

# 火电机组轴封渗漏及利用系统的通用计算方法

陈海平<sup>1</sup>, 石维柱<sup>2</sup>, 于淑梅<sup>1</sup>, 张树芳<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学 动力工程系, 河北 保定 071003; 2. 北方联合电力公司, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘 要:**以火电机组轴封渗漏及利用系统为研究对象,在全面考虑系统结构及其组成特点的基础上,导出了轴封渗漏及利用系统的定量分析计算模型。该模型采用矩阵形式表示,计算模型与热力系统结构之间具有一一对应的关系。应用表明,计算简洁、通用性强,可应用于不同类型机组的分析和机组的多种不同工况,尤其适用于作为计算机处理的数学模型,对实现火电机组的节能降耗具有重要的理论意义。

**关 键 词:**热经济性;轴封渗漏及利用系统;通用计算方法;热力系统;矩阵

中图分类号:TK263.6 文献标识码:A

## 1 前 言

轴封渗漏及利用系统是指门杆漏汽、轴封漏汽及其回收利用的系统。门杆漏汽和轴封漏汽不仅损失了工质,还伴随有热量损失,它们都将降低机组的热经济性。为了减少工质和热量的损失,通常将其回收利用于回热系统,用以加热主凝结水或给水,达到提高经济性的目的。

轴封渗漏及利用系统,一般是按照渗漏蒸汽的品位高低被回收利用于回热系统相应品位加热器或轴封加热器的汽侧,属于辅助蒸汽进出加热器(无论是表面式加热器或汇集式加热器)汽侧的辅助循环,它们在进出回热系统时,将带来工质和热量的进出,吸热与放热(热量的利用与排挤),会直接影响到机组和全厂的热经济性变化。

当轴封渗漏蒸汽通过加热器的汽侧进出回热系统时,由此而造成的汽轮发电机组热耗率变化为  $\Delta HR_x^{[1]}$ ;

$$\Delta HR_x = \frac{q_x D_x}{P}$$

式中:  $D_x$ —辅助小水流量;  $P$ —发电机功率;  $q_x$ —热量多耗系数。

在火电机组热力系统结构及运行工况一定的情

况下,热量多耗系数  $q_x$  为<sup>[1-2]</sup>:

$$q_x = \frac{1}{\alpha_x} \left(1 - \frac{w_{0x}}{w_{0c}}\right) (h_0 - \bar{t}_{gs} + \tau_b) +$$

$$\frac{1}{\alpha_x} \left(\alpha_{\sigma} - \frac{w_{0x}}{w_{0c}} \alpha_{v\pm}\right) \times \sigma + \frac{1}{\alpha_x} \left(\alpha_c - \frac{w_{0x}}{w_{0c}} \alpha_{c\pm}\right) \tau_n$$

$$\alpha_x = \prod_{i=1}^n d_{Gxi}$$

式中:  $w_{0c}$ 、 $w_{0x}$ —主系统、实际系统的汽轮机内部轴功率,  $\text{kJ/kg}$ ;  $h_0$ 、 $\bar{t}_{gs}$ —主蒸汽焓、锅炉给水焓,  $\text{kJ/kg}$ ;  $\alpha_{\sigma}$ 、 $\alpha_{v\pm}$ —实际循环再热蒸汽系数、主循环再热蒸汽系数;  $\alpha_c$ 、 $\alpha_{c\pm}$ —实际循环凝汽系数、主循环凝汽系数;  $\alpha_x$ —辅助循环排汽系数;  $\sigma$ — $1 \text{ kg}$  再热蒸汽通过再热器的吸热量,  $\text{kJ/kg}$ ;  $\tau_b$ 、 $\tau_n$ —给水泵焓升、凝结水泵焓升,  $\text{kJ/kg}$ ;  $d_{Gxi}$ —第  $i$  个质量单元的辅助汽流单元进水系数;  $n$ —质量单元的个数。

分析上式可以发现,对于轴封渗漏及利用系统,只要求得相应的  $d_{Gxi}$  即  $\alpha_x$ , 即可求得其热量多耗系数  $q_x$ , 从而即可方便地求得机组热耗率的变化量。因此,在热力系统结构一定的情况下,轴封渗漏及利用系统热经济性定量分析计算的主要任务就是要寻找辅助汽流单元进水系数  $d_{Gxi}$  的计算式。

