

加热器端差对汽轮机组回热系统

焓损分布影响的通用计算模型

曾庆华¹,于淑梅²,周雪斌¹,韩彦广¹

1. 湖南电力科学研究院,湖南 长沙 610007

2. 华北电力大学能源动力工程学院,河北 保定 071003

[摘要] 以基于熵分析法的回热系统焓损分布矩阵方程及汽水分布矩阵方程为基础,结合某台300 MW 汽轮机组回热系统,进行了数学推导与归纳,获得了加热器端差变化对回热系统焓损分布影响的通用计算模型。该模型只需要通过加热器出口水参数及上级加热器疏水参数的偏差值,即可准确快捷地计算出回热系统的焓损分布变化,且具有良好的适应性与通用性,同时也便于在线定量分析端差变化对回热系统焓损分布的影响。

[关键词] 300 MW 汽轮机组;回热系统;加热器;端差;矩阵方程;焓损分布;疏水

[中图分类号] TK284.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-3364(2012)01-0021-05

[DOI 编号] 10.3969/j.issn.1002-3364.2012.01.021

GENERAL - PURPOSE CALCULATION MODEL FOR INFLUENCE OF HEATER'S THERMINAL TEMPERATURE DIFFERENCE UPON THE EXERGY LOSS DISTRIBUTION IN REGENERATIVE SYSTEM

ZENG Qinghua¹, YU Shumei², ZHOU Xuebin¹, HAN Yan'guang¹

1. Hunan Electric Power Science Research Institute, Changsha 610007, Hunan Province, PRC

2. College of Energy and Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei Province, PRC

Abstract: On the basis of exergy loss distribution matrix equation of regenerative system and steam-water distribution matrix equation, all based on the entropy analysis method, combing with the regenerative system of one N300 steam turbine unit, and through strict mathematic deduction and induction, a general - purpose calculation model for influence of heater's terminal temperature difference upon the exergy loss distribution in regenerative system has been obtained. By using said model, the variation of exergy loss distribution in regenerative system can be accurately and rapidly calculated only through the deviation value between the outlet water data and teh drain data of upper - level heater, boasting good suitability and versatility, at the same time, it is convenient for on - line quantitatively analysing the influence of terminal temperature difference variation upon the exergy loss distribution in the regenerative system.

Key words: N300 steam turbine unit; regenerative system; terminal temperature difference of heater; matrix equation; exergy loss distribution; drain

收稿日期: 2011-09-28

作者简介: 曾庆华(1983-),男,湖南长沙人,工程师,主要从事火电机组节能理论及技术研究。

E-mail: zengqinghua4234@sina.com.cn

对汽轮机系统采用焓损进行热经济性评价,能够从本质上体现能量的损失过程,揭示不可逆过程对系统造成的影响。在对回热系统进行焓损评价时发现,加热器端差和加热器抽汽管道压损是造成加热器不可逆损失(焓损)的主要原因。然而,在机组运行过程中,加热器端差和抽汽管道压损均可能发生变化,

从而使回热系统的焓损分布随之发生变化。通过焓分析法推导出焓损矩阵方程,并以该方程和汽水分布矩阵方程为基础,结合某台 300 MW 汽轮机回热系统^[1](图 1),进行数学推导,归纳总结出加热器端差对回热系统焓损分布影响的通用计算模型。

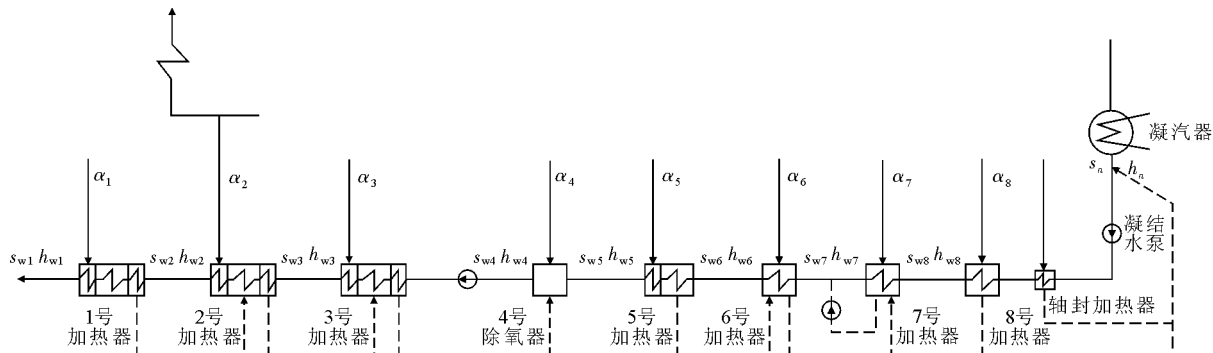


图 1 300 MW 汽轮机回热系统

1 焓损分布矩阵方程^[2]

