

单元初始烟效率和烟流价值分布

杨 昭, 刘 斌, 李 汛

(天津大学热能研究所, 天津 300072)

摘 要: 分析了烟的不等价性, 在此基础上提出了烟弹性系数、初始烟损耗率等概念。以烟弹性系数为计算基础, 分析了在单一系统内各组元烟效率对整个系统烟效率的影响, 导出了初始烟损耗率的计算方法, 并以实例进行了分析计算。分析表明: 系统内各组元的单位烟所消耗的初始烟更能反映系统各组元的烟耗特性, 从而有利于更科学地分析系统各单元的节能潜力。

关 键 词: 烟; 弹性系数; 烟流分布

中图分类号: TK11.5 文献标识码: A

1 概 述

烟的直接提出是因为不同能量形式的不等价性, 即“能质”问题。在以热力学第一定律为理论基础的能量分析系统中, 只考虑了整个系统的能量平衡, 其分析结果不能真正反应热力系统内各设备的热力完善性和系统的节能效果。热力学第二定律认为系统能量在转换过程中受到熵增的影响, 能量的质量下降。为了实现不同能量的科学比较性, 国内外学者提出了烟的概念。然而在单一热力系统中, 由于终端使用目的不同, 系统各个组元部分的烟是不是具有同样的价值? 这一个问题值得商讨。不过问题

在这里提出, 并不影响烟作为评价能量标准的统一性和有效性。

目前国内外烟经济分析的研究主要体现在深层次, 更具体化的烟定义、烟计算、系统烟的结构化分析、不同热力过程系统烟分析^[1~4]。文献[5]提出过烟的不等价性的概念。在这些研究中, 集中体现的是系统内各组元的烟转换效率和各组元的热力学完善性。为进一步研究系统各组元烟损耗对整个系统热力学完善性的影响, 本文在这些研究的基础上, 提出烟弹性系数及初始烟损率的概念, 并提出应结合系统内各组元的烟效率和终端使用目的, 来评价系统过程中各组元真实的烟损耗。

2 烟的不等价性分析

2.1 数学分析

本文以一串联的烟流系统为例来分析烟的不等价性分析。

从烟和焓的总量平衡出发, 建立平衡式:

$$Ex = Ex_i + \sum_{j=1}^i An_j \quad (1)$$

收稿日期: 2001-08-23; 修订日期: 2003-03-31

基金项目: 天津市科技发展基金资助项目(23100411); 国家 985 学科建设基金资助项目(X03140)

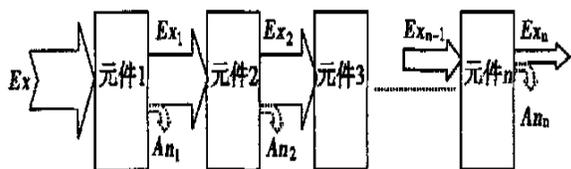
作者简介: 杨 昭(1960-), 女, 河北大成人, 天津大学教授, 博士生导师。

是适用的。

参考文献:

[1] KAMAL M. Al-Harbi. application of the AHP in project management [J]. *International Journal of Project Management* 2001, 19: 19-27.
[2] 卢志刚, 张 炜, 王新华, 等. 多目标多层次模糊综合评价在电力企业运营状况评价中的应用[J]. *电网技术*, 2002 26(2): 54-

[3] 黄 琦, 庞昊勇. 火电厂建设项目后评价指标体系及其内容构建[J]. *太原理工大学学报*, 1998 29(5): 492-495 554.
[4] 任浩仁, 陈坚红, 盛德仁. 萧山发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1996.
[5] 任浩仁, 盛德仁, 陈坚红. 嘉兴发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1997.
[6] 任浩仁, 胡美丽, 陈坚红, 等. 北仑发电厂工程后评价[R]. 杭州: 浙江大学, 1995.



