、B 相的幅值图(即连



(a) A、B相幅值图与C相幅值图对比
(左图为A、C相对比, 右图为B、C相对比)



(b) A、B相相位图与C相相位图对比
(左图为A、C相对比, 右图为B、C相对比)



(c) A、B相波形图与C相波形图对比
(左图为A、C相对比, 右图为B、C相对比)

图4 A、B相的测试图谱与C相对比结果

Fig. 4 Test map of phase A, B and C compare results

续模式下的测试图) 中周期峰值和有效值都有明显的增大, 但 50 Hz 和 100 Hz 频率下的信号基本没有, 说明 A、B 相局放异常应不是悬浮放电或毛刺放电引起的, 但是从相位图和波形图又可看出, A、B 相的相位图和波形图显示有较大波动, A、B 相存在异常^[16-18]。将测试图谱与 DL/T 1250—2013 中特征图谱进行对比, 没有与之相类似的图谱, 因此认为异常应该是由中部的三支柱绝缘子滚轮有缺陷引起的, 由于该滚轮只在安装时起滑动和支撑的作用, 因此该滚轮有缺陷的可能性最大。

通过对 A、B 相异常单元进行解体检查, 发现其滑动三支柱绝缘子的滚轮有裂痕, 但该滚轮起到了支撑和部分绝缘的作用(如图 2), 因该处电位较低, 几乎为零, 因此交流耐压试验并不能发现该项缺

陷, 但若 GIL 持续运行, 则有可能导致滚轮碎裂, 使支柱绝缘子直接与筒内壁接触, 在电动力的作用下磨损内壁, 导致 GIL 内壁电场发生改变, 最终可能导致三支柱绝缘击穿故障。其发现的缺陷见图 5。



图5 三支柱绝缘子滚轮开裂

Fig. 5 The three pillar insulator roller cracking

2 三支柱绝缘子表面有划痕的局放定位与缺陷分析

2.1 缺陷位置定位

2014 年 7 月 27 日, 试验人员在对某换流站 GIL 用超声波法进行局放普测时, 发现 ACF4 进线 GIL C 相 G82-06 单元局放值异常偏大, 其局放幅值图谱测试值比相同位置的 A、B 相要大很多, 因此初步判断该单元存在异常, 其测试位置见图 6, 测试结果见表 2。

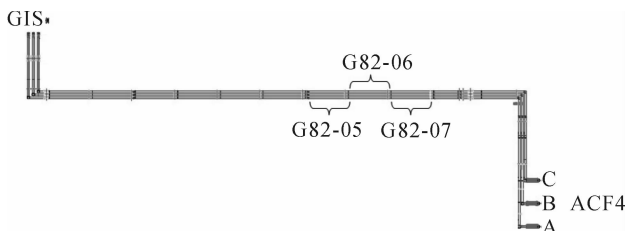


图6 ACF4 进线 GIL 局放异常位置

Fig. 6 ACF4 incoming GIL PD abnormal position

表2 G82-06单元三相测试结果

Table 2 G82-06 unit three-phase test result mV

安装位置	相别	有效值	峰值
G82-06	A	0.4	0.9
	B	0.5	0.7
	C	3.2	9.3

为了找到该异常单元缺陷的具体位置, 对该异常单元及其附近的两个单元选取了多个测试点进行测试, 其测试点的选择见图 7, 其测试结果见表 3。

通过表 3 的测试结果可以看出, 局放值的最大值位于 G82-06 单元端部的测试点 2 处, 即该单元的固定三支柱绝缘子处, 从测试点 2 开始, 距离测试点 2 越远, 其局放值越小, 而受金属法兰面的影响, 测试点 8 的局放值衰减较快, 由此可以确定

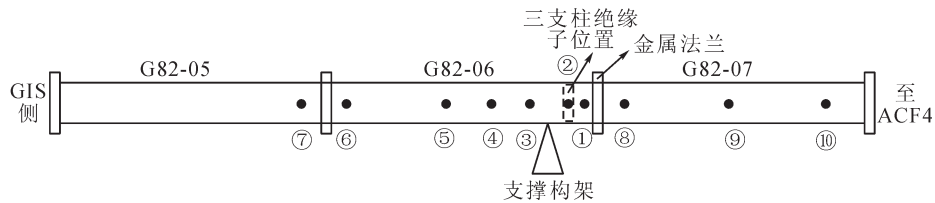


图 7 ACF4 异常单元测试点位置

Fig. 7 ACF4 abnormal unit test point position

表 3 异常单元及其附近单元的测试结果

测点位置	有效值	峰值
1	3.1	9.8
2	5.7	18.5
3	2.9	7.8
4	2.4	6.0
5	2.4	5.6
6	1.6	3.6
7	1.4	3.7
8	0.8	2.1
9	0.8	1.7
10	0.8	1.9

