

电气制动在乌溪江电厂的应用

Application of Electrical Braking in Wuxijiang Hydropower Plant

周新有

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 介绍电气制动在乌溪江电厂5号机100 MW水轮发电机组的应用, 在进行电气制动的改造及相关试验中取得良好效果。为电气制动在其他同类型机组的推广应用提供了依据。

关键词: 水轮发电机; 制动; 应用

中图分类号: TM312

文献标识码: B

文章编号: 1007-1881(2007)02-0070-03

乌溪江水力发电厂是浙江电网的主力调峰水电站, 5号机组单机容量100 MW, 承担调峰任务, 开停机频繁。5号机距离厂房控制室约2 km, 采用计算机监控系统控制, 实现无人值班、少人值守的关门运行, 有必要提高机组停机制动的自动化水平。

水轮发电机组采用电气制动停机系统, 可以较大程度地改善机组的停机运行工况, 缩短停机时间, 消除机械制动时制动块与制动环因摩擦而引起的机械疲劳而造成的变形龟裂, 同时洁净了环境, 提高了机组控制的自动化水平。对5号机组进行电气制动的实际改造和相关试验, 取得了有益的成果。

1 电气制动的工作原理

水轮发电机组的传统制动方式一般采用机械制动, 其优点是: 运行可靠, 使用方便, 通用性强, 用气压、油压操作所消耗能源较少, 在制动过程中对推力瓦的油膜有保护作用。既用来制动机组, 又用来顶转子, 故具有双重功能。但这种制动方式存在如下一些缺点: 制动器的制动块磨损较快, 制动中产生的粉尘随着循环风进入转子磁轭及定子铁心的通风道, 长年积累会减少通风道的过风断面面积, 影响发电机的冷却效果, 导致定子温升增高。粉尘与油雾结合会四处飞落, 污浊定子绕组, 妨碍散热, 降低绝缘水

平, 增加检修工作量。在制动过程中, 制动环表面温度急剧升高, 因而产生热变形, 以致出现龟裂现象。为了克服机械制动方式的这些缺点, 在5号机组上采用电气制动, 但仍然保留机械制动方式, 实现混合制动。

当水轮发电机组与系统解列后, 导水机构关闭, 发电机灭磁, 机组在转轮水阻力矩、转子风阻力矩以及轴承摩擦力矩的共同作用下, 转速迅速下降, 当转速下降到一定数值时(通常为额定转速的40%~60%), 合上发电机定子绕组出线端的制动短路开关, 给转子绕组加恒励, 依据同步发电机的电枢反应原理, 电枢反应的直轴分量仅体现为加磁或去磁, 不反应有功转矩。而电枢反应的交轴分量则体现为一个有功转矩, 其方向与原有速度方向相反。量值为

$$T_{ei} = I_F \times X_d^2 RS / (R^2 + S^2 X_d^2)$$

式中: T_{ei} ——电气制动转矩;

I_F ——发电机电气制动短路电流;

X_d ——发电机同步电抗;

R ——发电机定子绕组电阻;

S ——转速比。

在电气制动过程中, 由于给转子绕组加的是恒定励磁电流, 随着转速的降低, 发电机的感应电势和直轴同步电抗按比例减少, 使发电机定子绕组上的制动电流幅值保持稳定, 而频率逐渐减少。

2 电气制动对机组保护的影响

(1) 采用定子三相直接短路、转子励磁方式较为适用。制动投入转速可在额定转速40%~60%内选取。定子制动电流 I_F 一般可取发电机定子额定电流 I_e 的1.0~1.2倍。对于导叶漏水量较大的常规水轮发电机机组,要求缩短低转速区的运行时间,采用增大定子制动电流的制动方式效果较好。对于导叶漏水量较少(约为1%额定力矩)、轴承润滑性能较好的常规水轮发电机机组,电气制动投入参数采用50% N_e 及额定电流 I_e 较适宜。

(2) 采用电气、机械混合制动是一种较理想的制动方式。电气制动投入成功后,当转速降至20%~25% N_e 时,再投入机械制动。如果推力轴承润滑性较好,可在转速降至15%~20% N_e 时,再投入机械制动。

(3) 电气制动时将在差动保护回路内形成差电流,会导致差动保护误动作,因此要闭锁差动保护动作出口。

(4) 电气制动时,发电机呈短路状态,其机端线电压 $U_j = 0$,但由于发电机结构决定的三次谐波电势 E_3 的A、B、C三相方式一致。由于发电机通常采用零序过电压定子接地保护,因电气制动过程中三次谐波串联谐振的影响,将导致定子接地保护误动作,误发信号。解决办法是消除串联谐振回路中消弧线圈的电感或发电机对地分布电容。5号机采用了消除发电机对地电容的方式。即电气制动停机时发电机短路接地,此方法简单、可靠、易行。

3 机组电气制动的实现

对大中容量的机组,定子制动电流一般采用发电机定子额定电流的1.0~1.2倍,偏小会使电气制动力矩较小而延迟制动时间,偏大虽可缩短制动时间,但对发电机不利。设计时将发电机定子制动电流的范围控制在0.8~1.2 I_e ,并通过调整制动变压器抽头而实现可调。由试验最终确定适合的发电机定子制动电流范围见图1。

