

## 某 660 MW 机组一次调频试验控制逻辑分析

陈刚<sup>1</sup>, 谢军<sup>2</sup>

(1. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102; 2. 江苏国华陈家港发电有限公司, 江苏盐城 224000)

**摘要:**以某 660 MW 燃煤发电机组为对象,在简介机组一次调频相关控制系统和江苏省电网一次调频技术规范的基础上,针对一次调频试验,分析了该机组 DEH 侧和 CCS 侧一次调频的控制逻辑和注意问题,对同类机组进行一次调频试验有一定参考意义。

**关键词:**一次调频;协调控制;转速不等率

**中图分类号:**TM921.51

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2013)05-0068-03

某公司一期工程为 2×660 MW 燃煤机组,锅炉为上海锅炉厂 SG-2073/26.15-M626 型超超临界压力直流锅炉,汽轮机为上海汽轮机厂 N660-25/600/600 型超超临界中间再热四缸四排汽凝汽式汽轮机。发电机为上海汽轮发电机有限公司生产的 QFSN-660-2 型三相同步、水氢氢冷却、静态励磁汽轮发电机。单元机组控制系统采用的 DCS 产品为国电智深控制技术有限公司的 EDPF-NT+ 控制系统,设计包含 DAS、BMS、MCS、SCS 等系统。汽机控制系统采用上海汽轮机有限公司和西门子联合设计的 DEH 控制系统(数字控制部分采用西门子 T3000 分散控制系统)。一次调频实现模式为 DEH+CCS,DEH 侧作用为快速响应一次调频负荷,CCS 侧作用为改变锅炉侧能量,以达到与汽机侧的能量平衡<sup>[1]</sup>。江苏省电网一次调频相关技术规范规定:(1)一次调频死区不大于±0.033 Hz。(2)转速不等率应按照火电机组为 5%、水电机组为 3%、燃机机组为 5%进行设置。(3)一次调频负荷限幅不小于 6%额定负荷(Pe)。(4)一次调频响应滞后时间小于 3 s。(5)一次调频负荷响应至该次扰动调频幅度 90%的响应时间小于 15 s。(6)一次调频稳定时间小于 1 min。

该汽轮机组控制系统采用的是西门子公司技术的先进模块化组合设计。机组启动方式为高中压缸联合启动,高中压缸进汽量分别由两个高调门及两个中调门控制。启动过程由启机顺控 SGC 自动控制,由高中压缸缸体和转子的热应力计算出的温度裕度值决定汽轮机冲转的升速率及升降负荷率。当机组同期并网后,汽轮机可根据机组运行要求投入限压模式(负荷控制方式)或初压模式(压力控制方式)。当机组在限压模式下且主汽压力未低于保护值(为主汽压力设定值-1.5 MPa)时,负荷控制方式起作用,一次调频回路正常动作;当机组在初压模式下时,此时负荷控制器的负荷设定值会叠加一个偏置,使其输出增大,因

为进汽设定值为压力控制回路和负荷控制回路输出的小选值,所以此时负荷控制器的输出不起作用,即一次调频回路也不起作用。

## 1 DEH 侧一次调频控制逻辑分析

如图 1 所示,当机组并网并且负荷大于初始负荷时,转速设定值等于额定转速值(PSF30),此时 PSF30 为 50 Hz,频差等于额定转速与实际转速(NT)的差值。频差经过惯性函数(此惯性函数由并网信号(GLSE)闭锁,即只有在并网信号来之后,此爬坡函数才发挥作用,否则输出被置为 0)后,进入死区限制模块,死区设定值(TOTPF)为 0.033 33 Hz(2 r/min)。死区限制模块的输出作为经过死区和频差高低限之后的模拟频差信号(PSF380),PSF380 由一次调频投入信号(PSFE)进行闭锁。

