

# 110 kV GIS 隔离开关缺相故障分析

黄克全,郑荣锋,屈飞飞,刘圆方,陆晓彬,黄鑫  
(国网四川省电力公司成都供电公司,四川 成都 610041)

**摘要:**文中针对一起110 kV GIS设备隔离开关缺相故障导致主变压器跳闸的事故展开讨论,通过对故障录波进行分析,结合故障定位以及GIS设备开罐解体检修,最终找到了设备工艺缺陷及事故诱因,并提出合理的整改建议。

**关键词:**缺相故障;GIS隔离开关;事故分析

**中图分类号:**TM 564 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)01-0087-04

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20220119

## Analysis on Open-phase Fault of 110 kV GIS Disconnecter

HUANG Kequan, ZHENG Rongfeng, QU Feifei, LIU Yuanfang, LU Xiaobin, HUANG Xin  
(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** A main transformer tripping accident caused by open-phase fault of 110 kV GIS disconnecter is analyzed. Through the analysis of fault recording, and combined with fault location and disassembly maintenance of GIS equipment, the equipment process defects and the cause of the accident are finally found out, and the reasonable rectification suggestions are put forward.

**Key words:** open-phase fault; GIS disconnecter; accident analysis

## 0 引言

随着电力技术发展以及城市土地资源紧张加剧,气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)越来越多地应用在新投变电站以及老旧变电站改造中,相对于常规敞开式变电设备,GIS具有占地面积小、技术性能优良、日常维护简单、可靠性高等优点。但由于GIS的导电部分全封闭于GIS管道中,对运行维护带来一些负面影响,如开罐检修工艺复杂、安装环境无尘化要求高、GIS气体污染等<sup>[1]</sup>。当GIS设备发生局部故障而需要停电检修时,往往要将相邻的GIS气室也进行停电,扩大了停电范围<sup>[2]</sup>;GIS气体回收以及真空注气往往耗时长,增加了停电时间。特别是GIS的密封特性使得内部的隔离开关位置只能通过位置传动机构进行判断,无法进行直观的观察<sup>[3]</sup>,操作过程一旦出现分合不到位难以立即发现,容易造成缺相运行。

下面分析处理了某110 kV变电站一起GIS隔离开关分合不到位,造成主变压器缺相运行后跳闸事故,通过故障分析及检修处理恢复供电,为GIS设

备的运行维护提供了典型运行经验。

## 1 故障经过

### 1.1 故障前运行方式

故障前该站接线方式如图1所示,运行方式为:182断路器供110 kV II母及2号主变压器电源,经110 kV内桥130断路器供110 kV I母及1号主变压器电源,181断路器热备用,110 kV备自投投入。10 kV分段930断路器热备用,10 kV备自投投入,10 kV I段所有出线因10 kV I段开关柜改造,负荷均改接(除电容一路971断路器、站用变压器961断路器外),仅站用变压器961断路器投入运行。

### 1.2 故障发生经过

故障当日,根据运行需要,需退出182断路器运行,将该站主供电源切换至181断路器。01:57,182断路器由运行转热备用;01:59,181断路器由热备用转运行;02:03拉开1、2号主变压器110 kV侧中性点1019、1029隔离开关。181断路器合闸后,监控机、测控装置均无潮流显示,但110 kV和10 kV电压正常。初步判断为监控系统异常。

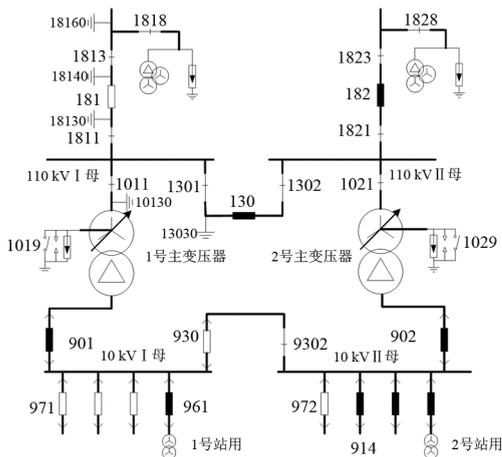


图 1 事故变电站故障前运行方式

此后,该站还进行了主变压器调挡和电容器投切操作。07:39,调度远方操作将 1 号主变压器由 4 挡调为 5 挡,此时 2 号主变压器在 7 挡;07:50,10 kV 电容二路 972 断路器合闸;07:51,10 kV 电容一路 971 断路器合闸。

