

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.09.034

HGIS 隔离开关触头烧蚀原因分析

魏 庆, 苏 煜, 杨智军

(国网陕西省电力公司检修公司, 西安 710065)

摘要: 混合型气体绝缘组合电器(hybrid-gas insulated switchgear, HGIS)在运行过程中,发生三相电流不平衡。为分析问题产生的原因,对 HGIS 进行了一系列试验,并返厂进行解体检查。结果表明:SF₆ 气体分解物中 SO₂ 体积分数严重超标, C 相回路接触电阻严重增大, C 相分合闸时间测试无信号, 三工位线隔离开关触头严重烧损。分析表明触头烧蚀是由设计缺陷、安装工艺不良等多个因素引起。对同类型的设备进行排查,发现多起类似问题。针对该类问题,建议厂家在设计应予以改进,并严格管制安装工艺,同时对已运行设备应加强在线监测,尽量避免使用三工位线隔离开关进行线路接地。

关键词: 混合型气体绝缘组合电器(HGIS); 电流不平衡; 触头烧蚀; 快速接地开关; 表带触指

Analysis of HGIS Switch Contact Ablation

WEI Qing, SU Yu, YANG Zhijun

(State Grid Shaanxi Maintenance Company, Xi'an 710065, China)

Abstract: Three-phase current unbalance of hybrid-gas insulated switchgear (HGIS) will occur in operation. In order to analyze the reasons for the problem, a series of tests and factory disintegration inspection for HGIS are carried out. Results shows that SO₂ concentration in SF₆ gas decomposition severely exceeds the specified level. C-phase loop contact resistance increases seriously, and no signal is detected in C-phase switching time test. Meanwhile, three-station line switch contact has damaged for ablation. Analysis shows that the contact erosion is caused by factors such as design defects, unqualified installation etc.. Investigations for the same type of HGIS are carried out, and several similar problems are found. Aiming at these problems, it is suggested that manufacture should improve in the design and installation process. At the same time, it should strengthen the on-line monitoring of the operation HGIS, and try to avoid using three-station line switch for line grounding.

Key words: hybrid-gas insulated switchgear(HGIS); current imbalance; contact ablation; fast earthing switch; strap contact

0 引言

HGIS 设备是由金属外壳密封,把断路器、隔离开关、电压互感器、避雷器等设备有机组合成一体,充以 SF₆ 气体绝缘的新型组合电器。其具有结构简单紧凑、占地面积小、安装快捷、投资少、使用维护方便、对环境影响小等方面的显著优点,目前在电力系统中得到了越来越广泛的用^[1-3]。作为一种应用时间不长的全新型设备,在使用过程中, HGIS 也逐渐暴露出设计、施工方面问题^[4-8]。近期某型 HGIS 在运行

