

一起组合电器内部绝缘故障综合分析

李秀卫¹, 王庆玉¹, 毛惠卿², 李秀国²

(1. 山东电力研究院, 济南 250002; 2. 滨州供电公司, 滨州 256610)

摘要: 笔者主要介绍了一起运行中的GIS绝缘故障,通过对故障设备的外观、内部检查以及相关数据测量,分析得出了故障原因为隔离开关的绝缘拉杆的质量缺陷导致GIS故障。为保证GIS设备的安全稳定运行、减少故障后的损失,提出应加强GIS设备状态监测,合理设计、规划主接线形式和运行方式。

关键词: 组合电器;绝缘;故障;分析

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)08-0099-04

Comprehensive Analysis of an Insulation Fault in GIS

LI Xiu-wei¹, WANG Qing-yu¹, MAO Hui-qing², LI Xiu-guo²

(1. Shandong Electrical Power Research Institute, Jinan 250002, China;

2. Binzhou Power Supply Company, Binzhou 256610, China)

Abstract: An insulation fault of a running GIS is analyzed by inspecting its appearance and inside, and by measuring the related data. It is found that the quality defect in the insulating rod of disconnector results in the fault of GIS. Some suggestions about reliable online monitoring of GIS state and reasonable design of GIS's major connection and operation modes are offered to ensure safe and stable operation of GIS and reduce loss after fault.

Key words: GIS; insulation; fault; analysis

0 引言

SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备 (gas insulated switchgear, GIS),是指全部或部分采用气体而不采用大气压下的空气作为绝缘介质的金属封闭开关设备。它利用 SF₆ 气体的高绝缘性能,将断路器(CB)、隔离开关(DS)、接地开关(ES/FES)、电流互感器(CT)、电压互感器(VT)、避雷器(LA)等多种设备以及主母线、分支母线(Bus)组合在一起,减少了开关整体占地面积,除出线套管外,无外露带电体。GIS 是变电站的重要组成部分,具有占地面积小、元件全部封闭、不受环境干扰、可靠性高、运行方便、检修周期长、维护工作量少、安装迅速、运行费用低等优点,在世界各地的电力部门得到了广泛应用^[1-2]。自 20 世纪 80 年代开始,GIS 设备在中国开始迅速发展,根据国家电网公司 2008 年发布的《组合电器调研报告》中的统计,近些年,组合电器装用量持续呈现较大幅度的增长,截止 2008 年 6 月底,近 10 年投运的

组合电器设备占到全部在运量的 91.7%,特别是近 5 年的投运量更是达到 68.5%。虽然有着诸多优点,但是 GIS 设备在制造、装备以及运行过程中,内部可能产生一些缺陷,特别是当 GIS 发生故障时,维修复杂,维修时间长,影响面积大,后果严重^[3-7]。笔者结合一起 220 kV GIS 设备内部绝缘故障的分析,针对 GIS 设备相对于敞开式设备的结构特点及运行特性,对如何尽量减少绝缘故障的发生和降低故障对系统的影响等提出了建议。

1 故障情况

2009 年 12 月 18 日,某电厂 220 kV GIS 系统 1 号母线差动保护动作(短路电流约 5 kA,总持续时间约 100 ms),随后约 600 ms 2 号母线母差保护动作,跳开两母线上所有分支,造成电厂所有机组停运。从保护动作情况看,两次均是 B 相故障。

该厂 GIS 设备为 2009 年 6 月投运,接线形式为双母线接线。根据录波图显示,5 号主变间隔 B 相对地短路,短路前 5 号主变间隔隔离开关状态为 1 号母线隔离开关(205-1)合闸、2 号母线隔离开关(205-2)分闸。

2 故障检查

2.1 设备外观检查及试验

设备外观检查未发现设备外壳有放电点及其他异常现象,各气室压力表正常。但通过观察孔可隐约观察到 205-2 隔离开关 B 相气室内部筒壁有白色粉末附着。

技术人员使用 SF₆ 气体综合测试仪对所有气室进行气体组分测试,发现 5 号主变间隔 205-2 隔离开关气室结果异常,SO₂ 体积分数为 127 μL/L, H₂S 体积分数为 264 μL/L (205-2 隔离开关气室三相通过气体管路连通),其他气室均正常,小于 2 μL/L。

根据 SF₆ 气体成分测试结果,判断故障气室为 205-2 隔离开关气室,结合保护动作情况,两次均为 B 相故障,初步判断该次绝缘故障发生在 205-2 隔离开关 B 相。5 号主变间隔设备布置见图 1, 205-2 隔离开关结构见图 2。

