

GIS 设备击穿放电定位技术与现场应用

陈 敏, 白 尧, 汪 涛, 陈 隽, 阮 玲

(湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉 430077)

摘要: 为了解决在进行 GIS 耐压试验时发生电击穿故障后击穿放电点难以精确定位的问题, 对 GIS 的放电定位方法进行了归纳, 并介绍了一种基于超声波检测法的 GIS 无线击穿定位系统, 该系统具有定位效果好、安全可靠、抗干扰性能好、无线通信稳定等诸多优点。通过现场应用, 准确定位了多起 GIS 设备内部击穿故障。

关键词: GIS; 击穿放电定位; 超声波检测法; UHF; 耐压试验

中图分类号: TM56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)06-0081-10

Technology Research and Field Applications of GIS Equipment Breakdown Discharge Location

CHEN Min, BAI Yao, WANG Tao, CHEN Jun, RUAN Ling

(Electric Power Research Institute of Hubei Electric Power Company, Wuhan 430077, China)

Abstract: It is very hard to locate the breakdown spot after the flashover occurs in the gas insulated switchgear during the high voltage test. This paper summarizes the breakdown location methods for GIS, and gives an introduction of an GIS wireless breakdown positioning system based on the ultrasonic detection method, which has many advantages, such as good positioning effect, safety, good anti-interference performance, stable wireless communications, and so on. Through field application, many breakdown failure was accurately positioned internal GIS equipment.

Key words: gas insulated switchgear(GIS); breakdown location; ultrasonic detection method; UHF; voltage test

0 引言

气体绝缘组合电器 (gas insulated switchgear, GIS) 由于占地面积少、受外界环境影响小、运行安全可靠和维护简单等优点, 近几十年来在国内外得到越来越广泛的运用。GIS 通常采用单元运输、现场组装的安装方式, 在 GIS 的制造、运输、存储和安装过程中, 往往由于工艺等问题会使 GIS 内部留下一些小的缺陷, 如金属微粒、绝缘气隙等, 也可能会出现绝缘损伤、装配不到位及灰尘、杂物混入等, 这些微小的缺陷在 GIS 运行过程中可能会发展为危险的放电通道, 并最终引起绝缘击穿事故^[1-6]。

交流耐压试验是鉴定电气设备绝缘强度最直接的方法, 它对于判断电气设备能否投入运行具有决定性的意义, 这是因为交流耐压试验能真实有效地发现绝缘缺陷(包括包装、运输、储存和安装调试中

的损坏, 存在异物等)^[7-11]。超特高压 GIS 设备现场一般在设备组装完成后进行耐压试验, 用于考核设备的绝缘性能, 试验段长度通常在百余米以上, 若发生击穿情况, 难以准确定位击穿间隔和放电点, 目前往往要采用分段重复加压、依靠人耳听觉进行判断, 避免不了对设备进行多次拆卸, 检修难度大, 既损伤了设备又严重影响工程进度。因此, 对 GIS 设备现场试验过程中击穿故障的迅速定位将为现场检修提供准确的依据, 对保障工程进度和设备安全运行有着极其重要的意义。

1 传统的 GIS 故障定位方法

1.1 人工监测

现场试验过程中每隔一两个气室安排一个工作人员站在附近, 一旦发生击穿后附近的工作人员就能通过声音来判断大致的击穿位置; 再利用断路器和隔离开关将整个 GIS 进行分段, 重复多次耐压试

验,可判断出故障在哪段 GIS 中;然后打开该段 GIS,寻找故障点。

这种方法极易受到现场环境和人主观因素影响、定位误差较大,而且还需多次加压试验,对绝缘造成损伤。

1.2 振动监测

振动监测是利用故障缺陷在试验过程中被击穿同时会产生较大的声响,尤其是特高压 GIS 其击穿瞬间产生的能量较大,声信号会引起 GIS 罐体表面产生振动,通过振动检测从而达到故障缺陷定位的目的。某振动监测单元盒见图 1,在试验过程中将单元盒至于 GIS 罐体顶部,单元盒底部吸盘可以将罐壁和金属振动膜片紧密相连,一旦有振动波传递来,金属膜片发生移位并触发内部电路驱动 LED 灯点亮,现场工作人员通过观察 LED 灯即可判断是否发生击穿现象。

在实际应用过程中存在击穿信号能量过大时临近几个气室的振动单元盒全部都亮灯的情况,无法做到精确定位,且在试验过程中存在误碰导致亮灯的情况,容易受到环境干扰。

1.3 化学检测法

SF_6 气体在放电作用下首先分解为四氟化硫(SF_4)、二氟化二硫(S_2F_2)和单质氟(F),经过一系列复杂的反应后,最终生成氟化亚硫酸酐(SOF_2)、二氟化硫酸酐(SO_2F_2)、氟化氢(HF)、二氧化硫(SO_2)、四氟化硅(SiF_4)以及一系列金属化合物和剧毒氟化物^[12]。通过检测 SF_6 被击穿后的生成物来间接确定放电的发生。最常用的分析气体有 SOF_2 和 SO_2F_2 两种,通过用气相色谱仪和质谱分析可以检测出。

这种方法不受电气干扰的影响,但它只能确定放电发生在哪个隔室,而且从发生放电到检测出分析气体所需要的时间太长,往往几小时甚至几天也得不到结果,另外, SF_6 被击穿后的生成物的量一般不是很大,且逐渐会被 GIS 设备内部的吸附剂所吸收,这些都严重限制了化学方法的应用。

1.4 光学检测法

放电时会产生光,利用光电倍增器可检测到击穿的发生^[13]。这种方法虽然很灵敏,但它只能检测到放电发生在哪个隔室,而且需要事先把传感器放到 GIS 内部,因此该方法没有实用价值。

