

# 紫兰坝电站 SF<sub>6</sub> 全封闭组合电器母线回路故障的查找及处理

杨光霞

(华电四川宝珠寺水力发电厂, 四川 广元 628003)

**摘要:**随着目前 GIS 在电站的广泛应用,通过本次对紫兰坝电站 GIS 的故障查找、分析以及处理过程,对我们今后的 GIS 绝缘监测工作提出一个新的思考。预试工作应当坚持科学的态度,对试验结果必须全面地,历史地综合分析,掌握设备性能变化的规律和趋势,并以此来正确判断设备绝缘状况,为检修提供依据,使设备处于良好运行状态。

**关键词:**紫兰坝水电站;故障点;查找过程;原因;处理;建议

中图分类号:[TM622];U224.2+7;U472.42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)03-0112-05

## 1 概述

紫兰坝水电站位于四川省广元市境内,是白龙江干流梯级开发规划中的最后一个梯级水电站。本电站上游距已发电的宝珠寺电站 14 km,下游距宝成铁路昭化火车站 4 km。电站安装 3 台 34 MW 灯泡贯流式水轮发电机组,总装机容量 102 MW。电站发电机出口电压为 10.5 kV,发电机与变压器组合采用发电机-变压器单元接线方式,发电机出口设有出口真空断路器。主变压器高压侧为 110 kV,单母线分段接线,开关站采用西安西开高压电气股份有限公司生产的六氟化硫全封闭组合电器(GIS)。

GIS 与传统的敞开式开关设备比较,具有占地面积与空间体积小、运行安全可靠、维护方便、设备检修间隔周期长、安装方便等特点。目前被许多大型电站采用。

但是 GIS 也面临潜在缺点,一旦出现事故,危害后果比分离式敞开设备严重得多,修复周期也长,故障维修甚为复杂。本文以紫兰坝电站机组二号发电机 2F 检修预试时发现 GIS 母线回路故障来探讨 GIS 绝缘监督问题。

