

大容量纯凝式机组改供热后的调峰能力计算

刘中祥

(江苏淮阴发电有限责任公司,江苏淮安 223002)

摘要:文中分析了供热机组的工作过程并建立热力系统模型,对其进行变工况计算,结合安全限制条件,绘制出纯凝机组供热改造后的运行特性曲线即工况图,据此得出供热机组在满足供热负荷的前提下机组参与电负荷调整的最大和最小能力,并通过现场调峰能力试验对模型计算的准确性进行了验证。为大型供热机组深度参与电网调峰,增强电网对风电等可再生能源的消纳能力提供理论依据和技术支持。

关键词:供热改造;运行特性;以热定电;调峰

中图分类号:TK269.2

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)02-0075-03

随着社会发展,热负荷需求不断增长。越来越多的大型纯凝汽式汽轮发电机组升级改造为抽汽凝汽式热电联产机组,并逐步取代周边分散的供热小锅炉。纯凝机组改造成供热机组后,不仅可以提高机组自身的热效率、降低供电煤耗,还可发挥大容量机组环保设施完备的优势,减少二氧化硫、氮氧化物和烟尘等污染物的排放,节能环保效益显著^[1]。但与此同时,大型纯凝汽式发电机组进行供热改造后,其可调度的有功电负荷区间势必受到影响。以往为保证机组供热,供热机组通常都在额定出力70%以上的区间运行。在电网峰谷差日益加大、供热装机容量所占比重日益提高的情况下,整个电网的调峰能力受到越来越大的制约。分析供热机组在满足供热参数条件下的参与电网深度调峰能力,对保证电网安全运行,增强电网对风电等可再生能源的消纳能力,促进节能减排有着重要意义。

1 纯凝机组供热改造的主要类型

1.1 按改造后供热抽汽口的位置划分

(1) 高排抽汽供热。高排抽汽供热是从汽轮机高压缸排汽即再热冷段抽汽,供热量受锅炉再热器超温和高压缸末级叶片强度的限制,不能过大。

(2) 热再抽汽供热。再热热段抽汽供热克服对锅炉超温的影响和抽汽量的限制,此方式不影响锅炉安全运行,抽汽量大小只受汽轮机末级叶片强度的限制。

(3) 中排抽汽供热。中排抽汽供热是在汽轮机中低压缸连通管上,接三通抽出低压蒸汽,中排的压力随着机组负荷的变化而变化,为了满足供汽压力稳定,需在三通后低压缸进汽前增加一个控制蝶阀,在低负荷时进行节流,以保证阀前的压力。为了保证低压缸必要的冷却流量,调节蝶阀的最小开度有一定限制。同时在抽汽量增大、蝶阀关小的情况下,中排温度将上升,为了保证中压排汽缸及中压转子末级叶片的安全,中排温度不得过高。这些限制条件使得热负荷与电负荷

的匹配提出了更高的要求^[2]。

1.2 按改造后抽汽口的数量划分

(1) 单抽汽式供热机组。单抽汽式机组,其汽轮机以抽汽口为界分为高压部分和低压部分,相当于一台背压式汽轮机与一台凝汽式汽轮机的组合。锅炉来的新蒸汽进入汽轮机高压部分做功,膨胀至一定压力后分为二股,一股抽出供给热用户,一股进入低压部分继续膨胀做功,最后排入凝汽器。

(2) 双抽汽式供热机组。双抽汽式汽轮机组生产电能的同时,有2个不同压力的抽汽供给热用户。

2 供热改造机组运行特性变工况计算

分析供热机组的调峰能力,需要了解供热改造机组的运行特性。目前供热汽轮机运行特性的获取方法有2种,一种是由汽轮机制造厂提供,一种是通过现场热力试验得出。除少数供热改造时同时进行了汽轮机通流改造的机组外,大多数纯凝改供热机组并没有制造厂提供的特性曲线。现场热力试验方法得到的结果固然准确,但需要不断调整热、电负荷对外界热用户和电网调度会产生影响。还有部分机组正处于热用户拓展阶段,目前供热量较小、但热负荷增长预期较大,尚不具备试验条件。针对以上问题,探索了一种建立热力系统模型,进行变工况计算,再结合边界限制条件获取机组运行特性的方法。