1.5 UHF 在线检测法

超高频法采用的全检测带宽为 100~1 400 MHz。局部放电脉冲的快速上升前沿包含频率高达 1 GHz 的电磁波,因为 GIS 气室的共振作用,进而形成多种模式的超高频谐振电磁波。安装在 GIS 上的外置耦

合器俘获这些信号,并经过超高频局部放电检测仪放大后,用人工智能分析软件对它进行多方面的分析。

这种方法灵敏度高,可实现局放源定位和故障类型判别,适合于现场在线监测^[14-22]。但是,目前此类在线监测系统对于缺陷定位需采用高采样率的数字示波器+高精度传感器+人工计算的方式进行,击穿时可能存在人员与设备安全问题,全覆盖条件下成本昂贵。

1.6 超声检测法

GIS 内部击穿时,放电电流会使 GIS 外壳产生超声和发出声响,声音会沿外壳传播,使用声发射传感器可进行检测。由于在不同测量点收到声音信号的时间上有差别,所以可通过比较各测量点间的信号时间差来进行定位。

声测法中,干扰主要来自各种机械超声和电磁超声,这些超声产生的声波频率都比较低,一般都在 10^4 Hz 以下,所以检测频率一般选择在超声频段以避开其他声源的干扰。

由于声音的传播速度比电磁波慢很多,时间差更容易进行测量,定位更加准确,定位后还可通过敲击 GIS 外壳的方法进行验证,所以在放电定位方面,声学检测法比 UHF 的方法更优越。而且,超声波法抗电磁干扰能力强,适应于现场测试。依据上述优点,一种基于超声检测法的 GIS 无线击穿定位系统便应运而生了。

2 基于声发射的技术理论

声发射又称应力波发射,是材料或零部件受力作用产生变形、断裂,或内部应力超过屈服极限而进入不可逆的塑性变形阶段,以瞬态弹性波形式释放应变能的现象。

当 GIS 内部发生局部放电时,将会产生一个较陡的电流脉冲,电流脉冲的作用使得局部放电发生的局部区域瞬间受热而膨胀,形成一个类似“爆炸”的效果,放电结束后原来因为受热而膨胀的局部区域恢复到原来的体积。这种由于局部放电产生的一胀一缩的体积变化引起了瞬间介质的疏密变化,产生声发射(AE)现象,从局部放电点以球面波的方式向四周传播,并在金属外壳上出现各种声波,如纵波、横波和表面波等,通过检测声发射信号(多为超声信号),可获得局部放电的相关信息,由于为非电量检测,局部放电产生的声发射(超声)信号在现场检测时同样具备很高的抗干扰能力。

GIS 耐压试验超声定位监测方法是在每个独立气室的罐体表面上,对应气室绝缘薄弱位置,布置一

个超声传感器监测对应气室内部的放电情况, 若有放电现象发生, 超声传感器将接收到由放电产生的超声波信号。根据放电和声波时差关系可以对放电位置做出精确定位。

在局部放电超声定位过程中, 信号的准确识别是提高定位精度, 降低定位误差的重要环节。

GIS 耐压试验过程中发生放电击穿时, 传感器会接收两种不同的信号。

1) 感应电脉冲信号。耐压试验发生击穿时, 由于电压陡降和泄漏电流入地导致地电位抬高等原因, 会使布置在 GIS 罐体表面的传感器感应出电脉冲信号。根据电脉冲瞬时传播的特点, 所有传感器感应的电脉冲信号应在同一时刻, 且与放电时刻同步, 并先于超声波信号, 这是试验发生击穿时特有的现象。

2) 声波信号。由于气室间盆式绝缘子对声波的阻隔作用, 传感器一般只会收到所监测气室的放电信号, 以此可以确定在冲击试验中发生击穿的气室。放电声波在 GIS 气室中的基本传播模式见图 1。

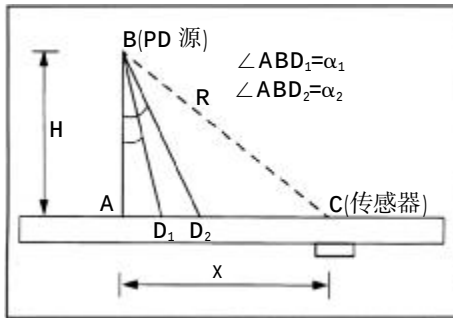


图 1 声波在 GIS 罐体中传播的典型方式

Fig. 1 Typical way of acoustic wave propagation in the GIS tank

从图 1 中可以看到, 从放电点 B 到传感器 C, 声信号有以下几种传播路径:

1) 声波在罐体中直接传播路径(BC)。在罐体中, 声波以 V_{gas} 的速度沿 BC 传播, 声波在 SF_6 中的传播速度(V_{gas})大约为 140 m/s, 罐壁的传播速度(V_{steel} , 以钢壁为例)大约为 6 000 m/s。当发生角大于 $\arcsin(V_{\text{gas}}/V_{\text{steel}})$ 时, 就会发生全反射。这时, 在位置 C 上的传感器不能通过直接路径 BC 收到以直接的声信号。因此, 传感器要尽量布置在正对气室绝缘薄弱的位置。

2) 声波在罐体中的复合路径。声波传播到传感器存在许多复合路径如 BDC。在气体中路径 D_1C 或 D_2C , 声波是以 V_{gas} 波速传播的, 而在罐壁中声波是以 V_{steel} 沿 D_1C 或 D_2C 传播。在所有这些复合路径中, 有一个声波传播时间最短的路径。在这种情况下, 声波的临界发生角应为 $\arcsin(V_{\text{gas}}/V_{\text{steel}})$, 这样, 声波最短的传播时间为

$$t_s = \frac{H}{V_{\text{gas}} \cos \alpha} + \frac{X - H \tan \alpha}{V_{\text{steel}}} \quad (1)$$

