

GIS 同频同相交流耐压技术的研究与应用

马云龙 郝金鹏 李秀广 刘世涛 郭飞

(国网宁夏电力公司电力科学研究院, 银川 750002)

摘要 针对气体绝缘金属封闭开关 (Gas Insulated Switchgear, 简称 GIS) 变电站在母线不停电条件下, 无法进行交流耐压的实际问题, 探索应用基于同频同相交流耐压技术在 GIS 设备上进行交流耐压试验的新方法。在原有试验方法的基础上, 分析 3/2 接线方式下试验方法, 对后续试验提供了借鉴作用。

关键词: 气体绝缘封闭开关; 同频同相; 交流耐压

Research and Application of the Same Frequency and Phase AC Withstand Voltage Test Technique of GIS

Ma Yunlong Hao Jinpeng Li Xiuguang Liu Shitao Guo Fei

(Power Research Institute of the State Grid Ningxia Power Company, Yinchuan 750002)

Abstract Aiming at the problem that the AC withstand voltage test cannot proceed without a power outage in GIS substation, a new method is discussed the application of the same frequency and phase AC withstand voltage test technique of GIS. The test method of 3/2 connection mode is analyzed based on previous experience, which can provide a reference to the next work.

Keywords: gas insulated switchgear(GIS); same frequency and phase; AC withstand voltage test

气体绝缘金属封闭开关设备 (Gas Insulated Switchgear, GIS) 由于其占地面积小, 集成度高, 安全性强, 可靠性较高, 维护工作量小等优点, 在用地愈发紧张的现代电网中得到大量应用^[1-2]。对于扩建的高电压等级 GIS 设备, 在投运前必须进行现场绝缘交流耐压试验来验证设备是否具备投运条件^[3]; 早期投运的 GIS 设备随着使用年限的增长, 由统计数据显示, 在投运 5 至 10 年时, 因为部件老化或其他原因有较高几率造成 GIS 故障^[4], 为保证其绝缘性能, 经解体检修, 投运前必须通过现场交流耐压试验。根据 GIS 现场试验相关标准的规定^[5-6], 在进行现场交流耐压试验时, 考虑被试间隔进行耐压时可能出现的击穿对原有设备造成危害, 必须采取原有相邻间隔断电并进行接地。但随着电网供电可靠性要求的不断提高, 停电将造成极大的政治、经济损失, 这就需要采用一种无需 GIS 母线全停的试验技术——GIS 同频同相交流耐压技术就是在这种试验条件应运而生。

GIS 同频同相交流耐压技术是由国网重庆电力科学研究院于 2012 年提出并成功研制出试验设备,

至 2015 年底已在重庆、广东等地得到大量实际应用, 其中 2015 年 5 月, 在宁夏凯歌 330kV 变电站 110kV GIS 扩建工程中首次在全站不停电情况下进行了耐压试验, 取得了较好成效。

现有《气体绝缘金属封闭开关设备同频同相交流耐压试验导则》(下文简称《导则》) 中对 252kV 及以下 GIS 设备不停电条件下的试验方法做出了规范。本文结合《导则》中提出的试验方法, 分析 GIS 同频同相耐压技术在 3/2 接线方式下的试验方法, 对将来进行的试验提供参考作用。

1 同频同相交流耐压试验技术简介

1.1 隔离开关断口处电压分析

现场不停电条件下, 进行 GIS 设备的交流耐压时, 被试间隔与母线相连的隔离开关端口两侧的电压在考虑击穿的情况下, 此时假设试验电压角频率为 ω_1 、初始相位 ϕ_1 , 母线电压的角频率为 ω_2 、初始相位 ϕ_2 , 幅值分别为 U_1 和 U_2 , 则断口电压差为

$$\Delta U = U_1 \sin(\omega_1 t - \phi_1) - U_2 \sin(\omega_2 t - \phi_2) \quad (1)$$

根据现行规程的要求,当采取 100%出厂试验电压进行耐压时,最大电压差为 U_1 与 U_2 之和,以 363kV 电压等级的 GIS 为例,其峰值电压差最大可达 1018kV,如图 1 (a) 中所示,该条件下对于隔离开关断口处绝缘是一个极大的考验;若此时进入同频同相状态,即 $\omega_1=\omega_2$,初始相位相同 $\phi_1=\phi_2$,此时压差最大值为 U_1 与 U_2 之差,如图 1 (b) 所示,可以发现此时隔离开关断口处压差有很大改善。

