

# 确定热电厂供热成本的热经济学方法

杨勇平 王加璇

(华北电力学院北京研究生部)

【摘要】 本文利用热经济学的基本理论方法,建立了确定热电厂供热成本的分析模型。编制了相应的计算机软件,并以石景山热电厂 200 MW 供热机组为例,得到了该机组的主要技术经济指标。该方法具有客观准确、便于计算机处理等特点。

关键词 热电厂 成本 热经济学

分类号 TK08 TK01 TK12

## 1 引言

热电联产是一种行之有效的节能措施,具有很好的经济效益和社会效益。但目前供热亏损问题一直未能得到很好解决,阻碍着我国热电联产事业的发展。供热亏损的原因是多方面的,其中一个基本问题就是热电厂热、电成本分摊的理论与方法。目前,我国普遍采用的是“热量法”。该法以热力学第一定律为基础,直接根据电和热两种能量在数量上的比例关系来分摊,没有区分它们在质上的差异,因此势必造成供热成本偏高,发电成本偏低的现象,将热电联产带来的好处过多地归于“电”。关于热电成本分摊问题,国内外不少学者进行过研究,提出了许多方法,本文作者在文献(1)中,对这些方法进行了评估,指出了这些方法的优缺点。

## 2 确定热电厂供热成本的理论

### 探讨

要准确合理地确定热电厂的供热成本,必须解决好以下两个问题:一是能量定价标准问题,以什么作为能量的定价标准,是以能定价,还是以佣定价。

图 1 中的两条曲线分别表示了以热焓确定的低压蒸汽成本曲线和以佣为标准确定的低压蒸汽成本曲线。

由图 1 可见,以热焓定价时,当低压蒸汽的压力降低到 3.17 kPa 时,每千克蒸汽的成本为 0.022 元/千克,当压力升高到 317 kPa 时,每千克蒸汽成本为 0.027 元/千克,二者相差甚微,而二者使用价值相差很大,3.17 kPa 的蒸汽几乎无可利用的使用价值,而 317 kPa 的蒸汽具有相当的使用价值。可见,以热焓定价不符合经济规律。而以佣为基础计算蒸汽成本,可使低压蒸汽的成本与其使用价值相符,当蒸汽压力降低到无法使用时,其使

收稿日期 1994 04 04

本文联系人 杨勇平 男 28 讲师 100085 北京清河 注:文中以“佣”代替“焓”

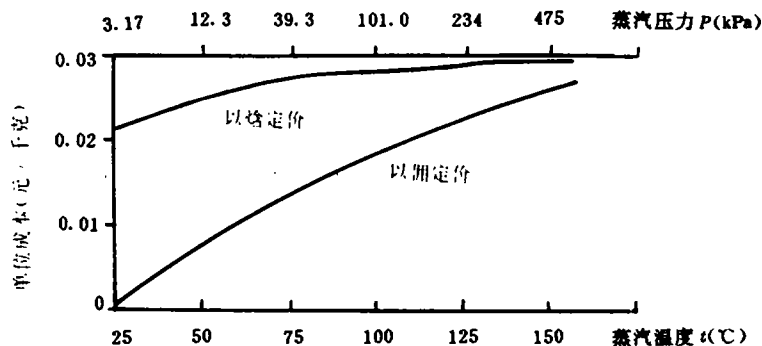


图1 不同定价标准下低压蒸汽成本曲线

用价值趋于零,单位成本也趋于零,符合经济规律。因此,以佣定价是我们的基本出发点。

另一个问题是在承认以“佣定价”的基础上,如何进行热电联产成本的分摊,是否可以简单地以各产品所包含佣的比例简单进行分摊,回答是否定的,因为在热电厂生产过程中,各部位的佣流具有不同的成本,越靠近产品的佣流需要克服的佣损失与设备投资就越多,因而成本也越高。而电与热两种产品在生产过程中经历的过程不尽相同,这样,就应以系统的观点,追踪能量生产过程以及成本形成过程,最终得到发电成本与供热成本。

本着以上两个观点,提出了热经济学定价的基本理论,并将之应用于确定热电联产电厂的供热成本。

### 3 热经济学基本原理

热经济学起始于60年代,至今已有30余年的历史,其基本思想是将能量系统划分成各个子系统(或单元),各单元之间通过一些物理佣流连接,然后通过各单元的佣平衡与佣成本平衡,再辅以必要的补充方程,得到系统中各股佣流的佣成本。进而得到系统最终产品的成本。因此,热经济学能够以系统的

观点,追踪能量生产过程与成本形成过程,特别适合于解决多产品过程的成本计算。热经济学主要包括以下几种模式<sup>[2]</sup>,即“孤立化”模式,“代数模式”“结构系数”模式,符号“佣经济学”模式,其中由西班牙学者 Valero 提出的符号佣经济学模式,是热经济学发展的最新成就,它是前几种模式的综合。因此,本文采用符号佣经济学进行分析。

