

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.05.030

一起 HGIS 设备局部放电家族缺陷的分析及处理

李劲彬¹, 夏天¹, 陈隽¹, 白尧¹, 查阿龙², 左山奇²

(1. 国网湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉 430077; 2. 国网荆门供电公司, 湖北 荆门 448000)

摘要: 针对某变电站 110 kV HGIS 设备多次出现的异响及局部放电异常现象, 结合局部放电超声波检测、局放典型图谱分析、SF₆ 气体成分分析、粉末成分分析及解体过程情况, 分析得出是 HGIS 内部悬浮电位放电引起, 其原因为传动轴和绝缘子嵌件内槽尺寸设计为过渡配合且传动轴侧绝缘子挡板采用非固定设计, 为设计原因引起的设备家族性缺陷。在分析该 HGIS 设备家族缺陷特征信息后, 提出了下一步处理及预防措施, 可为气体绝缘金属封闭组合电器设备管理、家族缺陷认定提供参考与借鉴。

关键词: HGIS; 局部放电; 家族缺陷; 诊断分析

Analysis and Treatment of a HGIS Partial Discharge Family Defect

LI Jinbin¹, XIA Tian¹, CHEN Jun¹, BAI Yao¹, ZHA Along², ZUO Shanqi²

(1. State Grid Hubei Electric Power Research Institute, Wuhan 430077, China;

2. Hubei Jingmen Electric Power Supply Company, Hubei Jingmen 448000, China)

Abstract: In this article, the abnormal sound and partial discharge signals occurred in repeatedly in a 110 kV HGIS equipment are analyzed based on ultrasonic detection of partial discharge, typical partial discharge map, SF₆ gas composition analysis, powder composition analysis and disassembling inspection. The defect is found that the insulator baffle on the shaft side fails to mate with the insulator closely which causes floating partial discharge inside the HGIS. After analyzing the family defect characteristic of this kind of equipment, the authors propose several treatment and preventive measures, which can provide reference and experience for the gas insulated switchgear management and family defect diagnostic analysis and identification.

Key words: HGIS; partial discharge; family defect; diagnostic analysis

0 引言

由于系统性强、集成度高、占地面积小、可靠性好等优势, 近年来, 气体绝缘金属封闭组合电器设备装用量不断增加, 组合化率逐年上升。根据国家电网公司近年统计数据表明, 全国高压开关设备组合化率达到 18.9%, 72.5 kV 及以上组合电器装用量的年平均增长率达到 31.3%, 550 kV 及以上的超、特高压组合电器的年平均增幅更是达到 80.3%, 平均增长率基本保持在敞开式断路器的 3 倍以上。

组合电器故障率一般只有常规设备的 20%~40%, 但其也存在固有的缺点。由于组合电器是全封闭组合电力设备, 一旦出现事故, 造成的后果比分离式敞开设备严重的多, 其故障修复尤为复杂, 且

其停电范围大, 常涉及非故障元件。组合电器绝缘故障的前期表现为击穿前的局部放电, 所以运用传感器对其局部放电产生的电磁波、超声波等物理特征进行检测^[1-5], 能够有效地发现组合电器内部绝缘缺陷, 尤其是潜伏性和突发性缺陷, 对组合电器的绝缘劣化趋势和运行状况做出预测和故障诊断, 避免发生严重事故, 保证系统运行安全^[6-9]。

文中针对某变电站 110 kV HGIS 设备多次出现的局部放电异常现象, 介绍其局部放电检测、SF₆ 气体成分分析、粉末成分分析及解体过程情况, 分析其原因, 并提出下一步处理及预防措施。

