

一起110 kV GIS断路器缺相故障分析与处理

GIS设备因其诸多优点，在电网系统得到了越来越多的应用，但由于GIS结构的全封闭性，使得其内部缺陷难以准确诊断。分析了一起110 kV GIS断路器缺相故障而导致的全站停电事故，首先对故障发生过程及特征进行了简要描述，发现了导致故障产生的原因，并给出了检修方案。通过此次事故分析，对GIS设备的运行维护具有一定的借鉴意义。

罗 杨 吴 雄 蔡 川 黄 昆 邱 炜 彭晓娟/国网成都供电公司

0 引言



罗 杨/高级工程师

随着电力工业技术的发展，GIS即SF₆全封闭组合电器在变电站的运用日益广泛，相对于常规敞开式配电装置，其具有体积小、技术性能优良和设备运行可靠等优点^[1-2]，但也对运行维护存在一些负面影响。由于GIS属于全封闭式，其内部绝缘件（如盆式绝缘子、绝缘支座和绝缘拉杆等）会存在质量不良、安装不当或老化等缺陷，而且难以采用较为直观的试验手段发现这些缺陷^[3-6]；GIS中的SF₆气体可能存在泄漏、水分超标和纯度不合格等缺陷^[7-9]。同时，GIS弹操/液压机构、传动连杆和紧固螺栓等也会导致GIS出现故障，从而影响供电可靠性^[10]。GIS出现故障时，由于其紧凑密闭等特点，故障位置往往难以确定，检修难度也比常规设备大。因此，应加强GIS在出厂、安装、验收和运行维护等全过程的管理，及时发现并处理缺陷，避免GIS故障发生或扩大，提高供电可靠性。

关键词/Keywords

GIS ·
断路器 ·
缺相故障 ·
全站停电 ·

本文分析了一起110 kV GIS操动机构螺栓松动导致断路器合闸不到位，而引起GIS断路器非全相导通，最终导致全站停电的事故，并提出了GIS设备的全过程技术监督建议。

1 故障过程及特征分析

1.1 故障前运行方式

某110 kV GIS站的一次接线如图1所示，其为内桥接线，两条电源进线分别为110 kV 151间隔进线及110 kV 152间隔进线，10 kV为单母分段接线。

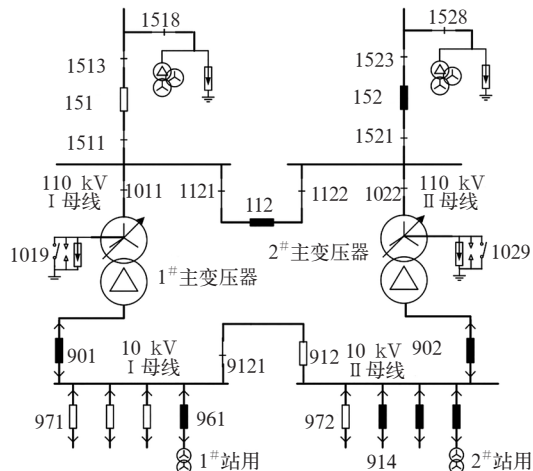


图1 事故变电站故障前运行方式

该变电站事故前正进行解环操作，151断路器、152断路器和110 kV内桥112断路器均在合位。此时1#主变压器中性点接地运行，2#主变压器中性点不接地运行，901断路器、902断路器在合位，10 kV分段912断路器在分位。

1.2 故障发生经过

(1) 1#号主变压器动作情况

在151断路器、112断路器和152断路

器合环运行时,从图2故障录波可以看出,在151断路器拉开前,151断路器有负荷电流,而152断路器基本无电流。从该现象可以推测此时152断路器触头处的阻抗较151断路器大许多,甚至断开。07:54:52:251,拉开151断路器,151断路器电流消失,152断路器B、C相流过负荷电流,但A相无电流,如图2所示。由于该变电站无母线TV,因此无法检测母线电压。

