

GIS局放智能检测方法研究

刘晓亮¹, 倪 庞²

¹中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津

²西南石油大学, 四川 成都

收稿日期: 2022年2月21日; 录用日期: 2022年3月22日; 发布日期: 2022年3月30日

摘 要

随着电力行业的飞速发展, GIS设备广泛应用于变电站中, 对电网稳定运行有着重要作用, 其运行时可能发生的局放故障, 会对设备甚至电网造成许多不利影响, 因此对GIS的局放检测是具有重要意义的。为研究GIS局放快速检测并定位准确的检测方法, 本文通过对比脉冲电流、超高频、超声波检测方法对不同典型局放类型的灵敏度关系以及三者对局放类型的适用范围, 结合超高频灵敏度较高、超声波抗电磁干扰能力强两者的优点, 提出采用声电联合的检测方式, 并对该检测方法进行应用检测分析, 将检测结果与局放类型图谱对比, 得出局放类型, 并确定其发生的位置。采用声电联合检测方法进行局放的快速检测、定位与识别, 最终实现GIS局放的智能检测, 既保证了局放检测的快速、可靠, 又为设备安全运行提供了有力的保障。

关键词

局部放电, 超高频检测, 超声波检测, 声电联合检测

Research on the Intelligent Detection Method of GIS Partial Discharge

Xiaoliang Liu¹, Pang Ni²

¹CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin Branch, Tianjin

²Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 21st, 2022; accepted: Mar. 22nd, 2022; published: Mar. 30th, 2022

Abstract

With the rapid development of the power industry, GIS equipment is widely used in substations, which plays an important role in the stable operation of the power grid. The release faults that may occur during its operation will cause many adverse effects on the equipment and even the power grid, so it is of great significance to the release detection of GIS. In order to study the rapid detection

文章引用: 刘晓亮, 倪庞. GIS局放智能检测方法研究[J]. 电气工程, 2022, 10(1): 50-60.

DOI: 10.12677/jee.2022.101006

and accurate detection method of GIS, this paper compares the sensitivity relationship of pulse current, UHF and ultrasonic detection methods and the scope of application of the three, combined the advantages of high UHF sensitivity and strong ultrasonic resistance to electromagnetic interference ability, we propose to adopt acoustic and electric combined detection method, and the applied detection analysis, compare the detection results with the local discharge type map, get the local discharge type, and determine the location. The audio and electric joint detection method is used to conduct rapid detection, positioning and identification, and finally realizes the intelligent detection of GIS bureau release, which not only ensures the rapid and reliable bureau release detection, but also provides a strong guarantee for the safe operation of the equipment.

Keywords

Partial Discharge, UHF Detection, AE Detection, Ultrasound-Electric Combination

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在我国电力行业飞速发展的过程中,封闭式气体绝缘组合器(GIS),因其功能强,可靠,占地小,检修周期较其他设备小等优点在当前变电站中得到广泛采用。当GIS设备发生局部放电绝缘故障时,其运行状态绝大部分是处于绝缘未完全被击穿前的时候所产生的局部放电现象,造成这种现象的主要原因是GIS设备本身的一些缺陷。继而GIS在这种情况下运行时便产生了电极在电场中浮动,设备绝缘老化、设备内部产生导电微粒等,继续发展会导致保护开关跳闸,部分地区停电等。因此,对GIS进行局部放电检测和分析诊断,是保证GIS稳定可靠运行的重点工作。

许多不同原理的局部放电检测技术被用于GIS局部放电的检测中。国内外的研究经验和分析表明,这些方法存在各自的局限性。对于不同的局部放电类型具有不同的灵敏度,导致检测到的波形等结果存在差异。检测方式总体分为电测法与非电测法两大类;其中电测法主要包括:超高频、脉冲电流等。超高频法[1]中所使用的高频传感器一般能测量电磁波的频率范围为:300 MHz~3 GHz。一般GIS设备发生放电时所产生的干扰多为300 MHz以下,这些干扰信号在空气中传播衰减较快。因此该检测方式具有较高的抗干扰能力,并且具有实现非接触和在线检测的能力。脉冲电流法[1](IEC)主要是通过GIS设备内部发生局部放电时,会伴随有升压,通过装置搭建回路来测量电流的大小,其范围为1MHz以内,但是容易收到其他信号的混合而产生干扰难以识别。非电测法主要包括:超声波、光学检测等方法。超声波检测方式[2](AE)主要是通过GIS内部发生局部放电时所产生的非电量变量,即声波,其频带主要为20 KHz~100 KHz,可以在设备腔体外安装超声波传感器来检测。因其为非电量检测法,不受电气信号的干扰,抗电磁干扰性能强,可以用于声源定位方法。光学检测法[3]主要是通过检测光辐射信号,需要将光传感器安装在设备内部。光信号也是非电量变量具有很好的抗电磁干扰能力,但当设备内壁光滑带来的反射作用或者存在遮挡也会造成干扰,容易出现导致测量结果出现较大的差异。文献[4]运用不同的局部放电检测方法对检测出不同绝缘缺陷类型的特征图谱进行比较研究得出超高频和超声波检测方式的优点;文献[5]运用超声波与超高频联合检测法对不同放电类型和实际现场检测进行研究得出了这种检测方式适用性广,并且可以大量降低检测的工作量;文献[6]运行超声波、特高频技术与其他方式对GIS设备局放缺陷检测过程和结果对比,得出了两者结合检测具有更好的效果;文献[7]通过UHF信号与超声信号

