

# 柳洪水电站励磁系统不均流的原因分析及处理

宋青峰, 杜昌成

(四川美姑河水电开发有限公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**柳洪水电站励磁系统采用静止式可控硅三相全控桥自并激励磁方式, 设置有两套功率整流柜, 互为热备用, 正常时并联运行。2015年9月励磁系统出现不均流现象, 电流差值达500 A左右, 大幅度超过相关规程的规定。经过多次检查查证, 最终发现不均流产生的原因是励磁回路直流刀闸触头接触面积不足而造成两套功率整流柜并联支路阻抗不一致。通过对直流刀闸触头进行接触面打磨和压紧力调整等措施进行处理, 不均流现象得以解决。

**关键词:**柳洪水电站; 励磁系统; 可控硅; 不均流

中图分类号: TV7; TV737; TV738

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2018)增1-0084-03

## 1 概述

柳洪水电站位于四川省凉山州美姑县, 是美姑河流域水电规划“一库五级”方案中的第四级水电站, 总装机容量为  $3 \times 60$  MW, 励磁系统设备由南京申瑞电力电子有限公司生产, 采用静止式可控硅三相全控桥自并激励磁方式。每套励磁系

统包括一台励磁变压器、一套 GER3000 微机励磁调节装置、两套 TYR 系列可控硅整流装置及一套 LMC 系列灭磁及过电压保护装置。功率整流柜型号为 1.15.2.1TYR1500, 每台机组由 2 套可控硅整流装置组成, 两套整流装置互为热备用, 在正常情况下, 两套为并联运行。励磁系统原理见图 1。

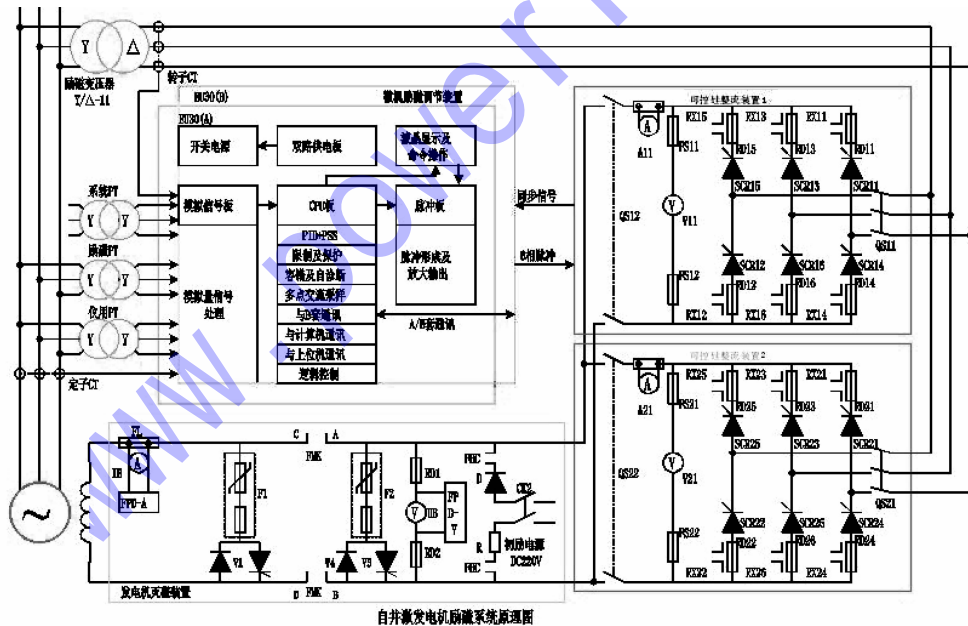


图1 励磁系统原理图

## 2 功率整流柜出现不均流现象

2015年9月, 柳洪水电站1F机组正常运行发电, 有功负荷为60 MW, 满负荷运行, 现场运行人员巡检时发现1F励磁系统两套功率整流柜直流输出电流差值较大, 1#功率整流柜输出电流

为280 A左右, 2#功率整流柜输出电流为780 A左右, 两套功率整流柜输出电流相差500 A。在将励磁调节器进行A/B套切换、停机重启励磁调节器等操作后, 发现单独使用1#、2#两套整流装置时均运行正常, 一旦并联运行就会出现不均流现象。根据均流系数的计算公式算出的均流系数

收稿日期: 2018-04-25

为:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^m I_i}{m I_{\max}} = (280 + 780) / 2 \times 780 \approx 0.68$$