G82-06 单元缺陷位置位于端部的固定三支柱绝缘子处,局放值明显增大应是由于三支柱绝缘子存在缺陷而导致的。

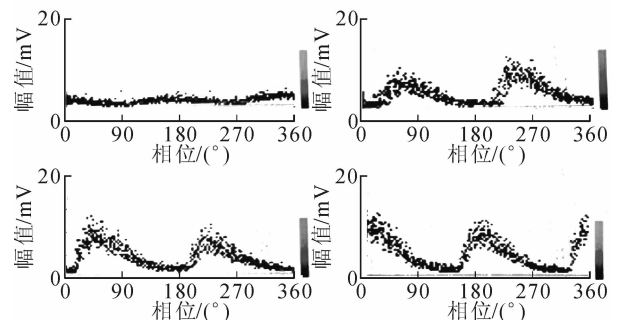
2.2 缺陷类型判断

为了确定该次局放测试异常单元的缺陷类型,分别对异常单元进行了局放的幅值图、相位图、波形图测试,将测试结果正常单元的图谱进行了对比分析,发现其幅值图测试、相位图测试、波形图测试均显示有异常,其测试结果见图 8。

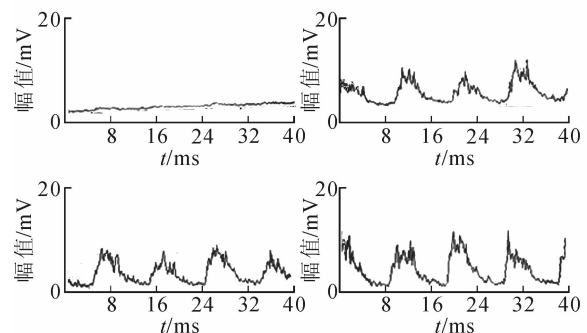
通过幅值图对比可明显看出,C 相局放值异常,其峰值和有效值都有明显的增大,并且频率成分 1 和频率成分 2 均有较大数值,并且从频率成分中还可看出,C 相 G82-06 单元异常位置的局放与频率 100 Hz 相关性十分明显,按照测试经验,局放幅值测试结果与频率 100 Hz 相关性较为明显的,可首先判断为内部存在悬浮放电或尖端放电。在其相位图中,一个周期有两个明显的波峰,且波峰在一个周期内的位置在变化,对比 DL/T 1250—2013 中特征图谱,与悬浮放电的特征图谱较为类似,因此可判断其缺陷类型为悬浮放电;而从波形图中也可看出,在两个周期内出现 4 个尖峰,即每个周期出现两个尖峰,与相位图谱测试的结果相符。综合以上测试图谱的结论,G82-06 单元的缺陷类型应为三支柱绝缘子处存在悬浮电位,悬浮电位产生局放而导致超声检测异常^[19-20]。



(a)幅值图对比(上图为正常单元幅值图,下图为C相异常单元幅值图)



(b)相位图对比(左上图为正常单元相位图,其余为C相异常单元相位图)



(c)波形图对比(左上图为正常单元波形图,其余为C相异常单元波形图)

图 8 C 相异常单元与正常单元的局放图谱对比

Fig. 8 C phase abnormal units and normal units PD maps comparison

为了验证该次局放测试结果,对该异常单元的固定三支柱绝缘子进行了 X 射线透视,透视结果显示该三支柱绝缘子的一个支柱表面存在多处划痕,这些划痕导致绝缘子表面电场改变,并在划痕位置产生悬浮电位,从而使超声检测异常,通过解体后