的两次检测分析研究, 实现了绝缘缺陷的快速准确定位。文献[8]通过超声信号和特高频信号入手对 GIS 设备中金属颗粒缺陷进行对应的信号提取实现了微粒类型的识别。可以看出在进行 GIS 局放检测时, 通过对超高频和超声波信号的共同分析相比单一检测信号分析具有更好的效果, 且国内外对于检测所采用的超高频和超声波法的研究和应用已经取得一定的成果。但对于 GIS 局放检测, 如何让其具有更快的检测速度和更高的准确度, 需要进一步解决和优化。

针对上述问题, 本文先通过简易局放模型研究不同类型 GIS 检测方式对其的响应结果, 得到各自的灵敏度, 通过对比研究结果结合不同检测方法的原理, 提出以超高频和超声波为基础的声电联合检测方法, 并对其进行算例应用分析, 通过检测到的图谱对比确定局放类型和二次定位确定局放位置, 及时发现缺陷隐患, 保证设备的安全稳定运行。实现灵敏度更高、适用范围更大、共工作量更小的、速度更快的 GIS 智能检测。

2. GIS 局放原理及类型

GIS 中局部放电一般是由于电力设备的绝缘介质在外在电场影响出现的部分区域放电情况, 该类放电并未直接出现在承压导体的全部位置, 发生在绝缘介质没有完全击穿的情况下。放电过程会伴随着电荷的移动和电磁波的产生, 也会产生一些光、声、温度等非电量变量。一般造成 GIS 放电的原因主要是本身的绝缘缺陷[9], 例如因装配错误引: 悬浮电位体放电、金属尖端放电、设备表面金属颗粒造成: 绝缘表面金属颗粒放电, 以及绝缘体内部气隙放电等。四种典型放电模型如图 1 所示。

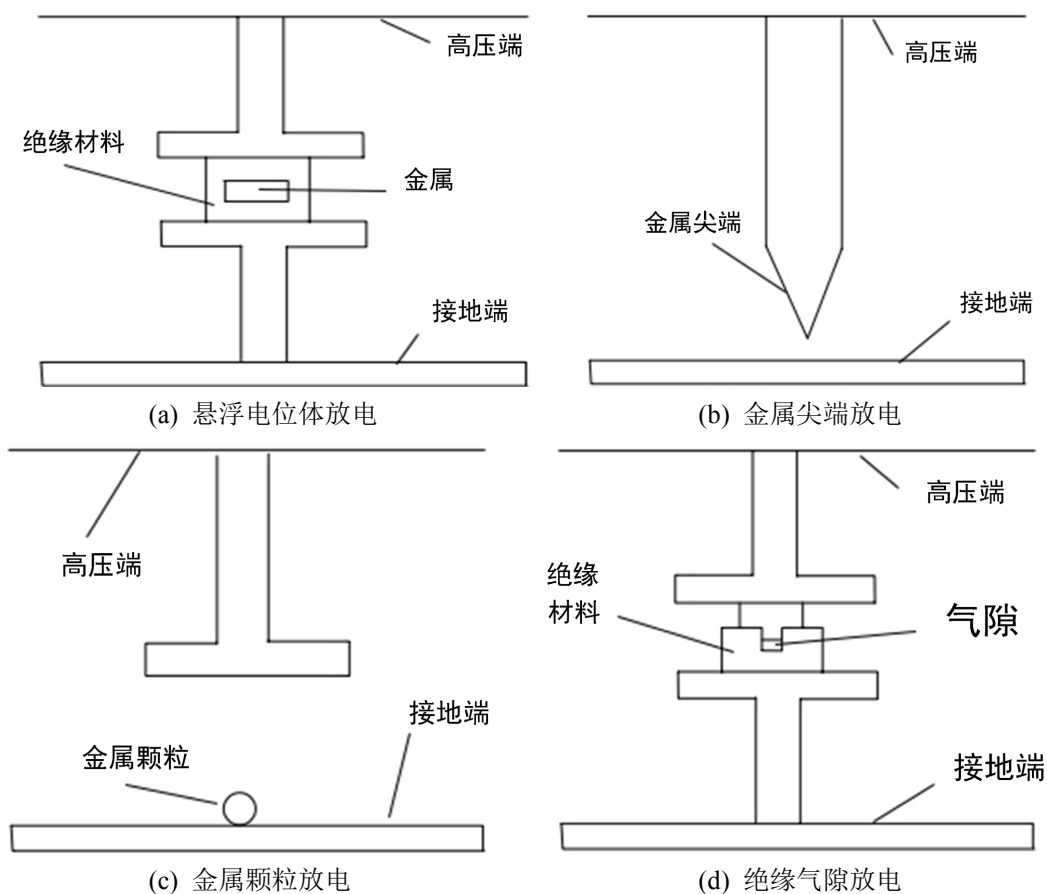


Figure 1. Four typical PD models
图 1. 四种典型局放模型

图 1(a)中悬浮电位体放电是除开可自由移动的金属颗粒外不可移动的金属物体在电场的作用下与临近的设备之间的放电, 具有较高的幅值, 放电脉冲幅值稳定, 且相邻放电时间间隔基本一致, 从平面分布看主要发生在一、三象限内。悬浮电位体放电根据其特点一般分为两种类型, 一种是类似尖端的电晕放电, 此放电所产生的放电电量极低, 难以检测到; 而第二种是悬浮体与高压导体之间的间接性击穿放电, 此放电的放电电量较前者大得多, 也是实际检测中容易被传感器所采集到的。

