

# 一起 252 kV GIS 盆式绝缘子放电故障分析

邱 炜 蔡 川 杨红权 徐清鹏 黄 鑫 马锡良  
(国网成都供电公司 四川 成都 610041)

**摘要:**对一起 252 kV GIS 盆式绝缘子在送电过程中以及在修复后的耐压试验过程中沿面闪络放电故障进行了分析,结合故障录波、SF<sub>6</sub> 气体分解产物检测等技术手段确定了故障气室位置,解体分析了盆式绝缘子沿面放电故障原因和发展过程,提出金属嵌件与环氧树脂结合处工艺处理不良以及基建安装时绝缘子表面清理不彻底是导致放电的主要原因,最后提出了 GIS 设备在设计、安装调试等方面的几点建议。

**关键词:** GIS; 盆式绝缘子; 放电故障; 防范措施

中图分类号: TM595 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)03-0075-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.018

## Analysis on Discharge Fault of Basin - type Insulator in 252 kV GIS

Qiu Wei, Cai Chuan, Yang Hongquan, Xu Qingpeng, Huang Xin, Ma Xiliang  
(State Grid Chengdu Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The surface flashover discharge fault of basin - type insulator during breaker operation and AC withstand voltage test is analyzed. By combing with the fault recording and SF<sub>6</sub> gas decomposition product detection, the fault gas chamber is located accurately, the main reasons of surface flashover and degradation process are analyzed by disassembling the fault chamber. It is proposed that the processing of epoxy resin and the incomplete cleaning of insulator surface are the main causes for discharge fault. Finally, some suggestions for structure design and installation of GIS are proposed.

**Key words:** GIS; basin - type insulator; discharge fault; preventive measure

## 0 引言

气体绝缘组合电器(gas insulated switchgear, GIS)以其占地空间小、检修周期长、运行可靠性高等特点在电力系统 110 kV 及以上电压等级得到了广泛应用<sup>[1-2]</sup>。

盆式绝缘子由以氧化铝为填料的环氧树脂复合体系进行浇注和固化而形成,包括盆式支持绝缘子(通气)和盆式隔板(不通气)。作为 GIS 最为核心的部件之一,盆式绝缘子起着分隔气室、支撑导体和电气绝缘的作用<sup>[3-4]</sup>。根据典型开关设备厂家的故障统计,盆式绝缘子是 GIS 最主要的绝缘薄弱环节,特别是当开关设备触头磨合产生的金属颗粒掉落到盆式绝缘子表面、基建安装阶段 GIS 盆式绝缘子表面异物清理不到位时,会导致盆式绝缘子沿面闪络电压严重下降<sup>[5-8]</sup>。

下面介绍了一起 252 kV GIS 在送电过程中及在故障修复后耐压试验时盆式绝缘子放电击穿故障,分析了盆式绝缘子沿面闪络的主要原因和发展过程,提出了减少 GIS 内部绝缘故障的防范措施。

## 1 故障概况

2018 年 7 月 6 日 17:10:50,某 220 kV 变电站运维人员遥控合闸 1 号主变压器 220 kV 侧 201 断路器,17:11:02,1 号主变压器两套保护差动速断动作,跳开 201 断路器,动作时间 5 ms,保护动作二次电流 50 A,1 号保护故障相别为 ABC 相(PCS-978,转角方式为角转星),2 号保护故障相别为 AC 相(CSC-326,转角方式为星转角)。

故障前,该 220 kV 变电站运行方式如图 1 所示,220 kV 系统为双母线接线方式。261、262 线路作为主供电源运行在 220 kV I 母,2 号主变压器 202 断路器

运行在I母,带全站负荷运行,母联212断路器热备用263、264线路运行在II母201断路器热备用,预备在I母投运。1号主变压器110kV侧101断路器、10kV侧901断路器均处于热备用。

该站252kV GIS设备为2014年出厂,2016年2月投运,故障前正在进行201断路器检修后送电操作。

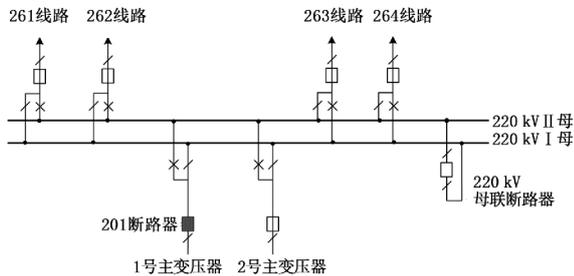


图1 故障前某220kV变电站运行方式

### 1.1 设备外观检查及故障录波信息

检修人员在事故发生后第一时间现场检查发现各气室压力均在正常范围内,一次设备外观检查无异常。由故障录波信息(见图2)可看出:A相一次故障电流为12800A,B、C相电流为0,A相故障电压为0,B、C相电压不变,持续时间60ms。

