

· 研究与探讨 ·

能量系统分析优化中排弃烟计价探讨*

(华南理工大学) 陈清林 华 贲 王松平 尹清华

[摘要] 在烟分析及烟经济分析的基础上,说明了排弃烟与待回收烟的关系,就不同的回收情况,系统地研究了能量系统中排弃烟的计价问题;指出对于能量的逐级回收利用,传统的按物流的序贯分析计价方法并不适用于排弃烟的计价,基于能量系统双子系统模型,提出了当量计价的概念以解决排弃烟的计价问题。最后以催化裂化烟气能量回收方案的演变过程及排弃烟计价的变化表明了此计价方法的实际应用情况。

关键词 烟计价 能量回收 烟经济学 能量系统中图分类法 TK01

1 引言

烟经济学方法用于能量系统分析、优化,提高装置的能量转换与利用效率的过程中,涉及一系列能量多极利用与转换问题。在实际工业过程中经常碰到类似排弃烟再回收利用的实例,如加热炉排气余热回收利用,催化裂化装置再生烟气动与热能回收等,这些余能的回收对降低整个装置的能耗有着十分重要的意义。

排弃烟的计价,涉及到系统全局的优化和效益,不过,目前尚无统一的策略与方法。针对能量系统,我们曾提出了适应于排弃烟计价的双子系统模型,系统中辅助回收子系统的作用是分担主子系统的部分费用,其涉及的主要对象是排弃烟及其所能表现的价值。排弃烟利用状况不同,主子系统优化的情况也将不一样,主子系统优化的烟经济目标应

包括不确定项排弃烟的价值 $-c_0 Ex_0$ 。基于此,本文探讨了排弃烟计价的策略与方法及其对系统分析、优化的影响。

2 排弃烟与待回收烟

排弃烟是从系统(或装置)中排入环境不再利用的物流或能流所携带的烟,广义地说,在系统流程结构确定的前提下,任何一股非最终产品的烟流,在未确定是否再利用之前,针对某一组元都可以将它看成是一股排弃烟流,其中包括任何计划排入环境的烟流。本文所涉及的排弃烟主要指系统或装置所排出的携带废热、余能等低品位能量的能流或物流。通过烟分析与烟经济分析,一旦确定排弃烟的回收再利用有利可图,便可增设能量回收装置以减少能量(烟)的排弃损失,提高系统的用能效率,这样排弃烟则变为待回收烟。作为系统中有用

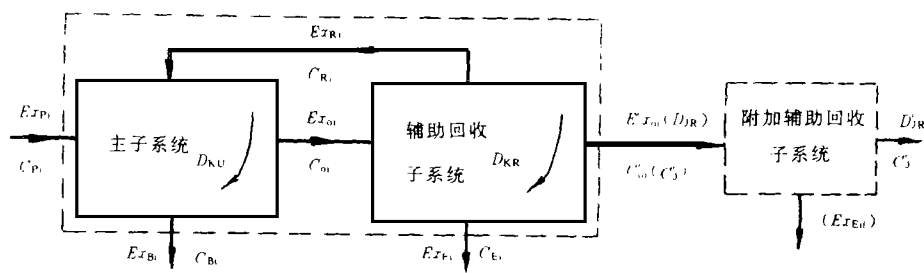


图 1 能量系统双子系统模型

的副产能源产品,排弃烟可以为系统主产品分担部分费用以体现本身的价值,曾提出的如图 1 所示的能量系统通用的双子系统模型^[1],则充分说明了待回收烟与排弃烟之间的关系。

