

瀑布沟水电站 500kV GIS 母线故障原因分析

方 圆,李党红,冯治国,冉垠康

(国电大渡河检修安装有限公司,四川 乐山 614900)

摘要:针对瀑布沟水电站 500 kV SF₆ 封闭式组合电器(GIS)母线 2014 年 6 月 25 日发生的故障,详细介绍了事故点查找过程和电压互感器、母线及故障发生段解体检查情况,根据解体调查现象对故障产生原因进行了分析总结,指出装配过程工艺执行不严格是造成故障的主要原因,该故障对 GIS 设备的现场装配具有警示作用。

关键词:封闭式组合电器;母线故障;盆式绝缘子;弧光放电;静电力;瀑布沟水电站

中图分类号:TV733 **文献标志码:**B **文章编号:**1006 - 7647(2014)S2 - 0066 - 04

瀑布沟水电站是国家“十五”重点工程和西部大开发标志性工程,是四川省最大的水电站之一,是一座以发电为主,兼有防洪、拦沙等综合效益的特大型水利水电枢纽工程。该电站装设 6 台混流式机组,单机容量 600 MW,多年平均发电量 147.9 亿 kW·h。开关站主接线采用 4/3 接线,主要包括 500 kV 两段母线、6 串 18 个开关、主变进线 6 回、出线 4 回。采用河南平高东芝高压开关有限公司的 GIS 设备,2009 年 12 月 13 日开始带电运行。

GIS 设备与常规敞开式变电站相比,其优点在于结构紧凑、占地面积小、可靠性高、配置灵活、安全性强、维护工作量很小、不受环境影响等,近年来在新建变电站中被大量采用。但由于 GIS 设备所有元件均处于密闭金属壳体内,运行人员无法直接观察设备运行状态,事故后只能通过继电保护动作情况初步判断故障范围,无法准确定位故障点,给故障后事故处理带来很大困难。

1 事故概况

2014 年 6 月 25 日 16:17,瀑布沟 500kV 母线Ⅰ号、Ⅱ号(以下简称Ⅰ母、Ⅱ母)差动保护动作,5014DL、5024DL、5034DL、5054DL、5064DL 三相跳闸。

事件发生时,瀑布沟Ⅰ母、Ⅱ母运行,2 号电抗器投运,1 号电抗器热备状态,第一串、第三串、第五串、第六串合环运行,布坡一线、布坡二线、布坡三线、布坡四线、深布线正常运行。

事件发生时,B 相最大差动电流 10.08A,对应

一次电流 30.24 kA (CT 变比 3000/1),持续时间 2.5 周波。测试母线三相对地绝缘发现 B 相偏低(A、C 相均 236GΩ,B 相 25GΩ),同时根据故障时Ⅱ母电压 U_b 、DL5054 电流 I_b 、DL5054 电流 $3I_0$ 、DL5064 电流 I_b 、DL5064 电流 $3I_0$ 等现场录波图,可确定故障点在Ⅱ母 B 相母线上。。

2 事故点查找

运行人员和检修人员对Ⅱ母进行外观检查,母线壳体未发现明显的放电痕迹。为了尽快确定故障位置,按照设备出厂图纸显示,瀑布沟 500kV GIS Ⅱ母 B 相设置了 5 段气室,试验人员对Ⅱ母 B 相 5 段气室以及与Ⅱ母 B 相相连的 YH(电压互感器)气室、G50142 气室、G50242 气室、G50342 气室、G50542 气室、G50642 气室共 11 段气室的 SF₆ 气体分解物分别进行了取样测试,结果如表 1 所示。可

表 1 各气室 SF₆ 气体分解产物检测数值 10⁻⁶

检测位置	H ₂ S	SO ₂	HF
Ⅱ母 V 段 B 相	0	0	0
50642G B 相	0	0	0
Ⅱ母 IV 段 B 相	0	0	0
50542G B 相	0	0	0
Ⅱ母 I 段 B 相	18.7	>100	0
50142G B 相	0	0	0
Ⅱ母 YH B 相	0	0	0
Ⅱ母 II 段 B 相	0	0	0
50242G B 相	0	0	0
Ⅱ母 I 段 B 相	0	0	0
50342G B 相	0	0	0

