

# 一起 252 kV 组合电器局放异常信号分析处理

施景垒<sup>1</sup>, 宋云翔<sup>2</sup>, 杨景刚<sup>1</sup>, 王晨<sup>1</sup>, 肖雷<sup>1</sup>

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;  
2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106)

**摘要:**特高频检测技术作为一种有效的局部放电检测技术, 目前已在组合电器(GIS)检测中广泛应用。在带电检测过程中检测到一处 252 kV GIS 盆式绝缘子有特高频异常信号。对盆式绝缘子进行 X 光探伤检测, 发现内部存在数厘米长度气孔, 该结果与特高频法检测及定位结论相一致。对该盆式绝缘子进行工频耐压试验及脉冲电流法局部放电试验, 却均满足出厂试验的要求, 说明厂内传统的检测方法有其一定的局限性。针对这个情况, 提出了增设盆式绝缘子出厂前特高频局部放电检测等建议, 从而进一步提高盆式绝缘子的出厂质量。

**关键词:**组合电器; 带电检测; 特高频; 解体; 缺陷分析

中图分类号: TM835

文献标志码: B

文章编号: 2096-3203(2017)06-0127-05

## 0 引言

组合电器(GIS)由于具有占地面积小、运行可靠性高、检修周期长等优点<sup>[1]</sup>, 在电力系统得到了广泛的应用。作为电力系统中重要的运行设备, GIS 一旦发生故障, 将会影响电力系统的正常供电, 造成巨大的经济损失和不良的社会影响。文中介绍了一起 252 kV GIS 设备局部放电异常案例, 通过现场解体和后续试验, 分析了异常产生原因, 提出了改进措施和建议, 以提高 GIS 的运行可靠性。

## 1 GIS 局部放电特征

设备内部发生局部放电时, 将产生很陡的脉冲电流, 从而激发频率高达数吉赫兹的电磁波; 放电时伴随有爆裂状的声发射并产生超声波, 这两种信号沿着介质向四周空间快速传播。因此常用超声波检测法和特高频检测法检测 GIS 内部放电情况。

GIS 内部的常见缺陷有尖端放电、悬浮放电、自由颗粒放电、绝缘内部放电、沿面放电等。不同类型缺陷具有不一样的放电特征<sup>[2-4]</sup>。导体尖端放电缺陷, 在缺陷放电早期, 工频负半周呈现单峰特征, 随着放电程度的加剧, 在工频正半周会逐渐出现幅值较大的放电脉冲, 呈现为双峰特征; 悬浮放电缺陷, 放电幅值较大, 单周期内放电次数较少, 放电谱图具有较明显的对称性; 自由颗粒缺陷, 放电随机性较强, 峰值较大, 有效值较低, 没有相位特征; 绝缘内部放电, 放电相位具有对称性, 但正负半周的

放电幅值和放电次数不一; 沿面放电, 在正负半周放电相对称, 放电幅值不一, 缺陷发展较快。

特高频检测与超声波检测这两种局部放电检测方法对 GIS 内不同缺陷的检测灵敏度<sup>[5-10]</sup>如表 1 所示。

表 1 超声波和特高频检测灵敏度  
Table 1 AE and UHF detection sensitivity

| 缺陷类型   | 检测方法  |       |
|--------|-------|-------|
|        | 特高频检测 | 超声波检测 |
| 尖端缺陷   | 灵敏    | 灵敏    |
| 悬浮缺陷   | 灵敏    | 灵敏    |
| 自由颗粒缺陷 | 灵敏    | 灵敏    |
| 绝缘内部缺陷 | 灵敏    | 不灵敏   |
| 沿面放电缺陷 | 灵敏    | 灵敏    |

## 2 缺陷发现与跟踪检测

### 2.1 缺陷的发现

2015 年 8 月, 对某 500 kV 变电站带电检测, 检测到其 252 kV GIS Ⅷ段母线 7 号气室有特高频异常信号, 而超声波检测未发现异常, 结构如图 1 所示。