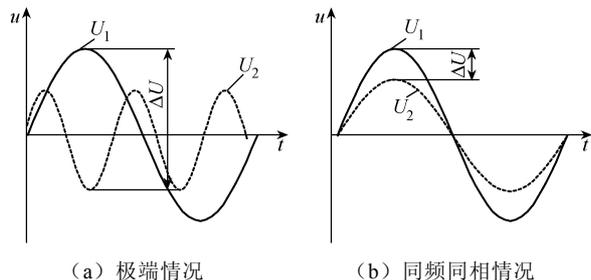


图 1 断口电压波形

文献[7]针对 121kV GIS 设备不停电耐压试验时出现隔离开关击穿情况进行了仿真分析,结合多种 GIS 设备参数时的仿真结果,可以发现击穿后都会出现 ns 级的快速暂态过电压 (VFTO) 在 GIS 母线以行波的形式传播,而 VFTO 对 GIS 设备主回路的安全运行带来极大风险,尤其是 VFTO 的电压过冲可达到额定运行电压的数倍,对 GIS 设备绝缘带来极大冲击,造成设备损坏^[8]。由上述分析可以发现,GIS 进行现场不停电交流耐压试验时,采用同频同相技术很有必要。

1.2 GIS 同频同相交流耐压试验原理

GIS 同频同相交流耐压技术将锁相环技术与目前大量应用的串联谐振技术有机结合起来,通过采集临近母线电压互感器上的电压信号作为参考信号,经过阻抗匹配、滤波、信号放大后,对比实际输出的电压信号的相位差,改变变频电源输出电压的频率与相位角,从而实现输出电压与参考电压之间的同频同相锁定状态。典型锁相环结构^[9]如图 2 所示,由鉴相器、环路滤波器、压控振荡器组成一个反馈回路,目前同频同相状态下可以实现试验电压与运行电压相位差在 1° 以内。

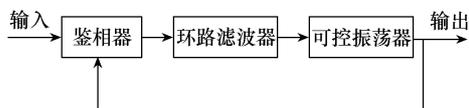


图 2 锁相环基本结构

同频同相输出试验电压采用调感式串联谐振耐压试验装置,同频同相电源给出电源电压 U ,通过

调节电抗器的电感量^[10],实现串联谐振,因此,可匹配多种电压等级、不同容量的 GIS 设备。同时可将试验设备集成,避免因试验场地限制造成的影响,其原理如图 3 所示。

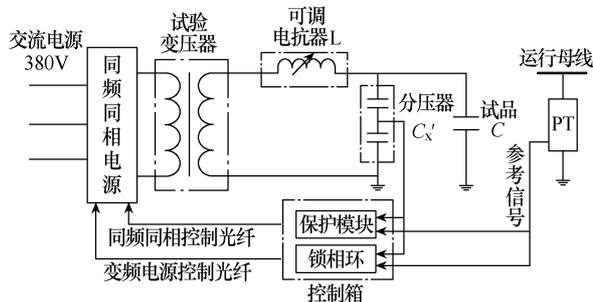


图 3 同频同相交流耐压试验设备原理框图

调节电抗器电感量 L ,使得图 3 中分压器电容 C'_x 与被试 GIS 的等值电容 C 之和 C_x 与 L 相等时,如下

$$\omega L = \frac{1}{\omega C_x} = QR \quad (2)$$

式中, R 为试验回路中等值电阻; Q 为品质因数,一般在 50 以上; ω 为电压角速度,调感式串联谐振中频率近似为 50Hz,即 $\omega=100\pi$ 。此时,电抗器上的压降与电容上的压降在数值上相等,此时被试 GIS 上的电压为

$$U_{C_x} = U_L = QU \quad (3)$$

此时可以实现用较小的试验电压 U 得到被试 GIS 设备上高电压等级的 U_{C_x} 。

2 同频同相耐压试验方法

2.1 单母线、双母线同频同相试验方法

当 GIS 采用单母线、双母线接线方式时,可参照《导则》中使用的试验方法进行。图 4 为单母线试验接线,图 5 为双母线时扩建间隔带 I 母进行耐压试验,II 母不停电的接线。

