

# 考虑生态效应的能量系统三重优化分析方法

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001) 刘仕强 杨玉顺

**摘要:** 作者在现有热经济学中的能量成本方程中加入总环保费用一项, 从而对于生态效应的考虑能够实现热经济学上的定量分析。并在此基础上提出能量系统的三重优化分析方法。

**关键词:** 热经济学; 能量系统; 优化分析

中图分类号: TK12:F407.2 文献标识码: A

## 1 引言

能量守恒和质量守恒定律告诉我们, 人类的生活、生产以及其它过程, 在一定意义上说是能量转换和物质转换的过程, 因为能量和物质都要遵守守恒定律, 而不生不灭。所谓转换只是改变其存在的形式而已。但是这些转换并非是无代价的, 这个代价首先是伴随着转换过程而排换废物。人们要生产所需要的物质, 必同时生产废物, 想避免是不可能的。人们已开始意识到我们生存的地球的有限性, 而且感到了—个不断持续并增长着的永不停息的物质生产过程对周围环境的危害。因此, 人们把更多的目光投向了环境保护和生态平衡上。但是在目前的热经济学中生态环保因素还没有得到定量的考虑, 是否能实现生态效应在热经济学中实现定量分析, 对此本文作者进行了研究。

## 2 考虑生态效应的热经济学

为考虑越来越受到重视的环境保护和生态平衡问题, 现有热经济学的能量成本方程中应该加入独立的环保成本这一项费用, 从而热经济学的成本方程改写为:

$$C_{\text{total}} = E_{\text{in}}C_{\text{in}} + \sum C_{\text{ni}} + \sum C_{\text{hi}} \quad (1)$$

式中,  $E_{\text{in}}$ 、 $C_{\text{in}}$  为输入系统的燃料及其单价即总能量费用<sup>[1]</sup>;  $\sum C_{\text{ni}}$  为总非能量费用<sup>[1]</sup>;  $\sum C_{\text{hi}}$  为总环保费用。

总环保费用的定价要综合考虑能量的量和质的两方面因素, 即综合考虑系统所输入能量的形式和数量, 输出污染物的排放量, 还要结合考虑表示能量转化深度的生态学目标函数。另外, 还要考虑污染物的成分对生态破坏的不同形式, 如热的、化学的、辐射的、生物等的。

对于输入能源要区分可再生能源和不可再生能源、污染能源和无污染能源的区别<sup>[2]</sup>。对于使用可再生能源和无污染能源要加以鼓励, 如太阳能, 风能等。这就需要在能源的定价上提供更为合理的原则,

充分考虑环保因素对经济性的影响。

通常能量转化的程度越深, 无益的排放物就越少。生态学目标函数<sup>[3]</sup> 在此基础上区分了能量和燃料的本质区别, 体现了能量的转化深度。对此, 作者建议引入生态学目标函数到考虑生态的热经济学中作为环保费用的一个评价标准。

## 3 能量系统的三重优化分析方法

在王补宣等人提出的能量系统的热经济学综合技术分析的思想启发下, 提出了如下的模型:

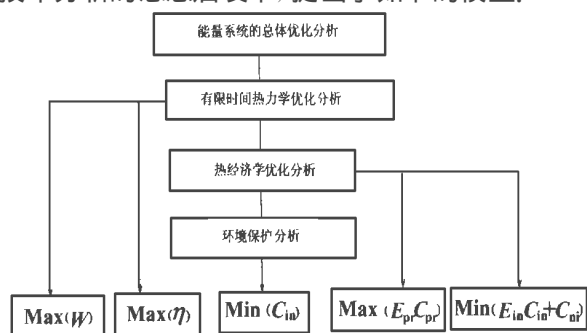


图1 能量系统三重优化分析结构图

图中,  $W$  表示的是能量系统的输出功率;  $\eta$  表示的是能量系统的效率;  $E_{\text{in}}C_{\text{in}} + C_{\text{ni}}$  表示的能量系统的总成本包括能量费用和非能量费用;  $E_{\text{pr}}C_{\text{pr}}$  表示的是能量系统的总收益;  $C_{\text{hi}}$  表示的是能量系统破坏生态平衡所须支付的总环保费用。

三重优化分析的思想是指从技术层次、经济层次、生态层次的三个角度来实现能量系统的最大完善性。技术层次的优化分析采用的是有限时间热力学优化分析方法以求  $\text{Max}(W)$  和  $\text{Max}(\eta)$ , 经济层次的优化分析采用的是热经济学优化分析方法以求  $\text{Max}(E_{\text{pr}}C_{\text{pr}})$  和  $\text{Min}(E_{\text{in}}C_{\text{in}} + C_{\text{ni}})$ , 生态层次的分析以求  $\text{Min}(C_{\text{hi}})$  来进行定量分析<sup>[4]</sup>。

