

能量系统的炯经济学分析通用模型 及其在电厂中的应用

杨勇平 王加璇 (华北电力学院北京研究生部)
蔡睿贤 (中科院工程热物理所)

[摘要] 在电厂的运行中,一些主要参数经常偏离设计值,如何研究这些偏离对整个机组经济性的影响,是进行电厂经济分析的一项基础性工作。本文根据热经济学最前沿的理论,西班牙学者 Valero 提出的“符号炯经济学”,建立了能量系统的炯经济学分析模型,并将其运用于国产 200 MW 机组,取得了满意效果。

关键词 能量系统 炯 模型 热力学
分类号 TK123

0 引言

作者在 1991 年以来,曾连续发表过“关于热经济学定价的矩阵法”^[1]、“符号炯经济学在双目的电厂中的应用”等论文,经进一步研究,开发出炯经济学分析模型用以分析和计算参数偏离对电厂经济性的影响。目前,分析电厂经济性的常规方法有小指标法、热偏差法、能损诊断方法等等。这些方法的基本思想是:机组在一定的运行工况下,各主要运行参数存在一最佳值,也叫期望值,而在实际运行中,这些参数常常偏离最佳值,根据偏离值的大小,定量计算它们对机组整体经济性的影响。因此,如何准确计算各参数的偏离对机组热耗率或煤耗率等指标的影响,是分析电厂经济性的基础性工作。以往的各种方法都局限于热力学第一定律分析,而未考虑能级

品位的差别,因而不能得出客观准确的结果。通过建立机组的仿真模型,可以得到准确的结果,但又存在着模型复杂、计算时间长、实时性较差等缺点。炯经济学作为一种分析能量系统的强有力工具,本文以它为基础,运用矩阵方法建立的数学模型,能够兼顾能的量与质两方面的因素,并考虑炯在生产过程不同阶段上的不等价性,因而能够客观准确地分析能量系统的经济性,并具有模型直观、计算速度快等优点。本文运用所建立的数学模型对 200 MW 机组进行了分析计算,证明了此法的可用性和优越性。

1 炯经济学建模理论

1.1 系统的物理结构模型

对于给定的由 n 个子系统与 m 股炯流组成的能量系统,可以通过关联矩阵 $A(m \times n)$

收稿日期 1995-02-13

来描述系统中各股焓流与各子系统间的关系,然后将出入每一子系统的焓流按其功能分成两部分:一部分是作为子系统生产目的的焓流,即“产品流”,用 P 表示;另一部分是为了生产产品流所消耗的焓流,即“燃料流”,用 F 表示。这样各子系统的焓效率可表示为 $\eta = P/F$,其倒数是单位产品的焓耗。以上为 Valero 的符号焓经济中已经定义过的^[3]。

1.1.1 燃料关联矩阵与产品关联矩阵

本文为了更清楚地表示各子系统的燃料与产品,再把关联矩阵 A 分解成两部分,即“燃料关联矩阵 $A_F(m \times n)$ ”与“产品关联矩阵 $A_P(m \times n)$ ”,对于它们采取如下标记:当焓流 j 作为子系统 i 的燃料进入该系统,则在 A_F 中对应元素 $a_{ij} = 1$;当焓流 j 作为子系统 i 燃料的一部分流出该系统,则在 A_F 中对应元素 $a_{ij} = -1$;当焓流 j 作为子系统 i 的产品进入该系统,则在 A_P 中对应元素 $a_{ij} = -1$;当焓流 j 作为子系统 i 的产品流出该系统,则在 A_P 中对应元素 $a_{ij} = 1$ 。这样,可得到如下表达式:

$$A_F B = F; A_P B = P; A_F - A_P = A \quad (1)$$

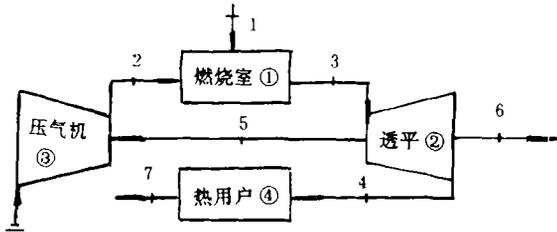


图1 简单燃气轮机联产系统示意图

取图-1所示的简单燃气轮机联产系统为例,它由四个子系统、七股焓流组成,则其燃料关联矩阵与产品关联矩阵分别可表示为:

$$A_F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_P = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.1.2 引入分流因子的概念