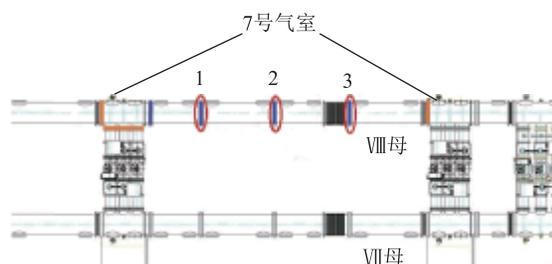


图 1 异常间隔示意图

Fig. 1 Schematic diagram of abnormal intervals

收稿日期: 2017-06-21; 修回日期: 2017-07-30

基金项目: 国网江苏省电力公司科技项目(5210EC14006Z)

其中,红色为气隔型盆式绝缘子,蓝色为通气型盆式绝缘子,所有盆式绝缘子均为环氧浇注,无金属铠装屏蔽。

现场采用特高频检测发现图 1 中 1 号至 3 号通盆处均存在异常信号,图谱呈单峰特征(如图 2 所示),且信号持续存在。

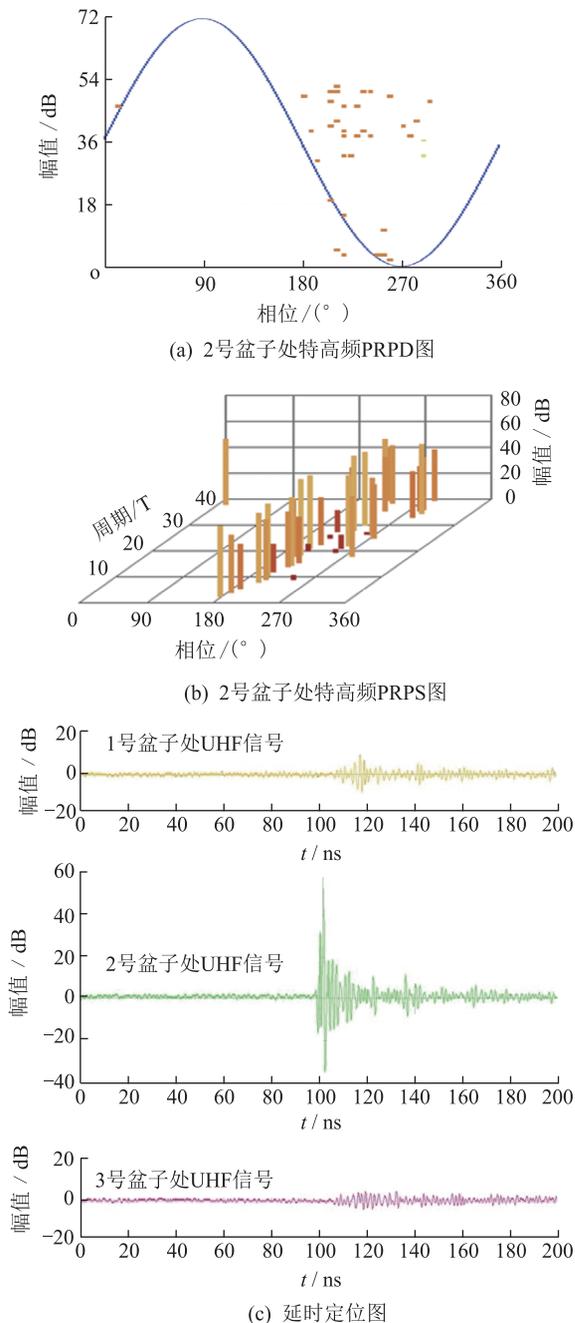


图 2 特高频异常信号及定位谱图

Fig. 2 Abnormal signal and location of UHF

经特高频时延法<sup>[11-15]</sup>定位,黄、绿、红 3 个通道分别为 1 号、2 号、3 号盆子处特高频信号。如图 2 (c) 所示,2 号通气盆子处信号分别超前 1 号、3 号盆子处信号约 10 ns,与盆子间距 3 m 相当(特高频接收的电磁波信号,其传播速度与光速  $3 \times 10^8$  m/s

