

基于特高频法及工业CT检测的GIS异常分析

程梦盈¹,张化昭²,程文彬³,龙国华¹,邹熙²

(1.国网江西省电力有限公司电力科学研究院,江西 南昌 330096;2.国网江西省电力有限公司南昌供电分公司,江西 南昌 330096;3.国网江西省电力有限公司上饶供电分公司,江西 上饶 334000)

摘要:局放检测作为气体绝缘金属封闭开关设备(gas-insulated metal-enclosed switchgear, GIS)设备日常运检最为有效的检测手段之一,能够有效发现GIS内部潜在缺陷,对预防设备故障和保障电力系统安全稳定运行具有重要意义。文中通过特高频局放检测,发现某220 kV变电站110 kV GIS内部存在异常局部放电情况,后利用“电-电联合”时差定位法,精确锁定异常信号来源于隔离/接地开关气室绝缘拉杆处,并经工业用计算机断层成像(industrial computerized tomography,工业CT)检测及解剖检查,确认为绝缘拉杆内部气隙缺陷,提出了防范措施与建议,为GIS运行可靠性提升、现场异常局放诊断提供借鉴与参考。

关键词:GIS;特高频局放检测;工业CT检测;时差定位法;内部绝缘类缺陷

中图分类号:TM 855 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-348X(2025)03-0001-04

0 引言

气体绝缘金属封闭开关设备(gas-insulated metal-enclosed switchgear, GIS)因占地面积小、运行可靠性高、维护工作量少等优点,成为电网关键、核心设备之一,其可靠运行能力对大电网的安全稳定极为重要^[1-2]。局部放电是GIS绝缘缺陷起始、发展和绝缘故障产生的重要原因,同时也是设备绝缘劣化的征兆。通过对GIS局部放电时产生的声、光、电磁波等信号进行有效检测和精确定位,可以及时发现GIS内部缺陷,切实掌握设备运行状态,保障电网安全运行和电力可靠供应^[3-5]。

文中对一起110 kV GIS在例行带电检测中出现的异常特高频局放信号进行现场诊断,通过“电-电联合”时差定位法,精确定位该特高频局放异常信号源于GIS隔离开关气室绝缘拉杆,判断其内部存在绝缘类缺陷,后经工业用计算机断层成像(industrial computerized tomography,工业CT)检测及切割解剖检查,发现该绝缘拉杆内部存在狭长孔隙缺陷。

1 事件概况

运维人员采用PD74i型局放巡检仪,对某变电站内110 kV GIS设备进行特高频及超声波局放带电检测时,发现110 kV GIS出线侧118开关间隔C相存在特高频局放异常信号,1183隔离/接地开关气室、电流互感器及其引线气室、出线引线气室均存在异常特高频放电信号,其中隔离开关两侧盆式绝缘子处信号幅值最大且远大于背景幅值(如图1、图2所示),A、B相信号与背景值接近且无明显放电特征。通过幅值比较法,初步判断该异常信号位于1183隔离开关C相气室,超声波局放检测无异常,SF₆气体组分、微水检测均正常。118开关间隔结构及1183隔离开关实物如图3所示。