中出现隔离开关触头接触不良故障,故障原因的分析对 HGIS 的设计、安装、运行、维护具有重要的借鉴意义。

1 HGIS 故障描述

1.1 故障发生经过

330 kV 甲变电站 110 kV 系统采用双母线接线方式,共有 21 台某公司生产的 HGIS 设备,于 2008 年 6 月陆续投运。

正常运行方式,甲变电站通过 110 kV 甲乙 I、甲乙 II 双回线向 110 kV 乙变电站供电,乙变电站无

收稿日期:2015-04-21; 修回日期:2015-05-26

其他 110 kV 电源进线,电气接线图见图 1。故障发生前,甲乙 II 线停电检修,甲乙 I 线运行供 110 kV 乙变电站全部负荷。

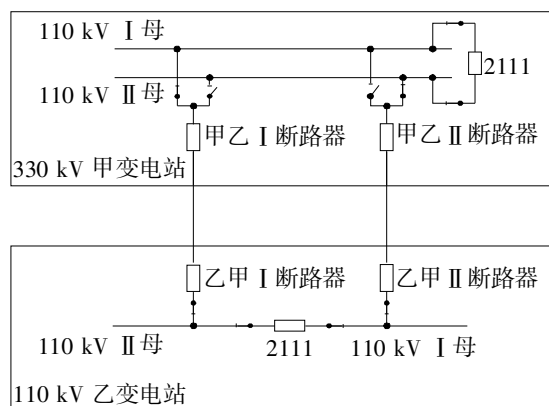


图 1 电气接线图

Fig. 1 Electrical wiring diagram

2014 年 3 月 13 日 23 分 26 秒,甲变电站执行甲乙 II 断路器冷备用转运行于 110 kV II 母的操作。操作前甲乙 I 断路器电流:A 相 189.2 A,B 相 188.8 A,C 相 187.1 A。当合上甲乙 II 断路器后,现场检查甲乙 II 断路器电流:A 相 17.7 A,B 相 17.3 A,C 相 17.6 A,因对侧乙变电站乙甲 II 断路器尚未合上,该电流为空载线路的电容电流。在对侧变电站合上乙甲 II 断路器后,甲变电站及乙变电站甲乙 I、II 线电流均发生不平衡,具体见表 1。

表 1 操作前后断路器电流值

Table 1 The current value before and after operation

项目	330 kV 甲变电站		110 kV 乙变电站	
	甲乙 I 断路器	甲乙 II 断路器	乙甲 I 断路器	乙甲 II 断路器
断路器状态	合	分	合	分
断路器 A 相电流/A	189.2	0.0	173.7	0.0
断路器 B 相电流/A	188.8	0.0	172.5	0.0
断路器 C 相电流/A	187.1	0.0	171.4	0.0
断路器状态	合	合	合	分
断路器 A 相电流/A	189.2	17.1	173.7	0.0
断路器 B 相电流/A	188.8	16.9	172.5	0.0
断路器 C 相电流/A	187.1	17.0	171.4	0.0
断路器状态	合	合	合	合
断路器 A 相电流/A	78.8	110.4	76.7	107.4
断路器 B 相电流/A	105.7	83.1	103.5	78.0
断路器 C 相电流/A	187.1	0.0	183.2	17.0

1.2 故障初步分析

从表 1 可以看出,尽管三相电流不平衡,但线路两侧断路器各相电流均基本相等,可排除二次回路问题,因甲乙 I 线、甲乙 II 线电流总和三相平衡,可以排除三相负荷不平衡因素,初步判定为甲乙 I 间隔 HGIS 回路接触不良,回路电阻较大,导致甲乙 I、II 线电流分配不均匀。当对侧未合环时,甲乙 I

间隔提供乙站全部负荷电流,甲乙 II 间隔向线路空充电流,三相电流均对称;当乙变乙甲 II 开关合环后,甲乙 I、II 线并列运行,电流将优先从回路电阻较小甲乙 I 回路流通,造成三相电流不平衡。

将甲乙 II 线转 110 kV I 母运行,检查三相电流仍存在不平衡现象,与在 110 kV II 母运行时情况类似,因此排除母隔离开关故障可能,基本判定是线隔离开关或断路器回路出现问题。

对甲乙 II 断路器母隔离开关及线隔离开关进行拉合试验,操作机构动作及位置显示正常。通过本体观察窗口对隔离开关进行观测,未发现异常情况。

2 试验及解体情况

2.1 相关试验情况

1)对甲乙 II 间隔 HGIS 三相气室进行 SF₆ 分解物组份测试(三相气室是连通的),结果见表 2。《电力设备带电检测技术规范(试行)》规定电力设备运行中 SF₆ 气体分解产物正常情况下应不大于 2 μL/L,超过 5 μL/L 则属于缺陷^[9],测试结果显示三相气室 SO₂ 体积分数远远大于规定要求,怀疑 HGIS 内部存在高能量放电现象。

表 2 气体组分测试结果

Table 2 The gas component test results

气室	分解物体积分数/(μL·L ⁻¹)		
	SO ₂	H ₂ S	CO
A 相	>2 000	0	21
B 相	151	0	18
C 相	1 845	0	19

