

“单耗分析”中经济因素的处理

宋之平

(华北电力学院研究生部)

[摘要] 依据佣和佣经济学的近代进展所提出的“单耗分析”理论,把产品成本划分为理论最低成本和不可逆附加成本等四种附加成本,分析了它们相对于决策变量的敏度,提出了成本降耗效应及其时空分布的概念,作为指导监控运行和优化设计的依据,从而推进了佣经济学的工程应用。

关键词 单耗 降耗 佣 第二定律分析 节能

分类号 TK01 TK12

1 引言

单耗分析是在佣分析和佣经济学分析的基础上发展起来的一种科学实用的能量系统分析方法^{[1][2]},它的特点之一是能形象而直观地确定出产品单耗值及其在系统中各设备间的分布,显示出单耗的变化及其根源,并对运行或设计的降耗改进给以及时的指示。

所谓单耗,就其全面的意义来说,一是燃料和原材料的单耗(Fuel Unit Consumption)一是费用的单耗(Monetary Unit Consumption)即通常所说的“成本”。因此,成本计算是单耗分析法的重要内容。有关单耗分析的提出和燃料/原材料的单耗分析,在文献[1][2]中已有了较详细的论述。本文重点讨论产品的成本单耗,文中把系统整体简称为系统;把系统中的一部分,包括系统中的元件、设备或它们的某种组合称为子系统。

我国原是计划经济体制,不少企业的产品成本计算目前仍沿用传统的方法,不能满

足单耗分析的需要,因为单耗分析所需要的是成本的时空构成,它要求动态的、分解的原始数据。单耗分析中产品成本确定方法的设计,必须适应单耗分析本身特点的要求,同时要考虑我国发展中的经济环境。

2 系统和子系统的费用平衡

在本文中,燃料一词泛指燃料和/或原材料,以角码 F 或 f 表示(请注意文中使用时二者的区别),用角码 P 表示产品。

设 C_t 为在一个时间段 τ 内燃料的总费用, Z 为折合到同一时间段内的固定费用,若在该时间段所生产的产品为 W ,则为生产 W 消耗的总费用为

$$C = C_t + Z \quad (1)$$

由于在单耗分析中,要明确地区分出由不可逆性所造成的附加单耗,所以常把佣引入到式(1)中去,若燃料的单价为 C_f ,燃料佣为 F ,燃料的比佣为 e_f ,产品的单位成本(简

收稿日期 1994-03-29

本文联系人 宋之平 男 教授 100085 北京清河

文中以“佣”代替“耗”

称成本,下同)为 c , 产品佣为 P , 产品的比例
为 e_p , 则上式可写成

$$c(P/e_p) = c_r(F/e_r) + Z \quad (2)$$

就所消耗的燃料而言,又可分为三类,
一为完全可逆时所需的理论最低消耗量
 B_{\min} , 一为由于系统中各子系统的不可逆性所
造成的附加燃料消耗。从第 1 个子系统到最
后的第 n 个子系统中附加的不可逆燃料消耗
的总和为 $\sum B_i$; 再有就是像起动过程这类
无产品输出的燃料消耗,用 B_0 表示,与上项
的燃料合在一起,用 $\sum_0^n B_i$ 表示,于是

$$B = B_{\min} + B_0 + \sum B_i = B_{\min} + \sum_0^n B_i \quad (3)$$

或用产品的燃料单耗表示为

$$\begin{aligned} B &= b_{\min}W + B_0 + \sum_0^n \int_0^{\tau} b_i(\tau)Wd\tau \\ &= b_{\min}W + \sum_0^n \int_0^{\tau} b_i(\tau)Wd\tau \end{aligned} \quad (4)$$

其中

$$W = \int_0^{\tau} Wd\tau \quad (5)$$

用 W 遍除式(3)即可得产品的燃料单耗的构成

$$b = b_{\min} + b_0 + \sum b_i = b_{\min} + \sum_0^n b_i \quad (6)$$

在这里,子系统 i 的附加燃料单耗

$$b_i = \frac{(\int_0^{\tau} b_i(\tau)Wd\tau)}{(\int_0^{\tau} Wd\tau)} \quad (7)$$