图 1(b)金属尖端放电是 GIS 设备中金属的尖端或者运输过程中划伤形成的突出物处于电场高电位时, 产生的放电, 一般产生的是电晕放电, 其放电特点是放电次数较多, 放电幅值分散性小, 且时间间隔均匀, 一般出现在半周内, 由于其幅值微弱, 因此是较难检测的一种局放类型。该局放类型的优点是: 虽然金属尖端所产生的电晕放电幅值较小, 对设备绝缘性能的影响也较小, 但在当外部出现过电压或者雷击等情况的作用下, 会对设备绝缘性能造成较大的影响。

图 1(c)绝缘表面金属颗粒放电是 GIS 设备运行中, 其绝缘表面的微小的金属物体, 在强电场的作用下运动所颗粒间的放电现象, 该放电类型分布在工频周期内, 较为随机。当检测到这种绝缘缺陷时需要及时对设备绝缘表面进行清理。

图 1(d)绝缘体气息放电是由于设备本身材料问题, 一般是在制造过程中造成的绝缘裂痕或者气隙等产生的绝缘体内部气隙放电。该绝缘类型缺陷一般是在在发生放电一段时间后才能检测到。

3. GIS 局放检测方法研究

3.1. GIS 局放检测方法

检测局放类型的方法主要有超高频检测法、脉冲电流检测法、超声波检测法以及光学检测法等。本文主要是对局放检测中较为常见的超高频检测法、超声波检测法和脉冲电流法进行研究。

超高频检测法是当 GIS 设备发生局放时, 通过安装在设备内部或者外部传感器接收到因局放发生的电磁波信号来进行判定设备是否发生局放。

脉冲电流法是通过构建回路来实现的, 即当设备发生局放时, 通过回路检测其脉冲电流大小, 进一步测得其放电电量大小并判断局放是否发生。

超声波检测法是通过安装传感器来检测 GIS 设备发生局放时所产生的超声波信号来判断设备是否发生局放。

光检测法通过检测设备局放时所产生的光辐射信号来进行判断, 但光检测法容易受设备某些部件的遮挡导致检测结果差异较大, 且光学测量法大多数还用于实验研究中, 对于实际局放检测中使用不多, 因此不进行与其他方式比较。

3.2. GIS 局放检测方法灵敏度研究试验

为比较不同检测方法对 1 中的不同缺陷类型最小放电条件下的灵敏度, 分别采用超高频法、超声波法、脉冲电流法同步对同一类型进行试验[9] [10] [11], 并在同一类型中改变不同尺度进行多次试验, 试验方式采用逐级升高电压的方式, 最后将设备检测到的局放起始电压作为试验结果, 并进行对比, 得出不同检测方法的灵敏度。所使用的试验模型如图 2 所示(在 GIS 腔体中设置 1 中的典型缺陷模型)。

试验模型主要包含变压器、保护电阻、耦合电容、阻抗测量器、信号放大器、分析设备以及 GIS 缺陷模型等。试验通过升高电压的方式对其进行试验, 分别对四种局放类型进行试验, 并改变同一类型中缺陷的位置或尺度进行多次试验, 其所得到的起始局放电压如图 3 所示。