07:51:17:996,2 号主变压器高后备保护启动,2965 ms 间隙过流 II 段保护动作,动作电流 5.83 A (间隙零序 II 段整定值为 2 A,3 s),2 号主变压器高后备保护出口跳开 130、902 断路器。

## 2 故障初步分析

### 2.1 故障特征分析

故障录波显示,01:59,181 断路器由跳位转合位时,181、130 断路器 CT 均检测出 B 相有负荷电流,A、C 相无电流,零相出现与 B 相同样的电流,如图 2 所示。02:03,拉开 1、2 号主变压器 110 kV 侧中性点 1019、1029 隔离开关后,181 断路器 B 相电流消失。分析认为,A、C 相存在一次回路中断路器或隔离开关合闸不到位的可能。由于操作过程中,主变压器中性点均处于直接接地状态,故 B 相电流等同于流过中性点的零序电流。拉开中性点隔离开关后,主变压器高压侧无负荷接入,故高压侧无负荷电流,B 相电流消失。



图 2 181 断路器电流故障录波

故障录波显示,到 07:51 主变压器高后备保护启动跳闸前,全站 10 kV I、II 段母线电压均正常,特别是 01:57,182 断路器由运行转热备用后,此时本应全站停电。因此,应该是 10 kV 系统存在倒送电。经逐一排查,检查出 10 kV II 段 914 线路对侧断路器违规合环,通过另一电源点倒送至该站 10 kV II 母,对全站供电。

根据 SOE 记录和故障录波,07:39,1 号主变压器由 4 挡变为 5 挡;07:51,10 kV 电容二路 972 断路器合闸;07:51:14,10 kV 电容一路 971 断路器合闸;07:51:20,2 号主变压器间隙过流 II 段动作 (5.88 A),跳 182、130、902 断路器(此时 182 断路器处于热备用状态),2 号主变压器 902 断路器 A、B 相电流消失,181 断路器 B 相、零相电流减小为 0,181、902 断路器录波如图 3 所示。

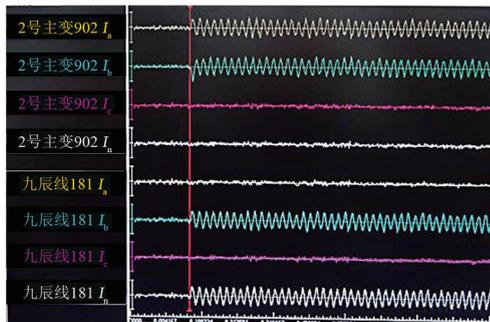


图 3 181 断路器、902 断路器电流故障录波

分析认为,凌晨由于 10 kV II 段出线负荷较低,914 线路倒送电可满足供电要求,而随着早上用电负荷的增长,914 线路供电容量已不能满足要求,10 kV II 段母线电压逐步下降,通过主变压器调挡和投入补偿电容提升 10 kV 母线。

当投入 10 kV 电容一路时,电容电流很大,使得 2 号主变压器 902 断路器 A、B 相出现相序相反的电流,投切电容的传递过电压加上主变压器缺相运行本身的相对地的零序过电压叠加,导致 2 号主变压器中性点击穿放电并持续较长时间,造成主变压器零序 II 段动作跳闸。

2 号主变压器 902 断路器关跳闸后,930 断路器合闸,110 kV 九辰线 181 断路器 B 相、零相,901 断路器 A、B 相,930 断路器 A、B 相均再次出现较大电流,SOE 记录显示此后 1 号主变压器高后备保护先后多次启动,最终 1 号主变压器中性点放电间隙棒烧融。08:50,经调度命令,运行人员操作拉开 181 断路器,1 号主变压器断电。由于中性点间隙长期