在构成子系统的燃料与产品的焓流中,有些是单线流,即一股焓流单独作为某子系统的燃料或产品,例如图1中的焓流1;有些是多线流,即由两股或两股以上的焓流共同形成某子系统的燃料或产品,如图1中的燃烧室的产品流($B_3 - B_2$)。对于多线流,矩阵 A_F 与 A_P 只能反应各子系统的燃料与产品是由哪些焓流组成,并不知道这些焓流之间的比例关系。若引入“分流因子”的概念,就可以表明多线流中各股焓流之间的比例关系。若子系统的燃料流具有 $F = B_1 - B_1$ 的形式,则可定义分流因子为 $x = B_1/B_1$;若子系统的产品流具有 $P = B_1 + B_1$ 的形式,则可定义分流因子为 $x = B_1/B_1$ 。此外,输入系统的焓流已知,这样对图1所示的系统,可建立如下补充方程:

$$aB = w \quad (2)$$

其中:

$$a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -x_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -x_2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \alpha_e \\ \alpha_k \end{matrix}$$

$$w = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{W_c}{0}$$

这里, $x_1 = B_1/B_3, x_2 = B_6/B_5$

联合式(1)与式(2),可得:

$$\bar{A}_F B = \bar{F}; \bar{A}_P B = \bar{P} \quad (3)$$

其中:

$$\bar{A}_F = \left(\frac{A_F}{a} \right); \bar{A}_P = \left(\frac{A_P}{a} \right); \bar{F} = \left(\frac{F}{w} \right); \bar{P} = \left(\frac{P}{w} \right)$$

式(3)是由简单燃气轮机联产系统推导

出来的,但推导中未加任何限制条件,可推广到任意由 m 股烟流、 n 个子系统组成的能量系统。通过矩阵 A_F, A_P, α, ω , 便可详尽地描述系统的物理结构,不仅明确了每一子系统的燃料与产品是由哪些烟流组成,系统输入烟流是输入到哪个子系统,而且可表明多线流中各股烟流之间的比例关系。

1.2 系统的生产结构模型

为了表征能量变系统的运行特性,本文又提出了系统的生产结构模型,其涵义是指:每一子系统的产品流中有多少形成了整个系统的产品,有多少作为其它子系统的燃料,从而可以导出系统总产品 P_T 与各子系统产品 P 的关系以及各子系统非从外输入的燃料 $(F - F_0)$ 与产品 P 的关系。

由式(3)得:

$$\bar{P} = \bar{A}_F \bar{A}_P^{-1} \bar{P} \quad (1)$$

将 \bar{A}_P^{-1} 分解为 $A_P^{(-1)} [m \times n]$ 与 $a [m \times (m - n)]$ 两个子矩阵,即

$\bar{A}_P^{-1} = [A_P^{(-1)} | \alpha^{(-1)}]$, 两个子矩阵应分别满足以下条件:

$$\langle FP \rangle = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 - x_1 & 0 \\ 0 & 1/(1 + x_2) \\ x_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 - x_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ x_1 & 0 \end{bmatrix}; \quad Fe = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

考察系统总产品 P_T 与各子系统产品 P 的关系,明显可见,每一子系统的产品只有两个去向,要么形成系统的总产品,要么作为其它子系统的燃料。这样,就可得到 P_T 与 P 的关系:

$$P_T = U(U_D - \langle FP \rangle)P \quad (8)$$

式中, U 为表示元素均为 1 的单位向量 $(1 \times n)$, U_D 为 $(n \times n)$ 的单位矩阵。

若将 $U(U_D - \langle FP \rangle)$ 记作 $\langle P_T P \rangle$, 式(8)可写作:

$$P_T = \langle P_T P \rangle P \quad (9)$$

对图 1 所示的系统, $\langle P_T P \rangle = [0 \ X2/(1 +$

$$\begin{aligned} A_P A_P^{(-1)} &= U_D; \alpha \alpha^{(-1)} = U_D; \\ A_P \alpha^{(-1)} &= 0; \alpha A_P^{(-1)} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

式中 U_D 为单位矩阵,这样可把式(4)进一步写成下列形式:

$$\begin{pmatrix} F \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_F \\ a \end{pmatrix} (A_P^{(-1)} | \alpha^{(-1)}) \begin{pmatrix} P \\ \omega \end{pmatrix}$$

