

加热器及运行方式等方面对热经济性影响的分析

曹旭剑 黄亚军

山西临汾热电有限公司 山西临汾 041000

摘要: 火力发电行业是一次性能源的消耗大户, 当前我国能源供应状况十分紧张, 提高火力发电行业的节能意识, 降低煤耗, 加强能源的管理具有十分重要的意义。加热器作为组成热力系统的主要设备之一, 加热器运行状况的好坏, 与机组的经济性好坏有着密切相关的联系。本论文给定电厂 1 台 600MW 超临界空冷机组为例, 运行工况为 85%THA (定压)。运用等效热降法对回热加热器进行热经济性计算, 对热力系统的运行方式、热力参数等进行节能潜力分析与定量计算, 并根据计算结果总结了长期以来许多电厂回热加热器端差偏大的原因及改进措施。

关键词: 加热器; 端差; 热经济性; 等效热降法

引言

加热器作为组成热力系统的主要设备之一, 加热器运行时状况的好坏, 与机组的经济性好坏有密切相关的联系, 目前, 人们通过加热器的端差大小来评价加热器的热经济性性能的好坏。加热器的端差又可以分为上、下端差。加热器的上端差, 一般意义上是指加热器汽侧压力下的饱和温度与水侧的出口水温度的差值。对于设有疏水冷却段的加热器, 其汽侧的疏水温度与水侧的进口水温的差值称为下端差。本次论文中只对其作了简单的介绍, 在此不对其进行深究。

加热器上端差对机组热经济性的影响通常比较大。在热力系统常规计算中, 必须进行整个的热力系统的全面性热力计算, 热力系统中影响热经济性的任何变化都将导致各级加热器的抽汽量和汽轮机的总耗量发生变化, 一旦发生错误, 计算就得从头开始, 这使得我们的计算变得十分繁琐。而等效热降法是基于热力学的热功转换原理, 考虑到设备的质量、热力系统结构和参数的特点, 经过严密地理论推演, 导出热力分析参量。等效热降法就是利用这些参量研究热功转换及能量利用的一种方法。它以汽轮机进汽量保持不变为前提条件, 仅利用局部运算代替整个系统的复杂计算, 只对局部变化进行分析, 避免了热力系统一般计算方法繁琐的缺点。

本论文给定电厂 1 台 600 MW 超临界空冷机组为例, 运行工况为 85%THA (定压)。对回热加热器进行热经济性计算是用等效热降法, 最终对热力系统的热力参数等进行定量计算和节能潜力分析, 并根据计算结果总结了长期以来许多电厂回热加热器端差偏大的原因及改进措施。并对疏水泵的节能效果进行了定量计算, 对电厂的生产有一定指导意义。

第一章 热系统的简捷计算和热经济性指标

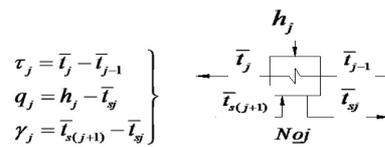
1.1 简捷计算

在热力系统的常规计算中, 通常的有两种: 一是定功率计算, 另一个是定流量计算。而这些在我们热力发电厂的课堂上学过, 在这里, 我们是通过指导老师的教导, 运用“简捷计算”的方法, 来对常规计算的过程中进行改进和加工。

简捷计算是指对热系统计算方法进行简化, 使计算简捷、明了。首先对原始资料整理上进行改进, 共三类: 1. 给水在加热器中的焓升, 以 τ_j 表示, 按加热器编号分别为 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$; 2. 蒸汽在加热器中的放热量, 用 q_j 表示, 按加热器编号分别为 $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ 以及其它汽源的放热量(此论文中这项省略); 3. 疏水在加热器中的放热量, 用 γ_j 表示, 按加热器编号分别为 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$ 。

