

某 110 kV GIS 盆式绝缘子局部放电检测与解体分析

高 竣,邱 炜,蔡 川,刘 鑫,郭 超,石凯萌,陈星宇,何 凯,陈 佳
(国网四川电力公司成都供电公司,四川 成都 610041)

摘要:对一起 110 kV GIS 盆式绝缘子局部放电的异常信号,综合利用特高频、超声波、气体成分分析以及 GIS 重症监护系统等多手段进行了检测和分析,并通过时差定位精确锁定了放电源位于隔离开关气室。结合特高频图谱特征以及放电源的定位位置,判断该气室盆式绝缘子附近存在绝缘类放电。经开罐检查,该气室内盆式绝缘子与隔离开关导电杆之间的胶合处存在烧蚀痕迹,胶合处的装配工艺不良使得该部位出现毛刺以及气隙,形成不均匀强电场导致局部放电。该起盆式绝缘子放电是一起较为典型的绝缘类放电案例,可以为今后类似异常情况的分析处理提供了借鉴与参考。

关键词:GIS; 隔离开关气室; 盆式绝缘子; 特高频; 绝缘类放电

中图分类号:TM 855 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2023)05-0086-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20230514

Partial Discharge Detection and Disassembly Analysis of A 110 kV GIS Basin-type Insulator

GAO Jun, QIU Wei, CAI Chuan, LIU Xin, GUO Chao, SHI Kaimeng,
CHEN Xingyu, HE Kai, CHEN Jia

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract:The abnormal signals of partial discharge of 110 kV GIS basin-type insulator are detected and analyzed by UHF, ultrasonic, gas composition analysis and GIS intensive care system etc, and the discharge source is accurately locked in disconnector gas chamber through time difference positioning. Combining the characteristics of UHF spectrum and the location of discharge source, it is determined that there is an insulation discharge near the basin-type insulator in the gas chamber. After the gas chamber is opened, there are traces of ablation at the bonding between the basin-type insulator and the conductive rod of disconnector in the gas chamber. The poor assembly process of bonding causes burrs and air gaps in this part so as to form an uneven strong electric field and cause partial discharge. The discharge of basin-type insulator is a typical case of insulation discharge, which can provide a reference for the analysis and treatment of similar abnormal situations in the future.

Key words:GIS; disconnector gas chamber; basin-type insulator; UHF; insulation discharge

0 引言

气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchger, GIS)因占地面积小、可靠性高、安装方便、检修周期长、维护工作量小等优点,自 20 世纪 60 年代实用化以来,迅速在世界各国的电网中得到了广泛应用^[1-5]。仅以国网成都供电公司为例,目前 GIS 变电站数量占 60%以上,并且每年新投变电站基本

以 GIS 为主。但是 GIS 紧凑的结构也带来一些问题,由于其内部空间狭小,内部的电场相对集中,一旦因安装工艺不良出现毛刺、金属颗粒或者接触不良等情况,容易造成局部放电,进而引发设备事故^[6-9]。而对于 GIS 设备,母线、断路器、隔离开关、互感器、接地开关、避雷器等设备全部密封在封闭罐体中,一旦出现故障,通常导致的停电范围较大且检修流程复杂、平均停电检修时间较长^[10-13]。

GIS 局部放电会在内部以及周围空间中产生声、

光、电磁波等一系列物理或化学变化,通过检测这些信号,可以及时发现 GIS 内部缺陷^[14-17]。研究表明,大约有 60% 的局部放电在发展成故障之前是可以通过局部放电检测提前发现的^[18]。因此,开展局部放电检测对保证 GIS 设备安全稳定运行具有重要意义。

下面介绍一起利用特高频检测技术在某变电站成功发现 110 kV GIS 盆式绝缘子局部放电的案例。首先,详细阐述了放电的发现以及精准定位的过程,并利用 GIS 重症系统实时跟踪监测;最后,结合现场开罐检查验证了 GIS 设备放电的存在和放电点的位置,有效避免了一起电力事故的发生。

1 带电检测异常情况

1.1 设备基本概况

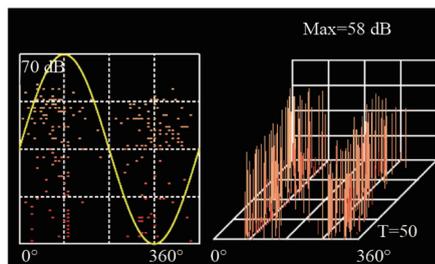
带电检测异常设备为某 220 kV 变电站 110 kV GIS 设备。该设备为三相共箱式结构,即 A、B、C 三相设备在同一个罐体中,型号为 ZF12-126(L),额定电压为 126 kV,额定电流为 3150 A,生产厂家为河南平高电气股份有限公司,投运日期为 2018 年。

