

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.11.022

几起GIS绝缘件局部放电缺陷的检测与分析

宋东波¹, 秦少瑞¹, 陈凡¹, 魏存金², 马林生², 王龙龙³, 夏善德³

(1. 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院, 合肥 230022; 2. 国网安徽省电力有限公司
阜阳供电公司, 安徽 阜阳 223600; 3. 上海格鲁布科技有限公司, 上海 201206)

摘要: 对GIS开展局部放电检测与分析,能为其绝缘状态的评估提供依据,另外根据放电谱图的特征还可对缺陷类型进行识别。绝缘件缺陷是导致GIS产生局部放电的典型缺陷之一,文中介绍了利用局部放电检测发现的几起GIS绝缘件内部缺陷,基于特高频检测技术准确判断了缺陷类型并对缺陷位置进行了定位,分析发现固体绝缘与金属件接触面上的气隙是产生局部放电根本原因,为该类缺陷的检测分析提供借鉴。

关键词: GIS; 绝缘件; 局部放电; 特高频

Detection and Analysis of Several Partial Discharge Defects of Insulation in GIS

SONG Dongbo¹, QIN Shaorui¹, CHEN Fan¹, WEI Cunjin², MA Linsheng²,
WANG Longlong³, XIA Shande³

(1. State Grid Anhui Electric Power Research Institute, Hefei 230022, China; 2. State Grid Fuyang Electric Power
Supply Company, Anhui Fuyang 223600, China; 3. Shanghai Global Technology Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Partial discharge(PD)detection and analysis can be used to evaluate the insulation condition of GIS. Insulation defects are one of the typical defects that lead to PD in GIS, and the defect types can be identified according to the characteristics of the PD pattern. In this paper, several insulation defects in GIS are discussed. Based on the ultra high frequency(UHF)detection technology, these defect types are accurately determined and the locations of the defects are located. It is found that the void between the contact surface of solid insulation and metal part is the root cause of PD. This research may provide a reference for detection and analysis of such defects.

Key words: gas insulated switchgear(GIS); insulation; partial discharge; ultra high frequency

0 引言

以SF₆气体作为绝缘介质的气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)具有占地面积小、可靠性高、不易受外部恶劣环境影响等优点,近年来在电力系统中得到了广泛应用^[1]。但GIS结构相对复杂,且内部部件肉眼不可见,因此很难及时、准确地掌握其绝缘情况,尽管设计为免维护电力设备,运行中故障仍时有发生^[2-5]。

局部放电作为设备故障击穿的前兆,是衡量GIS绝缘状态的重要指标,运行中局部放电的检测可及时发现设备内部的潜在隐患^[6]。目前应用比较成熟的GIS局部放电检测方法有特高频法^[7-10]、超声波法^[11-14]及SF₆气体分解产物法^[15-17]。绝缘件内部缺

陷作为典型缺陷之一,对GIS的安全稳定运行构成了较大的威胁,但超声波法及基于SO₂、H₂S的SF₆气体分析产物法对绝缘件内部缺陷的检测灵敏度均偏低^[18-19],而特高频法则有着较高的灵敏度^[20],因此在该类缺陷的检测分析中起到了重要作用。

文中介绍了基于特高频法的几起GIS固体绝缘内部气隙缺陷检测分析过程,对异常缺陷进行了定位,分析了放电原因。

1 绝缘件内部缺陷的检测与定位方法

1.1 缺陷的检测

当GIS内部发生局部放电时将伴随产生声、光、热等物理、化学变化,同时激发产生高达数吉赫兹的电磁波信号。对GIS绝缘件内部局部放电而言,

放电产生的超声波信号在传播过程中经过绝缘介质时将产生很大的衰减,另外,因放电发生在固体绝缘内部,不会导致 SF_6 气体分解,因此超声波法及 SF_6 气体分解产物法对该类缺陷检测灵敏度偏低。

研究表明,绝缘件内部发生放电时,激发的特高频电磁波信号有着显著特征,在一个周期内正负半周均有放电出现,放电相位相对固定、放电次数较少、放电信号幅值较为分散,因此特高频法对绝缘件内部缺陷的检测有效性较好,通过外置或内置传感器接收放电产生的特高频电磁波信号,依据谱图特征即可对缺陷进行检测分析。