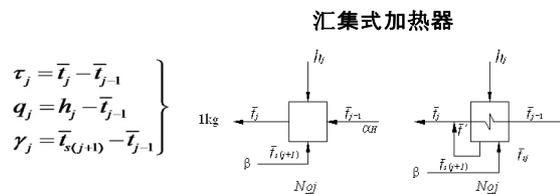
其次, 加热器应分为两类。

一类是疏水放流式加热器, 它们属于面式加热器, 其疏水方式为逐级自流。



疏水放流式加热器

另一类是汇集式加热器, 它们是指混合式加热器或带疏水泵的面式加热器, 其疏水汇集于本加热器的进口或出口。



汇集式加热器

对于抽汽系数的计算, 本来应该是应用方程式的联立从而求解

出抽汽份额 α 的数值,但是给出的原始数据图中,详细的标明了各抽汽份额的数值以及总份额,所以,我们可以轻松的通过比值直接求解,更进一步的省略了计算过程。

通过图上的数据,可以列出以下有关 α 的公式和结果:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 72.04/1424.31 = 0.05058 \\ \alpha_2 &= 89.37/1424.31 = 0.06274 \\ \alpha_{11} &= 1227.08/1424.31 = 0.86153 \\ \alpha_5 &= 51.09/1424.31 = 0.03587 \\ \alpha_6 &= 37.23/1424.31 = 0.02614 \\ \alpha_7 &= 61.82/1424.31 = 0.04302 \\ \alpha_{11} &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 = 0.75650 \\ \alpha_{21} &= 971.14/1424.31 = 0.68183 \end{aligned}$$

1.2 热经济性指标

将机组各数据代入上述计算步骤,可以得出下表所示的热经济性指标

表 1-1 加热器各项热经济指标表

加热器	抽气焓 h_i	蒸汽放热量 q_s	给水焓升 τ_i	疏水放热量 γ_i	出口水焓 t_{2i}	排出疏水焓 t_{3i}	抽汽等效热降 h_i^0	抽汽效率 η_i^0
7#低压加热器	2700.4	2472.7	149.0	145.1	376.7	253.7	235.9	0.08736
6#低压加热器	2832.9	2434.1	84.6	84.9	461.3	398.8	355.7	0.12557
5#低压加热器	2994.7	2511.0	84.9		575.6	483.7	506.8	0.16925
除氧器	3225.0	2649.4	195.0	293.0	770.6		801.2	0.26752
3#高压加热器	3421.7	2645.0	118.4	125.3	889.0	776.7	919.5	0.26873
2#高压加热器	2956.3	2054.3	125.3	165.5	1046.0	902.0	1066.9	0.35980
1#高压加热器	3032.7	1965.2	165.5		1145.4	1067.5	1083.7	0.35736
凝汽器 (h_c)	2464.5	2236.8			227.7			

第二章 等效热降的理论基础

2.1 等效热降

等效热降法是基于热力学的热工转换原理,考虑到设备质量、热力系统结构和参数的特点,经过严密的理论推演,导出几个热力分析参量 H_i 及 η_i 等,用以研究热工转换及能量利用程度的一种方法。

再热机组的问题:第一,对于汽轮机它的耗气量的变化,这与等效热降的热量维持稳定产生矛盾;第二,排挤抽汽的作功相对于原来的还有包括再热器增加的吸热所作的功。

解决问题的方法:一种,定热量等效热降;另一种,变热量等效热降。(本论文采用此种方法,故以此方法作详细研究。)

2.2 变热量等效热降

变热量等效热降,它是顺其自然,就按着循环吸热本来的运行流程,就以其系统的改变而改变。这种方法看似与常规方法是一致的,但它使问题更加透彻、清晰,也符合等效热降分析问题的便捷、准确的特色。

再热热段以后的 H_i^0 , 它以后的排挤抽汽并不影响通过再热器的蒸汽份额 α_{21} , 所以就不影响吸热量,故此时与非再热机组计算的

一样,即定热量等效热降,通式为:

$$H_i^0 = h_i - h_c - \sum \gamma_j \eta_j \quad \text{【千焦耳/公斤】}$$

再热热段及其以上的 H_i^0 , 按前边所提供的推演方法,可以得出通式为:

$$H_i^0 = h_i + \sigma - h_c - \sum \gamma_j \eta_j \quad \text{【千焦耳/公斤】}$$

变热量的抽汽效率——变热量的抽汽等效热降 H_i^0 与排挤一公斤抽汽所需热量 q_i 之比,称之为变热量抽汽效率。即

$$\eta_i^0 = H_i^0 / q_i$$

新蒸汽等效热降 H ——按上文提到的基础理论推演方法,采用变热量抽汽效率 η_i^0 可导出新蒸汽等效热降为

$$H = h_1 + \sigma - h_c - \sum \gamma_j \eta_j - \sum \Pi$$

$$\text{装置效率为 } \eta_j = H/Q \quad \text{式中 } Q = h_0 + \alpha_{21} \sigma - t_p$$