2.1 模型的建立

对由纯凝汽式汽轮发电机组改造而成的供热机组来说,依据制造厂提供的凝汽式机组设计资料结合机组供热改造的相关资料,建立供热机组热力系统模型,以纯凝工况为基础,进行热力系统的变工况的计算,获取供热机组的电功率、主蒸汽流量及供热抽汽量之间的相互关系。

2.2 变工况计算的方法和步骤

机组热力系统的变工况,无论产生的原因如何,其表现出的特点均是汽轮机进汽流量或机组通过的蒸汽

流量发生变动。其产生的结果是机组的各抽汽参数和热力系统有关参数发生变化,并表现为汽轮机膨胀过程线的变化,本文是按抽汽口划分级组的近似热力计算方法来进行热力系统变工况计算。

(1) 基准工况的热系统计算。热力系统变工况计算所需的基本数据包括蒸汽的流量数据、状态数据以及汽轮机叶片及通流部分的结构数据,这些数据可从汽轮机制造厂家的汽轮机几何参数、额定工况下的蒸汽参数以及机组原则性热力系统图等上获得。对供热改造机组,选取机组的纯凝额定工况作为基准工况。

(2) 分区段计算各抽汽压力(P_r)。为适应弗留格尔公式要求,供热机组变工况计算以供热抽汽口划界,将汽轮机分为2个区段(单抽机)或3个区段(双抽机),各区段分别使用弗留格尔公式。与常规的热力系统变工况计算不同的是,供热汽轮机热—电负荷特性的变工况计算是指在设定新蒸汽量和供热抽汽量下,计算机组的发电功率。双抽机组进行计算时需要分别设定高压抽汽量、低压抽汽量。因此,当上述各量变化后,必然引起热力系统参数发生变动,可先假定各抽汽压力的初值,再分区段计算得到一个各抽汽压力的计算值,然后循环迭代从而确定工况变动后各级抽汽压力的精确值,从而完成变工况计算^[3]。

(3) 迭代过程及可行性检验。迭代过程即重复上述各级抽汽压力和流量的计算过程,最终只有满足下式迭代才终止,热系统变工况计算才算最终完成。即:

$$\left| P_r^{n-1} - P_r^n \right| < \varepsilon \quad (1)$$

式(1)中: P_r 为第 r 级抽汽压力; n 为上角码表示迭代的次数; ε 为迭代允许误差。

计算完成即可得出给定主蒸汽流量和供热抽汽流量下汽轮发电机组的输出功率。保持供热抽汽流量不变,改变主蒸汽流量,重复上述计算过程。可得出该供热抽汽量下,不同汽轮机进汽量所对应的发电功率。重新设定不同的抽汽量,重复上述过程。可得出各抽汽量下不同汽轮机进汽量所对应的发电功率。

2.3 某 330 W 供热改造机组变工况计算结果

以 330 W 纯凝改供热机组为例,其锅炉最大连续蒸发量为 1026 t/h,利用热力系统参数进行变工况计算,机组供热抽汽量每增加 50 t/h,机组最大发电出力降低约 11~14 MW,具体的发电出力降低的幅度与机组供热抽汽的位置有关,抽汽口位于高压段时降幅取高值,抽汽口位于低压段时降幅取低值。该机组中排抽气供热量分别为 50 t/h,100 t/h 时的变工况计算结果如表 1、表 2 所示。

2.4 核定调峰能力的边界条件

仅从变工况计算结果来看,似乎只要降低主汽流量,就可以降低机组的最低发电负荷。但在机组实际运

表 1 量 50 t/h 的热力计算结果

主汽流量 / (t·h ⁻¹)	供热抽汽 量 / (t·h ⁻¹)	中排温 度 / °C	低压缸流 量 / (t·h ⁻¹)	机组电功 率 / MW
1026	50	361.4	682.7	316.2
710	50	379.9	458.6	187.9
700	50	381.7	451.2	183.6
682	50	385.0	437.9	175.93
600	50	400.3	377.2	142.52