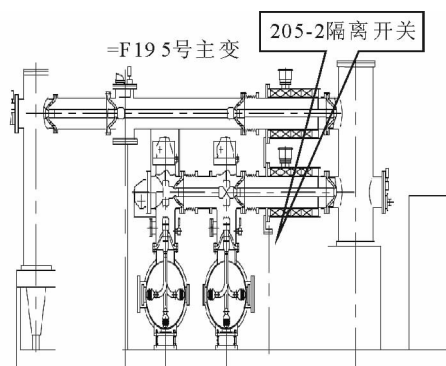


图 1 故障间隔的布置图

Fig. 1 Arrangement plan of fault unit

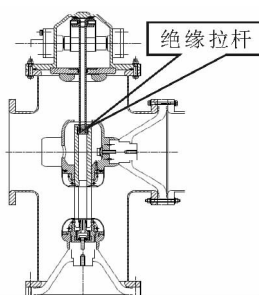


图 2 205-2 隔离开关的结构

Fig. 2 Structure chart of disconnecting switch number 205-2

2.2 解体检查

根据外观检查和试验的初步分析,对 5 号主变间隔 205-2 隔离开关气室进行解体检查。

故障间隔解体打开密封时,有白色粉末飘出,并伴有刺鼻气味;非故障相有少量白色粉末。

解体发现 5 号主变 205-2 隔离开关气室内部放电严重,有大量放电后产生的分解产物。

205-2 隔离开关动触头绝缘拉杆烧损严重,整体呈黑色,已严重碳化、酥松,轻微触碰可弯曲断裂,见图 3、4。



图 3 动触头

Fig. 3 Moving contact



图 4 绝缘拉杆

Fig. 4 Insulating tension pole

205-2 隔离开关断口上侧盆式绝缘子凸面有严重的沿面放电痕迹,呈黑色,但无裂纹、内部气泡导致的放电等现象。凹面侧表面有少量白色粉末附着,且在每个透气孔周围均有烧蚀痕迹;盆式绝缘子两侧导体靠近绝缘子侧均有轻微放电烧蚀痕迹。

205-2 隔离开关上下触头均烧损严重,触指大部分变形、脱落,上触头均压罩已完全烧损,下触头均压罩只残留一小部分,见图 5。

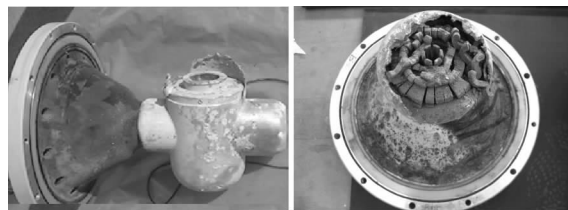


图 5 触头

Fig. 5 Stationary contact

205-2 隔离开关断口下侧盆式绝缘子上表面(凸面)有严重的沿面放电痕迹,呈黑色,但无裂纹、内部气泡导致的放电等现象。

3 故障原因分析

3.1 过电压的影响

故障 220 kV GIS 设备于 2009 年 6 月投运,运行 6 个月时间,事故发生在 12 月 18 日,事故发生

时天气晴好,变电站周边没有雷电活动,由此可以排除外部过电压的影响。事故发生时系统无任何倒闸操作,可以排除操作过电压等内部过电压的影响。

3.2 绝缘故障的起因

结合保护动作和解体情况看,可推断出故障过程为故障气室中与1号母线连接的某个部位先发生短路接地故障,导致1号母线故障,接着因为故障气室中气体被严重污染,绝缘强度降低,导致处于分位的205-2隔离开关断口被击穿,致使2号母线也发生接地故障。

主要是判断引起1号母线的接地故障是由故障气室中的哪一元件引起的。

从故障气室内部结构分析,205-2隔离开关断口上方的盆式绝缘子有首先击穿的可能。若绝缘子表面有固定污秽,在进行交流耐压试验时即可击穿,一般不能通过368 kV的对地耐压试验,却在运行6个月后的正常运行电压下击穿。因此可基本排除绝缘子上有固定污秽引起绝缘击穿。该盆式绝缘子为垂直竖立,在凸面一侧很难存在有在电场作用下运动停留的金属颗粒或杂质,也可排除金属颗粒或其他杂质在电场力及机械振动作用下运动到该盆式绝缘子表面导致放电的可能。另外,其表面只有沿面放电现象,无裂纹、气泡放电现象,从而可排除绝缘子质量问题导致放电的可能。因此,该盆式绝缘子表面的沿面放电只是在其他部位发生短路故障后引起的,不是该次故障的起因。