在考虑各辅助汽水流及纯热量的基础上,建立回热系统加热器焓流通用计算模型^[3](图 2)。

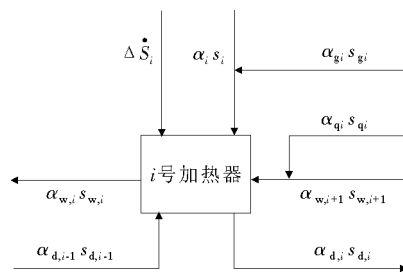


图 2 加热器焓流通用计算模型

加热器是一个稳定流动开口系统,其焓平衡式为:流出的焓—流入的焓=焓产^[4]

将上式与图 2 结合后,可建立回热加热器焓产通用计算方程式:

$$(\alpha_{w,i} s_{w,i} + \alpha_{d,i} s_{d,i}) - (\alpha_i s_i + \alpha_{w,i+1} s_{w,i+1} + \alpha_{d,i-1} s_{d,i-1} + \alpha_{gi} s_{gi} + \alpha_{qi} s_{qi} + \Delta \dot{S}_i) = \dot{S}_{gi} \quad (1)$$

式中: $\alpha_{w,i}$ 、 $\alpha_{d,i}$ 、 α_i 、 α_{gi} 、 α_{qi} 分别为第 i 号加热器给水、疏水、抽汽、汽侧辅助汽水及水侧辅助汽水等的份额,各份额均为相应汽水流量与汽轮机进汽流量 D_0 的比值; $s_{w,i}$ 、 $s_{d,i}$ 、 s_i 、 s_{gi} 、 s_{qi} 分别为第 i 号加热器给水、疏水、抽汽、汽侧辅助汽水及水侧辅助汽水等的比焓, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; $\Delta \dot{S}_i$ 为第 i 号加热器利用抽汽纯热量形成的焓流: $\Delta \dot{S}_i = Q_i / \bar{T}_i D_0$, 其中: Q_i 为第 i 号加热器

利用的抽汽纯热量, kJ ; \bar{T}_i 为第 i 号加热器利用的抽汽平均温度, K 。

依据焓产通用计算方程式及质量平衡方程,回热系统通用焓产矩阵方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{S}_{g1} \\ \dot{S}_{g2} \\ \dot{S}_{g3} \\ \vdots \\ \dot{S}_{gm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{s1} \\ \omega_{s2} \\ \omega_{s3} \\ \vdots \\ \omega_{sm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{s1} & & & & \\ c_{21} & g_{s2} & & & \\ c_{31} & c_{32} & g_{s3} & & \\ & & \vdots & & \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdots & g_{sm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{sg1} & & & & \\ c_{21} & g_{sg2} & & & \\ c_{31} & c_{32} & g_{sg3} & & \\ & & \vdots & & \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdots & g_{sgm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{g1} \\ \alpha_{g2} \\ \alpha_{g3} \\ \vdots \\ \alpha_{gm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_{sq1} \\ -\omega_{s2} & \omega_{sq1} \\ -\omega_{s3} & -\omega_{s3} & \omega_{sq1} \\ & & \vdots \\ -\omega_{sm} & -\omega_{sm} & -\omega_{sm} & \cdots & \omega_{sq1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{q1} \\ \alpha_{q2} \\ \alpha_{q3} \\ \vdots \\ \alpha_{qm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \dot{S}_1 \\ \Delta \dot{S}_2 \\ \Delta \dot{S}_3 \\ \vdots \\ \Delta \dot{S}_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

简化为:

$$[\dot{S}_g] = [\omega_s] + [C][\alpha] + [C_g][\alpha_g] + [C_q][\alpha_q] - [\Delta \dot{S}] \quad (3)$$