表 2 抽汽量 100 t/h 的热力计算结果

主汽流量 / (t·h ⁻¹)	供热抽汽 量 / (t·h ⁻¹)	中排温 度 / °C	低压缸流 量 / (t·h ⁻¹)	机组电功 率 / MW
1026	100	361.4	628.7	302.5
883	100	379.9	524.9	239.9
870	100	381.7	515.4	234.38
847	100	385.0	498.6	224.7
600	100	425.5	316.4	123.32

行过程中主汽流量的变化范围会受到诸多安全边界条件的限制。供热机组调峰能力核定的边界条件包括:满足锅炉最大连续蒸发量和汽轮机最大进汽量;满足锅炉不投油最低稳燃蒸发量;满足汽轮机低压缸冷却蒸汽最小流量;保证抽汽供热蒸汽参数达到供热要求;对直接在中、低压联通管开三通抽汽供热的机组,还应保证供热抽汽口前与供热抽汽口之间级段压差不超过允许极限,满足中压缸排汽温度不超过规定限值^[2]。

以中压排汽温度为例,制造厂要求中压排汽温度不超过 385 °C,实际运行控制不超过 380 °C。结合变工况计算结果,中排抽汽量为 50 t/h 时,主蒸汽流量不能低于 710 t/h;中排抽汽量为 100 t/h 时,主蒸汽流量不能低于 883 t/h;若低于此数值则中压缸排汽温度超过安全限值。

根据供热机组变工况计算结果,结合保证机组安全运行的边界限制条件,便可以绘制出机组的热负荷与电负荷之间的关系特性曲线,即供热汽轮机的工况图^[2]。它表示供热机组的电功率、主蒸汽流量及供热抽汽流量之间的相互关系及全部可能发生的工况范围。单抽汽式供热汽轮机工况图如图 1 所示。

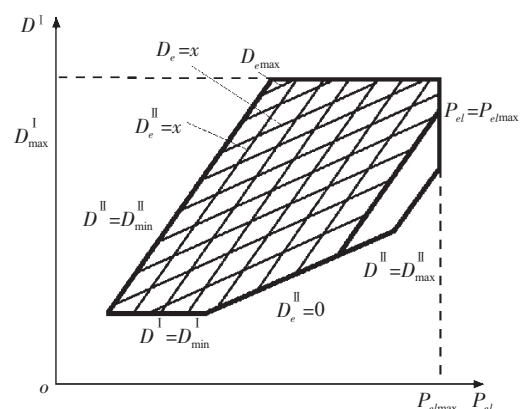


图 1 单抽汽式供热汽轮机工况图

图1中,横坐标为发电机电功率,纵坐标为蒸汽流量。 $D_e=x$ 为抽汽流量定值工况线; $D_e=0$ 为凝汽工况线; D_{\min}^I 为锅炉最低稳燃蒸发量; D_{\max}^I 为最大进汽流量; D_{\min}^{II} 为凝汽量定值工况线; D_{\max}^{II} 为最小凝汽量工况线。

3 供热改造机组的调峰能力分析

获得供热机组汽轮机工况图后,便可按照“以热定电”的原则对供热机组调峰能力进行分析。根据机组的实际供热量,对照工况图,改变主蒸汽流量即可得出机组的电负荷调峰范围。如图2所示,当供热抽汽量由 x_1 增大到 x_2 时,机组的调峰范围由 ΔP_{e1} 减小为 ΔP_{e2} 。调峰范围的大小直接反映了机组调峰能力的强弱。