相当),表明信号源自 2 号盆子附近。此 GIS 母线为三相共体结构,母线通过固定于盆式绝缘子处的触头相连接,结构相对简单。

从检测图谱分析,特高频信号在负半周密集出现,正半周只有零星信号,表明缺陷可能为尖端放电或绝缘缺陷早期;而超声波检测无异常,根据表 1 中超声波和特高频检测局部放电灵敏度比较可知,该 GIS 内部缺陷为绝缘内部放电的可能性较大。

结合定位结果及 GIS 结构分析,初步怀疑为 2 号盆式绝缘子内部绝缘缺陷。

## 2.2 缺陷的跟踪检测

随后数月内陆续进行了 4 次跟踪检测,检测图谱特征未发生明显变化,特高频信号幅值相对稳定,且始终未检测到超声波信号和异常 SF<sub>6</sub> 气体分解产物。2016 年 4 月,现场检测发现特高频信号特征发生明显变化,如图 3 所示。

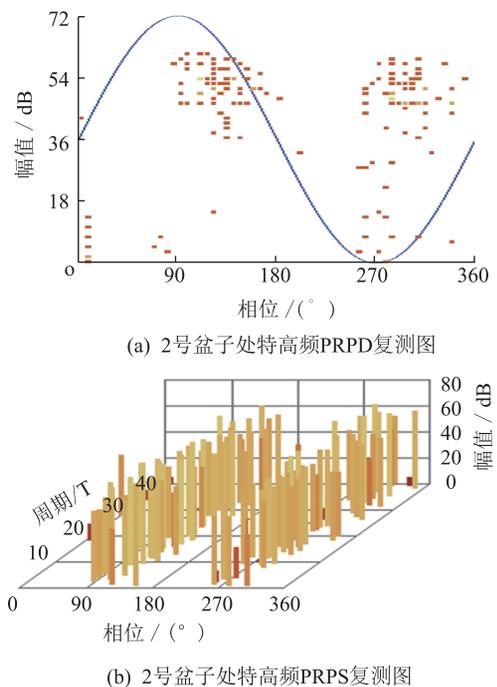


图 3 2 号盆子处特高频复测信号

Fig. 3 No. 2 basin at the UHF signal measurement

该异常信号由单峰变为双峰,放电幅值有所增长,且放电重复率明显增强。期间数次测试均未检测到超声波异常信号和异常 SF<sub>6</sub> 气体分解产物。

## 3 解体及试验检测

考虑到信号特征变化明显,为了避免击穿故障,决定对异常盆式绝缘子进行现场更换处理。

### 3.1 GIS 现场解体的注意事项

(1) 该设备处于运行状态,停电解体时除了故障间隔应气体回收并抽真空,相邻气室也应进行降

半压处理。

(2) 加强现场环境控制,环境湿度应小于 80%,设备打开处应用无尘密封袋进行防护<sup>[16,17]</sup>。

### 3.2 现场检查

对异常气室现场解体检查,发现该气室内存在微量类似于粉尘的异物,且 2 号盆式绝缘子的触头座内存在少量金属粉末,触头座内侧亦有磨损痕迹,触头及触头座接触处有黑点。

### 3.3 返厂检测

为全面分析缺陷原因,将换下的盆式绝缘子返厂进行试验。表面清洁处理后使用 X 光检测,其图谱如图 4 所示,盆式绝缘子浇注封口处的螺栓孔附近均压环以内有一条长约 50 mm、直径约 2 mm 的条状低密度材料,可能为条状气孔或内部裂纹。

随后对该盆子进行 460 kV 工频耐压试验,试验时间为 1 min,结果为耐压试验通过;电压降至 277 kV 进行脉冲电流法局放检测,结果为 0.9~1 pC,满足标准 277 kV 时小于 3 pC 的要求。然而对该盆子进行特高频局放检测,异常信号依然存在。

