

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.06.031

GIS 局部放电缺陷定位分析

田 妍, 张锐健, 董志雯, 白 雨, 廖 晨

(广州供电局有限公司, 广州 510410)

摘要: 文中分析了一起典型的 GIS 局部放电缺陷,采取超高频、超声波检测及时差法,结合设备结构,对放电位置进行了精确定位,并使用 X 光检测技术进行无损检测。X 光检测结果与上述局放定位的位置基本一致。文中通过总结该案例,分析了各类检测技术的优缺点,并在工程应用方面,针对不同检测目的,提出侧重面不同的检测方法组合。

关键词: GIS; 局部放电; 超高频; 超声波; 时差法; 定位

Localization of Partial Discharge Defects in GIS

TIAN Yan, ZHANG Ruijian, DONG Zhiwen, BAI Yu, LIAO Chen

(Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510410, China)

Abstract: A typical defect of partial discharge in GIS was analyzed. Ultra high frequency detection, ultrasonic detection and time-of-arrival method were adopted to precisely localize the discharge position with consideration of the equipment structure, and X-ray detection technology was used for nondestructive inspection. The X-ray detection result was consistent with the localized positions obtained by the detection methods mentioned above. In addition, the advantages and disadvantages of the detection methods were summarized, and different combinations of the detection methods were suggested for different detection purposes.

Key words: GIS; partial discharge; UHF; ultrasonic wave; time-of-arrival method; localization

0 引言

GIS 局部放电检测根据放电的物理、化学特性可分为电量检测和非电量检测两种类型。其中电量检测方法包括有超高频检测,非电量检测方法包括超声波检测、气体检测等^[1]。

超高频检测频段在 300 MHz~3 GHz,抗干扰能力较强,且能通过幅频特性识别绝缘缺陷类型^[2-3]。超高频信号在 GIS 内部以光速传播,当 GIS 内部结构较为简洁,折反射重叠信号影响可被忽略时,利用时差法可进行放电源定位;超声波检测^[4-7]又称声发射检测,检测频段为 20~500 kHz,通过分析检测信号中 50 Hz 及 100 Hz 的频率分量可判断 GIS 内部是否存在放电,该检测手段抗电磁干扰能力较强,但信号衰减较快;气体检测^[8]通过检测局部放电的特征气体,如 SO₂、H₂S,来判断 GIS 内部存在放电,其

检测结果受到放电强度、气室体积、吸附剂等因素的影响。

文中介绍了一起 220 kV GIS 局部放电缺陷检测与定位案例^[9-11],检测分析结论与 X 射线探测结果基本一致。

1 局部放电巡测

2015 年 6 月 30 日,220 kV 某站 220 kV GIS 局放在线监测^[12-14]出现大面积局放告警,其中 220 kV 1M 母线沿线普遍放电量较大,放电告警持续,放电图谱特征为悬浮放电^[15]。为进一步确认设备内部是否存在局放及局放类型:采用以下方法对 220 kV GIS 进行巡测:局放超高频检测与 SF₆ 气体测试。

1.1 局放超高频检测

采取超高频检测仪进行测试,发现 220 kV GIS 的 1M 母线与 1M 母线隔离开关间的绝缘子均存在较强的局部放电信号,见图 1。图 1 中以 220 kV 天

鹿线间隔 1M 母线与 1M 母线隔离开关绝缘子检测到的信号最强,分析为悬浮电位放电,见图 2。另外,1M 母线筒上方的绝缘子处检测到的信号强于对应间隔其他位置的检测点,初步判断信号来源于 1M 母线筒内部。