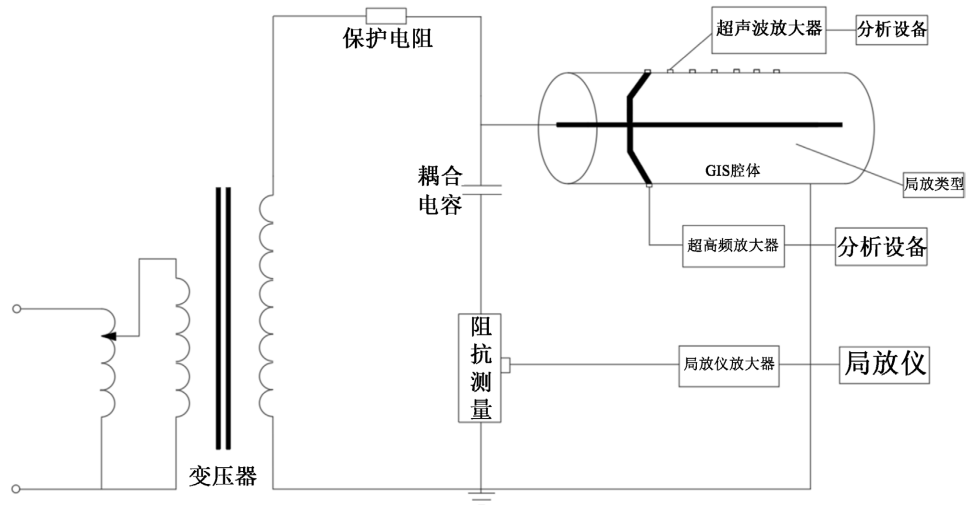


Figure 2. Test model diagram
图 2. 试验模型图

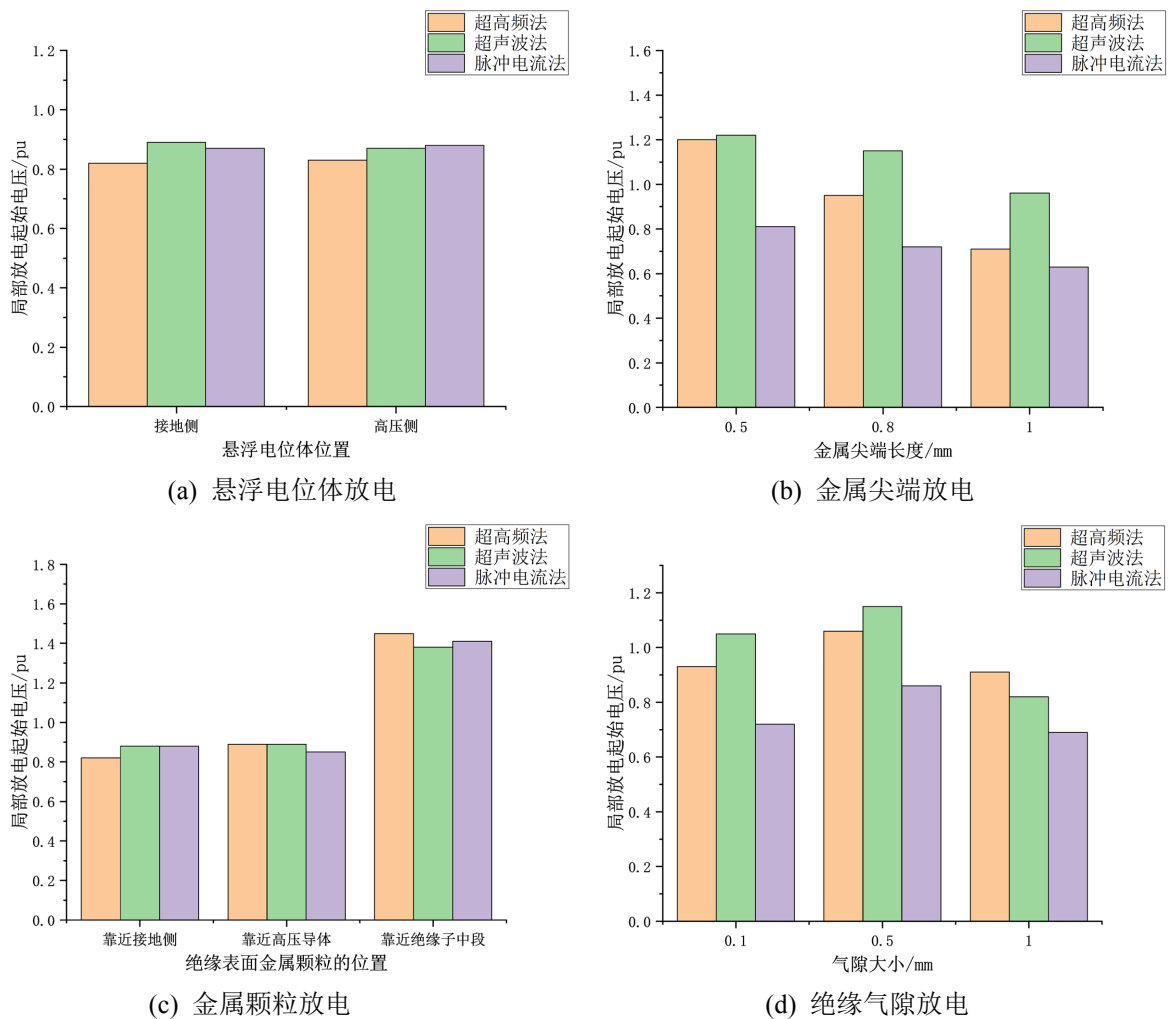


Figure 3. Initial voltage of PD of different types
图 3. 不同类型的局放起始电压图

悬浮电位体放电试验中主要是改变其悬浮导体的位置来进行的, 从图 3(a)中可以看出: 当悬浮导体处于靠近接地侧时其局放起始电压大小排序为: $V_{AE} > V_{IEC} > V_{UHF}$; 当靠近高压侧时其局放起始电压大小排序为: $V_{IEC} > V_{AE} > V_{UHF}$ 。

金属尖端放电试验中主要是 0.5 mm~1 mm 的尺度范围内改变金属尖端的长度来进行的, 从图 3(b)中可以看出: 尺度改变后影响了起始局放电压的大小, 但三种检测方式所测得的电压整体上的关系是: $V_{AE} > V_{UHF} > V_{IEC}$ 。

绝缘金属表面金属颗粒放电试验中也是通过改变其所处位置进行的, 从图 3(c)中可以看出: 当金属颗粒处于靠近接地侧时其局放起始电压大小排序为: $V_{UHF} = V_{IEC} > V_{AE}$; 当接近高压导体时: $V_{AE} = V_{UHF} > V_{IEC}$; 当金属颗粒靠近绝缘子中段时, $V_{UHF} > V_{IEC} > V_{AE}$ 。

绝缘体内部气隙放电试验中是通过改变其气隙半径大小进行的, 从图 3(d)中可以看出随着半径气隙的增大, 超声波检测法的灵敏度先减小后增大, 在气隙半径增加到 1 mm 之前, 整体局放起始电压关系为: $V_{AE} > V_{UHF} > V_{IEC}$; 当气隙半径增加至 1 mm 时, 其局放起始电压关系为: $V_{UHF} > V_{AE} > V_{IEC}$ 。

起始局放电压越小代表该检测方法在该模型和该尺度情况下的越灵敏, 通过取得起始局放电压关系来得出灵敏度关系, 其局放类型与检测方法的灵敏度[12]关系如图 4 所示:

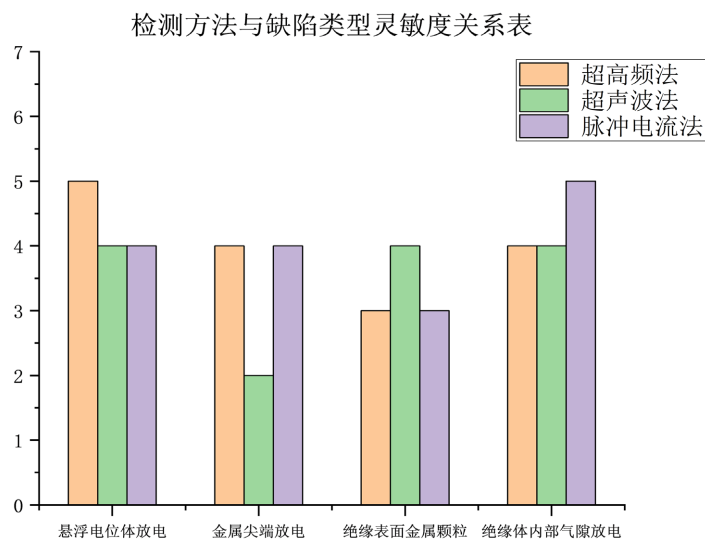


Figure 4. Sensitivity relationship between detection methods and defect types

图 4. 检测方法与缺陷类型灵敏度关系图

通过图 4 灵敏度关系图(图中数字的值代表该方法对应灵敏度的大小)可以看出: 对于这四种局放类型, 超高频法具有较好的灵敏性, 且抗干扰能力强, 可以得出超高频对大多数局放都是适用的; 其次便是脉冲电流检测方法, 而这两种检测方式均属于电检测方式, 其中脉冲电流法容易受其他电信号的干扰, 易对检测结果造成影响。超声波检测方法属于非电量测量法, 具有较强的抗电磁干扰能力, 虽然通过灵敏度关系图中得出其灵敏度不及超高频检测方法, 但其具有电测量法所不具有的优点, 一旦测量环境中出现电磁干扰较强时, 则超声波检测法就会有更好的效果。

4. GIS 局放智能检测研究

4.1. 声电联合检测方法

在实际现场中, 需综合考虑现场的环境设备条件等情况。脉冲电流法在实际测量中易受杂散电容

的影响, 导致测得的结果具有差异, 因此其使用范围具有一定的局限性。而超高频法对于大多数的情况都是适用的, 能够测量到的频率范围也是非常大, 缺陷尺度范围大, 灵敏度强, 响应快, 在许多的 GIS 局放检测中都使用到了超高频检测法, 其内置传感器与外部天线间的非接触式传输信息的方式可以大大减少检测工作量。虽然超高频法可以对故障进行判断, 可以通过多个位置设置传感器, 利用时差法或比较幅值的方法进行快速寻找局部故障点的大概位置, 但却无法精准定位。这是无法满足对于局放检测需要准确定位的要求的, 因此, 需要其他方法弥补其缺点, 针对这一缺点, AE 方法可以弥补。超声波检测法具有不受局放时产生的电磁干扰和定位精准的优点, 但采用该方法进行测试时工作量较大。通过对比超高频检测法与超声波检测法的优缺点, 可以发现两者的优缺点能够形成互补, 超高频检测法可以降低单独使用超声波检测法的工作量, 超声波检测法可以弥补单独使用超高频检测法无法进行准确定位的缺点, 两者结合就能满足可以快速判断局放类型并定位局放位置的智能检测要求。

因此针对能够快速检测定位 GIS 设备发生的局放, 采用组合 UHF 与 AE 形成声电联合检测方式[12] [13]。设备中既含有 UHF 传感器也含有 AE 传感器, 对 GIS 进行检测时, 将对其局放时所产生的高频电磁波和超声波进行检测。声电联合检测方式[7] [14]如图 5 所示, GIS 外壳间隔一定的距离安装 AE 传感器, 盆式绝缘子处安装 UHF 传感器。

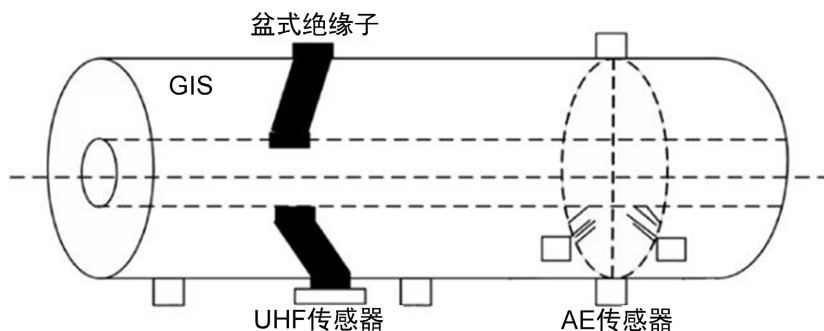


Figure 5. Arrangement of ultrasound-electric combination
图 5. 声电联合检测布置图

其进行局放检测步骤为: 先用抗干扰能力强的超高频法进行一次定位, 可以采用时差定位法或幅值比较法[15]判断局放可能存在的 GIS 设备内部气室位置, 再通过抗电磁干扰强的的 AE 法, 通过其灵活的传感器布置特点, 采用幅值比较法进行进一步确定局放位置。

4.2. GIS 局放智能检测结构

GIS 智能检测结构功能主要是: 在进行 GIS 局放检测时, 将声电联合检测法得到的数据波形, 通过监测系统, 计算波形特征参数, 联合局放类型数据库对比放电图谱 PRPD、PRPS 等进行检测判断局放类型, 有效降低计算量和加快判断速度, 并通过二次超声波信号比较进行判断局放局放发生位置, 实现 GIS 局放快速判断并定位的智能检测。其结构如图 6 所示:

5. GIS 局部放电检测应用分析

采用声电联合检测方法对 110 KV 五间隔的 GIS 设备进行检测, 检测过程步骤大致为: 先通过超高频检测对局放大致定位和类型分别进行检测和判别, 然后通过超声波对局放发生的位置进行更精准的定位。其 GIS 设备结构如图 7 所示。

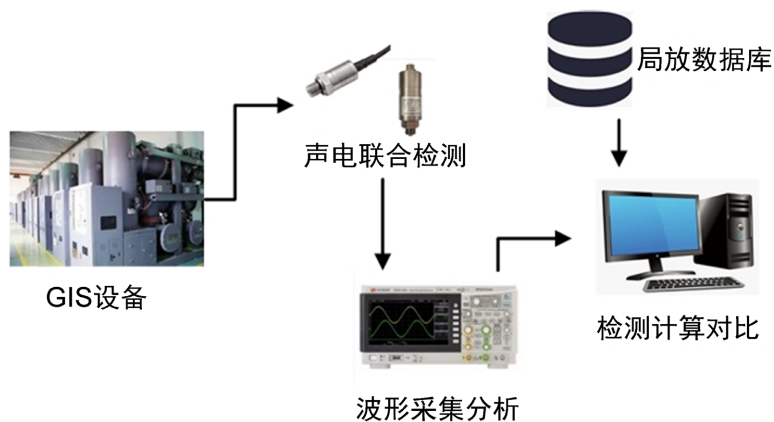


Figure 6. Intelligent detection structure of PD

图 6. 局放智能检测结构

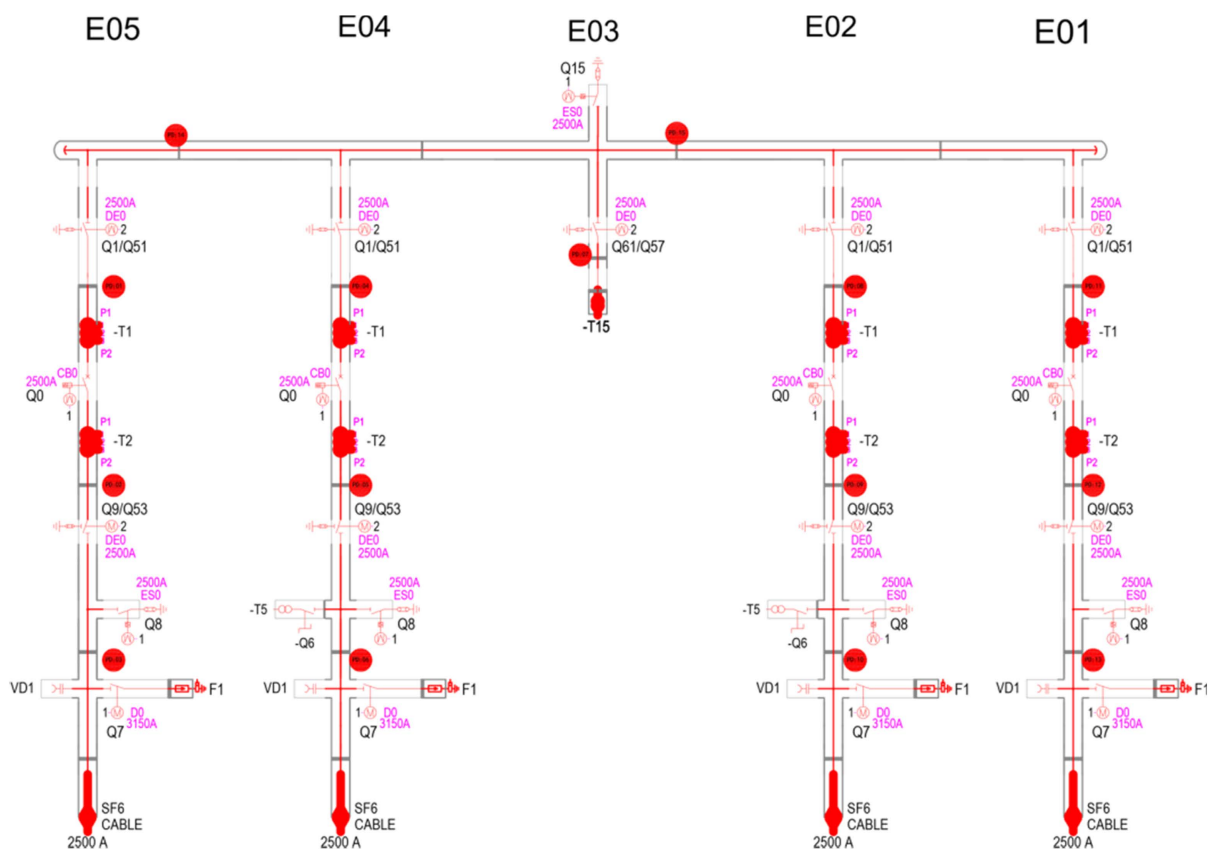


Figure 7. GIS device structure

图 7. GIS 设备结构

5.1. 特高频局放检测

对 110 kv GIS 设备先采用特高频局放检测方式[14]对各间隔进行检测, 判断各间隔是否存在放电信号。在所测得的波形中, E02 间隔中测的波形幅值最大; 远离 E02 的间隔检测的波形信号幅值随着远离的距离增加而减小。根据检测的信号幅值比较法可以初步确定该局放发生在 E02 间隔内。其检测到的最大波形如图 8 所示。