承受 B 相的相电压,致中性点间隙性击穿放电,零序保护启动,但由于放电时间未达到整定值,保护返回未出口。

### 2.2 试验验证

为了验证上述 181 断路器或隔离开关 A、C 相缺相的推测,对该 GIS I 段设备所有接地开关之间进行了分段回路电阻测试,结果如表 1 所示(其中 1301 和 1811 回路之间含部分母线,阻值相对较高)。

表 1 回路电阻测试值 单位:  $\mu\Omega$

设备编号	A 相	B 相	C 相
1813	$+\infty$	73	$+\infty$
181	35	39	36
1811 和 1011	241	250	253
1301 和 1811	424	455	428

由表 1 可知,1813 隔离开关 A、C 相回路不通,验证了 1813 隔离开关 A、C 相合闸不到位的推断。

## 3 检修处理

对 1813 隔离开关进行了开罐检查,其内部如图 4 所示。开罐发现,该隔离开关 A、C 两相动触头未关合到位,B 相触头合闸正常。由于 A、C 两相共用一个绝缘连杆进行操作,B 相单独使用一个绝缘连杆操作,所以 A、C 两相的故障同时发生。



图 4 1813 隔离开关内部

为进一步查明操作机构的转动不能带动内部的 A、C 相导体伸缩的内在原因,现场进一步拆除了隔离开关的动触头侧导体并进行了解体检查,检查发现用于 A、C 相导体传动的 A 相叉条拐臂卡口变形扩张,卡口内部磨圆,导致 A、C 相绝缘传动杆与拐臂连接处出现打滑现象。图 5 为叉头拐臂带动绝缘拉杆分合闸的示意图,故障卡口与新卡口对比如图 6 所示。

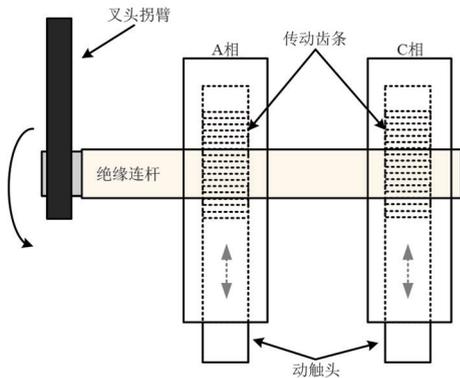


图 5 叉头拐臂带动绝缘拉杆分合闸



图 6 新旧叉条拐臂对比

紧固到位,完成气室清洁、更换吸附剂和密封圈、抽真空、充 SF<sub>6</sub> 气体并经操作试验、回路电阻测试合格。之后,对该站所有隔离开关的导体叉条拐臂进行全面开罐检查,还发现了 1011、1301 隔离开关叉条处螺栓松动及磨损的痕迹,如图 7 所示。

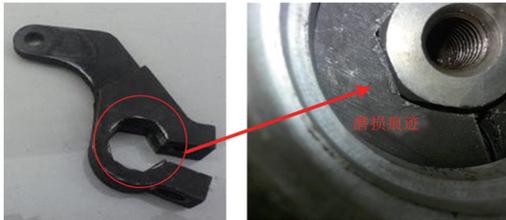


图 7 1011 叉条拐臂

## 4 原因分析

经与生产厂家共同分析,认为这是由于该部件在制造过程中的生产工艺欠佳和在装配过程中控制不严,导致叉条拐臂与传动轴存在尺寸上的正公差,再加上气动机构分、合闸对罐内导体冲击较大,经过十多年来多次操作,造成螺栓松动使部件发生变形,导致这次故障的发生。据厂家人员介绍,该部件在全国普遍使用,但变形缺陷系首次发生,应为极个别的问题。