式中:矩阵 C 和 C_g 中的 c_{ij} 取值为:

$$c_{ij} = \begin{cases} d_{si} & (\text{当 } i \text{ 号加热器接收 } j \text{ 号疏水时}) \\ -\omega_{si} & (\text{当 } i \text{ 号加热器不接收 } j \text{ 号疏水时}) \end{cases}$$

各元素填写法则为:

当第 i 号加热器为表面式加热器时:

$$\begin{aligned} g_{si} &= s_{d,i} - s_i \\ g_{sg_i} &= s_{d,i} - s_{g_i} \\ w_{si} &= s_{w,i} - s_{w,i+1} \\ w_{sq_i} &= s_{w,i+1} - s_{q_i} \\ d_{si} &= s_{d,i} - s_{d,i-1} \end{aligned}$$

当第 i 号加热器为汇集式加热器时:

$$\begin{aligned} g_{si} &= s_{w,i+1} - s_i \\ g_{sg_i} &= s_{w,i+1} - s_{g_i} \\ w_{si} &= s_{w,i} - s_{w,i+1} \\ w_{sq_i} &= s_{w,i+1} - s_{q_i} \\ d_{si} &= s_{w,i+1} - s_{d,i-1} \end{aligned}$$

式中: $\alpha_{g_i}, \alpha_{q_i}$ 在辅助汽水进入系统时为正, 反之为负; $\Delta\dot{S}_i$ 在纯热量进入系统时为正, 反之为负; 当第 i 号加热器不存在辅助汽水流或者纯热量进出系统时, $g_{sg_i}, w_{sq_i}, \Delta\dot{S}_i$ 取零。

由 Gouy - Stodola 关系式 $\dot{I} = T_0 \Delta\dot{S}_g$ [5] 及式(3) 可得回热系统的焓损分布矩阵方程为:

$$[\dot{I}] = T_0 \{ [\omega_s] + [C][\alpha] + [C_g][\alpha_g] + [C_q][\alpha_q] - [\Delta\dot{S}] \} \quad (4)$$

式中: $\dot{I} = [\dot{I}_1 \quad \dot{I}_2 \quad \dot{I}_3 \cdots \dot{I}_m]^T$

2 端差对回热系统焓损影响

假设加热器出口抽汽的压力、水侧压力及该加热器的下端差不变, 当第 i 号加热器端差发生变化时, 回热系统焓损即为该加热器出口水滴参数 s_{wi} 与焓参数 h_{wi} 及上一级加热器疏水焓参数 $s_{s(i-1)}$ 与焓参数 $h_{s(i-1)}$ 的函数:

$$[\dot{I}] = F(s_{wi}, h_{wi}, s_{s(i-1)}, h_{s(i-1)}) \quad (5)$$

对式(5)在 $s_{wi}, h_{wi}, s_{s(i-1)}, h_{s(i-1)}$ 处分别展开一阶泰勒级数(经计算验证, 按一阶泰勒级数展开所得结果已具有良好的精确度), 可得:

$$\begin{aligned} [\Delta\dot{I}]_i &= \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial s_{wi}} \Delta s_{wi} + \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial h_{wi}} \Delta h_{wi} + \\ &\delta \left\{ \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial s_{s(i-1)}} \Delta s_{s(i-1)} + \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial h_{s(i-1)}} \Delta h_{s(i-1)} \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

其中:

$$\delta = \begin{cases} 1 & i \text{ 号加热器接收前级加热器疏水} \\ 0 & i \text{ 号加热器不接收前级加热器疏水} \end{cases}$$

设加热器出口水及疏水参数变化对回热系统焓损

的影响分别为: $[\Delta\dot{I}]_{wi} = \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial s_{wi}} \Delta s_{wi} + \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial h_{wi}} \Delta h_{wi}$,

$[\Delta\dot{I}]_{si} = \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial s_{si}} \Delta s_{si} + \frac{\partial[\dot{I}]}{\partial h_{si}} \Delta h_{si}$, 那么由式(6)可知, 加热器端差变化对焓损的影响为上述 2 种影响的线性叠加。即:

$$[\Delta\dot{I}]_i = [\Delta\dot{I}]_{wi} + \delta[\Delta\dot{I}]_{s(i-1)} \quad (7)$$