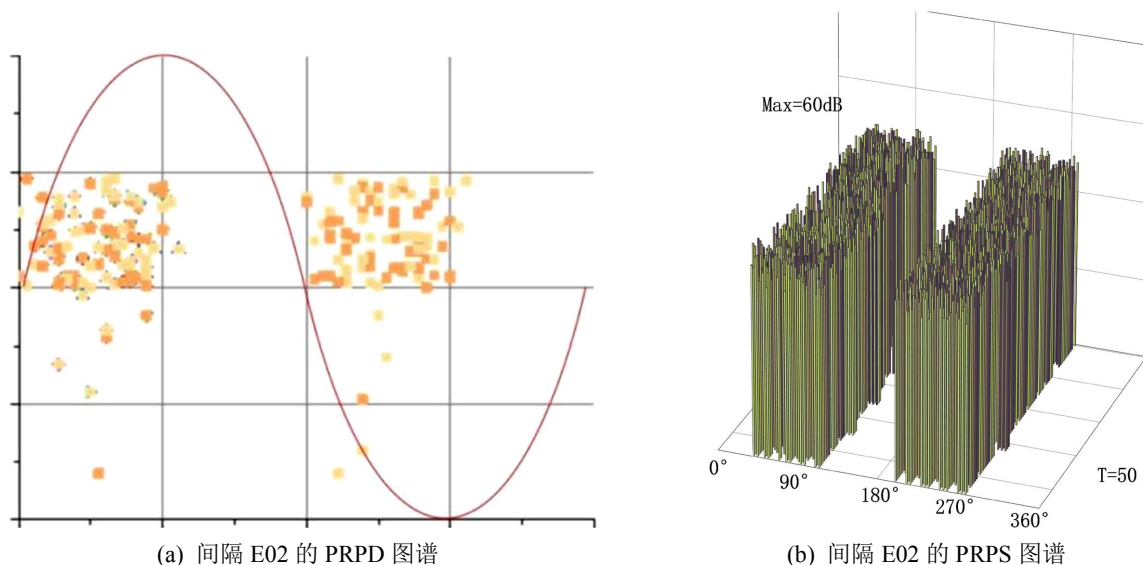


Figure 8. GIS UHF detection map

图 8. GIS 特高频检测图谱

从图 8 中的 PRPS、PRPD 图可以看出, 该信号的最大幅值为 60 dB, 放电脉冲幅值相对稳定, 有放电正负两个半周期内对称特点, 通过监测系统与图谱库中典型放电图谱中对比, 得出其与数据库中的悬浮放电极图谱相似, 故判断该缺陷类型放电为悬浮电位放电。

5.2. 超声波定位检测

特高频检测之后, 根据其初步定位的 E02 间隔再进行声电联合检测的超声波法来进行进一步定位检测, 在 E02 间隔内安装 8 个超声波传感器[16], 通过对比出传感器收集到的数据来进行定位局放的发生位置。其 AE 传感器安装如图 9 所示。

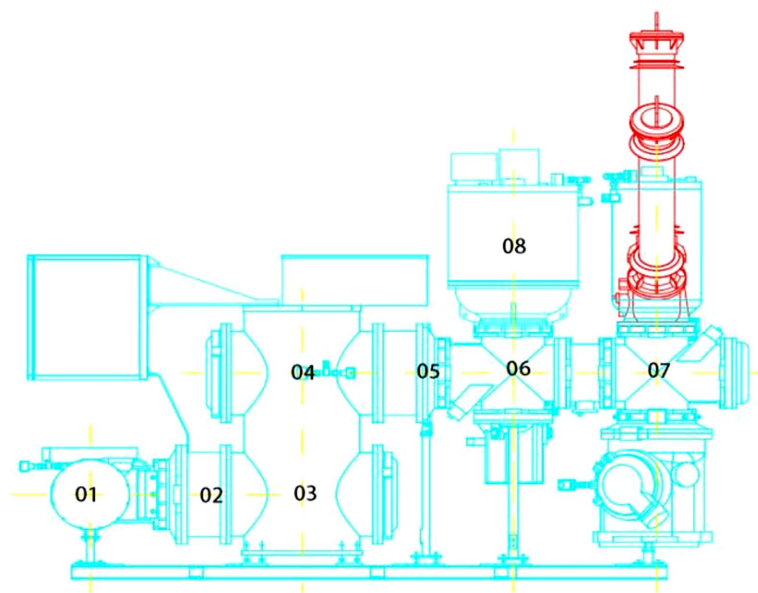


Figure 9. Ultrasonic sensor installation position diagram

图 9. 超声波传感器安装位置图

其测得的数据和峰值趋势图分别如表 1、图 10 所示:

Table 1. Ultrasonic sensor data

表 1. 超声波传感器数据

测量点	有效值	峰值	50 Hz 相关性	100 Hz 相关性
01	-2	2	-15	-15
02	3	4	-15	-10
03	7	10	3	7
04	11	14	5	9
05	15	22	4	16
06	18	26	10	18
07	14	21	3	16
08	10	13	5	8

