

特高压 GIS 击穿定位方法及其应用研究

腾云¹, 赵科¹, 贾勇勇¹, 陶风波¹, 高山¹, 周志成¹, 关为民²

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103;

2. 国网江苏省电力公司检修分公司, 江苏南京 211102)

摘要:为解决特高压气体绝缘开关设备(GIS)现场耐压试验击穿定位不准确的难题,文中梳理了特高压 GIS 设备现场冲击试验过程中可以采用的几种击穿定位方法,分析了每种方法的优缺点。针对较为先进的超声波定位,介绍了其基本原理及系统组成。并以一个实际应用的案例,具体分析了特高压 GIS 现场耐压试验中基于超声波探测原理的击穿判定及定位方法。该方法可为后续特高压工程中,特高压 GIS 的现场击穿定位技术提供一定的参考。

关键词:击穿定位;超声波检测方法;特高压工程;特高压 GIS 设备

中图分类号:TM835

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2016)04-0024-04

近几十年来,气体绝缘开关设备(GIS)逐渐受到越来越大的关注。究其原因,一是由于其全封闭的结构特点,使得其结构紧凑、占地面积小、运行可靠、维护简单且基本不受外界环境影响;二是由于随着电压等级的不断提高,传统敞开式高压开关在实际应用中很难保证足够的绝缘距离,投运后将带来较大的安全隐患。然而,也正是由于 GIS 全封闭结构的特点,如果其在投运之后出现故障,后果十分严重。通常所有 GIS 在设计后制造前都会经过复杂的型式试验,理论上不会出现由于绝缘强度降低导致击穿故障。但是在生产、存储、运输直至最后现场安装投运过程中,任何一个环节出现设备缺陷都会为 GIS 设备的运行带来安全隐患。GIS 设备缺陷主要分为两大类:一是在设备本体各部件(导电杆外边面、筒体内表面和绝缘盆子外表面等)出现“毛刺”,引起 GIS 本体局部电场畸变,导致设备绝缘强度下降;二是 GIS 设备中 SF₆ 绝缘气体中混入灰尘、其他气体成分、微小杂物等,引起 SF₆ 气体绝缘强度降低^[1-3]。

为了尽可能在 GIS 设备投运前发现设备这些缺陷,需要在设备出厂试验以及现场交接试验中进行 GIS 耐压试验。特别是对于特高压 GIS 设备,其体积庞大,设备制造、运输以及现场安装都更为困难,更容易产生缺陷。另一方面,由于电压等级越高,设备出现故障后引起的损失也更为严重。也正是由于庞大的体积,耐压试验过程中的击穿定位技术也更为困难^[4-6]。

1 特高压 GIS 定位方法的选择

特高压 GIS 设备体积较为庞大,试验段长度经常可达到百余米。由于现场条件复杂,耐压试验过程中一旦发生故障,击穿气室和击穿点的准确定位一直是

现场耐压试验的难点。如果击穿后没能准确找到放电点,极易导致 GIS 气室的错误拆卸,影响工程进度。有时甚至需再次加压,对设备造成二次损害。GIS 耐压试验过程中常用的击穿定位方法主要有人工监听法、低频振动监测法、超高频监测法及超声波监测法^[7-10]。

(1) 人工监听法。一般在每个 GIS 气室附近安排 1 个或 2 个试验人员,通过听到的声音判断击穿点所在位置。很显然这种方法极易因试验人员主观性的影响,产生误判或错判,且准确性难以保证。

(2) 低频振动监测法。GIS 设备击穿时, SF₆ 分子之间短时间产生剧烈震荡,进而产生大量幅值较高的低频声波。通过在 GIS 筒体外边面安置低频振动监测单元盒,当声波的幅值大于这些单元盒预先设定好的阈值时,便会发出提示信号,现场试验人员再通过观察提示信号,判断所在气室是否发生击穿现象。在实际应用中,触发阈值的选择十分困难,设定不当极易导致触发失败,或者击穿点附近多个单元盒同时发出击穿信号,且极易受到现场环境噪声的干扰。