当 i 号加热器端差变化不大时, 不会引起回热系统其它参数的变化或变化很小可忽略不计, 那么 $[\Delta\dot{I}]_{wi}$ 和 $[\Delta\dot{I}]_{si}$ 可简化为^[6-7]:

$$[\Delta\dot{I}]_{wi} = T_0 \left\{ \left\{ \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{wi}} + \frac{\partial[C]}{\partial s_{wi}}[\alpha] + \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{wi}}[\alpha_g] + \frac{\partial[C_q]}{\partial s_{wi}}[\alpha_q] \right\} \Delta s_{wi} + [C] \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{wi}} \Delta h_{wi} \right\} \quad (8)$$

$$[\Delta\dot{I}]_{si} =$$

$$T_0 \left\{ \left\{ \frac{\partial[C]}{\partial s_{si}}[\alpha] + \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{si}}[\alpha_g] \right\} \Delta s_{si} + [C] \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{si}} \Delta h_{si} \right\} \quad (9)$$

根据式(4)、式(7)及汽水分布矩阵方程^[8], 分别就图 1 所示各加热器端差变化对(焓)损分布的影响进行推导。4 号加热器为混合式加热器, 不存在端差, 故不在讨论范围。

2.1 1 号加热器端差变化对焓损分布的影响

1 号加热器为最前端加热器, 不接收其它加热器疏水, 所以 $\delta=0$ 。经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w1}} &= a \quad \frac{\partial[C]}{\partial s_{w1}} = \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{w1}} = \frac{\partial[C_q]}{\partial s_{w1}} = 0 \\ a &= [1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]^T \end{aligned}$$

计算方程为:

$$[\Delta\dot{I}]_1 = [\Delta\dot{I}]_{w1} = T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w1} + [C][A]^{-1} \Delta h_{w1} \} a$$

式中, \mathbf{E} 为单位矩阵

2.2 2 号加热器端差变化对焓损分布的影响

2 号加热器接收 1 号加热器疏水, 所以 $\delta=1$, 经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w2}} &= a \quad \frac{\partial[C]}{\partial s_{w2}} = \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{w2}} = 0 \\ \frac{\partial[C_q]}{\partial s_{w2}} &= [-a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w2}} &= [A]^{-1} (1 - \alpha_{q1}) a \end{aligned}$$

$$\frac{\partial[C]}{\partial s_{s1}} = \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{s1}} = [-a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{s1}} = [A]^{-1} (-\alpha_1 - \alpha_{g1}) a$$

$$a = [-1 \quad 1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]^T$$

那么:

$$\begin{aligned} [\Delta \dot{I}]_{w_2} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w_2} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{w_2} \} (1 - a_{q1}) a \\ [\Delta \dot{I}]_{s1} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{s1} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{s1} \} (-a_1 - a_{g1}) a \\ [\Delta \dot{I}]_2 &= [\Delta \dot{I}]_{w_2} + [\Delta \dot{I}]_{s1} \end{aligned}$$

2.3 3号加热器端差变化对焓损分布的影响

3号加热器接收2号加热器疏水,所以 $\delta=1$ 。经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w3}} &= a \quad \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{w3}} = \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{w3}} = 0 \\ \frac{\partial[\mathbf{C}_q]}{\partial s_{w3}} &= [-a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w3}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (1 - \sum_{j=1}^2 \alpha_{qj}) a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{s2}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{s2}} = [-a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{s2}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (-\sum_{j=1}^2 \alpha_j - \sum_{j=1}^2 \alpha_{gj}) a \\ a &= [-1 \quad 1 \quad 0 \quad \cdots \quad 0]^T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\Delta \dot{I}]_{w3} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w3} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{w3} \} (1 - \sum_{j=1}^2 \alpha_{qj}) a \\ [\Delta \dot{I}]_{s2} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{s2} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{s2} \} \\ &\quad (-\sum_{j=1}^2 \alpha_j - \sum_{j=1}^2 \alpha_{gj}) a \\ [\Delta \dot{I}]_3 &= [\Delta \dot{I}]_{w3} + [\Delta \dot{I}]_{s2} \end{aligned}$$