## 2 辅助汽流单元进水系数 $d_{Gxi}$ 通用计算模型

在回热系统中,将汇集疏水的加热器连同向其排放疏水的表面式加热器看作一个整体,称为一个质量单元。对于任何火电机组的实际热力系统,按照质量单元的划分原则,可以将其划分为几个质量单元。这些质量单元虽包含的加热器的级数并不一定相同,但是其内部结构、换热方式及其连接方式等具有一定的规律性,并且在通常情况下,质量单元的数量小于或等于 4 个,质量单元内所包含的加热器

的级数也小于或等于 4 个。因此,为使推导出的结论具有普适性,本文以质量单元为研究对象推导。

### 2.1 轴封渗漏蒸汽送入 1 号加热器的汽侧

图 1 是表示轴封渗漏蒸汽被送入质量单元 1 号加热器的汽侧的质量单元简图。其出水为 1 kg, 辅助汽流单元进水系数为  $d_{G,x1}$  kg,  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  是辅助汽流单元进水系数为  $d_{G,x1}$  kg 时所对应的各级加热器的单元抽汽系数。

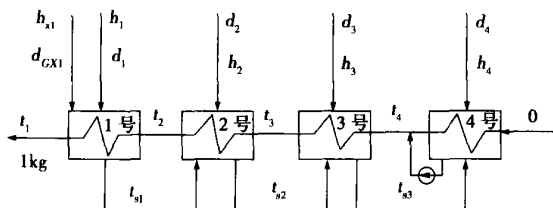


图 1 计算质量单元简图

对如图 1 所示的质量单元,按照  $q$ 、 $\gamma$ 、 $\tau$  的定义规则,列 1 号~4 号加热器的热平衡方程和质量平衡方程,经推导并整理后可得如下矩阵方程。

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \gamma_2 & q_2 \\ \gamma_3 & \gamma_3 & q_3 \\ \gamma_4 & \gamma_4 & \gamma_4 & q_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} - d_{G,x1} \begin{bmatrix} q_{x1} \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:  $d_{G,x1} = 1 - \sum_{i=1}^4 d_i$ 。

### 2.2 轴封渗漏蒸汽送入 2 号~4 号加热器的汽侧

当轴封渗漏蒸汽被送入 2 号~4 号加热器汽侧时,采用与前述相同的方法,经推导可得相应矩阵方程。

对 2 号加热器有:

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \gamma_2 & q_2 \\ \gamma_3 & \gamma_3 & q_3 \\ \gamma_4 & \gamma_4 & \gamma_4 & q_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} - d_{G,x2} \begin{bmatrix} 0 \\ q_{x2} \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中:  $d_{G,x2} = 1 - \sum_{i=1}^4 d_i$ 。

对 3 号加热器有:

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \gamma_2 & q_2 \\ \gamma_3 & \gamma_3 & q_3 \\ \gamma_4 & \gamma_4 & \gamma_4 & q_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} - d_{G,x3} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_{x3} \\ \gamma_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中:  $d_{G,x3} = 1 - \sum_{i=1}^4 d_i$ 。

对 4 号加热器有:

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \gamma_2 & q_2 \\ \gamma_3 & \gamma_3 & q_3 \\ \gamma_4 & \gamma_4 & \gamma_4 & q_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} - d_{G,x4} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ q_{x4} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中:  $d_{G,x4} = 1 - \sum_{i=1}^4 d_i$ 。

### 2.3 轴封渗漏蒸汽通过轴封加热器进入回热系统

当轴封渗漏蒸汽通过轴封加热器进入回热系统时,按照加热器及其附加成份的归并原则,将轴封加热器归并到界限内的加热器进行分析,可得到与上述形式完全相同的矩阵方程。

以上讨论的质量单元其最低压力加热器是带疏水泵式加热器,当所讨论质量单元的最低压力加热器为表面式加热器,并且其疏水放流到凝汽器,此时,当最低压力加热器的疏水自流入凝汽器本体时,其  $q$ 、 $\gamma$ 、 $\tau$  按表面式加热器来取值;当最低压力加热器的疏水自流并汇集于凝汽器热井或凝结水泵的入口时,由于疏水热量得以返回系统,其  $q$ 、 $\gamma$ 、 $\tau$  按汇集式加热器来取值。按照该原则,当轴封渗漏蒸汽被分别送入该质量单元的 1 号、2 号、3 号、4 号加热器汽侧时,采用前述方法,仍可导出形式完全相同的矩阵方程式(1)~式(4)。