1.2 缺陷的定位

时差法是常用的局部放电缺陷定位方法,依据信号到达两相邻传感器的时延、传感器间的距离及信号传播的速度,即可实现缺陷的定位。文中检测所用仪器具备自动定位功能,检测时仪器保存每通道所测各个脉冲信号的精确到达时间,根据脉冲的波形参数特征实现两传感器间同一脉冲信号的匹配,并自动计算这一匹配脉冲的到达时间差,根据传感器实际距离,即可得出一个定位结果,对所有匹配脉冲全部进行计算后,最终得到定位的统计分布结果,见图1。

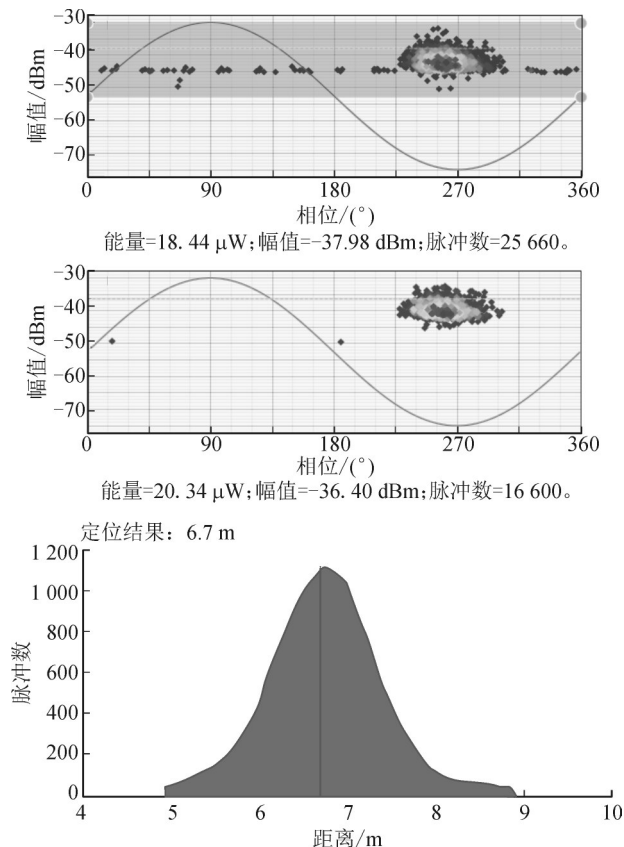


图1 仪器自动定位结果

Fig. 1 Automatic location result by apparatus

图1中下方横坐标为缺陷与选中传感器间的距

离,纵坐标为对应距离下的放电脉冲数,脉冲数最多的位置即为定位结果。该定位方法的优点在于可对某一测量时间段内累积的脉冲数进行匹配计算,对于示波器不易捕捉的间歇性较强的局部放电信号,依然可以通过连续多个周期的检测结果进行定位分析。

2 案例分析

2.1 某252 kV GIS盆式绝缘子缺陷

2016年5月,对某220 kV变电站内252 kV GIS开展带电检测时,发现2Q96间隔区域存在异常的特高频信号,进一步检测发现靠近B相出线侧隔离开关附近信号幅值最大,设备结构示意图见图2,1-5为绝缘盆子编号。

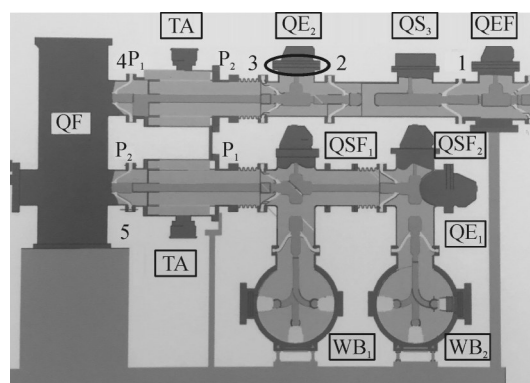


图2 设备结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the device

将传感器1-5分别放置在B相绝缘盆子1-5位置,5只传感器均检测到较为明显的异常信号,其中盆子2、3位置所测异常信号幅值最大,约-10 dBm,见图3。

由图3可知,放电谱图呈“兔耳状”与典型的绝缘件缺陷特征相似,初步判断B相出线侧隔离开关附近区域某绝缘件存在缺陷。传感器2、3、3、4、4、5间的距离为分别为0.62、1.21、1.30 m。传感器4、5定位结果显示放电源不在两传感器之间而在传感器4外侧,利用传感器2、4进一步定位,结果见图4。