确认了该 GIL 单元的三支柱绝缘子中一个支柱表面有较多划痕,见图 9。X 射线透视结果见图 10。



图 9 解体后发现的支柱绝缘子表面划痕

Fig. 9 After the disintegration discovered pillar insulator surface scratch

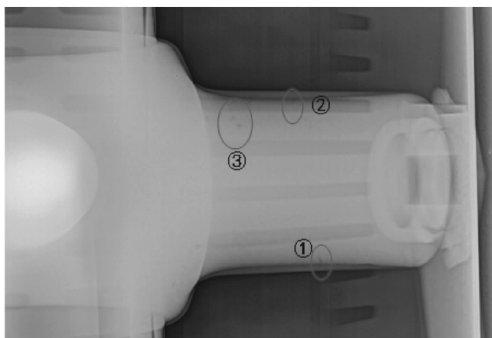


图 10 X 射线透视发现的缺陷

Fig. 10 X-ray defects found

3 结论

采用局放的超声检测法对 GIL 设备进行缺陷查找必须根据 GIL 设备的结构选择合适的测试位置,由于 GIL 设备结构较为简单,主要由中心导体和绝缘支撑件构成,因此对 GIL 进行局放的超声检测时主要的测试点应集中于支柱绝缘子位置,在判断缺陷位置时,可根据局放值的大小初步判断缺陷位置,再通过多个测试点测试,找出局放值最大的点一般就找到了缺陷位置。局放的超声检测法对定位具有较为明显的效果,同时局放的超声检测法还有以下特点:

1)局放的超声测试通过对 GIL 设备的不同单元进行超声的幅值测试,可较为直观的看出 GIL 单元是否存在异常,但超声波法目前只能定性判断,不能定量地判断局放量的大小;

2)由于 GIL 的局放的超声测试没有特征图谱可以参考,只能参考 GIS 的特征图谱来对缺陷类型进行判断,因此文中的两次缺陷测试图可作为该类型

GIL 设备的特征图谱来对缺陷进行判断;

3)针对通过局放的超声测试的方式检测到 GIL 设备的缺陷,可通过 X 射线透视等其他方式进一步对 GIL 的缺陷进行判断,对缺陷位置及缺陷类型有了较好的判断之后,根据缺陷的严重程度可安排对 GIL 缺陷单元进行更换和解体。

参考文献:

- [1] SCHOEFFNER G, NEUMANN T. 气体绝缘管道输电线和气体绝缘组合电器在电厂中的应用[J]. 电力建设, 2004, 25(6): 4-7.
SCHOEFFNER G, NEUMANN T. Application of gas insulated transmission lines(GIL) and gas insulated switchgear (GIS) for power plants[J]. Electric Power Construction, 2004, 25(6): 4-7.
- [2] DL/T 978—2005 气体绝缘金属封闭输电线路技术条件[S]. 2005.
- [3] DL/T 304—2011 气体绝缘金属封闭输电线路现场交接试验导则[S]. 2011.
- [4] 雷鸣, 陈琳. 关于 GIL 和 GIS 母线产品基本结构尺寸设计探讨[J]. 高压电器, 2013, 49(4): 128-133.
LEI Ming, CHEN Lin. Discusses on basic structure design of GIL and GIS busbar[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(4): 128-133.
- [5] 周振华, 赵云, 吕学山. 气体绝缘高压输电线路(GIL)优化设计[J]. 电气制造, 2013(10): 36-40.
ZHOU Zhenhua, ZHAO Yun, LYU Xueshan. Optimization design of gas-insulated high-voltage transmission line(GIL)[J]. Electrical Manufacturing, 2013(10): 36-40.
- [6] 王辉, 黄成军, 姚林朋, 等. 重排 Cohen 类时频分布用于 GIS 局部放电信号时频分析[J]. 高电压技术, 2010, 36(11): 2724-2730.
WANG Hui, HUANG Chengjun, YAO Linpeng, et al. Application of reassigned Cohen class time-frequency distribution to the analysis of acoustic emission partial discharge signal for GIS[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(11): 2724-2730.
- [7] BENATO R, DI MARIO C, KOCH H. High-capability applications of long gas-insulated lines in structures[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(1): 619-626.
- [8] 肖登明. 电力设备在线监测与故障诊断[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2005.
- [9] 李继胜, 赵学风, 杨景刚, 等. GIS 典型缺陷局部放电测量与分析[J]. 高电压技术, 2009, 35(10): 2440-2445.
LI Jisheng, ZHAO Xuefeng, YANG Jinggang, et al. Measurement and analysis of partial discharge on typical defects in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(10): 2440-2445.
- [10] 司文荣, 黄华, 傅晨钊, 等. 超声检测进行气体绝缘组

