

# 浅谈某水电厂发电机电气制动的优化改造

沈继东

(国家电投集团广西电力有限公司, 广西南宁 530029)

**摘要:**在某水电厂发电机电气制动的优化改造中表明,无论选用何种材料的非线性电阻,采用可控硅跨接器及优秀的逻辑控制是保护非线性电阻效能、延长寿命的有效手段。试验证明,改造后的电气制动更加合理,可靠。

**关键词:**电气制动;特点;分类;主要问题;改造过程

**中图分类号:**TV7;TB857+.3;TM571.2

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2016)05-0108-04

## 1 概述

自上个世纪60年代以来,国内已有多个水电站的发电机采用电气制动,但实际运行中的使用效果不太理想。有的短路开关触头被烧损,有的因操作回路不合理而误动或拒动。缘于此,目前国内水电机组大多还是普遍采用传统的机械制动方式,即风闸与制动环直接接触产生的摩擦力使机组制动。然而,对于大型机组来说,机组转动惯性大,制动风闸与制动环之间的摩擦剧烈。长时间运行,风闸容易出现顶不起来或落不下去的故障;而且摩擦产生的污染,严重影响机组的绝缘和散热,不利于机组的安全稳定运行。因此,必须在机组停机时尽可能地采用可靠的制动来缩短机组的停机时间<sup>[1]</sup>。

## 2 电气制动的特点与基本原理

电气制动的工作原理是基于同步电机的电枢反应。在机组与电网解列发电机转子灭磁后,将定子三相短路,同时给发电机转子加励磁电流,使它产生一个方向与机组惯性力矩的方向相反,具有强大制动作用的电磁转矩。这里的励磁电流一般由厂用电系统经整流后接入发电机转子。

根据电机学理论可知,制动力矩  $M_E$  可表达为:

$$M = \frac{I_b^2 r}{n[x_d^2 + (r/n)^2]} \quad (1)$$

电气制动力矩出现最大值时的转速  $n_{\max}$  为

$$n_{\max} = \frac{r}{x_d} \quad (2)$$

最大电气制动力矩为:

$$M_{\max} = \frac{I_b^2}{2x_d} \quad (3)$$

式中  $I_b$  为制动励磁电流; $n$  为机组转速; $r$  定子绕组的有效电阻; $x_d$  为直轴同步电抗。

从式中可以看出,电气制动力矩随转速下降而增大。根据以上理论依据,当发电机转速很高时,即使投入电气制动,其制动转矩也是非常小的,而且在较高的转速下发电机轴承比较容易形成油楔,所以,对轴承有影响的因素一般在低转速区。因此,在机组停机过程中,并不是一开始就投入电气制动,而是在转速下降到一定程度才投入电气制动。

在发电机解列、灭磁以后,待机组转速下降到额定转速的50%~60%左右,将发电机定子在三相短路,通过一系列逻辑操作,提供制动电源,给发电机转子绕组加励磁电流。因发电机正在转动,定子转子在转子的磁场的作用下,感应产生短路电流,由此产生的电磁力矩正好与转子的惯性转向相反,起到制动的作用。

有上述公式1可以看出电制动有2个显著特点:

(1)制动力矩与定子短路电流的平方成正比;

(2)制动力矩与机组的转速成反比,在制动过程中,由于定子短路电流基本不变,因此,随着转速的下降制动力矩反而是加大的,其最大值出现在机组将停止转动前的瞬间;

根据以上特点,为了获得最大的制动力矩,应充分利用发电机的定子容量,使定子短路电流约等于额定定子电流,但要获得额定定子电流,根据发电机短路的特性,励磁电流应达到发电机空载额定励磁的电流值<sup>[2]</sup>。

## 3 电气制动的主要分类

收稿日期:2016-08-15

按照制动整流桥的形式,现在国内电厂运行的电气制动主要有两种方式:

#### (1) 柔性电制动

所谓柔性电制动,是指将发电机励磁系统与电制动系统合二为一的柔性电制动励磁系统,励磁装置的整流桥兼作电制动时的动整流桥用。

#### (2) 硬件制动

所谓硬件制动,主要是指电气制动时有单独的制动整流桥,该整流桥一般为二极管整流桥,其操作主要依靠整流桥的输入和输出开关操作组成。

这种方法操作简单,可靠,易于实现,被中小型电站所青睐,下述电站即使用此种电制动方式。

### 4 某电站电气制动存在的主要问题及改造过程

#### 4.1 该厂电气制动现状

该厂正常停机时主要采用电气制动方式降低转速,在短时间内使发电机停转;发出停机令后,关闭球阀,当发电机转速下降到60%额定转速时,电气制动通过硬件制动方式投入运行;当转速下降到0时,停机过程完成;制动时间限制为205s左右。

