

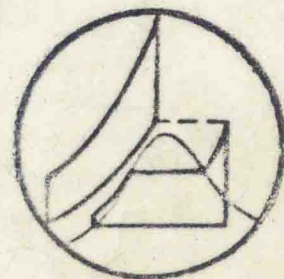
中国工程热物理学会

工程热力学与能源利用学术

会议论文集

一九九一

烟台



中国工程热物理学会 工程热力学与能源利用学术会议论文集

目 录

I. 分析热经济学及基础热力学(共 15 篇)

1. 关于热经济学定价的矩阵法 王加璇 杨勇平 I-1
2. 工业企业热电联产系统评价准则的研究 冯霄 钱立伦 蔡颐年 I-9
3. 供热系统优化运行决策 胡卫东 李世武 I-15
4. 燃气动力装置最优热经济匹配参数的确定 李世武 胡卫东 I-21
5. 蒸汽动力循环 分析的一个新方法 洪钧达 姚树新 I-27
6. 混合工质热泵系统的 分析研究 李瑞法 孙秉枢 I-35
7. 高炉的 分析 刘朝 白晨光 I-39
8. 理想气体流动的几何拓扑分析 敖越 I-45
9. 高温下风速湿球直径和辐射对湿球温度影响的实验研究
..... 赵玉珍 姜宝成 尚德敏 华放 李爱滨 I-53
10. 热电发电机优化的有限时间热力学准则 孙丰瑞 陈文振 陈林根 I-59
11. 在约束条件下 σ, τ 固定下卡诺制冷机的 $(\epsilon R)_{\max}$ 陈丽璇 严子浚 I-65
12. 吸收式制冷机与传热面积有关的优化性能 陈金灿 严子浚 I-71
13. 一类制冷机的有限时间热力学分析 严子浚 陈金灿 I-77
14. 化工装置能量回收系统的综合与优化——换热网络结构参数与换热单元设计参数
同时优化的技术在能量回收环节的研究和应用 ... 胡润华 华贲 李国庆 I-83
15. 过冷沸腾时器内液体振动的频域分析 王克兴 曾向东 尚德敏 I-91

II. 热机循环分析及节能

1. 燃气——蒸汽混合循环热力学分析 周伏秋 王克兴 严家禄 II-1
2. 高阶偏差法求解燃气轮机特性: <一>原理与基本方程 II-7
<二>求解技巧和实例 方钢 蔡睿贤 林汝谋 II-13
3. 热虹吸蒸汽动力循环——一种低温热能利用的新构想 郭开华 蒋文浩 II-19
4. 15MW 燃煤增压流化床联合循环发电方案的选择与分析
..... 傅文玲 刘前鑫 章名耀 II-27
5. 常压循环流化床煤气化补燃燃气——蒸汽轮机联合循环热力性能的研究
..... 刘泽龙 张世铮 II-35
6. 循环流化床燃煤电站换热器动态特性 徐向东 II-43
7. 大型火电站相变干冷排热系统的优化与不确定性分析 刘耀新 钱立伦 II-51

8. 多灰分低热值煤的能源综合利用	康齐福 施正伦 蔡晋强 秦至刚 傅子诚 巴陵	Ⅱ—59
9. 微型压所蓄能电站的概念探讨和热力分析	张世铮 钱进 王永堂	Ⅱ—67
10. 海水淡化的理论产量与产量惩罚	宋之平 胡三高 周少祥	Ⅱ—73
11. 船舶余热动力回收系统热力学参数及余热锅炉结构参数优化	徐利军 曹渝白	Ⅱ—79
12. 太阳能热水系统的太阳能有效利用系数	刘鉴民	Ⅱ—85
13. 求取加热炉最佳炉温制度的一种新方法	刘日新 宁宝林	Ⅱ—93

Ⅲ. 工质热物性

1. 一个新的多常数状态方程	苏志军 严家禄	Ⅲ—1
2. 符合水蒸汽新骨架表的蒸汽压方程	李志旺 苏志军 严家禄	Ⅲ—7
3. 简明的液体状态方程式与液泵流体机械相对效率的新关联式	李斯特 刘丽芳	Ⅲ—13
4. 用状态方程法(即 EOS 法)研究混合工质的汽液平衡性质	苏志军 严家禄	Ⅲ—19
5. S—理想溶液理论及其应用	童景山 陈永奇 于养信	Ⅲ—29
6. P—R 方程新的混合规则和超临界二氧化碳——烷烃非对称体系高压相平衡的关联与预测	高光华 童景山	Ⅲ—37
7. 应用分子聚集理论改进活度系数方程及伯醇——正烷烃体系汽液平衡的计算	童景山 张建 高光华	Ⅲ—43
8. 使用通用对应态方程计算半连续混合物汽液相平衡	刘尧国 徐忠	Ⅲ—51
9. 用形状因子对应状态原理研究高压下气液相平衡	罗瑞贤	Ⅲ—57
10. HFC—134 a 饱和蒸气压的研究——试验与方程	朱明善 吴江 傅屹东	Ⅲ—63
11. HFC—134 a 的表面张力试验研究	朱明善 韩礼钟 周伟	Ⅲ—71
12. 无污染制冷工质 R134a 热力性质图表及计算式	赵鸿斌 苏志军 严家禄	Ⅲ—77