其中

$$\int_0^{\tau} Wd\tau > 0$$

若时段无穷小,为 τ 到 $\tau + \delta\tau$, 则为瞬时值,在
该量之后缀以 (τ) 。

已知燃料的总消耗量以及产品的燃料
单耗及其构成后,结合燃料的单价 c_r , 自然就
会清楚在产品的成本中燃料费用的地位和作
用

$$C_r = c_r(F/e_r) = c_r B \quad (8-a)$$

$$= c_r(B_{\min} + B_0 + \sum B_i) \quad (8-b)$$

$$= c_r W(b_{\min} + b_0 + \sum b_i) \quad (8-c)$$

对于固定费用 Z 也应该加以剖析,分析
时首先要考虑的是各个子系统投资的年折旧
费用和相应的维修保养费用,对于子系统
 i , 当把它折算到时段 τ 时为 Z_i , 称为“子系
统固定费用”。这部分费用的总和为 $\sum Z_i$ 。
此外还有只与系统总体直接联系的固定费,
这部分费用折算到时段 τ 后,用 Z_0 表示,简
称为“额外固定费用”,与上一部分固定费用一
起,就得到

$$Z = Z_0 + \sum Z_i = \sum_0^n Z_i \quad (9)$$

在一般分析中,对于给定时段,固定费
视为不随时间/工况而变的常数。

3 理论最低成本,附加 成本和成本放大系数

3.1 理论最低成本

在单耗分析中,成本由两部分构成,一
是理论最低成本 c_{\min} , 一是附加成本。产品的
理论最低成本是这样的成本,它在生产中,没
有不可逆现象发生,子系统没有任何耗损(子
系统的寿命期为无穷长),不消耗任何管理,
税金和它的固定费用,因此,理论最低成本
就等于生产单位产品的理论燃料量 b_{\min} 的费
用

$$c_{\min} = c_r b_{\min} \quad (10)$$

3.2 附加成本

在实际能量系统中,每个子系统 i 的存
在和运行都在成本中体现着一定的附加费
用,构成理论最低成本以外的附加成本。

附加成本,包括不可逆附加成本,额外
燃料附加成本,子系统固定费附加成本和额

外固定费附加成本。

子系统的不可逆附加成本用 c_{F1} 表示, 额外燃料附加成本 c_{F0} 是由无产品输出过程中的燃料费用造成, 由于折旧维修造成的子系统固定费附加成本以 c_{Z1} 表示, 由工资、福利、税金、经营管理费等费用造成的附加成本称为额外固定费附加成本 c_{Z0} , 所以产品的成本一般由下列各项构成:

$$c = c_{min} + c_{F0} + \sum c_{F1} + c_{Z0} + \sum c_{Z1} \quad (11 - a)$$

$$= c_{min} + \sum_0^n c_{F1} + \sum_0^n c_{Z1} \quad (11 - b)$$

$$= c_{min} + c_F + c_Z \quad (11 - c)$$

其中

$$c_{F1} = c_f B_1 / W = c_f b_1 \quad (12)$$

$$c_{Z1} = Z_1 / W \quad (13)$$

$$c_F = \sum_0^n c_{F1} \quad (14)$$

$$c_Z = \sum_0^n c_{Z1} \quad (15)$$

3.3 不可逆放大系数, 子系统固定费放大系数和成本放大系数

为了明确各类成本构成的权重, 以理论最低成本为基准定义下列各系数

$$c_{P1} = c_{F1} + c_{Z1} \quad (16)$$

$$= c_{min}(\delta_1 + \lambda_1) \quad (17)$$

其中

$$\delta_1 = c_{F1} / c_{min} = (I + R)_1 / p \quad (18)$$

$$\lambda_1 = c_{Z1} / c_{min} \quad (19)$$

分别称为子系统 I 的不可逆放大系数和子系统固定费放大系数。此外, 额外燃料放大系数和额外固定费放大系数分别被定义为

$$\delta_0 = c_{F0} / c_{min} \quad (20)$$

$$\lambda_0 = c_{Z0} / c_{min} \quad (21)$$

并令

$$\delta = \delta_0 + \sum \delta_i = \sum_0^n \delta_i \quad (22)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \sum \lambda_i = \sum_0^n \lambda_i \quad (23)$$