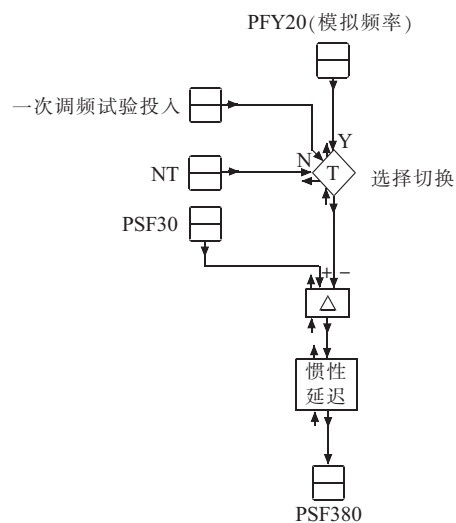


图 1 调频试验投切及频差产生

在进行一次调频试验时,通过一次调频测试投入信号,将机组频率信号切换为试验模拟电网频率(PFY20),以获得试验需要的频差信号。如图 2 所示,当增负荷信号为 1 时,PFY20 为 49.891 7 Hz;当降负荷信号为 1 时,PFY20 为 50.108 3 Hz。当一次调频参数测试

信号 DEHPFT 为 1 时,PFY20 输出结果对应于初始值为 49.85 Hz,终值为 50.15 Hz,上升速率为 0.2 r/min 的斜坡函数。

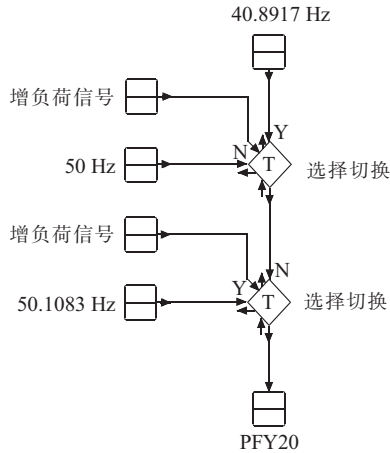


图 2 一次调频测试环节

转速不等率(STATPF)是表征一次调频特性的基本参数,反映了汽轮机功率变化与电网周波变化之间的静态放大倍数。按照一次调频技术规范,该机组额定负荷 660 MW 下,转速不等率应设置为 5%,即转速变化 5%(150 r/min)对应着负荷 100%的变化(调门的全开或全关)<sup>[2]</sup>。

如图 3 所示,组态中额定负荷(PNOM)设置为 700 MW,转速不等率应设置为 0.053 030 3。PSF380 经过与额定转速和转速不等率的换算得出一次调频负荷指令(数值为百分比),此一次调频负荷指令经过一次调频负荷限幅 $\pm 6\%$  PNOM,得到限幅后的一次调频负荷指令(PSF390Y)。当进行一次调频特性参数测试试验时,因为不需要汽轮机发生实际动作,所以一次调频特性参数测试信号(DEHPFT)为 1 时会切换使 PSF390Y 为 0,即汽轮机不响应此调频负荷指令。

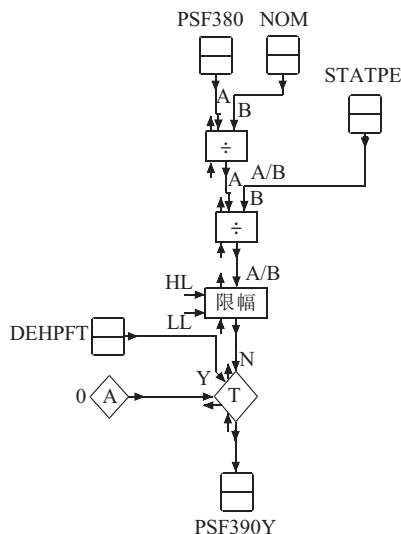


图 3 一次调频负荷指令

当电网频率过高或过低时,为保护汽轮机,一次调

频回路将限制汽轮机动作,其中过高频率设定为 50.5 Hz,过低频率设定为 49.5 Hz。当电网频率在 49.5 ~ 50.5 Hz 之间时,一次调频回路正常动作;否则,一次调频超驰保护回路动作,最终的一次调频负荷分量经过超驰保护回路上下限幅,即当电网频率超限初始阶段,超驰保护回路会先快速动作一部分负荷,使频差尽可能减小。在电网稳定的情况下,该回路不会起作用。

经过限幅和超驰保护回路的一次调频负荷分量作为转速负荷控制器的比例前馈(XP),直接叠加至转速负荷控制器的输出,进而通过改变进汽设定值直接动作汽机调门,从而实现 DEH 侧快速响应一次调频。