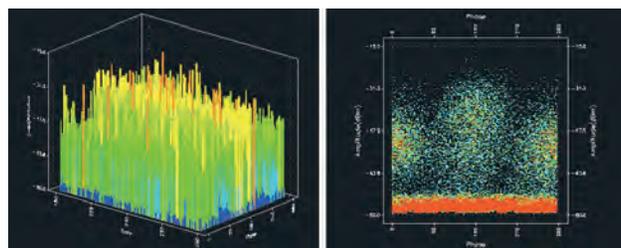


图1 1183隔离开关C相特高频局放异常信号图谱

收稿日期:2025-04-29

基金项目:国家电网有限公司科技项目(基于多光三维数字重构的GIS设备智能巡检和综合评估技术研究及应用,521820230013)。

作者简介:程梦盈(1996),女,大学本科,工程师,从事高压电力设备试验检测与状态评估技术研究。

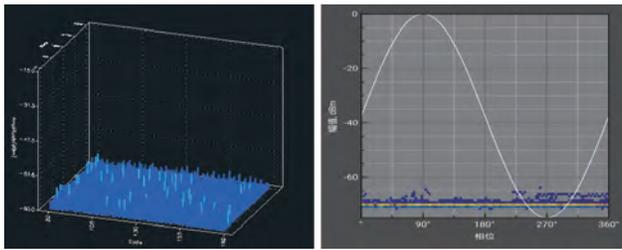


图2 测点处背景图谱

GIS 型号为 ZF4-126, 出厂日期为 2004 年 2 月, 投运日期为 2005 年 7 月。

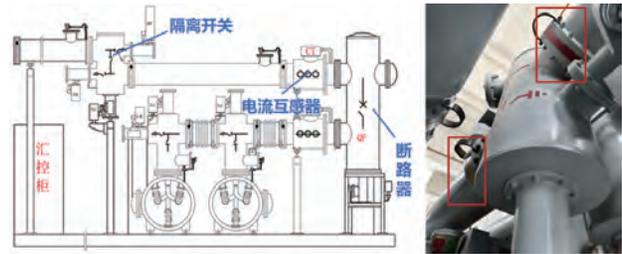


图3 118 开关间隔结构图(左)及 1183 隔离开关实物图(右)

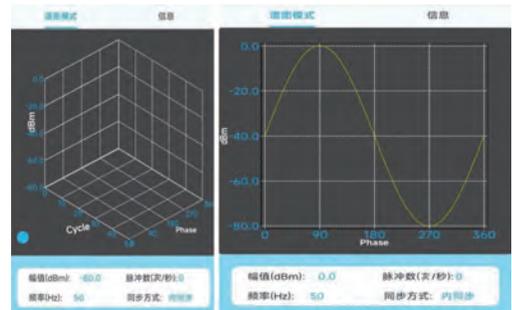


图5 测点处背景图谱

为确定异常特高频信号的来源, 将两个传感器布置于不同的盆式绝缘子, 利用“电-电”时差定位法对异常局放信号开展初步定位。现场 GIS 罐体布置情况如图 6 所示, 传感器布置及定位结果如表 1 所示。

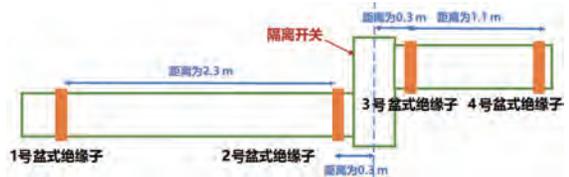


图6 1183 隔离/接地开关 C 相结构示意图

初步判定, 该放电发生在 1183 隔离/接地开关 C 相气室内部或电流互感器引线段气室内部靠近 2 号盆式绝缘子处。

表1 时差定位法初步测试取点及结果

序号	定位取点	定位结果
第1次定位	1号传感器布置于1号盆式绝缘子处	位于2号传感器附近0.3 m
	2号传感器布置于2号盆式绝缘子处	
第2次定位	1号传感器布置于2号盆式绝缘子处	位于1号传感器附近0.3 m
	2号传感器布置于4号盆式绝缘子处	

2 现场检测情况

为进一步判断设备异常部位, 对该特高频局部放电异常信号开展两次异常局放诊断分析与定位。

2.1 特高频局放检测情况

采用 EC4000PDL 型局放巡检仪对该间隔复测, 测试结果与 PD74i 型局放巡检仪所测一致。异常放电信号出现在工频相位的正、负半周, 具有明显的相位相关性, 且具有一定对称性, 放电幅值分布较分散, 放电次数较少(如图 4、图 5 所示)。对比《气体绝缘金属封闭开关设备局放带电测试技术现场应用导则第 2 部分: 特高频法》(Q/GDW 11059.2—2018)^[6]中典型图谱, 初步判断该间隔 C 相存在绝缘类缺陷。