式(1)中, $H=BA$, $X=AC$, 最短时延在波形图上为最先到达的声波信号。

在 GIS 耐压试验发生击穿时, 声波的主路径应为罐壁。因此, 声波传播时间可按式(2)计算

$$t_s = \frac{X}{V_{\text{steel}}} \quad (2)$$

考虑到击穿放电声源的不确定性和复合路径的影响, 声波实际传递时间应略小于或等于 t_s 。

3 GIS 无线击穿定位系统

3.1 无线声发射传感网络系统方案设计

无线声发射传感网络系统采用高灵敏度的超声探头探测超声波信号, 信号经过放大滤波电路处理后再通过高速采集器进行 A/D 变换, 完成变换的数字信号存储在本地寄存器的同时将信号按无线协议进行转换并压缩编码后发送至接受装置, 无线接收装置解析信号后将其显示在终端设备上, 设计框图见图 2。

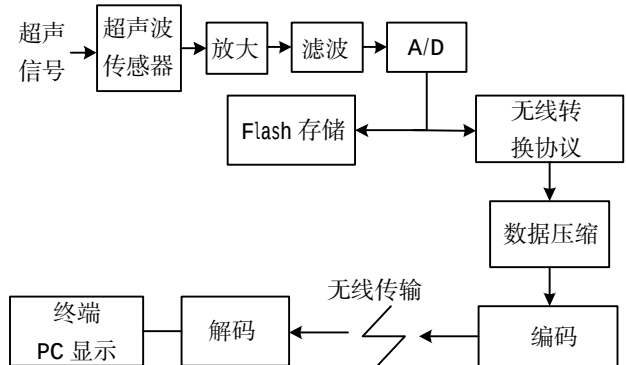


图 2 无线声发射传感网络设计框图

Fig. 2 Wireless acoustic emission sensor network design diagram

3.2 基于无线声发射传感网络的 GIS 故障定位装置组成及参数

基于无线声发射传感网络的 GIS 故障定位装置由超声探头、信号处理单元、无线控制接收单元盒和监测终端共同组成。超声探头用于检测缺陷击穿时产生的超声波; 信号处理单元将超声探头检测到的信号进行转换、放大、存储并将信号幅值通过五段 LED 灯的方式显示, 同时将信号数据以无线的方式发送出来; 无线控制接收单元用于接收无线数据并对数据进行解析后传递到监测终端显示出来。系统组成框图见图 3。

基于无线声发射传感网络的 GIS 故障定位装置参数见表 1。

该系统有以下几个优点: ①超声探头和信号处

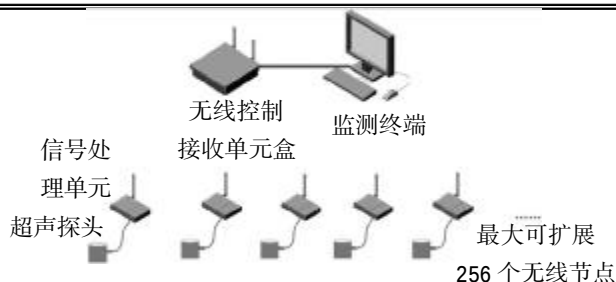


图 3 基于无线声发射传感网络的 GIS 故障定位装置系统

Fig. 3 GIS fault location system based on wireless acoustic emission sensor network

表 1 GIS 故障定位装置参数

Tab. 1 GIS fault location device parameters

参数	数值
无线传输标准	Zigbee(IEEE 804.15.4)
工作频率/GHz	2.4
传输距离/m	100~500
系统最大无线传感器节点数	256
数据传输速率/kbps	115.2
声发射传感器工作频段/kHz	20~220
声发射传感器前置放大倍数/dB	40
AD 采样通道	1ch
AD 采样速度/(M · s ⁻¹)	1
AD 采样有效位数/位	10
波形采样时间/ms	4
触发方式	单次(可手动或无线控制复位)
幅值显示方式	信号处理单元上的 5 段 LED 灯和监测终端波形数据 2 种展示方式

理单元构成一组无线节点,整个系统可同时连接 256 个无线节点,由于超声波在传输过程中会有衰减作用,一般一个无线节点可以覆盖 10 m 长的 GIS,试验现场可根据试验范围灵活,合理的配置节点单元的数量;②无线节点中的信号处理单元采用无线传输同时使用锂电池单独供电,解决了现场有线传输距离限制和供电困难的问题;③无线节点在使用过程中与 GIS 罐体绑在一起和设备外壳处于同一电位上,能在击穿产生的冲击电压和地线反击电压下正常工作;④无线节点与无线控制接收单元之间采用 Zigbee(IEEE 804.15.4)的无线通信协议,其工作频段为 2.4 GHz,属于开放频段,使用过程中无需向驻地无线电管理委员会申请,且该频段抗电磁干扰能力强,适合在变电站周围电磁环境复杂的范围内使用;⑤无线节点在与无线控制接收单元通信的同时彼此相互中继,使无线的覆盖范围大大增加,系统最大无线覆盖距离为 500 m;⑥信号处理单元自带

