

# 发电机定子设备绝缘击穿故障分析及处理

方世禄

(四川华能宝兴河水电有限责任公司,四川雅安 625000)

**摘要:**随着发电行业的快速发展,投入使用的发电机组也越来越多,同时,不同情况下机组发生的缺陷及故障也不断出现。对这些缺陷及故障进行研究分析,可以总结出处理及预防措施。以某中型电站绝缘击穿故障为实例,分析介绍了可能引起绝缘击穿的一些常见原因,并给出了该电站机组进行临时恢复和永久恢复的处理方法。

**关键词:**发电机;定子绕组;绝缘击穿;故障处理

**中图分类号:**TV7;TV737;TV738

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2013)01-0076-03

## 1 概述

近年,水力发电行业快速发展,但在各电站机组运行中时常出现定子绝缘击穿事故,因此,准确找出事故原因并迅速做出抢修措施对电站的安全经济运行具有非常重要的作用。笔者介绍了某电站2#机组出现的定子绝缘击穿故障的原因及处理方法。

## 2 机组概况

该水电站是以发电为主的高水头中型引水式电站,共装三台混流式机组。总装机容量为 $3 \times 65$  MW。其主要性能指标:

发电机型号:SF-J65-12/4430;发电机额定容量:65 MW/72.2 MVA;发电机连续运行最大容量(将功率因数提高至1运行):72.2 MW;欠励时对空载长线的最大充电容量:40 MVar;发电机进相运行深度:0.95;短路比:不小于1。

绕组形式:2Y,共234槽,每相78槽,每相上下层共156根线棒,3相共计468根线棒。

电抗:纵轴同步电抗 $X_d$ (饱和值/不饱和值) $\leq 0.948/1.053$ (标么值);纵轴暂态电抗 $X_d'$ (饱和值/不饱和值) $\leq 0.189/0.231$ (标么值);纵轴次暂态电抗 $X_d''$ (饱和值/不饱和值) $\geq 0.157/0.189$ (标么值);横轴次暂态电抗 $X_q''$ 与 $X_d''$ 的比值应为1.12。

## 3 故障经过及原因分析

### 3.1 绝缘击穿故障的发生过程

2009年11月9日,该电站2#机组进入72 h试运行。在试运行阶段,2#机组出口隔离刀闸AB

相短路,进而发展成三相短路,经过检修及维护人员的处理,对2#机组出口隔离刀闸损坏部分进行了更换,检查合格后恢复了72 h试运行。在试运行及之后的商业运行阶段,机组运行状态良好,未发生任何故障与事故,机组各项指标均在主机制造厂家的技术说明书的要求以内(图1、2)。



图1 短路时2#机组定子电流波形图

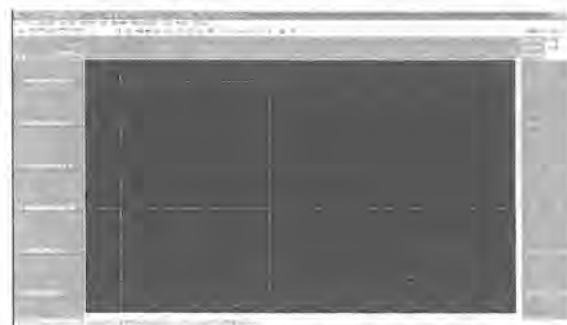


图2 短路时2#机组定子电压波形图

2010年4月10日,该电站2#发电机定子线棒绝缘在小修中进行 $2 U_n$ 直流耐压试验时,定子线棒下端部绝缘连续击穿,共击穿16根线棒,击穿部位均在下端部直线部位距槽口1~4 cm处

收稿日期:2012-12-07

(表1、图3)。

表1 故障后对部分击穿线棒进行试验数据表

| 序号 | 线棒号         | 击穿电压             | 运行电位/kV |
|----|-------------|------------------|---------|
| 1  | A相117号槽上层   | 直流14.5kV         | 3.78    |
| 2  | C相118号槽上层线棒 | 直流34kV           | 2.656   |
| 3  | A相115号槽上层线棒 | 直流15.5kV         | 3.371   |
| 4  | B相45号槽下层线棒  | 直流25.2kV         | 7.866   |
| 5  | A相116号槽上层线棒 | 直流13.5kV         | 3.575   |
| 6  | A相234号槽上层线棒 | 直流16.1kV         | 5.21    |
| 7  | A相233号槽上层线棒 | 拆出定子后进行,交流16kV   | 5.005   |
| 8  | A相232号槽上层线棒 | 拆出定子后进行,交流23.6kV | 4.801   |