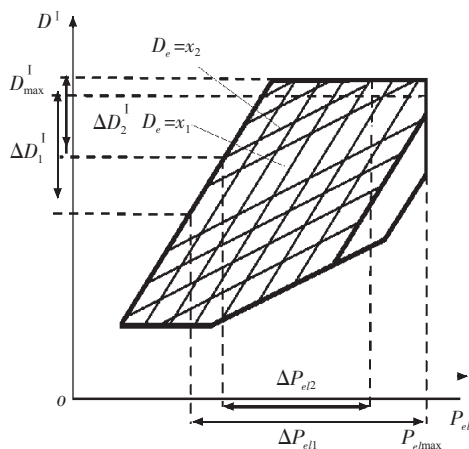


图2 不同抽汽供热量下机组发电调峰范围的示意图

以供热抽汽量为横坐标,机组负荷为纵坐标,可绘制出机组调峰能力与抽汽量之间的关系曲线,即供热机组热电关系曲线,如图3所示。

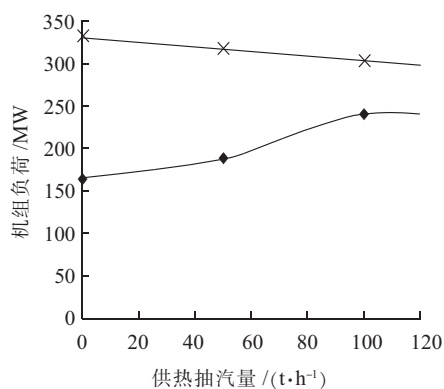


图3 某330 MW机组低压供热量与调峰能力关系曲线

从图3可以看出,机组对外供热量为0时,机组运行于纯凝汽工况,电负荷可调整范围最大。随着机组对外供热蒸汽量的增加,机组的调峰能力逐步变小。根据热负荷与电负荷关系曲线图,只需知道供热抽汽量,就可以得出相应的调峰能力范围。

4 理论计算与现场试验结果比较

为了验证通过模型计算所建立的供热机组热负荷与电负荷关系特性曲线的准确性,将计算结果与南通天生港电厂2号机组的调峰能力试验结果做比较,该机组由额定容量330 MW纯凝机组改造而成,双抽供热,高压供热抽汽取自再热冷段,低压供热抽汽取自中压缸排汽,中低压缸联通管上装有调整蝶阀,用以控制和调整低压供热抽汽压力,理论计算结果和试验结果如表3所示。

从表3中结果可以看出,模型计算结果与现场热力试验结果很接近。按该方法取得的汽轮机工况图精度可以满足机组调峰能力分析的需要。

表3 理论计算结果与现场试验结果对比

高压抽汽量/(t·h ⁻¹)	低压抽汽量/(t·h ⁻¹)	试验最大出力/MW	计算最大出力/MW
45	35	295.5	297.4
高压抽汽量/(t·h ⁻¹)	低压抽汽量/(t·h ⁻¹)	试验最小出力/MW	计算最小出力/MW
35	38	211.6	207.7

5 结束语

纯凝机组完成供热改造后,由于受对外抽汽供热的影响,机组的发电调峰能力与纯凝机组相比有一定降低,其降低幅度与供热抽汽量有关。因此供热机组的调峰范围不宜一刀切,而应结合机组的实际供热情况做相应调整。

通过供热改造机组变工况计算结合边界限制条件的得出的机组运行特性和调峰能力与现场试验结果一致,其结果可为电网调度科学、合理地安排供热机组的运行方式,充分挖掘供热机组的调峰潜力提供依据。

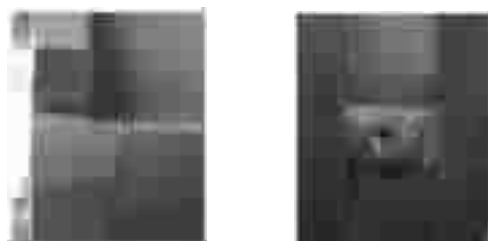
参考文献:

- [1] 曾广斌. 某超临界600 MW可调整式双抽供热机组供热经济性分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 77-80.
- [2] 陈国年, 刘今, 周强, 等. 凝汽式机组改供热后对运行经济性的影响分析[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(1): 9-12.
- [3] 林万超. 火电厂热系统节能理论[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994: 93-94.
- [4] 沈士一, 庄贺庆, 康松, 等. 汽轮机原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1992: 204-205.