## 2 CCS 侧一次调频策略设计分析

CCS 侧设有一次调频投入按钮,只有当一次调频按钮投入时,一次调频负荷指令才能起作用,此一次调频负荷指令是由 DEH 侧限幅后的一次调频负荷指令通过硬接线输入到 DCS 侧协调控制器。因为 DEH 侧限幅后的一次调频负荷指令为对应于额定负荷的百分比信号,所以 CCS 侧一次调频负荷指令的量程应设置为换算出的负荷量,此一次调频负荷指令经过限幅限制之后构成一次调频功率信号,限幅函数是指 CCS 侧一次调频功率的允许范围,其上限函数为:负荷上限值 $\times 1.04$ -负荷指令;下限函数为:负荷下限值-负荷指令 $\times 0.96$ 。

一次调频功率信号直接与负荷指令叠加后作为锅炉主控指令的前馈信号,另外一次调频功率信号的微分环节也作为锅炉主控指令的前馈信号,作用就是在一次调频响应初期是锅炉主控快速动作,减小锅炉侧的响应惯性时间,使锅炉侧与汽轮机侧能量尽快达到平衡。因为 DEH 侧负荷控制回路为闭环控制,所以只需要接受 CCS 侧发出的经主汽压力偏差校正之后的负荷指令信号,且负荷指令信号为限幅限速后的 AGC 设定值或本地负荷指令,不需要叠加一次调频功率信号<sup>[3]</sup>。陈家港发电厂机组的一次调频特性参数如图 4 所示。

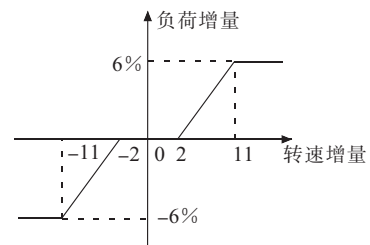


图 4 一次调频特性参数曲线

一次调频功能定值 3 000 r/min(50 Hz),死区设置为 $\pm 2$  r/min( $\pm 0.033 3$  Hz);一次调频输出的最大上下幅度 $\pm 6\%$ ( $\pm 39.6$  MW),相对应的偏差为 $\pm 0.183 3$  Hz( $\pm 11$  r/min)。图中斜线速率相当于 5%的转速不等率。

### 3 试验结果分析

(1) 450 MW 负荷段 0.066 67 Hz 频差增、减负荷测试结果如图 5 所示。

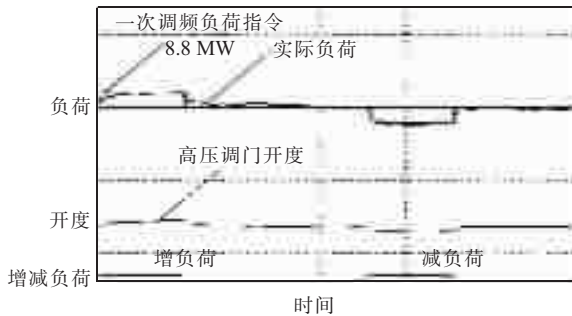


图 5 450MW 负荷段频差增减负荷测试曲线

增负荷测试。19:30:23,增负荷信号为 1,一次调频增负荷试验开始,模拟频差为 0.066 67 Hz,一次调频负荷指令为 8.8 MW,初始负荷为 450.018 3 MW。高压调门开度为 25.8%,主汽压力设定值为 19.86 MPa,实际值为 19.67 MPa。19:30:25,负荷为 452.766 3 MW,响应滞后时间为 2 s。19:30:38,负荷为 456.888 1 MW,负荷增量为 6.869 8 MW,负荷增加 78%。19:30:46,负荷为 457.804 1 MW,负荷增量为 7.785 8 MW,负荷增加 88%,负荷响应至 90% 时间为 23 s。高压调门开度为 27.8%,主汽压力为 19.54 MPa。负荷响应至 90% 时间大于 15 s,因为在试验开始之前,主汽压力低于设定值 0.19 MPa,锅炉侧能量不足,所以试验开始后,负荷响应时间过长。19:31:17,负荷为 458.720 1 MW,负荷增量为 8.708 1 MW,负荷增加 99%,负荷响应达到稳态时间为 54 s。减负荷测试。19:33:33,降负荷信号为 1,一次调频降负荷试验开始,模拟频差为 -0.066 67 Hz,一次调频负荷指令为 -8.8 MW,初始负荷为 450.018 3 MW,高压调门开度为 25.2%,主汽压力设定值为 19.86 MPa,实际值为 19.80 MPa。19:33:35,负荷为 447.270 4 MW,响应滞后时间为 2 s。19:33:48,负荷为 440.400 6 MW,负荷下降量为 9.6 MW。19:33:59,负荷为 440.400 6 MW,负荷响应达到稳态时间为 26 s。