得: $F = A_F A_P^{-1} P + A_F \alpha^{-1} \omega$

由于 $\alpha^{(-1)} \omega = \alpha_0^{(-1)} \omega_0$, 故上式可以写成:

$$F = A_F A_P^{-1} P + A_F \alpha_0^{(-1)} \omega_0 \quad (6)$$

其中: $A_F \alpha_0^{(-1)} \omega_0$ 为 $n \times 1$ 的向量,其物理涵义表征从外界输入系统烟流的数量与输入部位。将 $A_F \alpha_0^{(-1)} \omega_0$ 记作 F_0 , $A_F A_P^{-1}$ 记作 $\langle FP \rangle$, 则式(6)可表示为:

$$\langle FP \rangle P = F - F_0 \quad (7)$$

由式(7)可见,矩阵 $\langle FP \rangle$ 的物理涵义是:每一个子系统的燃料是怎样由其它子系统的产品形成的,这样也就表明了 $(F - F_0)$ 与 P 的关系。若以 y_{ij} 为矩阵 $\langle FP \rangle$ 中第 i 行第 j 列的元素,则 y_{ij} 说明子系统 j 的产品中输送到子系统 i 作为燃料的比例。对于图 1 所示的系统有:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 - x_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ x_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 - x_1 & 0 \\ 0 & 0 \\ x_1 & 0 \end{bmatrix}; \quad Fe = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

于是,通过 $\langle FP \rangle$ 与 $\langle P_T P \rangle$, 可表明 $(F - F_0)$ 与 P 的关系以及 P_T 与 P 的关系,这就构成系统的生产结构模型。

1.3 系统的性能结构模型

我们已建立了系统的物理结构模型与生产结构模型,但要研究系统的经济性,还需建立系统性能系数的模型。在烟经济学分析中,系统的性能系数通常用系统的烟效率为系统的输入烟量、各子系统的烟效率以及系统的物理结构与生产结构的函数,即:

$$\eta = \eta(\text{输入烟量、子系统烟效率、系统的}$$

物理结构与生产结构)。

用 $H_D(n \times n)$ 表示由各子系统组成的对角化矩阵, $K_D = (H_D)^{-1}$ 是其逆矩阵, 则有:

$$K_D P = F \quad (10)$$

将式(10)代入式(7), 得

$$P = (K_D - \langle FP \rangle)^{-1} F. \quad (11)$$

令 $【P】 = (K_D - \langle FP \rangle)^{-1}$, 则有

$$P = 【P】 F. \quad (12)$$

将式(12)代入式(9), 得

$$P_T = \langle P_T P \rangle 【P】 F. \quad (13)$$

系统的熵效率可表示为:

$$\eta_T = \frac{P_T}{F_T} = \frac{\langle P_T P \rangle 【P】 F}{UF}. \quad (14)$$

该式即为系统性能系统数的表达式, 其中 $\langle P_T P \rangle$ 是指系统的生产结构, 表明 P_T 与 P 之间的关系; $【P】 = (K_D - \langle FP \rangle)^{-1}$ 表明了 P 与 F 之间的关系, 它是各子系统熵效率与系统生产结构 $\langle FP \rangle$ 的函数。这样, 式(14)把系统的总熵效率与各子系统熵效率、系统的总输入熵量以及系统的物理结构与生产结构联系起来, 构成了能量系统的分析模型。

2 系统稳定性和独立性的判据

上述分析模型的建立, 未考虑某一子系统发生变化对其它子系统的影响。因此, 它的应用需在系统稳定和各个子系统相互独立的条件下才不会带来较大的误差。一般地, 当某个子系统的熵效率发生变化时, 会使其它子系统的熵效率也发生变化。有时这种变化较小, 理想情况下存在 $\partial \eta_i / \partial \eta_j = 0$, 若满足此条件, 则子系统 i 与子系统 j 是相互独立的, 即子系统 j 的熵效率不随子系统 i 的熵效率变化而变化。另一方面, 当子系统 i 的熵效率发生变化时, 会影响到系统的物理结构与生产结构, 因而使其它子系统的“分流因子”发生变化, 理想情况下, 存在 $\partial x_i / \partial \eta_j = 0$ 。若满足此条件, 则子系统 j 在子系统 i 的效率发生变化时, 是稳定的。这样, $\partial \eta_i / \partial \eta_j = 0$ 与 $\partial x_i / \partial \eta_j = 0$ 分别为子系统相互独立与系统稳定性的判据。这两个判据所代表的情况, 只有在系统发生微弱扰动时才有可能, 但系统通常所发生的参数偏离绝大多数可视为微扰动。因此, 这两个条件适用于上述分析模型。