2)对甲乙 II 间隔 HGIS 进行主回路电阻测试,结果见表 3。表 3 中:区间 1 为经 I 母隔离开关测的回路电阻;区间 2 为经 II 母隔离开关测的回路电阻。区间 1 与区间 2 测试结果基本一致,再次说明母隔离开关不存在故障可能。设备 A 相回路实测数据为 750~800 μΩ 左右,远超厂家规定的标准(厂家标准为不超过 150 μΩ);B 相回路实测数据 140 μΩ 左右,数据合格;C 相回路不通,无数据。

表 3 回路电阻测量结果

Table 3 The measurement results of loop resistance

区间	A 相	B 相	C 相
区间 1	740	142	不通
区间 2	787	141	不通

注:区间 1 为 I 母隔离开关、断路器、线隔离开关;区间 2 为 II 母隔离开关、断路器、线隔离开关;厂家标准为不超过 150 μΩ。

3)对断路器进行机械特性测试,结果见表4,C相无信号,A、B相分合闸时间数据合格。

表4 机械特性测试结果

Table 4 Results of switch mechanical characteristic test			
参数		分闸	合闸
分(合)闸 时间/ms	A相	22.5	29.2
	B相	23.2	28.6
	C相	无信号	无信号
同期时间/ms		0.7	0.6

注:分闸时间标准为 (23 ± 4) ms;分闸同期标准不超过2 ms;合闸时间标准为 (30 ± 5) ms;合闸同期标准不超过3 ms。

通过数据综合分析,判断A、C相线隔离开关合闸不到位或触头烧损,导致回路接触电阻增大,引起三相电流不平衡。

2.2 解体检查情况

该型 HGIS 采用三工位线隔离开关,即线隔离开关、线路接地开关结构合二为一,动触头公用^[10],线路三工位隔离开关示意图见图2。当动触头转到图2中水平方向时,线隔离开关处于分位,线路接地开关处于合位;在该基础上顺时针旋转 45° 时,线隔离开关和线路接地开关均处于分位;转到垂直方向时,线隔离开关处于合位,线路接地开关处于分位。

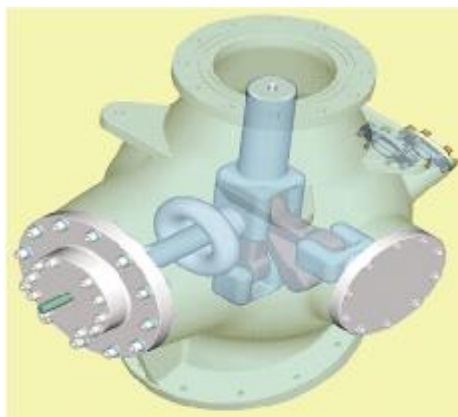


图2 线路三工位隔离开关示意图

Fig. 2 Schematic diagram of three-station line switch

现场解体发现,线路三工位隔离开关A、C相动触头及静触头均烧蚀严重,部分触头已烧蚀缺失,静触头触指表面镀层变色,见图3。气室内存在大量放电后固体粉尘,并在粉尘内发现了脱落的表带触指。B相线隔离开关动触头有放电痕迹,气室内有微量放电后固体粉尘,见图4。

动触头中心线与线路接地开关静触头中心线发生偏离,动触头一侧外壁与静触头内壁接触良好,另一侧外壁与静触头外壁间约有2 mm间隙,见图5,同时在静触头上发现大量黑色粘稠液体。



图3 烧蚀严重的静触头

Fig. 3 Ablation of the static contact



图4 B相静触头上的放电痕迹

Fig. 4 Discharge traces on the B-phase static probe



图5 动触头与线路接地开关静触头发生偏离

Fig. 5 Deviation between the moving contact and the static contact of line earthing switch

3 原因分析

通过解体,证明了三相电流不平衡是由线路隔离开关触头烧蚀,接触不良引起,而造成触头烧蚀和接触不良的原因则是多方面的。

3.1 设计问题

1)三工位隔离开关代替线路快速接地开关。线路接地开关要切合线路电容电流和电磁感应产生的电感电流,并释放架空线和高压电缆或长母线上的静电^[11-14],因此在封闭式组合电器中一般都采用快