Ⅳ. 制冷循环和工质

1. 同轴脉冲管制冷机研究	王俊杰 周远 朱文秀 蔡京辉 徐靖中	Ⅳ—1
2. 双向进气管制冷过程的实验研究	周彬 吴沛宜 胡士莲	Ⅳ—9
3. 气体波动膨胀与气波制冷的实验研究	寿卫东 张欣龙 韩鸿兴	Ⅳ—17
4. 新型热力循环热泵系统的试验研究	杨向阳	Ⅳ—23
5. 一种新型压缩/喷射冰箱用混合制冷循环	郭健翔 谭连城	Ⅳ—29
6. 汽车空调系统制冷工质替代问题初探	吕彦力	Ⅳ—35

7. 非共沸混合工质与纯质制冷循环的合理比较标准				
.....	张金明	刘咸定	谭周芳	焦平坤 IV—41
8. 离心式制冷机中 R11 替代物的筛选及计算.....	谭周芳	刘咸定	刘志刚	IV—47
9. 三元混合物 R22/R152a/R134a——CFC—12 替代的又一选择				
.....	焦平坤	刘咸定	刘志刚	赵冠春 IV—53
10. 三元混合工质 R22/R152a/R142b 替代 R12 的试验研究				
.....	杨昭	马一太	吕灿仁	IV—59
11. 冰箱替代工质 HFC—152a 和 HFC—152a/HCFC—22 的压缩机性能试验研究				
	刘咸定	刘志刚	阴建民	张金明 焦平坤 陈哲华 李代儒 韩绥平 IV—65
12. HCFC22/HFC152a PVTX 性质实验研究	赵中友	阴建民	谭连城	IV—73
13. R22/R142b/DMF 三元溶液汽液平衡及焓浓度关系计算.....	陈光明			IV—81
14. R13 工质替代的筛选研究	刘志刚	候海辉		IV—87

关于热经济学定价的矩阵法

王加璇 杨勇平

华北电力学院北京研究生部

摘要

本文利用Valero等人提出的F-P-R定义和描述系统特性的事件矩阵加以发展,得出可以用来分摊热电联产中热、电成本的热经济学定价的矩阵法。结合实例加以运用,其计算结果证明准确、合理,计算方法直观简捷,配有计算机程序,可以在实践中应用。文中以国产CC50-90/13/1.2型供热机组的热电联产系统为案例,进行了分析和计算。

一、引论

热经济学的关键问题之一,是烟的价格化,这也是烟分析走向实用化的必由之路^[2]。而热电联产是世所公认的合理用能、节约能源的强有力的手段。但是在我国,热电联产供热亏损问题一直困扰着有关部门。亏损原因很多,热电成本分摊的理论与方法,是其中的原因之一。我国现行的“热量法”显然不合理,近年来不少作者在这方面进行了探讨,提出了各种理论与方法,如“实际焓降法”、“热泵法”^[4]、“烟比例法”^[8]、“烟效率法”、“热电联合法”^[6]等等,从不同侧面对此问题进行了有益的探讨。本文认为这里有两点必须弄清楚:第一点,到底是以能定价还是以烟定价;第二点,同意了以烟定价,又如何定,我们主张不能以两种产品中含烟量的比例一分为事了,而必须从系统整体描述,弄清各股烟流与构成系统的各子系统之间的关系,进而找出成本分布的规律,来解决两种或两种以上产品成本分摊的问题。而事件矩阵正可以如实地描述上述关系,再加上一些必要的定义,是可以解决这个问题的。

二、热经济学定价矩阵法的原理

1、事件矩阵A

所谓事件矩阵是描述事件发生的矩阵。把系统的子系统数 m 作为矩阵A的行,烟流数目 m 作为矩阵A的列,此矩阵就可以描述这两者的关系,采用下述表达方法:当第 i 个子系统中有第 j 股烟流输入时,在A中的对应元素记作 $a_{ij}=1$;当第 i 个子系统中有第 j 股烟流输出时,在A中的对应元素记作 $a_{ij}=-1$;当第 i 个子系统中既无烟流 j 的输入也无其输出时,记作 $a_{ij}=0$ 。这样建立的矩阵就可以把整个系统的特征都描绘出来。

2、F-P-R定义

F-P-R定义是从烟流和子系统的目的和作用来确定它们的特性的。如把那些作为子系统 i 互作目的的烟流定义为“产品”P,而把那

些为了获得产品而必须输入子系统的烟流定义为“燃料” F ，其余者皆归于“残留” R ，它可能是损失，也可能是副产品，需视具体情况而定。如子系统 i 输出 w 种产品，则记作 $P = \sum_{j=1}^w P_j$ ，有 v 种“燃料”输入，则记作 $F = \sum_{j=1}^v F_j$ 。此时子系统 i 的烟效率为 $\eta_i = P/F$ ，其倒数 $1/\eta_i = F/P$ ，则为子系统 i 产品的单位烟耗。这样，便可根据所定义的前提条件来分析烟成本。这类子系统就是我们称为的基本子系统。