#### 3.1 几个基本概念

##### 3.1.1 关联矩阵 A

所谓关联矩阵是表明系统中各股佣流与各子系统联系的矩阵。若系统中包含  $n$  个子系统  $n$  股佣流,则其关联矩阵为  $A(m \times n)$ ,其元素  $a_{ij}$  以下法记之:

当佣流输入子系统  $i$  时,记作  $a_{ij} = 1$ ;输出子系统  $i$  时,记作  $a_{ij} = -1$ ;既不输入也不输出,记作  $a_{ij} = 0$ 。这样,通过关联矩阵,可以描述整个系统的特征。

##### 3.1.2 燃料—产品定义

出入各子系统的佣流,按其作用和目的可划分成“燃料” $F$ 与“产品” $P$ 两部分。所谓“产品”是指作为子系统生产目的的佣流,而“燃料”是为获得产品需要消耗的佣流。基于子系统的“燃料”与“产品”定义,子系统的佣效率即可表示为  $\eta_c = P/F$ 。

### 3.1.3 单线流与双线流

在子系统的“燃料”流与“产品”流中,有些是单独一股佣流即为一种“产品”或“燃料”。这些佣流称为单线流,而有些是由两股或多股佣流一起构成一种“产品”或“燃料”,称作“双线流”或“多线流”,由它们构成的燃料或产品分别称作“输入减输出”型燃料与“输出减输入”型产品。

### 3.1.4 佣消耗系数

系统中某股佣流的佣消耗系数是指生产 1kJ 该股佣流需要消耗的从外部输出系统能量的佣值,  $C_i = \frac{E_i}{E_i}$ 。一般地,有  $C_i \geq 1$ ,只有对于从系统外部输入的佣流,  $C_i = 1$ 。

### 3.2 计算佣消耗系数的矩阵表达式:

引入事件矩阵  $A$  后,系统的佣平衡可写成:

$$A \times E = I \quad (1)$$

式中,  $E$  为佣流向量 ( $n \times 1$ );  $I$  为各子系统的佣损 ( $m \times 1$ )。

设子系统  $k$  有  $e$  股输入佣流,  $s$  股输出佣流,用  $C_i$  和  $C_j$  分别表示输入佣流和输出佣流的佣消耗系数,则该子系统的佣经济平衡可写为:

$$\sum_{i=1}^e C_i E_i = \sum_{j=1}^s C_j E_j \quad (2)$$

系统有  $m$  个子系统,因而可列出  $m$  个佣经济平衡式,以矩阵表示为

$$A \times E_0 \times C = 0 \quad (3)$$

式中,  $E_0$  为  $E$  向量的对角矩阵 ( $n \times n$ );  $C$  为佣消耗系数向量 ( $n \times 1$ );

系统有  $n$  股佣流的佣消耗系数需要确定,但只有  $m$  个佣经济平衡式,因此需要建立  $(n - m)$  个补充方程,方能求解。这些补充方程以矩阵表示为:

$$\alpha \times E_0 \times C = W \quad (4)$$

式中,  $\alpha$  为包含  $(n - m)$  行,  $n$  列的矩阵;  $W$  为  $(n - m)$  的列向量;  $\alpha$  与  $W$  的物理意义稍后作详

细介绍

将式(3)与式(4)合并,得:

$$\bar{A} \times E_0 \times C = \bar{W} \quad (5)$$

式中,  $\bar{A} (n \times n)$  为扩展了的关联矩阵,  $\bar{A} = \begin{pmatrix} A \\ \alpha \end{pmatrix}$ ;  $\bar{W} (n \times 1)$  为扩展了  $W$  向量,  $\bar{W} = \begin{pmatrix} 0 \\ W \end{pmatrix}$ 。  $\bar{A}$  为满秩,于是由式(5)可以解出佣消耗系数  $C$ , 即

$$C = E_0^{-1} \times \bar{A}^{-1} \times \bar{W} \quad (6)$$

式(6)即为计算佣消耗系数的矩阵表达式。

### 3.3 建立补充方程的原则

按下列原则建立补充方程,可使矩阵  $A$  满秩。

原则一:

从外部输入系统佣流的佣消耗系数均规定为 1,若系统有  $e$  股输入佣流,可建立  $e$  个补充方程,其形式为:

$$\alpha_e \times E_0 \times C = W_e \quad (7)$$

式中,  $\alpha_e (e \times n)$  为输入佣流值倒数的矩阵;  $W_e (e \times 1)$  为输入佣流的佣消耗系数组成的向量,其元素均为 1。

原则二:

对于多产品的子系统,按各产品佣消耗系数相等的原则建立补充的方程。若子系统有  $i$  和  $k$  两种产品,则有  $C_i = C_k$

原则三:

若子系统的“燃料”为双线流,则构成双线流的两股佣流,其佣消耗系数相等。

根据原则二与原则三建立的补充方程可用矩阵表示为:

$$\alpha_s \times E_0 \times C = 0 \quad (8)$$

式中,  $\alpha_s$  为  $(n - m - e)$  行,  $n$  列的矩阵,将式(7)与式(8)合并,即为式(4),其中

$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_e \\ \alpha_s \end{pmatrix}; W = \begin{pmatrix} W_e \\ 0 \end{pmatrix}$$

可以证明,根据以上三个原则建立的补充方程数恰为 $(n-m)$ ,而使矩阵 $\bar{A}$ 满秩。

#### 4 利用佣经济学方法确定热电厂供热成本

以石景山热电厂 200 MW 凝汽供热两用机组为例,阐明利用热经济学进行电、热成本分摊的方法。

该机组是哈尔滨汽轮机厂生产的凝汽供

热两用机组,设计工况时额定抽汽量为 405 吨/小时,抽汽压力为 0.245 MPa,简化系统如图 2。

将整个系统划分为九个子系统,包括锅炉(B)、高压缸(HPT)、中压缸(IPT)、低压缸(LPT)、发电机(G)、主变压器系统(TR)、冷端系统 CES、等效回热系统(EHS)热网加热器(HN)。在全系统中共有 22 股佣流。只有佣流 1 是从外部输入系统的。通过式(6)即可得到系统中各股佣流的佣消耗系数。值得注意的是中压缸子系统(IPT)是发电与供热的分

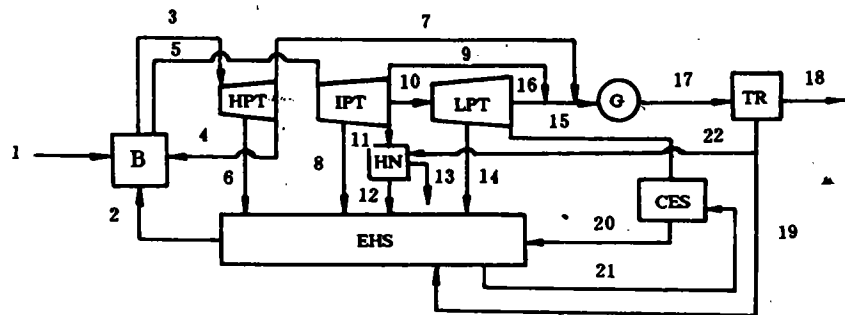


图 2 200 MW 两用机组系统简化图

表 1 子系统燃料产品定义

子系统	燃 料 $P$	产 品 $P$
B	$E_1$	$(E_3 - E_2) + (E_6 - E_4)$
HPT	$E_3 - E_4 - E_6$	$E_7$
IPT	$E_5 - E_8 - E_{10}$	$E_9 + E_{11}$
LPT	$E_{10} - E_{14} - E_{15}$	$E_{16}$
G	$E_7 + E_9 + E_{16}$	$E_{17}$
TR	$E_{17}$	$E_{18} + E_{19} + E_{22}$
HN	$E_{11} - E_{12} - E_{22}$	$E_{13}$
CES	$E_{15} + E_{21}$	$E_{20}$
EHS	$E_8 + E_6 + E_{12} + E_{14} + E_{19} - E_{21}$	$E_2 - E_{20}$

叉点。因此该子系统“燃烧”与“产品”的确定应格外谨慎。为此,我们采取如下规则,认为该子系统包含两种产品,一是中压缸产生的功率,二是供热抽汽佣,根据建立补充方程的原则二,它们的佣消耗系数相等,即  $C_{11} = C_9$ 。

子系统的燃料与产品定义列入表 1,由式(6)计算得到各股佣流在设计工况下的佣值及佣消耗系数列入表 2。将发电佣与供热佣根据各自的能级并转换成工程单位,得到供热机组的主要技术经济指标(见表 3)。

为了进一步证明热经济学方法进行热电成本分摊的合理性,将其供电煤耗与采用“热量”法分摊得到的供电煤耗以及纯凝汽工况运行时的供电煤耗进行比较,结果示于

表4.可以看出,采用热经济学分摊得到的供电煤耗正好介于凝汽工况时供电煤耗与用“热量”法分摊得到的供电煤耗之间,这一点正说明了采用热经济学分摊能兼顾发电与供热二者的利益,优于其它分摊方法。