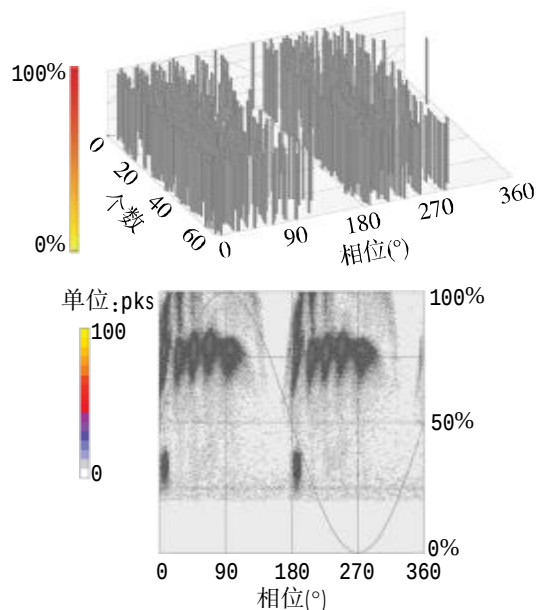


图 1 超高频信号
Fig. 1 UHF signal

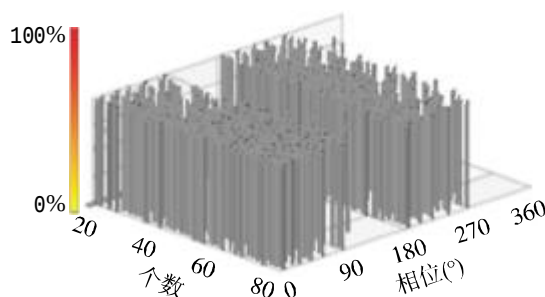


图 2 悬浮放电可能性极大
Fig. 2 Suspension discharge great possibility

1.2 SF₆ 气体测试

对 220 kV 1M 母线筒及所有间隔 1M 母线的 SF₆ 气体进行湿度和成分分析试验,并特别针对 220 kV 天鹿线的 1M 母线开关气室进行了分相测试,测试数据未见异常。

分析原因可能是由于 1M 母线筒较长(长约 20 m, 半径为 0.47 m),而取气口位于母线筒一端,若局部放电位置离检测口较远,而轻微放电的生成产物较少,在气室体积较大时,则可能存在母线筒内发生放电的分解物难以被检测到的情况。

1.3 局部放电巡测小结

采取超高频检测和气体测试两种方式进行了局部放电巡测,初步判断局放信号来自于 220 kV 1M 母线筒内部,其中 220 kV 天鹿线间隔信号最强,发

生放电的可能性较大。

2 局部放电定位

为进一步确认局部放电位置,使检修工作更具针对性,采取以下方法进行局放定位^[16-19]:采用示波器对局放超高频信号进行分析对比,对比分析多个信号的检测强度和检测时间,判断信号源位置;同时采用局放超声波检测进行辅助诊断。

2.1 超高频时差法检测

针对局部放电现场普查情况,重点检测 220 kV GIS 1M 母线筒位置的局部放电信号,以 220 kV 天鹿线 A 相 1M 母线与母线隔离开关绝缘子为基准,该位置以下简称为基准点。比较了基准点与其附近 3 个方向的测试点信号到达时间差,与电磁波从测试点到基准点传输时间基本一致。

示波器现场定位测试示意图见图 3。基准向左第 1 个绝缘子为测试点 1,为天鹿线间隔 C 相 1M 母线与母线隔离开关间绝缘子(B 相已安装在线监测探头,外置传感器较难布置);基准向右第 1 个绝缘子为测试点 2,为 2 号主变变高间隔 C 相 1M 母线与母线隔离开关间绝缘子;基准向上第一个绝缘子为测试点 3,为天鹿线间隔 A 相 1M 母线隔离开关与 2M 母线隔离开关隔离绝缘子。基准点与测试点 1 的信号对比测试图见图 4(线 1 中首波时间 $t_1 = -20$ ns, 线 2 中首波时间 $t_2 = -14.95$ ns, $\Delta t = t_2 - t_1 = 5.05$ ns)。其中线 1 为基准信号图谱,线 2 为测试点 1 信号图谱,横坐标为信号达到时间,纵坐标为信号电压幅值。测试结果见表 1。设测试点信号首个波峰到达时间为 t_x ,基准点信号首个波峰到达时间为 t_0 ,信号时差 $\Delta t = t_x - t_0$ 。

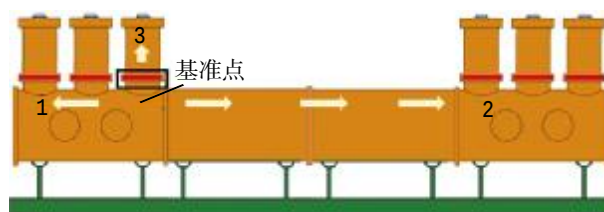


图 3 时差法测试示意图

Fig. 3 Schematic diagram of arrive-of-time detection

以上对比测试发现基准点处布置的传感器总是最先收到超高频信号,且其强度也较附近检测点大,初步判断局部放电信号来源于 220 kV 天鹿线间隔 1M 母线 A 相位置。