3、单线流与双线流（或叫对偶流）

无论燃料烟流还是产品烟流，都存在两种基本型式：单线流和双线流。所谓单线流系指那些一次进入或流出子系统者，流入者为“燃料”单线流，流出者为“产品”单线流。但还有一些烟流并不这样简单，它流入子系统释放了部分烟又流出该子系统，这种流称为“燃料”双线流。还有的流出子系统的流不仅在此子系统中获得烟，而在上级子系统中也吸收了部分烟，这种流称为“产品”双线流，因此在本子系统中获得的烟值也是输出烟值与输入烟值之差。我们可以把这些流通俗地叫做“单纯输入型燃料”和“单纯输出型产品”、“输入减输出型燃料”和“输出减输入型产品”。

4、计算烟流费用的矩阵

引入事件矩阵， $A (m \times n)$ 后，系统的烟平衡可写为：

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

式中， E 为烟流向量 $(n \times 1)$ ； I 为各子系统的总烟损。

系统的现金平衡也可以用矩阵表示。设子系统 k 有 e 股烟流输入， s 股烟流输出，其非能费用为 Z_k ，则该子系统的现金平衡式为：

$$\sum_{i=1}^e c_i E_i + Z_k = \sum_{j=1}^s c_j E_j \quad (2)$$

式中， c_i 和 c_j 为各个输入与输出烟流的单位价格。系统有 m 个子系统，因而可列出 m 个现金平衡式，若用矩阵表示，则有：

$$A \times E_D \times c + Z = 0 \quad (3)$$

式中， E_D 为 E 向量的对角矩阵 $(n \times n)$ ； c 为烟单位成本向量 $(n \times 1)$ ； Z 为各个子系统的非能费用向量 $(m \times 1)$ 。因为有 n 股烟流需确定其单位成本，但只有 m 个现金平衡式。为使方程组封闭，须有 $(n-m)$ 个补充方程，它们也可以用矩阵表示，即

$$\alpha \times E_D \times c - W = 0 \quad (4)$$

式中， α 和 W 由补充方程的性质决定， α 为具有 $(n-m)$ 行， n 列的矩阵， W 为维数为 $(n-m)$ 的列向量。将式(3)与式(4)合并，得

$$\bar{A} \times E_D \times c + \bar{Z} = 0 \quad (5)$$

式中， $\bar{A} = \begin{pmatrix} A \\ \alpha \end{pmatrix}$ ； $\bar{Z} = \begin{pmatrix} Z \\ -W \end{pmatrix}$ ； $\bar{A}$ 称为扩展的事件矩阵；

$\bar{Z}$ 称为扩展了的非能费用向量。补充方程的建立应使 $\bar{A}$ 为满秩。由式(5)得

$$c = -(E_D)^{-1} \times \bar{A}^{-1} \times \bar{Z} = 0 \quad (6)$$

式(6)即为计算烟流费用的矩阵表达式。

5、建立补充方程的原则

按照下列原则建立补充方程,可使矩阵A满秩。

a)、由于外界输入系统的烟流单位成本已知,若有 e 股输入烟流,则可建立 e 个补充方程,用矩阵表示

$$\alpha_e \times E_D \times c = W_e \quad (7)$$

式中, $\alpha_e (e \times n)$ 为输入系统烟流的倒数组成的矩阵, $W_e (e \times 1)$ 为输入系统烟流单价组成的向量。

b)、对于多种产品的子系统,按各种产品烟价相等的原则建立补充方程,如第 j 个子系统有 s_j 种产品,则可列出 $s_j - 1$ 个补充方程。若 i 和 k 为该子系统的两种产品,则有 $c_i = c_k$ 。为便于表示成式(7)的形式,也可写成:

$$\frac{1}{E_i} \times E_i \times c_i - \frac{1}{E_k} \times E_k \times c_k = 0$$

c)、若子系统的“燃料”流 F 为“输入减输出”型,则该燃料输入烟流与其输出烟流的烟单价相等。多种输入和多种输出者亦然,且等于输入烟流单价的加权平均值。如两种输入 E_p 和 E_q ,两种输出为 E_r 和 E_s ,则其补充方程为:

$$c_r = c_s = \frac{E_p c_p + E_q c_q}{E_p + E_q}$$

由原则b)与原则c)建立的补充方程,可统一表示为:

$$\alpha_x \times E_D \times c = 0 \quad (8)$$

式中, α_x 为 $(n-m-e)$ 行, n 列的矩阵。将式(7)与式(8)合并,便可得到式

$$(4), \text{其中, } \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_e \\ \alpha_x \end{pmatrix}; W = \begin{pmatrix} W_e \\ 0 \end{pmatrix}。$$