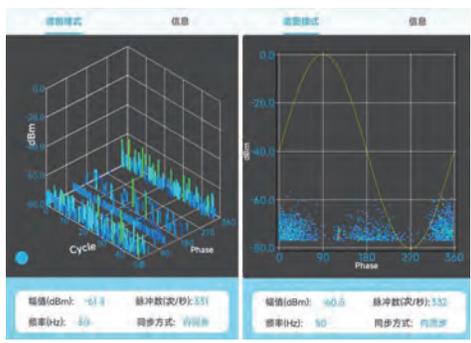
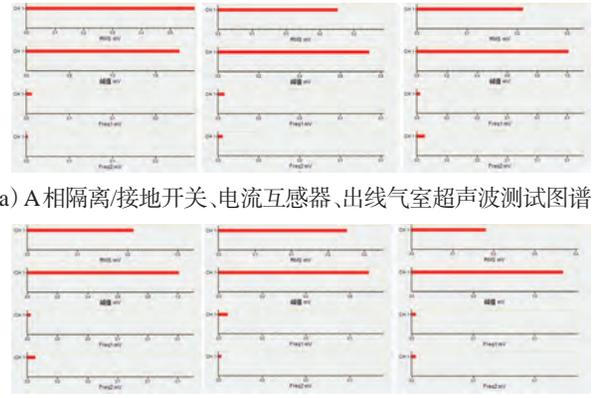


图4 1183 隔离/接地开关 C 相盆式绝缘子处特高频 PRPS/PRPD 图谱

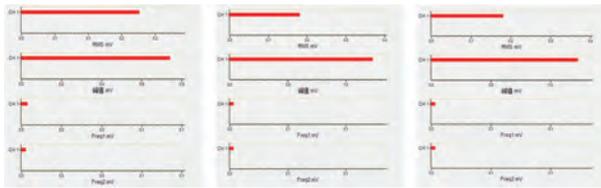
2.2 超声波局放检测情况

分别对该间隔 A、B、C 三相隔离/接地开关气室、电流互感器引线段气室、出线引线段气室进行超声波局放检测, 经过罐体的轴向和径向多点测量对比, 测试值最大约 1.8 mV, 与背景值接近, 无明显的 50 Hz/100 Hz 频率相关性, 如图 7 所示。



(a) A 相隔离/接地开关、电流互感器、出线气室超声波测试图谱

(b) B 相隔离/接地开关、电流互感器、出线气室超声波测试图谱



(c) C相隔离/接地开关、电流互感器、出线气室超声波测试图谱

图7 超声波局放检测情况

2.3 特高频异常局放定位及诊断情况

使用PDS-G1500型局放诊断仪,对118开关间隔异常特高频放电信号进行“电-电联合”时差定位。

1) 选取1号盆式绝缘子(CH1),3号盆式绝缘子(CH2),空气背景(CH3)这三个测点进行定位,CH1、CH2中均出现放电信号,不断在空间中移动背景传感器,始终无法采集到放电脉冲,因此判断该放电信号来自GIS内部,如图8所示。

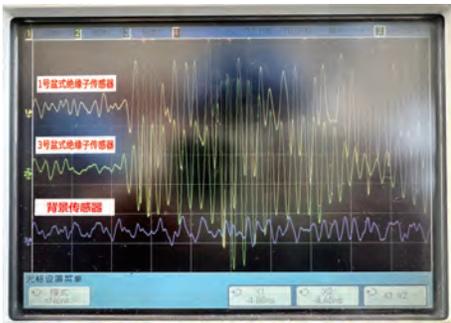


图8 特高频局放检测图谱

2) 选取1号盆式绝缘子(CH1),3号盆式绝缘子(CH2)两个测点进行定位,测得CH2信号超前CH1信号时差为6 ns(如图9所示),即放电信号到CH1及CH2的距离差为1.8 m,根据时差定位原理,综合考虑盆式绝缘子的测量距离,计算得出放电点与1号盆式绝缘子的距离为2.5 m,与3号盆式绝缘子的距离为0.7 m,与2号盆式绝缘子的距离为0.2 m。