1 局部放电检测

2014 年 11 月 28 日、2015 年 9 月 8 日, 某变电站 110 kV HGIS 设备例行巡视中, 先后发现 2 处间隔

内部有持续异响。发现异常时设备负荷电流较小。采用超声波检测局部放电的方法对异常间隔进行检测。检测位置见图 1。

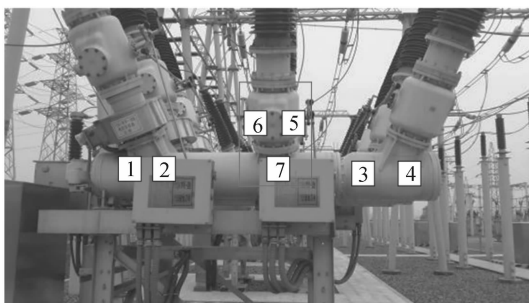


图 1 局放超声波检测点

Fig. 1 Ultrasonic detection points of partial discharge

局放超声波检测情况见表 1,有效值、峰值、与 50、100 Hz 的相关性均为测量点测得的超声波信号转化成的电信号参数。

表 1 异常间隔局放超声波检测情况

Table 1 Ultrasonic detection results of partial discharge

测量点	有效值/mV	峰值/mV	与 50Hz 的相关性/mV	与 100Hz 的相关性/mV
1	58	220	2	13
2	58	200	2	13
3	48	170	1	6
4	48	180	1	6
5	204	840	9	90
6	150	600	3	90
7	150	570	6	54

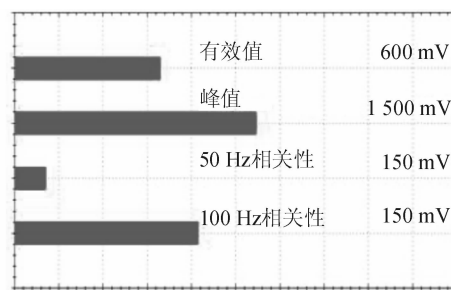
其中测量点 5 处所测得的信号值较大。测量点 5 的局放超声波图谱见图 2,其他测量点的相应图谱均与图 2 相似。

由局放超声波检测结果可知,异常间隔于测量点 5、6、7 处的对应电信号有效值、峰值及 100 Hz 相关性均较大,且测量时峰值较稳定,与 50 Hz 相关性较小,局部放电中正负半周内对称分布,呈现悬浮电位放电的典型特征^[10-17]。而测量点 1、2、3、4 处的信号明显弱于测量点 5、6、7。据此分析,超声波的信号源在测量点 5 附近。判断其内部可能存在部件松动,造成悬浮电位放电。

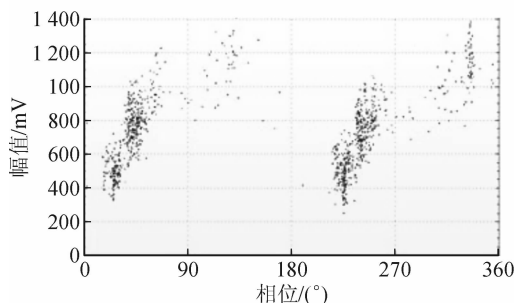
2 SF₆ 气体成分分析

对测量点 5 所在气室内 SF₆ 气体进行成分分析,结果见表 2。

气体分析结果显示,C 相 SO₂ 气体体积分数超标(>1 μL/L),H₂S 气体体积分数超标,验证了气室内有明显放电发生现象。



(a)连续模式图谱



(b)相位模式图谱

图 2 局放超声波检测图谱

Fig. 2 Ultrasonic partial discharge testing map

表 2 异常间隔SF₆气体成分分析情况

Table 2 SF₆ gas composition analysis result μL/L

气体	正常相 1	正常相 2	故障相别
SO ₂	0.0	0.0	12.570
H ₂ S	0.0	0.0	25.140
HF	0.0	0.0	2.537
CO	40.2	45.3	40.300

3 解体检查情况

解体检查发现,气室内有浓烈的臭鸡蛋气味,与气体成分分析一致。地刀传动轴侧绝缘子嵌件内有大量粉末,绝缘子表面、气室筒壁内侧以及下方断路器屏蔽罩上均有大量粉末附着,见图 3;地刀传动轴侧绝缘子挡板滑落,未与绝缘子紧密配合,见图 4;由绝缘子嵌件内壁与地刀传动轴外壁导电膏压接情况判断,传动轴与绝缘子嵌件未紧密连接,见图 5、6。