根据以上三原则建立的补充方程数恰为 $(n-m)$,刚好使方程组封闭。

6、敏度分析

令式(6)中 $-(E_D)^{-1} \times \bar{A}^{-1} = H$,则有

$$c = H \times \bar{Z} \quad (9)$$

对于确定的系统, $F-P$ 定义一定,则 E_D 与 $\bar{A}$ 也是确定的,而 $\bar{Z}$ 却随外部因素变化,比如其中包括输入系统烟流的单价,以及各子系统的非能费用。这些都随外部市场因素变化。因此,有必要研究它们是如何影响各股烟流的单位佣成本,这就要进行敏度分析。

将式(9)对 $\bar{Z}$ 求导,得

$$\frac{\partial c}{\partial \bar{Z}} = H^T \quad (10)$$

式(10)就是 $\bar{Z}$ 值影响各佣流单位成本的敏度,其中, $\bar{Z}$ 影响某股佣流的敏度为

$$\frac{\partial c_i}{\partial \bar{z}} = \begin{pmatrix} h_{i1} \\ h_{i2} \\ \vdots \\ h_{in} \end{pmatrix} = H_i$$

式中， H_i 为矩阵 H 的第 i 行向量。

进一步分析，某个 Z_j 值影响第 i 段烟流单位成本的敏度为

$$\frac{\partial c_i}{\partial Z_j} = h_{ij}$$

借助敏度分析可直观地看出各种外部因素对各段烟流单位成本的影响。

三、案例分析

以国产CC50-90/13/1.2型双抽汽供热机组的热电联产系统为案例，用上述原理及方法进行分析。该系统如图示。为简化计算，将回热系统以一个等效的加热器EHS来代替。

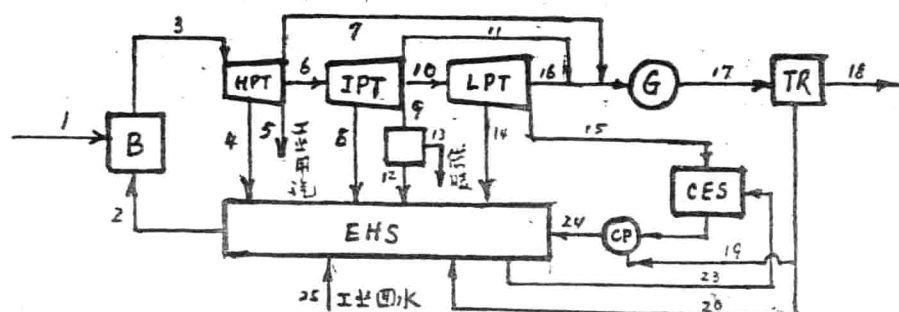


图 CC50-90/13/1.2机组热电联产系统图

图中HPT为汽轮机的高压缸，IPT为中压缸，LPT为低压缸，G为发电机，CES为冷端（包括凝汽器与冷水塔），CP为凝结水泵，EHS为等效回热器，B为锅炉。按设备划分子系统。

该系统的事件矩阵如表-1，F-P定义列入表-2。在各系统中，核心问题是要确定HPT、IPT和LPT三个子系统中哪些是燃料流F，哪些是产品流P。处理不好，则会导致错误，对热电成本分摊起着关键作用。一般有以下三种方法来规定：

a. 自然产品原则，按此原则把汽轮机所有的输出烟流都视为产品，表-2中HPT、IPT和LPT的F-P定义，就是根据这一原则进行的。

b. 产品等同原则，将汽轮机发电与供热视为同等重要。把各级回热抽汽与排汽均视为燃料。这样，子系统内的燃料 $F=E_3-E_4-E_5$ ；产品 $P=E_6+E_7$ 。IPT中的燃料 $F=E_6-E_8-E_{10}$ ，产品 $P=E_9+E_{11}$ ；LPT中的定义与原则a相同。

c. 副产品原则, 把发电视为主要目的, 这样供热抽汽、回热抽汽以及汽缸排汽均视为燃料双线流的出来的一段。这样HPT中, 燃料 $F=E_3-E_4-E_5-E_6$, 产品 $P=E_7$; IPT中燃料 $F=E_5-E_8-E_9-E_{10}$, 产品 $P=E_{11}$; LPT中的定义与原则a相同。

还须注意的是子系统CES, 烟流 E_{21} 排入环境, 因而定义在R中, 而不能视为产品P。其烟单位成本取为零。这样, E_{10} 的单位烟成本为负值。为使方程组封闭, 去掉系统中有关 E_{10} 烟单位成本的补充方程。

输入系统的烟流为 E_1 和 E_{20} , 按原则a), 得到 α_e 矩阵(如表-3)和向量 W_e 。前面用到的E的下标号与图中的烟流号一致。

计算中取用: 煤单价为100元/吨; 即3.41元/GJ; 互业回水烟单价为零, 这样, $c_1=3.41$; $c_{20}=0$, $W_e = \begin{pmatrix} 3.41 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

