

GIS 母线支撑绝缘子气隙放电综合诊断与分析

马飞越¹, 王 沛², 王 博¹

(1. 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院, 银川 750000; 2. 国网宁夏电力有限公司, 银川 750000)

摘要: GIS是电力系统的重要设备,局部放电是导致GIS缺陷的主要原因之一。文中结合实际工作中发现的一起GIS母线支撑绝缘子局部放电案例,介绍了如何利用特高频检测法判断局放类型,介绍了特高频时差法定位原理及利用脉冲时延定位法对GIS缺陷进行定位,通过对异常设备的解体检查,以及解体后通过X射线扫描验证,准确发现GIS母线支撑绝缘子存在的气隙缺陷,为GIS设备局放缺陷检测、诊断、定位提供参考依据。

关键词: GIS; 特高频; 气隙放电; 定位

Comprehensive Diagnosis and Analysis of Air Gap Discharge in the GIS Busbar Support Insulator

MA Feiyue¹, WANG Pei², WANG Bo¹

(1. State Grid Ningxia Electric Power Corporation Research Institute, Yinchuan 750000, China;
2. Ningxia Power Grid Corporation, Yinchuan 750000, China)

Abstract: Gas insulated switchgear is an important equipment for power system, and partial discharge is one of the main causes of GIS defects. This paper introduces the use of UHF detection method to judge the type of PD, and the positioning principle of UHF time difference method and locates GIS defects by pulse delay, combines the case of a partial discharge of GIS found in busbar support insulators in actual work. Through the disintegration inspection and the X-ray scanning verification of abnormal equipment, the air gap defects in GIS busbar support insulators are accurately found, which provides a reference for defect localization, diagnosis and positioning in GIS equipment.

Key words: gas insulated switchgear(GIS); ultra high frequency; air gap discharge; location

0 引言

气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)是变电站内的重要组成部分,集绝缘、屏蔽、防水等功能于一体,内部结构复杂,因而运行故障多发,GIS局部放电缺陷是导致GIS运行故障的重要原因之一^[1-2]。目前,国内外普遍认为对GIS绝缘状况评价的最佳方法是局部放电检测技术。随着局部放电检测技术的不断发展,检测设备灵敏度的提高,有效检测出局放信号已不是难题,但鉴于局放信号传播的复杂特性,如何确定局部放电的类型以及局放源定位是整个局放检测工作定性的难点和重点^[3-8]。准确分析GIS缺陷类型及发生的部位,对于GIS设备缺陷有针对性的检修具有重要意义^[10-15]。

文中结合实际工作中发现的110 kV GIS母线支撑绝缘子气隙放电异常案例,介绍对GIS母线支撑

绝缘子局放异常的综合诊断与分析。

首先针对GIS使用特高频检测技术进行带电检测,对缺陷进行初步的定性,并对检测信号进行MATLAB分析,准确分析缺陷的类型,其次利用时差技术对异常信号进行定位,判断信号来源于外部干扰还是内部局部放电信号,并最终定位异常信号源的具体位置。最后解体验证,并将解体拆解下来的母线支撑绝缘子进行X射线扫描,最终确定缺陷位置,证明了检测及定位方法的有效性。

1 特高频检测技术

1.1 特高频检测原理

GIS设备内部发生局部放电的瞬间,放电源位置会同时向周围空间辐射电磁波,频率高达GHz,电磁波的谐振持续时间在微秒级^[4]。同时由于GIS气室在特高频波段相当于同轴谐振腔,对于特高频电

磁波是良好的波导,其在气室内部的传播衰减很小,电磁波信号一旦被激发出来,将会透过GIS盆式绝缘子的环氧树脂等非金属材料,传播至外部空间,根据现场设备情况的不同,可以采用内置或外置特高频传感器进行信号检测,GIS中特高频检测法基本原理见图1^[5-6]。

