

基于超声波法的GIS设备TV局部放电检测与分析

介绍了超声波法查找GIS设备内部局部放电缺陷的原理和方法,并结合超声波测试图谱,分析缺陷的类型,评价缺陷的严重程度,进而推断引起局部放电的原因,为设备的停电检修提供依据。通过实际案例,分析GIS设备电压互感器超声波测试图谱中相位图谱的特征,排除了异常信号为TV内部磁致伸缩产生的超声波干扰信号的可能性,正确判断了异常信号来自于内部的局部放电,并确定了其来源,从而验证了超声波法的有效性。

杨帮华 董继军 江波 刘涛 姚文吉/国网黄石供电公司



杨帮华/工程师

0 引言

随着社会经济的发展,城区变电站用地越来越小,GIS设备的应用越来越广。GIS设备具有绝缘强度好、稳定性高及设备故障率低等特点。在长期运行中,GIS设备内部由于各种原因会存在局部放电现象^[1-3]。

根据局部放电产生的电、声及振动等物理特征量,用先进的传感器,探测出如特高频电磁波、超声波等特征值,以此来判断GIS设备内部局部放电的严重程度,最终指导检修人员及时安排停电对设备内部的缺陷进行处理,提高设备的整体安全性能^[4-6]。

1 局部放电与超声波法

1.1 GIS设备局部放电及常用检测方法

在GIS设备内部,存在多种典型的局部放电形式,最常见的是毛刺类放电和悬浮放电。在设备制造及安装的过程中,GIS设备内部的壳体以及导电杆上,可能存在着大小长短不一的尖端。在强

电场的作用下,尖端处场强过于集中,将GIS设备内部起着绝缘作用SF₆气体击穿,产生局部放电现象。此种放电定义为毛刺类放电。毛刺类放电过程中,会产生较大的能量,这些能量被SF₆气体吸收,SF₆气体发生分解,其绝缘性能显著降低。在这种情况下,单相GIS设备可能会瞬间产生电弧导致导电杆对地短路,三相共体GIS设备则发生相间短路或者相对地短路。GIS设备内部短路将可能导致GIS设备外壳击穿,或使导电杆产生灼伤。

悬浮放电指当GIS设备内部某个部位的连接部件出现松动,连接部件的电压低于导电杆的电压,却高于地电位,即其存在悬浮电位时,不同电位之间产生放电的现象。该类放电的强度随着悬浮电位差的不同而大小不一。悬浮放电对GIS设备的损害作用较小,只有当其放电强度达到一定程度时,才会伤及到设备内部的核心部件。GIS设备中连接不同设备的连接杆,其内部的悬浮放电多半是由于接头部位在长期大电流的作用下有所松动造成的^[7]。

为了及时掌握GIS设备的健康状况,需对GIS设备进行多种方法的检测。常见的检测方法包括化学方法和物理方法^[8-9]。化学方法主要是对GIS设备内部SF₆气体的微水含量及分解产物的定时检测。物理方法则包括SF₆气体压力与密度监测、特高频局部放电信号检测、超声波信号检测^[10-11]。

1.2 超声波法

GIS设备内部局部放电一般会产生

关键词/Keywords

GIS设备 ·
电压互感器 ·
超声波法 ·
磁致伸缩 ·
局部放电 ·

电磁波和超声波等信号。超声波法是一种十分有效的非电量检测方法。该方法的原理是通过高灵敏度的传感器接收到局部放电产生的超声波信号，再将这些信号转换成电信号并传输到测试仪器，然后在测试仪中对信号进行一定程度的分解和比对，一方面计算出信号的有效值和峰值，判断局部放电的强弱；另一方面根据信号的时间特性，分析该信号与工频周期以及半波周期的相关性，以此来判断GIS设备内部放电的类型。

1.3 电压互感器与磁致伸缩

电压互感器一、二次线圈在交变磁场作用下可发生反复伸张与缩短，从而产生振动、声波或超声波。磁致伸缩产生的超声波信号特征明显，50 Hz相关性为0，100 Hz相关性较大，超声波测出的连续模式和相位模式典型图谱如图1和图2所示。