4 粉末材质分析

对于设备内部粉末进行材质分析测试,分析测试结果见表 3。

粉末中含有:0.7%的 Zn、1.5%的 S、1.8%的 Ni、4.4%的 Cr、13.6%的 Al、17.2%的 Fe、60.9%的 F。

该 HGIS 设备中传动轴材质为圆钢 0Cr18Ni9 (碳 C≤0.07、硅 Si≤1.00、锰 Mn≤2.00、硫 S≤0.030、磷 P≤0.035、铬 Cr:18.00~20.00、镍 Ni:8.00~11.00),钢的主要材质还是铁 Fe;绝缘子嵌件材质为铝 Al,

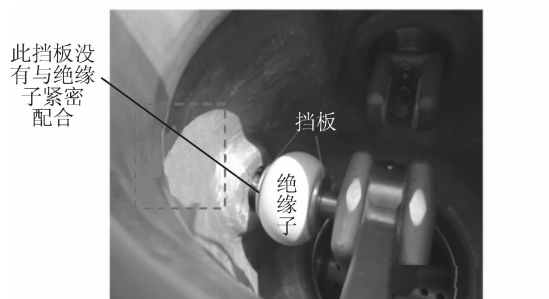


(a)绝缘子嵌件

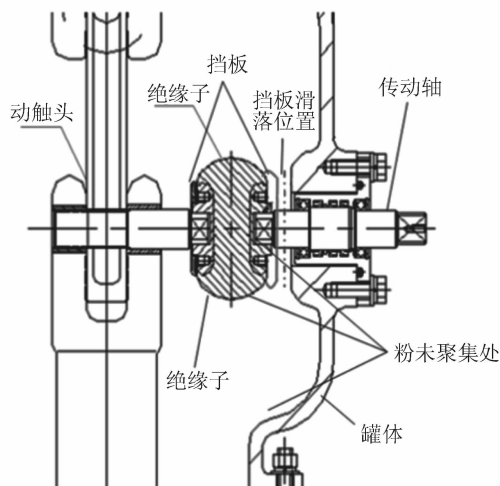
(b)传动轴

图3 传动轴及绝缘子嵌件内部粉末情况

Fig. 3 Powder on the shaft and insulator insert



(a)现场解体图



(b)内部结构图

图4 传动轴侧绝缘子挡板没有与绝缘子紧密配合

Fig. 4 Insulator baffle on the shaft side does not close mate with the insulator

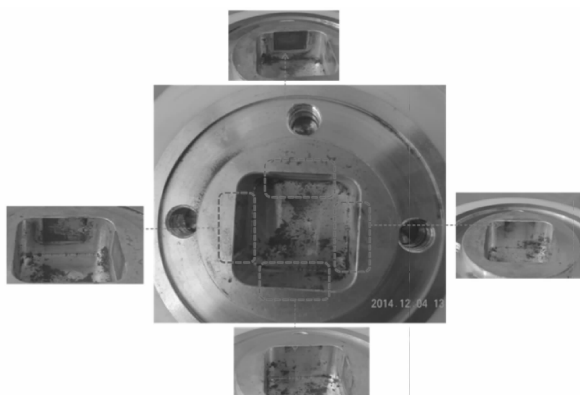


图5 绝缘子嵌件内槽压接情况

Fig. 5 Conductive paste on the insulator insert

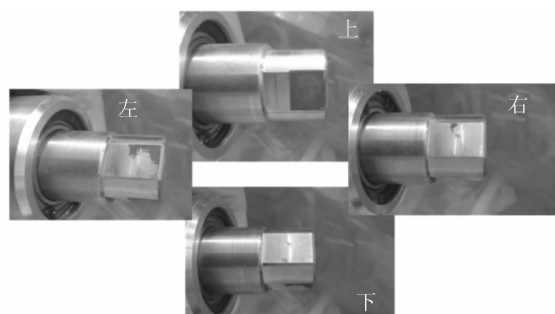


图6 与绝缘子嵌件内槽对应的传动轴压接情况

Fig. 6 The crimping situation of the insulator insert and shaft

表3 粉末材质分析结果