定位结果显示,放电源位于绝缘盆子2、4之间,距离盆子2约0.5 m。盆子2左侧区域内存在盆子3及接地开关顶部绝缘环(图2中圈标记位置)两个绝缘件。由于盆子2、3及绝缘环距离较近,为进一步精确确认放电源,现场采用高速示波器对上述3个位置的信号进行了多次采集,发现盆子3处的信号总是早于其他两处的信号到达,定位时差见表1。

因此确定缺陷应处在盆子3上,考虑到该信号幅值较大,进行了停电检修,更换盆子3后再次开展

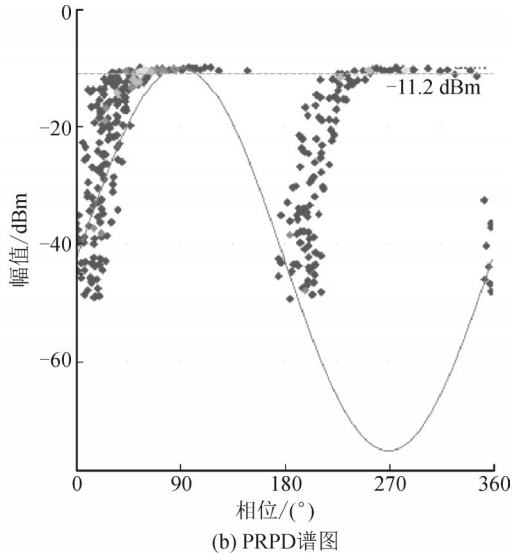
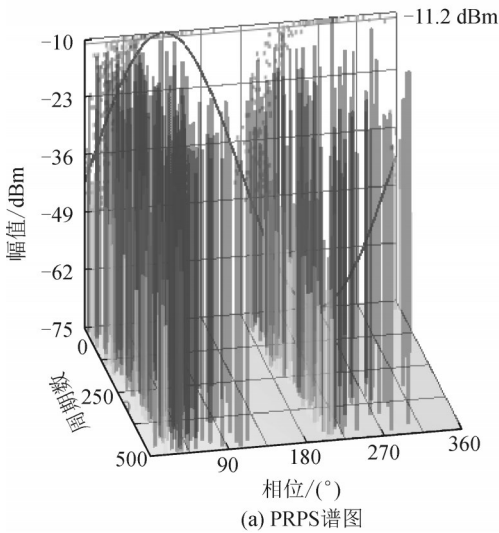


图3 信号谱图(传感器3)

Fig. 3 Signal pattern (sensor 3)

在运行电压 127 kV 下放电量 110~160 pC, 放电严重超标。对该盆子进行工业 CT 扫描, 发现在盆子中心绝缘材料与金属嵌件的接触部位存在一尺寸约 12.85×4.47 mm 的气隙, 见图 5。

