

局部放电超声波检测技术在西藏首座 220 kV 变电站的应用

周勇军¹, 王 军¹, 甘德刚²

(1. 拉萨电业局, 西藏 拉萨 850000; 2. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072;)

摘 要:局部放电超声波检测技术作为非电量带电检测技术,能够避免现场复杂电磁环境的影响和干扰,有效地检查出 GIS 内部是否有局部放电产生,判断绝缘性能是否完好。近年来国网公司积极加强带电检测技术在电力生产中的应用与研究,四川电力科学研究院结合援藏契机,与拉萨电业局共同探索与研究超声波检测技术的现场应用。首先分析局部放电超声波检测技术的原理,并在阐述 GIS 不同缺陷的主要特征和识别方法的基础上,对西藏电网首座 220 kV 变电站进行了 GIS 局部放电超声波检测。检测发现该站 220 kV 虎曲 246 线 C 相分支出线水平段存在一定的局放现象。根据检测结果分析,提出了相应的建议以及维修措施。通过检测故障点 SF₆ 气体化学成分发现超声波检测技术能有效确定 GIS 局部放电情况并准确定位。

关键词:西藏; GIS 超声波检测; 局部放电; 金属颗粒

Abstract: Ultrasonic inspection and measurement technique of partial discharge is a non-electrical live-line detection technique which can avoid the complicated on-site electromagnetic interference, detect partial discharge generated inside GIS effectively, and finally judge the insulation condition. In recent years, State Grid has reinforced the application and research of the live-line detection techniques, and working together with Lasha Electric Power Bureau, Sichuan Electric Power Research Institute explores and studies the on-site application of ultrasonic inspection and measurement technique. The principle of ultrasonic inspection and measurement technique of partial discharge is firstly analyzed. Based on the description of main characteristics of different GIS defects and their recognition methods, the ultrasonic inspection and measurement of partial discharge of GIS is carried out in the first 220 kV substation of Tibet. It is found that partial discharge occurs in the outlet of C phase of 220 kV Huqu Line. According to the analysis of detection results, the corresponding suggestions and maintenance measures are proposed subsequently. Through analyzing chemical components of SF₆ in the fault point, it is found that the ultrasonic inspection and measurement technique can effectively determine the partial discharge of GIS and locate it accurately.

Key words: Tibet; GIS; ultrasonic inspection and measurement; partial discharge; metal particle

中图分类号: TM855 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0069-04

0 前 言

SF₆ 气体绝缘组合电器设备 (GIS) 因具有故障低、免维护等特点而在电力系统中被广泛使用。但是 GIS 的特殊性,使得除微水检测等少数试验项目外,现行高压电气设备预防性试验的大多数项目无法用于 GIS 长期以来几乎处于无维护状态^[1]。一旦 GIS 设备内部出现缺陷,一般不容易进行排查。为了缓解拉萨市用电紧张的局面,推动西藏地区的经济发展,220 kV 曲哥变电站作为西藏“十一五”规划的重点工程,已经于 2010 年建成投运。这是西藏电网首座 220 kV 变电站,也是目前世界上高海拔 (3 743 m) 电压等级最高的变电站。考虑到高海拔的外部环境,在

110 kV、220 kV 电压等级均采用了 GIS 设备。

GIS 设备发生局部放电、电晕等缺陷时,会伴随有电、声、光信号的产生^[2-3]。因此目前国内外广泛采用局部放电超声波检测技术等非电量测量法来检测 GIS 故障^[4]。通过收集这些声信号,并根据实际经验加以分析,可以对 GIS 的运行状况进行评估与判断^[5]。通过在西藏首座 220 kV 站开展的 GIS 超声波检测表明,局部放电超声波检测技术能有效地弥补目前 GIS 设备预防性试验方法的不足^[1],及时发现和避免 GIS 事故的发生,保障 GIS 设备的安全稳定运行。

1 局部放电超声波检测的原理

GIS 局部放电超声波检测技术是基于声发射原

理的检测方法。当 GIS 中的缺陷在电压作用下发生局部放电时,局部放电产生的能量使周围 SF₆ 气体的温度骤然升高,从而形成局部过热,所产生的扰动以压力波的形式传播,类型包括纵波、横波和表面波^[6,7,8]。不同的电气设备、环境条件和绝缘状况产生的声波频谱都不相同。GIS 中沿 SF₆ 气体传播的只有纵波,这种超声纵波以某种速度以球面波的形式向四周传播。由于超声波的波长较短,因此它的方向性较强,能量较为集中。当这种波到达 SF₆ 与金属外壳的交界面时,只有一部分透过金属外壳继续传播,大部分被反射或折射。如果把超声传感器紧贴在 GIS 金属壳体的外部,就可接收到局部放电产生的超声波信号。如果缺陷为金属颗粒,则当电场的库仑力超过颗粒的重力时,颗粒就开始上下跳动,从而碰撞金属外壳。每碰撞一次,将发射一宽带瞬时超声脉冲,并在壳体内来回传播。来自这种颗粒的声音信号是颗粒端部的局部放电和颗粒碰撞壳体的混合信号,超声传感器同样也可以进行检测^[8]。