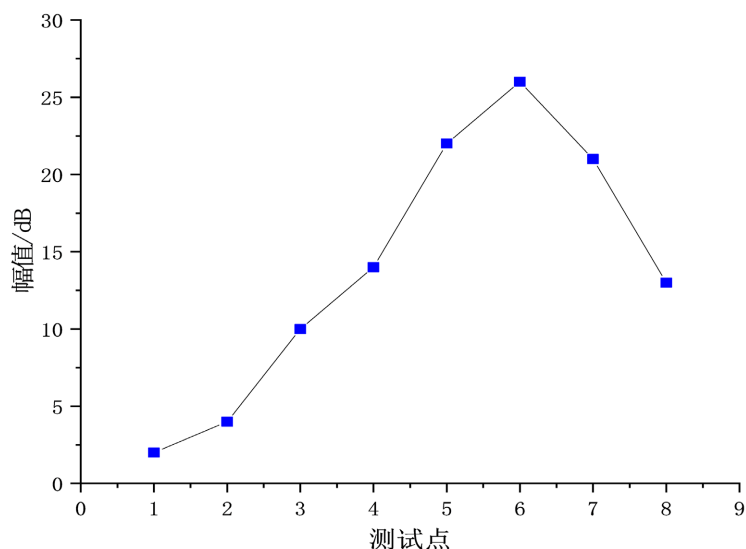


Figure 10. Peak trend of ultrasonic sensor data

图 10. 超声波传感器数据峰值趋势图

上图 10 所示, 在峰值中, 六号传感器的值最大为 26 dB, 在其左右两边的五号和七号传感器所测得值相较于除开六号以外其他的要大, 在六号传感器两边均呈现下降的趋势, 并且其所测得的 100 Hz 的相关性强, 根据最大幅值比较法即可以判定局放发生的位置在六号传感器所在的测量点处。

综上所述, 采用声电联合检测法, 结合监测系统数据库图谱快速对比计算, 可以得到该 GIS 设备在 E02 间隔中的第六号测试点处发生了悬浮电位体放电。

6. 结语

针对研究能快速检测 GIS 局放的方法, 本文先通过研究 UHF、AE 和 IEC 三种方法的灵敏度, 然后通过对比结果和其原理提出结合 UHF 与 AE 两者的声电联合检测法, 并用该方法对 110 kv GIS 设备进行检测验证, 主要得出了如下结论:

1) 虽然脉冲电流法的灵敏度与超高频相近, 但是在实际测试中易受到容性电流的影响, 具有一定的局限性; 而超高频检测方式具有较高的抗干扰能力, 并且具有实现非接触和在线检测的能力, 对大多数局放类型的检测都具有很好的适用性; 超声波虽然灵敏度不及超高频, 但其因非电量检测的特点具较强有抗电磁干扰的能力, 与超高频结合可以互补两者的优缺点, 能适应更复杂的检测环境。

2) 采用以声电联合检测为基础的智能检测方式, 通过二次检测定位, 可以在进行局放的类型判定和定位上相比较适用单独的 UHF 或者 AE 检测能大大降低工作量, 并且同时具有能够快速检测和定位局放的功能。在该方法的基础上结合结合监测系统的 PRPS、PRPD 数据库图谱, 可加快计算分析局放特征量和局放图谱对比, 进行局放类型判定, 来满足 GIS 设备局放智能检测的要求。

参考文献

- [1] 郭建鑫. 基于超声波法的 GIS 盆式绝缘子典型缺陷局部放电模式识别研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2021. <https://doi.org/10.27101/d.cnki.gfhgu.2021.001758>
- [2] 赵常威, 丁国成, 杨为, 杨海涛, 程登峰, 李宾宾. 基于开关柜缺陷模型的局放检测方法对比研究[J]. 高压电器, 2019, 55(3): 220-225. <https://doi.org/10.13296/j.1001-1609.hva.2019.03.034>
- [3] 周义博. 超高频法 GIS 局部放电在线监测与定位技术的现场应用[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [4] 李德军. 基于超高频、超声波和常规脉冲电流的 GIS 局部放电检测比较研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [5] 余云钢. 超声波与超高频法在 GIS 局放检测中的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [6] 林福海. 基于超声波、特高频技术的开关柜和 GIS 设备局放检测的研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- [7] 宋蓓华. 基于声电联合的 GIS 局部放电带电检测技术研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [8] 戴琪. 基于声电联合检测的 GIS 内部微粒特征参量表征方法[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2020. <https://doi.org/10.26944/d.cnki.gbfnu.2020.002387>
- [9] 崔保腾. 基于 UHF 法的 GIS 典型缺陷局部放电信号传播特性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [10] 周洁睿, 任明, 李金忠. 冲击电压下 GIS 局部放电检测方法的对比研究[J]. 绝缘材料, 2017, 50(12): 64-71+77. <https://doi.org/10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2017.12.012>
- [11] 刘弘景, 李伟, 任志刚, 高旭泽, 任明, 孙白, 娄奇鹤. GIS 不同绝缘缺陷的局放检测有效性对比研究[J]. 绝缘材料, 2018, 51(9): 53-60+69. <https://doi.org/10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2018.09.011>
- [12] 陈敏, 陈隽, 刘常颖, 卢军. GIS 超声波、超高频局部放电检测方法适用性研究与现场应用[J]. 高压电器, 2015, 51(8): 186-191. <https://doi.org/10.13296/j.1001-1609.hva.2015.08.031>
- [13] 牛勃, 马飞越, 丁培, 陈磊, 魏莹, 伍弘, 马波. 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. <https://doi.org/10.13296/j.1001-1609.hva.2020.01.028>
- [14] 何莉. 基于超声波与特高频的 GIS 局部放电检测方法研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2021. <https://doi.org/10.27206/d.cnki.gsgsu.2021.000870>
- [15] 冯彩. 基于声电联合的 GIS 局部放电检测与故障定位研究[D]: [硕士学位论文]. 淄博: 山东理工大学, 2018.
- [16] 刘衍会. GIS 局部放电超声检测系统的设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2021. <https://doi.org/10.27005/d.cnki.gdzku.2021.002198>