1.2 带电检测数据分析

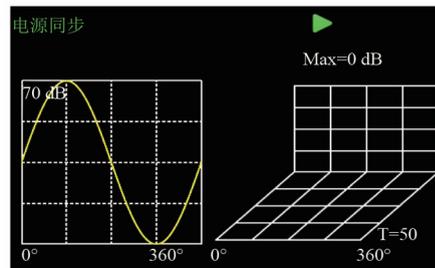
1.2.1 缺陷发现经过

在对某 220 kV 变电站 110 kV GIS 设备进行带电检测时,发现 1 号主变压器 101 间隔几乎所有盆式绝缘子处均检测到异常特高频信号,图谱特征基本保持一致,如图 1 所示,仅幅值略有不同,各部位幅值如图 2 所示。检测当日环境温度为 15 ℃,空气湿度为 65%,天气晴。

从图 1(a)可以看出,各盆式绝缘子处检测的特高频信号图谱在整个工频周期内集中表现为两簇放电信号,放电幅值较大,但是幅值分散。而悬浮类放电相位分布的脉冲序列(phase resolve piuse sequence, PRPS)谱图一般具有“内八字”或“外八字”分布特征,因此初步判断疑似为绝缘类(沿面或者气隙)放电特征。此外,在空气背景中未检测到异常特高频信号,如图 1(b)所示,因此可以判断该放电信号来自于 GIS 设备内部。同时,从 1013 隔离开关气室侧分别往两侧移动传感器时,盆式绝缘子处上检测到的信号幅值呈现减小的趋势,根据幅值定位初步可以判断该放电信号可能位于 1013 隔离开关气室。对该间隔各气室进行超声波检测,未发现异常信号。



(a) 异常信号图谱



(b) 空气背景信号图谱

图 1 异常特高频信号



图 2 各盆式绝缘子处异常特高频信号幅值分布

1.2.2 放电源定位

为了进一步确定放电源在 GIS 中的准确位置,采用时差法来进行定位,定位原理如图 3 所示。通过测量两个传感器之间距离 L ,在示波器上读取两个通道信号的时差 Δt ,并设放电源到较近的传感器的距离为 x ,则可通过式(1)计算出放电源位置^[19-20]。

$$\begin{cases} \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{(L - 2x)}{c} \\ x = \frac{L - c\Delta t}{2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: c 为电磁波在 GIS 内部传播速度, 3×10^8 m/s; t_1 和 t_2 分别为两个传感器接收到电磁波信号的时间。

现场时差定位的传感器布置如所图 4 所示,考虑特高频检测幅值较大的位置在 1 号至 4 号盆式绝

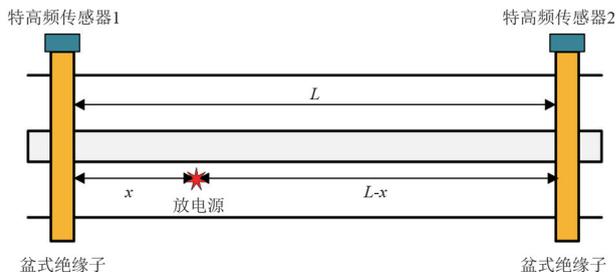


图 3 时差定位原理



图 4 时差定位传感器布置

缘子之间,因此将一个特高频传感器放置于 1 号盆式绝缘子处,另一个传感器放置于 4 号盆式绝缘子处。通过示波器捕捉两个位置检测到信号的时间差,如所图 5 所示,再根据式(1)计算出放电源位置。此外,为了提高时差定位的准确性,反复多次调整改变传感器的位置对放电源进行时差定位,最终定位放电源位于 1013 隔离开关气室,并且距离 2 号盆式绝缘子大约 5 cm 处。由于特征图谱显示放电为绝缘类,推测可能 1013 隔离开关气室靠近 2 号盆式绝缘子处存在绝缘类缺陷。

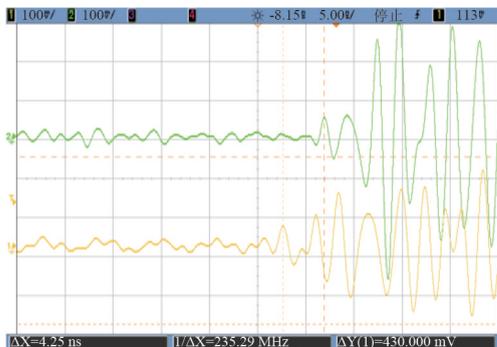


图 5 时差关系

1.2.3 SF₆分解产物分析

放电源定位后,对 1013 隔离开关气室气体进行 SF₆分解产物测试与分析,同时检测了其他正常隔离开关气室并进行了对比。检测结果显示,1013 隔离开关气室与正常气室均未检测到 SO₂及 H₂S 产物,

