

# 某变电站变压器直连故障原因分析

李杰<sup>1</sup>, 张荻<sup>2</sup>, 董斌<sup>2</sup>

(1. 平顶山学院 电气与机械工程学院, 河南 平顶山 467099;

2. 河南平高电气股份有限公司, 河南 平顶山 467001)

**摘 要:**针对某变电站2号变66 kV侧C相油气套管部分严重烧蚀的问题,对烧蚀故障部位进行现场检查,确定了故障最初发生位置.通过对该故障间隔样品进行解体检查、关键零部件尺寸检测、不同接触情况下的接触电阻测量验证、分解物化验等试验,得出C相直连筒体内导体连接部位接触不良发热,长期积累造成导体熔化,金属熔化物朝筒体内壁溅射造成接地故障.

**关键词:**油气套管;现场检查;烧蚀;接触不良;接地故障

中图分类号:TM855<sup>+</sup>.1

文献标识码:A

文章编号:1673-1670(2019)02-0026-04

## 0 引言

随着坚强智能电网的稳步推广,越来越多的气体绝缘封闭式组合电器(以下简称GIS)产品在电网中成功运行<sup>[1-2]</sup>.以往研究者们认为气体绝缘封闭式组合电器具有高的可靠性,无需维护<sup>[3-4]</sup>,但现阶段,随着GIS设备的广泛应用,设备自身的绝缘能力的下降、保护误动作、气体报警等现象时有发生,给电网的安全运行带来了巨大隐患<sup>[5]</sup>.

笔者针对某GIS变电站内的66 kV侧C相油气套管部分严重烧蚀故障的情况,通过对该故障的现场检查、关键零部件尺寸检测、不同接触情况下的接触电阻测量验证、分解物化验等试验分析,分析了该GIS变电站内变压器直连部分的故障原因,为电力设备运行及生产企业提供借鉴,防止此类事故再次发生<sup>[6-8]</sup>.

## 1 现场检查

### 1.1 一次设备GIS侧的检查

为了能够针对此次故障查找原因,笔者和相关工作人员抵达现场后,对现场情况进行调查分析,图1给出了C相套管直连部分烧毁示意图,主导电回路熔化断口距离长达490 mm,超过3/5的过渡筒全部被烧熔化. A、B相与套管直连部分筒体和三相交汇处五通筒体气室内比较干净,不存在放

电痕迹.



图1 C相套管直连部分烧毁示意图

在现场检查过程中还发现与套管直连部分中间触头内铝质材料全部熔化,铜触座局部熔化,齿轮轴、齿条、导向套、小触座散落在变压器上方,图2给出了齿轮轴、齿条、导向套、小触座的散落图.从图中可以得到GIS部分烧蚀比较严重,油气套管部分零件保存比较完整,说明故障最初可能发生在GIS与油气套管导体对接面上方.

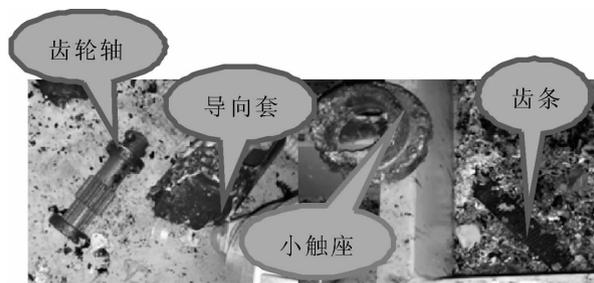


图2 齿轮轴、导向套、小触座和齿条散落图

收稿日期:2018-05-07

作者简介:李杰(1988—),女,河南省开封市人,硕士,平顶山学院电气与机械工程学院助教,主要从事高压开关设备智能化关键技术及电力电子技术方面的研究.



笔者和相关工作人员在现场还针对 C 相套管直连部分上方绝缘子及残留导电杆进行检查,图 3 给出了绝缘子及残留导电杆示意图,其中绝缘子表面发黑严重,存在裂纹,导电杆表面有大量铝包。



图 3 绝缘子及残留导电杆示意图

### 1.2 变压器油气套管侧检查分析

在现场还针对变压器油气套管侧进行了检查,图 4 给出了变压器油气套管下法兰至套管铝接触块上端设计尺寸图,从图 4 中可以看出原设计的尺寸为  $L=360\text{ mm}$  (图 4 中虚线方框内尺寸),由于存在金属熔化物,该尺寸在现场已无法复测;同时,在现场对油气套管下法兰至金属熔化物最上端进行尺寸测量(如图 5 所示),实测距离为  $L=430\text{ mm}$ 。其中 GIS 产品烧蚀熔化的比例较大,油气套管部分烧蚀融化较少。油气套管铝屏蔽和高压电容屏均已经完全烧蚀。