作者简介:方圆(1983—),男,陕西咸阳人,工程师,主要从事电站检修、安装与管理工作。E-mail:327221650@qq.com

以看出,Ⅱ母B相Ⅰ段气室气体分解物异常, H_2S 为 18.7×10^{-6} , SO_2 大于 100×10^{-6} ,其他气室 SF_6 分解物 H_2S 、 SO_2 、 HF 均为0。初步确定故障发生在第Ⅰ气室(见图1阴影部分)。

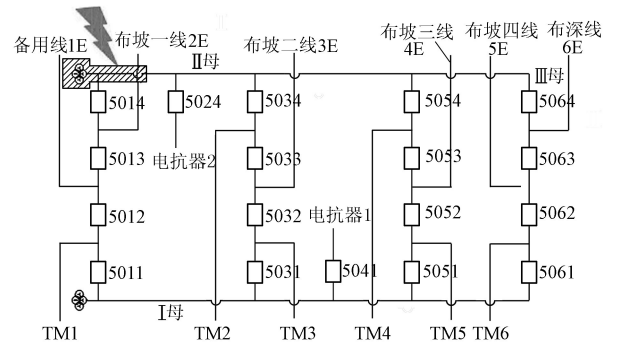


图1 故障位置示意图

3 解体检查

故障气室母线长度约15 m,在故障母线单元中的位置如图1所示,拆除该段母线需拆除电压互感器气室、Ⅱ母Ⅰ段气室、部分Ⅱ母Ⅱ段气室。

3.1 电压互感器解体检查

对Ⅱ母端部的电压互感器,现场拆下时,发现盆式绝缘子上覆盖一层薄薄的白色粉末状分解物,见图2。将该单元送至常州东芝公司更换绝缘件,经解体检查,未发现异常。



图2 电压互感器上的残留物

3.2 母线解体检查

母线单元解体检查,单元壳体内壁和导体上覆盖有薄薄一层白色粉末状分解物,但没有发现放电痕迹,柱式绝缘子无异常,见图3。



图3 母线上的残留物

3.3 故障发生段解体检查

a. 壳体内和导体上覆盖较多的分解物,壳体下部有吸附剂颗粒散落(吸附剂袋被电弧烧破,吸附剂颗粒溢出并散落在壳体内),如图4所示。



图4 吸附剂烧损情况

b. 盆式绝缘子凹侧表面干净,无异常,盆式绝缘子凸侧约1/2表面被黑色碳化物覆盖(图5)。收集残留物,经化验分析,主要元素有Si、F、O,各元素质量百分比分别为O占45.30%,F占19.34%,Al占1.06%,Si占34.3%,见图6,判断为燃弧生成物和环氧树脂材料。



图5 绝缘子放电后情况

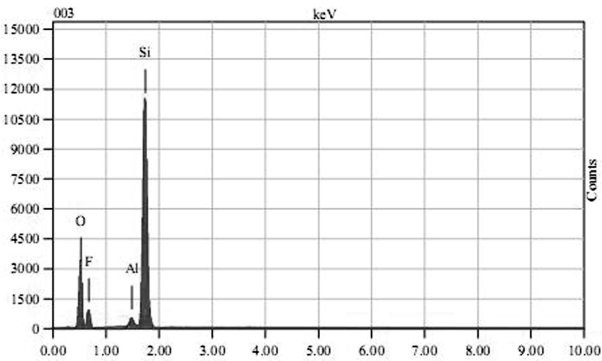


图6 盆式绝缘子凹面残留物分析报告

c. 在安装盆式绝缘子端,壳体内壁水平靠上部有电弧烧熔痕迹,最深处约3 mm。除此外,壳体其他部分无异常。和壳体烧熔位置相对应,导体及屏蔽件上有电弧烧熔及运动后留下的痕迹,导体其他部分无异常(图7、图8)。收集残留物,经化验分析,残留物主要元素有Al、F,各元素质量百分比分别为F占71.51%、Mg占1.02、Al占22.75、Ca占1.23%、Fe占3.49%,见图9,判断为导体或者壳体