Ex: 系统火用; An: 系统损

图 1 串联系统火用流分布图

从平衡式中, 看不出火用在各元件中不等价性。考虑各元件火用的利用率, 定义火用效率或单位火用损耗:

$$\eta_{ei} = \frac{Ex_i}{Ex_{i-1}} \quad (2)$$

$$k_{ei} = \frac{1}{\eta_e} = \frac{Ex_{i-1}}{Ex_i}$$

对于整个系统的火用效率或单位火用损耗就可以得下式:

$$\eta_e = \prod_{i=1}^n \eta_{ei}$$

$$k_e = \prod_{i=1}^n k_{ei} = \frac{Ex}{Ex_n} \quad (3)$$

2.2 火用弹性系数

从上面所分析的还不能得出火用在工程系统中的不等价性, 为此定义各组元的火用弹性系数 ξ_i , 即每单元增加相同的火用时, 对整个系统的火用效率所产生的影响:

$$\xi_i = \frac{\partial \eta_e}{\partial Ex_i} \quad (4)$$

以火用弹性系数增量 ξ_i 为考虑对象, 对第 i 个元件进行分析, 当输入火用不变, 输出火用增加 ΔE 时, 系统的火用效率增量为:

$$\xi_i = \prod_{m=1}^{i-1} \eta_m \frac{\Delta E}{Ex_i} \prod_{m=i+1}^n \eta_m \quad (5)$$

对第 $i+1$ 个元件进行分析, 当输入火用不变, 输出火用增加 ΔE 时, 系统的火用效率增量为:

$$\xi_{i+1} = \prod_{m=1}^{i+1} \eta_m \frac{\Delta E}{Ex_{i+1}} \prod_{m=i+2}^n \eta_m \quad (6)$$

对 ξ_{i+1} 和 ξ_i 进行分析, 可有:

$$\frac{\xi_{i+1}}{\xi_i} = \frac{1}{\prod_{m=i+1} \eta_m} \quad (7)$$

从式(7)可以看出, 由于火用效率总是小于 1, 所以 ξ_{i+1}/ξ_i 总是大于 1, 即第 $i+1$ 个元件的火用和第 i 个元件的火用是不等价的, 越靠近使用末端的元件的火用(目的火用)所具有的价值越高。这一点其实不难理

解, 因为系统末端的火用是经过前面各元件转化而来, 所以在一个系统中使用末端火用(目的火用)将会决定整个系统的火用使用效率。因此在提高系统运行效率时, 应提高设备侧火用的使用效率, 这正体现了 DSM(需求侧管理)的理念。

2.3 各组元输出单位火用所消耗的初始火用

以火用为主要评价指标的火用经济分析法考虑了不同能量之间的质量差别, 它与以热力学第一定律为理论基础的经济分析法相比有较多的优越性, 但在进行火用经济性评价时, 是以系统内各个独立组元为考虑对象, 计算的是各组元的相对效率, 没有考虑火用之间的不等价性, 因此在某种程度上不能全面反应系统内各组元真正的火用(能量)使用效率。火用的不等价性是以初始火用为考虑基础, 计算的是系统内各组元火用损耗与初始火用之间的关系, 从而建立了整个系统能耗的评价基础(初始火用), 更能客观地反应整个系统内各组元耗能特性, 从而更科学地指明系统各组元的节能潜力。

考虑此系统各单元的火用之间的不等价性, 应以初始火用为基准, 计算各组元为获得单位火用时所需要的初始火用:

$$Ex_{ior} = \frac{Ex}{Ex_i} \quad (8)$$

其中: Ex_{ior} : 组元 i 的初始火用消耗。

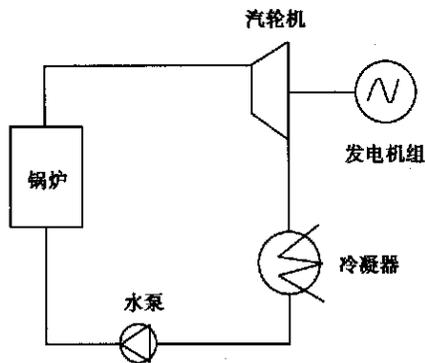


图 2 发电机组系统图

3 火用不等价性实例分析

考虑机组容量为 6000 kW 的发电机组, 由一台 25 t/h 锅炉供汽, 汽轮机进气压力为 3.5 MPa, 温度为 435 °C, 排气压力为 0.026 MPa, 干度为 0.93, 汽轮机输出功率为 5450 kW, 发电机组发出功率 5250 kW, 水泵功率为 45 kW, 耗煤 3980 kg/h, 发热值 20934 kJ/kg, 并且冷凝器的余热没有得到利用, 整个系统

