

## 某超临界 600 MW 可调整式双抽供热机组供热经济性分析

曾广斌

(江苏南热发电有限责任公司,江苏南京 210035)

**摘要:**600 MW 超临界双抽供热机组是国内首台 600 MW 可调整式双抽供热机组,没有成熟的经验和案例,中压调门参与调整节流保证中压供热压力,中压缸排汽蝶阀节流保证低压供热压力,直接影响中压缸效率,负荷越低、供热流量越大节流损失越大,对经济性影响越大。文中重点分析了中压供热对机组经济性的影响。

**关键词:**中压供热;节流损失;经济性;热耗;煤耗

**中图分类号:**TM611

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2013)04-0077-04

江苏南热发电有限责任公司响应国家“上大压小”的要求,于2007年将总装机容量405 MW的6台小机组全部拆除,原址重建2×600 MW超临界供热机组。2007年5月份开始主、辅机设备招标,2008年2月份开工建设。分别于2010年1月、8月通过电网168 h考核,脱硫、脱硝同步投入商业运行。2号机组直到2012年9月26日才核准,在此之前仅在电网缺电时随时投入发电。2010年6月,1号机组开始对外供热,主要热用户为南京帝斯曼东方化工有限公司。经过多方努力和南京市环保部门的大力支持,东方公司2台75 t/h锅炉先后于2011年5月16日、2011年7月4日停役,供热量由原来的30 t/h提高到150 t/h,同时减少污染物的排放。通过机组供热,机组煤耗降低3~8 g/(kW·h),年节约标煤约2~3万t。

## 1 主要设备及技术规范

江苏南热发电有限责任公司2×600 MW超临界机组的主要设备及技术规范如表1、表2、表3所示。DCS系统主、辅控均采用艾默生OVATION系统,DEH/ETS采用日立HIACS-5000M系统。

## 2 中压供热现状

江苏南热2×600 MW机组是目前中国首台600 MW超临界燃煤双抽调整式供热机组,机组供热参数:中压蒸汽3.8~4.2 MPa,380~430℃;低压蒸汽0.8~1.2 MPa,300~330℃。机组供热抽汽流量按照额定中压100 t/h和低压100 t/h设计,最大可满足中压150 t/h和低压150 t/h的抽汽供热能力。其双抽调整式供热机组系统图如图1所示。

由图1可见,双抽机组有2个抽汽口,一个在中压缸下部排汽口处,靠联通管蝶阀控制低压抽汽压力。一个在再热器和中压调节阀之间,靠中压调节阀来控制中压抽汽压力。目前,南热600 MW超临界汽

表1 锅炉参数

序号	项目	设计参数
1	锅炉型号	HG-1965/25.4-YM5
2	制造厂家	哈尔滨锅炉厂有限公司
3	锅炉型式	超临界参数变压运行,螺旋+垂直水冷壁直流本生炉,单炉膛、一次中间再热、采用对冲燃烧方式、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构II型锅炉
4	最大连续蒸发量(B-MCR)/(t·h <sup>-1</sup> )	1 965
5	额定蒸发量(BRL)/(t·h <sup>-1</sup> )	1 871.5
6	额定主蒸汽温度/℃	543
7	额定主蒸汽压力(过热器出口 BRL)/MPa(a)	25.28
8	最高主蒸汽压力(BMCR)/MPa(a)	25.4
9	再热器进口蒸汽温度(B-MCR/BRL)/℃	304.6/299.1
10	再热器进口蒸汽温度(B-MCR/BRL)/℃	4.86
11	再热器进口蒸汽压力(BRL)/MPa(a)	4.61
12	再热器出口蒸汽温度/℃	569
13	再热器出口蒸汽压力(B-MCR)/MPa(a)	4.67
14	再热器出口蒸汽压力(BRL)/MPa(a)	4.43
15	锅炉给水温度(B-MCR)/℃	290.7
16	锅炉给水温度(BRL)/℃	287.1

轮机为国内外最大的双抽调整式供热机组,因此在供热调试期间尚无成熟的技术经验可借鉴。2010年5月31日,完成对东方公司中压供热管线冲管。2010年6月7日,首次进行试供调试。2010年7月22日,1号机组正式供热。2010年7月23日,1号机组在做中压供热负荷底限试验过程中中调门关闭被迫停机,经东汽厂将1号汽轮机油动机油压由11.2 MPa升高到14 MPa,中调门

表 2 汽轮机参数

序号	项目	参数
1	汽轮机型号	CC600/537-24.2/4.2/1.0/538/566
2	制造厂家	东方汽轮机厂
3	型式	超临界、一次中间再热、两级抽汽供热(可调式)、三缸四排汽、单轴、双背压、凝汽式
4	额定功率 / MW	600
5	额定主汽压力 / MPa(a)	24.2
6	额定主汽温度 / °C	538
7	额定再热蒸汽温度 / °C	566
8	额定排汽压力 / kPa(a)	4.4/5.4(平均 4.9)
9	配汽方式	复合配汽(喷嘴调节+节流调节)