(3) 超高频监测法。击穿现象发生时,除了低频振荡声波,还会产生大量带宽为 100~1400 MHz、频率可达 1 GHz 的超高频谐振电磁波。通过在 GIS 筒体外壳安装耦合传感器,在经过信号放大器和分析软件解析,便可以在击穿现象发生时确定点位置。该方法灵敏度较高,但同时也需要大量精度较高的超高频电磁波传感器,对试验人员的素质和使用成本均较高。

(4) 超声波监测法。超声波是一种频率高于 20 kHz 的声波,该频率范围介于低频振荡和高频谐振电磁波之间,具有较高的方向性、良好的穿透能力。当 GIS 内部发生击穿时,放电点附近的 GIS 筒体外壳会产生超声波,而后超声波会沿着外壳表面朝着 2 个方向传播。通过测量 GIS 外壳每个位置传感器接收信号的时间顺序和幅值便可定位击穿点所在气室。该方法

既可以排除变电站低频振动噪声的干扰,使用成本也比超高频检测法低得多,特别适合用于特高压 GIS 现场耐压试验的击穿定位。

2 超声波定位原理及击穿定位系统

当 GIS 内部发生击穿放电时,电能极短的时间内释放出来,将 SF₆ 气体分子分解,电能转化成化学能。同时,在放电处产生大量的密度不同的分子成分,如 SF₄,HF,SO₂ 等。然后这些新生成的分子迅速膨胀,与 SF₆ 气体分子碰撞,将化学能转化成机械能。SF₆ 分子又与相邻的其他 SF₆ 分子碰撞,将机械能以波(含超声波)的形式传递出去。此时超声波有 2 条主要路径,如图 1 所示。第一条是直接通过 SF₆ 分子振荡到达超声波传感器所在位置,另一条是先通过 SF₆ 分子振荡达到最近的 GIS 金属外壳,再沿着外壳传播,并不断衰减,依次到达每个超声波传感器,如:

$$t = \frac{h}{v_1 \cos\beta} + \frac{X - h \tan\beta}{v_2} \quad (1)$$

式(1)中: h 为放电点到 GIS 管壁的垂直距离; β 为放电方向与垂直方向的夹角; v_1 和 v_2 分别为超声波在 SF₆ 气体中和沿着金属中的传播速度。

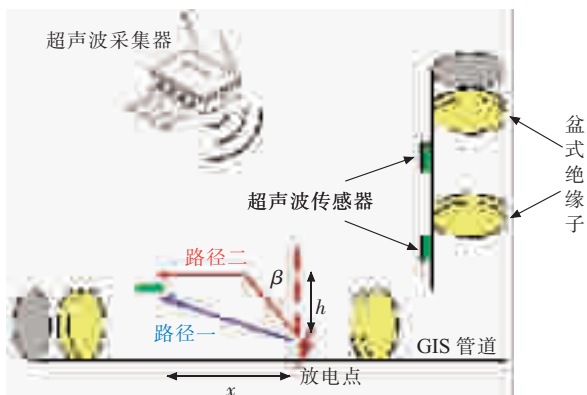


图 1 基于超声波检测原理的无线传感 GIS 击穿定位系统

由于 v_1 (约 6000 m/s) 远大于 v_2 (约 140 m/s),且超声波沿着金属传播更不易衰减,因而超声波将通过第二条传播路径最快到达传感器,且可以将 β 近似为 0,再考虑到表征超声波在金属中衰减的一维粘性波动方程,超声波在 GIS 管壁传输过程可进一步改写。如:

$$t = \frac{h}{V_1 e^{-\alpha X} \sin(\omega t - kX)} \quad (2)$$

式(2)中: V_1 为超声波到达 GIS 管壁的初始速度; α 可以用来描述超声波振荡强度随距离衰减程度,又叫做超声波吸收系数; k 为波矢量。

根据式(2),通过测量并计算 GIS 筒体外表面超声波传感器的响应时间 t 和超声波强度 v 即可判断击穿点所在位置,这 2 种判别方法分别称作时差比较法和

幅值比较法。

每个超声波传感器单元接收到超声波信号,再经信号放大、滤波、数模转换后,变成数字信号。带有超声波数字信息的数字信号会存储于与传感器相连的就地存储单元,并采用无线信号传输到附近的超声波采集器中收集起来。超声波采集器与终端控制计算机相连,处理收集到的信息,并判断击穿点所在位置。

