

600MW 火电机组抽汽供热的热经济性分析

李代智,周克毅,徐啸虎,韦红旗

(东南大学能源与环境学院,南京 210096)

摘要:针对亚临界和超临界 600MW 机组抽汽供热,运用常规热平衡法对不同抽汽方案的机组热经济性进行分析、计算,并对结果进行比较,说明抽汽供热能提高电厂的热经济性,且再热器冷段抽汽供热的经济性高于再热器热段抽汽。建议在安全性和经济性的基础上,合理选择抽汽供热方案,为电厂的供热改造提供经济性依据。

关键词:大容量;火电机组;热电联产;节能;热平衡法;热经济性分析

分类号:TK212

文献标识码:A

文章编号:1001-5884(2008)04-0282-03

Thermoeconomic Analysis for A Coal-fired 600MWe CHP Power Plant

LI Dai-zhi, ZHOU Ke-yi, XU Xiao-hu, WEI Hong-qi

(School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Applications of combined heat and power system in both subcritical and supercritical 600MW units are proposed. Based on the energy balance method, the paper presents a detailed calculation and analysis of the thermal cycle. Results prove that both project can increase the circulation efficiency of power plant, and project of steam extraction with low parameters is prior to that of high parameters. It also suggests that correct selection of each project should be based on both factors of safety and economy. It provides the basis of technological improvement for power plants.

Key words: large capacity; coal-fired power plant; combined heat and power (CHP); energy conservation; energy balance method; thermoeconomic analysis

0 前 言

近年来,我国供热式机组的比重逐年升高,热电事业趋于大型化发展。为充分利用热电联产的优越性,容量 600MW 以上的大型凝汽式机组改造成供热式机组的例子逐年增多,但因其回热抽汽大多为非调整抽汽,对于供热工质品质要求较高的供热改造,一般采用再热器热段抽汽供热(简称热抽)或再热器冷段抽汽供热(简称冷抽),再经减温减压后供给热用户。尽管有关凝汽式机组抽汽供热热经济性分析介绍较多^[1-4],但对于 600MW 以上的机组,冷、热段抽汽供热,尚缺少系统的热经济性分析。本文从机组热经济性的角度出发,在常规热平衡计算的基础上,针对热段抽汽和冷段抽汽两种不同的抽汽方式,对某厂两台 600MW 机组的抽汽供热进行了热经济性比较论证,结果表明在定热量抽汽的条件下,冷抽和热抽均是经济的,且前者更为经济。

1 机组的常规热平衡计算

1.1 计算对象与模型

本文计算分析的两台机组均为 600MW 机组,分别为某火力发电厂的 1 号和 3 号机组。1 号机组采用美国西屋电气

公司制造的亚临界、纯凝汽式、八级回热抽汽的汽轮机,汽轮机主汽阀门全开工况(简称 VWO 工况)下功率为 661MW,热力系统如图 1 所示;3 号机组采用东方汽轮机厂生产的超临界、纯凝汽式、八级回热抽汽的汽轮机,额定出力 600MW,最大连续出力为 634MW。将 1 号机组热力系统图中的辅汽 D 从 6 号加热器引至 1 号加热器的位置,去除辅汽 V,即为 3 号机组的热力系统图。1 号和 3 号机组在 VWO 工况下的主要蒸汽参数见表 1。

表 1 1 号和 3 号机组 VWO 工况下主、再热蒸汽参数

项 目	1 号机组		3 号机组	
	主蒸汽参数	再热参数	主蒸汽参数	再热参数
压力, MPa	16.66	3.637	24.2	4.529
温度, °C	538	538	538	566
流量, kg/h	2 000 110	1 669 890	1 956 000	1 591 470
比焓, kJ/kg	3 397.4	3 534.9	3 308	3 590.2

1.2 热力计算的方法及步骤

在分析不同供热抽汽方式对汽轮机热经济性的影响时,热力系统计算方法有很多,较为常用的有常规热平衡法、简化热平衡法和等效焓降法^[5-8]等。本文采用常规热平衡法进行计算,得到不同抽汽方式下的机组热经济性指标,比较分析不同抽汽方式对机组热经济性的影响。