Table 3 Powder composition analysis result

项目	Zn	S	Ni	Cr	Al	Fe	F
材质成分/(w·% ⁻¹)	0.7	1.5	1.8	4.4	13.6	17.2	60.9

绝缘气体 SF_6 含有硫 S、氟 F; 绝缘子嵌件(铝 Al)表面钝化处理时会镀锌 Zn。粉末的材质分析结果与粉末出现区域的物质(元素)分布是对应的。

5 缺陷原因分析

1)经测量传动轴外径及绝缘子嵌件内槽尺寸发现,第1处异常间隔处的传动轴外径为 25.06、25.14 mm,绝缘子嵌件内槽对应边尺寸为 25.14、25.22 mm;第2处异常间隔处的传动轴外径为 24.94、25.16 mm,绝缘子嵌件内槽对应边尺寸为 25.10、25.18 mm。

根据厂家设计图纸见图7,传动轴与绝缘子嵌件之间为硬连接,传动轴外径设计尺寸为 $25(+0.1; +0.15)$ mm,嵌件内径设计尺寸 $25(+0.2; 0.25)$ mm,传动轴外径尺寸略小于绝缘子嵌件内槽尺寸,两者未紧密连接在一起,存在充满 SF_6 的微小间隙。

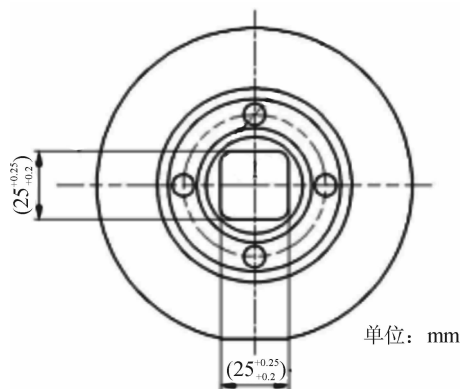
2)传动轴和绝缘子嵌件内槽之间的压接处,各接触方向上的导电膏状态不一致,可进一步说明传动轴与绝缘子嵌件内槽之间存在间隙。

3)由粉末分布可知,粉末是在绝缘子嵌件中产生,然后由传动轴和绝缘子嵌件之间的缝隙掉落到绝缘子、气室内壁、断路器屏蔽罩上的。

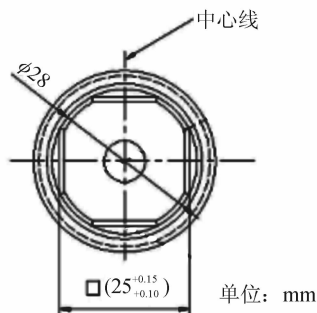
4)绝缘子挡板是非固定式设计,当挡板与绝缘子分离时,挡板的均压效果将消失。

6 家族缺陷特征信息

该批次 HGIS 设备由于设计缺陷,传动轴和绝缘子嵌件内槽尺寸设计会出现过渡配合的情况,当导电膏没有填充此间隙时,绝缘子嵌件上的电位无法固定,在运行过程中产生感应电压和电磁振动,