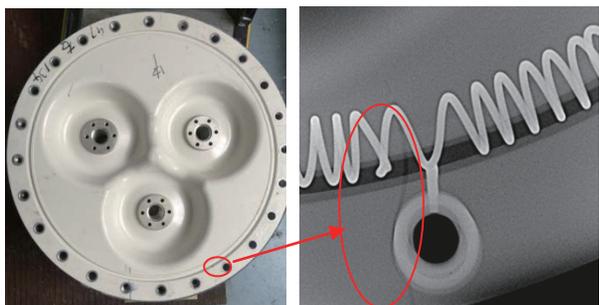


图 4 X 光探伤图谱

Fig. 4 X-ray inspection

查阅了缺陷盆式绝缘子结构图后,在厂区内测量了该缺陷盆式绝缘子及正常盆式绝缘子的关键尺寸,测量结果显示所有关键尺寸均在公差范围内,无异常参数。

## 4 缺陷分析与建议措施

### 4.1 缺陷原因分析

基于上述试验数据和解体情况等,对试验数据异常原因分析如下:

(1) 触头座内金属粉末为重力和电动力的作用下摩擦产生,原因是导体安装时轴心不对齐或触头外表面与触头座内表面不是完全贴合,受力不均。

(2) 接触部位表面黑点的产生是由于触头及触头座非全面积接触,带负荷运行时电流从较小的接触面通过,接触部位温度过高,表面镀层材料与 GIS 内 SF<sub>6</sub> 放电分解产物发生化学反应。

(3) 现场检测的特高频信号由盆子螺栓孔附近气孔引起,该类缺陷早期发展较缓慢,发展中会呈加速趋势直至闪络,此次处理有效避免了故障的发生。

### 4.2 建议措施

GIS 设备作为电力系统中的重要设备,其安全稳定运行十分重要。结合文中的缺陷分析,对 GIS 设备生产和安装过程提出以下几点建议:

(1) 加强厂内工艺管控。X 光显示缺陷盆式绝缘子内部有气孔,气孔会导致盆子内部场强不均,继而形成贯穿性闪络。该气孔可能为运行中产生,也可能为出厂时本身存在,因此应严格把关出厂试验,杜绝出厂自带缺陷。

(2) 加强现场安装精度要求。严格按照安装作业指导书要求,安装时要防止灰尘、杂质和潮气进入 GIS 本体内;内部安装、清理时要戴上塑料手套;盆子触头连接处应保证轴心对称、全面接触、受力均匀。

(3) 建议增加盆式绝缘子出厂前的特高频局放检测项目。鉴于现场检测盆子处特高频异常,X 光显示确有缺陷,但是该缺陷盆式绝缘子在进行工频耐压试验时满足出厂要求,局放脉冲电流法检测满足小于 3 pC 的出厂试验要求。由此可知,局放特高频法较局放脉冲电流法在检测绝缘内部缺陷方面灵敏度要更高,建议生产厂家在盆式绝缘子出厂前,增设特高频局放检测项目。

## 5 结语

文中通过一起 GIS 局部放电缺陷的发现与原因分析,说明常规的出厂检验手段并不能保证绝缘设备的完全合格。特高频检测作为一种成熟的技术,对绝缘类缺陷敏感度非常高,增设为绝缘设备出厂前的必需试验,有相当大的合理性和一定的实际需求。特高频法局放检测可以和脉冲电流法局放检测互补,更好地把控绝缘类设备的出厂质量。