根据建立补充方程的原则b)与c), 得到矩阵 α_x (13×25), 列入表-4。其中, $E' = E_4 + E_8 + E_{12} + E_{14}$ 。

将表-1、表-3和表-4合并, 即得到扩展了的事件矩阵(25×25):

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} \bar{A} \\ \alpha_e \\ \alpha_x \end{pmatrix}$$

各子系统的非能费用列于表-5, 单位为(元/小时)。

由表-5中的各子系统非能费用组成的列向量即为向量Z, 进而得到扩展的非能费用向量(25×1)。

$$\bar{Z} = \begin{pmatrix} Z \\ W_e \\ 0 \end{pmatrix}$$

由烟平衡计算, 给出各股烟流值, 由式(6)可算出系统中各股烟流值, 由式(6)可算出系统中各股烟流的单位成本。本文按照三种不同原则进行了计算, 将结果列入表-6。

按各自的能级品位把互业抽汽烟与供暖烟折合成热量, 并采用互业单位算出发电与供热成本列入表-7。

表-6全面反映系统中烟流成本分布情况, 揭示了在系统中过程的不同阶段上烟的热经济学不等价性。由表-7可见, 低压供暖抽汽单位成本低于互业抽汽的, 这是符合规律的。按副产品原则算得的供热成本均偏低, 而按其余两原则算, 提高了供热成本, 发电成本降低, 这也符合客观实际。

敏度分析的结果列入表-8

这表明, 供热成本与发电成本对煤价变化非常敏感, 煤价增加1元/GJ, 发电与供热成本几乎增加2元/GJ。煤价增加1元/吨, 互业抽汽增加0.08元/Mcal。各子系统的非能费用Z对热、电成本影响较小, 每小时增加千元或万元, 发电、供热成本仅增加1元/GJ。经核算, 锅炉非能费用每增加100元/小时, 互业抽汽增加0.33元/Mcal, 供暖抽汽增加0.26

元/Mcal, 发电成本增加0.79元/千度。热网加热器HN的非能费用对供暖成本影响较大, 而对工业抽汽和发电几乎无影响。

四、几点结论

1. 矩阵分析可用以研究能量系统。方法简单、直观, 可完全按自然状态描述系统包括成本分布。

2. 文中引用的F-P-R定义很重要, 这些方面尚有进一步探讨的余地。

3. 与其它方法一样, 最后确定成本时, 仍要设定“自然产品”, “产品等同”、“副产品”等附加条件, 这点很可能是客观规律, 而不以采用的分析方法为转移。

4. 敏度分析很重要, 尤其在浮动价格结构下非常有用。

表-1 事件矩阵

烟流 子系统	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
B	+1	+1	-1																						
HPT			+1	-1	-1	-1	-1																		
IPT						+1		-1	-1	-1	-1														
LPT										+1				-1	-1	-1									
G							+1				+1					+1	-1								
TR																	+1	-1	-1	-1					
CES															+1						-1	-1	+1		
CP																			+1			+1		-1	
EHS		-1		+1				+1			+1		+1							+1				+1	+1
HN										+1			-1	-1											

表-3 α_e 矩阵

1	2	3	4	5	6	7	19	20	21	22	23	24	25
$1/E_1$													
													$1/E_{25}$

表-2 各子系统的F-P定义

子系统	燃料 F	产品 P
B	E_1	$E_3 - E_2$
HPT	E_3	$E_4 + E_5 + E_6 + E_7$
IPT	E_6	$E_9 + E_9 + E_{10} + E_{11}$
LPT	E_{10}	$E_{14} + E_{15} + E_{16}$
G	$E_7 + E_{11} + E_{16}$	E_{17}
TR	E_{17}	$E_{18} + E_{19} + E_{20}$
CES	$E_{23} + E_{15}$	$E_{21} + E_{22}$
GP	$E_{19} + E_{22}$	E_{24}
EHS	$E_{24} + E_{25} + (E_4 + E_5 + E_{10} + E_{11} + E_{16})$	E_2
HN	$E_9 - E_{12}$	E_{13}

表-4 (略)

表-5 各子系统的非能费用-(元/小时)

子系统	B	HPT	IPT	LPT	G	TR	CES	CP	EHS	HN
Z	1022	146	102.2	73	11.68	26.3	58.4	3.1	102.2	100

表-7 热电单位成本

	工业抽汽 $C_{\text{工业}}^{\text{元/Mcal}}$	供暖抽汽 $C_{\text{供暖}}^{\text{元/Mcal}}$	发电单价 (元/度)
能级	0.37	0.29	1
副产品原则	13.23	11.17	41.76
产品等同原则	14.3	12.94	37.18
自产品原则	14.1	13.34	36.95