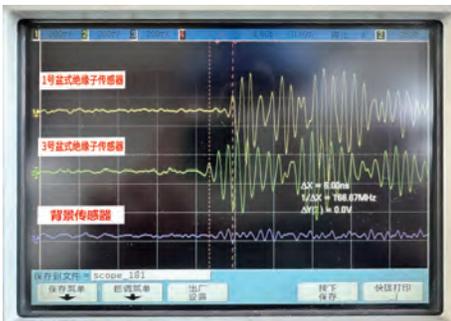


图9 特高频异常局放信号定位图谱一

3) 选取2号盆式绝缘子(CH1),3号盆式绝缘子

(CH2)两个测点进行定位,测得CH1信号超前CH2信号时差为1.2 ns(如图10所示),即放电信号到CH1及CH2的距离差为0.36 m,根据时差定位原理,计算得出放电点与2号盆式绝缘子距离0.27 m,与3号盆式绝缘子距离0.63 m。

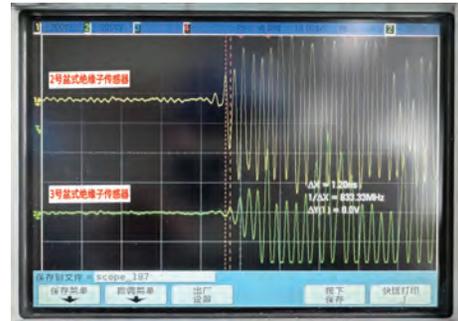


图10 特高频异常局放信号定位图谱二

两次放电点定位基本一致,判断放电点位置为距离1183隔离/接地开关气室左侧盆式绝缘子0.2 m处左右。结合隔离开关气室结构和绝缘类放电特征,判断放电信号源于隔离开关绝缘拉杆。如图11、图12所示。

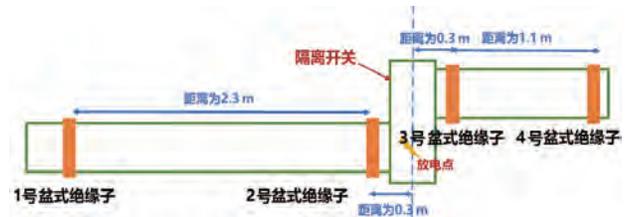


图11 1183隔离/接地开关C相局放信号定位

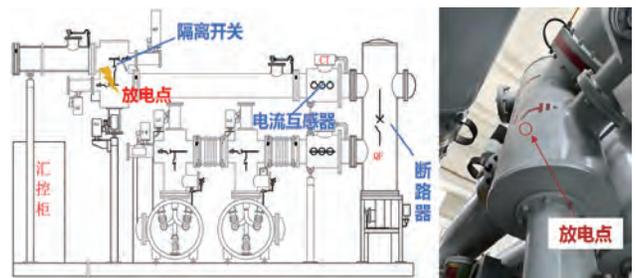


图12 1183隔离/接地开关C相位置示意图

3 异常局放信号复测及缺陷处理

3.1 特高频局放异常复测情况

对118开关间隔1183隔离/接地开关C相气室内异常特高频局放信号进行定期复测,发现该异常特高频局放信号仍存在,且信号幅值增加至-16.8 dBm,放电脉冲数为6 400次/秒(如图13所示)。对比前

期测试数据(信号幅值为-61.3 dBm,放电脉冲数为331次/秒),该异常局放信号幅值及放电脉冲数有明显上升趋势,判断设备内部发生了明显的绝缘劣化,存在严重的运行风险,需对该间隔开展停电检修处理。