速接地开关^[15]。其结构与普通接地开关基本相同,但是操作机构为电动弹簧机构^[16],分合闸速度快,以便于快速熄灭电弧,同时动静触头部位附带有耐电弧烧蚀的铜钨合金材料^[17-19]。该型 HGIS 仅有三工位隔离开关,该隔离开关动触头由电机直接驱动,分合速度较慢,不利于电弧快速熄灭,同时动静触头采用非耐烧蚀的镀银铜,不具备切合线路感应电流的能力,一般仅作检修用隔离开关。

甲乙Ⅱ线路为全电缆线路,停电后电缆上残余电荷及电容电流较大,多次接地分合操作后,电弧造成动触头烧蚀缺失,导致线隔离开关接触不良,运行中出现发热,从而进一步加剧了接触电阻的增大和触头的烧蚀程度。

2)该型 HGIS 开关线隔离开关与线路接地开关静触头均采用表带型触指。表带触指具有结构简单、接触点多、通流能力强的优点^[20-21],但是由于触指均为自压紧受力结构,接触压力大,相互之间无任何受力关联,其机械强度较低,一般用作静止连接,作为滑动性触指时,在频繁经历分合摩擦后,容易因接触点压力大而造成镀银层的磨损,产生金属粉屑,甚至引起触指脱落,从而导致接触不良,导电能力下降^[22]。解体后,在隔离开关气室内的白色分解物中发现了脱落的表带触指,也印证了这一推论。

3.2 安装调试工艺问题

1)安装过程中未严格按照工艺进行。连接件等部件没有进行必要的紧固,或紧固没有达到规定要求,而使动触头形成一定的可移动间隙,经多次分合后,动触头发生偏离,与静触头接触不良,运行中出现发热,并产生悬浮电位而引起强烈的局部放电,导致触头烧蚀,产生大量分解物^[23]。

2)安装时涂抹的润滑脂过量。 SF_6 气体中的电场强度对电极的表面形状极其敏感,润滑脂过多,会使导体表面不平整,导致电场发生畸变;同时润滑脂在运行中受热分解产生气体,也造成 SF_6 气体受污染,使绝缘性能下降^[24]。这些都将在一定的电压下导致电场击穿,引发放电现象,导致触头的烧蚀。

发现问题后,立即组织对 76 台同类型、同厂家的 HGIS 设备开展 SF_6 分解物组分测试,发现 6 台存在试验数据异常的现象,进一步说明了上述问题并非个例,而是在同类型设备中具有普遍性。

4 结语

该次 HGIS 隔离开关触头接触不良问题,并非个例,既有设计存在的缺陷,也有安装工艺不良的原因,针对这类问题,应采取以下措施进行防范。

1)生产厂家应认真分析该次故障发生的原因,从设计阶段予以改进,不断完善,提高产品的可靠性,降低故障率,使 HGIS 在电力系统中得到更好的应用。

2)加强 HGIS 设备安装工艺管控。设备厂家应对于关键工序的安装制定现场安装作业指导书,要尤其重视触头偏斜问题,提出良好防范措施;安装施工单位应严格按照要求进行安装调试;运维单位应在安装调试阶段,安排专业人员进驻,监督安装过程,对触头的安装工艺、安装质量应重点关注、检查。

3)由于该型 HGIS 未采用快速接地开关的特点,在运行中应尽量避免用线路接地开关切合线路残余电荷和感应电流,可采用在线路出线侧装设接地线的方式实现线路接地。

4)针对该型开关存在的问题,在运行维护中,应加强带电检测和技术监督工作。开关跳闸及线路检修加运后 24 h 内进行 SF_6 分解物测试,并定期开展 SF_6 分解物测试和超声波局部放电检测,及时发现设备内部存在的缺陷。