2.2 局放超声波检测

针对示波器检测数据,对基准点与相邻气室 220 kV 天鹿线 1M 母线 A 相隔离开关气室(称对比测试点)进行了局放超声波对比测试。

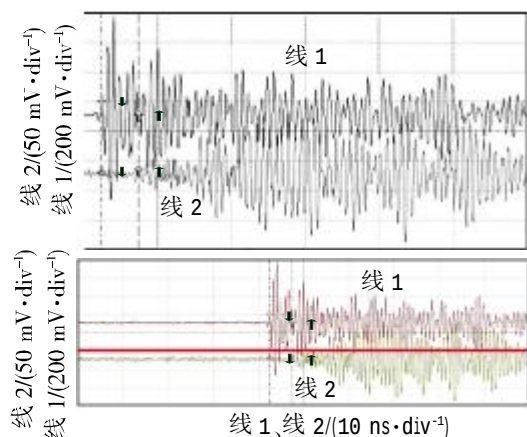


图4 测试信号波形

Fig. 4 Test signal waveform

表1 测试信号对比

Table 1 Comparative test signal

编号	信号时差 $\Delta t/\text{ns}$	信号强度对比
1	5.05	弱于基准
2	31.95	弱于基准
3	4.05	弱于基准

采用接触式超声波检测仪进行听诊,在基准点可听到明显放电信号,信号最大值为 5 dB,而在对比测试点未检测出放电信号。

采用超声波测试仪对基准点进行了局放检测,检测信号幅值较大,且存在 50、100 Hz 频率分量,最大可达 15 mV,见图 5。图 5 中频率成分 1 为 50 Hz,频率成分 2 为 100 Hz。而对比测试点检测信号的幅值及 50、100 Hz 频率分量明显减弱。测试数据见表 2。

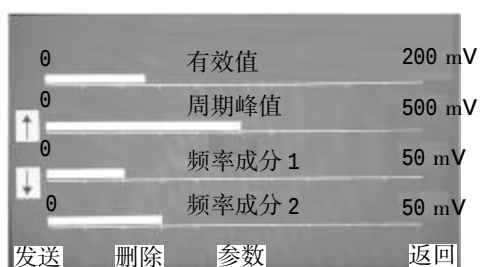


图5 超声波测试图谱

Fig. 5 Ultrasonic detected pattern

表2 超声波局放检测对比

Table 2 Comparative test ultrasonic signal

信号特征值	基准点/mV	测试点/mV
有效值	56	28
周期峰值	260	190
频率成分 1	10	0
频率成分 2	15	2

2.3 局部放电定位小结

根据上述测试数据,分析认为局部放电信号来

源于 220 kV 天鹿线间隔对应的 1M 母线 A 相附近。信号稳定、持续,放电类型为悬浮电位放电。结合该 GIS 内部结构,认为导致悬浮电位放电的原因可能是 A 相支撑绝缘子存在导体接触不良或部件松动问题。

3 X 射线成像检测

为确认天鹿线间隔 1M 母线 A 相局部放电原因,采取 X 射线成像技术对 220 kV 天鹿线间隔 1M 母线 A 相位置进行了检测。X 射线检测示意图见图 6。1-3 位置为 X 射线源布置位置,虚线为 X 射线照射路径,分别检测到成像 1-3,见图 7、8。

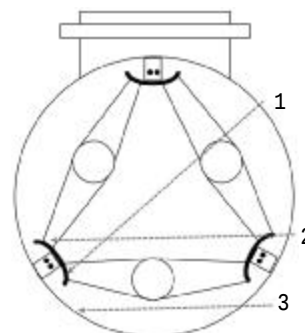


图6 X 射线检测示意图

Fig. 6 Schematic diagram of X-ray detection



(a)成像 1 (b)成像 2

图7 成像 1、2

Fig. 7 Image 1,2



图8 成像 3

Fig. 8 Image 3

对比成像 1-3 可知,局部放电产生的原因为成像 2 中的绝缘支撑底座与屏蔽罩间紧固螺丝其中一颗松动,另一颗已掉落,掉落位置为成像 3 中的 1M 母线筒壁上,从而形成悬浮放电,与以上超高频检测与超声波检测的结果吻合。