### 2.4 辅助汽流单元进水系数 $d_{G,x}$ 的通用计算式

比较式(1)~式(4)可以发现,这些矩阵方程具有很强的规律性,经整理可写成如下通用形式:

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \gamma_2 & q_2 \\ \gamma_3 & \gamma_3 & q_3 \\ \gamma_4 & \gamma_4 & \gamma_4 & q_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} - d_{G,x} \begin{bmatrix} c_{x1} \\ c_{x2} \\ c_{x3} \\ c_{x4} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中:  $d_{G,x} = 1 - \sum_{i=1}^4 d_i$ 。

简记为:

$$[B] \cdot [d_i] = [\tau_i] - d_{G,x} [c_{ix}] \quad (5a)$$

其中:  $[B]$  为反映系统连接方式的拓扑矩阵,  $[B] = [b_{ij}]$ , 并且,当  $i=j$  时,  $b_{ij} = q_i$ ;  $i > j$  时,若第  $i$  级加热器接收第  $j$  级加热器的疏水,  $b_{ij} = \gamma_i$ ; 否则  $b_{ij} = 0$ 。  $i < j$  时,  $b_{ij} = 0$ 。  $q_i$ 、 $\gamma_i$ 、 $\tau_i$  为抽汽放热量、疏水放热量及给水焓升,  $d_i$  表示单元抽汽系数,  $d_{G,x}$  为所研究质量单元的辅助汽流单元进水系数,  $c_{xi}$  为轴封渗漏蒸汽被送入所研究质量单元加热器汽侧后所引起的抽汽放热量或疏水放热量的改变量,并且,当轴封渗漏蒸汽被送入第  $i$  级表面式加热器的汽侧时,则该

级加热器的  $c_{xi} = q_{xi} = h_{xi} - \bar{t}_{si}$ , 第一级 ~ 第  $i-1$  级表面式加热器的  $c_{xi} = 0$ , 第  $i+1$  级及其之后加热器的  $c_{xi} = \gamma_i$ 。当轴封渗漏蒸汽送入第  $i$  级汇集式加热器或向凝汽器放流疏水的表面式加热器的汽侧时, 该级加热器的  $c_{xi} = q_{xi} = h_{xi} - \bar{t}_{i+1}$ ; 且当该级加热器为汇集式加热器或向凝汽器热井或凝结水泵入口放流疏水的表面式加热器时,  $\bar{t}_{i+1} = 0$ , 当该级加热器为向凝汽器放流疏水的表面式加热器时,  $\bar{t}_{i+1} = \bar{t}_c$ , 其中  $\bar{t}_c$  为凝结水泵出口凝结水焓。

以上结论是以四级质量单元进行推导的, 但对于任意级数的质量单元, 该结论同样适用。对于  $m$  级的质量单元, 采用同样的方法, 可推导出如下矩阵方程:

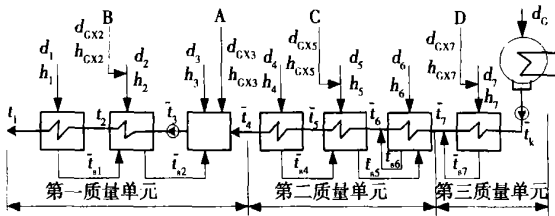
$$[B] \cdot [d_i] = [\tau_i] - d_{Gxi} [C_{xi}] \quad (5b)$$

其中:  $d_{Gxi} = 1 - \sum_{i=1}^m d_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ 。  $m$  为该热力单元内加热器的级数, 其它符号意义同前。一般情况下,  $m \leq 4$ 。