式中  $\sum_{i=1}^m$  为  $m$  条并联支路电流之和;  $I_{\max}$  为并联支路中的电流最大值。

国家标准及行业标准《大、中型同步发电机励磁系统技术要求》GB/T7409.3-2007 规定:功率整流装置均流系数不小于 0.85。而计算出的柳水电站均流系数(0.68)已经大幅度超过规程要求,且两套功率整流柜输出电流相差 500 A,输出电流分配不均比较严重。2#功率整流柜承担负荷较重,长此以往势必造成 2#功率整流柜的各元件寿命缩短,如可控硅老化、快熔熔断等,进而导致元件提前损坏,加重剩余元件的负担,恶化其他元件的工作环境,引起其他元件相继损坏而造成连锁击穿损坏。因此,严重的不均流现象对励磁设备的安全运行产生了较大的威胁。鉴于此,电厂技术人员根据影响励磁系统不均流的各项因素对励磁系统进行了全面、细致的检查。

### 3 产生不均流的原因分析

可控硅元件的通态特性及元件的开通特性是影响不均流的普遍因素。通态特性相同或相近的可控硅在同一个并联支路上工作时,由于长时间运行,相同或相近的可控硅内部压降、开通(导通)时间及门槛电压发生了变化,导致不均流的产生。此外,由于硅元件的通态电阻很小,各并联支路阻抗的差异对电流均衡度的影响很大,对此,电厂技术人员采用排除法——进行了分析。

#### 3.1 瞬态电流不均

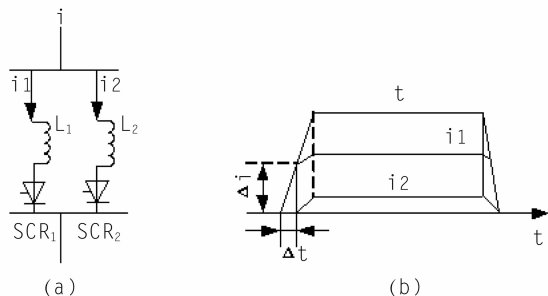
由于并联可控硅导通时间的先后存在差异而引起瞬态电流不均。例如如图 2(a) 中的两个支路并联电路,若  $SCR_1$  的开通时间比  $SCR_2$  早,  $\Delta t$  [图

2(b)] 则引起的瞬态电流不均  $\Delta i = \left(\frac{di}{dt}\right) \times \Delta t$ 。

此处  $\frac{di}{dt}$  为  $SCR_1$  导通时的电流上升率。瞬态电流

不均是一个暂态现象,电流表指针必然会摆动。现场的实际情况是两套功率整流柜输出电流表指针无异常大幅摆动且不均流现象持续存在,并且在励磁调节器 A/B 套进行切换后,不均流现象依旧存在,故可以排除可控硅开通时间先后有差

异而造成瞬态不均流的可能。



(a) 并联支路; (b) 开通时间差异  $\Delta t$  引起的瞬态电流不均  $\Delta i$

图 2 并联支路出现的电流不均现象示意图

#### 3.2 稳态电流不均

(1) 在可控硅导通进入稳态后,由于两并联支路的可控硅在导通状态下的伏安特性(正向压降)有差异,则引起稳态电流不均。不均流现象出现初期,电厂技术人员随即对励磁系统进行了初步检查,检查包括功率整流柜交流输入三相母排接头、三相交流输入电压测量、检测功率整流各个快熔阻值等均未发现问题。考虑到可控硅投运已近 10 a,首先怀疑可控硅在长时间运行后发生老化,个别可控硅性能受损而导致不均流产生。对此,电厂技术人员在同等实验参数情况下,分别对两套功率整流柜进行了小电流实验。

实验录波器显示,两个整流柜小电流波形均在 0~20 ms 内含 6 个规则的波头,实测可控硅导通角与励磁装置显示导通角偏差在允许值范围内,调节器脉冲触发正确可靠,可控硅整流桥触发可靠,可控硅性能完好,励磁控制系统功能正常,小电流试验合格。通过对比两套功率整流柜实验数据,发现两套功率整流柜不管是交流侧输入电压幅值,还是直流侧输出电压幅值均相差无几,故可以排除可控硅正向压降差异导致不均流的因素。

(2) 由于两并联支路回路阻抗差异对电流均衡度的影响很大,若并联支路中的可控硅整流组件、交直流刀闸、汇流母线、各电缆接头等出现损坏、松动、积尘等都将直接影响回路阻抗。根据欧姆定律,电压一定的情况下,阻抗与电流成反比,从而使各支路负荷电流分配不均。