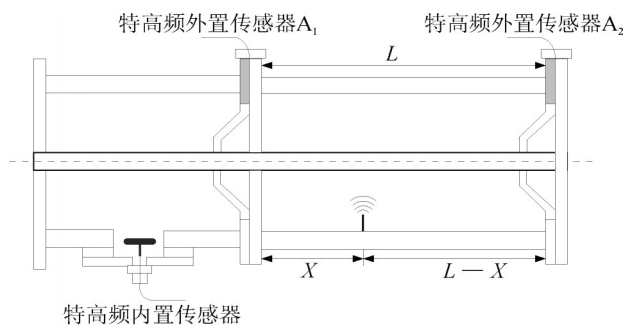


图1 GIS特高频局部放电检测法原理图

Fig. 1 Schematic diagram of UHF partial discharge detection method in GIS

1.2 特高频定位技术

当特高频检测发现有异常信号时,可以采用两个特高频传感器进行检测,并利用高速采样技术通过计算两个特高频传感器所接收到脉冲信号的上升沿时差对放电源进行定位^[7-10]。如图1中所示,假设放置两只特高频外置传感器的盆子之间距离为 L ,放电源距离特高频外置传感器 A_1 为 X ,则距离特高频外置传感器 A_2 为 $L-X$,放电脉冲到达传感器 A_1 为时刻 t_1 ,到达传感器 A_2 为 t_2 时刻,两传感器接收到信号的时差 Δt ,则可以按照式(1)计算信号源的具体位置。

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{(L-X)}{c} - \frac{X}{c} \quad (1)$$

即

$$X = (L - c\Delta t) / 2 \quad (2)$$

式(1)、(2)中: c 为电磁波等效传播速度,取 3×10^8 m/s; Δt 可通过高性能示波器读出。

2 局部放电特高频检测与分析

采用特高频检测技术对某变电站110 kV GIS进行局部放电普测,检测过程中发现110 kV II 母母线气室上方三相绝缘盆子处存在有异常信号,检测位置见图2,并使用了两款特高频检测仪器分别对该信号进行检测与分析,典型测试数据及图谱见图3、4。

由图3、4特高频检测图谱可知,该异常信号在工频相位的正、负半周均出现,且具有一定对称性,放电信号幅值较分散,且幅值有大有小,且放电次数较少^[9-10],根据国网公司GIS特高频带电检测的典型图谱判断,该信号与绝缘气隙放电的特征相吻合。利用高性能示波器(带宽1 GHz、采样频率4 GS/s)对

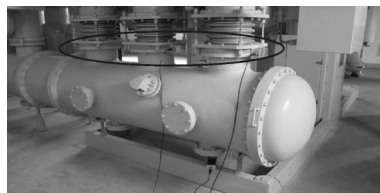
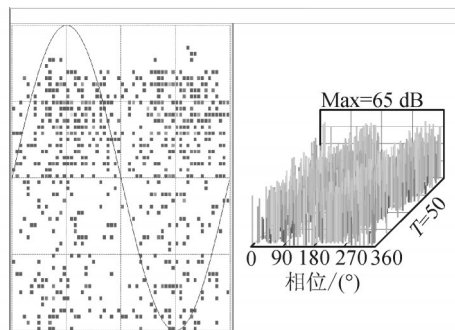
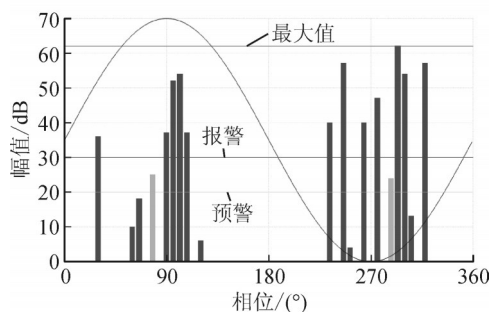