式(5b)就是辅助汽流单元进水系数  $d_{Gxi}$  的通用计算模型。

### 3 实例计算及检验

以图 2 所示 N100—8.82 型机组为例, 进行轴封渗漏及利用系统的计算, 计算数据见表 1。



A-门杆漏汽; B、C、D-轴封漏汽

图 2 计算热力系统

主系统的热耗率为:

$$HR_{0\pm} = 9\ 064.364\ 6\ \text{kJ}/(\text{kWh})$$

A 门杆漏汽 ( $D_x = 1.6\ \text{t/h}$ ):

$$\alpha_{x3} = d_{Gx3} = -4.023\ 247\ 683$$

$$\Delta HR_A = 14.508\ 861\ 9\ \text{kJ}/(\text{kWh})$$

B 轴封漏汽 ( $D_x = 3.2\ \text{t/h}$ ):

$$\alpha_{x2} = d_{Gx2} = -9.488\ 847\ 042$$

$$\Delta HR_B = 12.303\ 443\ 14\ \text{kJ}/(\text{kWh})$$

C 轴封漏汽 ( $D_x = 1.5\ \text{t/h}$ ):

$$\alpha_{x5} = d_{Gx5} = -2.796\ 394\ 455$$

$$\Delta HR_C = 19.569\ 645\ 6\ \text{kJ}/(\text{kWh})$$

D 轴封漏汽 ( $D_x = 1.5\ \text{t/h}$ ):

$$\alpha_{x7} = d_{Gx7} = -1.888\ 115\ 896$$

$$\Delta HR_D = 28.983\ 628\ 26\ \text{kJ}/(\text{kWh})$$

轴封渗漏及利用系统所产生的热耗变化量之和为:  $\sum \Delta HR_x = 75.365\ 578\ 9\ \text{kJ}/(\text{kWh})$ ;

机组热耗率为:  $HR_0 = HR_{0\pm} + \sum \Delta HR_x = 9\ 121.730\ 178\ 9\ \text{kJ}/(\text{kWh})$ 。

应用常规法进行计算, 机组热耗率是吻合的。

比较以上计算结果发现, 虽然计算过程不一样, 但是其结果却是完全相同的。由此可以看出, 本文的方法是确实可行的。

表 1 100 MW 火电机组工况参数 (kJ/kg)

	抽汽放热量 $q_i$	给水焓升 $\tau_i$	疏水放热量 $\gamma_i$	门杆轴封漏汽焓
1号加热器	2 331.21	120.98	—	—
2号加热器	2 386.9	169.56	169.56	3 341.07
3号加热器	2 389.83	104.68	146.55	3 475.04
	(2 696.28)	(648.13)	(726)	
4号加热器	2 218.58	105.92	—	—
5号加热器	2 200.16	60.25	105.93	3 341.07
6号加热器	2 342.04	129.78	210.96	—
	(2 625.54)	(413.28)	(494.46)	
7号加热器	2 337.62	147.14	—	3 341.07
	(2 473.98)	(283.5)		
冷源损失		$q_c = 2\ 132.63$		
主蒸汽焓		$h_0 = 3\ 475.04$		
给水焓		$t_{gs} = 974.67$		
给水泵焓升		$\tau_p = 17.17$		
额定功率		$P = 100\ \text{MW}$		

注: 括号内数据为辅助循环的参数。

### 4 结 论

通过理论分析和严谨的数学推导, 给出了轴封渗漏及利用系统的定量分析计算模型, 它具有以下特点:

(1)  $d_{Gxi}$  的计算模型与热力系统结构具有一一对应的关系, 规律性强, 可适用于任何轴封漏汽进出热力系统的定量分析与计算。

(2) 对于实际热力系统, 只要结构一定,  $d_{Gxi}$  只与本单元的抽汽放热量  $q_i$ 、给水焓升  $\tau_i$  及疏水放热量  $\gamma_i$  有关, 在解决许多实际问题时, 更为方便。

(3) 该方法做到了“数”与“形”的巧妙结合, 概

(下转第 26 页)