收稿日期:2008-03-13

作者简介:李代智(1983-),男,汉,江苏省溧水人,江苏省南京市东南大学能源与环境学院硕士研究生。主要从事火电机组性能分析、故障诊断和经济运行方面的研究工作。

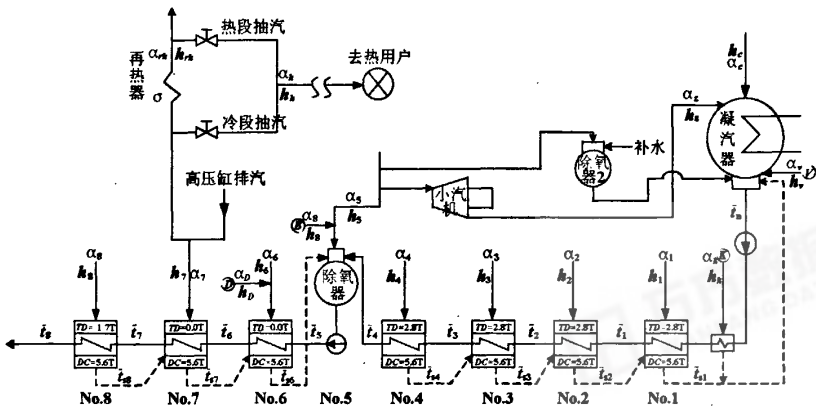


图1 1号机组带冷抽和热抽切换的热力系统图

注:辅汽B、D、K来自轴封漏汽,辅汽V来自汽封蒸汽调节器。

考虑到机组发电煤耗的下降幅度随机组负荷下降而增大,且VWO工况为机组的最高负荷工况,主蒸汽参数最高,锅炉各受热面烟气温度较高,对机组安全性的影响最大,故本文选VWO工况为计算工况。计算过程中,保持汽轮机主蒸汽流量不变,计算VWO工况下不同抽汽方式对机组经济性的影响。因该电厂为保证工质质量不回收工质,故计算中暂不考虑供热工质的回收,且全部补水均引入到凝汽器热井。另外因锅炉排污量很小,故计算中也不计锅炉排污的影响。

不同抽汽方式下抽汽量的计算均按定热量处理,主要供热参数见表2。

表2 1号和3号机组VWO工况下冷段、热段抽汽参数

项 目	1号机组		3号机组	
	冷抽参数	热抽参数	冷抽参数	热抽参数
压力,MPa	3.984	3.637	5.033	4.529
温度,℃	327.7	538	307.5	566
流量,kg/h	45 478	38 395	47 024	37 740
比焓,kJ/kg	3 037	3 534.9	2 948.2	3 590.2

热力系统的变工况计算是热经济性分析计算的主要任务,主要有再热器系统、抽汽压力、凝汽压力、级组相对内效率、热力系统汽水参数以及热经济性指标等的计算。

(1)再热器系统的计算

中压缸进口压力的近似计算公式为

$$p_{pr}'' = p_{pr} D_{pr}/D_{pr0}$$

再热器及其系统的压损计算公式为

$$\Delta p_{pr} = \Delta p_{pr0} D_{pr}/D_{pr0}$$

上两式中, D_{pr} 、 p_{pr}'' 分别为汽轮机变工况下,中压缸进口流量、进口压力; D_{pr0} 、 p_{pr0} 分别为汽轮机基准工况下,中压缸进口流量、进口压力; Δp_{pr} 、 Δp_{pr0} 分别为汽轮机基准工况、变工况下再热器系统的压损。