GIS 发生局部放电等缺陷时,其声发射频谱集中在 20~100 kHz 由于超声波检测是非侵入式的,可对局部放电源进行测量且不影响 GIS 正常运行^[9]。在信号采集过程中,声波不但要在某一介质中产生衰减,而且还会在不同媒质界面上产生反射、折射并在波阻抗不匹配的两种界面上产生衰减。因此,信号成分比较复杂且高频部分衰减很快,能够采集到的声信号是比较微弱的。近年来随着传感器技术的发展,使得超声波检测的灵敏度大大提高^[8,10]。

来自不同类型、不同位置和不同大小的缺陷的声信号具有各自的特点,根据这些特点可以对缺陷类型进行识别,甚至进行危险性评估。但其缺点是:声信号的幅值随传感器远离故障点而快速衰减,只有当传感器位于故障点附近时才能获得最大灵敏度^[8,11]。因此,为了寻找缺陷就需要花费较长时间,但正是该缺点使得声测法具有故障定位的能力。

2 GIS 不同种类缺陷的主要特征以及识别方法

GIS 内部发生缺陷的主要形式是自由颗粒、电晕和局部放电等^[18,12,13]。通过对采集信号的有效值、峰

值、有效值与峰值的比例关系、工频频率的相关性、二倍工频频率的相关性等进行分析,可以判断是否存在缺陷。这些缺陷可能是在工厂制造或现场安装过程中产生,也可能是在正常运行中产生的(例如快速接地开关或断路器的操作产生的颗粒)^[14]。颗粒缺陷的信号水平高,信号幅值波动范围大,信号峰值与有效值的比值较大,50 Hz 及 100 Hz 信号含量小;局部放电缺陷的信号水平高,信号幅值波动范围小,信号水平稳定,信号峰值与有效值的比值较大,50 Hz、100 Hz 含量都有,但 100 Hz 信号比 50 Hz 信号高;电晕缺陷的 50 Hz 频率相关性较强,信号峰值与有效值的比值低,信号的频率成分较窄,一般小于 80 kHz。不同缺陷的主要特征如表 1 所示^[8,11]。

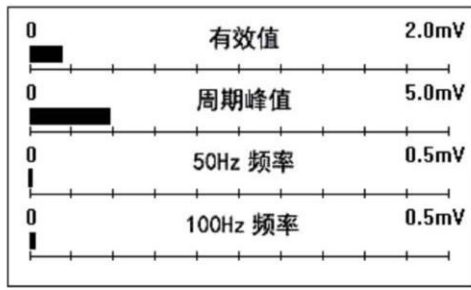
表 1 GIS 不同种类缺陷的主要特征

参 量	缺 陷		
	自由颗粒缺陷	电晕缺陷	局放缺陷
信号水平	高	低	高
峰值/有效值	高	低	高
50 Hz 频率相关性	无	有	有
100 Hz 频率相关性	无	无	有

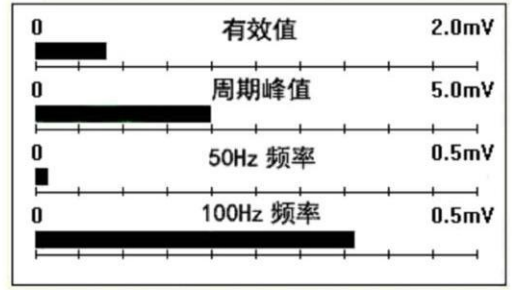
因此针对不同缺陷的信号特点,在利用超声波进行 GIS 故障检测时,应采用不同的测量方式来进行检测。目前的超声波检测系统一般有连续测量方式、脉冲方式以及相位方式等 3 种测量方式^[8,15]。连续测量方式能提供信号的有效值、周期峰值、100 Hz 频率成分以及 50 Hz 频率成分,提供故障判断、识别的初步数据,是快速故障识别的数据来源;脉冲方式反映了颗粒的幅度与飞行时间关系,主要用于自由颗粒的测量,如果在连续测量方式中初步判断可能存在颗粒,可采用脉冲测量方式进行进一步确认;相位方式反映的是放电的幅度与相位关系,相位方式主要用于局部放电和电晕,用来判断测量信号是否和工频周期存在关系。