作者简介:

刘中祥(1970),男,江苏建湖人,高级工程师,从事发电技术管理工作。

(下转第81页)



(a) 末级叶片

(b) 平衡块

图9 末级叶片及平衡块水蚀现象

(4) 在汽缸宏观和 PT 检查(渗透检测)时发现,高中压外缸上半中压排汽内腔洼窝有 60 mm 长的裂纹、高压隔热环处有 20 mm, 5 mm 裂纹共 3 处。为此征求了厂家意见,制定了修复方案,对裂纹先进行打磨,打磨时注意圆滑过渡,如裂纹深度大于 20 mm,则需要补焊处理。通过多次手工逐步打磨和探伤,发现各处打磨深度分别在 2~5 mm 时裂纹消除,经打磨圆滑完成处理工作。

在高压调门解体时发现,1 号、3 号、4 号高压调门阀杆下衬套端面焊缝存在整圈裂纹。联系东汽专业焊接人员,将焊缝裂纹处打磨深度约 3 mm 后,采用 TIG 焊接,焊材使用镍基焊丝,补焊修复。

5 汽轮机大修前后效果比较

经性能试验测试,汽轮机热耗率较修前热耗率下降 128 kJ/(kW·h),节约煤耗 4.369 g/(kW·h)。各级抽

汽温度明显下降,一抽温度较修前下降了 5.4℃,三抽温度较修前下降了 8.9℃。

高中压内缸下半内外壁温差大问题明显好转,高中压内缸下半内外壁温差从修前的 125℃ 下降到 83℃,降低 42℃,高中压内缸运行中受到的温度应力明显降低。

6 结束语

本次机组首次投产后首次的大修,由于大修前技术分析和准备工作比较充分,对汽缸变形的问题预先做好了返厂安排,检修过程则较为主动。从大修时对汽封间隙的加工调整幅度看,大修前汽封间隙明显变大,证明新机组性能劣化速度确实较快,投产后及时进行首次大修是很有必要的,在提高了机组经济性的同时,还能及早地发现和解决隐患问题,促进了汽轮机安全性的提高。

参考文献:

- [1] 徐传堂,姜涛.超临界 650 MW 汽轮机采用 DAS 汽封的技术改造[J].江苏电机工程,2013,32(4):70-73.

作者简介:

陈益飞(1969),男,江苏盐城人,高级工程师,从事火力发电厂生产技术、设备管理工作;

施缤(1973),男,江苏盐城人,高级工程师,从事火力发电厂汽机专业技术管理工作。

Technical Measures for the First Overhaul of DongFang D660B Steam Turbine

CHEN Yifei, SHI Bin

(Jiangsu Sheyanggang Electric Power Co. Ltd., Sheyang 224346, China)

Abstract: Since unpredictable faults may be encountered, the first overhaul is especially important for newly installed plants, as compared with the plants in service. Through analyzing the large temperature difference between the internal and outer surface of the high and medium pressure cylinder, it was inferred before performing overhaul that the cylinder stator may deform seriously. Thus, preparation had already been made for returning the turbine components to the manufacturer. Besides, measures including optimizing the sealing, reducing steam leakage and strengthening the dummy plate within medium pressure cylinder were also implemented, and higher economy and reliability were achieved.

Key words: steam turbine; turbine cylinder; deform; 660 MW

(上接第 77 页)

Peaking Regulation Capacity Calculation of the Cogeneration Unit Renovated from Pure Condensing Unit

LIU Zhongxiang

(Jiangsu Huaiyin Power Generation Company, Huaian 223002, China)

Abstract: In this paper, the operating process of the heating unit is analyzed and thus its thermal system model is established. With the model, variable operating conditions of the unit can be calculated. Combined with the safety constraints, operating characteristic curve are mapped out for the cogeneration unit renovated from pure condensing unit. According the diagram, the maximum and minimum capacity for electric load regulation of the cogeneration units satisfying the heating load can be obtained. The accuracy of the model is verified by field load performance test. The research makes large cogeneration units participating into depth peak load regulation of power grid possible, and provides a theoretical basis and technical support to enhance absorptive capacity of wind power and other renewable energy.

Key words: cogeneration renovation; operation characteristics; heat determine electricity; peak regulation