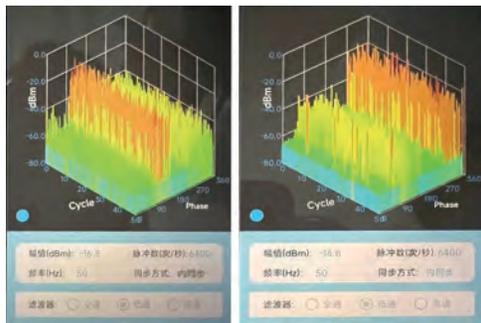


图13 1183隔离/接地开关C相气室复测结果

3.2 缺陷处理情况

临时停电对118开关间隔进行检修,更换了1183隔离/接地开关A、B、C三相气室绝缘拉杆,并开展交流耐压试验及局放检测,试验结果合格,送电后开展特高频及超声波局放检测,异常局放信号消失(如图14、图15所示)。



图14 1183隔离/接地开关更换下来的绝缘拉杆

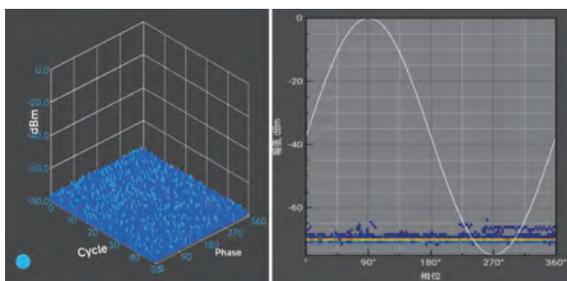


图15 118开关间隔消缺后局放检测结果

4 缺陷绝缘拉杆工业CT检测情况

对解体更换的隔离开关绝缘拉杆开展工业CT检测,发现C相绝缘拉杆中存在5处较大的低密度区域,疑似孔隙,最长达48.97 mm(如图16所示)。



图16 1183隔离/接地开关C相绝缘拉杆存在5处低密度区

对C相绝缘拉杆进行横向切割解剖检查,发现靠近触头侧存在2道明显的气隙,横截面宽度达到6.5 mm,确认其内部存在狭长孔隙(如图17所示)。该气隙的产生为真空浇筑工艺不良所致。

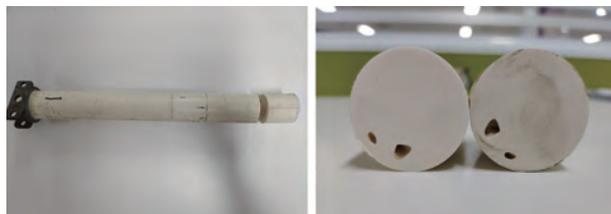


图17 1183隔离/接地开关C相绝缘拉杆内部存在狭长孔隙

5 原因分析及建议

5.1 原因分析

结合现场局放检测及绝缘拉杆解剖检查情况,判断本次GIS设备特高频局放异常的原因为:隔离/接地开关C相绝缘拉杆内部存在孔隙缺陷,在长期带电运行下,产生局部放电,并逐步发展劣化。

5.2 下一步建议

本次GIS异常事件暴露出ZF4-126型GIS绝缘件制造工艺不良、早期GIS绝缘件出厂试验管控不到位、低电压等级GIS绝缘件潜伏性气泡缺陷局放发展周期较长等诸多问题。针对本次异常事件,提出如下防范措施与建议:

1) 强化同厂同型GIS设备的运维检修。尤其针对运行年限超10年的GIS设备,结合例行局放检测情况,适当缩短检测周期,重点关注绝缘类放电信号。

2) 加强组合电器绝缘件出厂质量管控。严格按照相关标准文件要求,把好绝缘件入网质量关。绝缘拉杆在安装前,应逐支进行耐压、局放和X射线探伤检测,并抽样进行热性能试验;浇筑成型的绝缘拉杆每批次的随炉样块抽样须进行密度和玻璃化转变温度检查。

(下转第12页)