## 2 发现故障后的高压试验

2F 机组于 2006 年 12 月投入运行,其主变 2B 从投运至检修前未出现过载运行及受到短路冲击,一直处于额定工况下运行。

2007 年 12 月,紫兰坝电站 2F 机组进行第一次检查性大修,如图 1 所示 2F 电气一次主接线

图。从主变 2B 高压侧油气套管开始采用 GIS。

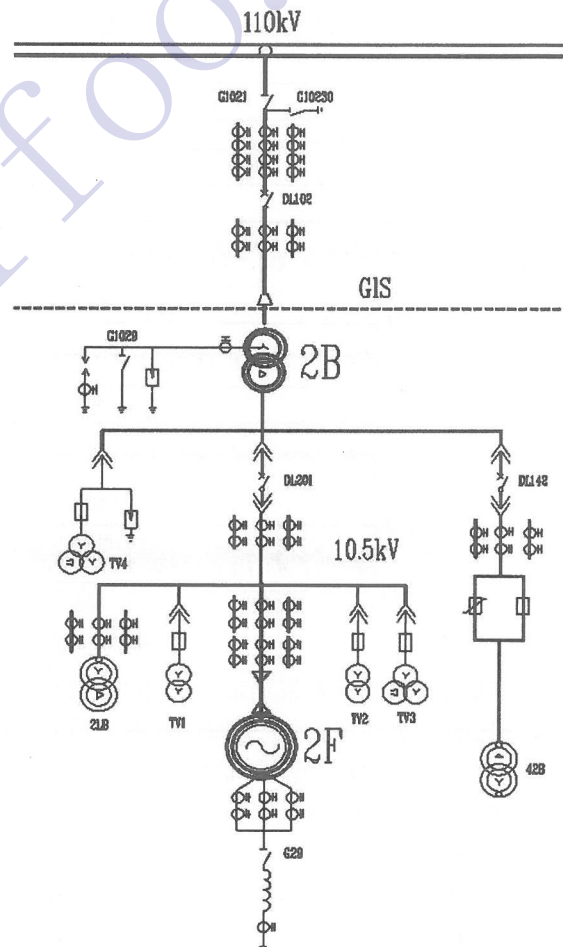


图 1 2F 机组电气一次主接线图

由于运行时间仅一年, GIS 属于免维护期,本次大修预试项目并未有 GIS 试验项目。在对二号主变压器 2B 进行高压侧直流电阻测试时,因为

收稿日期:2016-03-29

GIS 全封闭的特殊性,需通过在主变 GIS 出口接地刀闸 G10230 处进行测试。合上 2B 出口断路器 DL201,打开接地刀闸 G10230 的三相接地连接片,从接地刀闸刀的 A、B、C 三相引出线至主变中性点套管处分别测试高压侧三相直流电阻。其阻值包含高压侧绕组相间直阻,从油气套管至接地刀闸 G10230 之间的 GIS 导电回路电阻。

测试使用金迪生产的 JD2540 直流电阻测试仪,采用 40A 直流电流进行测试。具体测量出的绕组数据如下表:

表 1 2B 高压侧绕组直流电阻 /mΩ

AO	BO	CO
441	570	547.6

根据 DL/T 596—1996 预试规程的要求:容量为 1.6 MVA 以上的变压器,其相间直流电阻的差别不得大于三相平均值的 2%,与以前相同部位测得值比较,其变化不应大于 2%。从测试数据中可以看出,绕组三相相间直流电阻严重不平衡,直流电阻三相差别最大已经达到 24.8%,属于严重超标。

### 3 故障点查找过程

测量主变高压绕组直流电阻时,包含高压侧油气套管至 GIS 主变出口接地刀闸 G10230 之间的母线导电回路电阻,以及 SF<sub>6</sub> 断路器 DL102。但是母线和断路器的直流电阻应很小,据厂家出厂试验数据该段 GIS 的回路电阻不超过 1.3 mΩ,不应主变高压侧直流电阻造成增大很多的影响。

为排除主变压器绕组的问题,决定将主变高压侧套管 SF<sub>6</sub> 气体排出回收。打开油气套管手孔,由试验人员直接对连接导体及 2B 高压绕组做直流电阻测试(油气套管内试验测量位置如图 2)。

在高压套管母线连接处直接测量高压绕组直流电阻,排除 GIS 对绕组直流电阻的影响。两次测量结果如下表:

通过以上测量数据,得出绕组相间三相之间最大差别为 0.18%,绕组线间三相最大差别为 0.035%。直阻符合预试规程的要求,证明主变绕组无问题。因此,可以判断是主变油气套管至 GIS 接地刀闸 G10230 这段的原因造成所测绕组直流电阻增大。为进一步查找出故障点,需对 2B 高压侧 GIS 母线回路进行测试。

通过调整 2B 高压侧 GIS 水平段母线支撑后

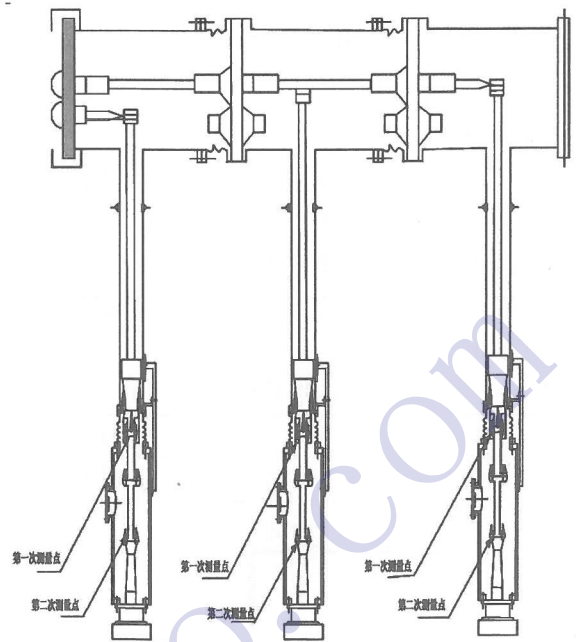


图 2 高压油气套管直流电阻测量位置图

表 2 2B 高压侧绕组直流电阻 /mΩ

相别	AO	BO	CO	AB	BC	CA
第一次测量结果	432.8	433.3	433.6	867.7	867.8	867.5
第二次测量结果	433.0	433.5	433.7	—	—	—