其他保护均未动作,也无其他断路器跳闸。

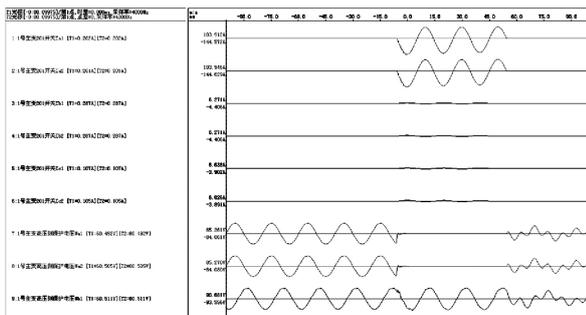


图2 故障录波信息

### 1.2 试验分析及故障气室定位

由于该站两套母差保护均未动作,两套主变压器差动速断保护均动作,主变压器非电量保护未动作且变压器本体、瓦斯继电器、集气盒、压力释放阀等检查无异常。初步判断故障范围在201断路器A相CT1与1号主变压器本体之间,如图3所示。主变压器故障2h后对相关气室进行SF<sub>6</sub>分解产物检测未见异常,故障5h后SF<sub>6</sub>分解产物检测发现1号主变压器2016隔离开关气室存在异常分解产物,SO<sub>2</sub>含量为2.2μL/L,H<sub>2</sub>S含量为1.1μL/L,如表1所示。同时对该气室相邻气室进行检测,未发现异常。因此确定1号主变压器2016隔离开关A相气室存在故障。

表1 2016隔离开关气室SF<sub>6</sub>气体分解产物检测数据

检测时间	分解产物成分及含量/(μL·L <sup>-1</sup> )		
	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO
5 h	22.2	1.1	14.3
16 h	312.5	/	/

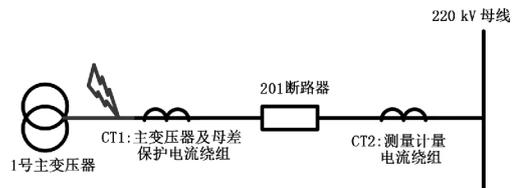


图3 故障位置

## 2 故障气室解体检查

2016隔离开关A相气室自投运以来SF<sub>6</sub>压力正常,未发生漏气现象。2018年7月5日至6日开展201断路器机构隐患整治,更换断路器合闸弹簧后调试数据合格,且故障后断路器气室分解产物未见异常。

故障气室为三相分体式,但三相气管连通,为确定A相气室放电对其他两相气室污染情况,对1号主变压器2016隔离开关三相气室均开罐检查。

解体发现A相气室内部遗留大量盆式绝缘子环氧树脂放电后产生的粉尘,位于110kV GIS室夹层处的盆式绝缘子表面有明显电弧灼烧痕迹,该放电盆式绝缘子位置如图4所示,为水平布置(凸面朝上)。水平布置的盆式绝缘子类似于收集皿,GIS装配过程中的粉尘以及金属屑极易掉落其表面引起电场畸变。

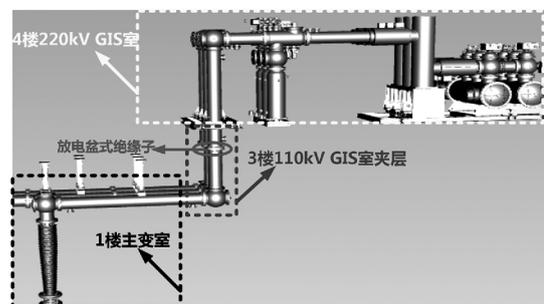


图4 放电气室

图5为放电的A相盆式绝缘子烧蚀受损情况,可以看出该盆式绝缘子表面明显受大电流电弧烧蚀,金属嵌件及导体屏蔽罩已烧蚀严重变形,GIS筒体表面也有明显烧蚀痕迹,筒内存在大量盆式绝缘子放电后产生的粉末。