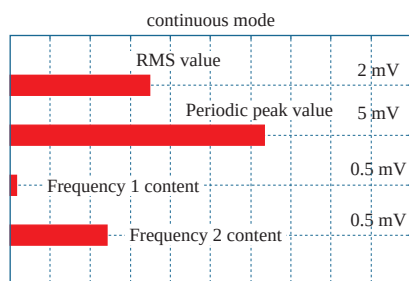


图1 磁致伸缩连续模式典型图谱

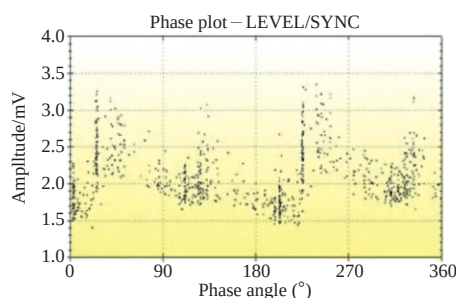


图2 磁致伸缩相位模式典型图谱

2 应用实例

2.1 现场超声波巡检测试

某日，某220 kV变电站110 kV室内GIS设备超声波局部放电带电测试，测试人员使用AIA—2超声波测试仪对全站GIS设备所有气室进行巡检

普测，发现互04TV间隔刀开关气室超声波信号异常，该间隔气室测点布置如图3所示。



图3 超声波测点布置图

互04TV底部背景金属构架测点1，连续模式下有效值为0.4 mV，幅值为0.85 mV，无50 Hz和100 Hz相关性信号，即背景信号无异常。

互04TV刀开关气室测点2、3，测点3连续模式下有效值为35 mV，峰值为165 mV，有50 Hz和100 Hz相关性信号，且50 Hz相关性信号大于100 Hz的。互04TV本体测点4，连续模式下有效值为13 mV，峰值为36 mV，有50 Hz和100 Hz相关性信号，且50 Hz相关性信号大于100 Hz的。刀开关气室远端测点5和测点6处信号与背景相同。

互04TV间隔两个气室的超声波信号具有内部局部放电的信号特征。

2.2 SF₆气体压力

现场检查互04TV间隔气室SF₆气体压力表，本体压力为0.44 MPa，刀开关气室压力为0.42 MPa，两个气室压力均正常。

2.3 超声波准确测试及定位

超声波法对互04TV间隔有异常信号的位置进行准确测试。测点布置如图4所示。

现场检测的测点1~8的数值如表1所示。其中，测点1为TV底座上金属构架的背景，测点2~8在气室表面。背景金属无异常信号，50 Hz和100 Hz



图4 准确测试测点布置图

相关性均为0。

表1 超声波测试数值

测点	有效值/mV	幅值/mV	50 Hz 相关性	100 Hz 相关性
1	0.4	0.85	0	0
2	21.5	112.5	13.9	6.1
3	31.0	159.5	21.0	8.5
4	40.0	201.0	28.0	12.0
5	40.1	201.5	28.5	12.5
6	40.0	201.0	28.0	12.0
7	13.1	36.3	8.5	2.6
8	13.0	36.2	8.3	2.5