表-8 煤价与非能费用对热电成本的影响程度 $Z_i \times 10^{-3}$

	煤价	Z_B	Z_{HPT}	Z_{IPT}	Z_{LPT}	Z_G	Z_{TR}	Z_{CES}	Z_{CP}	Z_{EHS}	Z_{HN}
工业抽汽 $\frac{\text{元}}{\text{GJ}}$	1.86	2.12	3.15	0.202	0.212	0.212	0.212	0.212	2.12	2.12	0
供暖抽汽 $\frac{\text{元}}{\text{GJ}}$	1.926	2.15	2.2	0.115	6.17	0.22	0.22	0.22	2.34	2.34	9.8
发电 $\frac{\text{元}}{\text{GJ}}$	1.92	2.19	2.44	1.67	4.65	4.65	4.65	4.65	2.19	2.19	0

表-6 计算结果总汇总表

烟流序号	$E (GJ/h)$	自然产品原则 $C (\text{元}/GJ)$	产品等同原则 $C (\text{元}/GJ)$	副产品原则 $C (\text{元}/GJ)$
1	877.04	3.41	3.41	3.41
2	123.86	11.68	10.68	10.81
3	625.8	8.73	8.53	8.55
4	68.58	9.11	8.53	8.55
5	156.1	9.11	9.25	8.55
6	217.76	9.11	8.53	8.55
7	172.55	9.11	9.25	9.94
8	34.78	10.41	8.53	8.55
9	108.75	10.41	10.06	8.55
10	3.4	10.41	8.53	8.55
11	53.53	10.41	10.06	13.22
12	10.15	10.41	10.06	8.55
13	1.02	11.05	10.71	9.25
14	0.2	8.98	8.53	8.55
15	0.036	-1627.65	-1627.04	-1626.97
16	1.7	87.89	93.45	93.49
17	225.78	10.15	10.21	11.48
18	203.2	10.26	10.33	11.6
19	4.52	10.26	10.33	11.6
20	18.06	10.26	10.33	11.6
21	0.02	0	0	0
22	0.05	0	0	0
23	0.02	9.77	8.66	8.55
24	4.7	10.49	10.56	11.78
25	9.8	0	0	0

参考文献

- [1] Valero, A. et al: "A General Theory of Energy Saving" I, II and III. Ed. by R. A. Gaggioli, Computer-aid Engrg. Vol. 3, ASME (1986).
- [2] 宋之平、王加璇: <<节能原理>>, 水电出版社, (1985)。
- [3] 钟史明: "再论热电厂供热热价的讨论", <<区域供热>> (1983)。
- [4] 王汝武: "热电结合中热价计算方法的探讨", <<节能>>, No. 3. (1981)
- [5] 冯霄: "五业企业热电联产决策方法的研究", 西安交通大学博士论文。(1990)
- [6] Gaggioli, R. A. & El-sayed, y. m. "A Critical Review of Second Law Costing Method" Trans. ASME vol. 111, (1989).

工业企业热电联产系统评价准则的研究

冯 霄 钱立伦 蔡颐年
(西安交通大学)

摘 要

评价热电联产系统的准则可分为能量利用性评价准则、经济性评价准则、以及能量利用与经济性相结合的评价准则。本文对现有各种准则进行了分析,找出了适于评价工业企业热电联产系统的能量利用性准则和经济性准则。并在此基础上,提出了新的能量利用与经济性相结合的评价准则—修正净现值。该准则适用于评价工业企业热电联产系统,而现有的该类准则只能评价区域性热电厂。

一 前言

发展工业企业改造锅炉房性质的热电联产,是我国目前发展电力和节约能源的主要方向。

在评价热电联产系统时,工业企业热电联产系统与区域性热电厂,由于各自进行经济比较的基准不同,就不一定能用统一的准则进行评价。

评价热电联产系统的准则可分为能量利用性评价准则、经济性评价准则、以及能量利用与经济性相结合的评价准则。当前,这三类准则各有数种。究竟哪几个能合理评价工业企业热电联产系统呢?

本文对现有的各种准则进行了分析,找出了适用于工业企业热电联产系统的能量利用性评价准则和经济性评价准则,并在此基础上,提出了新的能量利用与经济性相结合的评价准则。

二 现有的能量利用性评价准则

现有的能量利用性评价准则有四个:

(1) 能量利用系数^[1, 2]

$$EUF = (W + Q_a) / F \quad (1)$$

该准则的优点是计算简单。

该准则将热能和电能等同看待,将不同温位下的热量等同看待,完全不计热和电、以及不同温位下的热能在品质上的差别。用该准则评价热电联产系统,总是背压机组最好,而背压机组的进汽参数对该准则无影响。所以,用该准则不能正确地评价热电联产系统的能量利用程度。

(2) 人为热效率^[1]

$$\eta_a = W / [F - Q_a / (\eta_B)_{\text{B}}] \quad (2)$$

该准则采取了热效率的形式,易被接受。

由于该准则对不同温位下的热量不加区别,因而不能正确地评价热电联产系统的能量利用程度。

(3) 炯效率^[1, 3, 4]

$$\eta_a = (W + E_a) / F \quad (3)$$

该准则用参数 η_a 体现能量在品质方面的差别。这是一个被普遍认为合理的准则。但实际上，在热电联产这种场合下，如果完全不计 η_a 在供热中的作用，也不能够正确地评价热电联产系统的能量利用经济性。