材料中的 Al 和燃弧生成物。



图 7 壳体烧熔位置



图 8 导体烧熔位置

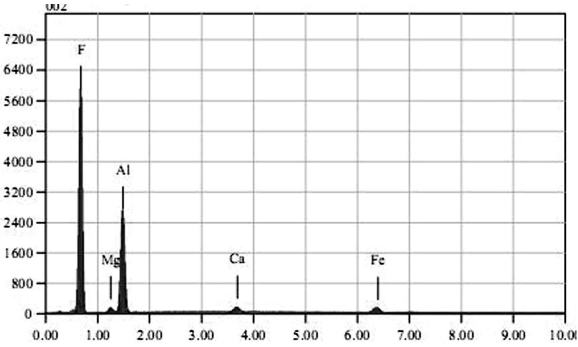


图 9 放电点残留物分析报告

d. 盆式绝缘子清洗后,发现部分面积受到燃弧高温影响而变色,并非是盆式绝缘子沿面闪络留下的放电痕迹,判断闪络并不是发生在盆式绝缘子的沿面(图 10)。

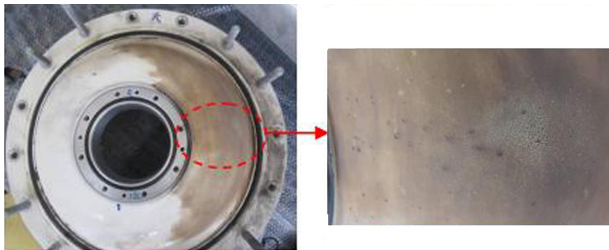


图 10 盆式绝缘子放电痕迹

e. 在盆式绝缘子和触头法兰的连接面上有烧熔痕迹,但在触头法兰烧熔痕迹的中央存在一直线状未熔部分。通常情况下,此接触面靠螺栓紧固呈完全密封状态,即便在其附近发生放电也不会烧损。从照片(图 11)也可看到,在圆周方向,仅在 10 mm 左右范围内有烧熔痕迹,其他接触面不存在痕迹。

但从上述的接触面上存在烧熔痕迹,以及触头法兰烧熔痕迹中央部有未熔的直线状部分来看,判断这个现象存在异常。

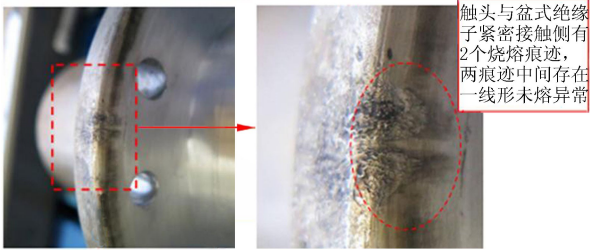


图 11 法兰盘异常未熔位置

4 原因分析

根据解体调查现象及后续各种分析,推测本次放电事故为装配后盆式绝缘子中心电极和触头间残留的金属异物导致在 SF₆ 气体中的放电,造成了绝缘故障。造成绝缘故障的原因一是外部原因,一是内部原因。

外部原因,即自然原因,包括雷击、地震和因操作断路器或隔离开关引起的操作过电压。本次故障发生前,涉及 II 母的设备操作情况为:4 月 28 日,合上 5024DL 断路器,将 II 母电抗器投入运行;5 月 9 日,合上 5064DL 断路器对深布线 6E 充电,其余无操作。全部 GCB、DS/ES 无操作,设备 SF₆ 气压正常,无异常信号。事件发生前及发生时,无雷电等恶劣天气现象,排除外部因素的影响。

内部原因包括设计不良、零部件制造尺寸不良及工厂内组装和现场对接不良等。

a. 设计不良为局部电场较高导致绝缘故障。本次故障部结构为日本东芝的基本设计。该部分为成熟构造,在其他工程也大量使用。出厂试验及现场耐压结果证明该部分结构正常,设计不良完全排除。

b. 在工厂对母线壳体焊装、盆式绝缘子、导体焊接、触头、屏蔽罩等处的尺寸进行了复核,发现绝缘件、导体和壳体尺寸正常,X 射线检查也无异常,排除零部件不良因素。

c. 工厂内如果组装不良,控制不好,容易有异物产生、异物残留现象。但从工厂试验和现场耐压情况来看,GIS 装配顺利通过了工厂试验和现场验收,证明在出厂前和现场对接后无较大异物产生和残留。