数据处理、存储和幅值显示功能,可脱离监测终端,通过幅值灯体现的幅值信号大小来对故障缺陷进行定位,简单直观。

GIS 无线击穿定位系统由多个无线监测节点单元、无线信号处理控制单元、控制终端计算机(笔记本或平板)^[3]大部分组成,见图 4。



图 4 GIS 无线击穿定位系统

Fig. 4 GIS wireless breakdown positioning system

3.3 基于超声信号多阈值显示的击穿定位

超声信号单阈值显示工作原理示意图见图 5。传感器所检测的超声信号和一设定的阈值相比较,当超声信号幅值大于该阈值时,检测单元被触发和锁定,指示灯显示。定位测量时,在 GIS 外壳上每隔一定距离放置一个这样的检测单元,离击穿点较近的检测单元可以收到较大的信号,使指示灯显示,而较远的则不能,因此可以实现定位。这一方法在很多场合获得了较好的效果,但也有其局限。由于发生击穿的场合不同,所产生的超声信号的大小也不同,并且难以估计,这给阈值的设置带来了困难。阈值太大会导致所有的检测单元均不动作,阈值太小又会导致多个检测单元同时动作。因此,常常需要多次调整和试验。

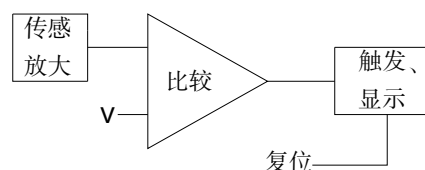


图 5 超声信号单阈值显示工作原理示意图

Fig. 5 Schematic diagram of ultrasonic signal single threshold show

GIS 无线击穿定位系统采用电池供电的检测单元,以利于抗电磁干扰。基于超声信号多阈值显示的击穿定位的原理图见图 6。它设有多个阈值 $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_5$,当接收到的超声信号的幅值超过任一阈值时,该阈值及其以下各阈值所对应的比较电路被触发和锁定,它们的指示灯显示。其中, V_1 是最小阈值,只有当超声信号幅值超过该阈值时检测单元才动作和显示。多阈值显示通过指示灯显示的个数,

可以粗略地显示超声信号的幅值。如果出现多个检测单元都被触发的情况, 由于它们显示的信号幅值不同, 依然可以区分击穿点最靠近哪个检测单元。多阈值显示允许出现多个检测单元同时被触发, 因此最小阈值可以设置得比较低, 从而比较容易避免发生击穿时无检测单元动作和指示的情况。多阈值显示的另一个优点是可以把阈值设置固定下来, 免去现场定位测量时反复调整阈值的困难。由图 6 中可以看到, 当检测单元被误触发时, 可以复位。

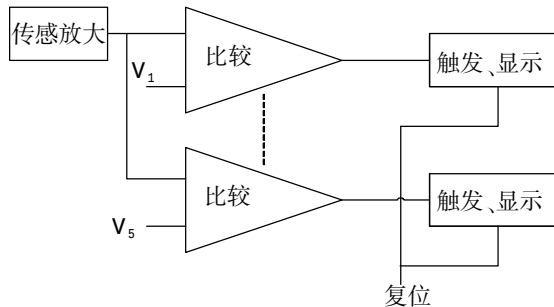


图 6 超声信号多阈值显示工作原理示意图

Fig. 6 Schematic diagram of ultrasonic signal multi-threshold show

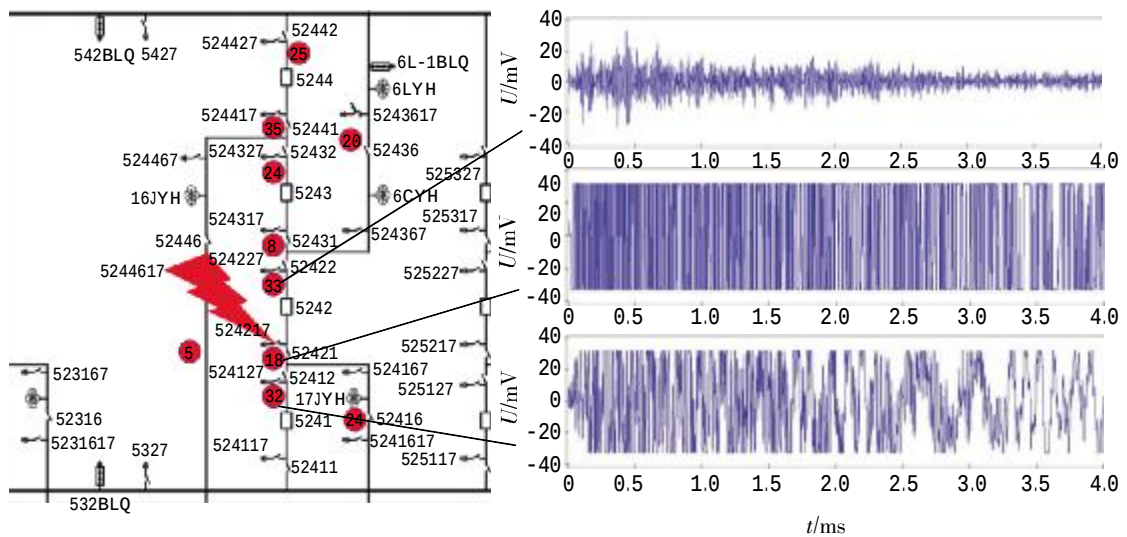


图 7 典型波形图 1

Fig. 7 Typical waveforms 1

在某厂内试验大厅模拟缺陷放电击穿监测情况见图 8, 击穿波形特征与图 4 基本一致。

采集到各个测量点的波形图后, 可根据传感器所在的具体位置实现放电点的定位。具体实现包括以下几种方式。

3.4.1 波形特征比对

通过将采集到的波形图与以上典型波形图进行特征比对, 可判断监测位置为放电点位置, 还是与放电点位置隔若干个盆子。

3.4.2 信号幅值或信号先后比较

利用超声信号在传播过程中的衰减, 定位测量

基于超声信号单阈值或多阈值显示的击穿定位, 要求各检测单元相互之间具有比较一致的特性。一般有两个因素容易造成检测单元特性的分散, 其一是超声传感器特性的分散性, 这一点需通过器件筛选来克服, 其二是检测单元自身有一些不稳定的谐振点, 导致灵敏度不稳定, 这一点需通过完善检测单元的封装来消除。