电厂的缺水问题。

ELWP 和  $C_w$  随抽汽压力的降低而减少, LT-MED 系统所需的传热面积不随抽汽压力的变化而变化, 因此降低抽汽压力有利于降低制水成本。但是由于 TVC 的引射蒸汽压力和 LT-MED 的加热蒸汽压力一定, 抽汽压力降低, TVC 的膨胀比降低, 造成 TVC 的引射系数减小, 而为保证 TVC 的正常工作, 引射系数不得低于 0.2, 所以能够满足 TVC 引射系数要求的最低汽轮机抽汽压力为 0.15 MPa。

ELWP 和  $C_w$  随加热蒸汽温度的降低而减少, 有利于系统的经济运行, 但是在 TVC 引射蒸汽(即 LT-MED 系统未效蒸汽)温度保持不变时, 加热蒸汽温度降低, TVC 压缩比降低, 而为使 TVC 能够稳定运行, 其压缩比下限为 1.2, 因此加热蒸汽温度的降低受到 TVC 压缩比的限制。加热蒸汽温度的降低使 LT-MED 系统所需的传热面积急剧升高, 增加了 LT-MED 系统的制造成本。因此对加热蒸汽温度的优化, 要综合考虑 TVC 的压缩比和 LT-MED 系统所需的传热面积对制水成本的影响。

### 4 结 论

(1) 应用等效焓降理论及等效焓降法中抽汽效率和局部定量分析的矩阵模型, 计算了制水电耗量和制水燃料成本, 实现了对低温多效蒸馏海水淡化—发电联产系统制水能量成本的准确评价。

(2) 降低抽汽压力, 有利于降低制水能量成本, 但是抽汽压力的下限应该满足 TVC 引射系数的要求; 降低加热蒸汽温度, 有利于降低 ELWP 和  $C_w$ , 但

是加热蒸汽温度的降低受 TVC 压缩比的限制, 同时传热面积随加热蒸汽温度的降低急剧增加, 引起制造成本升高。因此要综合考虑系统的运行成本、制造成本和 TVC 的稳定运行来优化加热蒸汽温度和抽汽压力。

(3) 采用制水电耗量(ELWP)比传统的 GOR 指标能够更准确的评价水电联产系统的热性能。

(4) 低温多效蒸馏海水淡化—发电联产系统能够经济有效地解决北方沿海地区, 尤其是火电厂的缺水问题。

### 参考文献:

- [1] DARWISH M A, EL-DESSOUKY H T. The heat recovery thermal vapour-compression desalting system: a comparison with other thermal desalination processes [ J ] . *Applied Thermal Engineering*, 1996, **18**: 523—537.
- [2] MAHESHWARI SMITH G P, AL-RAMADHAN M. Energy requirement of water production in dual-purpose Plant[ J ] . *Desalination*, 1995, **101**: 133—140.
- [3] DARWISH M A. Fuel cost charged to desalters in Cogeneration power-desalting plants[ J ] . *Heat Recovery Systems & CHP*, 1998, **15**(4): 357—368.
- [4] 林万超. 火电厂热系统定量分析[ M ] . 西安: 西安交通大学出版社, 1985.
- [5] EL-DESSOUKY H T, ETTOUNEY H M. Performance of parallel feed multiple effect evaporation system for seawater desalination [ J ] . *Applied Thermal Engineering*, 2000, **20**: 1679—1706.
- [6] 沈胜强, 李素芬, 夏远景. 喷射式热泵的设计计算与性能分析 [ J ] . 大连理工大学学报, 1998, **38**(5): 558—561.

(渠源 编辑)

(上接第 21 页)

念清晰, 易于掌握, 具有规律性强、通用性好、人为主观干预少等特点, 尤其适用于作为计算机处理的数学模型, 对实现火电机组的节能降耗具有重要的理论意义, 是火电厂热力系统经济运行在线分析的实用技术。

### 参考文献:

- [1] 马芳礼. 电厂热力系统节能分析原理[ M ] . 北京: 水利电力出版社, 1992.

- [2] 陈海平. 汽轮机排汽系数通用计算方法的研究[ J ] . 中国电机工程学报, 2003(9): 193—197.
- [3] 胡华进. 电站热力系统循环组合法及其矩阵模型[ J ] . 中国电机工程学报, 1998(1): 12—15.
- [4] CHEN H P. The calculating method of thermal system for the coal-fired power unit based on mass unit[ A ] . *Proceedings of the International Conference on Power Engineering* [ C ] . Japan: Kobe, 2003. 3—193.