2.4 5号加热器端差变化对焓损分布的影响

5号加热器不接收其它加热器疏水,所以 $\delta=0$ 。经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w5}} &= a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{w5}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{w5}} = \frac{\partial[\mathbf{C}_q]}{\partial s_{w5}} \\ &= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w5}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^4 \alpha_{qj}) a \\ a &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T \\ [\Delta \dot{I}]_5 &= [\Delta \dot{I}]_{w5} = T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w5} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{w5} \} \\ &\quad (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^4 \alpha_{qj}) a \end{aligned}$$

2.5 6号加热器端差变化对焓损分布的影响

6号加热器接收5号加热器疏水,所以 $\delta=1$ 。经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w6}} &= a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{w6}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{w6}} \\ &= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\mathbf{C}_q]}{\partial s_{w6}} &= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w6}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^5 \alpha_{qj}) a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{s5}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{s5}} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{s5}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (-\alpha_5 - \alpha_{g5}) a \\ a &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 1 \quad 0 \quad 0]^T \\ [\Delta \dot{I}]_{w6} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w6} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{w6} \} \\ &\quad (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^5 \alpha_{qj}) a \\ [\Delta \dot{I}]_{s5} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{s5} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{s5} \} (-a_5 - a_{g5}) a \\ [\Delta \dot{I}]_6 &= [\Delta \dot{I}]_{w6} + [\Delta \dot{I}]_{s5} \end{aligned}$$

2.6 7号加热器端差变化对焓损分布的影响

7号加热器接收6号加热器的疏水,所以 $\delta=1$ 。经推导可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\omega_s]}{\partial s_{w7}} &= a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{w7}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{w7}} \\ &= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\mathbf{C}_q]}{\partial s_{w7}} &= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w7}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^6 \alpha_{qj}) a \\ \frac{\partial[\mathbf{C}]}{\partial s_{s6}} &= \frac{\partial[\mathbf{C}_g]}{\partial s_{s6}} \\ &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -a \quad -a \quad 0 \quad 0] \\ \frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{s6}} &= [\mathbf{A}]^{-1} (-\sum_{j=5}^6 \alpha_j - \sum_{j=5}^6 \alpha_{gj}) a \\ a &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 1 \quad 0]^T \\ [\Delta \dot{I}]_{w7} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w7} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{w7} \} \\ &\quad (1 - \sum_{j=1}^4 \alpha_j - \sum_{j=1}^4 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^6 \alpha_{qj}) a \\ [\Delta \dot{I}]_{s6} &= T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{s6} + [\mathbf{C}][\mathbf{A}]^{-1} \Delta h_{s6} \} \\ &\quad (-\sum_{j=5}^6 \alpha_j - \sum_{j=5}^6 \alpha_{gj}) a \\ [\Delta \dot{I}]_7 &= [\Delta \dot{I}]_{w7} + [\Delta \dot{I}]_{s6} \end{aligned}$$

8号加热器不接收7号加热器的疏水,所以 $\delta=0$ 。

经推导可得:

$$\frac{\partial[w_s]}{\partial s_{w8}} = a$$

$$\frac{\partial[C]}{\partial s_{w8}} = \frac{\partial[C_g]}{\partial s_{w8}} = \frac{\partial[C_q]}{\partial s_{w8}}$$

$$= [-a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad -a \quad 0]$$

$$\frac{\partial[\alpha]}{\partial h_{w8}} = [A]^{-1} \left(1 - \sum_{j=1}^7 \alpha_j - \sum_{j=1}^7 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^7 \alpha_{qj} \right) a$$

$$a = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1 \quad 1]^T$$

$$[\Delta \dot{I}]_8 = [\Delta \dot{I}]_{w8} = T_0 \{ \mathbf{E} \Delta s_{w8} + [C][A]^{-1} \Delta h_{w8} \}$$

$$\left(1 - \sum_{j=1}^7 \alpha_j - \sum_{j=1}^7 \alpha_{gj} - \sum_{j=1}^7 \alpha_{qj} \right) a$$

3 通用计算模型

根据以上推导,可将计算模型的规律归纳如下:

(1) i 号加热器出口水参数变化对回热系统焓损

影响的通用模型为:

$$[\Delta \dot{I}]_{wi} = T_0 \alpha_{wi} \{ \mathbf{E} \Delta s_{wi} + [C][A]^{-1} \Delta h_{wi} \} a \quad (10)$$