一种典型特高压 GIS 击穿定位装置参数如表 1 所示。且针对特高压 GIS 管母线较长的特点做了优化设计。一是采用可扩展无线节点功能,可以根据特高压 GIS 实际需求扩展无线节点数量;二是无线节点之间可以互为中继,扩大了数据传输的范围;三是自带就地存储和显示功能,可以备份并校验终端计算机得到的判断结论。

表 1 典型特高压 GIS 击穿定位装置参数

参数	数值
频率范围 / kHz	10~200
最高采样率	40 MHz,可调节。
AD 转换位数	12 bits
单个传感器有效检测半径 / m	3
对时功能	具备多检测单元对时功能。
监测单元结构	传感器与监测单元一体化设计,无外部线缆连接。
信号显示方式	包括后台数据处理软件,以及就地 LED 信号指示等及显示屏。
供电方式	内置锂电池,连续工作时间 4 h。

3 特高压 GIS 现场击穿定位试验实例

在某特高压变电站 1100 kV 特高压 GIS 设备现场耐压试验过程中,发生了击穿现象,通过该方法迅速而准确地确定了击穿位置,为设备的检查和更换节省了时间,也验证了该方法用于特高压 GIS 击穿定位的可行性。如图 2 所示,该 1100 kV 特高压 GIS 设备采用 3/2 接线方式,本期为 1 个完整串及 3 个不完整串,共有出线 4 回。试验中所用装置及测控系统如图 3 所示,装置由冲击电压发生装置本体、分压电容、波头电阻、波尾电阻以及若干连接导线组成,试验中采用共地接线方式。试验中的控制信号、电气信号以及击穿定位信号统一集成到测量及击穿定位系统中,以便实时监控试验情况。

当对图 2 中 T043 断路器 B 相进行耐压试验时,GIS 内部传出巨大的声响,初步判定 GIS 内部发生了击穿现象,设备击穿后,就地定位单元显示 181 号、182 号、183 号传感器数值均超过报警值,发出报警信号,181 号幅值最强,182 号和 183 号稍弱。与此同时,终端计算机上超声波波形出现强烈的振荡。如图 4 所示。181 号传感器接收到的振荡信号强度 v 可达 2000 mV

