



极三个二极管总在自然换流点换流,使电流换到电位更低的一相中去,而共阴极三个可控硅要在触发后才能换到阳极电位高的一相中,输出整流电压  $u_d$  的波形是二组整流电压波形之和;由于转子线圈是大电感负载,桥路内部的二极管和并接的续流二极管有续流作用,输出  $u_d$  波形和平均电压  $U_d$  值与阻性负载相同。如图 2。

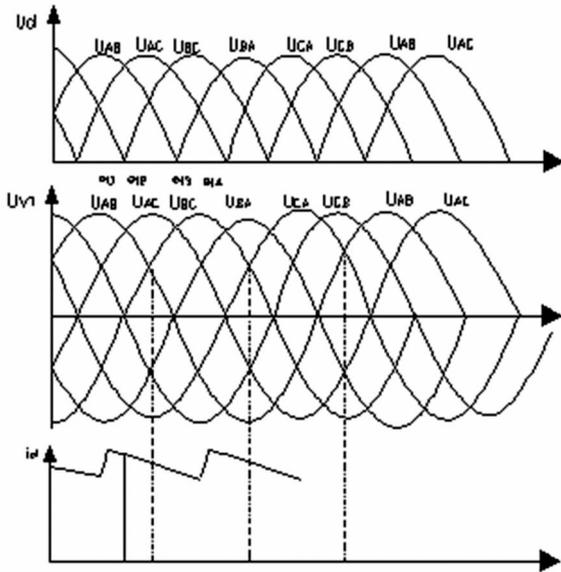


图 2 可控硅全导通时的负载波形图

4 号机组 VT 的触发角  $\alpha = 30^\circ$ , 正常输出波形如图 3。

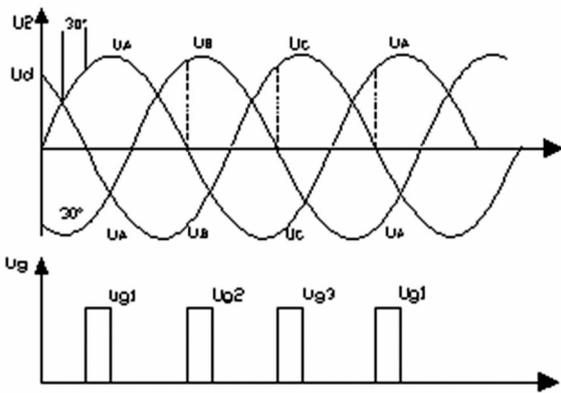


图 3  $\alpha = 30^\circ$  时的负载波形图

当触发脉冲在  $\omega t_1$  触发 1VT 管导通,电源电压  $u_{AB}$  通过 1VT、2VD 加于转子线圈。在  $\omega t_2$  时,共阳极 VD 自然换流,所以在  $\omega t_2$  之后,3VD 导通,2VD 关断,电源电压  $u_{AC}$  通过 1VT、3VD 加于转子线圈。在  $\omega t_3$  时,由于  $u_{g3}$  还未出现,3VT 不能导通,1VT 维持导通到在  $\omega t_4$  时刻,触发 2VT 管导通后使 1VT 管承受反向电压而关断,电路转

为 2VT 与 3VD 导通,以后顺序依次类推,转子线圈上得到的是三个间隔波头完整三个波头缺角的脉动波形。

$$U_d = 1.17U_2\varphi(1 + \cos \alpha) = 1.17U_2\varphi(1 + \cos 30^\circ) = 2.18325 U_2\varphi$$

根据故障现象用双踪示波器检查整流输出电压  $U_d$ ,与正常波形图 4 相比较,在一个周期内发现少了两个波峰,但波形不尽相同,存在有一波峰提前输出且在  $\omega t_1$ 、 $\omega t_3$  时刻无法进行正常换相, $\omega t_2$  时刻可以进行正常换相;分析波形判定可控桥臂没有故障,在 VD 桥臂发生了断桥故障。假设在不可控桥臂的 2VD 管桥臂断桥,当触发脉冲在  $\omega t_1$  触发 1VT 管导通,2VD 管因断桥无法形成回路,3VD 管导通,输出电压  $u_{AC}$  通过 1VT、3VD 加于转子线圈;在  $\omega t_2$  时,桥路正常换相,在  $\omega t_3$  时,由于 2VT 不导通, $u_{CA}$  不能正常换相到  $u_{CB}$  上,3VT、1VT 维持导通到过零关断,以后周期性重复;输出波峰少了  $u_{AB}$ 、 $u_{CB}$ 。检查 VD 整流管两端电压  $U_T$  的波形,2VD 管无导通,桥臂上快熔 RTO - 500A/800V 熔断,桥路连接线完好、接线头无送脱和脱焊,2VD 管正、反向电阻用万用表  $R \times 1K$  量程检测电阻为  $26M\Omega$  (注意:不能采用摇表检测电阻),说明 2VD 已经开路,判定因 2VD 管和 RTO 损坏而断桥。



图 4 2VD 管和 RTO 损坏而断桥时的负载波形图

### 5 故障处理

根据监盘显示的各项参数分析和示波器检查结果排除了转轮异物引起水流脉动引发的现象,确定三相半控整流桥中 2VD 管和 RTO 损坏而断桥引发的励磁故障,根据本次故障和运行参数,对本次故障进行如下处理:

(1) 选择正向平均电压  $V$  较小的、反向重复峰值电压  $V$  较大 VD 进行更换 VD,选择电阻  $R$  较小的更换 RTO。

(2) 因冷却效果与冷却介质、介质进风初使温度、传导面积、流速、需要在冷却体的停留时间等因数有关,检测整流箱下出风口的风速为 3.7

$m/s < 5 m/s$ , 进风口温度  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 出风口温度  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 更换功率较大的#4 机组励磁风机 2 台, 改整流屏内整流桥箱柜顶下压风强制风冷为整流桥箱柜顶抽风并通过导风槽导出到厂房外, 减少冷却过后的热风对整流屏周围微环境的影响。改进风从 4 号水轮机层导上风, 减少进风温度。改造后稳定运行八小时后测试数据见表 3:

表3 进风温度表

负荷	4 500 kW	功率因数	0.82
电压	6 400 V	励磁电压	136
电流	495 A	最大励磁电流	518 A
频率	50 Hz	转速	500 r/min
导叶开度	71%	环境温度	$35\text{ }^{\circ}\text{C}$
进风口温度	$31\text{ }^{\circ}\text{C}$	出风口温度	$42\text{ }^{\circ}\text{C}$
出风口风速	$5.6\text{ m/s}$	1VD 铝栅片温度	$51\text{ }^{\circ}\text{C}$
2VD 铝栅片温度	$49\text{ }^{\circ}\text{C}$	3VD 铝栅片温度	$54\text{ }^{\circ}\text{C}$
4VD 铝栅片温度	$46\text{ }^{\circ}\text{C}$	1VT 铝栅片温度	$48\text{ }^{\circ}\text{C}$
2VT 铝栅片温度	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	3VT 铝栅片温度	$52\text{ }^{\circ}\text{C}$

从试验数据分析, 改造后对 VD、VT 降温相对明显, 提高了整流桥的安全运行性能, 为 4# 机组有效利用水能打下基础。

(3) 根据更换 2VD 过程中解体散热铝栅片后 2VD 的外形观测, 发现 2VD 有鼓胀现象和有胀破点, 结合故障后 VD 散热铝栅片温度检测结果及波形分析和半导体的热敏性(当温度升高时, VD 正、反向电流随着增大, 温度每升高  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , VD 管的反向电流约增大一倍, 当反向电流和反向电压

的乘积超过了 PN 结允许的耗散功率, 就会因热量散发不出去而导致 PN 结温度上升, 直至过热而烧毁; 同时 VD 管的反向击穿电压会随温度升高而变化。)判定 2VD 属热击穿。

## 6 结 语

通过以上处理, #4 机组稳定起励并网, 稳定运行, 故障消除。

当三相桥式整流电路出现一相断路故障时, 并不会立即引起发电机失磁, 但其它几组可控硅或整流管的负担会进一步加重, 如果选择参数的冗余度不足, 就会扩大故障点, 甚至引起事故。

- [1] 戈东方等, 电力工程电气设计手册: 北京水利水电出版社, 1989.
- [2] 黄栋 吴铁群, 发电厂及变电站二次回路; 中国水利水电出版社, 2004.
- [3] 莫正康, 晶闸管变流技术; 机械工业出版社出版, 1985.
- [4] 王兆安 刘进军, 电力电子技术; 机械工业出版社出版, 2010.
- [5] 马安良、贾力, 电子技术, 中国水利水电出版社, 2004.
- [6] 康华光, 电子技术基础; 高等教育出版社, 2008.

### 作者简介:

黄水新(1969-), 男, 福建三明人, 工程师, 现于福建优恩电力发展股份有限公司从事电站技术管理工作。

(责任编辑: 卓政昌)

## 长河坝电站大坝工程通过质量检查

日前, 由水电水利规划设计总院副院长、水电工程质量监督总站常务副站长彭士标率 15 名专家对建设中的大渡河长河坝水电站工程进行了质量监督现场巡视。专家组重点查看了长河坝水电站大坝心墙填筑工作面、汤坝土料场、响水沟石料场、砾石土掺配, 并抽查了部分工程档案和原始资料。专家组认为, 施工局质量管控措施基本得到贯彻落实, 对发现的不良质量行为和质量问题进行了整改处罚。经过工程现场查勘及有关资料表明, 响水沟和江咀石料场堆石料质量满足设计要求; 汤坝土料场砾石土具有较好的防渗性能和较高的力学强度, 质量满足规范要求, 大坝全断面填筑方式及填筑程序合理, 填筑施工工艺符合规范要求。上坝料和填筑压实后的各区含水率、干密度、压实度(相对密度、孔隙率)、颗粒级配、最大粒径、D15、D85 控制粒径、不均匀系数、曲率系数、渗透系数等指标总体满足规范和设计要求。同时, 巡查组也对工程建设中部分土料需掺配等问题提出了许多建设性建议和改进意见, 要求, 在工程建设过程中, 不但要重视工程内在质量, 也要高度重视外观质量, 真正实现“树流域标杆水电站, 创电力优质工程奖”的目标。

## 民治水电站引水隧洞全线贯通

日前, 成都勘测设计研究院监理部(二滩国际)承担监理的民治水电站引水隧洞 2 号、3 号洞主控段之间贯通, 标志着民治水电站引水隧洞工程全线顺利贯通。引水隧洞工程于 2011 年 12 月 31 日开始进行主控段施工, 截止 2015 年 06 月 05 日, 历时 41.1 个月。期间, 2 号、3 号洞之间主要受地质条件差、地下水发育、单头长度较长、通风排烟难度大、芦山“4·20”地震等诸多因素的制约和影响, 通过参建各方的共同努力, 施工单位的精心组织, 克服了重重困难, 为民治水电站发电目标奠定了坚实的基础。