由于本 600MW 机组,它的加热器编号是从高加到低加依次变大的编号排序,且抽汽等效热降从凝汽器开始较简单,因此我们从第七级开始算起,根据上边的理论以及给的数据图和前边的数据整理,代入公式得出结果,可知各加热器的抽汽等效热降 h_i^0 和抽汽效率 η_i^0 的关系。通过计算结果可知:等效热降 H_i 和抽汽效率 η_i 按加热器压力等级由高往低逐级下降,基本随负荷降低而降低,是抽汽能级品位的回热利用。

第三章 热系统设备的热力分析

由哈汽提供的 600MW 超临界空冷机组图,运行工况为 85%THA (定压),可以直接得到汽耗率为 $d = 2.793 \text{ kg/kW.h}$,热耗率为 $q = 7841.7 \text{ kJ/kW.h}$,功率 $N_e = 510008.0 \text{ kW}$ 。一般大中型发电机效率为 0.950~0.989,这里 η_{gd} 取 0.98, η_g 取 0.999。得到标准煤耗率为 $b_b = q \cdot 10^3 / \eta_{gd} \eta_g = 29308 = 273.3 \text{ (g/kW.h)}$ 。全年标准煤耗量(年利用小时 7000h)为 $B_b = b_b N_e n \cdot 10^{-6} = 975696 \text{ (吨/年)}$ 。

3.1 端差减小 $\Delta \tau$ (10 kJ) 后的热力分析

N_{o1} 加热器的端差减小 ($\Delta \tau_1$) 对经济性的影响:

$$\text{新蒸汽等效热降下降 } \Delta H = \Delta \tau_1 \eta_1^0$$

$$= 10 \times 0.35980 = 3.5980$$

$$\text{循环吸热量减少 } \Delta Q = \Delta \tau_1 (1 + \Delta Q_{21} / q_1)$$

$$= 10 \times (1 + 610.3/1965.2) = 13.106$$

$$\text{装置效率相对提高 } \delta \eta_i = (\Delta Q \eta_i - \Delta H) / (H - \Delta H)$$

$$= ((13.106 \times 0.47080 - 3.5980) / (1267.1 - 3.5980)) \times 100\% = 0.0204\%$$

$$\text{热耗率减少量 } \Delta q_i = \delta \eta_i \times q_i = 40.09 \text{ (kJ/kW.h)}$$

$$\text{标准煤耗率减少量 } \Delta b_b = b_b \times \delta \eta_i = 5.575 \text{ (g/kW.h)}$$

同理可得出 $N_{o2} - N_{o7}$ 加热器的端差减小 ($\Delta \tau_2$) 对经济性的影响,这里不再显示计算过程。

现在将数据整理计算各个加热器装置效率,得出数据,根据数据显示,我们可以知道,当加热器的端差减小时,加热器的装置效率有所提高,机组的煤耗降低,机组的热经济性提高。

第四章 加热器其他的设备的考虑

4.1 疏水冷却器

疏水冷却器的热力分析

依然以等效热降的方法处理,当没有疏水冷却器时,疏水温度没有下降,被下一级利用,则这部分的功是 $\Delta \gamma_j \beta \eta_{j+1}$;当加装了疏水冷却器后,则热量利用于本级,获得作功 $\Delta \gamma_j \beta \eta_j$,则通过计算二者的代数和即可。

$$\Delta H = \Delta \gamma_j \beta \eta_j - \Delta \gamma_j \beta \eta_{j+1} = \beta \Delta \gamma_j (\eta_j - \eta_{j+1})$$