表 3 发电机参数

序号	名称	技术参数
1	发电机型号	QFSN-600-2-22C
2	额定容量 $S_N$ / (MV·A)	667
3	额定功率 $P_N$ / MW	600
4	定子额定电压 $U_N$ / kV	22
5	定子额定电流 $I_N$ / A	1 749.5
6	额定功率因数 $\cos \varphi_N$	0.9(滞后)
7	额定励磁电流 $I_{fN}$ / A	4 364.6
8	额定励磁电压 $U_{fN}(100^\circ\text{C})$ / V	398
9	定子线圈接线方式	YY
10	冷却方式	水氢氢
11	额定氢压 / MPa	0.414
12	满载效率 $\eta$ / %	98.9
13	发电机漏氢量 / (Nm <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	≤12
14	励磁方式	自并激静止可控硅励磁
15	允许强励时间 / s	20
16	制造厂家	东方电机股份有限公司

参调安全系数在原有基础上可增加 1.27 倍,中调门前最大压差可由 1.5 MPa 提高到 1.7 MPa;增加再热压

力与中调门后压差监控值;供热工况下采用中调门顺序阀运行模式。

经改造调整后 1 号机中压供热调试采用中调门顺序阀调节方式是可行的,能够提供合格的中压蒸汽产品,即中压供热压力达 3.80 MPa 以上,但惟一遗憾的就是 AGC 必须在 420~600 MW 之间变化,不能达到省调要求的 360 MW 低限运行。造成中压供热不能在 360 MW 负荷运行原因为中调门实际提升力不足,与理论计算有一定的误差。

## 2.1 调节情况

(1) 机组在启动、带负荷和纯凝工况,左、右中联阀同时开启,机组采用纯凝常规运行方式。

(2) 当机组达到一定负荷开始准备再热热段工业抽汽时,中调门将采用顺序阀调节方式。

(3) 接受供热指令后,再热供热压力不能满足要求时,按阀门曲线逐渐关闭中压调节阀,关闭的同时注意监测再热热段压力。

(4) 阀门关闭过程中注意监测中压调节阀前后压差,当压差大于 1.5 MPa(a)时停止关闭阀门,当压差超过 1.7 MPa(a)时减小或停止供热。

## 2.2 调节特点

在汽轮机中压供热工况下,出力范围在 400~550 MW 之间,采用顺序阀运行方式后,在此区间内可将中调门开度整体提高 5%,从而避开阀门在小开度参调时关闭的可能;同时阀门可调范围明显增加,调节性能得以明显改善。而其安全性已经得到东方汽轮机厂相关技术部门的认可。

南热发电责任有限公司的主要热用户南京帝斯曼东方化工有限公司,其 2 台 75 t/h 锅炉,经多方努力和南京市环保部门的大力支持,先后于 2011 年 5 月 16 日、2011 年 7 月 4 日停役,供热量由原来的 30 t/h 提高到 150 t/h。2012 年 4 月份公司又针对中压供热管道压

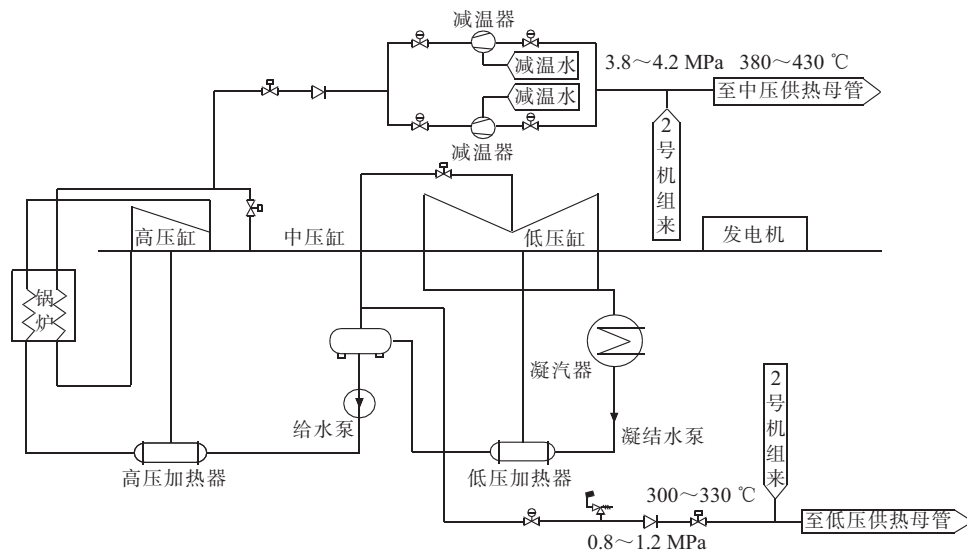


图 1 南热双抽调整式供热机组系统图

损大的问题,优化热网管线结构、增大热网通流面积,目的是降低压损。1号机组中压热网经技术改造后,中压热网压损减小 0.28 MPa,热耗减少 63 kJ/(kW·h)。