(1) 制动程序。机组与系统解列—停机令

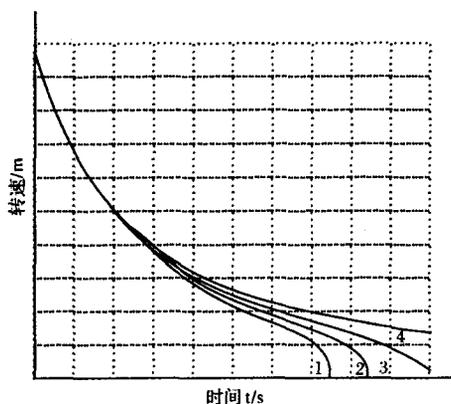


图1 湖南镇水电厂机组减速曲线

给出一导叶全关—逆变灭磁—判断电气制动启动条件是否满足—FDK合闸—ZLK合闸—JLK合闸。

(2) 系统恢复程序。机组转速为零—JLK分闸—延续40s续流灭磁—ZLK分闸—FDK分闸—系统复归—恢复下一次开机条件。

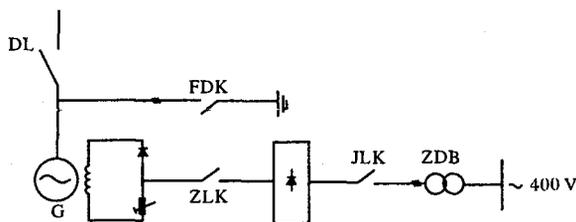


图2 电气制动系统原理简图

FDK—短路刀闸; ZLK—直流开关;
JLK—交流开关; ZDB—制动变压器

4 5号机电气制动试验数据分析

(1) 发电机空转至额定转速的情况下停机,采用机械气制动停机(见表1)。

(2) 制动变压器抽头放在第2档,二次电压为 $U_{ab} = U_{bc} = U_{ac} = 70$ V,发电机短路电流 $I_F = 3850$ A,此次试验在10% N_e 时投入机械制动,采用混合制动,数据见表2。

(3) 制动变压器抽头放在第3档,二次电压为80 V,转子电压=86 V,转子电流=595 A,发电机定子电流=4500 A,采用纯电气制动,数据见表3。

(4) 制动变压器抽头放在第2档,二次电压为 $U_{ab} = U_{bc} = U_{ac} = 72$ V,制动电流约4100

表1 机械制动停机数据

时间/s	频率/Hz
0	50
20	39
40	30.03
60	23.88
80	19.85
100	16.74
120	14.77
140	11.40
240	0

表2 混合制动试验数据

时间/s	0	12	20	72	194
转速 N_e /%	100	80	60	30	0

表3 纯电气制动试验数据

时间/s	0	20	40	105	188
转速 N_e /%	100	80	60	30	0

A, 通过监控上位机历史数据库记录, 对5号机改造前后停机时间比较见表4。

通过以上数据可知, 改造前由于采用机

表4 改造前、后停机时间历史数据

时间	改造前	改造后
18:33:15'	停机解列(断路器分闸)	2:25:50' 停机解列(断路器分闸)
18:33:19'	导叶全关动作	2:25:55' 导叶全关动作
18:33:25'	95% N_e 以上复归	2:26:00' 95% N_e 以上复归
18:33:31'	80% N_e 以下动作	2:26:07' 80% N_e 以下动作
18:33:56'	60% N_e 以下动作	2:26:30' 60% N_e 以下动作
18:35:54'	25% N_e 以下动作	2:27:57' 25% N_e 以下动作
18:35:55'	风闸顶起动作	2:29:27' 10% N_e 以下动作
18:37:35'	10% N_e 以下动作	2:29:30' 风闸顶起动作
18:39:42'	5% N_e 以下动作(零转速)	2:30:30' 5% N_e 以下动作(零转速)

注: (1)改造前(2005-09-23)水头 216.75 m;

(2)改造后(2006-05-17)水头 217.68 m。

用混合制动方式, 60% N_e 电气制动, 10% N_e 再机械制动加闸, 停机解列至零转速时间是4.67 min。在几乎差不多的水头下停机制动, 改造后停机的时间比改造前减少了1.78 min。可见改造后的制动效果明显。电气制动投入对机组振动、瓦温几乎没影响。

5 结论

本次改造和相关试验表明: 电制动装置动作可靠, 有利于发电机快速通过低转速区, 减少推力瓦磨损, 并且大大提高机组自动化水平, 减少检修维护工作量。

(1)随着定子制动电流的增加, 电气制动力矩加强的效果明显。对于漏水量较小、轴承润滑性能较好的常规水轮发电机组, 发电机定子制动电流的范围采用(0.8~1.0) I_e 比较合适, 一般已满足对停机时间和制动时间的要求。

(2)对于漏水量较大、轴承润滑性能较好的常规水轮发电机, 通过调节制动变压器的抽头, 增大发电机定子制动电流, 可以缩短低转速区的运行时间。采用混合制动方式, 在低转速(10~15% N_e)时, 再投入机械制动较合理。

(3)由于5号机定子线棒绝缘的问题和电制动试验数据的结果, 制动变压器抽头放在第2档, 即二次侧电压为70~72 V左右, 发电机制动电流为3 900~4 150 A左右, 并且采用混合制动(10% N_e 转速投入气制动), 较为合理。

参考文献:

- [1] 白延年. 水轮发电机设计与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.

收稿日期: 2006-06-01

作者简介: 周新有(1970-), 男, 浙江衢州人, 工程师, 从事水电厂自动化技术工作。

械制动方式, 25% N_e 时机械制动加闸, 停机解列至零转速时间是6.45 min, 而改造后采