(a)绝缘子嵌件尺寸设计图



(b)传动轴设计尺寸

图 7 内部尺寸设计图

Fig. 7 Internal size design drawing

引起绝缘子嵌件对传动轴的悬浮电位放电, 产生 SF_6 分解产物。

传动轴侧绝缘子挡板采用的是非固定设计, 当挡板与绝缘子嵌件分离时, 挡板起不到均压和释放悬浮电位的作用, 从而使得悬浮电位只能通过局放的形式进行释放。

根据以上信息, 电网将其认定为重大家族性缺陷。

7 结论

1)对于在运设备, 相关运维单位对该批次 HGIS 设备加强开展检测工作, 检测局部放电、 SF_6 气体成分有无异常。若发现异常, 应及时进行处理。

2)结合停电检修, 逐步对该批次 HGIS 设备的隔离开关传动轴和绝缘子嵌件的连接方式进行改造, 对绝缘子挡板的固定方式进行改造, 保证良好、可靠的电气连接。于新传动轴上加大中间小孔, 在传动轴中间孔中添加安装小弹簧, 通过小弹簧与绝缘子金属嵌件形成良好的电接触, 见图 8; 改进绝缘子挡板的安装方式, 采用 4 颗螺栓进行固定, 见图 9。通过以上两项改造措施, 保障有效金属连接, 防止悬浮电位的产生。

3)对于同类型设备, 生产厂家应完善质量管理



(a)改造前

(b)改造后

图 8 传动轴改造后效果

Fig. 8 Reconstruction effect of the shaft



图 9 绝缘子挡板改造后效果

Fig. 9 Reconstruction effect of the insulator baffle

体系, 加强生产过程和工艺管控, 严格开展出厂检验^[18-20]; 设备管理单位应加强设备验收把关, 结合交流耐压现场交接试验开展局部放电检测工作, 加强对关键部位的检测, 防止家族缺陷和其他先天缺陷 GIS 和 HGIS 设备进入电网。

参考文献:

- [1] 王卫东, 赵现平, 王达达, 等. GIS 局部放电检测方法的分析研究[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 13-17.
WANG Weidong, ZHAO Xianping, WANG Dada, et al. Analysis on the method of GIS partial discharge detection [J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(8): 13-17.
- [2] 曾雄杰, 刘旭明, 黄文武, 等. 超声波局放监测在 GIS 耐压局放试验中的应用[J]. 中国电力, 2014, 47(8): 13-20.
ZENG Xiongjie, LIU Xuming, HUANG Wenwu, et al. Application of ultrasonic-based PD monitoring system in the test of withstanding voltage and PD[J]. Electric Power, 2014, 47(8): 13-20.
- [3] 唐 炬, 朱 伟, 孙才新, 等. GIS 局部放电的特高频检测[J]. 高电压技术, 2003, 29(12): 22-23.
TANG Ju, ZHU Wei, SUN Caixin, et al. Analysis of UHF method used in partial discharge detection in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(12): 22-23.