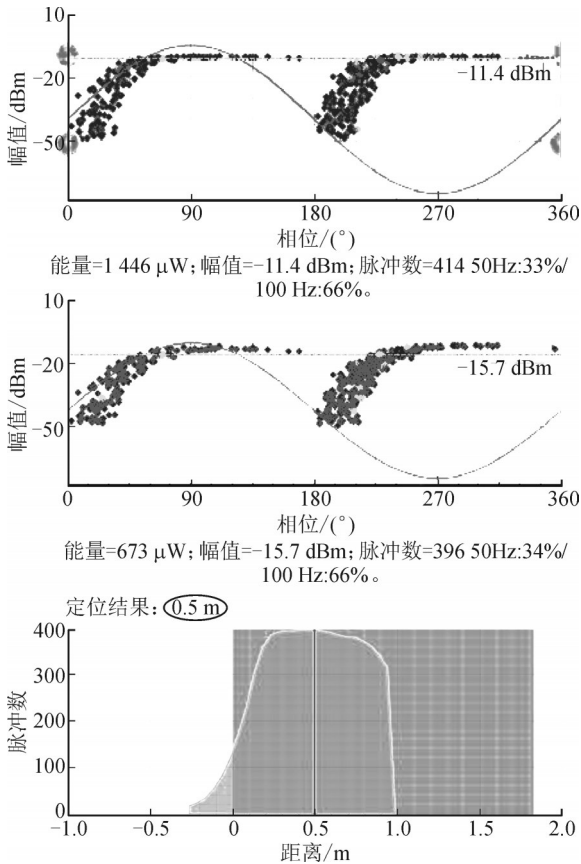


图4 传感器2、4定位结果

Fig. 4 Location result by sensor 2 and 4

表1 示波器各通道时差结果

Table 1 Time difference of oscilloscope channels

测试	盆子3与2时差/ns	盆子3与绝缘环时差/ns
第1组	1.000(盆子3超前)	0.435(盆子3超前)
第2组	0.980(盆子3超前)	0.435(盆子3超前)
第3组	1.005(盆子3超前)	0.555(盆子3超前)

局部检测, 异常消失。

采用脉冲电流法对盆子3进行局部放电测试,

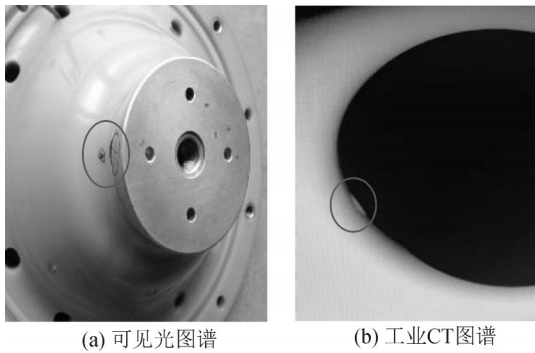


图5 绝缘盆子3可见光及工业CT图谱

Fig. 5 Physical and X-ray pattern of insulator 3

2.2 某 126 kV GIS 母线支撑绝缘件缺陷

2016年4月, 对某 220 kV 变电站内 126 kV GIS 开展局部放电检测时, 发现 504 及 510 间隔区域存在异常的特高频信号, 其中 504 隔离开关至 110 kV II 母线间区域信号幅值大于其他位置, 随后在此区域布置了多个传感器进行检测, 见图 6, 1 至 4 为传感器编号。

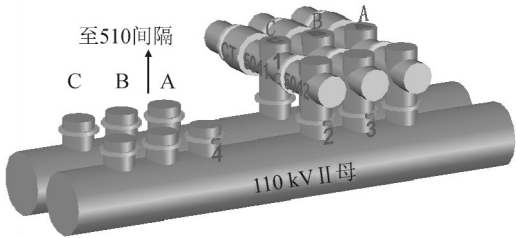
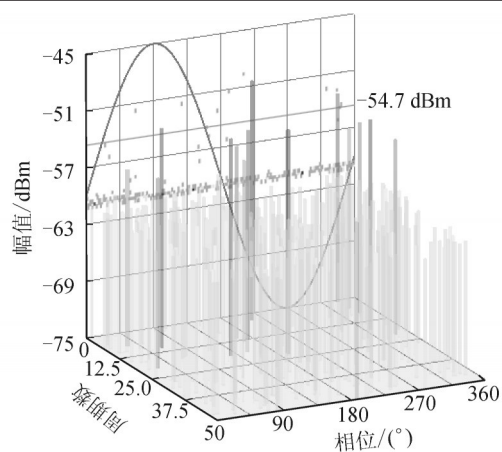


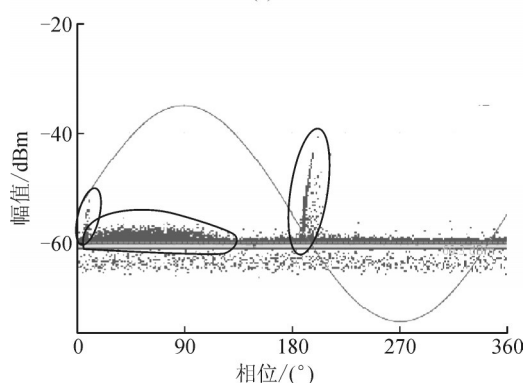
图6 传感器布置示意图

Fig. 6 Schematic diagram of sensors

4 只传感器均测到异常信号, 且特征基本一致, 见图 7。



(a) PRPS谱图



(b) 累积PRPD谱图

图7 传感器2所测信号谱图(突增前)