在烟经济分析评价中,排弃烟是相对于整个系统而不是针对装置内正好存在一不再利用的排弃

* 国家自然科学基金项目子课题 批准号: 29376240

本文联系人 陈清林 男 1964年生 讲师 510641 广州 华南理工大学化工所

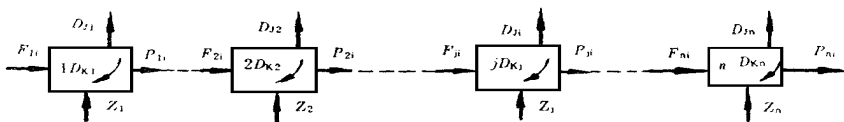


图 2 能量系统中能量演变的简单序贯表示法

烟流的某一子系统而存在的。就排弃烟价 C_j 而言, 传统的处理策略一般来说存在以下两种情形:

(1) $C_j = 0$, 当 D_{jR} 直接排弃时, 则其本身毫无价值, 即系统没有设置辅助回收子系统, 模型中从主子系统中排出的烟流 $E_{x_{oi}}$ 即为排入环境的烟流 D_{jR} 。

(2) $C_j < 0$, D_{jR} 的价值为负值意味着主子系统的副产烟流 $E_{x_{oi}}(D_{jR})$ 在排入环境前需要消耗额外的烟流及费用以达到环保等方面对排放的要求, 如物流排入环境前的冷却、脱硫等净化处理等。

3 序贯计价策略

当能量系统表示成多个子系统串联组成时, 即前一个子系统的某些输出烟流作为下一个子系统的输入烟流, 考虑如图 2 所示的简化了的情形^[2], 在这采用了 Tsatsaronis 等提出的燃料烟与产品烟的概念, 且可以将后续的系统作为一系列附加能量回收子系统看待。传统的烟计价方法是借助价值平衡方法, 采用序贯计价策略, 任意子系统 j 中输出烟流的烟价均可由子系统 j 的输入烟价及其设备投资费用求得。

对子系统 j , 存在如下烟分析方程及费用平衡方程:

$$\sum_i F_{ji} - \sum_i P_{ji} = D_{Kj} + D_{jR} \quad (1)$$

$$\sum_i C_{Pji} P_{ji} = \sum_i C_{Fji} F_{ji} + Z_j \quad (2)$$

式中, F_{ji} , P_{ji} 为子系统 j 中第 i 种输入、输出烟流率; D_{jR} 为子系统 j 中排弃烟流。

序贯计价方法处理联产烟价是针对系统中存在两个以上的产品烟流, 而对排弃烟则作无价处理。 P_{ji} 作为子系统 j 的联产烟流, 其价值可由系统 j 的费用平衡方程求得。费用平衡方程中并未考虑排弃烟及内部烟损耗的价值, 间接地将其价值赋为零。

应用费用平衡方程, 当系统只有一种输出烟流时, 则输出烟价可以唯一确定; 如果一个单元或子系统内包含多股烟流的输出, 则需采用相应的策略

引入适当的附加经济方程进行烟流间费用的分摊, 如提取法、均值法、副产法及增量法等^[3], 方能确定唯一解。附加经济方程引入的方法与策略要视研究对象及分析的目的等具体情况而定, 且已超

出了热力学的范围, 进入了经济学领域, 存在一定的人为性。

从以上序贯计价策略可知, 随着能量的多次转换与多次利用, 烟流量逐渐减少, 加上能量转换设备的附加投资费用, 对构成系统的一系列子系统应用费用平衡方程求得的输出烟价逐渐增加。但对于系统的排弃烟被多次回收利用的情形, 序贯计价方法将排弃烟从以前的无价处理转变成按联产烟价来计价, 并以此价来计算后续回收子系统的回收产品烟价, 以致得出整个系统中同类回收烟流烟价相差甚远的不合理结果, 所以事先所给定的排弃烟价对其后续的回收利用毫无意义, 以此说明序贯计价方法在大多数情况并非是完整的烟计价方法。此方法一直是某些研究者所追随的方法, 很难反映出排弃烟待回收利用的真正价值, 特别是对于含有核心的能量工艺利用环节的过程系统^[4], 因此必须有一种新的计价方法来估算排弃烟待回收的价值。