此时全站负荷基本由152断路器B、C两相提供电源,造成非全相运行。由于1#主变压器中性点接地运行,B、C两相合成的零序电流通过1#主变压器中性点入地,因此1#主变压器高后备保护感受到了二次1.81 A的零序电流(一次电流217.2 A),如图3所示。经3 005 ms延时,保护起动,主变压器高后备保护零序过电流III段动作,跳开112断路器、901断路器,10 kV I母线失电压。

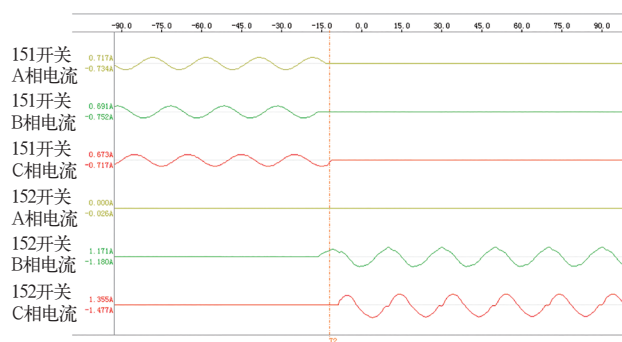


图2 拉开151断路器后151、152断路器TA电流波形

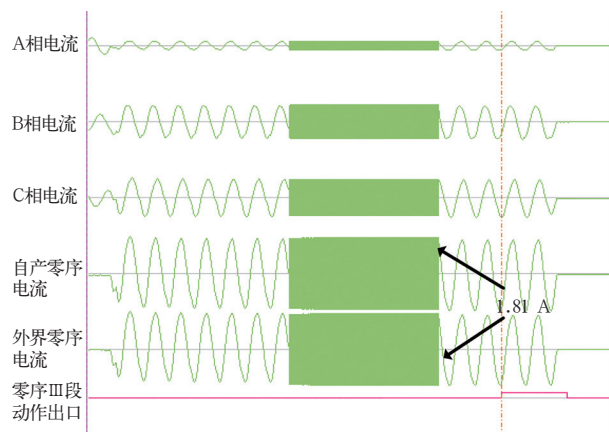


图3 1#主变压器套管TA电流及零序电流波形

当全相运行时,主变压器中性点电压为0;当缺A相运行时,对于1#主变压器(中性点接地)而言,其中性点电压为0,但是对于2#主变压器(中

性点接地开关断开)而言,其中性点电压相量如图4所示。2#主变压器中性点电压值约为正常相电压的1/2,即 $U_{1N}=U_C/2=U_B/2=31.8\text{ kV}$,该电压方向与原A相电压方向相反。此时,1#、2#主变压器中性点存在电压差,将会形成从2#主变压器中性点经1#、2#主变压器A相绕组再到1#主变压器中性点的电流。因此,1#主变压器A相套管TA会检测到电流。1#主变压器中性点TA也会检测到零序电流,导致1#主变压器后备保护动作。如图5所示。

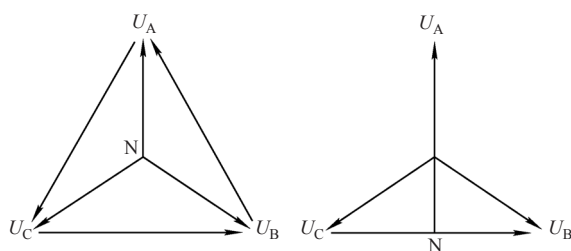


图4 正常时的三相电压和缺相时的中性点电压

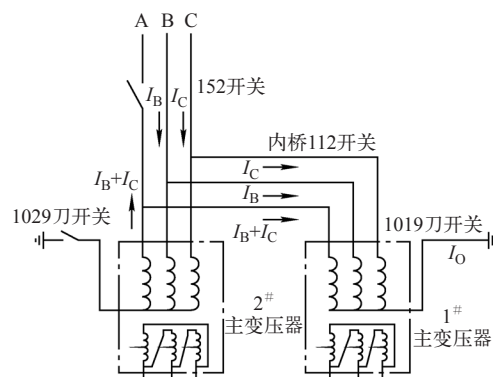


图5 A相缺相时电流路径示意图

(2) 全站失电压过程

112断路器跳开后,内桥112断路器电流消失,152断路器B、C两相电流减小,152断路器A相出现负荷电流,幅值与B、C两相接近,152断路器三相负荷电流恢复正常,如图6所示。