(为排除 GIS 母线室因地基沉降而造成 GIS 内导体接触不良的可能)。接着,我们又对主变油气套管至 G10230 隔离刀闸之间的 GIS 回路电阻进行回路电阻测试。由于 GIS 回路电阻测量要求在使用不小于 100 A 的直流电流条件下进行,直流电阻测试仪已经不能满足 GIS 回路电阻测试的要求,结合现场设备采用直流电焊机输出直流大电流的方式来测量回路电阻,找出 GIS 内部的故障点。测量原理接线图如下图:

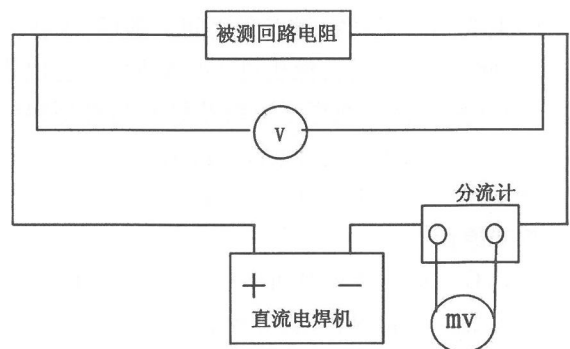


图 3 GIS 直流电阻测量原理接线图

图中 V 为高内阻电压表 mv 为毫伏表,分流计为变比 300 A/75 mv

所测的回路电阻  $R = \frac{U}{I} (\Omega)$

式中  $U$  为电压表读数(V);  $I$  为分流计 mv 表读数  $\times$  变比(A)

厂家要求 2B 主变油气套管到该间隔隔离开关地刀(不含地刀)回路电阻理论值  $\leq 1.3 \text{ m}\Omega$ , 现场实测值不应大于理论值的 120%。

测试主变油气套管至接地刀闸 G10230 处回路电阻如下表:

A	B	C
2.14	47.95	25.6

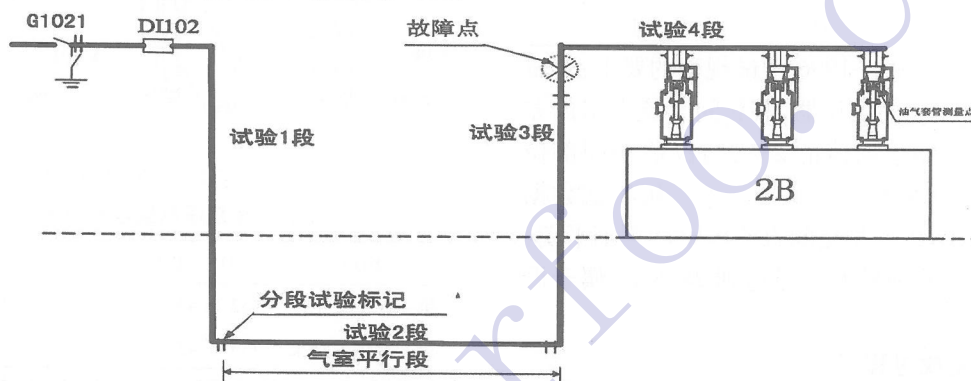


图4 分段试验情况图

各段测试结果如下:

测试部位	A	B	C
第一段	0.268	0.264	0.266
第二段	0.648	0.6709	0.645 9
第三段	0.1265	0.1269	0.127 0
第四段	1.215	47.082	24.721

由表4数据可得知,排除1、2、3段,而第4段三相数据相差较大,故初步判断故障点在第4段中,即主变出口至气室竖直段之间。随后,工作人员打开此段气室手孔,探头进入目测检查,发现故障点为气室间盆式绝缘子上梅花触头与管型铝母线的连接处,三相均有不同程度的碳化发黑现象(如图5、图6),A、B相尤为严重。

#### 4 故障原因

(1) GIS 母线室地基沉降,可能造成 GIS 气室位移,内部导体接触松动,导致长期运行发热。通过水工观测 2B 高压侧 GIS 水平段母线平衡度,发现水平段母线安装高程的最高处与最低处相差超过约 2 cm,在对 2B 高压侧 GIS 水平段母线支撑进行了调整后测试回路电阻,数据并无明显变化