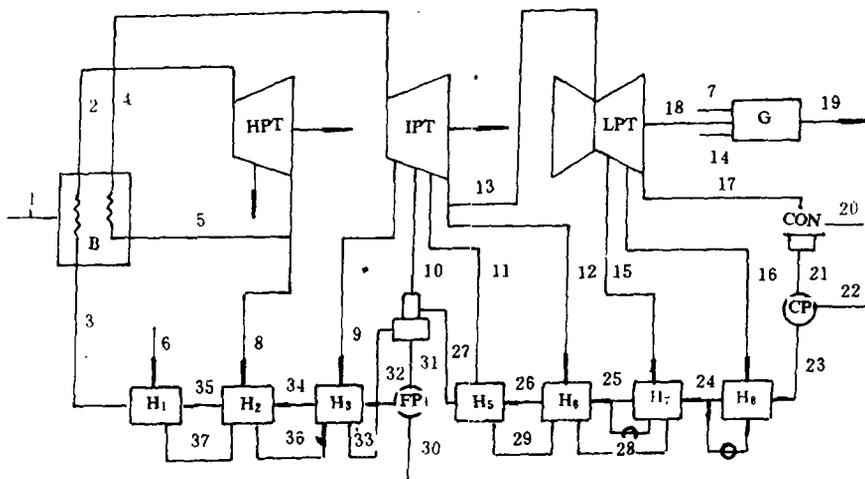


图 2 200 MW 机组热力系统分析图

表 1 图 2 所示系统中各子系统的燃料、产品及分流因子

子系统	燃料 F	产品 P	分 流 因 子
B	B1	$(B2 - B3) + (B4 - B5)$	$x1 = (B4 - B5)/(B2 - B3)$
HPT	$B2 - B5 - B6 - B8$	B7	$x2 = B5/B2; x3 = B6/B2; x4 = B8/B2$
IPT	$B4 - B9 - B10 - B11 - B12 - B13$	B14	$x5 = B9/B4; x6 = B10/B4; x7 = B11/B4$ $x8 = B12/B4; x9 = B13/B4$
LPT	$B13 - B15 - B16 - B17$	B18	$x10 = B15/B13; x11 = B16/B13; x12 = B17/B13$
G	$B7 + B14 + B8$	B19	
CP	B22	$B23 - B21$	
H8	B16	$B24 - B23$	
H7	$B15 + B28$	$B25 - B24$	
H6	$B12 - B28 + B29$	$B26 - B25$	$x13 = B28/B12$
H5	$B11 - B29$	$B27 - B26$	$x14 = B29/B11$
H4	$B10 + B27 + B23$	B31	
FP	B30	$B32 - B31$	
H3	$B9 - B33 + B36$	$B34 - B32$	$x15 = B33/B9$
H2	$B8 - B36 + B37$	$B35 - B34$	$x16 = B36/B8$
H1	$B6 - B37$	$B3 - B35$	$x17 = B37/B6$

表 2 运行参数变动对机组经济性的影响

参 数 项 目	参 数 变 动 前			参 数 变 动 后		
	参 数 值	总 焓 效 率 (%)	供 电 煤 耗 率 $g/(kWh)$	参 数 值	总 焓 效 率 (%)	供 电 煤 耗 率 $g/(kWh)$
主汽压力	13 MPa	34.57	355.3	12 MPa	34.37	357.3
主汽温度	535℃	34.57	355.3	525℃	34.47	356.3
再热汽温	535℃	34.57	355.3	527℃	34.50	356.0
凝汽器压力	0.005 MPa	34.57	355.3	0.008 MPa	33.67	364.6

3 焓经济学分析模型在电厂分析中的应用

取国产 200 MW 机组作为实例,分别计算主汽温度、主汽压力、再热蒸汽温度、凝汽器真空等偏差对整个系统经济性的影响。其系统图如图 2,由 15 个子系统(不计凝汽器)、