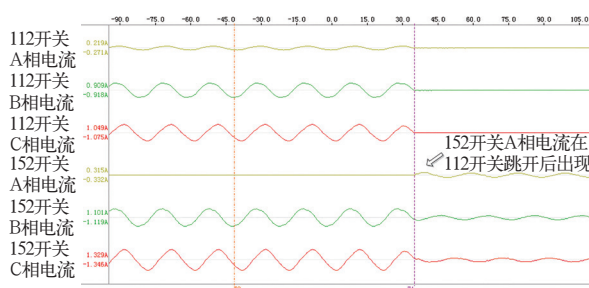


图6 112断路器跳开后152断路器电流变化情况

152断路器三相电流恢复正常后,经过约10 min左右,08:05:52:587,2[#]主变压器保护感受到152断路器TA C相故障电流,二次值为37.5 A(一次电流值6 000 A),2[#]主变压器差动保护动作,比率差动出口跳开152断路器、902断路器。152断路器、902断路器跳开后,全站失电压。然而,152断路器TA此时仍持续感受到故障电流,16.5 ms后,152断路器采集到三相故障电流,二次值为29.4 A(一次电流值4 704 A),如图7所示。

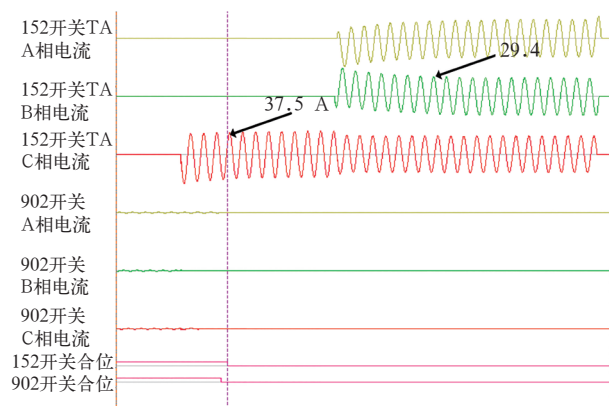


图7 2[#]主变压器差动保护录波

从现场GIS设备结构特点可以看出,152断路器和152断路器TA位于同一气室,且152断路器TA位于靠线路侧,152断路器线路保护和2[#]主变压器差动保护的保护区如图8所示。主变压器差动保护跳开152断路器后,接地故障仍未切除,TA仍有电流,直到8:05:53:228,152间隔对侧站线路保护动作跳开对侧断路器,TA电流为0,故障才被切除。因此,可以推断故障范围大致位于152断路器与152断路器TA之间,其故障过程为GIS内部首先发生了A相单相接地故障,继而发展到三相接地故障。

2 故障查找

2.1 SF₆分解产物检测

故障发生后,对152断路器气室(152断路器和152断路器TA位于同一气室)开展SF₆气体诊断试验,发现152断路器气室SF₆分解产物含量异常,其SO₂含量为138.6 μL/L, H₂S含量为131.8 μL/L, CO含量为735.5 μL/L,远高于H₂S、SO₂的注意