4 结论

1)超高频信号衰减较小,但易受外界干扰可用于普查测试。超声波信号衰减大,但受干扰小,可用于小范围内筛查。

2)对于局放信号检测推荐超高频、超声、气体测试进行普查巡测。在发现疑似信号后,宜采用信号强度比较和信号到达时间来进行局放信号定位。而后,采用诸如超声、X光探测来验证。

3)气体测试可作为局放检测的辅助手段,但测试结果受气室大小、吸附剂及放电量大小的影响,应综合考虑。

参考文献:

- [1] 中国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会. GB/T 7354—2003 局部放电测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
National Technical Committee of High Voltage Test Technique and Insulation Co-ordination of Standardization Administration of China. GB/T 7354—2003 Partial discharge measurement[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [2] 王建生, 邱毓昌, 赵有斌, 等. 气体绝缘开关中电磁波的传播特性[J]. 电网技术, 1999, 23(9): 1-3.
WANG Jiansheng, QIU Yuchang, ZHAO Youbin, et al. Propagation characteristic of electromagnetic waves in GIS [J]. Power System Technology, 1999, 23(9): 1-3.
- [3] 黄兴泉, 康书英, 李泓志, 等. GIS 局部放电超高频电磁波的传播特性研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(10): 32-35.
HUANG Xingquan, KANG Shuying, LI Hongzhi, et al. Simulation study on the characteristics of ultra-high frequency electromagnetic wave in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(10): 32-35.
- [4] 黎大建, 梁基重, 步科伟, 等. GIS 中典型缺陷局部放电的超声波监测[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 72-75.
LI Dajian, LIANG Jichong, BU Kewei, et al. Ultrasonic detection of partial discharge on typical defects in GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 72-75.
- [5] 方庆, 刘卫东, 邓维, 等. GIS 设备内部缺陷的新型超声诊断技术[J]. 高压电器, 2008, 44(6): 589-591.
FANG Qing, LIU Weidong, DENG Wei, et al. A new ultrasonic diagnosis technology for internal default of GIS equipment[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(6): 589-591.
- [6] 李德军, 沈威, 郭志强. GIS 局部放电常规监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. Routine testing of GIS partial discharge and ultrasonic detection method application[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 99-103.
- [7] 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. Application of GIS partial discharge UHF/ultrasonic[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2): 422-424.
- [8] 肖登明, 李旭光, 秦松林. 特高压输电系统中 GIS 气体放电特性[J]. 高电压技术, 2007, 33(6): 6-9.
XIAO Dengming, LI Xuguang, QIN Songlin. Gas discharge properties in GIS in UHV power transmission engineering [J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(6): 6-9.
- [9] 李继胜, 赵学风, 杨景刚. 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. Measurement and analysis of partial discharge on typical defects in GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 35(10): 2440-2445.
- [10] 李秀卫, 王庆玉, 毛惠卿, 等. 一起组合电器内部绝缘故障综合分析[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 99-102.
LI Xiuwei, WANG Qingyu, MAO Huiqing, et al. Comprehensive analysis of an insulation fault in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(8): 99-102.
- [11] 齐波, 李成榕, 耿弼博, 等. GIS 设备绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高电压技术, 2011, 37(7): 1719-1727.
QI Bo, LI Chengrong, GENG Bibo, et al. Secerity diagnosisi and assessment of the partial discharge provoked by high-voltage electrode defect on GIS insulator surface[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 37(7): 1719-1727.
- [12] 王昌长, 李福祺, 高胜友. 电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
WANG Changchang, LI Fuqi, GAO Shengyou. On-line monitoring and diagnosis for power equipment[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [13] 刘颖, 郭小凯, 方义治, 等. GIS 特高频局放在线监测技术的应用[J]. 高压电器, 2013, 49(5): 128-133.
LIU Ying, GUO Xiaokai, FANG Yizhi, et al. Application of the GIS UHF method partial discharge on-line monitoring [J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(5): 128-133.
- [14] 肖燕, 郁惟镛. GIS 中局部放电在线监测研究的现状与展望[J]. 高电压技术, 2005, 31(1): 47-49.
XIAO Yan, YU Weiyong. Present status and prospect of research of on-line partial discharge monitoring system in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(1): 47-49.
- [15] 周倩, 唐炬, 唐铭, 等. GIS 内 4 种典型缺陷的局部放电超高频数学模型构建[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(8): 100-103.
ZHOU Qian, TANG Ju, TANG Ming, et al. Mathematical model of four typical defects for UHF partial discharge in GIS[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(8): 100-103.
- [16] 刘君华, 姚明, 黄成军, 等. 采用声电联合法的 GIS 局部放电定位试验研究[J]. 高电压技术, 2009, 35(10): 2458-2463.