表1 加热器端差变化对回热系统焓损分布的影响

加热器方法	$\Delta \dot{I}_1$	$\Delta \dot{I}_2$	$\Delta \dot{I}_3$	$\Delta \dot{I}_4$	$\Delta \dot{I}_5$	$\Delta \dot{I}_6$	$\Delta \dot{I}_7$	$\Delta \dot{I}_8$	$\sum_{i=1}^8 \Delta \dot{I}_i$
1 常规方法	-0.106 5	0.019 0	0.008 7	0.008 6	0.011 2	0.030 4	0.029 9	0.008 3	0.007 8
1 本文方法	-0.106 5	0.019 0	0.008 7	0.008 6	0.011 2	0.030 4	0.029 9	0.008 3	0.007 8
2 常规方法	0.354 3	-0.111 0	0.000 4	0.000 4	0.000 5	0.001 3	0.001 2	0.000 3	0.247 2
2 本文方法	0.354 5	-0.110 9	0.000 4	0.000 4	0.000 5	0.001 3	0.001 2	0.000 3	0.247 2
3 常规方法	0	0.568 5	-0.249 7	-0.000 8	-0.001 0	-0.002 8	-0.002 8	-0.000 8	0.310 7
3 本文方法	0	0.569 0	-0.249 7	-0.000 8	-0.001 0	-0.002 8	-0.002 8	-0.000 8	0.310 7
5 常规方法	0	0	0	0.337 0	-0.097 8	-0.027 4	-0.016 3	0.000 2	0.236 0
5 本文方法	0	0	0	0.337 3	-0.098 0	-0.027 4	-0.016 3	0.000 2	0.236 0
6 常规方法	0	0	0	0	0.416 5	-0.112 1	0.000 3	0.000 3	0.265 9
6 本文方法	0	0	0	0	0.416 5	-0.112 1	0.000 3	0.000 3	0.265 9
7 常规方法	0	0	0	0	0	0.723 2	-0.085 7	0.001 0	0.638 5
7 本文方法	0	0	0	0	0	0.723 2	-0.085 7	0.001 0	0.638 5
8 常规方法	0	0	0	0	0	0	0.676 8	-0.097 8	0.579 0
8 本文方法	0	0	0	0	0	0	0.677 0	-0.097 8	0.579 0

由表1可见,任一级加热器端差增大,均会影响其它加热器的焓损变化,致使加热器焓损重新分布,并且该回热系统的总焓损也会增加。

5 结 语

(1) 采用熵分析法对回热系统的焓损分布建立了

式中: α_{wi} 为 i 号加热器出口水份额; $[a]=[a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad \dots \quad a_m]^T$,其中 $i>1$ 时 $a_i = -a_{i-1} = 1$; $i=1$ 时 $a_1 = 1$;其余元素均为0。

(2) i 号加热器疏水参数变化对回热系统焓损影响的通用模型为:

$$[\Delta \dot{I}]_{si} = -T_0 \alpha_{si} \{ \mathbf{E} \Delta s_{si} + [C][A]^{-1} \Delta h_{si} \} a \quad (11)$$

式中: α_{si} 为 i 号加热器疏水份额。

由式(7)、式(10)和式(11)可得加热器端差对回热系统焓损分布影响的通用计算模型为:

$$[\Delta \dot{I}]_i = [\Delta \dot{I}]_{wi} + \delta [\Delta \dot{I}]_{s(i-1)}$$

$$= T_0 \{ \alpha_{wi} \{ \mathbf{E} \Delta s_{wi} + [C][A]^{-1} \Delta h_{wi} \} -$$

$$\delta \alpha_{s(i-1)} \{ \mathbf{E} \Delta s_{s(i-1)} + [C][A]^{-1} \Delta h_{s(i-1)} \} \} a \quad (12)$$

4 计算实例

以300 MW汽轮机组回热系统为例(图1),假设加热器端差增大使其出口水焓值下降10 kJ/kg,相应产生的出口水焓值及疏水参数变化由加热器下端差及其压力进行确定。将通用计算模型计算的结果与常规方法计算的结果进行比较,结果见表1。