(2)抽汽压力和凝汽压力的计算

在工况变化不大时,汽轮机级组后的压力近似与级组流量成正比关系,各抽汽压力可表示为^[3]

$$p_1 = p_{10} D_1/D_{10}$$

式中,0、1为下角标,0表示基准工况,1为变工况。

凝汽器压力可根据已有的热力系统各工况的数据,拟合凝汽器的压力曲线,再由抽汽工况确定凝汽器相应的压力。

(3)级组相对内效率的计算

随工况的变动,各级组相对内效率也有不同变化,其中调节级和末级变化较大,其它压力级组在工况变动时效率基本不变,汽态线呈平行移动的过程线。调节级效率是根据调节级组的效率拟合曲线获得的;末级效率采用末级组的蒸汽平均湿度为度量的简便估算方法^[5]。

(4)热力系统汽、水参数的计算

在热力系统变工况计算中,首先确定汽轮机各抽汽口、排汽口的参数和在水蒸汽 $h-s$ 图上绘出新的汽态线。再根据已求出的各抽汽点处压力、排汽压力以及各级组效率,求得各级回热抽汽焓和排汽焓。在计算回热系统各点参数时,保持加热器端差不变,根据上、下端差的定义以及给水泵参数求出各加热器出口水温、水焓和加热器出口疏水的温度和焓值。对于辅助汽水成分,计算中认为其参数随来源处而变,辅汽份额视为不变。各级抽汽系数 α 的计算,在文献^[5]中有详细阐述,本文不再赘述。

(5)热经济性指标的计算

热力系统计算完成后,进行机组的正反、平衡计算,最终求得变工况下机组的热经济性指标,其计算的主要流程如图2所示。在热系统计算正确的前提下,正、反平衡计算得出的实际循环效率应该完全一致。

需要指出的是,由于抽汽供热导致部分计算公式存在差异,在计算1 kg新蒸汽膨胀内功时,需加上供热抽汽在高压缸所做的功;在计算循环吸热量时,需扣除抽汽供热量。

2 计算结果与分析

表3列出了两台机组在VWO工况下冷段和热段抽汽供热后热经济性指标的变化。由表中数据可知,两台机组在同一工况抽汽供热后,与原始工况相比,冷、热抽均不同程度地节省发电煤耗,即提高机组的热经济性。其中,冷段抽汽更为经济。这是因为部分蒸汽在高压缸做功后直接供给热用户,相对于主蒸汽量而言,总的做功量下降了,但这部分蒸汽

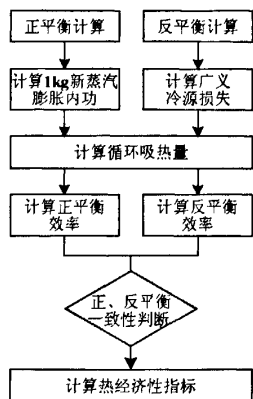


图2 热力系统正、反平衡计算流程图

在机组循环中无冷源损失,故机组经济性提高。同时,在定热量抽汽的条件下,冷抽参数低,抽汽量多,冷源损失的利用程度比热抽高,因此经济性优于热抽。

表中数据也表明,因抽汽供热导致了机组实际发电量的减少。在同一工况下,冷、热抽均使机组发电量减少,且冷段抽汽导致的发电量减少多于热段抽汽。这是因为在定热量抽汽的条件下,与热段抽汽相比,冷段抽汽因为抽汽参数低,

表3 1号、3号机组 VWO 工况下冷段、热段抽汽热经济性指标比较

比较项目	1号机组 VWO 工况			3号机组 VWO 工况		
	原始工况	冷抽工况	热抽工况	原始工况	冷抽工况	热抽工况
汽耗量, kg/s	556.19	555.66	555.78	543.28	538.50	544.01
汽耗率, kg/(kW·h)	3.03	3.11	3.10	2.96	3.02	3.03
热耗率, kJ/kg	7 787	7 757	7 766	7 559	7 482	7 530
标准煤耗率, g/(kW·h)	285.50	284.42	284.73	277.14	274.3	276.10
全年标准煤耗率, t/a	1 322 510	1 281 580	1 288 027	1 281 102	1 232 561	1 247 294
节省发电煤耗值, g/(kW·h)	—	1.08	0.76	—	2.79	1.04
发电量, kW	663 197	643 708	646 230	660 029	641 820	645 367