- [4] 印 华,邱毓昌. GIS 中局部放电测量用超高频方法的研究[J]. 高电压技术,2004,30(10):19-20.
YIN Hua, QIU Yuchang. Study on UHF method for GIS partial discharge detection[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(10): 19-20.
- [5] 孙曙光,陆俭国,俞慧忠,等. 基于超高频法的典型 GIS 局部放电检测[J]. 高压电器,2012,48(4):7-12.
SUN Shuguang, LU Jianguo, YU Huizhong, et al. Detection of typical GIS partial discharge based on UHF method[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(4): 7-12.
- [6] 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.
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.
- [7] 徐敏骅,吴晓春,陆振华. GIS 局部放电检测与定位技术的现场应用[J]. 华东电力,2009,37(7):1086-1089.
XU Minhua, WU Xiaochun, LU Zhenhua. Field application of partial discharge testing and positioning technology for GIS[J]. East China Electric Power, 2009, 37(7): 1086-1089.
- [8] 郭志强,江秀臣,沈 威. GIS 放电定位技术[J]. 高压电器,2007,43(2):140-142.
GUO Zhiqiang, JIANG Xiuchen, SHEN Wei. Breakdown location techniques of GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(2): 140-142.
- [9] 赵晓辉,杨景刚,路秀丽,等. 基于超高频法的局部放电定位初步研究[J]. 高压电器,2008,44(4):370-373.
ZHAO Xiaohui, YANG Jinggang, LU Xiuli, et al. Study of PD location based on the UHF method[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(4): 370-373.
- [10] 李 信,李成榕,丁立键,等. 基于特高频信号检测 GIS 局放识别模式识别[J]. 高电压技术,2003,29(11):26-30.
LI Xin, LI Chengrong, DING Lijian, et al. Identification of PD patterns in gas insulated switchgear(GIA)based on UHF signals[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(11): 26-30.
- [11] 吴张建,李成榕,齐 波,等. GIS 局部放电检测中特高频法与超声波法灵敏度的对比研究[J]. 现代电力,2010,27(3):31-36.
WU Zhangjian, LI Chengrong, QI Bo, et al. Partial discharge detection for GIS: A comparison of sensitivity between UHF and ultrasonic methods[J]. Modern Electric Power, 2010, 27(3): 31-36.
- [12] 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 Jichong, BU Kewei, et al. Ultrasonic detection of partial discharge on typical defects in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1): 72-75.
- [13] 吴传奇,汪 洋,王 伟,等. GIS 悬浮局部放电的超声波现场检测典型应用[J]. 湖北电力,2015,39(10):5-8.
WU Chuanqi, WANG Yang, WANG Wei, et al. Field application of ultrasonic detection on GIS suspended partial discharge[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(10): 5-8.
- [14] 夏 天,朱世明,汪 涛,等. GIS 超声波局部放电检测技术与缺陷识别[J]. 湖北电力,2015,39(10):9-11.
XIA Tian, ZHU Shiming, WANG Tao, et al. Ultrasonic partial discharge detection technology and defect recognition in GIS[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(10): 9-11.
- [15] 李 娟,李 明,金子惠. GIS 设备局部放电缺陷诊断分析[J]. 高压电器,2014,50(10):85-90.
LI Juan, LI Ming, JIN Zihui. Some methods for diagnosis of GIS partial discharge defects[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(10): 85-90.
- [16] 司文荣,黄 华,傅晨钊,等. 超声检测进行气体绝缘组合电器典型绝缘缺陷识别[J]. 高压电器,2011,47(12):11-18.
SI Wenrong, HUANG Hua, FU Chenzhao, et al. Integrated classification technique for typical insulation flaws in gas insulated switchgear based on acoustic detection[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(12): 11-18.
- [17] 曾雄杰,刘旭明. GIS 设备局放类型图谱以及现场局放测试诊断图谱的应用[J]. 高压电器,2013,49(11):31-36.
ZENG Xiongjie, LIU Xuming. Illustrated catalogue application of PD types and on-site diagnostic of PD test in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(11): 31-36.
- [18] 雷红才,叶会生,刘卫东. 一起 500 kV 避雷器的家族缺陷分析及处理[J]. 电瓷避雷器,2015(4):133-136.
LEI Hongcai, YE Huisheng, LIU Weidong. Analysis and treatment of a 500 kV arrester family defects[J]. Insulator and Surge Arresters, 2015(4): 133-136.
- [19] 饶 威,王凤云,丁坚勇. 基于改进层次聚类法的电力设备家族缺陷评估[J]. 浙江电力,2013,32(3):9-13.
RAO Wei, WANG Fengyun, DING Jianyong. Family defect assessment of electric equipment based on improved hierarchical clustering method[J]. Zhejiang Electric Power, 2013, 32(3): 9-13.
- [20] 朱海兵,张济韬,郭雅娟,等. 基于数据挖掘的电力变压器家族性缺陷预警[J]. 实验室研究与探索,2016,35(6):37-41.
ZHU Haibing, ZHANG Jitao, GUO Yajuan, et al. Familial defect warning for power transformers based on data mining[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2016, 35(6): 37-41.
- 李劲彬(1988—),男,工学硕士,高级工程师,主要从事智能运检、高压开关、状态评价方面的研究工作。