图2 异常信号区域

Fig. 2 The localization area for abnormal signal



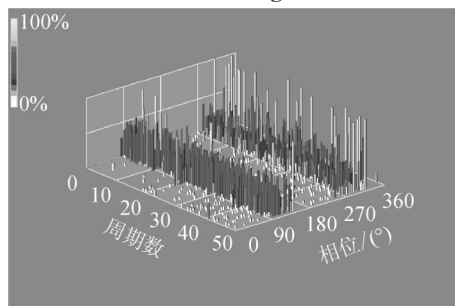
(a) PRPS及PRPD图谱



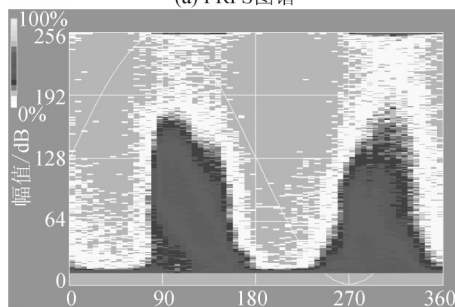
(b) 周期图谱

图3 特高频检测信号PRPS、PRPD及周期图谱

Fig. 3 The PRPS and PRPD and period maps for UHF signal



(a) PRPS图谱



(b) PRPD 图谱

图4 特高频局放检测PRPS/PRPD图谱

Fig. 4 The PRPS and PRPD maps for UHF signal

该缺陷的原始波形进行检测与分析,检测图谱见图5。

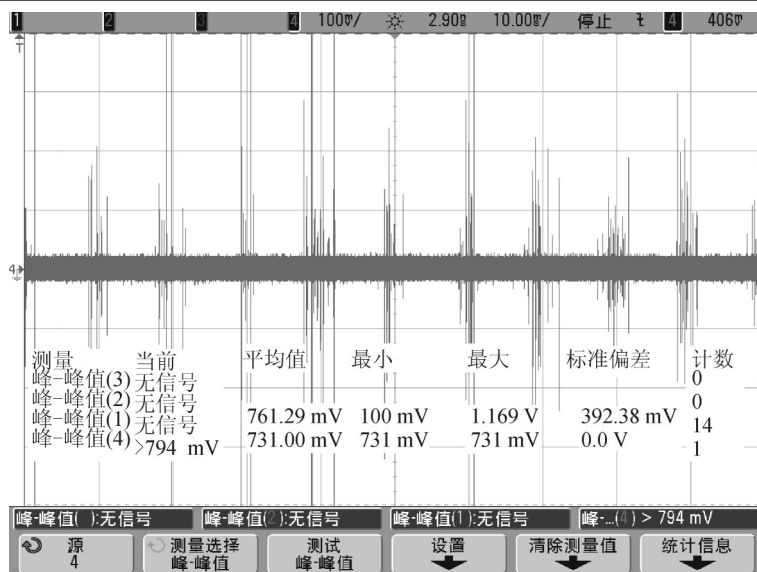


图5 特高频信号原始波形图谱

Fig. 5 The original waveform of UHF signal

从图5可以看到,该异常信号特征为具有明显的一、三象限相位特征,放电脉冲幅值大小不等,放电时间间隔不一致,根据经验判断该信号与绝缘气隙放电的特征相吻合。

3 MATLAB数据分析

因国网公司对特高频原始波形信号无明确判断标准,因此将高性能示波器采集得到的特高频信号保存为Bin格式数据流,通过MATLAB软件对Bin数据流进行解析并计算对应PRPD图谱,以判断信号类型,见图6、7。