3.4 基于波形图的击穿定位

当 GIS 设备内部发生击穿放电, 无线监测节点单元被触发时, GIS 无线击穿定位系统除采用超声信号多阈值显示快速定位击穿点外, 安装在 GIS 上的外置耦合器会实时俘获这些超声信号, 并经无线信号处理控制单元进行处理后, 采用控制终端计算机显示超声信号的波形图。

该击穿监测系统在某水电站 500 kV GIS 试验段放电击穿监测情况, 见图 7。

直接击穿气室出现满屏满幅值信号, 隔一个绝缘盆子后稍有衰减, 相隔 2 个绝缘盆子和一个断路器后发生明显衰减。

时把传感器分别放在 GIS 的各个监测点处, 比较各处所测到的信号波形图的幅值大小, 信号最大的位置即为靠近放电点的位置。依据超声信号到达探头的先后顺序判断放电点的具体位置。一般情况下, 距离放电点近的探头首先接收到超声信号, 而距离放电点远的探头则后接收到超声信号。

3.4.3 时间差算法

时间差算法的基本原理是分别计算各探头获得的超声信号时间差并根据超声波的传播速度通过计算得出放电点。由于 GIS 放电产生的超声波在传播过程中的衰减以及信号传播的路径十分复杂, 获

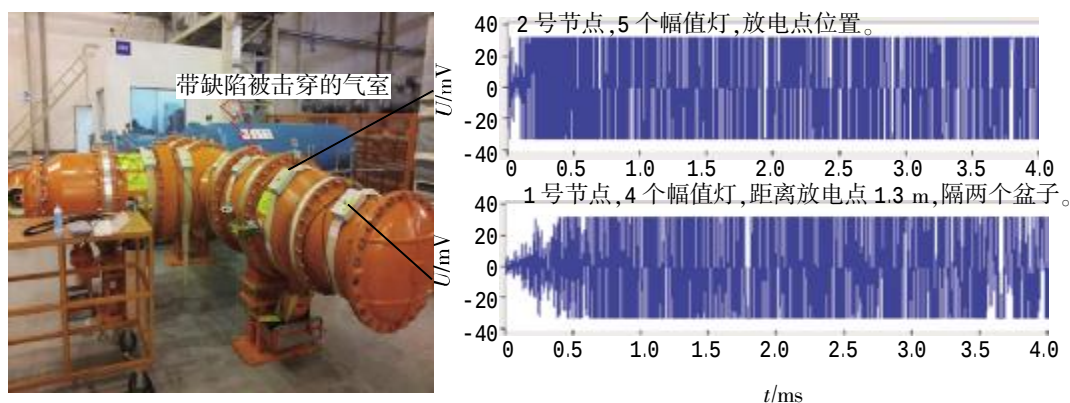


图 8 典型波形图 2

Fig. 8 Typical waveforms 2

取的超声信号时间差的误差一般较大, 特别是对于随机性强且幅值较小的信号, 其放电的定位比较困难。

3.5 传感器布置原则

根据耐压范围布置传感器, 主要布置原则为:

- 1) 关键气室(如断路器、CT、隔离开关、PT 等)布置至少 1 个传感器;
- 2) 长母线气室每隔 10 m 或隔 1 个气室至少布置 1 个传感器;
- 3) 传感器的固定位置应方便操作实施。

3.6 试验步骤

- 1) 在进行 GIS 耐压试验开始前, 布置并打开传感器, 同时进行测试保证传感器工作正常;
- 2) 在耐压过程中, 根据升压步骤记录监测波形及相关数据;
- 3) 若发生击穿, 根据监测的幅值迅速给出疑似放电击穿气室, 同时分析波形给出精确结果;
- 4) 试验结束后做好数据保存及试验记录整理工作。

4 现场应用

在某换流站 500 kV GIS 设备交流耐压试验中, 采用 GIS 闪络故障定位技术, 实现了对 GIS 设备现场试验过程中击穿故障的迅速定位, 为 GIS 闪络击穿后的打开检查及修复工作节省了宝贵的时间。

500 kV GIS 采用一倍半断路器接线形式, 电站总设计规模为 9 个完整串。本期 8 个完整串, 共 24 个断路器间隔。

4.1 50522 B 相隔离开关上方的出线分支母线处闪络击穿

在对第 5 串 B 相(5051、5052 和 5053 开关)进行交流耐压试验前, 按照超声定位传感器布置原则进行了合理布置。

当升压至 620 kV, 出现闪络击穿, 再次升至 440 kV, 又出现闪络击穿。初步确定是 GIS 内部发生闪络, 非

试验设备问题。

击穿后, 检查各传感器的位置及亮幅值灯情况见图 9。

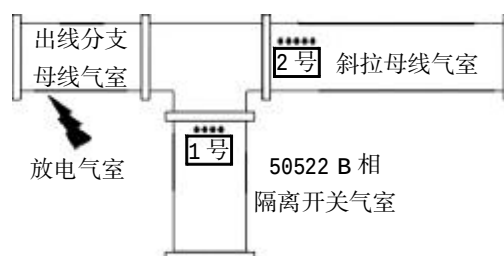


图 9 第 5 串 B 相(5051、5052 和 5053 开关)各节点位置及亮幅值灯情况

Fig. 9 Each node bright light situations location and amplitude of the fifth string B phase (5051, 5052 and 5053 switch)