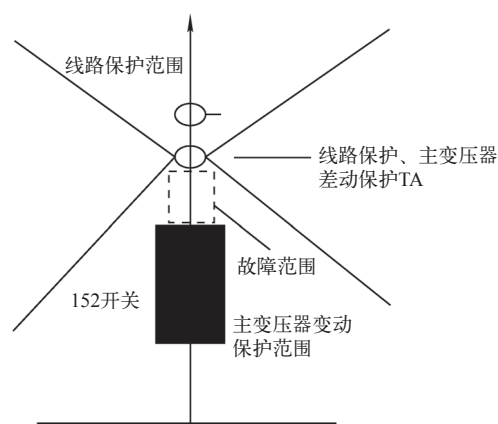


图8 线路保护、主变压器差动保护范围

值1 μL/L。SO₂和H₂S是判断GIS等SF₆气体设备是否存在放电、过热故障的重要指标,因此从测试结果可以推断,在152断路器气室内发生了严重放电。

2.2 解体分析

从前文来看,152断路器缺相是导致此次事故的主要原因,而断路器缺相很有可能是由于合闸不到位引起的。因此,事故发生后,检修和厂家人员首先对152断路器机构箱进行了检查,发现152断路器机构底座紧固螺栓一侧明显松动,另一侧底座紧固螺栓已经完全脱落,如图9所示。从而导致机构底座松动,且存在明显间隙,如图10所示。由于整个机构固定不牢,处于晃动状态,因此,断路器在分合闸过程中,其操动机构会在外力下摇晃,使传动连杆不能准确地将行程传递给动触头,致使断路器触头分合闸行程不够,合闸时动静触头虚接或接触不良;分闸时动静触头又不能有效分开,导致持续燃弧。这不仅无法满足拉开短路电流的运行要求,而且连承载极低负载电流的能力都受到影响。

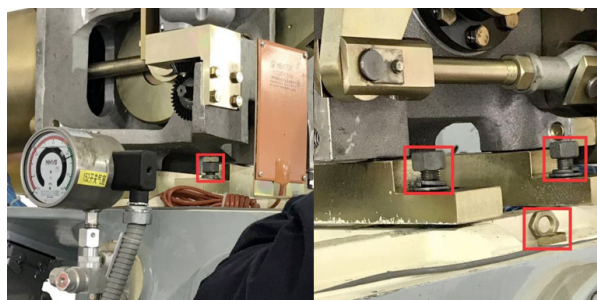


图9 152断路器机构底座螺栓情况

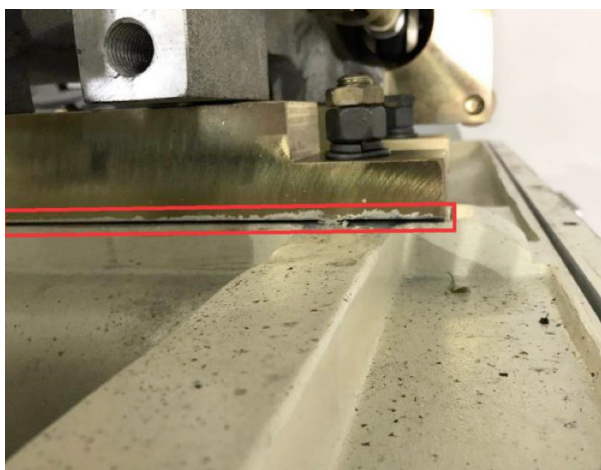


图10 底座存在间隙

152断路器解体之后，在内部发现有大量的灰色粉末。152断路器C相被电弧击穿导通后， SF_6 气体在电弧的作用下分解产生 H_2S 、 SO_2 等故障气体，同时产生大量铜蒸汽以及碳化燃烧的粉末，铜蒸汽和碳化粉末从C相故障点向四周扩散，形成游离导电介质，使断路器气室绝缘逐渐降低，并最终导致A、B两相也对外壳/地导通，形成放电通道，故障发展为三相对地短路。由于保护死区，152断路器跳开后并没有消除接地故障，因此距离保护动作跳开152对侧断路器。152断路器静触头如图11所示。



图11 152断路器静触头

3 检修处理

揭开该站151断路器机构箱，发现其机构底座螺栓依旧松动，存在分合闸不到位的风险。因

此，为安全起见，公司已将其列为家族性缺陷，在公司内部对该厂家生产的该类型GIS设备进行梳理，并安排进行逐一停电排查。未排查的断路器不能再进行分合闸操作。排查时应先拉开对侧站相应间隔的断路器，然后在不带负荷的情况下拉开缺陷断路器，最后依次测试机械特性、低跳特性和回路电阻等。紧固操作机构底座螺栓，并涂覆防松胶，再次复核机械特性、低跳和回路电阻试验，合格后投运。