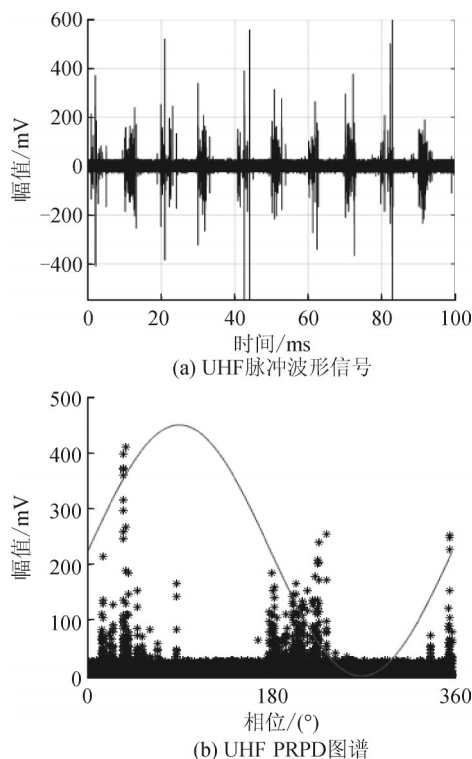


图6 特高频信号原始波形及PRPD图谱1
Fig. 6 The original waveform and PRPD map of UHF signal 1

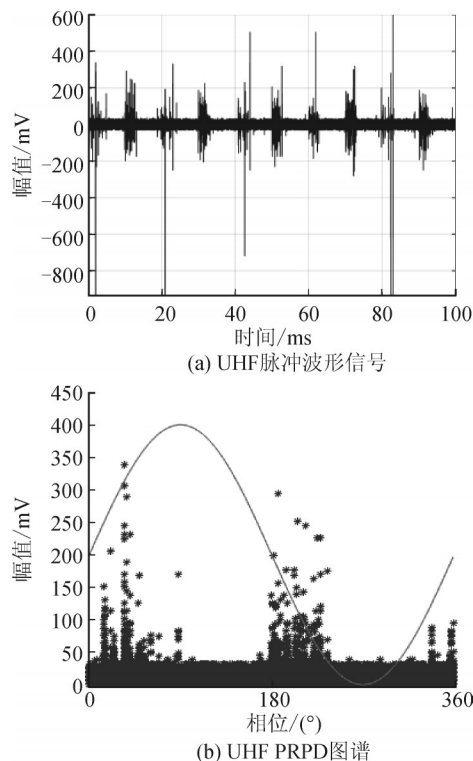


图7 特高频信号原始波形及PRPD图谱2
Fig. 7 The original waveform and PRPD map of UHF signal 2

图6、7中脉冲波形信号可以看出,信号具有较为稳定周期性,但每两次集中放电期间时间间隔不固定;从通过原始波形信号解析得到的PRPD图谱中可以看出,解析的PRPD图谱与图3、4类似,与绝缘气隙放电的特征相吻合。

4 异常信号的定位诊断

应用高性能示波器及特高频定位技术,通过读取该异常信号到达布置在不同检测部位的特高频传感器的时延对异常信号进行定位,从而确定产生异

常信号的部位。

4.1 异常信号来源及干扰分析

将1号传感器放置在母线气室上方盆式绝缘子处,同时将2号传感器放置在1号传感器的前、后、左、右、上、下6个方向的空间中,同时对两个传感器进行检测,并分析两个传感器检测到特高频信号的时间,用于判断异常信号的来源,各传感器位置见图8,典型检测图谱见图9。

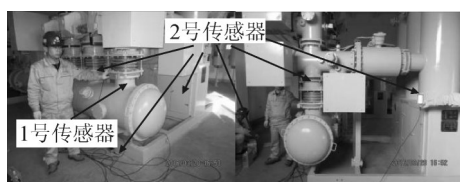


图8 传感器检测位置图

Fig. 8 The location of UHF sensors

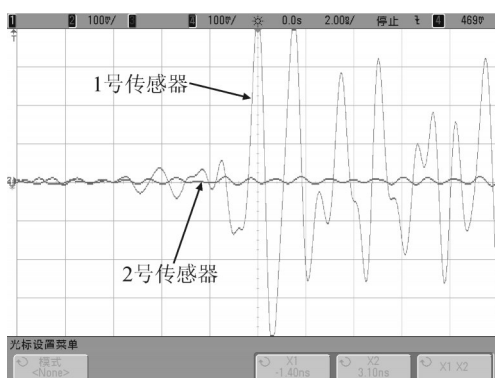


图9 异常信号来源检测定位图谱

Fig. 9 Location map for abnormal signal source

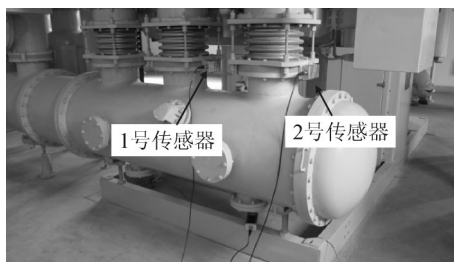
由图9所示波形可见,1号传感器波形始终出现,2号传感器波形无波形,说明信号源来源于GIS内部放电,而非外界的干扰信号。

4.2 局部放电定位分析

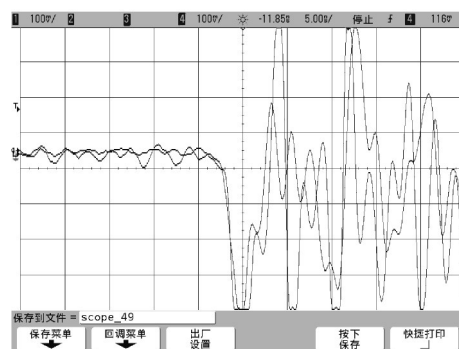
将1号传感器和2号传感器分别放置于B相和C相的盆式绝缘子上,经过多组检测数据反复确定放电信号来源于两传感器中间,见图10。

将传感器分别放置在母线气室C相的盆式绝缘子的两侧,经过多组检测数据反复确定放电信号基本来源于两传感器中间,见图11。

根据定位测试数据分析放电源位于110 kV II 母母线B相母线支撑绝缘子,具体位置见图12标识处;根据检测数据分析,信号呈现气隙放电特征,放电程度比较严重,设备长时间运行,在过电压或其他扰动的情况下有击穿、闪络存在的可能。且气隙放电不同于其他类型放电,一般发展较快,建议尽快安排停电检修。气隙放电用肉眼一般较不易观察到放电痕迹,建议检修解体时保持内部部件原状,必要时对该支撑绝缘子做耐压与常规局放试验。