(下转第30页)

除氧器 2 种模型的模拟误差对比见图 5。

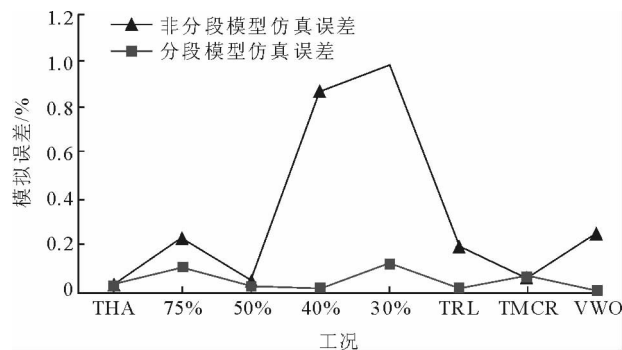


图 5 除氧器 2 种模型的模拟误差对比

由图 5 可见,除氧器分段模型的精度及稳定性均远高于非分段模型。

4 结 论

以某台超临界 600 MW 机组为例,根据其内置式除氧器在不同工况下的设计数据对内置式除氧器分段模型与非分段模型的模拟结果进行比较,结果表明非分段模型的模拟误差平均值最大为 0.519 7%,方差最大为 0.289 7%,而分段模型的模拟误差平均值最大为

0.057 9%,方差最大为 0.004 5%,分段模型的精度及稳定性远高于传统非分段模型。

[参 考 文 献]

- [1] 刘勇利,冯德群. 300 MW 机组除氧给水系统的数学建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2001, 13 (4): 521 - 523.
- [2] 朱伟,蒋滋康,程芳真. 高压除氧器的建模与仿真[J]. 发电设备, 1999 (4) : 38 - 41.
- [3] 吴立强,谭文,王艳红. 基于 Modelica 和 Dymola 的除氧器建模与仿真[J]. 现代电力, 2008, 25(15): 57 - 62.
- [4] C X Lu, R D Bell, N W Rees. Scheduling control of a de-aerator plant[J]. Control Engineering Practice, 1998(6): 1541 - 1548.
- [5] 蔡文刚,蔡锡. 火电厂除氧器[M]. 中国电力出版社, 2007: 31 - 35.
- [6] Sagar Gulawani, SachinK Dahikar, Channamallikarjun S Mathpati et al. Analysis of flow pattern and heat transfer in direct contact condensation[J]. Chemical Engineering Science, 2009, 64: 1719 - 1738.
- [7] R M Young, E P Fender. Nusselt Number Correlations for Heat Transfer to Small Spheres in Thermal Plasma Flows [J]. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 1987(7): 211 - 229.

(上接第 25 页)

(3)结合某台 300 MW 汽轮机组回热系统,总结归纳出加热器端差变化对回热系统焓损分布影响的通用计算模型,该模型在端差发生变化时,无需改变结构矩阵,只需要获得相关参数的变化量,这使端差变化与回热系统焓损分布的关系更为明确,计算也更为简便。

(4)该通用计算模型,易于填写,便于理解,且适合于计算机编程。应用该方法可以方便快捷地求取任何加热器端差变化对整个回热系统焓损分布的影响,具有良好的适应性与通用性,同时也便于在线定量分析端差变化对回热系统焓损分布的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 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.

- [2] 于淑梅,曾庆华,张向辉,等. 基于熵分析法的回热系统通用焓损分布矩阵[J]. 2009(2): 88 - 90.
- [3] 张春发. 现行电力系统热经济性状态方程[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(6): 665 - 667.
- [4] 王加璇,张树芳. 焓方法及其在火电厂中的应用[M]. 北京:水利电力出版社, 1993.
- [5] 宋之平,王加璇. 节能原理[M]. 北京:水利电力出版社, 1985.
- [6] 张春发,郭民臣,张明智,等. 等效焓降法理论基础的研究[J]. 华北电力学院学报, 1993, (3): 21 - 28.
- [7] 张学镭,王松岭,陈海平,等. 加热器端差对机组热经济性影响的通用计算模型[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (4): 166 - 171.
- [8] 郭民臣,王清照,魏楠,等. 电厂热力系统矩阵分析法的改进[J]. 热能动力工程, 1997, 12(2): 103 - 106.