图 9 中, 一个红点代表一个幅值灯亮。其中, 50522 B 相隔离开关上方的出线分支母线气室处未布置传感器。50522 B 相隔离开关气室亮幅值灯共 5 只, 其中 4 只亮, 其现场实物图及监测超声信号波形图见图 10、11。

50522 B 相隔离开关上方的斜拉母线气室亮幅值灯仅 1 只亮, 其现场实物图及监测超声信号波形图见图 12、13。

第 5 串 B 相(5051、5052 和 5053 开关)布置的其他传感器均未见灯亮, 其监测超声信号波形图见图 14。

图 14 波形图均为正常干扰信号, 波形前端单根大信号为击穿时感应电信号, 与试验室试验结果一致; 图 11、图 13 为典型的放电击穿超声波形。

与前文的典型波形图进行特征比对可得, 500 kV GIS 50522 B 相隔离开关气室及斜拉母线气室的监测波形与图 7、8 右下角的波形图(击穿位置与传感器中间有阻挡物)形态类似, 可断定监测系统接收到的超声信号波形(图 11、13)为典型的放电击穿波形图, 但放电点与传感器之间可能有阻挡物。



图 10 现场实物图 1

Fig. 10 Physical map site 1

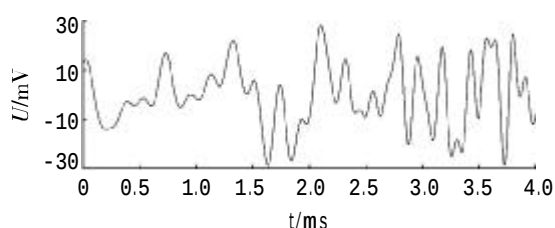


图 11 监测波形图 1

Fig. 11 Monitoring waveforms 1

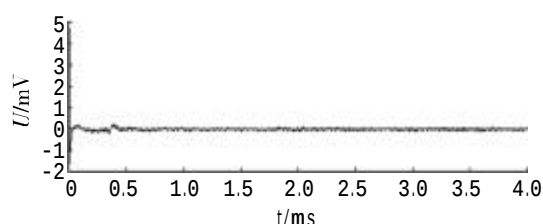


图 14 监测波形图 3

Fig. 14 Monitoring waveforms 3

另外,由幅值灯亮的数量及超声信号波形图比较可得,50522 B 相隔离开关气室监测到的超声信号幅值大于斜拉母线气室监测到的超声信号幅值。

现场试验击穿发生时,只有 50522 B 相隔离开关气室及斜拉母线气室的监测单位有幅值反应,根据监测单元波形分析,以及试验室模拟和现场实际击穿数据对比,综合分析,可得出以下结论:击穿点位置极有可能发生在 50522 B 相隔离开关上方的出线分支母线气室或者相邻气室内。

经解体检查发现,50522 B 相隔离开关上方的出线分支母线气室内存在击穿放电现象,与检测结论完全一致。修复放电部位后,重新加压,通过交流耐压试验。

4.2 50622 B 相隔离开关上方的斜拉母线处闪络击穿

在对第 6 串 B 相(5061、5062 和 5063 开关)进行交流耐压试验前,按照超声定位传感器布置原则进行了合理布置。

当升压至 492 kV 时,出现闪络击穿;随后改变接线方式,第 6 串 B 相仅带 5061 开关耐压试验通



图 12 现场实物图 2

Fig. 12 Physical map site 2

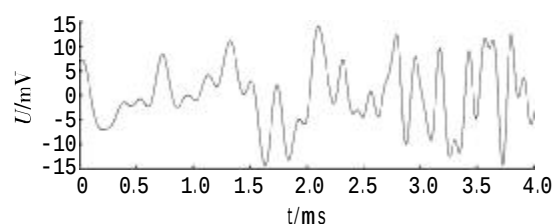


图 13 监测波形图 2

Fig. 13 Monitoring waveforms 2

过;再改变运行方式,第 6 串 B 相带 5062、5063 开关,升压至 660 kV 时,出现闪络击穿,再次升压至 220 kV 时,又出现闪络击穿。初步确定是 GIS 内部发生闪络,非试验设备问题。

击穿后,检查各传感器的位置及亮幅值灯情况见图 15。

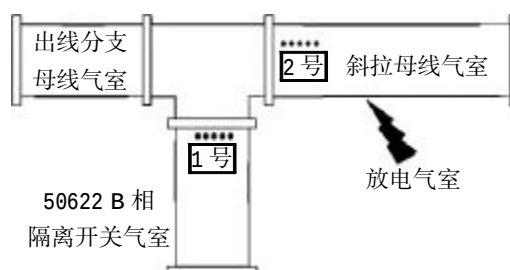


图 15 第 6 串 B 相(5061、5062 和 5063 开关)时各节点位置及亮幅值灯情况

Fig. 15 Each node bright light situations location and amplitude of the sixth string B phase (5061, 5062 and 5063 switch)

图 15 中,50622 B 相隔离开关上方的出线分支母线气室处未布置传感器。50622 B 相隔离开关气室亮幅值灯 5 只全亮,其现场实物图及监测超声信号波形图见图 16-18。

50522 B 相隔离开关上方的斜拉母线气室亮幅值灯 5 只全亮,其现场实物图及监测超声信号波形图见图 19-21。

第 6 串 B 相(5061、5062 和 5063 开关)布置的其他传感器中,一部分也存在幅值灯亮的情况,数量为 2 或 3 只,例如,50631 B 相隔离开关气室传感器的