$$\gamma_i = \delta_i + \lambda_i \quad (24)$$

$$\gamma = \delta + \lambda \quad (25)$$

显然, 产品的成本应为

$$c = c_{min} + c_F + c_Z$$

$$= c_f b_{min} [1 + \delta_0 + \lambda_0 + \sum (\delta_i + \lambda_i)] \quad (26 - a)$$

$$= c_f b_{min} [1 + \delta + \lambda] \quad (26 - b)$$

$$= c_f b_{min} [1 + \sum_0^n \gamma_i] \quad (27)$$

$$= c_f b_{min} [1 + \gamma] \quad (28)$$

其中 γ 和 γ_i 分别称为系统和子系统的成本放大系数

4 子系统附加成本的时空分布、时值和时均值

4.1 子系统附加成本的时空分布

设子系统固定费用向量为:

$$Z = [Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_n]^T \quad (29)$$

则子系统固定费附加成本向量、子系统不可逆附加成本向量以及相应的子系统附加成本向量分别可通过以下各式计算

$$c_Z = [c_{Z1} \ c_{Z2} \ \dots \ c_{Zn}]^T \\ = [1/W] Z \quad (30)$$

$$c_F = [c_{F1} \ c_{F2} \ \dots \ c_{Fn}]^T \\ = [(c_f e_p / e_f) / p] A E \quad (31)$$

$$c_P = [c_{P1} \ c_{P2} \ \dots \ c_{Pn}]^T \\ = [(c_f e_p / e_f) / P] A E + [1/W] Z \quad (32)$$

在这里

$$c_P = c_F + c_Z \quad (33)$$

A 为系统中的各子系统和流的 $n \times m$ 阶联系矩阵

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

如果流 j 流入子系统 i, 则矩阵元素 $a_{ij} = 1$, 流出则 $a_{ij} = -1$, 如流 j 与子系统 i 无联系则 $a_{ij} = 0$, 矩阵 E 为偶流矩阵其定义为

$$E = [E_1 \ E_2 \ \dots \ E_m]^T \quad (35)$$

式(33)也可用不可逆放大系数向量 Δ 和固

定费放大系数向量 Δ 表示

$$o = c_{\min}[\Delta + \Delta] \quad (36)$$

其中,向量

$$\Delta = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T = [1/P] AB \quad (37)$$

$$\Delta = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T = [e_i / (c_i P)] Z \quad (38)$$

4.2 时值和时均值

在单耗分析中,有些量,如理论最低燃/原料单耗是确定值,有些则与时间/工况有关,是随时变动的。对于随时间变动的量,就有时值和时均值之分。以上各节讨论的各附加成本的时均值定义式为

$$c_{F1} = \left(\int_0^T c_i b_i(\tau) W d\tau / \int_0^T W d\tau \right) \quad (39)$$

$$c_{Z1} = Z_1 / \left(\int_0^T W d\tau \right) \quad (40)$$

$$c_{F0} = \left(\int_0^T c_i B_0 d\tau \right) / \left(\int_0^T W d\tau \right) \quad (41)$$