由测量数据分析 2B 高压侧整体 GIS 母线回路直流电阻数据三相严重超标。为快捷而准确地找到故障点。采取分段试验排除,但 G1022 至 2B 高压侧 GIS 母线回路共 7 个气室,除 G1021 (G10230 和 G1021 同在一个气室)与 DL102 为独立气室外,其余各气室均由外部金属软管连通,长约 25 m 的 GIS 母线回路,中间导体的连接部件很多。在与 GIS 设备厂家技术人员商议后,决定对这 7 个气室内的导电回路分 4 段进行直流电阻测试。之后,工作人员逐段对这 4 段气室 SF6 气体进行了回收,并对导电回路进行直流电阻测试,分段试验情况如下图所示:

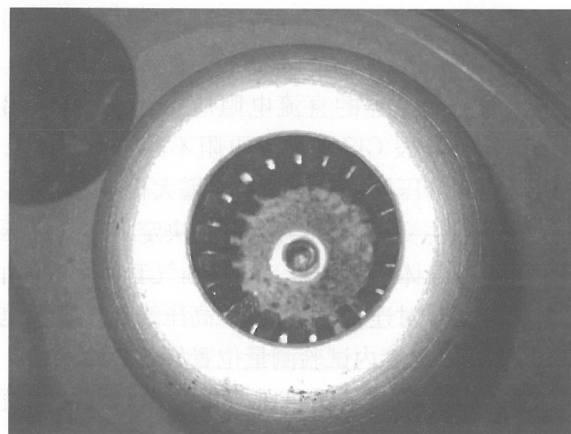


图5 碳化发黑的管型铝母线

(见表3数据),排除了主要因地基沉降造成了 GIS 过流部件接触不良的可能。

(2) GIS 设备生产及安装质量存在隐患。故障点处的过流部件加工精度不够,及梅花触指压力偏小,安装中各导电接触面未按规定进行清洁(GIS 设备安装过程中对环境清洁度、湿度等要求极高。在后来的分析会中,GIS 厂家人员也承认安装过程中存在监督、指导不力的因素),导致接

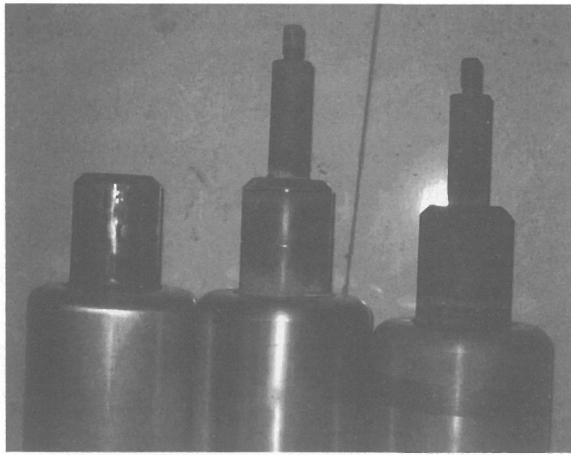


图 6 碳化发黑的梅花触头

触不良,长期运行发热所致。

(3)通过观察、测量发现与故障段气室相连的波纹管软连接的拉伸尺寸有偏差。原规定 30 cm 的拉伸尺寸(厂家规定值),现尺寸为 31.8 cm,超过规定 1.8 cm。通过分析可认为,由于二号主变 2B 安装基础或 GIS 设计的差错,产生了安装时 GIS 母线与 2B 高压侧对接位置上尺寸的偏差,导致过流部件梅花触头与管型铝母线接触不到位,造成触头与管母的接触面积小于规定值要求。随着设备投运时间的延长,及导体间的电动力的作用,触头与管母接触面积不足及接触松动导致部件发热氧化。接触面的氧化致使接触电阻的进一步增大,发热就更加严重,形成一种恶性循环,隐患就逐步升级,最终造成梅花触头与管型铝母线的连接处严重碳化发黑。

## 5 故障处理

### 5.1 拆卸气室,更换部件

为防止所处理故障气室的盆式绝缘子受相邻气室压力过大而损坏。工作人员先对故障气室两端相邻气室的 SF<sub>6</sub> 气体进行回收至 0.2 MPa,再回收尽故障气室 SF<sub>6</sub> 气体。打开故障气室拆除安装有故障梅花触头的盆式绝缘子及管型铝母线,清扫故障气室及盆式绝缘子,更换新的梅花触头及加长的管型铝母线。