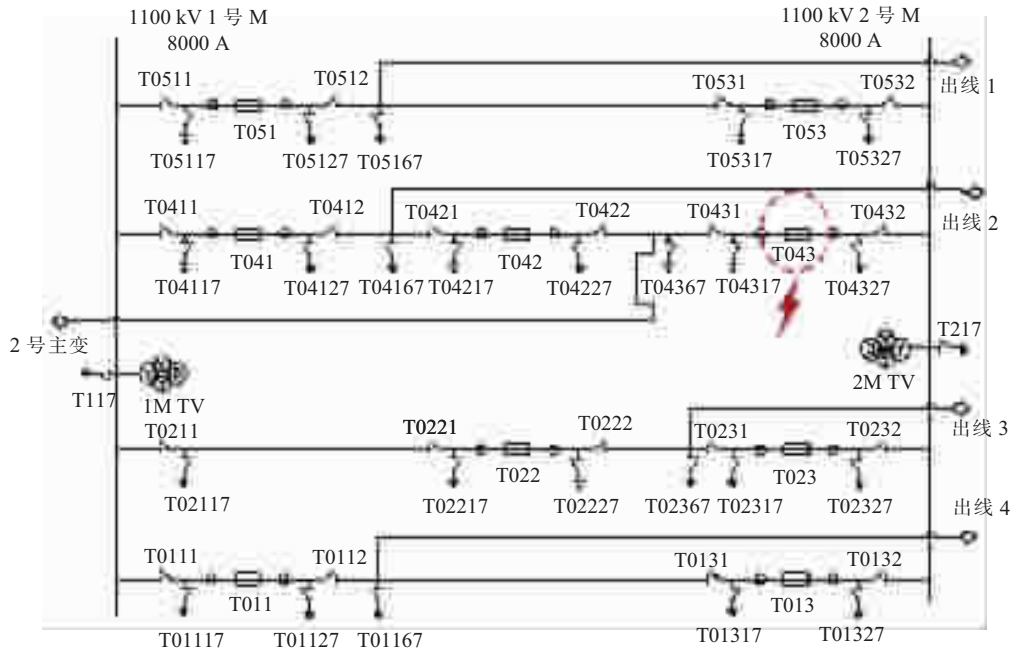


图2 击穿点所在位置

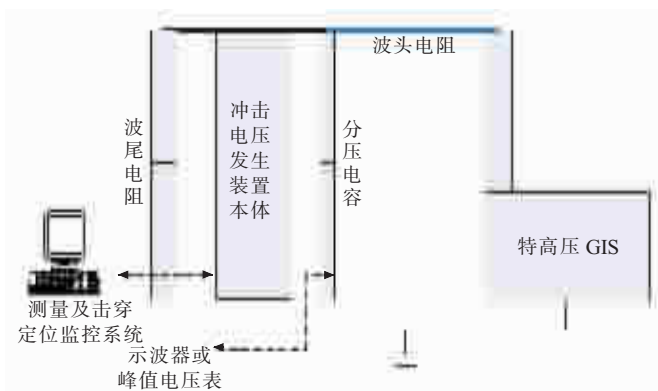


图3 标准雷电冲击发生器及其监控系统

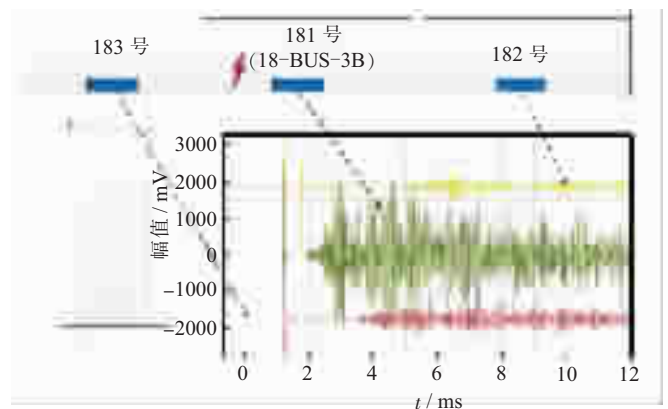


图4 击穿发生时刻传感器相对位置及其超声波振荡波形图

以上,而182号和183号传感器接收到的振荡信号强度 v 均在500 mV以下,181号传感器的震荡强度明显高于182号和183号传感器;从响应时间 t 上看,181号传感器在2 ms左右首先感受到振荡信号,182号和183号传感器分别在4 ms和5 ms左右时刻开始出现明显的振荡波形。根据前面的理论分析,并考虑到图4所示3个传感器所在气室的相对位置,可以判定击穿位置位于182号传感器所在气室,且靠近181号传感器的位置,即18-BUS-3B气室。打开该气室检查后发现,放电点位于图4所示位置,验证了前面的分析。与传统方法相比,采用该方法可以在击穿瞬间立刻判定击穿点所在位置,且精确度更高,避免了二次加压导致的对GIS设备损害以及试验时间的增加。