导电杆和筒壁上均未发现明显的放电点,只是有少量烧蚀痕迹。是故障发生后引发的,不是起因。

检查205-2隔离开关动触头绝缘拉杆,其烧损情况最为严重,整体呈黑色,从内而外已严重碳化、酥松,轻微触碰即可弯曲断裂,根据前面排除的几种情况和绝缘拉杆烧蚀的严重程度,可判断此处为该次故障的起始点。绝缘拉杆因制造质量问题,内部存在气泡或杂质,进行交流耐压试验时,因加压时间短,未能击穿,在长达6个月的运行过程中,内部发生局部放电,且劣化程度逐渐加剧,最终导致绝缘拉杆对地放电。

3.3 绝缘故障的发展过程

分析认为:因205-2隔离开关动触头绝缘拉杆存在质量缺陷,内部有气泡或杂质等,在设备带电运行过程中,气泡或杂质处产生局部放电,局部放电又造成该处劣化程度进一步加剧,局部放电量也不断增大,如此循环,最终在运行6个月后的绝缘拉杆上形成放电通道对地绝缘击穿^[8-10],造成1号B

母线发生对地短路故障,保护动作。同时,在故障时的高温电弧作用下, SF_6 气体、绝缘材料、水分等在205-2隔离开关气室中发生化学反应生成各种氟化物、硫化物,分解物在高温电弧引起的瞬时高压作用下在整个气室扩散,205-1隔离开关上方盆式绝缘子凹面一侧表面因距离放电点较远,只有少量粉末附着,并因高温烧蚀造成局部表面变黄。紧靠绝缘拉杆的-2隔离开关上方的盆式绝缘子受影响最为严重,分解物附着后造成整体沿面放电,并通过透气孔在凹面一侧形成烧蚀痕迹,主要以各个透气孔附近较为严重,通过透气孔扩散到低位CT内腔的白色分解物粉末数量较少,断路器侧的盆式绝缘子基本未被污染。在重力作用下,绝缘拉杆正下方的-2隔离开关附近分解物体积分数很大, SF_6 气体的绝缘性能被破坏,-2隔离开关原有断口开断距离已不能满足要求,上下触头之间拉弧,造成2号母线发生短路接地故障,保护动作,2号母线停电。故障发展过程示意图见图6。

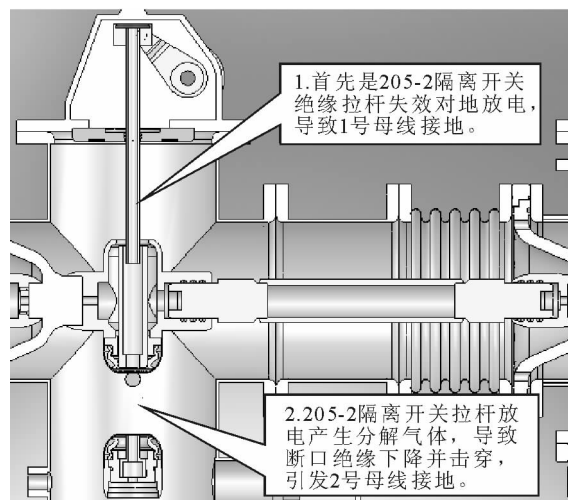


图6 GIS绝缘故障发展过程

Fig. 6 Insulation fault process in GIS

4 结论

1)通过对故障时保护动作、故障过程和解体检査情况的综合分析认为,205-2隔离开关动触头的绝缘拉杆因质量缺陷,在设备运行过程中产生局部放电,最终形成放电通道对地绝缘击穿,1号母线接地,是整个故障的起因;之后高温电弧作用下化学反应生成的各种氟化物、硫化物等在气室扩散,205-2隔离开关断口击穿,2号母线发生短路接地故障。

2)GIS采用金属全封闭结构,无法对运行中的GIS内部情况进行直接的监测或检查,GIS内部一旦发生故障,引起的事故往往比较严重,损失很大,

所以必须对 GIS 加强超声波或特高频局部放电的在线监测和带电检测,及时发现和处理缺陷^[11-15]。

3)双母线布置的母线侧隔离开关气室,因其特殊的结构形式,一旦气室内发生绝缘故障,往往造成双母线全部停运,因此在日常运行维护和带电检测时应重点关注。

4)近年 GIS 设备在发电厂中的应用越来越多,一旦发生故障,极易造成机组停机甚至全厂停电,造成重大经济损失和社会影响。建议在前期设计主接线时,充分考虑一旦故障或需要检修时的运行方式,尽量减少停电范围,保证重要负荷的供电,提高运行可靠性。