(2) 600 MW 负荷段 0.066 67 Hz 频差增、减负荷测试结果如图 6 所示。

增负荷测试。11:34:55,增负荷信号为 1,一次调频增负荷试验开始,模拟频差为 0.066 67 Hz,一次调频负荷指令为 8.8 MW,初始负荷为 599.780 2 MW。高压调门开度为 31.7%,主汽压力设定值为 24.14 MPa,实际值为 24.21 MPa。11:34:57,负荷为 601.612 2 MW,响应滞后时间为 2 s。11:35:10,负荷为 608.481 9 MW,负荷增量为 8.701 7 MW,增加 99%。此时负荷响应基本达到稳态。

减负荷测试。11:38:02,降负荷信号为 1,一次调频

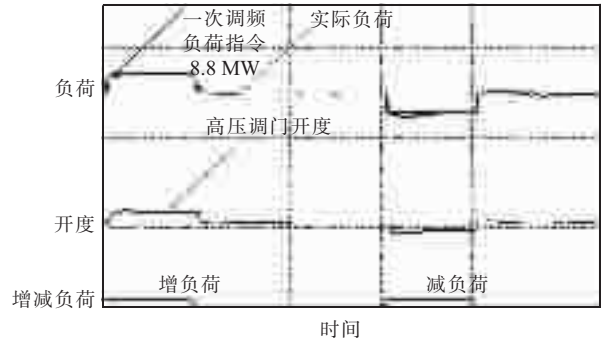


图 6 600MW 负荷段频差增减负荷测试曲线

降负荷试验开始,模拟频差为 -0.066 67 Hz,一次调频负荷指令为 8.8 MW,初始负荷为 600.238 2 MW。高压调门开度为 31.2%,主汽压力设定值为 24.14 MPa,实际值为 24.32 MPa。11:38:03,负荷为 599.322 1 MW,响应滞后时间为 1 s。11:38:17,负荷为 589.246 5 MW,负荷下降量为 10.991 7 MW。11:38:23,负荷为 590.162 5 MW,负荷下降量为 10.075 7 MW。负荷响应达到稳态时间为 21 s。

根据江苏电网一次调频相关技术规范要求,该试验一次调频响应滞后时间均小于 3 s,一次调频负荷响应至该次扰动调频幅度 90% 的响应时间均小于 15 s,一次调频稳定时间均小于 1 min,3 项指标均符合技术规范要求。

### 4 结束语

在火电机组实现一次调频功能,目的是使机组更好地配合电网运行的负荷要求,且由于 DEH 控制逻辑基本由汽轮机厂家成套提供,一般为较成熟的控制逻辑,在增加 DEH 侧一次调频组态时需考虑周到,且在试验前对 DCS 侧与 DEH 侧的一次调频相关 I/O 测点进行检查核对,核对相关参数设置,如特性参数的死区、频率 - 负荷曲线的参数设置等。在试验中做好相关数据的采集并进行必要的调整,试验结束应使机组一次调频动作特性满足相应技术规范要求。

#### 参考文献:

- [1] 朱北恒. 火电厂热工自动化系统试验[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 哈尔滨汽轮机厂. 汽轮机调节系统的设计[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [3] 张玉铎,王满稼. 热工自动控制系统[M]. 北京:水利电力出版社,1993.