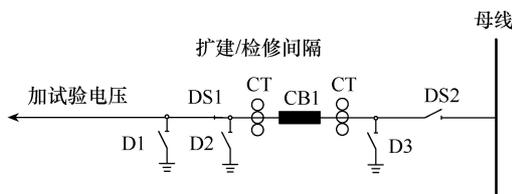


图 4 单母线时耐压试验接线示意图

2.2 3/2 接线 GIS 同频同相试验方法

当采用 3/2 接线方式时,由于该接线方式运行较为灵活,需要分以下几种情况进行分析。

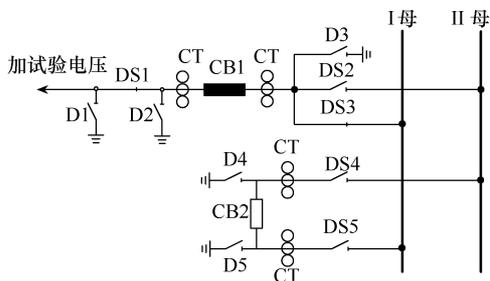


图 5 双母线时耐压试验接线示意图

1) 3/2 接线 GIS 间隔扩建或整体检修

对新建或检修的完整间隔进行交流耐压试验时,试验方法如图 6 所示,从出线套管处进行加压,另一出线套管悬空,与母线连接的隔离开关 DS1、DS6 断开、其余隔离开关合闸,间隔中所有接地开关断开,断路器处于合位, I 母、II 母均处于运行状态,从母线 PT 二次端子处取得参考电压。多个间隔进行时,在试验电源容量允许的条件下,可用加压线将邻近出线套管并联后进行加压,每个间隔运行方式可参考单个间隔方式。

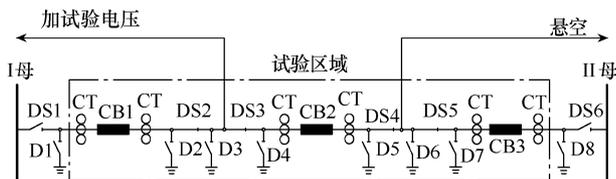
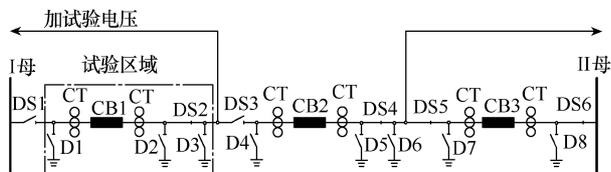


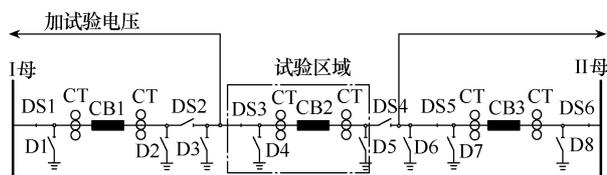
图 6 间隔扩建或检修时耐压试验接线示意图

2) 3/2 接线 GIS 间隔部分检修

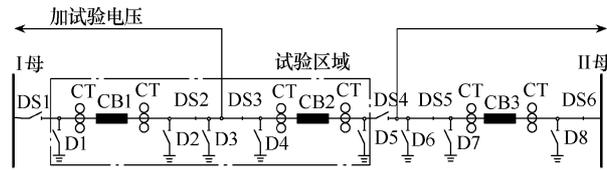
当完整间隔中部分进行检修后,线路侧无法停电时,可采用同频同相技术。下面分为三种情况进行分析:3/2 接线的一条完整间隔中单个断路器间隔检修后进行交流耐压时,如图 7 (a)、(b) 所示,此时由出线套管处加压,另一出(进)线可不用停电,被试断路器间隔处断路器处于合闸位置、接地开关处于分闸位置,与相邻断路器间隔或母线连接的隔离开关处于分闸位置,原有间隔处于运行状态;一条完整间隔邻近两个断路器进行检修后试验如图 7 (c) 所示,此时只需将相邻连接的隔离开关合上,从出线套管处加压。



(a) 间隔扩建或检修时交流试验接线图



(b) 间隔扩建或检修时耐压试验接线图



(c) 间隔扩建或检修时耐压试验接线图

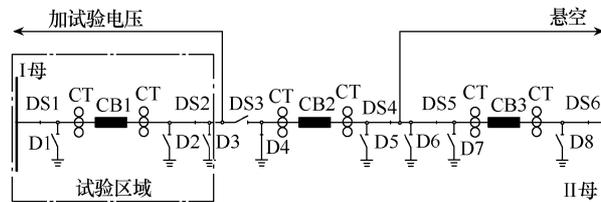
图 7 部分间隔进行检修后耐压试验接线示意图

对于同间隔中两个近母线侧断路器间隔(如图 7 中 CB1 和 CB3 所示)进行试验,可从分两次分别进行耐压,或者参考整条间隔试验的方法。

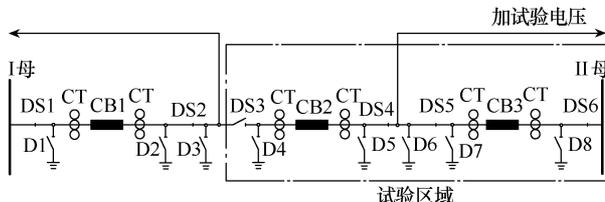
3) 3/2 接线 GIS 母线与间隔扩建

当 3/2 接线条件下,新建母线与间隔进行耐压试验时,将负荷转移至 II 母, I 母进行停电,将扩建母线与 I 母相连,扩建 II 母段先不连接,闭合隔离开关 DS1—DS2、DS4—DS6, DS3 处于分位,将未耐压段接地开关 D4 闭合,其余处于分位,断路器 CB1—CB3 都处于合位,运行方式如图 8 (a) 所示,此时试验电压由出线套管处加入,参考电压由运行 PT 处取得,对标示部分进行耐压。