3 超声波检测技术在西藏 220 kV 变电站的应用

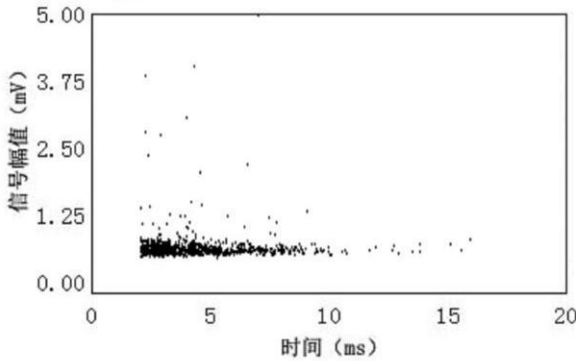
为了保证西藏首座 220 kV 变电站的正常运行,从该站投运后即定期对站内 220 kV GIS 开展局部放电超声波检测。由于 GIS 是 3 相分体的,因此需对每相进行至少 20 个点的测试,位置一般在出线筒侧的下方。在超声波检测时发现 A、B 两相的测试数据和背景信号非常接近。分析认为 A、B 两相中没有发生



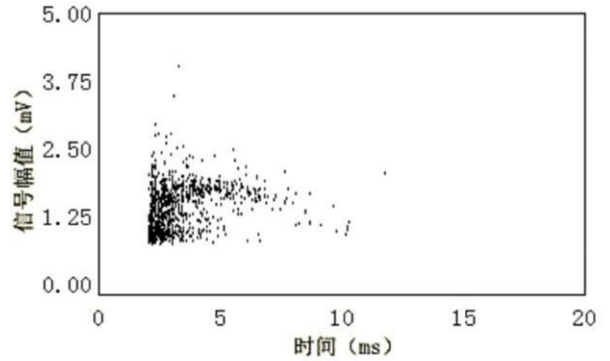
(a) 连续测量方式



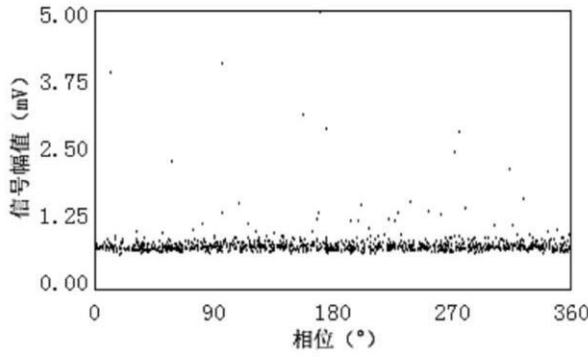
(a) 连续测量方式



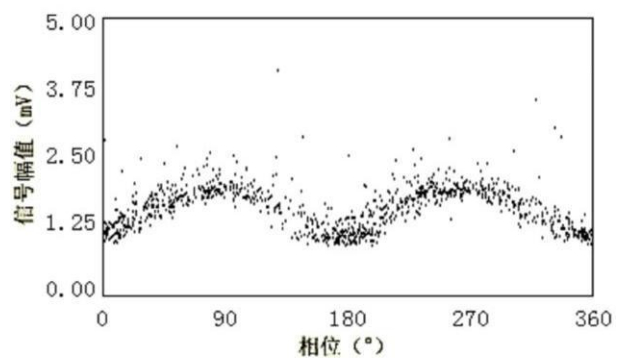
(b) 脉冲方式



(b) 脉冲方式



(c) 相位方式



(c) 相位方式

图 1 A 相的超声波测试数据

图 2 C 相的超声波测试数据

局部放电现象。图 1 所示为 A 相在三种测量方式下的测试结果。

GIS 内部的局部放电情况。

但是在虎曲 246 线 C 相分支出线的水平段在测试过程中发现有较明显的放电信号, 测试结果如图 2 所示。其中 100 Hz 频率成分信号较大。通过对连续测量和相位方式测试数据的综合诊断分析, 可以判定此处存在特征明显的局部放电现象。由于检测到的局部放电信号比较弱, GIS 设备可继续运行, 但需要进行跟踪监测, 一旦测试到的局部放电故障数据存在增长趋势, 建议厂家进行现场检修。而后通过对 C 相分支出线内的 SF₆ 气体进行化学成分检测时, 发现存在有局部放电时 SF₆ 产生的少量特征分解物质, 这样通过化学检测方法证实了超声波检测的测试结果是可靠的, 能有效地确定

4 结 论

通过对 GIS 超声波检测原理与 GIS 缺陷识别方法的分析, 以及在西藏首座 220 kV 变电站开展的 GIS 局部放电超声波检测应用表明, 超声波检测技术能在不影响设备正常运行的情况下有效地确定 GIS 局部放电情况并准确定位。

参考文献

- [1] 姚勇, 岳彦峰, 黄兴泉. GIS 超高频 超声波局部放电检测方法的现场应用 [J]. 高电压技术, 2008, 34(2): 422-424.