图 16 现场实物图 3

Fig. 16 Physical map site 3

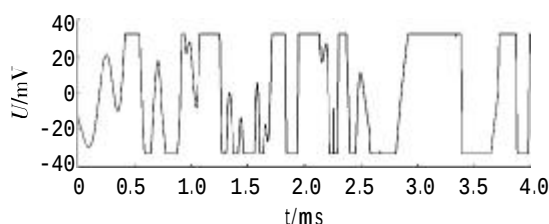


图 17 监测波形图 4(660 kV)

Fig. 17 Monitoring waveforms 4(660 kV)

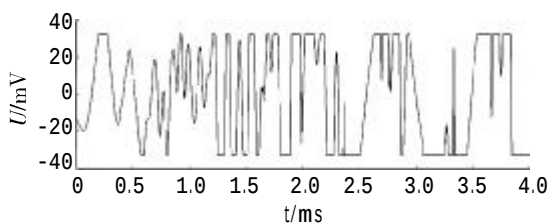


图 18 监测波形图 5(220 kV)

Fig. 18 Monitoring waveforms 5(220 kV)

幅值灯亮 2 只, 50621 B 相隔离开关气室传感器的幅值灯亮 3 只。

与前文的典型波形图进行特征比对可得, 500 kV GIS 50622 B 相隔离开关气室及斜拉母线气室的监测波形与图 7、8 中间的波形图 (击穿位置与传感器中间无阻挡物) 形态类似, 可断定监测系统接收到的超声信号波形(图 17、18、20、21)为典型的放电击穿波形图, 且放电点与传感器之间无阻挡物。

由幅值灯亮的数量及超声信号波形图比较可得, 50622 B 相隔离开关气室监测到的超声信号幅值与斜拉母线气室监测到的超声信号幅值均较大, 且明显大于其他监测点幅值, 因此, 击穿点位置应位于 50622 B 相隔离开关气室与斜拉母线气室或其相邻气室。另外, 50621 B 相隔离开关气室监测到的超声信号幅值大于 50631 B 相隔离开关气室, 放电点应相对更接近于 50621 B 相隔离开关气室。

根据监测单元波形分析, 以及试验室模拟和现场实际击穿数据对比, 综合分析, 可得出以下结论: 击穿点位置极有可能发生在 50622 B 相隔离开关气室与斜拉母线气室 (靠近 50622 B 相隔离开关一侧)



图 19 现场实物图 4

Fig. 19 Physical map site 4

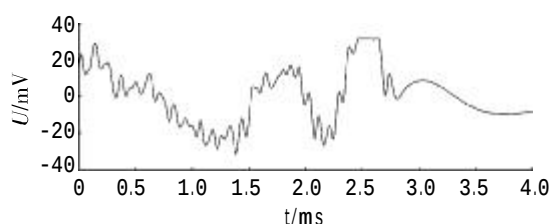


图 20 监测波形图 6(660 kV)

Fig. 20 Monitoring waveforms 6(660 kV)

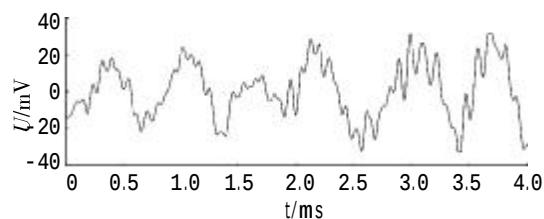


图 21 监测波形图 7(220 kV)

Fig. 21 Monitoring waveforms 7(220 kV)

或其相邻气室。

经解体检查发现, 50622 B 相隔离开关上方的斜拉母线气室内部存在击穿放电现象, 与检测结论完全一致。修复放电部位后, 重新加压, 通过交流耐压试验。

4.3 小结

由此次 GIS 无线击穿定位系统的现场应用, 可以看到:

1) 有效性。GIS 无线击穿定位系统可以准确接收击穿产生的超声信号, 正确反应击穿现象。

2) 安全性。经过多次击穿监测, 监测装置未出现过电压击穿损坏情况, 功能正常。通过无线方式与后台通信, 保证了操作人员的人身安全。

3) 定位效果。不同距离或隔不同数量的盆子数, 会对波形的幅值及疏密造成影响, 也为幅值分析提供了计算条件。该系统根据实际试验情况, 采用加权平均的幅值计算方法, 幅值灯可以准确的反映幅值情况, 超声信号波形图反映波形特征, 系统定位准确。

4) 抗干扰。在试验环境下, 环境噪音(说话、走动, 触摸 GIS 罐体等)不会造成节点误触发, 抗干扰

性能良好。

5)无线通信。经现场检验,强电晕和金属遮挡物条件下也不影响无线监测效果,无线传感器网络连接稳定。

6)监控系统平台。监控平台经实验室验证可同时通信 255 个监测节点,可实时读取和设置节点工作状态(数据文件记录情况、触发信号峰值、触发信号波形等),并可进行对无线传感器节点进行无线时间校准。

7)使用时间。无线声发射传感器节点,在一次充满电后使用时间经现场验证可连续工作 4 个小时以上。

5 结论

1)采用超声检测法可有效地进行 GIS 设备内部击穿放电定位,抗干扰能力强,检测灵敏度高;

2)GIS 无线击穿定位系统具有能准确反映击穿现象,保证安全,定位效果好,抗干扰性能良好,无线通信稳定,可同时通信多达 255 个监测节点等诸多优点;

3)GIS 无线击穿定位系统在现场应用,准确定位了多起 GIS 设备内部击穿故障,解决了 GIS 设备耐压试验等过程中的击穿放电定位的难题。

参考文献:

- [1] Joint Working Group 33/23-12. Insulation coordination of GIS: Return of experience, on site tests and diagnostic techniques[J]. Electra, 1998, 176(2):67-97.
- [2] PEARSON J, HAMPTON B F, JUDD M D, et al. Experience with advanced in-service condition monitoring techniques for GIS and transformers[C]//IEEE Colloquium on HV Measurements, Condition Monitoring and Associated Database Handling Strategies. London, UK: IEE, 1998:8-10.
- [3] PRYOR B M. Review of partial discharge monitoring in gas insulated substations [C]//Science, Education and Technology Division Colloquium on Partial Discharges in Gas Insulated Substations. London, UK:[s.n.], 1994: 122.
- [4] ANO N. Partial discharge testing of gas insulated substations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(2): 499-506.
- [5] 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.
LIU Junhua, WANG Jiang, QIAN Yong, et al. Simulation analysis on the propagation characteristics of electromagnetic wave in GIS[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8):139-142.
- [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] DIESSNER A, LUXA G F, MOSCA W, et al. High voltage testing of GIS insulated substation on site[C]//CIGRE.[S.l.]: CIGRE, 1986:33-38.
- [8] 史志侠. GIS 现场试验的现状与发展[J]. 高压电器, 2001, 37(4):42-45.
SHI Zhixia. The situation and development of field test to GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(4):42-45.
- [9] 王贻平. GIS 现场交流耐压试验技术[J]. 华东电力, 1998(4):38-41.
WANG Yiping. GIS site AC voltage test techniques [J]. East China Electric Power, 1998(4):38-41.
- [10] 侍海军, 王光前, 张少炎. GIS 现场绝缘试验技术[J]. 高压电器, 2005, 41(1):55-58.
SHI Haijun, WANG Guangqian, ZHANG Shaoyan. GIS site test [J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(1):55-58.
- [11] 李晨. 500 kV 变电站 GIS 系统的交流耐压试验研究[J]. 电网技术, 2012(2):14-16.
LI Chen. AC voltage test research of 500 kV substation the GIS system [J]. Power System Technology, 2012(2): 14-16.
- [12] 黄云光, 朱立平, 五琪. 气体分析在 GIS 闪络定位中的应用[J]. 广西电力技术, 2000(4):33-35.
HUANG Yunguang, ZHU Liping, WU Qi. Gas analysis application in GIS flashover positioning[J]. Guangxi Electric Power Technology, 2000(4):33-35.
- [13] 赵修民. 测量用互感器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
ZHAO Xiumin. Measuring transformer[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1986.
- [14] 钱勇, 黄成军, 江秀臣, 等. 基于超高频法的 GIS 局部放电在线监测研究现状及展望[J]. 电网技术, 2005, 29(1):40-43.
QIAN Yong, HUANG Chengjun, JIANG Xiuchen, et al. Present situation and prospect of ultrahigh frequency method based research of on-line monitoring of partial discharge in gas insulated switchgear [J]. Power System Technology, 2005, 29(1):40-43.
- [15] 唐炬, 魏钢, 侍海军, 等. 气体绝缘组合电器局部放电的超高频检测[J]. 重庆大学学报, 2004, 27(4):125.
TANG Ju, WEI Gang, SHI Haijun, et al. Analysis of UHF method used in partial discharge detection in gas insulated switchgear [J]. Journal of Chongqing University, 2004, 27(4):125.

- [16] 唐 炬, 朱 伟, 孙才新, 等. GIS 局部放电的超高频检测[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.
- [17] 李智敏, 冯允平. 超高频方法用于 GIS 内局部放电检测的分析及试验[J]. 高电压技术, 1998, 24(4):29-30.
LI Zhimin, FENG Yunping. Analysis and experiment of UHF method used in partial discharge detection in GIS[J]. High Voltage Engineering, 1998, 24 (4):29-30.
- [18] 李 信, 李成榕, 丁立健, 等. 基于超高频信号检测 GIS 局放模式识别[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 (GIS) based on UHF signals[J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(11):26-30.
- [19] PEARSON J S, FARISH O, HAMPTON B F, et al. Partial discharge diagnostics for gas insulated substations[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1995, 2(5): 893-905.
- [20] HOSHINO T, KATO K, HAYAKAWA N, et al. A novel technique for detecting electro magnetic wave caused by partial discharge in GIS[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(4): 545-551.
- [21] 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.
YAO Yong, YUE Yanfeng, HUANG Xingquan. Field application of UHF and ultrasonic methods for detecting partial discharge in GIS [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(2): 422-424.
- [22] 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 Minye, 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.

陈 敏(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压开关类设备的研究工作。

《高压电器》2014 年第 6 期广告单位

彩色广告

封一: 莱茵技术(上海)有限公司
封二: 陕西卓越电力设备有限公司
封三: 北京恒源利通电力技术有限公司
封四: 北京优尼莘辉科技有限公司
前插 1: 北京京东方真空电器有限责任公司
前插 2: 宁波伟隆电器成套有限公司
前插 3: 珠海思创电气有限公司
前插 4: 湖北武高电力新技术有限公司
前插 5: 硕方科技(北京)有限公司
前插 6: 攀时(上海)高性能材料有限公司
前插 7: 陕西斯瑞工业有限责任公司

前插 8: 常州帕斯菲克自动化技术股份有限公司
前插 9: 上海乐研电气科技有限公司
前插 10: 山东泰开互感器有限公司
前插 11: 上海苏特电气有限公司
前插 12: 浙江温岭市雅博输送设备有限公司
前插 13: 《高压电器》编辑部
前插 14、15: 浙江天正电气股份有限公司
前插 16: 上海利驰软件有限公司

黑白广告

单色 139: 陕西维柯瑞电气有限责任公司
单色 140: 武汉市国力电气设备有限公司