37 股焓流组成,机组额定参数值参见文献 [4]。各子系统的燃料与产品定义以及分流因子见表 1。设参数偏离不大,因此系统能满足系统稳定性和独立性的条件。计算时先算出额定参数下各股焓流的焓值以及各子系统的焓效率,从而得到 $\langle FP \rangle$ 结构、 H_0 、 $\{P\}$ 、 $\{P_rP\}$ 及系统的总焓效率和煤耗率,然后再分别计算在主汽温度、主汽压力、

再热蒸汽温度、凝汽器真空在偏离额定值时的 $\langle FP \rangle$ 结构、 H_b 、 $\langle P \rangle$ 结构、 $\langle P_r P \rangle$ ，得到偏差后的烟效率与煤耗值，计算结果列入表2。

4 结束语

本文根据符号烟经济学理论建立了能量系统的烟经济学分析模型，提出了描述系统物理结构与生产结构的矩阵 $\langle FP \rangle$ 、 $\langle P_r P \rangle$ ，最后得到了描述系统性能系数的表达式，并将此模型应用于200 MW 机组进行分析计算，证明是可行。这套方法尚属在系统中发生微小偏离的条件下使用。至于系统

中发生较大偏离时的分析模型，还待进一步研究和开发。

参 考 文 献

- 1 王加璇, 杨勇平, 王清照. 关于热经济学定价的矩阵法. 工程热物理学报, 1992, 13(1)
- 2 Wang J, Yang Y. Application of symbolic approach to the dual purpose thermal plant. Proceedings of ECOS' 92.
- 3 Valero A. et al, Algebraic thermodynamic-analysis of energy systems. Approaches to the design and optimization of thermal systems, AES-Vol. 7, 1988
- 4 N200-130/535/535 型汽轮机热特性. 哈尔滨汽轮机厂, 1985. 5

(渠源 编辑)

作者简介 杨勇平 男, 1967 年出生, 毕业于中国科学院工程热物理研究所, 获博士学位。现任华北电力大学(北京)动力工程系副主任。多年来, 一直从事电厂热能动力工程方面的教学与科研工作。完成多项科研项目, 获电力部科技进步二等奖一项。在国内外学术会议及期刊上发表文章 20 余篇。

《动力机械文摘》1997 年征订启事

《动力机械文摘》是由哈尔滨电站设备成套设计研究所主办的科技文献检索期刊, 主要栏目有: “动力机械一般问题”、“锅炉装置和水处理”、“汽轮机装置和燃气轮机”、“水轮机”和“核能发电装置”, 下设几十个分类, 以简介、文摘与题录相结合的形式报道国内外有关热能、电能生产装置及其辅机设备的科研设计、制造生产、使用运行和安装维修方面的信息和动态, 内容摘自国内外 140 余种科技期刊和部分特种文献, 是动力行业的工程技术人员和有关大专院校师生了解世界动力工程水平与动态, 查找科技文献方便而快捷的实用工具。为方便读者使用, 本刊年末编有主题词索引, 并且随时为读者提供原始文献的复印、翻译等服务工作。

本刊为双月刊, 每期 48 页, 10.56 万字, 刊登文摘 500 条左右。每期定价 4.80 元, 全年 28.80 元。

本刊公开发行, 邮局代号 14-39。欢迎到当地邮局订阅, 也可直接与编辑部联系。编辑部地址: 150046 哈尔滨动力区旭升街 1 号

载热气化燃煤联合循环性能研究 = A Study on the Performance of Heat-Carrying Gasification Coal-Fired Combined Cycle [刊, 中]/Xu Xiangdong, Zhao Li, Zhu Weimin (Tsinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. 1996, 11(6): 337~342

A relatively comprehensive analysis is given of the performance of a new-type coal-fired combined cycle version, i. e. a heat-carrying partial gasification coal-fired combined cycle version. To select a rational system configuration, the authors used the mathematical model of existing components and calculated the system parameters under various configurations. From some useful conclusions thus obtained a relatively optimized version has been selected, which can eventually provide a reliable theoretical basis for the development and realization of the above-cited system. Key words: heat-carrying gasification, combined cycle, differential speed circulating fluidized bed

用于循环流化床的鳍片管束惯性分离器流动特性的研究 = A Study on the Hydrodynamic Characteristics of a Finned Tube Bank Inertial Separator Used for a Circulating Fluidized Bed [刊, 中]/Li Xiaodong, Shen Yueliang, Yan Jianhua, Li Yangxin, et al. (Thermal Power Engineering Institute of Zhejiang University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, -1996, 11(6): 343~347