只用来发电, 因此火用流图如图 3 所示。

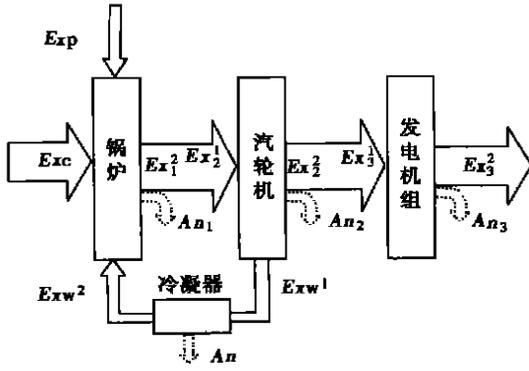


图 3 发电机组系统组元火用流图

其中 E_{xc} 表示燃料火用, E_{xp} 表示泵输入火用, E_{xw}^2 表示冷凝器回水火用, An_1 表示锅炉出口处的火用, Ex_1^2 表示锅炉出口火用, Ex_2^1 表示汽轮机的进口火用, Ex_2^2 表示汽轮机到发电机组的出口火用, Exw^1 表示冷凝器的出口火用, An_2 表示汽轮机出口处的火用, Ex_3^1 表示发电机组的进口火用, Ex_3^2 表示输出火用, An_3 表示发电机组出口处的火用, An 表示冷凝器出口处的火用。考虑火用流在系统中的传递过程特性, 不考虑过程损失时, 则有以下式:

$$\begin{aligned} E_{xc} + E_{xp} + E_{xw}^2 &= An_1 + Ex_1^2 \\ E_{x_1^2} &= Ex_2^1 \\ E_{x_2^1} &= Ex_2^2 + E_{xw}^1 + An_2 \\ E_{x_2^2} &= Ex_3^1 \\ E_{x_3^1} &= E_3^2 + An_3 \end{aligned} \quad (9)$$

各点火用按文献[4~5]给出的公式计算, 环境温度 $T_0 = 0^\circ\text{C}$, 则有表 1。

表 1 各组元火用平衡表

组元名称	输入火用 E^1	输出火用 E^2	火用 An	火用效率 η_e	火用耗 k_e
锅炉	22 894	9 772	13 122	42.7%	2.34
汽轮机	9 772	8 586	1 186	87.6%	2.67
发电机组	5 450	5 250	200	96.3%	4.36
冷凝器	3 136	124	3 012	—	—

表 1 中汽轮机的输出火用包括了乏汽火用 (3 136 kW), 其火用效率 (87.6%) 要比不包括乏汽火用的效率 (55.8%) 高, 这个效率是按本文所定义的火用效率计算的。

考虑此系统的火用之间的不等价性, 并以初始火用为计算基准, 计算各组元为获得单位火用时所需要的

初始火用及火用弹性系数, 结果见表 2。

表 2 某发电系统中各组元输出单位火用所消耗的初始火用 (kJ/kJ) 及火用弹性系数比

组元名称	锅炉	汽轮机	发电机组
初始火用消耗	2.34	2.67	4.36
火用弹性系数			
锅炉	1.0	1.14	1.86
汽轮机	—	1.0	1.63
发电机组	—	—	1.0

比较表 1 和表 2, 可以明显地看出, 如果只以单独组元的火用效率为考虑对象, 锅炉具有最低的火用效率, 其次为汽轮机, 最后为发电机组。如果以各组元输出单位火用所消耗的初始火用为考虑对象, 则发电机组具有最高的初始火用损率, 而锅炉具有最低的火用消耗率, 发电机组的输出火用所具有的价值最高, 为汽轮机输出火用的 1.63 倍, 为锅炉输出火用的 1.86 倍。

4 结论

- (1) 通过火用弹性系数的比较, 可以知道系统内各组元的火用值是不等价的, 使用终端组元的火用具有最高的价值;
- (2) 以组元单位火用所消耗的初始火用作为火用经济分析的辅助手段, 有利于完善火用经济分析法;
- (3) 计算组元单位火用所消耗的初始火用有利于了解系统各组元的火用耗特性和系统的火用耗特性, 更利于开展系统的节能工作。

参考文献:

- [1] MARCIO MACEDO COSTA, ROBERTO SCHAEFFER, ERNST WORRELL. Exergy accounting of energy and materials flow in steel production systems [J]. *Energy*, 2001, 26: 363-384.
- [2] YANTOVSKI E. Exergonomics in education [J]. *Energy*, 2000, 25: 1021-1031.
- [3] MASCER ISHIDA, JUN JL. Graphical exergy study on single stage absorption heat transformer [J]. *Applied Thermal Engineering*, 1999, 19: 1191-1206.
- [4] SI-MOON KIM, SI-DPEK OH, YONG-HO KWON, et al. Exergoeconomic analysis of thermal systems [J]. *Energy*, 1998, 23: 393-406.
- [5] 布罗斯基 B.M. 火用方法及其运用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [6] 韩光泽, 华 贲, 陈清华, 等. 火用的普遍化表达式与各种具体形式的火用 [J]. 华北电力大学学报, 2000, 27(增刊): 35-39.

(辉 编辑)

自动同步离合器棘轮棘爪碰撞问题的讨论 = **Some Observations Concerning the Collision of Ratchet and Pawl in an Automatic Synchronizing Clutch** [刊, 汉] / SONG Cheng-jun, WEI Jun-bo, HUO Zhao-bo (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), GONG Li-xin (Luoyang North Yichu Motor Car Co. Ltd., Luoyang, China, Post Code: 471031) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 301 ~ 303

A dynamics simulation model for the ratchet/pawl mechanism of an automatic synchronizing clutch was set up with the help of ADAMS dynamics analysis software. A dynamics analysis was conducted of the collision of ratchet and pawl along with a discussion from a theoretical perspective. **Key words:** ratchet/pawl mechanism, collision force, automatic synchronizing clutch, differential angular speed

Delphi 和 AHP 集成的火电建设工程模糊综合评价方法 = **Fuzzy and Comprehensive Evaluation Method for a Thermal Power Plant Construction Project by the Integration of Delphi Method and AHP (Analytical Hierarchy Process)** [刊, 汉] / CHEN Jian-hong, SHENG De-ren, LI Wei (Institute of Power Plant Thermal Energy Engineering and Automation under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027), MENG Wei (Zhejiang Provincial Electric Power Development Co., Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 304 ~ 307

Based on the principles of system engineering, through an argumentation performed by experts and with the use of Delphi method the authors have set up a multi-hierarchy comprehensive-evaluation index system for thermal power plant construction projects. With the help of an analytical hierarchy process established was a relatively consummate evaluation model and method for the above-cited projects, and the procedures and method for project comprehensive evaluation were also determined. The calculation results of some actual cases indicate that the evaluation method based on a multi-hierarchy index system and multi-objective synthesis makes it possible to quantitatively address many influencing factors involved in a thermal power plant construction project, thereby ensuring the objectivity and precision of project evaluation. The authors have also explored the following items: the establishment of an index system for the multi-hierarchy comprehensive evaluation of thermal power plant construction projects, the determination of index weights and the creation of a fuzzy comprehensive evaluation model, etc. **Key words:** thermal power plant construction project, Delphi method, analytical hierarchy process, index system

单元初始火用效率和火用流价值分布 = **Efficiency of Unitary Primary Exergy and Distribution of Exergy Flow Values** [刊, 汉] / YANG Zhao, LIU Bin, LI Xun (Heat Engineering Institute under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 307 ~ 309

After an analysis of the non-equivalence of exergy the authors put forward a series of concepts, such as exergy elastic factor, primary exergy loss rate, etc. On the basis of the exergy elastic factor analyzed is the influence of exergy efficiency of various constituent elements in an unitary system on the exergy efficiency of the system as a whole. A method for calculating the primary-exergy loss rate is derived and the analytical calculation of a specific case given. The results of the analysis indicate that the primary exergy consumed by the unitary exergy of various constituent elements in the system can truthfully reflect the exergy consumption characteristics of these constituent elements, thus facilitating a scientific analysis of the energy-saving potential of the various constituent elements of the system. **Key words:** exergy, elastic factor exergy flow distribution

折流杆换热器在火力发电厂低压加热器上的应用 = **The Use of a Baffle-rod Heat Exchanger on the Low-pressure Heater of a Thermal Power Plant** [刊, 汉] / HUANG De-bin, DENG Xian-he (Education Ministry Key Lab-