目前正考虑将该法应用于热电厂经济指标在线处理。

表2 各股佣流的佣值与佣消耗系数

佣流	佣值 (GJ/h)	佣消耗系数	佣流	佣值 (GJ/h)	佣消耗系数
1	1881.69	1.000	12	36.87	2.114
2	192.39	2.546	13	319.05	2.223
3	999.32	2.045	14	0.065	2.045
4	629.68	2.045	15	1.172	2.045
5	790.10	2.045	16	29.361	4.582
6	99.23	2.045	17	534.94	2.389
7	235.03	2.335	18	491.07	2.389
8	54.87	2.045	19	35.09	2.389
9	283.90	2.114	20	0.75	2.045
10	67.04	2.045	21	15.07	1.264
11	362.43	2.114	22	8.77	2.389

表3 供热机组主要技术经济指标

指标	单位	数值
发电煤耗	g/(kW·h)	270.89
发电热耗	GJ/(kW·h)	7228.44
供电煤耗	g/(kW·h)	285.99
供热煤耗	kg/GJ	24.18
供热热耗	GJ/GJ	0.6453
供电热耗	GJ/(kW·h)	7538.32

表4 供电煤耗结果比较

热经济学方法分摊	热量法分摊	纯凝汽工况100%负荷
285.99 g/(kW·h)	221.43 g/(kW·h)	343.65 g/(kW·h)

### 参 考 文 献

- 1 胡三高、杨勇平. 热电厂热价确定及其成本分摊法的评价. 电力技术, 1992(3)
- 2 王加斌. 论热经济学发展的几个阶段. 工程热物理学会论文集, 1992年
- 3 Valero A. et al. A General theory of energy saving I, I, N. Computer-Aided Engineering of Energy System, ASME, 1986
- 4 王加斌、杨勇平、王清照. 关于热经济学定价的矩阵法. 中国工程热物理学报, 1992.13(1)

### 工程消息

## 深圳又建燃机电站

据“Gas Turbine World”1994年9—10月号报道,中国深圳梅西(Meishi)电力公司正在香港以北广东省的深圳市安装一台名义额定功率为164300kW的ABB GT13E2型燃气轮机。

ABB公司将供应燃气轮机,深圳梅西公司将提供剩余部分的电站设备、土木工程和施工。以柴油作为燃料,该燃机将于1995年初投入商业运行。

(学牛 供稿)

# JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

1995 Vol. 10 No. 2

---

△The Present status and Future Prospects of Nuclear Power Generation Technology.....Ji Guiming, Li Jie (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 65~68

△The Reliability/Safety Factor design Method of Steam Turbine Blades.....Zha Changsong(*The Resident Military Representative Office at No. 425 Shippard*), Liu Deming and Xu Yigui(*Naval Engineering Academy*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 69~72

Based on the current design criteria of vibration strength for steam turbine blades, the authors present a reliability/safety factor design method. Some calculation formulas are given along with a brief description of the application of the above-cited design method to turbine blade design. **Key words:** *reliability design, safety factor*

△A Thermo-economic Method for the Determination of the Thermal Power Plant Heat Supply Cost.....Yang Yongping, Wang Jiaxuan (*Beijing Graduate Department under the North China Institute of Electrical Power Engineering*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 73~77

This paper describes an analytical model for determining thermal power plant heat supply costs, which has been established by utilizing the basic theoretical method of thermo-economics. A relevant computer software has been prepared. With the 200 MW heat supply unit of Shijingshan Thermal Power Plant being taken as an example the authors have presented the main technico-economic indexes of the said unit. The thermo-economic method features objectivity and precision as well as ease of processing by a computer. **Key words:** *thermal Power plant, cost, thermo-economics*

△The Treatment of Economic Factors in "Unit Consumption Analysis" .....Song Zhiping (*Graduate Department under the North China Institute of Electric Power Engineering in Beijing*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 78~83

In accordance with the "unit consumption analysis" proposed on the basis of recent advances in exergy and exergy economics a product cost can be divided into four kinds of appended costs including a theoretical minimum cost and irreversible additional cost. An analysis is made of these costs with respect to the sensibility of decision variables. The author has come up with the conception of cost reduction effect and time/space distribution, which can serve as a basis for guiding and monitoring operations, thereby fostering the engineering application of exergy economics. **Key words:** *unit consumption, cost reduction, exergy, second law analysis, energy saving*

△An Exploratory Study of the drum Internals of a Natural Circulation Hot-water Boiler ..... Zhu Qinyi, Zhao Guangbo, Hao Manjin, Yang Minxin (*Harbin Institute of Technology*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 84~88

By the use of a simulation method an experimental study is made of the effect of the drum internals of a natural circulation hot-water boiler on the downcomer Inlet water temperature. Also given is a method for designing the drum internals. **Key words:** *natural circulation hot-water boiler, boiler drum internals*

△A Modification Design Version Involving the Addition of a Superheater to a KZL Type Boiler ..... Zhao Yan, Lu Chengqing, Wang Fa (*Heilongjiang Provincial School of Machine Building*)*Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 89~91