从表1中可以看出，测点4~6处信号几乎相同，有效值和峰值均最大。所在的位置为TV本体与刀开关气室连接盆式绝缘子附近靠下。

信号最大点测点5超声波连续模式、脉冲模式与相位模式分别如图5~图7所示。

通过准确检测，发现TV本体及其下部刀开关

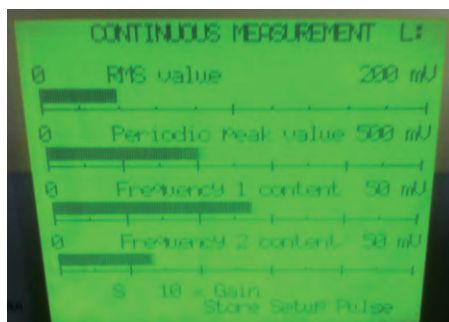


图5 测点5连续模式图谱

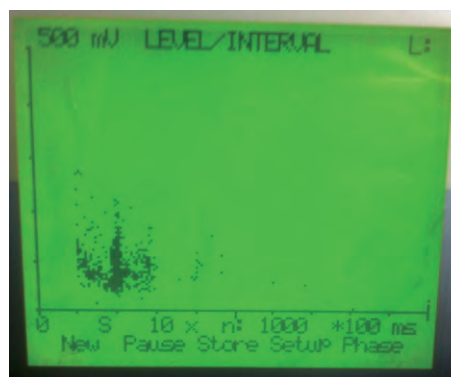


图6 测点5脉冲模式检测图谱

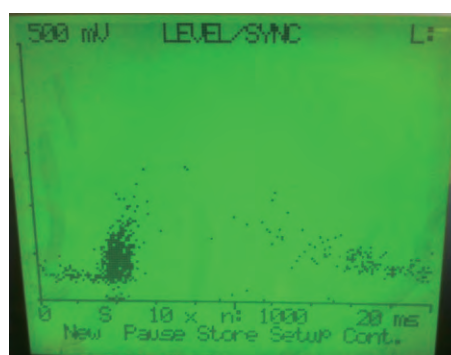


图7 测点5相位模式图谱

气室均存在超声波异常信号，且幅值极大，远远超过规程规定的注意值，故判断设备内部存在严重的局部放电。用幅值法进行定位，判断放电的位置大概在测点4~6附近。

2.4 SF₆气体湿度及分解产物检测

互04TV间隔两个气室微水含量测试，结果为：TV本体为106 μL/L，TV刀开关气室为113 μL/L，均在正常的范围内，没有超标。

SF₆气体分解产物成分分析，TV本体气室有微量SO₂，刀开关气室内有较大数量的SO₂和H₂S气体，具体数值如表2所示。

表2 SF₆气体分解产物含量值

气体 组分	气体含量/(μL/L)		注意值
	互04 TV本体气室	互04 TV刀开关气室	
SO ₂	0.2	4.1	1~5
H ₂ S	0	0.6	1~2
CO	0	0	辅助指标
CF ₄	0	0	辅助指标

从表2可以看出，TV本体气室内存在的微量SO₂

没有超过注意值。刀开关气室内的 SO_2 为 $4.1 \mu\text{L/L}$ ，达到注意值。 H_2S 为 $0.6 \mu\text{L/L}$ ，没有达到注意值。故根据设备内部存在少量的 SO_2 和 H_2S 气体，判断气室内部可能存在局部放电。

2.5 缺陷放电类型分析与判断

分析超声波图谱，判断放电类型。对比测点5（信号最大点）的特征图谱与TV磁致伸缩图谱，二者完全不同。其一，连续模式下，测点5处有较大的50 Hz相关性，而磁致伸缩一般无50 Hz相关性信号。其二，相位图谱中，测点5具有单峰特征，而磁致伸缩一般为典型的双峰。因此，可以判断检测到的异常信号并非由TV本体的磁致伸缩现象产生。

从测点5连续模式特征图谱上看，有效值和峰值均较大，峰值超过200 mV，表明该气室内部极为可能存在局部放电。该信号有50 Hz和100 Hz相关性，50 Hz相关性大于100 Hz，结合相位图谱中图形呈现为单峰波形特征，根据超声波法现场检测导则，判断气室内部放电类型为疑似电晕放电。