参考文献:

- [1] 包红旗,郝晓光. HGIS 组合电器的技术特点[J]. 天津电力技术,2006(2):40-42.
BAO Hongqi,XI Xiaoguang. The technical features of HGIS[J]. Tianjin: Electric Power Technology,2006(2): 40-42.
- [2] 夏文,胡旭辉. 550 kV 气体绝缘金属封闭组合电器及其应用[J]. 高压电器,2010,46(12):89-92.
XIA Wen,HU Xuhui. 550 kV hybrid gas insulated switchgear and its application[J]. High Voltage Apparatus, 2010,46(12): 89-92.
- [3] 薛军,王宏,包红旗. HGIS 设备技术适用性分析[J]. 西北电力技术,2005,33(6):23-24.
XUE Jun,WANG Hong,BAO Hongqi. Analysis on HGIS equipment technology feasibility[J]. Northwest China Electric Power,2005,33(6): 23-24.
- [4] 汪晓明,何萍,刘衍,等. 一起 500 kV HGIS 事故的分析及处理[J]. 高压电器,2014,50(1):129-132.
WANG Xiaoming,HE Ping,LIU Yan,et al. Analysis and treatment of a 500 kV hybrid gas insulated switchgear accident[J]. High Voltage Apparatus,2014,50(1): 129-132.
- [5] 肖承仟,智勇军.一起 HGIS 设备带电合地刀事故的分析及防范[J]. 高压电器,2010,46(12):110-112.
XIAO Chengqian,ZHI Yongjun. Analysis and prevention on a HGIS accident of closing grounding switch to energized live part[J]. High Voltage Apparatus,2010,46(12): 110-112.
- [6] 段剑,何子东,霍凤鸣,等.550 kV HGIS 隔离开关拒动分析[J]. 高压电器,2010,46(1):58-60.