### 参考文献:

- [1] 李润春,王露钢,刁志昆. GIS 组合电器的安装工艺和关键控制要点[J]. 电力建设, 2010, 31(1):37-39.  
LI Runchun, WANG Lugang, DIAO Zhikun. GIS combined electrical apparatus installation technology and key control points [J]. Electric Power Construction, 2010, 31(1):37-39.
- [2] 徐荆州,卢毅,陈霄. GIS 局部放电信号处理[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(2):36-38.  
XU Jingzhou, LU Yi, CHEN Xiao. Signal processing of partial discharge detection for GIS [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(2):36-38.
- [3] 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.
- [4] 杨景刚, 贾勇勇, 赵科, 等. GIS 内典型绝缘缺陷的局部放电信号超声特性分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(2):10-14.
- YANG Jinggang, JIA Yongyong, ZHAO Ke, et al. Analysis of partial discharge ultrasonic wave characteristic of typical defects in GIS [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(2):10-14.
- [5] LUNDGAARD L E. Acoustic partial discharge detection—fundamental considerations[J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1992, 8(4):25-31.
- [6] 黎大健, 梁基重, 步科伟, 等. GIS 中典型缺陷局部放电的超声波检测[J]. 高压电器, 2009, 45(1):72-75.
- LI Dajian, LIANG Jizhong, BU Kewei, et al. Ultrasonic detection of partial discharge on typical defects in GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1):72-75.
- [7] BAKER P C, JUDD M D, MCARTHUR S D J. A frequency-based RF partial discharge detector for low-power wireless sensing [J]. IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation, 2010, 17(1):133-140.
- [8] MEIJER S, SMIT J J. UHF defect evaluation in gas insulated equipment [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2005, 12(2):285-296.
- [9] 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.
- [10] 丁登伟, 高文胜, 刘卫东. GIS 中局部放电特高频信号与放电严重程度的关联分析[J]. 高压电器, 2014(9):6-11.
- DING Dengwei, GAO Wensheng, LIU Weidong. Investigation of correlation between UHF signal and PD severity in GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2014(9):6-11.
- [11] 高长玲, 谢强, 张世璐, 等. 特高频局放定位系统在 500 kV GIL 中的应用[J]. 水电站机电技术, 2014(5):1-4.
- GAO Changling, XIE Qiang, ZHANG Shilu, et al. Application of UHF PD positioning system in 500 kV GIL [J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station, 2014(5):1-4.
- [12] 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.
- [13] 陈昱同, 王天正, 王鹏皓. 试论采用特高频检测技术的局部放电源定位方法[J]. 科技风, 2015(1):110-111.
- CHEN Yutong, WANG Tianzheng, WANG Penghao. A method of local discharge power supply location based on UHF Detection Technology [J]. Technology Wind, 2015(1):110-111.
- [14] 熊俊, 杨森, 侯慧娟, 等. 基于特高频传感阵列的局部放电定位误差分析及优化布置[J]. 高压电器, 2017(1):20-25.
- XIONG Jun, YANG Sen, HOU Huijuan. Error analysis and placement optimization of partial discharge location based on UHF sensors array [J]. High Voltage Apparatus, 2017(1):20-25.
- [15] 宋方超, 卢刚, 刘东明, 等. 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[J]. 高压电器, 2016(9):55-60.
- SONG Fangchao, LU Gang, LIU Dongming, et al. Example analysis on partial discharge in the GIS bushing based on UHF technology and positioning method in three dimensional space [J]. High Voltage Apparatus, 2016(9):55-60.
- [16] 翁利民, 顾振江. SF<sub>6</sub> 气体绝缘全封闭组合电器的结构与应用[J]. 江苏电器, 2003(4):22-25.
- WENG Limin, GU Zhenjiang. The structure, design and application of SF<sub>6</sub> GIS [J]. Jiangsu Electrical Apparatus, 2003(4):22-25.
- [17] 罗晓阳. SF<sub>6</sub> 全封闭组合电器(GIS)大修设想[J]. 高压电器, 2003(4):74-75, 78.
- LUO Xiaoyang. Discussion on the scheme of complete overhaul of SF<sub>6</sub> gas insulated switch gear [J]. High Voltage Apparatus, 2003(4):74-75, 78.