式中 $\Delta \gamma_j$ ——一公斤疏水在冷却器中的焓降

β ——流经冷却器的疏水份额

装置效率相对提高

$$\delta \eta_i = \Delta H / H' \times 100\%$$

4.2 疏水泵

疏水泵的热力分析

类似疏水冷却器的研究方法,也是对照有无两种状态从而得出其经济性。当取消疏水泵时,原本疏水泵打入 $j+1$ 能及的热量不被利用,而是回到凝汽器,故损失了 $\Delta \tau_j \alpha_m \eta_{j+1}$;另外,疏水自流,经冷凝器放热后,会随主凝结水一起被加热器加热,从而浪费了热量 $(\tau_j - \Delta \tau_j) \beta_j$,则作功损失为 $\beta_j (\tau_j - \Delta \tau_j) \eta_j$ 。二者之和就是最终损失。

$$\Delta H = \Delta \tau_j \alpha_m \eta_{j+1} + \beta_j (\tau_j - \Delta \tau_j) \eta_j \text{【千焦耳/公斤】}$$

式中 $\Delta \tau_j$ ——主凝结水因疏水混合而提高的热焓值;

α_m ——混合点混合后的主凝结水份额;

β_j ——经过疏水泵的疏水份额。

装置效率相对升高

$$\delta \eta_i = \Delta H / H' \times 100\%$$

对于此次论文,我们是把7号加热器的疏水冷却器换位疏水泵,来研究它对热经济性的影响。

对于以上所述的疏水冷却器,我们要知道其 $\Delta \gamma_j$,这个通过查询饱和水焓值表,通过加热器内的压力而读出当前压力下的焓值。可以看到 $P=0.077\text{Mpa}$,可见只有通过线性迭代出对应的焓值。由 $P=0.070$ 下,焓值为376.75和 $P=0.080$ 下,焓值为391.71这两个,可知 $P=0.077$ 时,焓值为387.22。与图中数据给出的253.7相差133.52即 $\Delta \gamma_j$,对于疏水泵的,因为是三级疏水器取消后安装的,按常规假设 $\Delta \tau = 3.2$

根据上文对二者的热力分析可知,只需把二者结合即可,公式可列为:

新蒸汽等效热降上升

$$\Delta H = \Delta \tau_j \alpha_m \eta_{j+1} + (\tau_j - \Delta \tau_j) \alpha_j \eta_j - \Delta \gamma_j \alpha_j \eta_j$$

$$= 3.2 \times 0.75650 \times 0.12557 + (149.0 - 3.2) \times 0.04302 \times$$

$$0.08736 - 133.52 \times 0.03413 \times 0.08736$$

$$= 0.454$$

装置效率相对升高

$$\delta \eta_i = (\Delta H / (H - \Delta H)) \times 100\% = (0.454 / (1267.1 - 0.454)) \times 100\% = 0.0358\%$$

热耗率减少量

$$\Delta q = \delta \eta_i \times q_j = 0.0358 \times 2472.7 = 88.523 \text{ (kJ/kW.h)}$$

标准煤耗率减少量

$$\Delta b_0 = b_0 \times \delta \eta_i = 273.3 \times 0.0358 = 9.784 \text{ (g/kW.h)}$$

由计算结果可知:通过将七级加热器设置疏水装置,加热器效率明显提高,而且煤耗量也有所下降,对于火电厂的经济性运行,具有很好的指导与实践意义。

结论

由计算结果可以看出,如果每个加热器出口水焓值上升10kJ,最终,机组每年节约煤19000吨到65000吨不等,可见端差减少后,加热器的效率有所提高,每年累计煤耗降低显著,节能效果显著。

而加装疏水泵和疏水冷却器后,机组装置的效率都有不同程度的提高,本次设计中,我们将七级加热器设置疏水装置,通过计算,我们得出每年机组可减少煤耗近35000吨,可见其节能效果显著。

由于我们仅定量的了解了加热器端差,疏水装置对机组热经济性的影响,而没有进行其他设备的计算,对于不同电厂,可根据自身实际情况,选择适合自己的方法,来提高电厂的经济性,降低煤耗。

参考文献:

- [1]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.
- [2]郭民臣, 刘强, 叶江明, 等.定功率下加热器端差对机组热经济性的影响[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(24): 42-45.
- [3]严俊杰, 林万超, 等.火电厂热力系统经济性诊断理论及应用 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 2000

作者简介:

1.曹旭剑(1992-),男,汉族,山西汾阳人,学士,助理工程师,主要研究方向:电厂汽轮机运行方式与热经济性的关系、锅炉不同运行方式对锅炉效率的影响等。

2.黄亚军(1992-),男,汉族,山西临汾人,学士,助理工程师,主要研究方向:电厂汽轮机各经济性指标、锅炉受热面超温的治理方法等。