对1号主变压器2016隔离开关B相气室开罐检查未见异常,盆式绝缘子表面无放电痕迹,分支母

线筒内无放电粉尘。



图5 1号主变压器2016隔离开关气室  
A相放电盆式绝缘子

对1号主变压器2016隔离开关C相气室开罐检查,分支母线筒内无放电粉尘,但C相位于110 kV GIS夹层处的水平布置盆式绝缘子表面有明显放电痕迹。该间隔自投运以来无异常,在1号主变压器201断路器隔离开关合闸送电时C相电流也无异常。根据放电树枝分析,该放电树枝明显是在较小能量下放电形成的,可排除运行中放电的可能。根据DL/T 618-2011规程,GIS耐压调试过程中发生放电,若重复耐压通过则认为试验合格。经咨询基建调试单位,该间隔交接验收时确实发生过放电击穿,但重复耐压试验合格。故判断该放电痕迹为基建调试交流耐压时盆式绝缘子放电造成,虽然盆式绝缘子表面有放电闪络痕迹,但绝缘未完全破坏,绝缘子仍可承受试验电压。

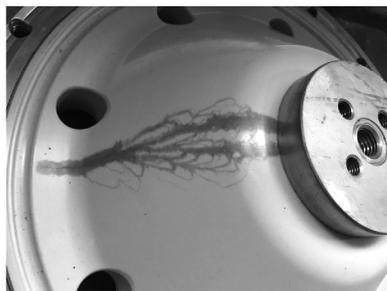


图6 1号主变压器2016隔离开关气室  
C相放电盆式绝缘子

根据现场GIS受损情况,修复方案为更换1号主变压器2016隔离开关A相气室水平布置盆式绝缘子以及110 kV GIS夹层受损的分支母线筒,更换1号主变压器2016隔离开关C相气室水平布置盆式绝缘子,并对1号主变压器2016隔离开关三相气室全面清理,检查该气室三相所有盆式绝缘子沿面状况,确认盆式绝缘子沿面洁净。

故障修复后现场交流耐压试验值为368 kV(出厂试验值的80%),其中A、C相一次通过,但B相在耐压试验过程中放电击穿(放电电压在220~250 kV

间)。现场核实耐压设备及高压引线对地距离后再次对B相试验,第1次加压至252 kV 10 s后放电击穿,第2次加压至180 kV 放电击穿,第3次加压至210 kV 放电击穿,判定在耐压区域B相内发生绝缘击穿。

对1号主变压器2016隔离开关B相气室再次开罐检查,发现220 kV GIS室垂直布置盆式绝缘子表面有明显放电痕迹,放电位置如图7中所示,放电痕迹如图8、图9所示。

从图8中放电树枝形态分析,该盆式绝缘子表面有多条放电通道,且对耐压区域其他盆式绝缘子及母线筒检查无异常,因此判断盆式绝缘子在试验过程中沿面发生多次放电击穿。

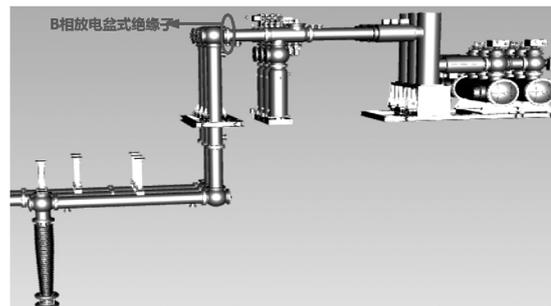


图7 1号主变压器2016隔离开关气室B相放电  
盆式绝缘子位置(耐压试验时放电击穿)



图8 B相盆式绝缘子放电痕迹  
(耐压试验时放电击穿)

从图9中可以看出放电点处金属嵌件与环氧树脂结合处有明显烧蚀痕迹,且图9中虚框内金属嵌件与环氧树脂结合处明显不平整,该处为环氧树脂、金属嵌件以及SF<sub>6</sub>气体三交界面,属于电场畸变区,在绝缘子表面未清理干净的情况下易发生放电。

同时该盆式绝缘子安装在拐角处,由于安装位置限制,在故障后回收气体、抽真空过程中,绝缘子表面吸附异物后不易清理干净。

### 3 金属颗粒对绝缘子表面电荷影响分析

图10为金属微粒对盆式绝缘子表面电荷影响



图 9 放电盆式绝缘子与金属嵌件交界情况  
(耐压试验时放电击穿)

示意图。当高压导体电压为正半波,金属微粒 A 端相对于高压导体为负极性, B 端相对于外壳为正极性。由于负极性电晕放电起始电压低于正极性,当 A 端局部电场强度超过电晕放电起始电场强度时,