#### 4.2 存在的问题

该电厂电制动系统是由励磁装置采用硬件电制动方式投入,电制动电源通过二极管整流后汇入灭磁开关后方,与励磁直流电缆汇合,灭磁电阻通过灭磁开关辅助触头连接在转子两侧。实际情况是在整个电气制动过程中,由于其灭磁开关采用的是CEX开关,灭磁开关处在分位状态,灭磁电阻则一直并在转子两侧带电,长期运行势必对灭磁电阻造成损害。

#### 4.3 改造过程

为了避免使非线性电阻在电制动过程中长期运行,以延长电阻器寿命,提高电制动效率,减少制动时间,通过研究对励磁系统灭磁回路进行如下改造。

为解决上述问题,要在电制动过程中断开非线性灭磁电阻和转子的连接。但如果完全用开关、刀闸等硬件设备分断,则会彻底使非线性电阻的灭磁功能及过电压保护彻底失效。比如在机组转速大于60%额定值或者电制动在机组停转前突然退出时,灭磁电阻无法瞬间投入,灭磁能力失效,转子则会蓄积大量能量,势必给整个发电机系

统带来巨大危害。因此,不能完全使用纯物理方式断开灭磁电阻。通过对以上问题的思考,灭磁电阻既要在电制动环节处于非工作不带电状态,又要时刻存在于灭磁系统中,对发电机转子起到灭磁保护和过电压保护作用,可采用可控硅跨接器加非线性灭磁电阻的硬件方式可以替换原有的纯非线性电阻硬件方案。

新方案的灭磁回路采用广州擎天实业有限公司的可控硅跨接器加非线性灭磁电阻,使其起到在灭磁过程中的灭磁及直流侧过电压保护作用,并在电制动时对非线性电阻隔离,原理图见下图1所示。

可控硅跨接器中触发可控硅的核心器件为折返二极管(BOD)。BOD的主要特点是当该管阳极与阴极间电压差值达到其本身的转折电压时导通,低于转折值时阻断。通常,转子过电压保护回路中可控硅的触发是由电阻分压的方法来实现的,该方法的主要弊端是如果硅元件的特性参数变化,为了维持一定的导通电压值,就需要重新选配串联电阻,给出厂调试和用户维护带来不便。而采用BOD器件用于可控硅跨接器触发,可以精确地整定过电压保护动作值,无须特别维护。

系统中的可控硅跨接器回路包括三个可控硅(图1中V1、V2、V3),其中两个用于灭磁和反向过电压(图1中V2、V3),另外一个用于正向过电压(图1中V1)。当BOD检测到正向或反向过电压时,触发对应的可控硅导通,把非线性电阻接入转子回路<sup>[2]</sup>。

系统中还包括一个霍尔变送器,用于检测灭磁电阻中所流过的电流,数据反馈至励磁系统控制器。霍尔变送器安装于灭磁开关后灭磁电阻电缆上。

图中V1为正向过压保护动作可控硅;V2、V3为反相灭磁及过压保护动作可控硅;T1为霍尔变送器,检测灭磁电阻中所流过的电流;R02为灭磁电阻

从图1中可以看出,当发电机解列、励磁系统开始执行灭磁操作,灭磁电阻参与灭磁系统工作。在正常运行或机组解列转速下降到额定转速的50%~60%左右,将发电机定子机端出口三相短路,通过一系列逻辑操作,系统输出电制动电流给发电机转子绕组。此时V2、V3两组可控硅所