(4) 燃料节省率 [1, 5, 6]

$$FESR = 1 - F / [Q_a / (\eta_a) + W / (\eta_o)] \quad (4)$$

该准则能够直接衡量热电联产系统节省燃料的程度，亦即能量利用程度。所以该准则能够正确衡量能量利用程度。

表1给出了四种热电联产系统各评价准则值^[1]。由该表可以看出，EUF、 η_a 和 η_o 均不能得出与FESR一致的排列顺序，均不能算合理的评价准则。

在评价热电联产系统的能量利用性时，工业企业热电联产系统和区域性热电厂有同样的标准，因而可用统一的准则。在现有的能量利用性评价准则中，只有燃料节省率是一个合理的评价准则。

表1 热电联产系统能量利用性评价准则

	F	W	Q_a	EUF	η_a	η_o	FESR
抽凝式	1.0	0.38	0.10	0.48	0.48	0.41	.057
背压式	1.0	0.25	0.60	0.85	0.75	0.40	.235
带余热回收器的 燃气轮机	1.0	0.30	0.55	0.85	0.77	0.44	.265
联合循环 (背压式)	1.0	0.40	0.42	0.82	0.75	0.50	.318

三 现有的经济性准则

现有的经济性准则有以下四个：

(1) 净现值NPV [1, 7]

按投资者所期望的贴现率将不同时期发生的收益和支出贴现相加

$$NPV = \sum_{t=0}^N Y_t (1+i)^{-t} \quad (5)$$

当 $NPV > 0$ 时，方案可接受，否则拒绝。在没有其它条件限制时，NPV越大越好

在一般情况下，净现值NPV体现了投资项目寿命期内所得收益的绝对量。在工业企业热电联产的情况下，电、热的需求一定，NPV恰好表示了在一定贴现率下N年内能量费用的总节约量现值，即由于投资热电联产项目，与以前锅炉供热和买电网电相比，企业在N年内少花的能量费用。

所以，对工业企业热电联产，从纯经济的观点，这个准则是最为合理的。

用净现值作为评价准则，在各种价格都比较合理的情况下，公用事业和区域

供暖热电站最优系统趋于最大匹配, 工业企业热电联产最优系统趋于电匹配。

(2) 内部收益率 IRR [1, 7-9]

内部收益率 IRR 定义为净现值为零时的贴现率, 即

$$NPV = \sum_{t=0}^N Y_t (1+i')^{-t} = 0 \quad (6)$$

时的 i' 称为内部收益率。

内部收益率的经济含义为: 项目方案在这样的利息率下, 在项目寿命期终了时, 不断变化的未被恢复的投资被完全恢复过来。因此, 它是指项目对未被恢复资金的收益能力, 而不是仅指初始投资的收益能力。

热电联产项目为纯投资项目。在这种情况下, 投资者始终处于以某种利率 (i') 来补偿占有资金的状况, 这种利率越高, 项目的经济性越好。若各年的收益相等, 则内部收益率可粗略地理解为单位投资的年平均收益或投资回收期的倒数。

对热电联产投资项目, IRR 反映了投资的效率, 即体现了投资项目收益的相对量。该准则的优点还在于可以避开基准贴现率。另外, 我国目前价格不合理, 由于该准则体现的是相对量, 用当前的价格及用合理的价格计算, 不影响方案的优劣。

所以, 在资金有限的情况下, 对公用事业和区域供暖热电站, 用该准则作为评价项目的纯经济性指标, 是合理的。

(3) 发电成本或供热成本最小 [2, 8, 10]

即单位成本最小。用该准则, 最优系统趋于热匹配。

只有在评价发电量和供热量都相同的系统时, 该准则才是正确的。而实际上, 不同方案的发电量和供热量往往不同, 此时用该准则就会得到不合理的优劣。如表 2 中的方案 I 其 NPV 和 IRR 均不及方案 III 和 IV, 但发电成本却小于那两个方案。

(4) 追加投资回收期 [6] 或回收期 [2, 11, 12]

对于热电联产项目来说, 该准则与内部收益率基本是一致的。

四 现有的能量利用与经济相结合的评价准则

现有的能量利用与经济相结合的评价准则有以下两个:

(1) 加权能量利用因子 [1]

$$(EUF)_{w} = (P_w + P_h Q_h) / P_e F \quad (7)$$

类似的还有经济热效率 [1, 13]

$$\theta = (W + B Q_h) / F \quad (8)$$

式中 $B = P_h / P_e$ 。

这两个准则之间仅相差一常数, 所以, 两者所得结论完全相同。

该准则的物理意义为卖出和买入能量的费用之比。在价格合理的情况下, 用该准则评价的热电联产最优系统趋于多供热、电。

该准则的缺点在于完全没有考虑初投资。

(2) 年度计算费用节省最大 [6, 12]