#### 作者简介:

陈刚(1986),男,江苏泰州人,助理工程师,从事火电厂调试工作;  
谢军(1971),男,天津人,助理工程师,从事火电厂热控运行维护工作。

表 3 引风机改造前和增压风机参数

名称		运行工况 1	运行工况 2	运行工况 3
测试时间		2008-7-5	2008-7-6	2008-7-6
引风机改造前参数	发电负荷 /MW	330	265	180
	锅炉蒸发量 / $(t \cdot h^{-1})$	1 020	863.5	567
	引风机平均流量 / $(m^3 \cdot s^{-1})$	280.7	233.3	196.7
	引风机平均全压 /Pa	3 303.0	2 525	1 759
	风机效率 /%	84.0	78.0	60.0
	风机轴功率 /kW	1 247.9	748.4	573.0
测试时间		2008-7-5	2008-7-6	2008-7-6
增压风机参数	发电负荷 /MW	330	265	180
	锅炉蒸发量 / $(t \cdot h^{-1})$	1 020	863.5	567
	增压风机秒流量 / $(m^3 \cdot s^{-1})$	561.4	466.6	393.4
	增压风机全压 /Pa	1 530.3	1 057.1	839.4
	增压风机电耗 /kW	1 199.1	780.9	692.1

表 4 引风机改造后参数

名称		运行工况 1	运行工况 2	运行工况 3
测试时间		2010-12-9	2010-12-9	2010-12-10
引风机改造后参数	发电负荷 /MW	330.0	265.0	200.0
	锅炉蒸发量 / $(t \cdot h^{-1})$	999.0	768.7	571.3
	引风机平均流量 / $(m^3 \cdot s^{-1})$	254.4	220.3	189.6
	引风机平均全压 /Pa	3 987.3	3 323.0	2 393.3
	风机效率 /%	88.6	85.7	77.5
	风机轴功率 /kW	1 162.0	852.6	612.8
单台风机节电量 / $(kW \cdot h^{-1})$		85.9	-104.2	-39.8
2 台风机平均节电量 / $(kW \cdot h^{-1})$			38.73	

裕量和全压裕量, 现有引风机能够满足机组各个工况下的运行要求。风机二合一改造后, 风机耗电量大幅度的降低, 机组平均节电约 851.97 kW·h, 厂用电率约下降 0.2%, 节能效果相当突出。

#### 参考文献:

- [1] 刘家钰, 王宝华, 岳佳全, 等. 1 000 MW 机组引风机与脱硫增压风机合并改造研究[J]. 热力发电, 2010, 39(8): 45-48.
- [2] 郭立君. 泵与风机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

#### 作者简介:

田宏伟(1966), 男, 江苏镇江人, 高级工程师, 现从事电厂锅炉设备技术管理工作。

38.73 kW·h, 停用增压风机后, 节电量为 890.7 kW·h, 则机组平均电耗约 851.97 kW/h。如果机组年运行按 7 200 h 计, 每度电按 0.43 元, 各个工况各占 1/3 时间, 则年平均节省费用可达 263.8 万元。该厂 8 号机组引风机改造费用共计约 200 万元, 因此仅需 9 个月左右即可收回投资。

## 4 结束语

经过风机二合一改造后, 引风机仍有一定的风量

## Unification of Induced Draft fan and Booster Fan in One 1 025 t/h Boiler

TIAN Hong-wei

(Guodian Jianbi Power Generation Company, Zhenjiang 212006, China)

**Abstract:** Focusing on the technical retrofit implemented on the induced draft fan system of the 1 025 t/h boiler of NO. 8 unit in Jianbi Power Generation Company, analysis on the field test results and operating data is performed. In this paper, through comprising two proposed technical schemes, it is finally determined that the scheme employing the induced draft fan to replace the booster fan is accepted. The obtained test data show that this proposal can meet the practical requirements. It is also found that, after performing this retrofit, the station service power consumption rate is reduced by 0.2%.

**Key words:** boiler; induced draft fan; booster fan; station service power consumption rate

(上接第 70 页)

## Analysis on Control Logic of Primary Frequency Modulation Test in One 600 MW Power Unit

CHEN Gang<sup>1</sup>, XIE Jun<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Frontier Electric Technology Co. Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Jiangsu Guohua Chenjiagang Power Generation Company, Yancheng 224000, China)

**Abstract:** Taking one 660MW coal-fired power plant as an example, this work briefly introduce the control system for primary frequency modulation and the technical specification adopted by Jiangsu power grid. Based on the primary frequency test results, the control logic and several issues needed special attention are analyzed. This work can provide valuable reference for other similar power plants.

**Key words:** primary frequency modulation; coordination control; speed governing droop