4 结束语

特高压GIS现场耐压试验可以在设备运行前及时发现其内部存在的潜在缺陷。击穿定位是试验过程中一个十分重要的环节。试验结果显示超声波监测法

更适合用于特高压GIS设备现场耐压试验的击穿定位。通过理论分析,设计了一种改进的基于超声波检测技术的击穿定位方法。在某特高压变电站1100 kV特高压GIS设备现场耐压试验过程中,采用该方法成功判断出击穿点所在位置,有效避免了二次加压导致的对GIS设备损害以及试验时间的增加,成功地解决了特高压GIS现场耐压试验中击穿定位的难题,为后续特高压GIS定位方法的选择提供了依据。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压交直流电网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 1-11.
- [2] 周云锋, 张子阳, 杨景刚, 等. 基于超声波法的GIS盆式绝缘子内部气隙放电特性研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 3-8.
- [3] 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.
- [4] 杨景刚, 贾勇勇, 赵科, 等. GIS内典型绝缘缺陷的局部放电信号超声特性分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(2): 10-14.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 颜湘莲,王承玉,季严松,等. 开关设备中 SF₆ 产物检测的应用[J]. 电网技术,2010,34(9):160-165.
- [10] 陈敏,白尧,汪涛,等. GIS 设备击穿放电定位技术研究与现场应用[J]. 高压电器,2014,50(6):81-90.

作者简介:

腾云(1987),男,山东沂水人,工程师,从事高压开关技术研究及

输变电设备状态评价工作;

赵科(1985),男,江苏无锡人,工程师,从事高压开关技术研究、输变电设备状态评价工作;

贾勇勇(1986),男,江西九江人,工程师,从事高压开关技术研究、输变电设备状态评价工作;

高山(1974),男,江苏盐城人,高级工程师,从事变电设备状态评价、全过程技术监督工作;

陶风波(1982),男,江苏常州人,高级工程师,从事输变电技术管理工作;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事输变电技术管理工作;

关为民(1989),男,山东滕州人,助理工程师,从事变电设备检修工作。

Research on Disruptive Discharge Positioning Method and Application

TENG Yun¹, ZHAO Ke¹, JIA Yongyong¹, TAO Fengbo¹, ZHOU Zhicheng¹, GUAN Weimin²

(1.State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2.State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to solve the difficulty of locating the breakdown spot of UHV gas insulated switchgear (GIS) in field over-voltage withstand testing, this paper summarizes several breakdown spot locating methods, as well as their advantages/disadvantages. Focused on an advanced ultrasonic-wave-detection method, this paper introduces the basic principle and system configuration. Through a practical case, we analyzes the judgment and locating methods of breakdown spot after breakdown discharge occurring in detail. This method offers a reference for breakdown locating method to UHV projects in future.

Key words: breakdown spot locating; ultrasonic-wave-detection method; UHV projects; UHV GIS

(上接第 23 页)

- [10] 马继先,刘少宇,战秀和,等. 500 kV 并联电抗器现场局部放电试验[J]. 高电压技术,2008,34(7):1531-1533.
- [11] 贺虎,邓德良,何春,等. 交流特高压晋东南变电站 1000 kV 变压器现场交接试验[J]. 电网技术,2009,33(10):13-18.
- [12] 张建坤,贺虎,邓德良,等. 特高压变压器现场安装关键技术及应用[J]. 电网技术,2009,33(10):1-7.
- [13] GB 50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准

[S].

- [14] Q/GDW 310—2009 1000 kV 电气安装工程电气设备交接试验规程[S].

作者简介:

吴鹏(1983),男,河南西平人,高级工程师,从事线圈类电力设备状态评估研究工作。

Partial Discharge Testing Scheme for Extra High Voltage Shunt Reactor

WU Peng

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Partial discharge testing is one of the most effective methods for inspecting the insulation condition of electrical equipment. Compared with the partial discharge testing of 1000 kV transformer, the partial discharge testing of 1000 kV reactor has the features of large capacity, complicated testing equipment, difficult shielding, and so on. In this paper, the configuration of testing device for 1000 kV shunt reactor, as well as its testing method, principle and calculation, are introduced. The main partial discharge test circuit of 1000 kV shunt reactor is analyzed. The testing parameters, such as test current, capacitance compensation, loss and so on, are calculated. The detecting sensitivity of PD detection circuit and anti-interference are analyzed. According to the testing equipment technical level, the parameters design and selection of main testing equipment's compensation capacitor, frequency conversion voltage, excitation transformer, and trap reactor are carried out. Finally, the basis for equipment development and field testing is provided.

Key words: extra high voltage; shunt reactor; partial discharge