图3 A相117号槽上层击穿点示意图

### 3.2 绝缘击穿原因分析

笔者对引起该电站绝缘击穿故障可能的原因进行了分析并做出了评估。常见的原因如下:

(1)过度的机械振动。未发现线棒和线圈端部的磨损,因此,过度的机械振动引起击穿的原因可能性低。

(2)隔离开关烧毁并三相短路。数据显示A相短路电流最高,这与A相线棒击穿最多是一致的(图4)。



图4 短路时2#机组出口隔刀烧毁示意图

(3)下线操作质量低。现场发现击穿的线棒大多分布在合缝周围;端部发现未浸渍的绑扎,因此,下线操作质量导致绝缘被击穿的可能性高(图5)。

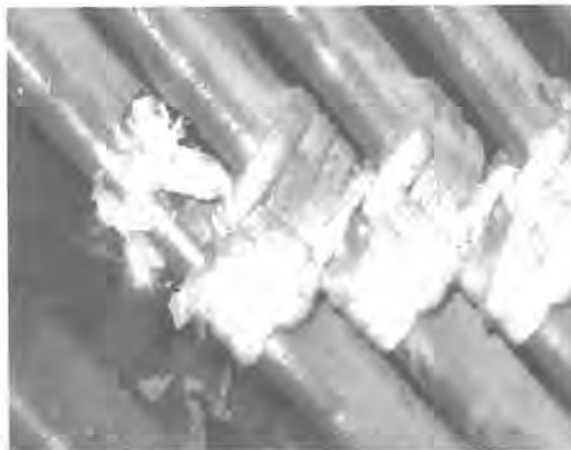


图5 发现未浸渍的绑扎带

(4)绝缘材料的质量问题。线棒均已通过先前所有的耐压试验,故由绝缘材料引起的绝缘被击穿的可能性低。

(5)打槽楔时有可能造成线棒损伤。检查时没有发现其他线棒上有外部损坏。因此,该原因可能性低。

(6)槽侧垫条过短。检查时没有发现击穿的线棒上有外伤。故槽侧垫条过短的可能性低。

(7)化学污染。检查发现,故障后有氧化铁和粉尘出现,但测量结果显示,绝缘值和极化指数均在规定范围内。故其引起故障发生的可能性低。

根据以上各种可能性分析得出了最终原因:该电站定子绝缘线棒击穿的根本性原因为:机组突然短路时线棒端部未浸渍的绑扎强度不足,导致线棒易损;单相短路冲击使端部受力更加恶劣。

## 4 故障处理及恢复

### 4.1 临时恢复

为了使2#机组能较快地进行发电运行,决定先对2#机组进行临时恢复发电。为保证安全运行,需进行必要的试验和处理以及保护定值的调整,具体如下:

(1)现场试验标准参照中华人民共和国电力工业部电力行业标准DL/T 596《电力设备预防性试验规程》。

(2)拆除故障线圈后,留在槽内的绕组按照

1.4  $U_n = 19.3$  kV 进行交流耐压试验。

(3) 下线前的新线棒按照  $2.75 U_n + 2.5 = 40.45$  kV 进行交流耐压。拆除后的旧线棒下线前按照 25 kV 进行交流耐压试验。

(4) 下层线圈下线后按照  $0.75(2.5 U_n + 2) = 27.4$  kV 进行交流耐压试验。

(5) 对定子整体按照  $2 U_n = 27.6$  kV 进行直流泄漏试验、按照  $1.3 U_n = 17.94$  kV 进行交流耐压试验。

(6) 嵌回槽内的新线棒尽量放在高电位槽, 回装的旧线棒尽量放在低电位槽。

(7) 在临时恢复过程中, 为增强定子端部的稳定性, 对槽内侧面垫条填充完整; 新下线棒绑扎绳要求均匀浸渍室温固化绝缘胶, 绑扎牢固后再在其表面涂刷室温固化绝缘胶; 对定子端部及定子线棒上、下层之间的旧绑扎带进行注胶; 在定子上、下层线棒加设槽口垫块并绑扎固定, 绑扎绳要求均匀浸渍室温固化绝缘胶, 绑扎牢固后再在其表面涂刷室温固化绝缘胶。

(8) 临时恢复运行后, 对 2# 机组发电机保护定值进行调整:

① 过压保护定值调整为  $1.2 U_n$ , 时限 0.1 s (原为  $1.3 U_n$ , 时限 0.3 s)。② 定子一点接地保护时限调整为 0.2 s (原为 5.5 s), 三次谐波比率系数调整为 1.3 倍 (原为 1.5 倍)。③ 启机试验时机组空载升压电压不超过  $1.1 U_n$ 。④ 发电机复合电压过流保护过流 I 段时限调整为 0.5 s (原为 2.2 s), 过流 II 段调整为 1 s (原为 2.7 s, 需与主变后备保护时限配合)。

(9) 建议尽量减少 2# 机组起停机组的次数。将 2# 机组带负荷运行控制在稳定运行负荷区 (80% 额定负荷左右)。

(10) 针对现场备品线棒数量不够的情况, 对损坏的线棒委托专门的制造商尽快进行修复。

#### 4.2 永久恢复

为使 2# 机组长期安全运行, 对 2# 机组进行了永久恢复。2# 机组定子绝缘故障永久恢复方案要求更换全部定子线棒。明确在下线时的工艺要求为: 上、下层间垫条需伸出铁芯, 槽内侧面垫条需填充完整。槽口需加装槽口垫块并绑扎牢固, 上下层线棒之间增加层间软端箍并绑扎牢固。所有绑扎线棒的绑扎绳要求均匀浸渍室温固化绝缘胶, 绑扎牢固后再在其表面涂刷室温固化绝缘胶。在 2# 机组按永久方案修复后, 按照新机组投运的标准完成相关试验后再投入运行。

关于 1#、3# 机组, 均按照 2# 机组的相关要求进行定子绕组端部固定结构的完善, 在大修时拔出适量的定子线棒抽样进行绝缘性能试验。

#### 5 结语

综上所述, 该电站定子绝缘线棒击穿的原因为: 由于之前机组突然短路, 使绕组产生过渡机械力, 同时线棒端部未浸渍以及绑扎强度的不足, 导致线棒易损 (单相短路冲击使端部受力更加恶劣), 使得在进行耐压试验时定子绝缘线棒被击穿。因此, 定子绝缘线棒下线的操作质量非常重要, 线棒绑扎需要严格按照要求执行。同时, 机组短路对定子的冲击影响较大, 如出现机组短路故障, 应对机组绝缘做详细检查和试验, 以防止运行过程中出现绝缘击穿事故。由于永久恢复需要较长时间, 因此, 机组恢复可在保证安全的情况下先进行临时恢复, 以达到最大的经济运行效益, 在枯水期时再对机组进行永久恢复。

#### 参考文献:

- [1] 钟建伟, 李孝平. 发电机定子绝缘故障查找及现场处理[J]. 电工技术, 2006, 27(9): 84-85.
- [2] 赵永春. 200 MW 发电机定子绝缘故障及缺陷分析[J]. 中国电力教育, 2010, 26(增1): 305-306.

#### 作者简介:

方世禄 (1972-), 男, 四川遂宁人, 工程师, 学士, 从事水电厂运行管理工作。 (责任编辑: 胡友权)

### 十局中标渝广高速重庆段项目

2012年12月31日, 十局与中国水电路桥公司在京正式签订京昆高速公路复线至广安(重庆段)项目标段土建工程施工合同, 合同总额为7.9亿余元。京昆高速公路复线重庆至广安段(重庆境)路线起于重庆两江新区的四纵城市快速干道, 与重庆境起点相接。经过北碚的复兴、静观、柳荫、合川的清平、渭溪、三江等场镇, 止于合川三汇镇古福寺川渝交界处, 与四川境对接。路线全长56.635公里, 设计车速100公里/小时。全线采用双向六车道高速公路标准建设, 路基宽度33.5米, 沥青混凝土路面。该高速公路是对国家高速公路网的完善与补充, 将优化京昆射线的通行路径, 缓解国高网的通行压力, 增加川渝区域高速公路的密度, 满足区域经济发展的需要, 充分发挥重庆市的辐射带动作用。2012年6月13日, 中国水电路桥公司于重庆渝广梁忠高速公路有限公司正式签订京昆高速公路复线重庆至广安(重庆段)BOT+EPC合同。十局承建管段里程全长19.243公里, 含互通立交2座、特大桥1座、大桥4座、中桥2座、天桥6座。合同工期要求2015年11月30日竣工。