3 结 论

(1) 无论抽汽方式采用热抽还是冷抽,原凝汽式机组增加抽汽供热后发电煤耗下降,机组经济性提高。

(2) 无论是1号还是3号机组,同一工况下,冷段抽汽供热的经济性总是高于热段抽汽供热。这一方面与抽汽量的大小有关,即同样参数下抽汽量越多,机组煤耗下降得也就越多;另一方面与抽汽参数有关,即同样抽汽量下,抽汽参数越低,机组经济性越好。在定热量供热前提下,热段抽汽少,参数高,所以其经济性不如冷段抽汽好。

(3) 在同样的抽汽方式下,3号机组的热经济性明显高于1号机组,故前者抽汽后煤耗下降得多。即在同样的抽汽供热情况下,因抽汽减少的冷源损失对原本经济性较好的机组影响更大。

(4) 对于大容量机组,在选择抽汽供热方案时,必须兼顾机组的安全性和经济性。建议在锅炉热力计算和汽轮机轴向推力计算的基础上,确定机组在抽汽供热条件下的安全性因素的影响,并结合机组目前运行参数,确定最大供汽量或

抽汽量相对增加,从而导致中、低压缸的汽流做功相对减少,发电量相对减少。

从表3还可以看到,无论冷抽还是热抽工况,3号机组节省发电煤耗较多。导致这一现象的原因有两点,一是3号机组的热经济性明显高于1号机组;另一是在冷抽工况下,3号机组的供热蒸汽焓比1号机组低,在定热量抽汽条件下,前者的抽汽量比后者多,因抽汽减少的冷源损失对原本经济性较好的机组影响更大。冷抽工况下的两台机组,在节省发电煤耗指标上的差异,说明了原本经济性较好的机组,若冷抽抽汽参数低则更为经济;同样,在热抽工况下,3号机组的供热蒸汽焓比1号机组高,在定热量抽汽条件下,前者的抽汽量比后者少。热抽工况下,比较两台机组在节省发电煤耗指标的差别,容易发现3号机组的热经济性明显高于1号机组。

值得一提的是,选择合理的抽汽方式,必须同时考虑抽汽供热可能导致的锅炉高温受热面超温和汽轮机各缸轴向推力变化等安全性问题。同一工况下,在保证主蒸汽参数和流量不变的前提下,冷抽的热经济性虽然优于热抽,且两者均会不同程度地影响汽轮机轴向推力的变化,但是与热抽相比,冷抽抽汽参数较低,抽汽量增多,通过再热器的蒸汽流量减少,会导致锅炉的高温受热面出口烟气温度等发生变化。

机组最高负荷,做到安全生产的基础上充分发挥热电联产经济上带来的优越性。

参 考 文 献

- [1] 赵立军. 凝汽式汽轮机的供热改造[J]. 节能技术, 2001, 19(2): 37-38.
- [2] 苏永升,等. 50MW凝汽式汽轮机的供热改造[J]. 华东理工大学学报, 2003, 29(4): 423-426.
- [3] 王学栋,等. 100MW凝汽机组供热技术改造及经济性分析[J]. 山东电力技术, 2002, (5): 47-51.
- [4] 周旭康. 125MW凝汽式机组抽汽供热的技术经济分析[J]. 节能, 2004, (12): 28-32.
- [5] 林万超. 火电厂热力系统节能理论[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994.
- [6] 郭民臣. 电厂热力系统分析方法的研究与发展现状[J]. 热力发电, 2001, (6): 7-9.
- [7] 付小军,等. 热力系统疏水节能效果的算法研究[J]. 汽轮机技术, 2004, 46(2): 119-121.
- [8] 张才稳,等. “等效焓降法”与常规热平衡法一致性分析[J]. 湖北电力, 1999, 23(3): 10-13.