Fig. 7 Pattern of sensor 2 (before uprush)

如图7所示,放电谱图与典型绝缘缺陷特征相似又略有差异,呈现“兔耳状”,前半周期还呈现出

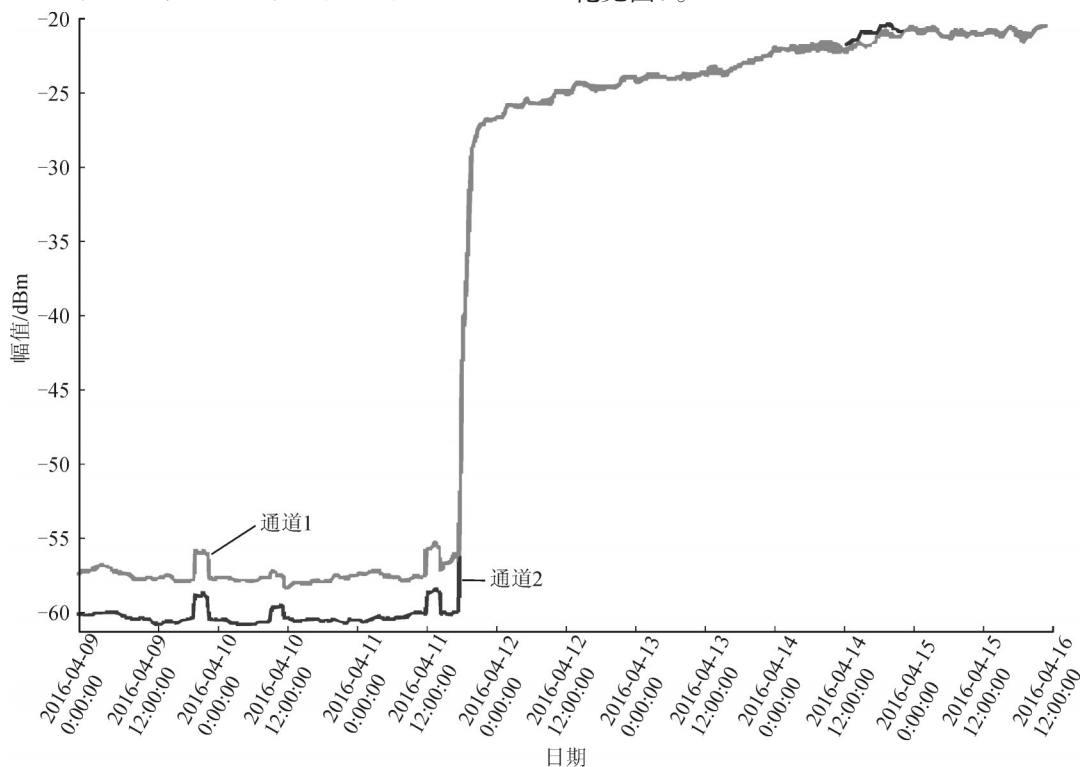


图9 通道1、2信号幅值变化趋势

Fig. 9 Signal amplitude change trend of channel 1 and 2

“兔身”。对比悬浮电位放电、尖端放电、自由颗粒放电的谱图特征与之均有明显差异,初步判断该异常信号为绝缘件缺陷所致。

传感器1、2、2、3、3、4间的距离分别为0.95、1.05、2.80 m。传感器1、2定位结果显示,放电源不在1、2之间而在2的外侧;传感器1、3定位结果显示放电源在其之间,距离传感器11.2 m,即传感器2所在绝缘盆子下方;传感器3、4定位结果显示放电源在其之间,距离传感器30.7 m,与传感器1、3定位结果一致。现场查看发现定位区域存在支撑母线用的绝缘件,见图8,因此判断可能为该位置的支撑绝缘件存在缺陷而产生局部放电。



图8 GIS现场图

Fig. 8 Physical map of GIS

为持续关注设备状态,在现场安装了一套移动式局放监测系统,全天候对异常区域信号进行监测,监测发现4月11日19时局放信号突然增大,均值从起初的-58 dBm左右骤增至-27 dBm左右,随后呈缓慢增加趋势,传感器1、2所测信号的幅值变化见图9。