目前中压供热量平均在 125 t/h 左右,低压供热几乎没有。采用的正常中压供热方式:1号机组单独供中压供热,2号机组的中压供热系统处于热备用状态,可在需要时进行快速切换。

### 3 中压供热经济性分析

#### 3.1 中调门的节流损失

南热发电责任有限公司机组在 480 MW 负荷时供中压供热 130 t/h,根据计算与不供热时比节流损失达到 60 kJ/kg 左右,折算成热耗 100 kJ/(kW·h)左右,只有当负荷大于 520 MW 时节流损失才很小,因此负荷低供中压供热损失较大。

中调门的节流损失计算的思路。把中调门的节流过程看着绝热过程,节流前后焓值不变,熵增加,而熵增加就意味着可做功能力的下降。通过将熵增加的数值乘上节流点的绝对温度来计算节流损失。一组 1号机组节流损失计算数据对照表如表 4、表 5、表 6 所示。

表 4 中调门在不同负荷下的固有节流损失

参数名称	1号机组	1号机组	1号机组
负荷 / MW	479.27	549.82	553.44
中压供热量 / (t·h <sup>-1</sup> )	2.15	1.91	101.87
中调门前压力 / MPa	3.36	3.89	3.86
中调门前温度 / °C	561.77	562.68	563.15
中调门后压力 / MPa	3.26	3.77	3.74
中调门调节开度指令 / %	100	100	100
左侧中调门开度 / %	97.06	96.84	97.71
右侧中调门开度 / %	100.37	100.36	100.54
中调门前蒸汽焓 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	3 590.14	3 587.43	3 588.77
中调门前蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.353 0	7.280 7	7.286 2
中调门后蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.366 0	7.296 4	7.301 9
节流损失 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	10.879	13.061	13.07

从表 5 数据可以看出,当负荷大于 520 MW 时节流损失才很小,负荷低供中压供热损失增加幅度也越大。同时相同负荷下,供热量越大中调门的节流损失也越大。2011 年至 2012 年 1号机组平均负荷率在 80% 左右,平均中压供热流量在 125 t/h 左右,从表 4 和表 6 的数据表,通过插入法可以算出因中压供热中调门节流增加的节流损失 55 kJ/kg 左右。

#### 3.2 中压供热对机组指标的影响

2011 年 12 月和 2012 年 3 月,分别做了 1号机组纯凝工况和供热工况的对照性能试验。试验结果如表 7 所示(供热工况试验时仅供中压供热,供热流量 112~122 t/h)。

表 5 大流量中压供热时中调门在不同负荷下的节流损失

参数名称	1号机组	1号机组	1号机组	1号机组
负荷 / MW	448.86	481.27	521.86	533.64
中压供热量 / (t·h <sup>-1</sup> )	111	114.36	121.33	121.16
中调门前压力 / MPa	3.75	3.75	3.91	3.91
中调门前温度 / °C	561.91	562.79	567.8	564.71
中调门后压力 / MPa	3.1	3.31	3.58	3.63
中调门调节开度指令 / %	73.87	80.23	85.79	89.47
左侧中调门开度 / %	60.14	79.6	88.97	93.69
右侧中调门开度 / %	2.48	10.82	18.61	23.34
中调门前蒸汽焓 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	3 586.93	3 588.94	3 598.96	3 591.89
中调门前蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.298 4	7.300 8	7.291 9	7.283 4
中调门后蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.383 1	7.358 1	7.334 8	7.3199 1
节流损失 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	70.73	47.927	36.143	30.556

表 6 相同负荷下中压供热不同流量时中调门在的节流损失

参数名称	1号机组	1号机组	1号机组	1号机组
负荷 / MW	475.27	478.3	478.2	481.27
中压供热量 / (t·h <sup>-1</sup> )	139.66	133.78	128.15	114.36
中调门前压力 / MPa	4.08	4.1	4	3.75
中调门前温度 / °C	564.89	569.09	567.68	562.79
中调门后压力 / MPa	3.32	3.37	3.34	3.31
中调门调节开度指令 / %	73.07	73.87	74.48	80.23
左侧中调门开度 / %	57.67	59.33	62.07	79.6
右侧中调门开度 / %	2.3	2.53	2.6	10.82
中调门前蒸汽焓 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	3 590.77	3 600.22	3 597.89	3 588.94
中调门前蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.262 4	7.271 6	7.278 9	7.300 8
中调门后蒸汽熵 / [kJ·(kg·K) <sup>-1</sup> ]	7.359 0	7.363 7	7.364 8	7.358 1
节流损失 / (kJ·kg <sup>-1</sup> )	80.981	77.578	72.295	47.927