4 结束语

此次事故主要是由于断路器机构底座螺母松动造成的，暴露了GIS设备在出厂、安装、验收和运维等环节中存在的诸多问题，可采取以下措施加以改善。

1) 该变电站一次部分采用典型的内桥结构，其110 kV母线未安装母线TV，靠两组110 kV线路侧TV监视110 kV母线电压，虽节约了投资，但暴露出在断路器、刀开关合不到位时，无法有效监视母线电压的弊端。建议对于受端GIS变电站设置独立的母线TA，以监测线路断路器、刀开关是否合闸到位，确保线路电压送到110 kV母线上。

2) GIS设备免维护是相对的，由于断路器、刀开关分闸和合闸操作会对从操动机构到罐内导体的一系列连接的传动部分产生较大冲击力，经过多次操作，累积效应可能会使螺栓松动，部件发生变形、松动或脱落。应加强日常维护，对操动机构、传动连杆定期检查。

3) 加强GIS设备的出厂、安装和验收管理，防止“带病”设备入网。

4) 运维人员对GIS设备进行倒闸操作后，必须认真核查断路器、隔离断路器在各处的位置指示是否一致，同时，还要核实各相的电压电流信号是否正常。

参考文献

- [1] 罗学琛. SF_6 气体绝缘全封闭组合电器(GIS)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

(下转第84页)

车辆段出入段线雨水泵，雨水泵会根据水位情况自动确定起动泵的数量，如起动2台泵，这时式(15)调整为

$$\Rightarrow \frac{\frac{1}{\frac{1}{(7+1) \times 0.38 \times I} + \frac{X_1}{0.4^2}} + 0.436 S_{rT}}{\frac{1}{\frac{1}{S_{sc}} + \frac{U_K \%}{100 S_{rT}}}} \leq 0.235 \quad (17)$$

只要在起动容量中考虑回路一台泵正在运行，另一台泵起动时的工况即可。其他起动多台泵时可按照上述思路进行计算。

3 结束语

本文提供了电动机起动时的一种简单算法，

给设计同行提供了一种计算思路，仅供参考。计算时系统的短路容量按照100 MV·A考虑，若采用其他类型供电方案，还需咨询当地供电部门并加以计算得出相应值。

参考文献

- [1] 新时代国际工程公司. GB 50055-2011 通用用电设备配电设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [2] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供配电设计手册[M]. 4版. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [3] 北京城建设计研究总院有限责任公司, 中国地铁工程咨询有限责任公司. GB 50157-2013地铁设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

(收稿日期: 2018-06-29) **EA**

.....

(上接第60页)

- [2] 邱毓昌. GIS装置及其绝缘技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [3] 齐波, 李成榕, 耿弼博. GIS设备绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高压技术, 2011, 37(7): 1719-1727.
- [4] 段剑, 张立群, 甄利, 等. 一起500 kV断路器故障的分析和治理[J]. 高压电器, 2010, 46(7): 90-92.
- [5] 张若飞, 杜黎明, 张利燕. SF₆高压断路器故障分析[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 99-102.
- [6] 杨会民, 宋明刚. HPL-55082型断路器故障分析[J]. 高压电器, 2009, 45(1): 114-115.
- [7] 陈安明, 杨洋, 黄文龙, 等. 基于SF₆分解产物的GIS放电故障诊断分析[J]. 绝缘材料, 2013, 46(2): 83-85.
- [8] 郭伟. 气体分解产物应用于SF₆电气设备故障查找的分析[J]. 绝缘材料, 2012, 45(4): 69-72.
- [9] 季严松, 王承玉, 杨韧, 等. SF₆气体分解产物检测技术及其在GIS设备故障诊断中的应用[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 100-103.
- [10] 周敏琛, 苏秀苹. 断路器操作机构中连杆的可靠性分析[J]. 江苏电器, 2003(6): 21-23.

(收稿日期: 2018-02-04) **EA**