主要原因可能是局部放电的能量较低,未使 SF₆气体发生分解。

2 异常信号跟踪监测

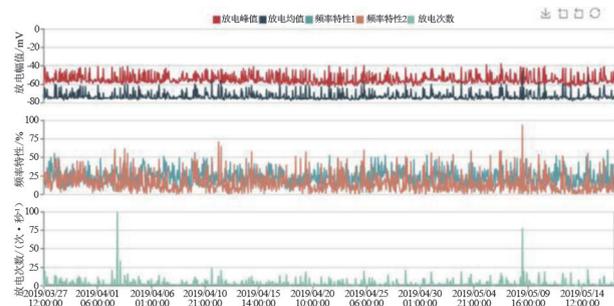
由于该站的负荷较重,处理该缺陷涉及用户停电,因此采取暂不处理继续监视运行。但是,为了实时跟踪该异常信号的发展情况,避免缺陷持续发展导致设备击穿引发停电事故,在该间隔装设了用于 GIS 设备特高频实时检测的重症监护系统,如图 6 所示。该系统可实时采集间隔内各盆式绝缘子处的特高频信号,一旦幅值达到设置的报警阈值,即可发送报警信号至监控人的手机进行短信提醒。



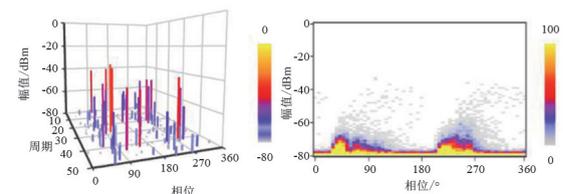
图 6 GIS 重症监护系统

GIS 重症监护系统检测数据如图 7 所示。经过长期的跟踪监测分析比较发现:该间隔特高频异常信号保持稳定,幅值虽然存在一定波动,但是未出现明显增大的情况;放电特征也和前期的检测结果保持一致。这说明该放电未进一步发展处于平稳状态,因此仍继续监视运行,在后续负荷较轻时再申请停电进行开罐解体检修。

此外,根据重症监护系统长期监测数据,还可以发现频率特性 1 (50 Hz 频率相关性)和频率特性 2 (100 Hz 频率相关性)交替领先现象,说明可能存在两种类型的放电,比如尖端放电(对应 50 Hz 频率相关性)和绝缘类放电(对应 100 Hz 频率相关性)。每次频率特性 2 领先频率特性 1 的时候,均出现在在放电次数较多的情况下,也是放电幅值突然变大的地方,并且持续时间不长;而在大多数情况放电次



(a) 连续检测数据图例



(b) 某一时刻典型特征图谱



(c) 某一时刻时域特征图谱

图 7 GIS 重症监护系统检测图谱

数少的时候,则是频率特性 1 领先频率特性 2,放电的幅值也一直保持稳定。因此可推测其中对应频率特性 2 的放电存在间歇性且幅值相对较大,而对应频率特性 1 的放电一直持续存在,但是幅值相对较小。综合判断该放电类型可能为持续尖端和间隙性的绝缘类两种放电形态的叠加。

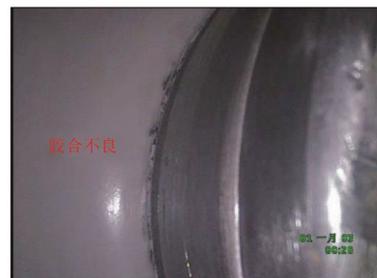
3 开罐解体检查以及原因分析

两年后,由于该站的负荷部分转移到了其他站,遂申请停电对 1013 隔离开关气室进行开罐解体检查。打开该隔离开关气室下部的吸附剂盖板,检查整个气室内均未发现内部金属部件松动或其他放电痕迹,仅发现了 B 相盆式绝缘子与高压导体的交界处存在胶合不良(A、C 相均未发现)有表面剥离的现象,如图 8(b)所示,而且缝隙处存在明显的黑色的放电痕迹,如图 8(c)所示。

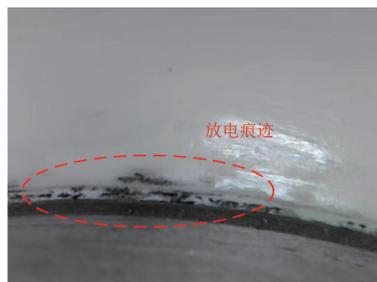
分析造成这些现象的原因:首先,由于 B 相盆式绝缘子与高压导体胶合不好,可能在界面处造