文中分析的故障,因为故障发生在双母线的-1和-2 隔离开关的公共气室,造成全站(厂)停电。即使故障不是发生在这个位置,在对故障进行检修或检修后进行耐压试验时,也可能需要将全站停电,影响供电。因此,建议发电厂的开关站或电网重要变电站按双母双分段设计,且通往重要电源或负荷的不同线路分别接在 A、B 母线上(例如一路发电机出线接在 1A 母线,另外一条可接在 1B 或 2B 母线上)。这样无论哪一段母线上有故障或需停电检修、耐压试验,或者-1、-2 隔离开关公共气室有绝缘故障,都能至少保证一路电源送出,减少损失。

参考文献:

- [1] 邱毓昌.GIS 装置及其绝缘技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.
QIU Yu-chang. GIS devices and insulation technology[M]. Xi'an:Xi'an Jiaotong University,2007.
- [2] 王昌长,李福祺,高胜友.电力设备的在线监测与故障诊断[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
WANG Chang-chang,LI Fu-qi,GAO Sheng-you.Online monitoring and diagnosis for power equipment [M]. Beijing: Tsinghua University Press,2006.
- [3] 成永红,谢小军,陈 玉,等.气体绝缘系统中典型缺陷的超宽频带放电信号的分形分析[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8):99-102.
CHENG Yong-hong,XIE Xiao-jun,CHEN Yu,et al.Study on the fractal characteristics of ult-rarwide typical defects [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(8):99-102.
- [4] SRIVASTAVA K D. A review of some critical aspects of insulation design of GIS/GIL systems [C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition.USA:Power & Energy Society,2001:787-792.
- [5] 肖 燕,郁惟镛.GIS 中局部放电在线监测研究的现状与展望[J]. 高电压技术,2005,31(1):47-50.
- XIAO Yan,YU Wei-yong.Present status and prospect of research of on-line partial discharge monitoring system in GIS[J]. High Voltage Engineering,2005,31(1):47-50.
- [6] 肖 燕,胡 浩,郁惟镛.基于 ARTNN 的 GIS 绝缘故障识别新方法[J]. 高电压技术,2007,33(12):75-79.
XIAO Yan,HU Hao,YU Wei-yong.New artnn-based algorithm for pattern recognition of insulation defect in GIS[J]. High Voltage Engineering,2007,33(12):75-79.
- [7] 邱昌容,王乃庆.电工设备局部放电及其测试技术[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
QIU Chang-rong,WANG Nai-qing.Partial discharge and measurment technology of the electrical equipment[M]. Beijing:China Machine Press,1994.
- [8] BAUMGARTNER R,FRUTH B,LONZ W,et al.Partial discharge,part X:PD in gas-insulated substations-measurement and practical considerations[J]. IEEE Electrical Insulation,1992,8(1):16-27.
- [9] PEARSON J S,FARISH O,HAMPTON B F,et al.Partial discharge diagnostics for gas insulated substations[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation,1995,2(5):893-905.
- [10] 印 华,邱毓昌.GIS 中局部放电测量用超高频方法的研究[J]. 高电压技术,2004,30(10):19-20.
YIN Hua,QIU Yu-chang.Study on UHF method for GIS partial discharge detection[J]. High Voltage Engineering,2004,30(10):19-20.
- [11] HOSHINO T,KATO K. A novel technique for datecting electromagnetic wave caused by partial discharge in GIS[J]. IEEE Trans.on Power Delivery,2001,16(4):545-551.
- [12] PEDERSEN A,CRICHTON G C,MCALLISTER I W.Partial discharge detection:theoretical and practical aspects[J]. IEE Proceedings Science,Measurement & Technology,1995,142(1):29-36.
- [13] IEC 60270—2000.High-voltage test techniques-partial discharge measurements[S].
- [14] 唐 炬,朱 伟,孙才新,等.GIS 局部放电的超高频检测[J]. 高电压技术,2003,29(12):22-23.
TANG Ju,ZHU Wei,SUN Cai-xin, et al. Analysis of UHF method used in partial discharge detection in GIS[J]. High Voltage Engineering,2003,29(12):22-23.
- [15] LUNDGAARD L E,TANGEN G,SKYBERG B,et al.Acoustic diagnoses of GIS:field experience and development of expert system[J]. IEEE Trans. on Power Delivery,1992,7(1):287-294.

李秀卫(1978—),男,工程师,长期从事高压电气设备运行监督与技术支持工作。