By employing laser Doppler velocity measurement and numerical simulation method the authors have conducted a study on the hydrodynamic characteristics of a finned tube bank inertial separator used for a circulating fluidized bed, thereby obtaining the distribution of such parameters as the gas velocity flowing around the finned tubes, and the turbulent flow intensity, etc. In addition, the test and calculation results were analysed and discussed, which will provide a solid basis for the further optimization study of the finned tube bank impact separator. Key words: measurement, hydrodynamic characteristics, separator

DEH 转速测量系统的故障树分析 = Fault Tree Analysis for a DEH Rotating-Speed Measurement System [刊, 中]/Ma Fangmei, Zhang Jiace, Hei Yingxia, et al. (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(6): 348~353

Through the use of a Monte Carlo method-based fault tree theory the reliability simulation of a digital electro-hydraulic (DEH) speed measurement system of a 300 MW steam turbine was performed and the system reliability studied along with a fault analysis of the system. On the basis of the above some observations were given. Key words: fault tree, reliability simulation, DEH measurement system

能量系统的烟经济学分析通用模型及其在电厂中的应用 = A General Model for the Exergy Economics Analysis of an Energy System and its Use for an Electric Power Plant [刊, 中]/ Yang Yongping, Wang Jiakuan (Beijing Postgraduate Department of North China Electrical Power Engineering Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, -1996, 11(6): 354~359

During the operation of an electric power plant it often happens that some main parameters deviate from their design values. The study of the effect of such deviations on the economic operation of a

power plant constitutes a basic task of power plant economics analysis. Based on the newest theory of thermal economics, i. e. "Symbol Exergy Economics" proposed by a Spanish scholar, the authors have set up a model for the exergy economics analysis of an energy system. The use of the model on a home-made 200 MW unit has brought about satisfactory results. Key words: energy system, exergy, model, thermodynamics

导热规律为 $Q \propto \Delta(\frac{1}{T})$ 时卡诺热机的 $(\eta P)_{\max} = (\eta P)_{\max}$ of Carnot Heat Engine in Case of Heat Conduction Law Expressed by $Q \propto \Delta(\frac{1}{T})$ [刊, 中]/Yuan Duqi, Liu Zongxiu (Baoji Institute of Liberal Arts and Science) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996, 11(6): 360~362
The working state $(\eta P)_{\max}$ of Carnot heat engine efficiency and power output is studied in the case of heat conduction law being expressed by $Q \propto \Delta(\frac{1}{T})$ with $\eta_{\max} P_{\max}$ under that state derived. Conducted is a comparison of these values with the maximum power output (P_{\max}) under the same heat conduction law. Key words: heat conduction law, heat engine, performance optimization

流化床扬析速率常数的三相传质模型 = Three-phase Mass Transfer Model for the Elutriation Rate Constant in a Fluidized Bed [刊, 中]/ Chen Hongwei, Jin Baoshen, Xu Yiqian (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(6): 363~368
With the help of a fluidized bed three-phase mass-transfer model set up on the basis of bubble assembly theory a simulation was conducted of the fines concentration distribution in a fluidized bed, an thereby the fines elutriation rate constant $K(1/\text{min})$, an important parameter in the design and operation of the fluidized bed, was calculated and discussed. The calculated values have been found to be in good agreement with test results. Key words: fluidized bed, elutriation rate constnt, model, boiler

锅炉螺纹烟管经验计算式选用问题的探讨 = An Exploratory Study on the Selection of an Empirical Formula for Helical-ribbed Tubes of Industrial Boilers [刊, 中]/ Xu Shiming Yuan Yi (Dalian University of Science & Technology), // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(6): 369~374

Because of their simple construction, ease of fabrication and better heat transfer properties helical-ribbed tubes are used more often in industrial boilers and heat exchangers than bare tubes. But, up to now it is not possible to perform a complete numerical solution of the helical-ribbed tube heat exchange and resistance characteristics, their calculation being based mainly on empirical formulas obtained from various kinds of experiments. Because of the difference in facilities and working medium employed for the experiments the empirical formulas obtained will also be different, thus resulting in certain deviations as to their form, applicable scope and calculation results. Consequently, the selected empirical formulas for the thermal calculation of boiler flue gas tubes in case of using helical-ribbed tubes will have a significant effect on the accuracy of the boiler flue gas tube thermal calculation. In •