但是从分解结果来看,在绝缘子中心电极和触头的连接面之间存在异常的烧熔痕迹,见图 11。除此以外没有发现导致本次绝缘破坏的痕迹。

判断上述异常痕迹是在绝缘子中心电极和触头之间的连接面间夹杂有针状异物。之所以在出厂试

验阶段和现场的耐压阶段都未出现异常,是因为在装配阶段,此针状异物在屏蔽环内悬浮或沿着高压电极的圆弧面弯曲,由于盆式绝缘子的中心电极和屏蔽件连接处电场较为缓和,耐压试验时未能检出异常。

现场运行后,针状异物受到微小的静电振动,逐渐向竖起的方向弯曲,缓慢从平伏状态转变为直立状态,导致电场强增强了几倍,最后突破了屏蔽件处电场缓和的区域,导致电场集中,造成此针状金属异物对壳体放电,导体和壳体间通过电弧短路。从导体以及壳体上的烧熔痕迹判断,因短路电流产生的电弧受电磁力影响,向远离绝缘子的方向移动。经过近50 ms 后,相关断路器开断解除了事故,燃弧熄灭。

5 结 语

本次事故是由于安装工艺控制不严,盆式绝缘子中心电极和屏蔽件连接处存在异物,在电场的作用下,异物受到静电力作用,导致电场集中,造成了金属异物对壳体放电,导体和壳体间短路。对于

(上接第 63 页)

8 下导轴承滑转子上移

在瀑布沟水电站 4 号机组投运不久,发生了机组下导轴承滑转子与发电机大轴分离的情况,滑转子在离心力的作用下逐渐向上爬升,最终与铝合金材料的下导油槽盖板接触,导致油槽盖板严重磨损,磨损后的金属屑落入油槽内部,进入导瓦与大轴轴领之间,将导瓦面严重磨损,导致瓦温升高,造成机组停机。

瀑布沟水电站机组发电机大轴与下导轴承滑转子通过热套方式组合在一起,之间通过键传递扭矩。由于滑转子与大轴配合间隙过小,再加上机组运行时滑转子受热膨胀的影响,滑转子与大轴之间紧合力逐渐变小,最终在离心力作用下发生该故障。

在分析事故原因的基础上,将下导油槽进行彻底分解清洗,并更换下导瓦、研磨轴领。为节省处理工期,最终采用均匀加热的方法对滑转子进行加热,并用千斤顶对称将滑转子顶回原位,在测量滑转子圆度满足要求的情况下,加工限位块,焊接在大轴上,对滑转子进行限位。焊接时采用对称焊接的方

GIS 母线的安全运行和事故处理,应注意以下几点:①要做好母线的清洗和清理工作,控制安装调试工艺,切实保证设备投产后的安全运行;②母线故障后应尽快通过各种直接或间接手段查找或排除故障点,为后续事故处理提供参考;③GIS 设备投运后应加强监视,比如配备在线监测系统,对 GIS 气室内气体参数以及内部设备电场分布情况进行在线监测分析,及早发现隐患,避免引起设备事故的发生,在事故情况下可以迅速确定故障点,加快事故处理和恢复进程。

参考文献:

[1] 乐群. GIS 常见运行故障及现场安装工艺分析[J]. 上海电力,2006(5):538-541.
[2] 王卉,陈楷. 220kV GIS 母线事故处理方法探析[J]. 中国电力教育,2010(32):259-260.
[3] 杜少云,朱科. GIS 母线中金属异物运动的探讨[J]. 华通技术,2004(1):34-39.

(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)

式,并用百分表监测滑转子的变形量。

对 4 号机组下导轴承采用该方法处理后,4 号机组再未出现过滑转子上爬的情况,同时针对该现象,利用检修期对瀑布沟水电站每台机组进行了焊接限位块处理,目前机组运行状况良好。

9 结 语

瀑布沟水电站首台机组于 2009 年 12 月投产发电,电站 6 台机组于 2010 年 12 月全部投产发电。从首台机组投运后的 1 年多时间里,曾出现过各种故障,本文对出现的故障现象作了一简要综述,介绍了针对各故障采取的解决措施,对同类工程具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 冉毅川,符建平. 三峡左岸电站初期运行机械故障处理综述[J]. 水电自动化与大坝监测,2008(1):65-68.
[2] 向文平,陈勇旭,李军路. 瀑布沟水电站 2#水轮发电机组调速器故障分析及处理[J]. 广西水利水电,2012(5):64-66.

(收稿日期:2014-08-26 编辑:熊水斌)