(下转第 190 页)

- [11] 许 杨,李锋锋,刘 欣,等. SF_6 分解物检测在高压直流套管故障诊断中的应用[J]. 中国电力,2013,46(3): 61-64.
XU Yong,LI Fengfeng,LIU Xin,et al. Application of detection technology of SF_6 decomposition products to fault diagnoses of HVDC bushings[J]. Electric Power,2013,46(3): 61-64.
- [12] Q/CSG 114002—2011 电力设备预防性试验规程[S]. 2011.
Q/CSG 114002—2011 Preventive test code for electric power equipment[S].2011.
- [13] 国家能源局.DL/T 273—2012 ± 800 kV 特高压直流设备预防性试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,2012.
National Energy Administration.DL/T 273—2012 Preventive test code for ± 800 kV HVDC electric equipments[S]. Beijing: China Electric Power Press,2012.
- [14] 孟玉婵,朱芳菲. 电气设备用六氟化硫的检测与监督[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
MENG Yuchan,ZHU Fangfei.Inspection and supervision of six fluoride sulfur for electrical equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press,2009.
- [15] 唐 炬,陈长杰,张晓星,等. 微氧对 SF_6 局部放电分解特征组分的影响[J]. 高电压技术,2011,37(1):8-14.
TANG Ju,CHEN Changjie,ZHANG Xiaoxing,et al. Influence of trace-level O_2 on SF_6 decomposition characteristics under partial discharge[J]. High Voltage Engineering, 2011,37(1):8-14.
- [16] DERDOURI A,CASANOVAS J. 3 Spark decomposition mixtures of $\text{SF}_6/\text{H}_2\text{O}$ [J]. IEEE Transactions on Electrical Insulation,1989,24(6): 1147-1157.
- [17] SAUERS I. Evidence for SF_4 and SF_2 formation in SF_6 corona[C]//Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.Tennessee,USA: IEEE,1991:1-17.
- [18] BEYER C,JENETT H,KLOCKOW D. Influence of reactive SF_x gases on electrode surfaces after electrical discharges under SF_6 atmosphere[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation,2000,7(2): 234-240.
- 廖建平(1983—),男,硕士,工程师,主要从事电网中绝缘油、 SF_6 气体检测工作。

(上接第 185 页)

- LIU Junhua,YAO Ming,HUANG Chengjun,et al.Experimental research on partial discharge localization in GIS using ultrasonic associated with electromagnetic wave method[J]. High Voltage Engineering,2009,35(10):2458-2463.
- [17] 尤德锋,李兴旺,庞小峰.GIS 局部放电特高频时差定位法应用案例分析[J]. 广东电力,2005,27(8):98-101.
YOU Defeng,LI Xingwang,PANG Xiaofeng. Analysisi on application case of GIS partial discharge ultra-high frequency time-of-arrival location[J]. Guangdong Electric Power,2005,27(8):98-101.
- [18] 李立学,滕乐天,黄成军,等.GIS 局部放电超高频信号的包络分析与缺陷识别[J]. 高电压技术,2009,35(2):260-265.
LI Lixue,TENG Letian,HUANG Chengjun,et al.Envelope analysis and defects identification of partial discharge UHF signals in GIS[J]. High Voltage Engineering,2009,35(2):260-265.
- [19] 刘君华,姚 明,王 江,等.基于 GIS 中电磁波传播路径特性的局放源定位方法[J]. 电力系统自动化,2008,32(21):77-81.
LIU Junhua,YAO Ming,WANG Jiang,et al.A partial discharge location method based on the characteristics of the electromagnetic wave propagation route in GIS[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(21):77-81.
- 田 妍(1989—),女,工程师,从事电气设备高压试验技术研究工作。