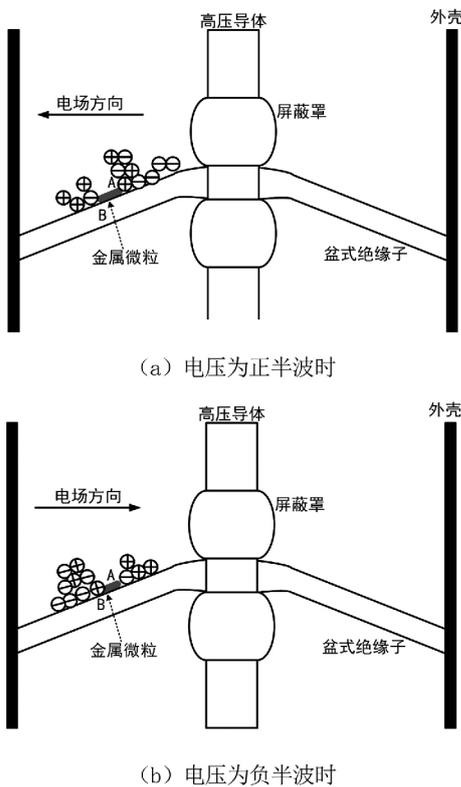


图 10 金属微粒对盆式绝缘子表面电荷影响

A 端将先于 B 端发生负极性电晕放电。A 端附近盆式绝缘子表面聚集起正极性表面电荷,在离 A 端较远的空间则是分散的负电荷, A 端附近的正电荷使电场畸变更容易形成流注、产生电晕放电,放电产生的许多电子崩造成了弥散分布的等离子层,削弱了等离子体前方的电场,不利于放电的向前发展,因此 A 端放电类似于汤逊放电,分布较为弥散,在放电路径上积聚起负极性表面电荷<sup>[9]</sup>。

当 B 端局部电场强度超过电晕起始场强, B 端

发生正极性电晕放电,在 B 端附近盆式绝缘子表面积聚起少量正极性表面电荷。

当高压导体电压为负半波时, B 端首先发生负电晕放电,在 B 端附近盆式绝缘子表面积聚负极性表面电荷;当电压升高到 A 端发生正极性电晕放电时,在 A 端附近盆式绝缘子表面积聚起少量正表面电荷。

由于电压极性周期性变化,电荷整体分布比较均匀,但负极性电晕放电比正极性电晕放电更容易起始,放电更为弥散,且 SF<sub>6</sub> 气体为强负电性气体,很容易吸附电子形成负离子,因此在交流电压下,绝缘子沿面放电会产生以负电荷为主的电荷积聚<sup>[4, 9]</sup>。盆式绝缘子表面电荷积聚及其电场畸变直接导致沿面闪络电压降低。

#### 4 结 语

故障前无恶劣天气,所有保护装置及系统无异常,在 1 号主变压器 201 断路器检修完成后送电 1 号主变压器时发生 A 相盆式绝缘子沿面闪络放电, B、C 相盆式绝缘子均在试验电压下发生沿面放电,经分析本次故障的原因属产品或装配质量问题。

造成本次三相盆式绝缘子放电的原因是:

1) 盆式绝缘子生产过程中,金属嵌件与环氧树脂结合处工艺不良。由于该处为环氧树脂、金属及 SF<sub>6</sub> 气体 3 类电介质交界面,工艺处理不良产生不光滑的毛刺后会导致电场畸变产生局部放电,在表面有粉尘、金属屑等异物的情况下局部放电加剧,最终导致放电击穿。

2) 在基建安装时绝缘子表面未清理干净。GIS 装配过程中的粉尘以及金属屑掉落在盆式绝缘子表面引起电场畸变,在送电过程中产生的操作过电压以及机械振动作用下,绝缘子表面绝缘裂化或异物跳跃至高电场区域,导致盆式绝缘子沿面放电。

建议:1) 制造厂应加强盆式绝缘子的浇筑、固化工艺质量管控,加强磨具的清洁度检查,避免绝缘子内存在异物、空穴、裂纹等隐性缺陷。

2) 基建安装时应应对 GIS 内盆式绝缘子、导体、筒体全面清理,确保安装质量工艺,并严格按照 100% 出厂耐压试验值开展现场交流耐压试验。

3) 根据 DL/T 618-2011《气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程》,GIS 耐压过程中发生击穿放电,可进行重复耐压,若重复耐压能经受规定的

试验电压,认为耐压试验通过。然而从本次耐压试验结果以及C相盆式绝缘子表面已有放电痕迹仍在运行电压下正常运行的情况来看,建议GIS耐压试验时一旦发生放电击穿就应该开罐检查确认放电点及放电原因。

4) 根据220 kV室内变电站典型设计方案,该站220 kV GIS主变压器进线分支母线从4楼GIS室至1楼主变压器室设计为一个气室,气室长20 m左右且三相气室连通,主变压器室内GIS分支母线和套管安装高度12 m左右且无检修通道,在发生故障时施工难度极大、故障影响范围大,建议在今后的新建变电站中避免采用此类设计。

参考文献

[1] 邱炜,刘石. GIS设备现场交流耐压试验放电故障定位与分析[J]. 四川电力技术 2016, 39(5):67-70.