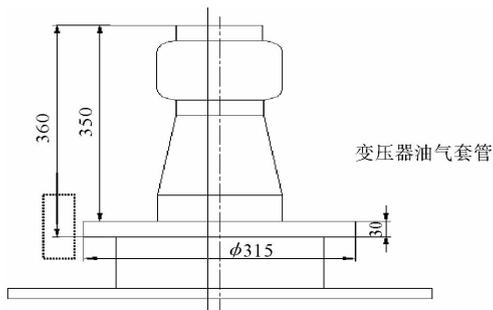


图 4 套管下法兰至套管铝接触块上端尺寸图



图 5 套管下法兰至金属熔化物最上端实测尺寸图  
通过以上对比分析,进一步说明了发生故障的

最初位置在 GIS 与油气套管导体对接面的上方位置。

## 2 返厂检查

### 2.1 解体检查

图 6 给出了故障部位变压器直连筒体设计图,通过测量波纹管长度,核实波纹管是否有过度压缩或者拉伸现象,对直连筒体的波纹管进行检测,检测结果实际测量长度为  $249.5\text{ mm}$ ,满足图纸中标示的  $250.0 \pm 5\text{ mm}$  的要求。

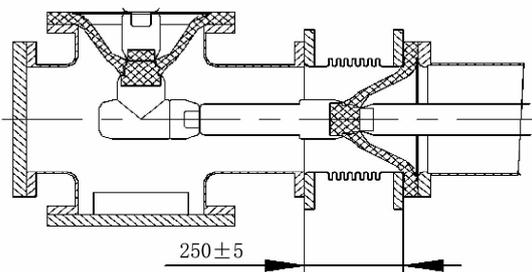


图 6 故障部位变压器直连筒体设计图

同时将故障部位变压器直连筒体二通筒体拆除,观察绝缘子及对接面情况,图 7 给出了直连筒体的二筒体结构示意图。检查结果为绝缘子外法兰未发现放电痕迹,绝缘子表面发黑严重,存在裂纹,是受到长时间电弧热效应造成的。



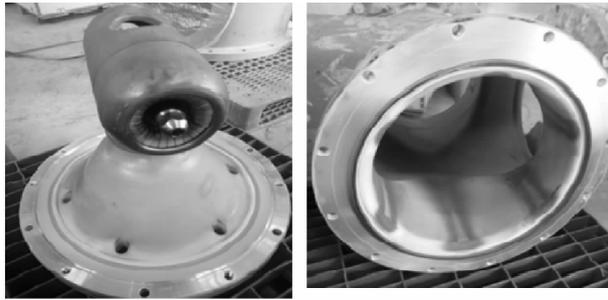
图 7 直连筒体的二筒体结构示意图

最后将上方绝缘子与四通筒体拆开,观察绝缘子及四通筒体情况,检测结果为绝缘子表面完好,无放电痕迹,如图 8 中的 (a) 图所示;四通筒体内壁存在少量粉尘,无放电痕迹,如图 8 中的 (b) 图所示。

### 2.2 关键零部件尺寸检测

为了查明本次故障的真正原因,笔者采用对关键零部件进行尺寸检测,以确定是否在生产过程中出现质量问题。从现场返回的故障部件 C 相直连

部分筒体零件烧蚀严重,无法进行尺寸复测,因此笔者针对 B 相直连筒体内关键零部件进行了尺寸测量,进行间接性的验证,表 1 给出了检测结果。



(a)绝缘子外部结构 (b)四筒体外部结构

图 8 绝缘子及四筒体结构检测图

表 1 零部件相关尺寸检测表 mm

测量项目	测量数值	图纸要求值	结论
导体座(B相)	529.5	529.0 ± 0.8	合格
中间触头长度(B相)	371.2	371.0 ± 0.5	合格
连接块长度(B相)	51.9	52.0 ± 0.3	合格
动触头直径(B相)	58.9	58.9 ~ 59.0	合格
导体座(C相)	529.2	529.0 ± 0.8	合格

根据表 1 的检测结果,发现 B 相直连筒体内关键零部件尺寸完全符合图纸要求。

### 2.3 不同接触情况下的接触电阻测量验证

针对 C 相严重烧蚀的情况,接触电阻的测量试验采用间接测量的方式进行,以 C 相临近的 B 相为例,验证动静触头不同接触情况下的值,测量数据如表 2 所示。通过测量发现动静触头接触不良,电阻值急剧增大。