耐压通过后,原加压侧套管接线工作完成后,将负荷倒至 I 母, II 母停电,此时扩建 II 母段与 II 母对接,断开接地开关 D4,此时运行方式如图 8 (b) 所示,从另一侧出线套管处加压。试验中参考电压由运行母线侧 PT 取得。



(a) 扩建间隔与 I 母进行耐压



(b) 扩建间隔与 II 母进行耐压

图 8 扩建母线及间隔进行耐压试验示意图

4) 3/2 接线 GIS 母线解体检修

当母线（下面以 I 母为例）需要解体检修时，此时将负荷转移至 II 母，试验电压由距离故障段最近段出线套管处加压，断开该间隔隔离开关 DS3，闭合隔离开关 DS1—DS2、断路器 CB1，该间隔其余设备可保持原有运行方式，如图 9 所示。其他间隔与 I 母相连的隔离开关断开，参考电压从运行 II 母 PT 处取得；也可根据现场条件需要将 CB2、DS4 断开，然后闭合 D4。

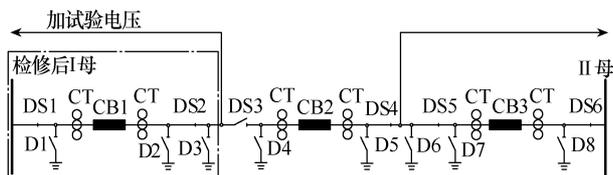


图 9 母线解体检修后进行耐压试验示意图

3 应用效果

2015 年 5 月 27 日，宁夏地区在中卫 330kV 凯歌变电站 110kV GIS 扩建工程中首次应用该技术。中卫地区属于工业用户较多地区，负荷较大，若凯歌变 110kV 母线停电，将造成该站周围厂矿企业停产，带来极大的经济损失。因此，在该站停电困难的情况下，经多方协商，决定采用同频同相交流耐压技术进行不停电条件下，试验按照《导则》中规定的试验方法，对凯歌变 110kV I 母分段间隔、I 母母线、及某线扩建间隔进行交流耐压试验。

为保证试验顺利进行，试验前由运维人员、试验人员多次复核试验接线，着重对 PT 中采样信号线进行检查，避免因接线错误造成输出电压相位错误；试验人员对被试设备的气室气压、运行方式进行检查，减少试验中击穿的几率；同时检查运行间隔的继电保护，防止试验设备击穿后保护误动造成越级跳闸。

扩建间隔设备顺利通过了耐压试验，投运后有效缓解了中卫地区的用电紧张的局面；同时，避免因停电带来的经济损失，也提高了电网企业在用户的口碑。

4 结论

GIS 同频同相交流耐压技术有效解决了传统交流耐压方法需要母线停电的问题，能够避免因此带来的经济损失和社会影响，有效提高供电可靠性。试验设备集成度高，采用调感式串联谐振，在容量允许的条件下，可以对多种电压等级的设备进行试验，可推广至更高电压等级。该技术可以在单母线、双母线接线方式下进行试验，也可以推广至 3/2 接线方式下耐压试验，实现一套设备对应多种接线方式的灵活配置。

参考文献

- [1] 刘洪正. 高压组合电器[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [2] 陈飞. GIS 设备的发展和应用研究[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院 浙江大学, 2007.
- [3] 杨堃, 李炜, 宋杲, 等. 2013 年高压开关设备运行分析[J]. 智能电网, 2014(6): 32-41.
- [4] 赵国锋. GIS 母线扩建接口的应用及探讨[J]. 电气制造, 2014(5): 45-47.
- [5] DL/T 618—2011. 气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程[S].
- [6] 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].
- [7] 王谦, 吴高林, 徐瑞林, 等. GIS 设备不停电交流耐压试验时母线隔离断口击穿的仿真分析及防止措施[J]. 高压电器, 2013(4): 98-104.
- [8] Stosur M, Szewczyk M, Piasecki W, et al. GIS disconnecter switching operation-VFTO study[C]//Proceedings of the International Symposium, 2010: 1-5.
- [9] 王照峰, 王仕成, 苏德伦. 锁相环电路的基本概念及应用研究[J]. 电气应用, 2005, 24(8): 119-121.
- [10] 印华, 王谦, 龙英凯. GIS 同频同相交流耐压试验技术解析[J]. 智能电网, 2015(7): 679-682.

作者简介

马云龙(1988-), 男, 新疆库尔勒市人, 硕士, 助理工程师, 主要从事电气设备性能技术监督工作。