### 5.2 直流电阻测试

对更换部件后的 2B 高压侧 GIS 母线回路(高压油气套管至 DL102 出口接地刀闸 G102130)整体做直流电阻测试,三相数据平衡、大小合格,满足厂家  $\leq 1.3 \text{ m}\Omega$  的要求,具体试验数据如下:

表 5 2B 高压侧至 G10230 回路电阻/ $\text{m}\Omega$ 

A	B	C
1.21	1.21	1.16

加上 2B 高压绕组直流电阻值后的数据如下:

表 6 G10230 处测得 2B 高压侧直路电阻/ $\text{m}\Omega$ 

AO	BO	CO
433.96	434.51	434.81

高压绕组直流电阻三相平衡,符合电气预试规程的要求。

### 5.3 处理完后的交流耐压试验

在 GIS 母线回路整体充气静置 24 h 后,回收尽油气套管内 SF<sub>6</sub> 气体。断开油气套管内 2B 高压绕组与 GIS 母线的导体连接,退出线路间隔和相邻母线 TV 及 2B 间隔相关的所有保护和控制回路,由 GIS 出线空气套管处加压,对此段检修过的 GIS 母线做耐压试验。根据事先制定的试验方案,先进行老炼净化:65 kV 历时 5 min,110 kV 历时 3 min,最后加压 184 kV(该 GIS 出厂试验电压为 230 kV,耐压值为出厂值的 80%),历时 1 min,耐压合格。恢复油气套管内导体连接,封闭气室抽真空,检漏后对油气套管充 SF<sub>6</sub> 气体至 0.4 MPa。利用 SF<sub>6</sub> 气体检漏探测仪进行检测无渗漏,处理完毕,投运后正常运行至今。

由于 GIS 是全封闭组合电器,虽然我们按照一次接线图断开有关隔离刀闸以及断路器,但没有明确可见断开点。为防止感应电伤人,保证检修测量人员和设备的安全,必须将主变所在的母线包括母线所带出线全部停电,方能进行检修试验工作。

## 6 GIS 的预试建议

由于 GIS 是全封闭,免维护,如何在停机检修及时发现 GIS 存在的缺陷,保证设备安全运行。虽然厂家均承诺基本免维护。但基于安装不规范及交接验收不严格等原因,对于新投产的 GIS 设备在其首次大修时对其进行全面的检修、预试非常必要。

由于目前预试规程对 GIS 的标准要求不详细,为保证 GIS 设备的稳定运行,和厂家商讨后制定监测方法。其中,对容易出问题的触指接触电阻,以及隔离开关等的回路电阻值制定出相应的标准范围和检测手段。厂家规定 110 kV 的 GIS 设备各回路电阻理论计算标准如下:

建议 1-3 年对 GIS 一次回路电阻进行检测。

表 7 GIS 设备回路电阻理论计算标准

部位	要求	说明
断路器	A, C 相:41 $\mu\Omega$	
	B 相:49 $\mu\Omega$	
隔离开关	30 $\mu\Omega$	(GR)
隔离开关	A, C 相:26 $\mu\Omega$	(GL)
	B 相:21 $\mu\Omega$	
主母线、分支母线导体	13 $\mu\Omega/m$	
梅花触头	10 $\mu\Omega/个$	
接触面	0.5 $\mu\Omega/个$	(固定连接)

母线电阻测量位置如下:

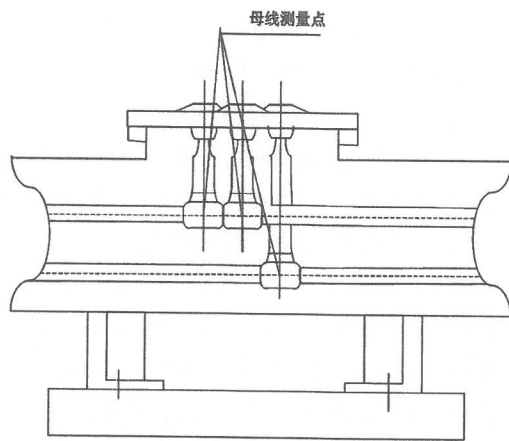


图 7 GIS 母线测量位置图

平时还应运用 SF6 气体检漏仪、SF<sub>6</sub> 水分测试, 监视各气室压力, 以及红外成像拍摄比较分析同一部位不同时期的热图温度来粗略判断各部位发热的状况等手段对 GIS 进行周期性的检测, 及时掌握 GIS 设备的运行状况。