结合 SF_6 分解产物分析发现刀开关气室内部有 SO_2 和 H_2S 气体，则该气室内部极为可能存在局部放电。

2.6 解体检查

根据上述测试结果，建议互04TV立即停运，对刀开关气室进行开盖解体，检查其内部部件的好坏情况。

打开TV本体与下部刀开关气室之间的盆式绝缘子，吊起TV本体，检查下部刀开关气室，闻到一股烧焦味，发现B相连接导杆端部发黑，该处被烧蚀严重，如图8所示。



图8 B相连接导杆端部烧蚀

刀开关气室B相导杆连接卡槽内部一整圈触头上有明显的黑色的烧蚀痕迹，且其表面附着金属碎屑，如图9所示。

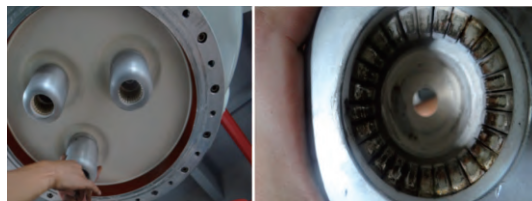


图9 B相导杆连接处卡槽烧蚀

将TV本体正下部刀开关气室A、B和C三相导杆全部取下发现，除B相导杆上端部烧蚀外，其他部位未有相似的烧蚀痕迹，三相导杆上端部对比图如图10所示。



图10 三相导杆上端部对比图

刀开关气室B相导杆上端部及其卡槽烧蚀，推测其原因是由于导杆与卡槽的连接部位接触不良或经长时间的振动出现松动，进而造成电晕放电，长时间的放电引起导杆的电化学腐蚀，产生黑色的金属粉末。放电的过程产生的能量将 SF_6 分解，分解物与水分作用，从而产生相应的分解产物 SO_2 和 H_2S 气体。

3 缺陷故障处理与防范措施

3.1 缺陷故障处理

互04TV刀开关气室内B相连接导杆及其卡槽触头已烧蚀，现场更换此两个部件，并严格按照相关工艺进行装配，紧固牢靠。互04TV重新投入运行后，再进行超声波测试，该间隔异常信号消失。

3.2 防范措施

GIS设备内部电压互感器在安装过程中，应严

格按照工艺要求，将相应的连接部件安装紧固，以免因电磁场（特别是过电压）作用下产生的长期振动使内部部件的连接出线松动而产生局部放电。

4 结束语

本文介绍了GIS设备局部放电超声波检测方法和GIS设备内部电压互感器特有的磁致伸缩测试图谱,结合应用实例,发现了一起TV刀开关气室内部导杆端部及其卡槽烧蚀的缺陷,得出以下结论。

1) 超声波法是发现GIS设备局部放电缺陷一种十分有效的手段。

2) 当超声波法检测出GIS设备内部出现较大的异常信号时, 再进行准确检测和定位, 可以较为准确地判断信号来自何处。

3) 结合SF₆气体湿度及分解产物检测与分析, 可以增加判断GIS设备内部存在局部放电的准确性。

参考文献

- [1] Pryor B M. Review of partial discharge monitoring in gas insulated substations [C]. IEE Colloquium on Partial Discharges in Gas Insulated Substations, 1994: 122.
- [2] Anon. Partial discharge testing of gas insulated substations [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7 (2) : 499-506.
- [3] Lundgaard L E, Runde M, Skyberg B. Acoustic diagnosis of gas insulated substations – a theoretical

and experimental basis [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5 (4) : 1751-1759.

- [4] IEC 60270—2000 High voltage test techniques—partial discharge measurements [S]. Switzerland: IEC Publication, 2000.
- [5] Bartnikas R. Partial discharges: their mechanism, detection and measurement [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2002, 9 (5): 763, 808.
- [6] 刘君华, 王江, 钱勇, 等. GIS中电磁波传播特性的仿真研究 [J]. 高电压技术, 2007, 33 (8): 139-142.
- [7] Qi Bo, Li Chengrong, Geng Bibo, et al. Severity diagnosis and assessment of the partial discharge provoked by high-voltage electrode protrusion on GIS insulator surface [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26 (4): 2363-2369.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 刘晓丹, 李永清, 方临州, 等. 基于三相GIS电场分布的模型简化研究 [J]. 电气工程学报, 2015, 10 (11): 58-62.

(收稿日期: 2017-05-26) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告