- DUAN Jian, HE Zidong, HUO Fengming, et al. Analysis about rejecting remote accident of 550 kV HGIS disconnecting switch[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(1): 58-60.
- [7] 陈宏福, 唐大勇, 朱峰, 等. 500 kV 第 4 串三相电流不平衡原因分析及处理[J]. 电力与能源, 2012, 33(4): 337-339.
- CHEN Hongfu, TANG Dayong, ZHU Feng, et al. Analysis and treatment for three-phase current imbalance in the 4th string line of 500 kV part[J]. Power & Energy, 2012, 33(4): 337-339.
- [8] 褚建伟, 李铁滨, 王兆斌, 等. 混合式组合电器触头烧损原因及处理[J]. 吉林电力, 2013, 41(3): 37-39.
- CHU Jianwei, LI Tiebin, WANG Zhaobin, et al. Reason analysis and its treatment of contacts burning off for HGIS[J]. Jilin Electric Power, 2013, 41(3): 37-39.
- [9] 国网便函(2010)78 号. 电力设备带电检测技术规范(试行)[S]. 2010.
- Letter of State Grid(2010) NO. 78. Technical specification for electric detection of power equipment (trial)[S]. 2010.
- [10] 苏煜, 王薇, 张燕涛. 一起 GIS 三工位隔离开关故障原因分析及处理[J]. 高压电器, 2007, 43(3): 227-228.
- SU Yu, WANG Wei, ZHANG Yantao. Analysis and treatment of the fault in GIS disconnecter with three positions[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(3): 227-228.
- [11] 吴钊, 赵庆斌, 许书辉, 等. 具有辅助灭弧室回路的高压交流接地开关开合感应电流试验探讨[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 103-108.
- WU Zhao, ZHAO Qingbin, XU Shuhui, et al. Discussion on induced current switching test of high voltage earthing switches with auxiliary interrupters[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(8): 103-108.
- [12] 董显, 肖荣, 徐江, 等. 开合感应电流 B 类接地开关在葛洲坝电站的应用[J]. 高压电器, 2012, 48(4): 88-91.
- DONG Xian, XIAO Rong, XU Jiang, et al. Application of class B earthing switch switching induced current in Gezhouba hydropower station[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(4): 88-91.
- [13] 李兴旺, 卢启付, 汪晶毅, 等. 500/220 kV 同塔四回输电线路接地开关开合感应电压—感应电流能力研究[J]. 高压电器, 2013, 49(9): 63-68.
- LI Xingwang, LU Qifu, WANG Jingyi, et al. Research on switching induced voltage and current by earthing switch in 500/220 kV four-circuit on one tower[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(9): 63-68.
- [14] 欧小波, 韩彦华, 吕亮, 等. 750 kV 同塔双回输电线路中感应电压、感应电流的研究以及接地开关的选取[J]. 陕西电力, 2011, 39(1): 22-27.
- OU Xiaobo, HAN Yanhua, LYU Liang, et al. Research of induced voltage and current on 750 kV double circuit line on same tower and selection of grounding switch[J]. Shaanxi Electric Power, 2011, 39(1): 22-27.
- [15] 张红军, 张强, 邓洪祥. 252~1 100 kV GIS 用 CJA6 电操动机构的研制与分析[J]. 高压电器, 2012, 48(11): 125-129.
- ZHANG Hongjun, ZHANG Qiang, DENG Hongxiang. Development and analysis of CJA6 electric operating mechanism for 252~1100 kV GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(11): 125-129.
- [16] 张强, 张红军, 邓洪祥. 快速接地开关用电动弹簧操动机构的研制与分析[J]. 高压电器, 2013, 49(11): 150-154.
- ZHANG Qiang, ZHANG Hongjun, DENG Hongxiang. Development and analysis of electric spring operation mechanism for the fast earthing switches[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(11): 150-154.
- [17] GB 8320—2003 铜钨及银钨电触头技术条件[S]. 2003.
- GB 8320—2003 Technical conditions for electrical contact of CuW and AgW[S]. 2003.
- [18] 戴涛, 杨林青, 匡同春. 整体式自力型铜钨触头质量分析[J]. 硬质合金, 2000, 7(2): 112-114.
- DAI Tao, YANG Linqing, KUANG Tongchun. Quality analysis of self-pressure by total CuW contact[J]. Cemented Carbide, 2000, 7(2): 112-114.
- [19] 陈文革, 胡可文, 罗启文. WC/Cu 大电流滑动电接触材料的研究[J]. 高压电器, 2008, 44(1): 29-31.
- CHEN Wenge, HU Kewen, LUO Qiwen. Study on high current WC/Cu slip electrical contact materials[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(1): 29-31.
- [20] 王俊波, 苗银银, 罗容波, 等. GIS 触头接触状况检测现状分析[J]. 高压电器, 2013, 49(12): 137-140.
- WANG Junbo, MIAO Yinyin, LUO Rongbo, et al. Analysis of present situation of GIS contact detection[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(12): 137-140.
- [21] 李健. 浅析弹簧触指在 GIS 中的应用[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 438-439.
- LI Jian. Application of the canted coil spring to GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 438-439.
- [22] 张沛文, 陈伯荣, 周庆清. 基于 AWE GCB/GIS 自力型触头接触压力分析及应力集中系数初探[J]. 高压电器, 2014, 50(3): 115-119.
- ZHANG Peiwen, CHEN Bairong, ZHOU Qingqing. Analysis of contact force and stress concentration factor for GCB/GIS self-elastic contact based on AWE[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(3): 115-119.
- [23] 高树国, 刘海峰, 潘瑾, 等. 一起 GIS 内部部件松动故障的在线检测与诊断[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 56-58.
- GAO Shuguo, LIU Haifeng, PAN Jin, et al. On-line detection and diagnosis for a component loosening fault in GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 56-58.
- [24] 赵玥. 高压开关的润滑技术[J]. 高压电器, 2010, 46(5): 81-85.
- ZHAO Yue. High voltage switch lubrication technology[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(5): 81-85.
- 魏庆(1985—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为高压电气设备运维、检修以及带电检测技术。