[2] 游一捷, 黄继, 邓巨怡, 等. 用局部放电超声故障探测仪探测电缆头故障 [J]. 高压电器, 2000, 18(1): 59—60.

[3] 舒乃秋, 胡芳, 周黎. 超声传感技术在电气设备故障诊断中的应用 [J]. 传感器技术, 2003, 5(22): 1—4.

[4] 王建生, 邱毓昌. 气体绝缘开关设备中局部放电在线监测技术 [J]. 电工电能新技术, 2000(4): 44—48.

[5] 罗勇芬, 黄平, 赵文炎, 等. 多局部放电源的电磁波和声信号时序分析 [J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 22—26.

[6] 陆瑾, 袁聪波, 孙骏, 等. 变压器局部放电的声电联合检测技术应用 [J]. 华东电力, 2006, 34(9): 78—80.

[7] 罗勇芬, 李彦明, 刘丽春. 变压器局部放电的超声波和射频联合检测技术的现状和发展 [J]. 变压器, 2003, 40(12): 28—30.

[8] 北京兴迪仪器有限公司. AE900型局部放电故障检测仪技术资料 [Z]. 中国: 北京兴迪仪器有限公司, 2008.

[9] DL/T 555—2004. 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则 [S].

[10] 李晨焱, 时卫东. GIS局部放电监测中超声波法与超高频法的比较 [J]. 科技经济市场, 2006, 17(10): 23.

[11] 苑舜. 全封闭组合电器局部放电超声传播特性及监测问题的研究 [J]. 中国电力, 1997, 30(1): 7—10.

[12] 金立军, 张明锐, 刘卫东. GIS局部放电故障诊断试验研究 [J]. 电工技术学报, 2005, 20(11): 88—92.

[13] 金立军, 胡青, 邱国海, 等. GIS电晕放电监测 [J]. 高电压技术, 2005, 31(3): 25—27.

[14] 金立军, 刘卫东. GIS金属颗粒局部放电的实验研究 [J]. 高压电器, 2002, 38(3): 10—13.

[15] Power Diagnostix Corporation. AIA compact Acoustic Insulation Analyzer Use Manual [Z]. Germany: Power diagnostix corporation, 2005.

作者简介:

周勇军 (1975), 男, 工程师, 从事电力生产技术管理工作。

(收稿日期: 2011—04—18)

(上接第 28 页)

作用效果并不明显。

4 结 论

在 Simulink 中搭建单机无穷大系统系统, 将其与 SaDE 算法程序相结合, 进行了电力系统稳定器的参数优化设计。综合考虑励磁系统和电力系统稳定器的性能, 按照 ITAE 准则选择系统的控制目标, 把电力系统稳定的参数设计问题转化为带有不等式约束的寻优问题。将在 Simulink 中搭建的无穷大系统进行了对电力系统稳定器作用效果的仿真。仿真结果显示, 使用 SaDE 算法优化设计的电力系统稳定器作用效果良好, 超过了经 CIPSO 算法优化的电力系统稳定器。自适应差分进化算法是一种具有较好的全局搜索能力和寻优速度的群体智能优化算法。

参考文献

[1] 束洪春. 电力工程信号处理应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 197—198.

[2] 李莉. 基于遗传算法优化权值的 H^∞ 电力系统稳定器的设计 [D]. 济南: 山东大学硕士论文, 2007.

[3] A. K. Qin, V. L. Huang, P. N. Suganthan. Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization [J]. IEEE Transaction Evolu-

tionary Computation, 2009, 13(2): 398—417.

[4] 范国英, 郭雷, 孙勇, 等. BFO—PSO 混合算法的 PSS 参数优化设计 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(6): 28—31.

[5] 吴峰, 陈维荣, 李奇, 等. 基于粒子群优化算法的 PSS 参数优化 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 53—58.

[6] J. J. Liang, A. K. Qin, Ponnuthurai Nagarathnam, Suganthan, S. Baskar. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transaction Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 67—82.

[7] J. J. Liang, A. K. Qin, Ponnuthurai Nagarathnam, Suganthan, S. Baskar. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. IEEE Transaction Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 67—82.

作者简介:

杨祉涵 (1985), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定控制。

张雪霞 (1979), 女, 博士研究生, 研究方向为群体智能算法、电力系统无功优化等

李 奇 (1984), 男, 博士研究生, 研究方向为群体智能算法、电力系统稳定控制等。

邓美玉 (1987), 女, 硕士研究生, 研究方向为智能电网及新能源应用。

(收稿日期: 2011—04—02)