突增后的信号谱图特征见图10。

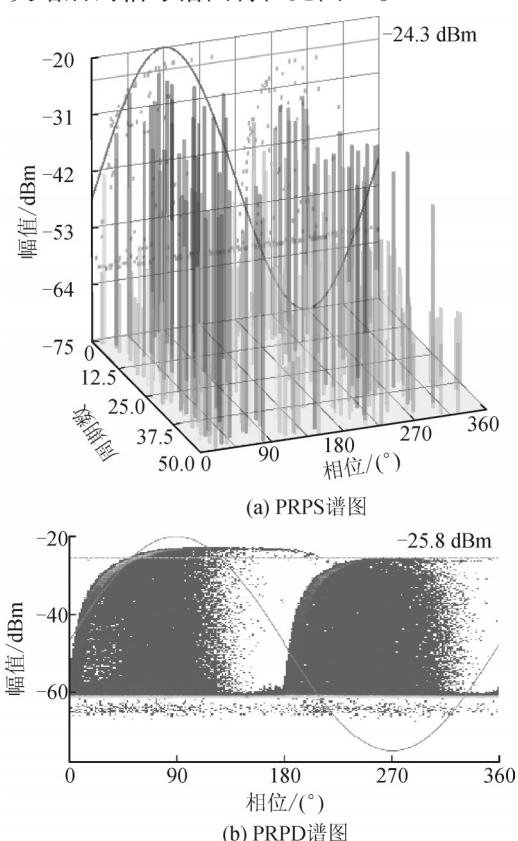


图10 传感器2所测信号谱图(突增后)
Fig. 10 Pattern of sensor 2 (after uprush)

对比图9、10可知,放电信号幅值明显增大,放电脉冲数量显著增加,判断该缺陷对设备的安全运行将可能产生较大威胁,遂申请停电检修,更换了C相母线支撑绝缘件,对换下的绝缘件开展X射线成像检测,发现其绝缘材料与低压电极接触部位存在大小约12 mm×5 mm的气隙,见图11。