4 当量计价策略

随着技术经济条件的变化, 原设计排弃的烟流在经济上有回收再利用的可能, 以下针对催化裂化烟气能量回收系统的演变来探讨排弃烟的计价方法。

图 3 表示了催化裂化烟气能量回收系统的演变过程以及技术经济变化与能量回收的不断深入之间的关系。

早期的催化裂化再生烟气大都是经烟道直接排入环境, 有些只是在烟道中简单地设置 CO 锅炉发生蒸汽以回收再生烟气中 CO 燃烧的化学能和烟气热能; 自 70 年代以来, 随着 CO 完全燃烧技术及节能技术的发展, 再生烟气中的压烟及热烟得到了较充分的利用, 大部分装置设置了由烟气轮机与余热锅炉组成的能量回收系统; 另外联产蒸汽利用背压及凝汽透平再产动力, 通过降低真空度, 回收乏汽

方法^[1],对每一次原排弃的烟流进一步利用后所形成的流程方案进行了解析协调优化设计.各方案优化结果中能量回收情况及一系列待回收烟价见表

1 计算中所采用的经济边界条件为:电价: $0.36\text{¥}/(\text{kW}\cdot\text{h})$,相当于烟价: $0.1\text{¥}/\text{M J}$;冷却水价: $0.4\text{¥}/\text{t}$;燃料油价: $600\text{¥}/\text{t}$

表 1 不同回收方案的能量回收情况

回收方案	动力回收, kW	热烟回收, kW	总经济效益, 万 ¥ /a	$C_{01}, \text{¥}/\text{M J}$	$C_{02}, \text{¥}/\text{M J}$	$C_{03}, \text{¥}/\text{M J}$
直接排弃	0.0	0.0	—	0.0	—	—
烟机动力回收	6 470	—	1 682.76	0.041 0	0.0	—
联产蒸汽再产动力	9 130	—	2 080.87	0.050 7	0.015 9	-0.084 0
乏汽潜热再利用(采暖)	8 960	1 420	2 495.41	0.060 8	0.030 1	0.025 0

从表 1 可以看出,早期的再生烟气直接排入大气,没有任何回收,其烟价为零;而从烟机动力回收方案到烟机、废热锅炉动力蒸汽联产方案因充分回收了烟气中高价值的压烟及热烟,再生烟气的待回收烟价 C_{01} 逐渐升高,说明其价值随烟气能量回收的加深而增大;当烟机排气直接排弃而未回收其热能时,烟价 C_{02} 为零,由废热锅炉回收其中的热烟发生蒸汽时,烟价 C_{02} 大于零.同理,当联产蒸汽再产动力过程中,如采用冷却水来冷凝汽透平排出的乏汽,则因系统消耗冷却水,致使 C_{03} 小于零,但如适当降低真空度,提高乏汽的冷凝温度,则可以将乏汽的潜热用作加热采暖水的热源,使得烟价 C_{03} 大于零.且从表 1 中还可看出,装置的年回收经济效益随能量利用的不断加深而逐渐增大,说明再生烟气的价值随能量回收的加深而升高.综上所述,借助于多个回收方案排弃回收烟价 C_0 值的对比,对能量的有效利用及选择适当的回收方案有一定的指导作用.

6 结论

通过以上排弃烟计价策略的深入探讨以及实例应用研究,可以得出以下结论:

(1) 给定系统流程前提下,系统中排弃烟价 C_0 存在两种情形, $C_0 = 0$ 及 $C_0 < 0$

(2) 随着能量利用或转换的不断深入以及技术经济的不断发展,一旦原来的某一排弃烟流被进一步利用时,这股烟流便成为待回收烟,可采用当量计价策略,即由从它本身所回收的烟流品质和回收量来决定这股烟流(待回收烟)的成本

(3) 从催化裂化烟气能量回收实例可以看出:应用当量计价策略,原排弃烟流(待回收烟)价值随能量回收不断深入而逐渐增加,真实反映了系统能量回收的本质和效益,以此可获得真正的优化用能设计方案.