从表 7 中可以看出,要供中压供热工况在相同供热流量时,随负荷增加热耗和煤耗下降幅度也随之增加,同时以上数据也反应出随负荷增加节流损失逐渐减少,且在 520 MW 时是临界点。

表7 纯凝/供热工况性能试验数据对照表

工况	负荷 / MW	供热比 / %	修正后热耗率 / [kJ·(kW·h) <sup>-1</sup> ]	厂用电率 / %	修正后供电煤耗 / [g·(kW·h) <sup>-1</sup> ]	供电煤耗差额 / [g·(kW·h) <sup>-1</sup> ]
纯凝	550	0	8 019.70	4.26	309.18	11.58
供热		8.11	7 772.52	4.24	297.60	
纯凝	520	0	7 926.52	4.30	305.70	7.98
供热		8.65	7 756.70	4.47	297.72	
纯凝	510	0	7 956.57	4.40	307.18	8.53
供热		8.89	7 772.24	4.58	298.65	
纯凝	480	0	7 979.03	4.31	307.76	7.77
供热		9.23	7 809.63	4.49	299.99	

#### 4 提高中压供热经济性的措施

通过以上数据分析可以得出相同供热量下负荷越低中压调门节流损失越大,同负荷下供热量越大中压调门节流损失越大,中压缸效率下降越多。负荷越高、供热量越大机组经济性越好,煤耗降低越多。从供热的安全性要求两台机组并供更安全,但由于中压供热需要减温,这样在两台机组并供时两台机组负荷不同且变化时,每台机组的供热抽汽流量波动较大,造成中压供热温度波动太大;同时从经济性的角度来说单机大流量供热的会更好,所以目前公司采用单机供热,另一台机组的中压供热系统处于热备用状态,在事故情况下可快速切换到邻机供热,最大程度地减少对热用户的影响。

在上述运行方式下,要尽可能提高供热的经济性,最好是稳定供热机组负荷在 520 MW 以上运行,但江苏省电力调度中心要求所有 600 MW 机组都必须投 AGC 运行。可以设法向市政府争取供热机组的优惠政策,要求用全厂负荷作为总量调整,将供热机组的负荷相对稳定,用另一台机组参与 AGC 调整。加大低压热用户的扩展,增加低压供热量,进一步提高机组的经济性。

#### 5 结束语

超临界或超超临界大机组供热是个新课题,但却是大势所趋,也是随着环保节能要求的提高,新建大机组所要面临的一个共性问题。超临界 600 MW 机组供热在设计时考虑到热用户参数要求,尽量采用高排蒸汽作为中压供热汽源,温度不够可以利用压力匹配器来抽吸少量压力低但温度高的蒸汽混合,或是利用汽—汽交换器的方式来提高温度。同时也要考虑到机组运行时可能遇到的煤种变化对锅炉过热器和再热器的温度的影响;还需要考虑供热量变化对各级抽汽压力和温度的影响、对汽缸效率的影响。

#### 参考文献:

- [1] 蒋明昌. 火电厂能耗指标分析手册[M]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [2] 中国电力投资集团公司. 600 MW 火电机组节能对标指导手册[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

#### 作者简介:

曾广斌(1969),男,江苏南京人,技师,从事值长兼节能管理工作。

## Analysis on Economy of 600 MW Adjustable Double-extraction Heat Supply Supercritical Thermal Power Plant

ZENG Guang-bin

(Jiangsu Nanre Power Generation Co. Ltd., Nanjing 210035, China)

**Abstract:** The plant introduced in this paper is the first 600 MW adjustable double-extraction heat supply power plant in China. The available experience and reference cases are limited. The intermediate heat supply pressure is maintained by the adjustment throttle employing intermediate pressure control valve. However, under this condition, the thermal efficiency of the intermediate pressure cylinder is seriously influenced by the large throttle loss, and with lower load, this situation will become even worse. The influence of intermediate pressure heat supply on the economy of the whole plant is also analyzed in this work.

**Key words:** intermediate pressure heat supply; throttle loss; economy; heat consumption; coal consumption

## 广告索引

中国华电集团公司江苏分公司	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 4
南京南瑞继保电气有限公司	封二	宿迁电力设计院有限公司	(黑白) 文前
南瑞科技股份有限公司	前插 1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3	远东电缆有限公司	封底