$$c_{Z0} = Z_0 / \left(\int_0^T W d\tau \right) \quad (42)$$

前已述及,时值可设想为 τ 至 $\tau + \delta\tau$ 间的时均值,它的作用在于实时地对运行条件加以分析判断和调控。

4.3 单耗的各种表现形式的实用意义

在单耗分析中把燃料单耗和金钱单耗(即产品成本)表现成各种形式,有重要的实用意义。以火电厂为例,单耗的瞬时值有助于分析任一时刻综合工况对单耗的影响。时均值则是在给定时间段内的总效果。单耗的时空分布,如各子系统的不可逆附加(燃料)单耗,不可逆附加成本,体现着子系统在某一工况下由于不可逆性所造成的单耗附加值,它主要取决于子系统的完善性和机组的利用小时数。固定费附加成本对于现有子系统来说则只取决于机组的利用小时数;额外燃料附加成本是由于无产品输出时的燃料消耗造成的,取决于机组起停的频繁程度和起停延续时间的长短,额外固定费附加成本则与电厂的自动化程度以及人事行政和技术管理的先进程度有关。通过对单耗在不同的时间上,不同的子系统上,不同的运行方式上和在不同

的环节上的剖析,就为单耗的科学管理提供了更明细的依据。

5 成本的敏度性质子系统的成本降耗效应

在单耗分析中,敏度分析的目标量一律取系统整体的燃料单耗 b 和产品的成本 c ,表示为

$$\sigma_{rb} = \delta b / \delta x_i \quad (43)$$

$$\sigma_{rc} = \delta c / \delta x_i \quad (44)$$

其中, x_i 为某一决策变量,这些决策变量的总和构成决策变量集:

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$$

它的选取,根据变量本身的性质和分析的目的而定。比如,对于火力发电厂不妨取为初温,初压,再热温度,终参数,电负荷,热负荷等为变量集内的元素,敏度值随工况而异,一般取其时值。

能量系统中,有一类子系统的作用在于完成系统总体所规定的物质生产或能量转换任务,缺了它们中的任一个,则规定的任务将无法完成。另一类子系统则不然,它们的任务主要在于降低燃料单耗,降低产品成本,后者称为第二类子系统(设备)。在不同的工况下,一个子系统的类属也有可能发生变化。