由于小电流实验已验证可控硅的通态电阻很小,故电厂技术人员主要对两并联支路的交流侧和直流侧汇流母线、刀闸以及各个元件接头进行

了清扫、检查和紧固。根据运行人员反馈,在最近的一次电气设备测温定期工作中发现1F 1#整流柜直流刀闸 QS12 负极触头温度有所增高,最高达到 55 ℃,而对比 2#整流柜及其它机组均为 30℃左右,故电厂技术人员重点对直流刀闸 QS12 进行了检查。

检查中发现,1#整流柜直流刀闸 QS12 负极的动、静触头在背光侧接触部分表面均有微微的变色,接触面有少量积尘且接触面存在肉眼不能察觉的细微变形,但触摸能感觉到凹凸不平,在将 QS12 刀闸合上后,用手机在背光面拍照后发现动、静触头接触处有一极小的缝隙,测量触头接触电阻明显比 2#功率整流柜大,故电厂技术人员分析认为 QS12 刀闸负极触头及紧固夹板经过几年时间的运行操作和运行时长期受热,使触头和紧固夹板机械疲劳,材质强度减弱,致使触头压紧力变小,导致动静触头有效截流面积变小,接触面磨损以及积尘这些因素均可导致接触电阻增大,进而触头发热,接触面灼伤变形,循环恶化,最终导致 1#功率整流柜电流回路阻抗变大,使两套功率整流柜输出电流不平衡。

#### 4 直流刀闸缺陷的处理

(1)接触面打磨:对负极动、静触头接触面用细砂纸轻微打磨,使接触面平整光滑。

(2)刀闸压紧力调整:将 QS12 刀闸合上,调

(上接第 49 页)

尤其多,为此,应从设计、维护、改造等各个环节都应做好交直流回路的隔离措施,但由于站内交直流回路过多,完全避免交直流串扰较为困难,故应加强对直流系统绝缘监测装置的检查与维护,以便在发生绝缘下降异常情况时能尽快地发现并处置。为了避免串扰引起误动事件,除了选用抗干扰能力较强的继电器外,还应解决因直流控制回路电缆过长造成电缆中的分布电容过大的问题,防范分布电容因交直流串扰瞬间放电引起误动。由上述分析可知,仅提高继电器抗干扰能力并不能完全避免误动事件的发生,但控制电缆的长度确实又没有更好的办法。现在已有一些变电站已采用光缆代替电缆进行改造,其只需要在控制回路两侧各增加一个光电转换装置即可实现,基本上避免了串扰或直流一点接地引起的误动。

#### 5 结语

整动触头紧固夹板螺丝,增大动触头对静触头的压紧力,使接触面无缝隙,接触面积合格。

(3)防止接触面发生氧化:对动、静触头重新涂抹薄层凡士林,增加其润滑性,减小接触面摩擦。

通过采取以上几个步骤进行处理后测量 QS12 刀闸触头接触电阻已正常。

#### 5 结语

以上是笔者对柳洪水电站励磁系统不均流产生的原因分析、查证和判断过程的阐述。通过对多种因素进行一一排除,验证了并联支路阻抗差异对励磁不均流的影响,找到了阻抗差异的原因为 1#功率整流柜 QS12 刀闸负极触头接触面积不足、接触电阻增大,通过采取有效的技术处理措施,现 1F 机组励磁系统两套功率整流柜输出电流差值在 50 A 左右,均流系数已符合相关规程要求,保证了励磁系统的安全稳定运行。

#### 参考文献:

- [1] 王君亮. 同步发电机励磁系统原理与运行维护[M]. 北京: 水利水电出版社, 2010.
- [2] GB/T7409.3-2007, 大、中型同步发电机励磁系统技术要求[S].

#### 作者简介:

宋青峰(1988-),男,四川内江人,助理工程师,从事水电站运行与维护工作;

杜昌成(1974-),男,山东济宁人,助理工程师,从事水电站电气维护和检修技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

针对交直流共缆引起的误动事件,笔者认为:

电磁干扰是引起继电器误动的主要原因。因此,笔者建议:不同的交直流回路应使用各自独立的电缆,按照“反措”等相关要求敷设强、弱电缆,做好电缆的屏蔽接地等措施均能有效地降低电磁干扰问题。另外,继电器动作电压与动作功率偏小也是误动的主要原因之一。交直流共缆还会引起交直流串扰问题,给设备的安全运行带来极大的危害,必须予以重视。

#### 参考文献:

- [1] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

#### 作者简介:

刘子龙(1983-),男,内蒙古赤峰人,厂长助理,工程师,从事水电站电气设备技术与管理工作;

唐先均(1984-),男,四川宣汉人,工程师,从事水电站电气设备技术工作。(责任编辑:李燕辉)