### 7 结 语

随着目前 GIS 在电站的广泛应用, 通过本次对紫兰坝电站 GIS 的故障查找、分析以及处理过程, 对我们今后的 GIS 绝缘监测工作提出一个新的思考。预试工作应当坚持科学的态度, 对试验结果必须全面地, 历史地综合分析, 掌握设备性能变化的规律和趋势, 并以此来正确判断设备绝缘状况, 为检修提供依据, 使设备处于良好运行状态。

### 参考文献:

- [1] 《DL/T 596—1996 电气预防性试验规程》
- [2] 陈华刚《电气设备预防性试验方法》北京: 水利电力出版社, 1994
- [3] 西安西开高压电气股份有限公司《GIS 产品出厂试验主回路电阻测量标准方案》

### 作者简介:

杨光霞(1975-), 女, 四川都江堰人, 毕业于成都电力职工大学发电厂及变电站专业, 助理工程师, 现于华电四川宝珠寺水力发电厂从事电气高压试验工作。

(责任编辑: 卓政昌)

(上接第 111 页)

绘制去除异常值后的小波分解序列图, 如图 3 所示。从图中可以看出, 高频部分受噪声影响较大, 波动较剧烈。利用式(8), 选用合适的阈值, 对去除异常值的高频序列进行去噪处理。处理后监测序列与原始监测序列对比如图 2 所示。

由图 2 可知, 监测数据经过小波阈值处理后, 能较好的消除异常值, 原始序列未出现明显变化, 保留了监测数据序列变化趋势。由图 2、图 3 可知, 软阈值去噪法去噪效果较好, 能有效的消除序列中噪声影响, 使监测数据序列更加光滑、失真小。

### 3 结 论

大坝监测系统所采集的监测数据资料存在异常值并受噪声的影响, 小波分析具有多分辨率、时频分析的特点。小波分析方法能准确、迅速的定位监测数据序列中异常值, 适合运用于数据较多的情况。利用点的小波变换模极大值和阈值法能有效的去除异常值, 避免人工去除的繁琐过程。对去除异常值后的序列进行小波软阈值去噪, 消除监测数据中噪声的影响, 为后续监测资料分析

评价提供能反映大坝真实性态的数据。同时该方法适应性较广, 能运用到其他数据预处理中, 但必须根据实际情况选择合适的小波函数以及阈值。

### 参考文献:

- [1] 何金平. 大坝安全监测理论与应用[M]. 中国水利水电出版社, 2010.
- [2] 徐洪钟, 吴中如, 李雪红, 等. 基于小波分析的大坝观测数据异常值检测[J]. 水电能源科学, 2002(4): 20-21.
- [3] 潘泉. 小波滤波方法及应用[M]. 清华大学出版社, 2005.
- [4] 孙廷奎. 小波分析及其应用[M]. 机械工业出版社, 2005.
- [5] 何浩祥, 孙立, 闫维明, 等. 基于小波分析的结构损伤信号奇异性检测[J]. 工业建筑, 2007, 37(S1): 204-207.
- [6] 袁晓峰. 大坝安全监测资料分析若干问题研究——万安电厂典型坝段监测资料分析[D]. 南昌大学, 2007.
- [7] 张德丰. 基于小波的信号阈值去噪算法研究[J]. 现代计算机: 专业版, 2007(5): 26-28.

### 作者简介:

崔俊杰(1988-), 男, 河北石家庄人, 毕业于河海大学水工结构工程专业, 现于雅砻江流域水电开发有限公司从事项目管理工作;

李 饶(1988-), 男, 四川资阳人, 毕业于四川大学水工结构工程; 现于雅砻江流域水电开发有限公司从事项目管理工作;

张学峰(1986-), 女, 山西文水人, 毕业于河海大学水工结构工程专业, 现于德阳市水务局从事党建党务人事管理工作。

(责任编辑: 卓政昌)