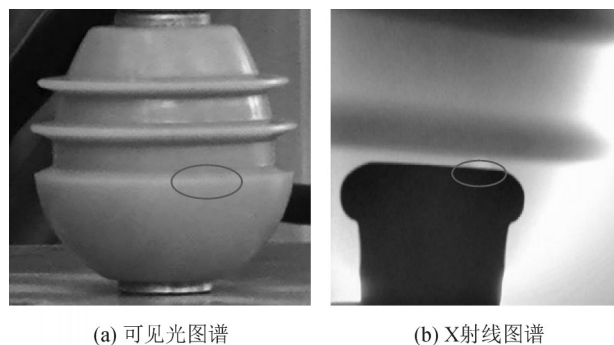


图11 绝缘件可见光及X射线图谱
Fig. 11 Physical and X-ray pattern of insulator

脉冲电流法局部放电测试发现在运行电压72 kV下其局放量约50~80 pC,严重超标。

2.3 某550 kV HGIS隔离开关静侧支撑绝缘件缺陷

2016年4月,对某500 kV变电站内550 kV HGIS开展局部放电检测,发现5023断路器C相靠

近出线套管位置存在异常的特高频信号,现场情况见图12,图12中1-3为布置的传感器编号。



图12 传感器现场布置图
Fig. 12 Site layout of sensors

其中传感器3所测信号较为微弱,仅累积PRPD谱图中有少量放电脉冲,传感器1、2所测异常信号较为明显,见图13。

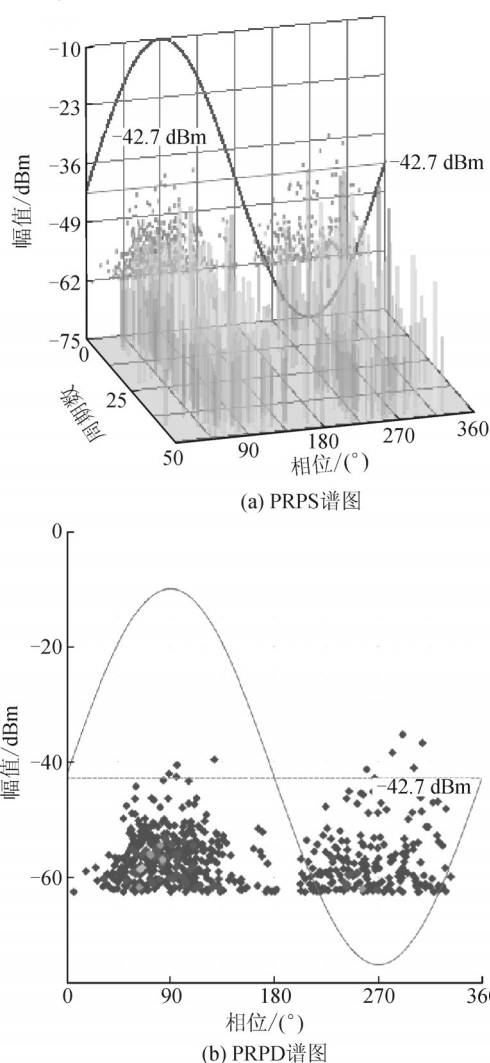


图13 信号谱图(传感器2)
Fig. 13 Signal pattern (sensor 2)

如图13所示,在一个周期的特定相位有两簇明显放电脉冲集中现象,脉冲幅值大小不一,对比悬浮电位、尖端、自由颗粒等放电类型谱图特征,与之均有明显差别;该谱图与现场检测常见的“兔耳状”绝缘缺陷典型特征亦存在差异,但与“龟背状”略有

相似,初步判断该异常信号可能由绝缘件缺陷导致。

传感器1、2间的距离为1.8 m,传感器1、2定位结果显示,放电源在1、2之间,距离传感器10.2 m,查询设备结构,发现传感器1所在盆子下方的隔离开关气室内部存在静触头支撑绝缘件,见图14。

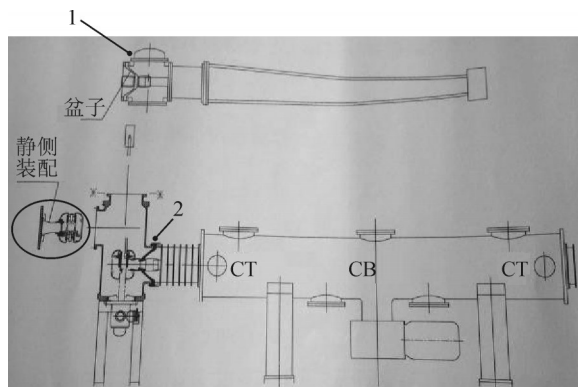


图14 GIS结构示意图

Fig. 14 Schematic diagram of GIS

对该支撑绝缘件解体发现,绝缘件底部固定用金属嵌件与绝缘件的接触面间存在多处放电痕迹,严重部位已碳化呈黑褐色,见图15。



图15 支撑绝缘件内部放电情况

Fig. 15 Internal discharge of supporting insulator

3 结语

特高频法局部放电检测技术有效检测距离远且具有较高的灵敏度,因此在GIS绝缘件缺陷的放电检测中有着较明显的优势。文中介绍了几起GIS固体绝缘与金属件接触面上气隙缺陷的典型谱图特征,可为GIS内部缺陷的检测提供参考。在现场开展局部放电检测时,宜采用多种检测手段同时结合不同谱图特征及设备内部结构,对缺陷类型及危险程度进行综合分析和评估。

参考文献:

- [1] 梁方建,王 钰,王志龙,等. 六氟化硫气体在电力设备中的应用现状及问题[J]. 绝缘材料,2010,43(3):43-46.
LIANG Fangjian, WANG Yu, WANG Zhilong, et al. The application situation of SF₆ in electrical equipment and some problem[J]. Insulating Materials, 2010, 43(3):43-46.
- [2] 何 金,郝晓光,李 旭,等. 基于多种检测手段的组合电器悬浮放电诊断及定位分析[J]. 高压电器,2018,53(3):25-31.
HE Jin, XI Xiaoguang, LI Xu, et al. Diagnosis and location of suspension discharge in composite apparatus based on multiple detection methods[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 53(3):25-31.
- [3] 张 欣,李高扬,黄荣辉,等. 不同运行年限的GIS缺陷率统计分析与运维建议[J]. 高压电器,2016,52(3):184-188.
ZHANG Xin, LI Gaoyang, HUANG Ronghui, et al. Statistical analysis of defects and maintenance advice for GIS in different operating years above 110 kV[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(3):184-188.
- [4] 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.
- [5] 陈仁刚,冯新岩,辜 超,等. 红外测温技术在GIS故障诊断中的应用[J]. 高压电器,2015,51(9):190-194.
CHEN Rengang, FENG Xinyan, GU Chao, et al. Application of infrared thermometry technology for the fault diagnosis in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(9):190-194.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 杨 波,王慧君. GIS盆式绝缘子表面自由金属颗粒缺陷导致局部放电的发展过程[J]. 南方电网技术,2015,9(11):73-77.