(a) 正常相胶合处



(b) B相胶合处



(c) 放大后的B相放电痕迹

图 8 1013 隔离开关气室放电痕迹

成一些微小的毛刺凸起,这些毛刺在电场作用下会发生尖端放电;其次,如果中心导体与绝缘体之间结合不良或者发生剥离,在界面还会形成一些微小气隙,当电场达到一定程度时造成气隙放电。根据前期的重症监护系统的图谱分析,该缺陷类型可能为尖端和绝缘类放电的综合,与开罐的检查结果一致。

此外,文献[21-22]也发现了上述类型的放电缺陷,放电特征图谱和放电位置均和所述案例基本一致。这也说明该类型故障不是个例,根本原因是制造工艺控制不良,这需要加强入网设备验收以及在运设备的隐患排查工作。

将 1013 隔离开关气室的缺陷盆式绝缘子更换后,又对该 GIS 间隔进行了交流耐压试验,试验电压为 184 kV,试验过程中对该间隔 GIS 设备进行了局部放电信号监测,未发现异常信号。在该 GIS 间隔再次带电投运后,依旧定期进行局部放电信号跟踪检测,但是始终未检测到异常信号。这表明该气室放电缺陷已被成功消除。

4 结 论

上面通过特高频局部放电检测技术,成功发现并定位了一起 110 kV GIS 盆式绝缘子局部放电缺陷,通过解体检查和处理,得到如下结论和建议:

1) 基于巡检发现的盆式绝缘子处的异常特高频信号,利用特征图谱分析、时差定位等手段确定了 GIS 内部存在绝缘类放电,并通过开罐解体检查验证了带电检测分析的结论。这证明了带电检测可以准确发现 GIS 内部存在局部放电的潜伏性缺陷。

2) 盆式绝缘子放电原因为盆式绝缘子与隔离开关导电杆之间胶合处的装配工艺不良,使得该部位出现毛刺和气隙,形成不均匀强电场导致局部放电。建议设备运维单位对同厂家、同类型、同批次的 GIS 设备逐一开展带电检测排查,及时发现类似缺陷隐患,防止事故发生。

3) GIS 的安装工艺不良会对 GIS 设备的运行埋下极大的安全隐患,应加强 GIS 设备安装阶段的技术监督,尤其是在运维阶段容易出现问题的部位或者部件应该重点加强验收和把关。

参考文献

- [1] 周波,高竣,杨红权,等.一起 220 kV GIS 刀闸悬浮放电缺陷案例分析[J].高压电器,2020,56(12):308-312.
- [2] 郭超,周波,谭学敏,等.GIS 隔离开关内悬浮放电缺陷带电检测与解体分析[J].高压电器,2021,57(5):168-174.
- [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.
- [4] 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.
- [5] 何金,鄱晓光,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,2018,54(3):25-31.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 牛勃,马飞越,丁培,等.GIS 局部放电智能巡检定位技术及应用[J].高压电器,2020,56(1):188-196.

- [9] 邵先军,何文林,刘浩军,等.基于数值仿真与多源聚类的 GIS 局部放电诊断与回归分析[J].高电压技术,2017,43(10):3163-3172.
- [10] 宋方超,梁雯,张春旭,等.磁致伸缩效应对 GIS 超声波局部放电检测的影响及实例分析[J].高压电器,2019,55(3):234-238.
- [11] 宋辉,代杰杰,李喆,等.运行条件下 GIS 局部放电严重程度评估方法[J].中国电机工程学报,2019,39(4):1231-1240.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 宋东波,秦少瑞,陈凡,等.几起 GIS 绝缘件局部放电缺陷的检测与分析[J].高压电器,2018,54(11):153-159.
- [16] 王国利,高超,杨芸,等.GIS 绝缘缺陷局部放电检测的有效性研究[J].高压电器,2018,54(11):62-72.
- [17] JUDD M D, FARISH O, HAMPTON B F. The excitation of UHF signals by partial discharges in GIS[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1996,3(2):213-228.
- [18] 陈江添.一起 220 kV GIS 设备局部放电的案例分折[J].高电压技术,2016,42(2):225-229
- [19] 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,2014,27(8):98-101.
- [20] 马建涛,冯新岩,崔勇,等.特高频时差定位法在 GIS 局部放电检测中的应用[J].山东电力技术,2018,45(10):49-52.
- [21] 周电波,许本茂,张劲,等.GIS 固体绝缘缺陷所激发特高频信号时频特征研究[J].高压电器,2021,57(2):33-41.
- [22] 王浩然,郭子豪,张丝钰,等.缺陷对特高压交流盆式绝缘子电场分布的影响[J].高电压技术,2018,44(3):982-992.

作者简介:

高 竣(1989),男,博士,高级工程师,主要研究方向为电气设备状态监测与故障诊断。

(收稿日期:2023-04-01)