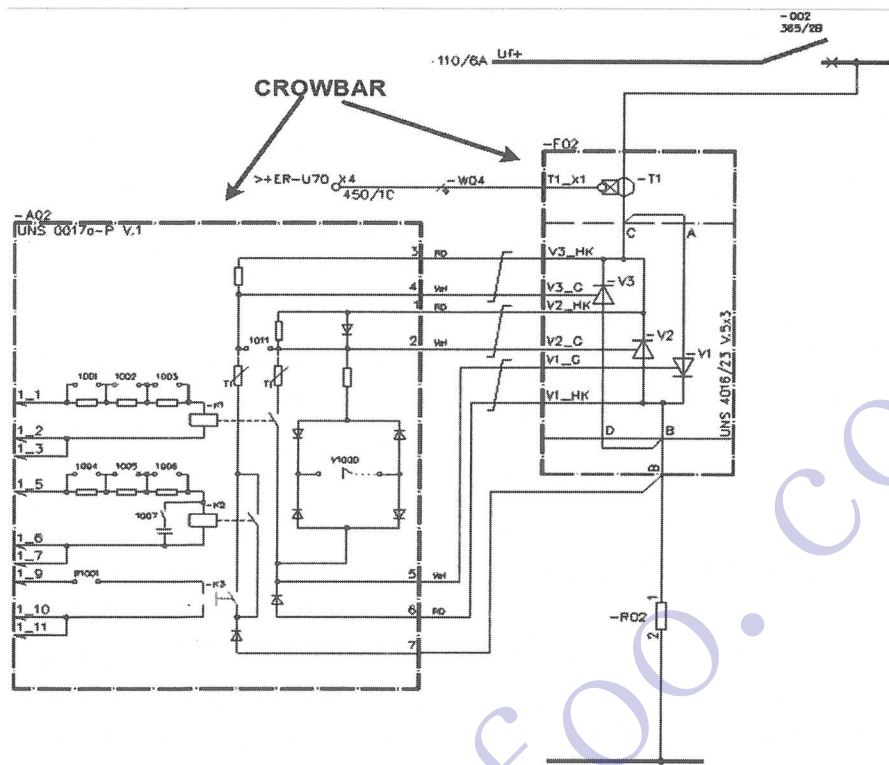


图 1 新方案的灭磁回路

承受的是反向电压,并在没有触发信号时处于关断状态。因此,灭磁电阻被隔离开,无论是在正常运行状态下还是在电制动过程中灭磁电阻都不参与系统工作,电制动效果不受影响,灭磁电阻受到保护。

#### 4.4 现场试验及波形

通过现场改造,将非线性电阻和可控硅跨接

器进行串联,并将可控硅跨接器安装于发电机励磁系统屏的灭磁柜内,同时将霍尔变送器穿套在非线性电阻电缆线上,输出电流信号给到励磁系统控制器中用于控制判断及录波。经过计算,整定了可控硅跨接器过电压保护动作值。