表 2 不同接触情况下的接触电阻测量结果  $\mu\Omega$

测量项目	实测电阻值	管理值
动触头完全插入静触头,接触良好	14.1	65.0
动触头刚刚碰到静触头,接触不良	341.7	-
动触头与静触头接触不良,并有一定倾斜角度	357.7	-
弹簧拆掉,动触头完全插入静触头	36.0	40.0
弹簧拆掉,动触头刚刚碰到静触头	140.0	-

### 2.4 分解物化验检测

为了进一步分析现场出现严重烧蚀现象的原因,笔者和相关工作人员在现场拾取相应的烧蚀取样物,在试验室内对现场取样物进行了化验分析,图 9、图 10 给出了化验结果图,化验的内容包含了 C、O、Cu、F、Mg、Al、Si 等相关元素的含量值。通过分析发现现场的取样物各个元素的含量值符合有关标准的规定。

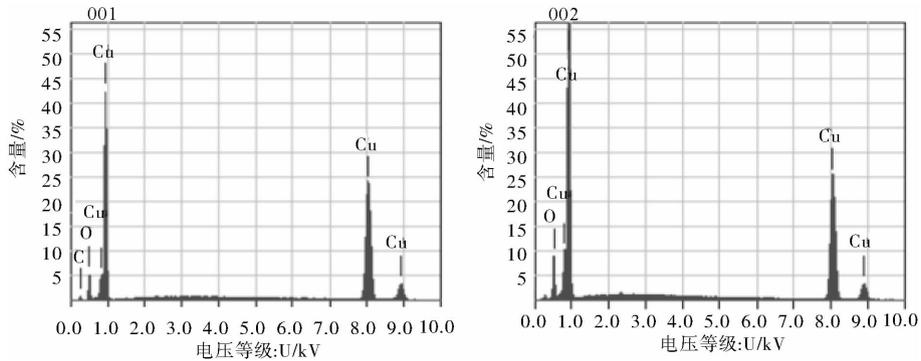


图 9 取样物中 C、O、Cu 的含量

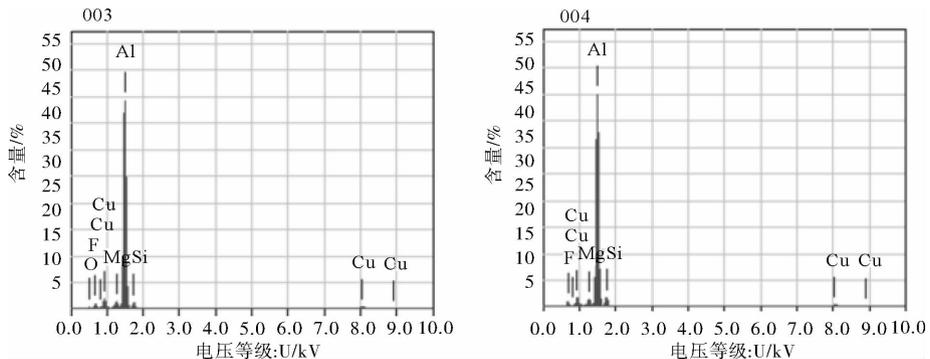


图 10 取样物中 C、F、Mg、Al、Si、Cu 的含量



### 3 故障原因分析

通过以上分析,笔者认为变压器 C 相直连筒体内部导体连接部位存在接触不良的现象,长时间的接触不良导致了发热,而发热的长期积累造成变压器直连筒体内部的导体熔化,金属熔化物朝筒体内壁喷射造成了接地故障.由于本站 66 kV 侧接地为消弧系统接地方式,允许在一定时间内存在单相接地的现象.在消弧线圈补偿的作用下,C 相故障单元的电流与另外两相电流差值较小,因此故障持续时间比较长,高温电弧加剧了导体熔化过程,喷射的金属溶液造成了主回路和筒壁之间的接地故障持续发生,逐渐导致过渡筒烧蚀,最终导致了本次故障.

通过和 GIS 厂家沟通,笔者推测导致本次导体接触不良故障的因素如下:

1) 产品在现场安装的过程中,部分导电接触面(图 11 中的 3 处标记部位)连接螺栓可能存在紧固力矩不达标现象,导电面接触不好,直接导致了接触电阻增大,从而使得导体发热而引发不良故障.