该准则为与冷凝电厂供电和区域锅炉房供热的分产相比, 年度计算费用节省越多越好:

$$\max Z = (\Delta K + \Delta Y / N) \quad (9)$$

从表面上看,该准则为一经济指标,但由于当与分产相比计算费用节省时,最主要的费用节省是联产所节省的煤的费用,而煤的节省是由于能量利用较分产更合理所致。所以,该指标实质上是一个能量利用与经济相结合的准则。

在评价区域性热电厂及优化区域性热电厂的参数时,年度计算费用节省综合地考虑了能量利用程度和经济效益,是一个非常好的指标。

但在工业企业热电联产中,工业企业对与冷凝电厂供电成本和区域锅炉房供热成本相比不感兴趣,它们是与电费和现场锅炉供热相比。若以此考虑年度能量费用节省最大,这就成了净现值指标,没有与能量利用性相结合。

所以,现有的能量利用与经济相结合的评价准则均不适用于工业企业热电联产系统。

五 一个新的用于工业企业热电联产的能量利用与经济相结合的评价准则

本文提出的能量利用与经济相结合的评价准则—修正净现值,为

$$(NPV)_{\text{修正}} = FESR \times NPV \quad (10)$$

它是给净现值乘上一个变系数FESR,即燃料节省率。该准则可变形为

$$(NPV)_{\text{修正}} = \Delta F \times NPV / (P_r \times F \times FR) \quad (11)$$

式中:

$$FR = [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N] \quad (12)$$

为现值因子。分母 $(P_r \times F \times FR)$ 表示了与热电联产系统等价的分产系统在热电联产项目投资期内的总燃料费现值。净现值除以该分母,表示了由于投资热电联产项目,单位燃料的收益率。单位燃料的收益率与燃料节省量相乘,代表了由于投资热电联产项目所带来的节能和经济效益。

由于FR和 P_r 均为常数,加上或去掉不影响计算结果,所以,在最终的评价准则表达式中,就去掉了这两个常数,以简化表达式。

这个准则适用于工业企业热电联产,由它所得的最优系统或最优参数,总是净现值最大与燃料节省最大之间的某种情况。所以,它综合考虑了能量利用性和经济性,且其组成各量均为工业企业所关心的量。从表2的计算结果可以看到这一点。

表2列出了针对一工业企业热电联产不同方案的各项经济指标。该厂需要40 t/h、4.9bar的蒸汽,用电量1.6亿度/年。方案I为用两台20t/h、24.5bar锅炉,两台B1.0-24/6汽轮机;方案II为1台35t/h、38.2bar锅炉,1台小辅助锅炉,1台B3-35/6汽轮机;方案III为两台35t/h、38.2bar锅炉,1台C6-35/6汽轮机;方案IV为1台35t/h和1台65t/h、52.8bar锅炉,1台C12-50/6汽轮机。取 $i=0.20$, $N=15$ 年。

六 结论

(1) 在现有的能量利用性评价准则中,只有燃料节省率能够正确评价各种热电联产系统的能量利用性。

(2) 在现有的经济性评价准则中,净现值能够正确评价工业企业热电联产系统的经济性。

(3) 现有的能量利用与经济性相结合的评价准则均不适用于工业企业热电联产系统。

(4) 本文提出了一个用于评价工业企业热电联产系统的能量利用与经济性相结合的评价准则—修正净现值。

表2 热电联产方案的评价准则

		方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
(NPV) _X	万元	1.02	401.0	392.7	859.3
(NPV) _H	万元	236.7	801.6	1231.9	2648.4
(IRR) _X		20.0	37.3	29.1	30.3
(IRR) _H		29.6	51.1	45.0	47.7
C _G	分/度	4.5	3.6	5.6	6.0
(EUF) _{vw, X}		1.500	1.786	1.664	1.786
(EUF) _{vw, H}		1.351	1.677	1.774	2.098
(NPV) _{im, X}		0.0125	32.32	4.779	9.607
(NPV) _{im, H}		2.909	64.61	14.99	29.61

符号表

C 成本 元/单位能量

E 焓 kW

EUF 能量利用系数

F 燃料能 kW

FESR 燃料节省率

FR 现值因子

I 利率

IRR 内部收益率

K 运行费用 万元/年

N 投资项目寿命期 年

NPV 净现值 万元

P 价格 元

Q 热量 kW

W 电功 kW

Y 投资 万元

Z 年度计算费用节省 元/年

Δ 差

η 效率

θ 经济 效率

下角标

a 人为

B 锅炉

C 电, 发电

e 焓

f 燃料

H 合理价格

h 供热

im 修正

o 冷凝电厂

u 有用

vw 加权

X 现行价格

参考文献

[1] Horlock, J.H., Cogeneration: Combined Heat and Power, Thermodynamic and Economics, Pergamon Press, 1987.

[2] Chandra, K., Topping Cycles Cogeneration for Enhanced Oil Recovery,