通过试验记录灭磁电流和定子电流的得出以下录波波形图。

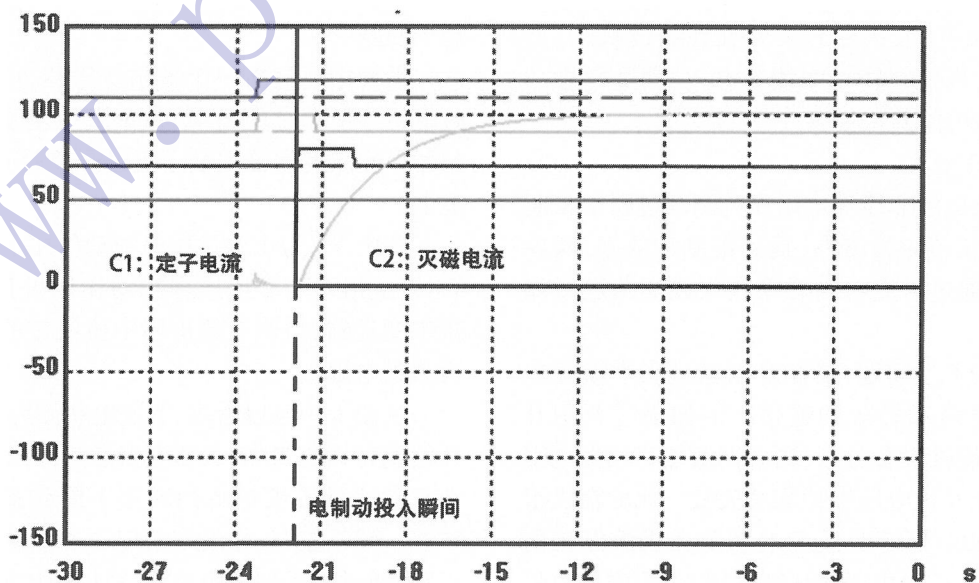


图 2 电气制动投入波形图

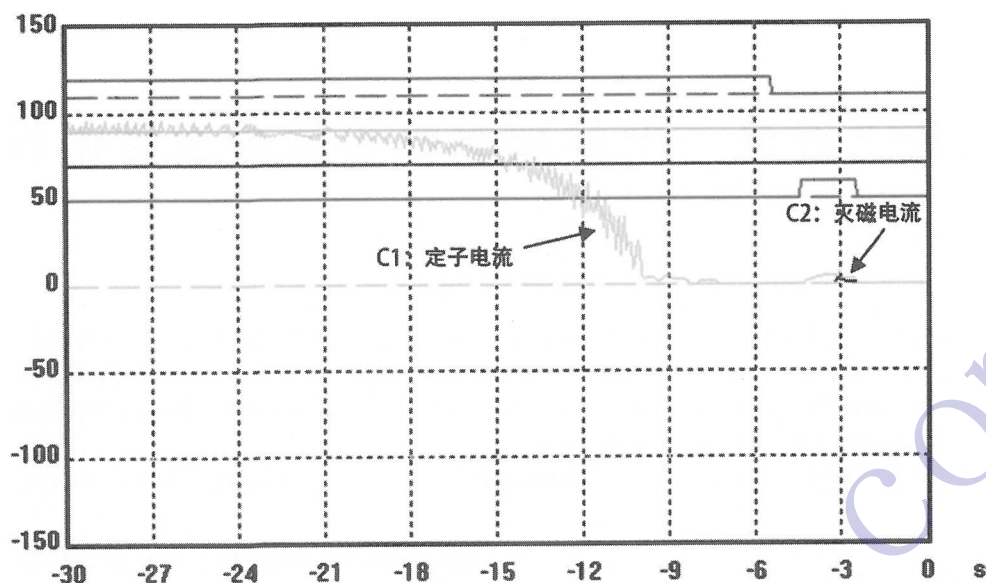


图3 电气制动切除波形图

从图2波形图中可以得知:当-22秒时电制动投入,由于转子线圈加入电制动电流,定子电流开始上升,制动力加大。此时由于可控硅跨接器的作用,使灭磁电阻隔离,灭磁电阻上通过的电流瞬间降至0。从图3电制动切除阶段波形图可知:当-3秒时定子电流接近0,此时电制动切除,但C2通道检测到有灭磁电流出现然后归0,证明在电气制动切除的瞬间,灭磁电阻投入并工作。

通过上述分析,可以判断在电制动过程中灭磁电阻没有接通而在电气制动切除的时候再将灭磁电阻接通,此方案获得了成功,达到了预期效果。

## 5 结语

通过改造及现场运行,该电厂灭磁电阻安全运行,目前无维修记录,受到了用户的好评。同时,还还从中体会到:在改造过程中,选用碳化硅材料的非线性灭磁电阻体积更小、容量更大。但是,其正常转子电压下的漏电流远大于可控硅的维持电流,此时跨接器暂时不能返回,可能造成碳

化硅材料因过电流冲击而损坏。为了防止这一现象,可以采取励磁控制器发逆变令的方法来保证跨接器的返回,氧化锌电阻则无需这一操作。因此,无论选用何种材料的非线性电阻,采用可控硅跨接器及优秀的逻辑控制是保护非线性电阻效能、延长寿命的有效手段。其次,原有连接形式不但增加制动电源负担,而且消耗更多的厂用电量,对发电厂经济运行产生一定影响,尤其在频繁开停机情况下尤为突出。经过改造后,厂用电率有一定下降。

## 参考文献:

- [1] 三峡左岸电站电气制动简介,胡先洪 万和勇 三峡水力发电厂;
- [2] EXC9000 用户手册 广州擎天实业有限公司 用户手册。

## 作者简介:

沈继东(1982-),男,青海西宁人,学士,工程师,从事发电厂电气二次设备设计及发电厂安全生产管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

## 乌东德水电站左岸引水隧洞首节压力 钢管成功吊装就位

9月20日,由葛洲坝三峡建设公司乌东德施工局承建的乌东德水电站左岸引水发电系统6号引水隧洞下平段首节压力钢管成功吊装就位,此举标志着乌东德水电站左岸地下电站水轮发电机组部分安装工作正式启动,为后续左岸地下电站首台(6号)机组发电奠定了良好基础。乌东德水电站左岸地下厂房共安装6台单机容量85万千瓦的水轮机组,其引水隧洞采用一洞一机平行布置型式。压力钢管布置在引水下平段,顺水流经下平段、锥管段、连接段至水轮机蜗壳进口。左岸6台机的6条压力钢管长度均为55.2米,总长约331.2米,内径13.5至11.5米不等,压力钢管管壁全部采用国产780 MPa级钢板,壁厚56至64毫米。安装高程为803.0米,其中最大单节管的重量高达65.8吨,6条管线工程总量约为6738.6吨,属于超大型地下埋管。