[2] 刘石,蒋鹏,彭晨光,等. 一起1100 kV GIS盆式绝缘子击穿故障分析[J]. 浙江电力 2016, 35(10):36-39.

(上接第58页)

从图9中可以分析出:断路器A相在PSD装置接收到合闸命令38 ms后,检测到交流母线A相电压过零点,而后再延时96 ms PSD装置向断路器合闸线圈开出高电平,经过157 ms发生预击穿。对带电调试期间PSD装置选相合闸录波中发生预击穿时与电压过零点角度偏差进行统计,数据取30次断路器合闸时角度偏移的平均值,如表2所示。

表2 断路器预击穿时刻与电压过零点角度

型号	A相/(°)	B相/(°)	C相/(°)
HP3	7.60	12.60	11.00
BP11/13	9.90	10.95	10.50
BP24/36	14.25	16.05	12.15

从表2中数据可以看出,不同类型的交流滤波器组合闸角度与母线电压过零点存在一定的偏差,偏差角度与交流滤波器的接线形式有一定的联系。

3 结 语

通过选相合闸装置PSD在扎鲁特换流站交流滤波器合闸中的应用分析,推论出不同型号交流滤波器在选相合闸过程中电压过零点的差异,并利用PSD装置内的录波图论证了推论的正确性。下一步将结合不同型号滤波器的参数及其接线形式,从原理上推导PSD选相合闸装置电压过零点的理论值。

[3] 林海丹,刘熊,梁义明,等. 绝缘材料沿面闪络发展特性的研究进展[J]. 绝缘材料 2015, 48(7):1-8.

[4] 孙秋芹,罗宸江,汪泓,等. 特高压GIS盆式绝缘子沿面闪络特性研究综述[J]. 高压电器 2018, 54(5):17-25.

[5] 李秀卫,王庆玉,毛惠卿,等. 一起组合电器内部绝缘故障综合分析[J]. 高压电器 2012, 48(8):99-102.

[6] 李超,陶蓉. 一起126 kV GIS设备故障后的检测实例分析[J]. 高压电器 2015, 51(1):145-149.

[7] 黄荣辉,张欣,秦逸帆,等. 雷电冲击下金属污染物对GIS中盆式绝缘子闪络特性的影响[J]. 高压电器, 2016, 52(4):111-116.

[8] 李庆民,王健,李伯涛,等. GIS/GIL中金属微粒污染问题研究进展[J]. 高电压技术 2016, 42(3):849-860.

[9] 严璋,朱德恒. 高电压绝缘技术[M]. 北京:中国电力出版社 2007:72-74.

作者简介:

邱炜(1985),工学硕士,高级工程师,主要从事变电设备检修、技术监督工作。

(收稿日期:2019-02-04)

参考文献

[1] 曾昭华,段世航,黄庆宜,等. 我国500 kV断路器取消合闸电阻的几个问题—兼评SD119-84的有关规定[J]. 电力技术,1990(4):2-6.

[2] 杨帆,宋天奇,张雪波,等. ±800 kV 侨乡换流站500 kV交流滤波器小组断路器选相合闸问题分析[J]. 南方电网技术 2014, 8(6):34-38.

[3] 杨广羽,李锋涛,刘高峰,等. 高压直流输电工程分合闸选相装置的工作原理及应用情况[J]. 电力系统保护与控制 2010, 38(16):34-36.

[4] 范兴明,葛琳,张鑫,等. 基于选相合闸技术的变压器励磁涌流的仿真分析[J]. 高压电器 2014, 50(2):54-59.

[5] 班连庚,郑彬,周佩朋,等. 特高压交流变压器选相合闸技术研究及工程应用[J]. 电网技术 2018, 42(4):1226-1233.

[6] 张俊,李腾亮,李军. 选相合闸装置对直流输电控制系统的影响[J]. 电气应用 2014(24):106-109.

[7] 涂彩琪,吴水锋. 开关设备选相分合闸技术应用研究[J]. 湖北电力 2015, 39(2):29-31.

[8] 西门子(杭州)高压开关有限公司. PSD02控制单元操作说明书[Z].

作者简介:

朱鹏飞(1981) 硕士,工程师,从事特高压交直流系统及新型大容量调相机运维分析研究工作。

(收稿日期:2019-01-08)