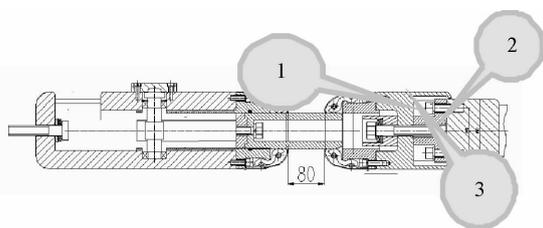


图 11 导电接触面示意图

2) 为了便于在现场进行耐压试验,中间触头和静触头之间存在手动分合结构,根据 2.3 小节可知,如果中间触头分合不到位,动静触头也会存在接触不良的现象,这样也会导致接触电阻增大,从而使导体发热而引发不良故障.图 12 给出了动静触头分合闸状态的示意图.

### 4 结论

笔者根据实际的现场情况分析了该变电站的故障原因.结合现场直观检查、解体试验、关键零部件尺寸的检测和分解物化验等手段全面地查找故障可能存在的原因,确定故障原因是由于接触不良导致的发热问题,随着时间的积累导体熔化,金属

熔化物朝筒体内壁喷射造成了接地故障.

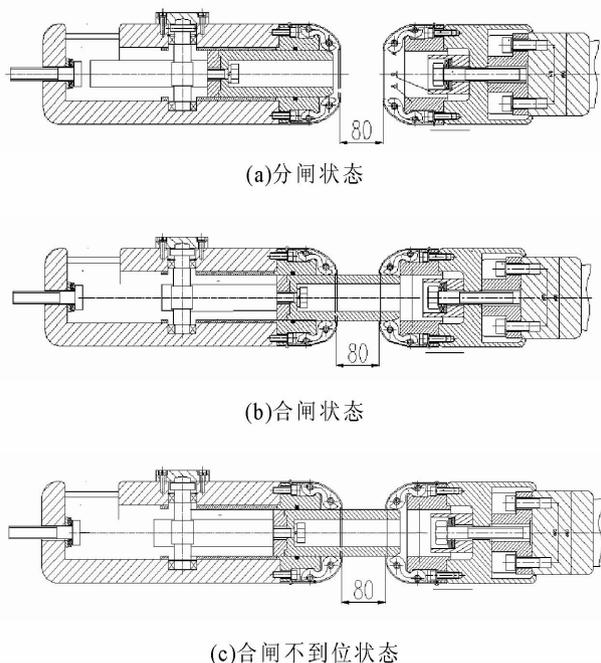


图 12 动静触头分合闸模拟示意图

### 参考文献:

- [1] 郭涛涛. 电力设备 X 射线检测技术及图像处理技术的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2013.
- [2] 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 - 146.
- [3] 陈晓清, 彭华东, 任明, 等. SF<sub>6</sub> 气体分解产物检测技术及应用情况[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 81 - 84.
- [4] 季严松, 王承玉, 杨韧, 等. SF<sub>6</sub> 气体分解产物检测技术及其在 GIS 设备故障诊断中的应用[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 100 - 103.
- [5] 陈忠仁, 张波, 黄健. 配电网单相接地故障的识别与智能补偿控制[J]. 电瓷避雷器, 2014(2): 66 - 70.
- [6] 许晔, 郭谋发, 陈彬, 等. 配电网单相接地电弧建模及仿真分析研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 57 - 64.
- [7] 曾祥君, 王媛媛, 李健, 等. 基于配电网柔性接地控制的故障消弧与馈线保护新原理[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(16): 137 - 143.
- [8] 程德芳, 韩会山, 冯磊. 一种输电系统接地故障定位的新方法[J]. 电瓷避雷器, 2016(4): 47 - 50.

(责任编辑:王彦江)

(下转第 34 页)

## Analysis of the Causes of Transformer Direct Connection Fault in a Variable Power Station

LI Jie<sup>1</sup>, ZHANG Di<sup>2</sup>, DONG Bin<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Mechanical Engineering, Pingdingshan University, Pingdingshan, Henan 467099, China; 2. Henan Pinggao Electric Co. Ltd., Pingdingshan, Henan 467001, China)

**Abstract:** In view of substation for the serious ablative problem of C phase with Change 2 at 66 kV side, through the field inspection in the ablative fault site, the fault initial location is determined. Through the breakdown test, the key parts size test, contact resistance measurement under different contact conditions, decomposition test and so on, it is concluded that C phase direct connection to the inner conductor of the tube is in poor contact with the bad heat, the conductor melted by long-term accumulation. At last the ground failure is caused by the sputtering of metal melt material on the inner wall of the cylinder.

**Key words:** casing conductor, field inspection, ablative, poor contact, ground failure