#### 作者简介:



施景奎

施景奎(1986—),男,江苏盐城人,助理工程师,从事开关类设备状态评估及带电检测故障分析工作(E-mail:13770982780@163.com);

宋云翔(1966—),男,贵州剑河人,高级工程师,从事主动配电网技术及管理工作;

杨景刚(1984—),男,陕西咸阳人,高级工程师,从事变电设备状态评价及全过程技术监督工作;

王晨(1990—)男,江苏盐城人,助理工程师,从事开关类设备状态评估及带电检测故障分析工作;

肖雷(1987—),男,江苏淮安人,工程师,从事变电站启动调试及带电检测故障分析工作。

## Analysis and Treatment of Partial Discharge Abnormal Signal in 252 kV GIS Equipment

SHI Jinglei<sup>1</sup>, SONG Yunxiang<sup>2</sup>, YANG Jinggang<sup>1</sup>, WANG Chen<sup>1</sup>, XIAO Lei<sup>1</sup>

- (1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;  
2. NARI Technology Development Limited Company, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** As an effective partial discharge detection technology, UHF detection technology has been widely used in GIS detection. In the live detection process, the UHF abnormal signal is detected on a 252 kV GIS basin-type insulator. An X-ray detection was performed to the basin-type insulator, and several centimeters long pores are found inside. The results are consistent with the detection and positing of UHF method. However, the power frequency withstand voltage test and partial discharge test by pulsed current method to the basin-type insulator can meet the requirement of the factory test, indicating that the traditional detection method has its own limitations. In view of this situation, some suggestions are put forward, such as the extra high frequency partial discharge detection of basin-type insulators before leaving the factory, so as to improve the outgoing quality of the basin-type insulators.

**Key words:** GIS; live detection; UHF; disintegration; defect analysis

(编辑 方 晶)

(上接第 89 页)

## Fault-tolerant Control System of PWM Rectifier Based on NCAV and Circuit Equivalent Replacement

QIN Wei, FENG Yanhui, HUANG Kai, QIU Yingning

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Three-phase pulse width modulation (PWM) rectifier is widely used in motor control, wind power generation, flexible HVDC and micro grid due to the controllable power factor, sinusoidal grid side three-phase current waveform, stable DC side voltage and so on. In order to improve the reliability of three-phase PWM rectifier, a PWM fault-tolerant control system based on NCAV fault detection method is proposed in this paper. The control system can implement fault-tolerant control in a short time in the case of an open circuit fault has occurred on a single power switch, reduce the impact to the system caused by the single open circuit fault. This system can effectively improve the three-phase current waveform, reduce the output voltage ripple and enhance the overall system performance and reliability when an open circuit fault has occurred on a single power switch. The usefulness of this paper is verified through simulation results.

**Key words:** rectifier; open-circuit fault; fault diagnosis; fault-tolerant control

(编辑 钱 悦)

(上接第 126 页)

## Mechanism Analysis and Experimental study of Transmission Line Tree-related Failures

LIU Zhenyao<sup>1</sup>, TAN Fali<sup>2</sup>, KANG Yubin<sup>1</sup>, SONG Ziqiang<sup>2</sup>, GUO Rong<sup>1</sup>, HU Feng<sup>2</sup>

- (1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Nanjing 211102, China;  
2. Wuhan SunShine Power Science&Technology Co., Ltd., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Tree-related failure is a typical non lightning fault on transmission lines. Current researches mainly focus on the diagnosis and treatment, while the mechanism study is seldom reported. Firstly, the formation process of tree-related failure and the typical discharge characteristics in different stages of tree height are analyzed, and then different phases of tree-wire gap discharge process are simulated in the lab environment. The discharge current is monitored, and the characteristics of the waveform and the frequency spectrum are analyzed. Characteristics and rules of tree-wire discharge at different stages are obtained, and the mechanism of transmission line tree-related failures is further expounded.

**Key words:** Tree-related failure; discharge; spectrum analysis; current waveform

(编辑 江 林)