(渠源 编辑)

cle analyzed is the impact of such parameters as turbine entry temperature, pressure ratio, injection ratio and regeneration ratio, etc on cycle efficiency and specific work. Through a comparison and discussion of the specific features of the two relevant cycles the authors have come to the conclusion that the humid air injected cycle makes it possible to enhance output power by 10% ~ 25%, reduce heat consumption rate by 6% ~ 15% and NO<sub>x</sub> emissions by 15% ~ 50%. Moreover, the above-mentioned modification can be implemented on existing power plants. **Key words:** gas turbine, steam injected gas turbine, regenerative gas turbine, humid air cycle

火电机组轴封渗漏及利用系统的通用计算方法 = **A General Method for Calculating the Shaft Seal Leakage and Utilization System of a Thermal Power Plant** [刊, 汉] / CHEN Hai-ping, YU Shu-mei, ZHANG Shu-fang (Power Engineering Department, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003), SHI Wei-zhu (Beifang United Electric Power Co., Huhuohaote, Inner Mongolia, China, Post Code: 010020) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 19 ~ 21, 26

With the shaft seal leakage and utilization system of a thermal power plant serving as an object of study and on the basis of a comprehensive consideration of its system configuration and composition features deduced was a model of quantitative analytic calculations for the shaft seal leakage and utilization system. This model adopts a matrix-form expression with the presence of a one-to-one correspondence between the calculation model and the thermal system configuration. Its usage features simplicity and conciseness in calculations and high versatility. The model can be used for the analysis of power units of various types and different operating conditions, and is especially suited to serve as a computer processing-based mathematical model. In view of the above the model under discussion is of major theoretical significance for the realization of energy-savings and the reduction in energy consumption for thermal power plants. **Key words:** thermo-economics, shaft seal leakage and utilization system, general calculation method, thermal system, matrix

低温多效蒸馏海水淡水—发电联产系统经济性分析 = **An Analysis of the Cost-effectiveness of a Cogeneration System for the Simultaneous Production of Electric Power and also Fresh Water by Low-temperature Multi-effect Distillation of Seawater** [刊, 汉] / SHEN Sheng-qiang, YANG Luo-peng (Department of Power Engineering, Dalian University of Science & Technology, Dalian, China, Post Code: 116024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(1). — 22 ~ 26

With respect to a cogeneration system for the simultaneous production of electric power and also fresh water by low-temperature multi-effect distillation of seawater the energy cost of water-making and the impact of extracted-steam heating on a steam turbine unit were calculated using an equivalent enthalpy drop theory. In conjunction with a  $q$ - $\gamma$ - $\tau$  matrix equation constructed were a partial quantitative analytic matrix model and an equivalent enthalpy drop method-based steam-extraction efficiency matrix model featuring high versatility and precision as well as ease of sequencing. By employing the above matrix models it is possible to conveniently, rapidly and accurately calculate water-making power consumption rate and the variation of water-making fuel cost caused by a change in steam extraction pressure and steam heating temperature. The results of the calculation indicate that compared with the traditional performance index water-making ratio or gained output ratio (GOR) the use of water-making electric power consumption rate can more accurately evaluate the thermal performance of the water-electricity cogeneration system. The reduction of steam extraction pressure and steam heating temperature is favorable to lowering the water-making energy cost. However, the lower limit of steam extraction pressure and steam heating temperature should respectively meet the requirements of ejection factor of steam injector and compression ratio. The cogeneration system for the simultaneous production of electric power and also fresh water by low-temperature multi-effect distillation of seawater can effectively resolve the water shortage problem in northern China coastal areas, especially that of thermal power plants in those areas. **Key words:** equivalent enthalpy drop, cogeneration of water and electricity, low-temperature multi-effect distillation, seawater desalination

基于矢量分析的转子碰磨故障轴向定位方法 = **Vector Analysis-based Axial Locating Method for Rotor Contact-rubbing Faults** [刊, 汉] / LI Lu-ping, ZOU Xin-yuan, JIN Feng-hua (Institute of Energy Source & Power Engi-