- 合电器典型绝缘缺陷识别[J]. 高压电器, 2011, 47(12): 11-18.
- SI Wenrong, HUANG Hua, FU Chenzhao, et al. Integrated classification technique for typical insulation flaws in gas insulated switchgear based on acoustic detection[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(12): 11-18.
- [11] 高 凯, 李莉华. 气体绝缘输电线路技术及其应用[J]. 中国电力, 2007, 40(1): 84-88.
- GAO Kai, LI Lihua. Technology and application of gas-insulated transmission lines[J]. Electric Power, 2007, 40(1): 84-88.
- [12] DL/T 1250—2013 气体绝缘金属封闭开关设备带电超声局部放电检测应用导则[S], 2013.
- [13] 刘元红, 王俊鑫, 朱存利. 糯扎渡水电站 500 kV GIL 的安装与试验[J]. 云南水力发电, 2013, 29(1): 89-91.
- LIU Yuanhong, WANG Junxin, ZHU Cunli. Installation and test of 500 kV GIL of Nuozhadu hydropower station[J]. Yunnan Water Power, 2013, 29(1): 89-91.
- [14] 杨 琪. GIL 与 GIS 母线的结构特点与应用[J]. 高压电器, 2011, 47(8): 72-74.
- YANG Qi. Characteristics and applications of GIL and GIS bus[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(8): 72-74.
- [15] 边宏宇, 马迪华. 超声波法在 GIS 局部放电检测中的应用[J]. 广东电力, 2013, 26(6): 76-78.
- BIAN Hongyu, MA Dihua. Application of ultrasonic method in GIS partial discharge detection[J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(6): 76-78.
- [16] 李国伟, 章 涛, 王俊波, 等. 基于超高频法的 GIS 局部放电类型判断方法[J]. 高压电器, 2013, 49(1): 63-68.
- LI Guowei, ZHANG Tao, WANG Junbo, et al. Judgment of partial discharge types in GIS based on UHF method[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(1): 63-68.
- [17] 李德军, 沈 威, 郭志强. GIS 局部放电常规检测和超声波检测方法的应用比较[J]. 高压电器, 2009, 45(3): 99-103.
- LI Dejun, SHEN Wei, GUO Zhiqiang. Application comparison between conventional and ultrasonic detection methods for GIS partial discharge[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 99-103.
- [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] 谢彭盛, 王亦平, 孟可风, 等. 超声波法和超高频法在拉西瓦水电站 GIS 现场试验中的应用[J]. 水力发电, 2009, 35(11): 63-65.
- XIE Pengsheng, WANG Yiping, MENG Kefeng, et al. Application of ultrasonic and UHF to the on-site PD test on GIS of laxiwa hydropower station[J]. Water Power, 2009, 35(11): 63-65.
- [20] 谭向宇, 杨 卓, 赵现平, 等. 基于飞行图模式的 GIS 内金属性缺陷超声信号特性研究[J]. 高压电器, 2013, 49(5): 90-94.
- TAN Xiangyu, YANG Zhuo, ZHAO Xianping, et al. Ultrasonic signal characteristics research of metallic defects in GIS based on the flight graph mode[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(5): 90-94.

李红元(1989—), 男, 助理工程师, 从事高电压试验工作。

陈 禾(1968—), 男, 高级工程师, 从事高电压试验的研究工作。

吴德贯(1988—), 男, 助理工程师, 从事高电压试验工作。

周 禹(1984—), 男, 助理工程师, 从事高电压试验工作。

(上接第 67 页)

- pulse shape and frequency characteristic of the PD signal in oil-paper insulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 1-5.
- [19] 司文荣, 李军浩, 袁 鹏, 等. 直流电压下油纸绝缘中局部放电的超高频特性[J]. 高电压技术, 2008, 34(7): 1336-1341.
- SI Wenrong, LI Junhao, YUAN Peng, et al. Ultra-high-frequency

quency characteristic of partial discharge in oil-paper insulation under DC voltage[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(7): 1336-1341.

张显聪(1984—), 女, 工程师, 主要从事电力技术研究工作。