- YANG Bo, WANG Huijun. Partial discharge development of basin-type insulator of GIS triggered by free metal particles insulation defect[J]. Southern Power System Technology, 2015, 9(11): 73-77.
- [11] 邵先军, 何文林, 徐 华, 等. 550 kV GIS 现场交流耐压试验下放电故障的定位与分析研究[J]. 高压电器, 2014, 50(11): 30-37.
- SHAO Xianjun, HE Wenlin, XU Hua, et al. Location and analysis of discharge failures in 550 kV GIS during file withstanding AC voltage test[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(11): 30-37.
- [12] 李红元, 陈 禾, 吴德贯, 等. 用超声波检测法对 GIL 设备两次局放的诊断与分析[J]. 高压电器, 2016, 52(2): 68-72.
- LI Hongyuan, CHEN He, WU Deguan, et al. Diagnosis and analysis of two partial discharge in GIL equipment by ultrasonic detection method[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(2): 68-72.
- [13] 黄和燕, 吴德贯, 夏 辉, 等. GIL 设备超声波局放信号异常的诊断与分析[J]. 高压电器, 2017, 53(12): 241-246.
- HUANG Heyan, WU Deguan, XIA Hui, et al. Diagnosis and analysis about ultrasonic PD signal abnormality of GIL equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(12): 241-246.
- [14] 杜 鑫. 一起 500 kV GIS 断路器局部放电数据异常的分析与处理[J]. 高压电器, 2018, 54(4): 216-220.
- DU Xin. Analysis and treatment of abnormal partial discharge data in a 500 kV GIS circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(4): 216-220.
- [15] 唐 炬, 杨 东, 曾福平, 等. 基于分解组分分析的 SF₆ 设备绝缘故障诊断方法与技术的研究现状[J]. 电工技术学报, 2016, 31(20): 41-55.
- TANG Ju, YANG Dong, ZENG Fuping, et al. Research status of SF₆ insulation equipment fault diagnosis method and technology based on decomposed components analysis[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(20): 41-55.
- [16] 潘 臻, 温定筠, 彭 鹏, 等. SF₆ 气体分解产物检测技术在开关类设备状态诊断中的应用[J]. 高压电器, 2016, 52(7): 196-201.
- PAN Zhen, WEN Dingjun, PENG Peng, et al. Application of SF₆ gas decomposition products detection technology to switchgear state diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(7): 196-201.
- [17] 鲁 钢, 郭江涛, 孙福军, 等. GIS 在局部放电下的 SF₆ 气体分解产物试验研究[J]. 高压电器, 2013, 49(6): 10-16.
- LU Gang, GUO Jiangtao, SUN Fujun, et al. Experimental study on relationship of SF₆ decomposition products and partial discharge in gas insulated switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(6): 10-16.
- [18] 田 妍, 张锐健, 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. Location of partial discharge defects in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2017, 53(6): 182-185.
- [19] 周云锋, 杨景刚, 张子阳. 组合电器盆式绝缘子内部气隙缺陷的带电检测与分析[J]. 高压电器, 2012, 48(9): 112-116.
- ZHOU Yunfeng, YANG Jinggang, ZHANG Ziyang. On-line detection and analysis of gas cavity in insulator of gas insulated switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(9): 112-116.
- [20] 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, 2017, 53(12): 253-257.
- 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, 2017, 53(12): 253-257.

宋东波(1987—),男,工程师,主要从事超特高压设备试验及带电检测方面的研究。