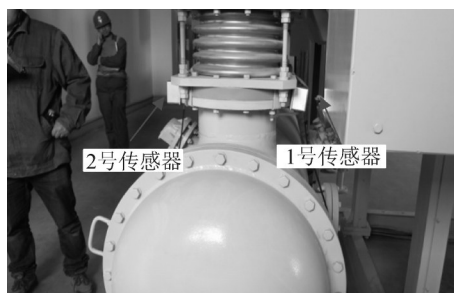
(a) 传感器放置图1



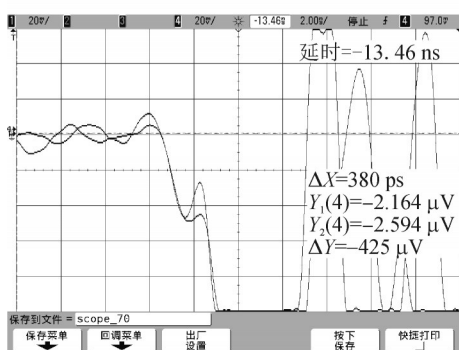
(b) 定位数据图1

图10 传感器放置及典型定位数据图1

Fig. 10 UHF sensor in the first placement and typical location data



(a) 传感器放置图2



(b) 定位数据图2

图11 传感器放置及典型定位数据图2

Fig. 11 UHF sensor in the second placement and typical location data

5 解体验证结果

对110 kV GIS停电后,打开母线侧盖板进行故障处理,外观检查时发现检测定位的B相支撑绝缘子内部有深灰色颜色变化,见图13。

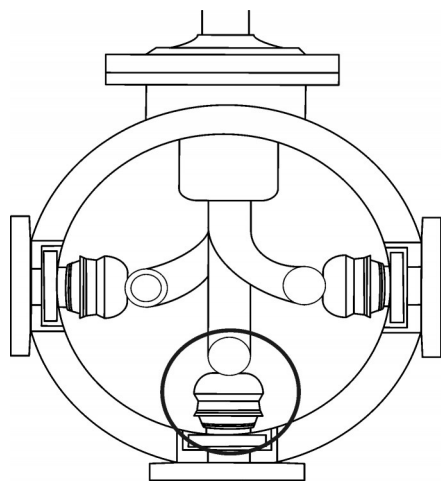


图 12 放电源位置示意图

Fig. 12 The diagram of the discharge in the insulator



图 13 解体检查图

Fig. 13 Physical map of the disintegration insulator

为进一步分析该支撑绝缘子内部状况,对更换下来的 B 相支撑绝缘子在试验室进行 X 射线成像检测,检测发现支柱绝缘子低压端存在不规则裂纹,成像结果见图 14。

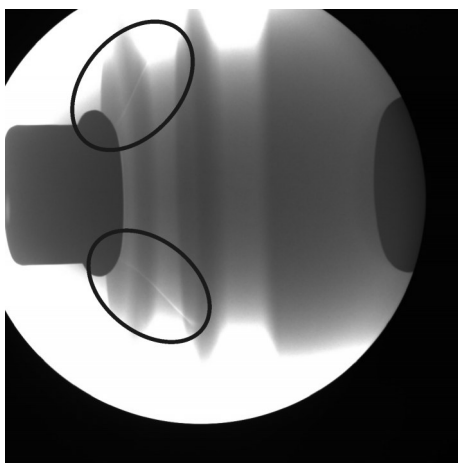


图 14 X 射线检查结果

Fig. 14 Physical map of X-ray examination results

6 结论

1)文中详细介绍了一起 GIS 母线支撑绝缘子气

隙放电典型案例的综合诊断与分析。

2)带电检测可以有效发现设备内部存在的局部放电缺陷,但要通过不断的经验积累,有效排除干扰,更准确地采集局部放电信号,对设备故障进行准确的分析判断,避免事故的发生。

3)应用具有高速采集功能的示波器,利用时差定位法能够对局放源进行精确定位。

4)采用 X 射线摄影系统有效地查找到产生局放源的气隙缺陷。

参考文献:

- [1] 黄凤萍,刘开贵.超高频在线监测技术在 GIS 局部放电检测中的应用[J].南方电网技术,2013,7(3):76-80.
HUANG Fengping, LIU Kaigui. The application of online-monitoring technique with UHF to detection of the GIS partial discharge[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(3):76-80.
- [2] 郭志强,江秀臣,沈 威. GIS 放电定位技术[J]. 高压电器,2007,43(2):140-142.
GUO Zhiqiang, JIANG Xiuchen, SHEN Wei. Breakdown location techniques of GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(2):140-142.
- [3] 李军浩,韩旭涛,刘泽辉,等. 电气设备局部放电检测技术述评[J]. 高电压技术,2015,41(8):2583-2601.
LI Junhao, HAN Xutao, LIU Zehui, et al. Review on partial discharge measurement technology of electrical equipment[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(8):2583-2601.
- [4] 李兴旺,刘 军,刘梦娜.一起气体绝缘金属封闭开关设备悬浮放电缺陷分析[J]. 高压电器,2015,51(10):205-208.
LI Xingwang, LIU Jun, LIU Mengna. Analysis on a floating discharge defect in GIS disconnecting switch[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(10):205-208.
- [5] 雷汉坤,贾志杰.检测 GIS 固体绝缘内部放电缺陷的特高频和 X 射线数字成像联合方法研究[J]. 高压电器,2018,53(1):224-229.
LEI Hankun, JIA Zhijie. Combined ultra-high frequency and X-ray digital imaging method for detecting discharge defects in GIS solid insulation[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 53(1):224-229.
- [6] 李松原,王永宁,宋晓博,等.声—电—化联合检测在判别 GIS 自由金属颗粒放电缺陷上的应用[J]. 高压电器,2016,52(9):78-82.
LI Songyuan, WANG Yongning, SONG Xiaobo, et al. Application of combined acoustic-electric-chemical detection to GIS partial discharge defect caused by free metal particles[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(9):78-82.
- [7] 田 妍,张锐键,董志雯,等. GIS 局部放电缺陷定位分析[J]. 高压电器,2017,53(6):182-185.
TIAN Yan, ZHANG Ruijian, DONG Zhiwen, et al. Localiza-

- tion of partial discharge defects is GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(6): 182-185.
- [8] 芦竹茂, 刘庆, 王天正, 等. 多种带电检测方法在GIS局部放电诊断中的综合应用与研究[J]. 高压电器, 2017, 53(10): 222-226.
- LU Zhumao, LIU Qing, WANG Tianzheng, et al. Comprehensive application and research of multi live detection methods in partial discharge diagnosis for GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(10): 222-226.
- [9] 国家电网公司运维检修部. 电网设备带电检测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- Operation and Maintenance Department, State Grid Corporation of China. Live detection technologies of equipment in electric network[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015.
- [10] 国家电网公司运维检修部. GIS设备带电检测异常判断手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- Operation and Maintenance Department, State Grid Corporation of China. Live detection abnormality judgment manual for GIS equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2017.
- [11] SINAGA H H, PHUNG B T, BLACKBURN T R. UHF sensor array for partial discharge location in transformers[J]. International Conference on Condition Monitoring & Diagnosis, 2013, 8537(11): 979-982.
- [12] MIDYA S, THOMAS M J. Detection and location of partials in a GIS using UHF technique[C]//National Power Systems Conference. [S.l.]: [s.n.], 2002: 199-203.
- [13] PUTRO W A, NISHIGOCHI K, KHAYAM U. Sensitivity verification and determination of the best location of external UHF sensors for PD measurement in GIS[J]. IEEE CMD, Bali, 2012, 8537(11): 698-701.
- [14] 闫斌, 何喜梅, 吴童生, 等. GIS设备X射线可视化检测技术[J]. 中国电力, 2010, 43(7): 44-47.
- YAN Bin, HE Ximei, WU Tongsheng, et al. X-ray visualization detection technology for GIS equipment[J]. Electric Power, 2010, 43(7): 44-47.
- [15] 许焕清, 马君鹏, 王成亮, 等. GIS设备典型缺陷的X射线数字成像检测技术[J]. 电网技术, 2017, 41(5): 1697-1702.
- XU Huanqing, MA Junpeng, WANG Chengliang, et al. Study on digital X-ray imaging technology for detecting typical defects in GIS equipment[J]. Power System Technology, 2017, 41(5): 1697-1702.
- 马飞越(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为高压技术。
- 王沛(1969—), 男, 工商管理硕士, 高级工程师, 主要从事电网运维检修管理。
- 王博(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为高压技术。