## 5 结论

1) 该站变电一次部分采用典型的内桥结构,

现场更换 1813 隔离开关 A 相拐臂,紧固螺钉

但其 110 kV 母线未设计单独的母线 PT, 靠两组 110 kV 线路侧 PT 监视 110 kV 母线电压, 虽节约了投资, 但暴露出在断路器、隔离开关合不到位时, 无法有效监视母线电压的弊端。建议对于受端 GIS 变电站, 必须设计两组独立的母线 PT, 以监测线路断路器、隔离开关是否合闸到位, 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、隔离开关分、合闸操作会对从操作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<sup>[4-5]</sup>。日常维护可对操作机构进行检查, 但对罐内传动部分无法检查。建议对 GIS 设备严格大修管理, 对运行 15 年及以上的 GIS 设备进行开罐大修, 更换老化磨损的部件, 消除设备隐患, 确保安全运行。

3) 加强 110 kV 用电管理, 防止断路器意外投切形成合环倒送电导致人身、设备事故。同时, 运行人员一旦发现监控信号异常, 都应及时汇报并尽快查明原因, 以防止事故扩大。

(上接第 35 页)

- [5] 熊晓祎, 肖先勇, 左金威, 等. 触电事故特征改进近似熵检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(13): 27-33.
- [6] 刘永梅, 盛万兴, 杜松怀. 一种面向剩余电流保护装置的触电阻抗建模方法[J]. 河北工业大学学报, 2017, 46(4): 15-23.
- [7] 李磊, 关海鸥, 杜松怀, 等. 农村低压电网触电生物电流频谱特性分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2016, 28(3): 129-133.
- [8] 关海鸥, 杜松怀, 李春兰, 等. 基于有限脉冲反应和径向基神经网络的触电信号识别[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 187-194.
- [9] 任龙霞. 活体触电识别研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [10] 李浩. 触/漏电故障分量提取与触电特征识别研究[D]. 成都: 四川大学, 2014.
- [11] Herman S. Electrical properties of tissue and cell suspensions[J]. Advances in Biological and Medical Physics, 1957, 5: 147-209.
- [12] 杨杰, 吴浩, 董星星, 等. 基于电流故障分量特征和随机森林的输电线路故障类型识别[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(13): 53-63.
- [13] 杜刚, 赵冬梅, 刘鑫, 等. 基于重尾分布的风电功率波动特性概率分布[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(7):

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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]. 高电压技术, 2011, 37(7): 1719-1727.
- [3] 兰建军, 洪智勇, 林青瑜. 高压断路器机械参数监测与寿命预估方法研究[J]. 华北电力大学学报, 2011, 30(1): 57-60.
- [4] 刘君华, 姚明, 黄成军, 等. 采用声电联合法的局部放电定位试验研究[J]. 高电压技术, 2009, 35(10): 2458-2463.
- [5] P Bolin, H Koch. Introduction and applications of gas insulated substation(GIS)[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, San Francisco, 2005: 920-926.

## 作者简介:

黄克全(1982), 男, 高级技师, 工程师, 主要从事变电一次设备检修、安装工作;

郑荣锋(1993), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事变电一次设备检修、安装工作。 (收稿日期: 2021-08-07)

52-57.

- [14] 莫慧芳, 谷爱昱, 饶明辉, 等. 基于小波包能量相对熵的电机振声信号故障检测[J]. 煤矿机械, 2014, 35(3): 231-233.
- [15] Yasulisa Omura, Kazuma Kojima. Spectroscopic study and analysis of the impact of alcohol intake on bio-impedance of the human body[C]. 2011 IEEE Sensors Proceedings: 1648-1651.
- [16] Cole K S. Permeability and impermeability of cell membranes for ions[J]. Cold Spring Harbour Symposia Quant. Biol., 1940, 8: 110-122.
- [17] 关海鸥, 郭元建, 杜松怀, 等. 农村低压电网触电电流数字特征描述与分析[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(3): 202-207.
- [18] 丁晨. A 型漏电保护器专用芯片的设计与应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [19] 李奎, 陆俭国, 瞿建喜. 智能化漏电保护器的研究[J]. 机床电器, 2002, 29(4): 7-9.

## 作者简介:

赵恒(1983), 男, 高级工程师, 研究方向为漏电保护与电气安全;

左金威(1991), 男, 工程师, 研究方向为剩余电流保护技术。 (收稿日期: 2021-08-09)