在给定的工况下,某一第二类子系统解裂所造成的单耗提高值,称为该子系统的降耗效应 β ,也适用于成本降耗效应 θ ,对于子系统 0 。

$$\beta_i(\tau) = (\Delta b)_{i \rightarrow \text{vanish}} \quad (45)$$

$$\theta_i(\tau) = (\Delta c_p)_{i \rightarrow \text{vanish}} \quad (46)$$

上式下标表示设备 i 消失或解裂。

子系统的降耗效应可以理解作为一种特殊的敏度,它是从某子系统的存在或投运与否来考察系统的燃料单耗和/或成本单耗的

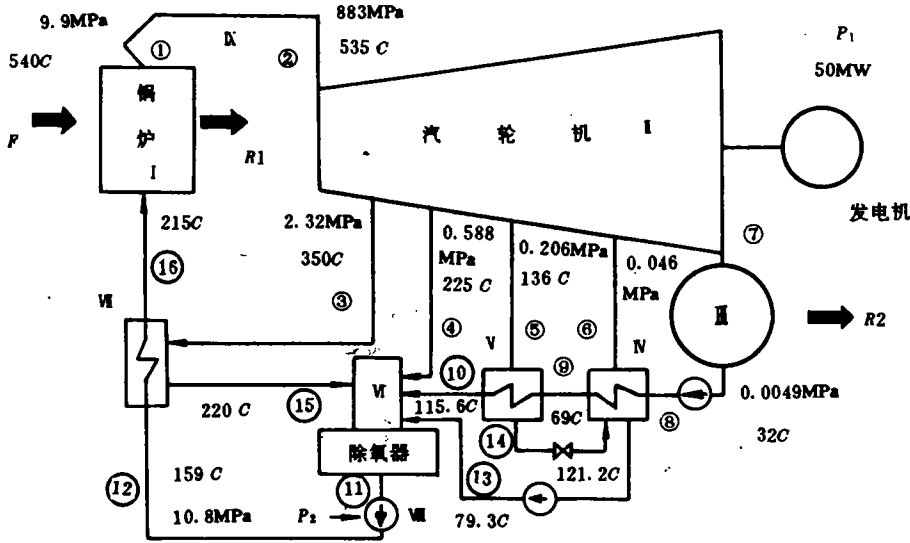


图 1

表 1 计算结果

	I 锅炉	II 汽轮机	III 凝汽器	IV #1 低加	V #2 低加	VI 除氧器	VII 高加	VIII 给水泵	IX 管道
$(I + R)_1$ MJ/s	77.173	9.521	3.199	0.408	0.423	0.466	0.665	0.195	0.762
b_1 g/(kW·h)	189.62	23.40	7.86	1.02	1.04	1.15	1.64	0.48	1.87
β_1 g/(kW·h)			133.63	2.83	2.10	3.60	6.16		
Z_1 C/s	34.518	11.378	1.985	0.153	0.160	0.141	0.600	0.857	
δ_1 $\times 10^3$	1543.460	190.420	63.980	8.155	8.462	9.326	13.310	3.909	15.239
λ_1 $\times 10^3$	862.950	284.450	49.630	3.825	4.000	3.525	15.000	21.430	
γ_1 $\times 10^3$	2406.40	474.90	113.60	11.98	12.46	12.85	28.31	25.33	
$c_{p1} \times 10^3$ C/(kW·h)	693.20	136.80	32.73	3.45	3.59	3.71	8.15	7.30	
o_1 C/(kW·h)			0.3133	0.0066	0.0049	0.0084	0.0144		
$b = 350.98 \text{ g/(kW·h)}$ $c = 1.1813 \text{ C/(kW·h)}$ $\delta = 1.8563$ $\lambda = 1.2118$ $\gamma = 3.0858$									

变化的。

子系统降耗效应的时空分布值,对监控运行和指导优化设计,具有重要的作用。

虑额外附加单耗,分析结果示于表1中。

6 示例

仍选文献[1]中的火电厂热力系统为例,为了不使文章过于冗长对该系统作了不少简化假设。向系统输入的燃料佣为 $F = 142.1 \text{ MJ/s}$,系统输出的产品佣为 $P = 50 \text{ MJ/s}$,标煤单价为 $c_f = \$ 23.466/\text{t}$,例中未考

参 考 文 献

- 1 宋之平.单耗分析的理论 and 实施.中国电机工程学报,1992,12(4)
- 2 宋之平等.能量系统的单耗分析.热力学分析与节能论文集,科学出版社,1993
- 3 宋之平等.节能原理.水电出版社 1985
- 4 Gaggioli R A, et al. A Critical review of second law costing method. Journal of Energy Resource Technology. 1989,111(3)

Edl 数据采集器

美国恩泰克科学公司最近推出一种新一代的数据采集器 Edl(EMONITOR dataline),该仪器技术先进、功能齐全,可用在生产现场对气轮机、离心式压缩机、风机、泵等旋转机械或往复机械进行巡检,并可与恩泰克预测维修 PM 软件 DOS 版及 EFW 窗口版的多种软件完全配套使用。这些软件均可在 IBM-PC、PC/XT、AT 及其它兼容机等多种型号的计算机上运行,构成一套功能完善的机器设备离线诊断系统。

Edl 数据采集器的主要特点有:

- ① 采用了全新的寻找路径的专利技术,用户可在生产现场根据需要随时测试出现异常的机器,采集数据更为方便灵活;
- ② 能提供多种强有力的测试方法,其中包括能早期发现滚动轴承故障的包络谱功能;
- ③ 采用 PCMCIA I 型 E 卡,为数据、路径及应用程序的存储提供了极大的空间;
- ④ 除完成数据采集功能外,还是一台多功能频谱分析仪,能在现场进行多种实时分析;
- ⑤ 体积小(254×183×71 mm)、重量轻(1.95 kg、左右手均可操作,适用于任何条件恶劣的工业环境中。

仪器的主要技术参数如下:动态范围:85 dB,输入量程:10 档,±10 mv~±10 v,频率范围:42 档,10 Hz~40 kHz,测量精度:100~12800 条谱线,处理速度:10 kHz,硬盘内存:1 兆,E 卡外存:16 兆。

(四川川化集团公司 汪家铭 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