实用性,为铅封腐蚀、接地锈蚀等缺陷检测和接地系统连接状态评估提供了可靠、高效的技术手段。

参考文献:

[1] 袁燕岭,周灏,董杰,等.高压电力电缆护层电流在线监测及故障诊断技术[J].高电压技术,2015,41(4):1194-1203.
 [2] 曹俊平,王少华,任广振,等.高压电缆附件铅封涡流探伤方法试验验证及应用[J].高电压技术,2018,44(11):3720-3726.
 [3] 周长城,赵海军,任萍.高压电缆附件铅封工艺的改进[J].东北电力技术,2021,42(2):23-26,29.
 [4] 贾建军,王哲,肖益维,等.高压电缆封铅涡流检测对比试块的设计与验证[J].中国金属通报,2022(7):228-230.
 [5] 付文光,寇正,杨军.高压电缆封铅涡流检测对比试块的设

计与验证[J].无损检测,2021,43(11):68-71.
 [6] 邵晨凡,寿绍安.带电检测技术在电缆设备缺陷发现中的应用[J].电力设备管理,2021(8):47-48.
 [7] 杨金海,刘雪峰,余磊.高压电缆铅封裂纹缺陷检测方法研究[J].大众用电,2021,36(8):41-42.
 [8] 蒲英俊,刘广兴,李正利,等.涡流检测高压电缆附件铅封缺陷的试验研究[J].山东电力技术,2020,47(2):56-60,69.
 [9] 李红发,程绍兵,夏敏,等.一种超温警示螺栓预警温度和最佳安装位置的确定方法[J].电子测试,2022(15):105-107,117.
 [10] 肖微,朱文滔,詹清华,等.一起110 kV电缆GIS终端发热原因分析及处理措施[C].//2011年全国电力电缆安装与运行经验交流会论文集.青岛:中国电力企业联合会,2011:77-81.
 [11] 卞蓓蕾,曹京荣,刘鹏.中低压电力电缆金属屏蔽接续状态带电测试技术[J].电力工程技术,2022,41(6):134-139.

(上接第4页)

3) 提升组合电器带电检测工作质效。一是在运设备严格按周期开展特高频和超声波局放检测;二是结合组合电器故障集中爆发与前期的特点,差异化缩短隐患设备带电检测周期,及早发现设备潜伏性缺陷;三是严格落实带电检测仪器入网检测制度,且对特高频和超声波局放检测仪器开展年度校验,确保局放检测仪器性能满足要求。

6 结语

文中采用“电-电联合”时差定位法成功诊断了一起110 kV GIS 隔离开关局部放电隐患,并经工业 CT 检测及解剖检查,验证该隔离开关绝缘拉杆内部存在孔隙缺陷,充分体现了“带电检测/在线监测发现问题—电工材料技术分析验证”机制的有效性,为 GIS 现场带电检测

异常信号诊断分析及后续隐患整改治理提供经验。

参考文献:

[1] 李晓磊,张甲辉,李林,等.一起110 kV GIS 绝缘子局部放电检测案例分析[J].山东电力高等专科学校学报,2024,27(2):1-4.
 [2] 廖新征,王红梅,丁登伟,等.基于特高频时频分析的 GIS 盆式绝缘子缺陷分析[J].高压电器,2019,55(1):47-53.
 [3] 徐洋,刘卫东,高文胜.GIS 绝缘子内部缝隙的局部放电特性和机理研究[J].高压电器,2020,56(7):116-122.
 [4] 马飞越,王沛,王博.GIS 母线支撑绝缘子气隙放电综合诊断与分析[J].高压电器,2018,54(11):147-152.
 [5] 何宁辉,李秀广,周秀,等.GIS 固体绝缘不同类型气隙缺陷的放电特征[J].高电压技术,2021,47(6):2073-2083.
 [6] 国家电网有限公司.气体绝缘金属封闭开关设备局放带电测试技术现场应用导则第2部分:特高频法:Q/GDW11059.2—2018[S].北京:中国电力出版社,2020.