参考文献

- 1 Hua B, et al. A new exergoeconomic approach for analysis and optimization of energy systems. *Energy-The International Journal*, 1997, 22(11): 1071.
- 2 Lozano M A and Valero A. Theory of the exergetic cost. *Energy-The International Journal*, 1993, 18(9): 939.
- 3 Reistad G and Gaggioli R. Available-energy costing, Thermodynamics, 2nd law analysis, ACS Symposium Series, 1980, 122 131~ 142.
- 4 华贲. 工艺过程用能分析及综合. 北京: 烃加工出版社. 1989年.
- 5 何立人. 催化裂化烟气能量回收系统烟分析. 炼油设计, 1985, (3).

(渠源 编辑)

湿空气透平 (HAT) 循环的研究发展现状 = **The present Status of Research and Development of Humid Air Turbine (HAT) Cycles** [刊, 中] / Wang Yongqing, Yan Jialu (Harbin Institute of Technology), Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (5). - 387~ 391

Described in this paper is a new type of high-efficiency thermodynamic cycle, the so-called humid air turbine (HAT) cycle and the conception of its related cycles, specific features as well as the present status of research and development of HAT. Key words: thermodynamic cycle, electrical power generation system, humid air turbine, HAT cycle

能量系统分析优化中排弃焓计价探讨 = **An Exploratory Study of the Rejected Exergy Costing in the Optimization of Energy System Analysis** [刊, 中] / Chen Qinglin, Hua Ben, Wang Songping, et al (South China University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13 (6). - 392~ 395

Based on an analysis of exergy and its economic aspects the authors expound the relationship between rejected exergy and the exergy to be recovered. After an systematic study of the rejected exergy costing in an energy system under various conditions of recovery it is pointed out that with respect to the stage-by-stage recovery and utilization of energy the traditional costing method in accordance with a material flow sequential analysis is not applicable to the costing of rejected exergy. On the basis of an energy system dual subsystem model proposed is an equivalent costing conception aimed at solving the problem of rejected exergy costing. Finally, the practical application of this costing method has been demonstrated through the evolution process of a catalytic cracking gas energy recovery scheme and the variation of rejected exergy costing. Key words: exergy costing, energy recovery, exergy economy, energy system

百叶窗煤粉浓缩器内流场的数值模拟研究 = **A Numerical Simulation Study of the Flow Field in a Louver Pulverized Coal Concentrator** [刊, 中] / Fan Weidong, Gao Jihui, Wu Shaohua, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 396~ 398

Through the use of a dual-equation turbulence model a numerical simulation is conducted of the flow field in a louver pulverized coal concentrator. The results obtained agree well with test ones. From the viewpoint of the flow field distribution features an analysis is conducted of the effect of blade spacing and cover ratio on air flow and gas-solid separation. It is noted that the blade spacing has little effect to the air flow distribution and an increasing blade cover ratio can markedly lead to a more drastic deflection of gas flow, thereby enhancing the effect of concentration. Key words: louver, pulverized coal concentrator, numerical simulation, gas-solid separation

关于溶解式制冷机和ЛАТЫ ЛЕВ 教授商榷 = **An Exchange of Views with Professor Latershev Concerning a Dissolution Type Refrigerator** [刊, 中] / Chou Qiaoli, Li Xinqiu, Xu Guang, et al (Nuclear Energy Design Institute of Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 399~ 401

First, a description is given of the basic principles of a dissolution type refrigerator invented by Professor Latershev V P of Russian Refrigeration Research Institute. Then, on the basis of the experience and understanding of the authors some observations are given regarding the possible difficulties such refrigerators may encounter in the course of their technical popularization. Key words: refrigerator, fusion heat, COP value, stability