## 4 太阳能装置三重优化分析的初步尝试

对于技术层次的分析, 太阳能装置可以简化为有限时间热力学的如下分析模型<sup>[4]</sup>:

图2中,  $Q_s$  表示吸热板所吸收的太阳能;  $Q_c$  表示被工作流体所吸收的太阳能;  $Q_0$  表示吸热板损失的太阳能;  $A_c$  为吸热板的采光面积;  $W$  为太阳能热

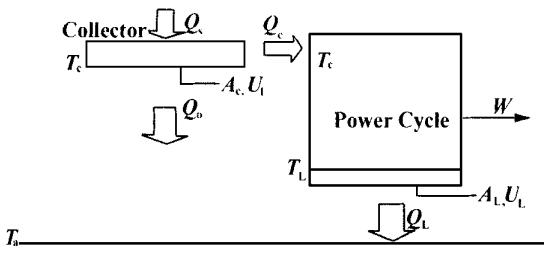


图 2 有限时间热力学太阳能热机模型

机所输出的功;  $U_l$  为总热损失系数;  $T_a$  为环境温度。由有限时间热力学分析可得如下的优化结论:

$$W_{\text{mm}} = \left[ \frac{\tau_{\text{st}}^{1/2} - 1}{(U_l / U_1)^{1/2} + 1} \right]^2 \quad (2)$$

式中:  $W = \frac{W}{U_l A T_a}$ ,  $\tau_{\text{st}} = \frac{T_{\text{st}}}{T_a}$ ,  $T_{\text{st}}$  是集热器的滞止温度(最大温度)。

对于生态层次的分析, 太阳能属于可再生和无污染的一次能源, 它对环境生态基本无影响, 因此总环保费用  $C_{\text{hi}} = 0$ 。

对于经济层次的分析, 把平板型太阳能集热器描述成热经济学模型, 如图所示:

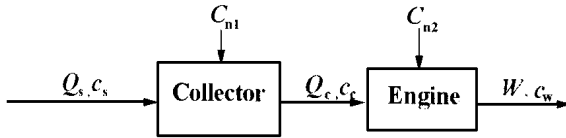


图 3 太阳能集热器装置热经济学分析模型

图 3 中,  $Q_s$  表示吸热板所吸收的太阳能;  $Q_c$  表示被工作流体所吸收的太阳能;  $W$  表示太阳能热机所输出的功,  $c_s$  表示入射太阳能的单位价格, 因为入射太阳能不具有稀缺性, 因此  $c_s = 0$ ;  $c_c$  表示被工作流体吸收的太阳能的单位价格;  $c_w$  表示太阳能热机输出功的单位价格;  $C_{n1}$  表示太阳能平板集热器的非能量费用, 包括固定投资折旧、运行和维护等费用;  $C_{n2}$  表示太阳能热机的非能量费用。

由热经济学分析可得:

$$C_{n1} + C_{n2} = W c_w \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 要使太阳能热机的输出功率增大, 就必须增加太阳能装置的非能量费用即  $C_{n1} + C_{n2}$ , 从而指出了两个目标间的最佳交易, 指明如果要改进一个目标, 另一个目标需要支付边际代价。

作者建议可引入一个参数  $\gamma$ ——边际投资结构系数来描述此变化:

$$\gamma = \frac{\partial(C_{n1} + C_{n2})}{\partial(W c_w)} \quad (4)$$

当追加非能量费用的投资时, 就可计算出每追加一个单位的非能量费用的投资时, 带来的输出功率是否足够大, 是否有边际经济效益, 据此决策者就可以知道通过增加投资来进行技术改造是否值得。

作者认为太阳能装置在热经济性上的优化除了

非能量费用的减小, 还在于合理的投资回收期。把有限时间热力学和热经济学相结合, 能得出最小投资回收期。并且, 可以看出热力学完善性和热经济学完善性之间存在着一个平衡点。把由有限时间热力学优化分析后推导出来的最大输出功率和经济学中的等额支付系列资金恢复系数可得最小投资回收期的计算公式:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{min}} &= \frac{(C_{n1} + C_{n2}) \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]}{W_{\text{mm}}(t) c_w} \\ &= \frac{(C_{n1} + C_{n2}) \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]}{U_l A T_a \left[ \frac{(T_{\text{st}}/T_a)^{0.5} - 1}{(U_l/U_1)^{0.5} + 1} \right]^2 c_w} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $W_{\text{mm}}(t)$  为计息周期内的太阳能热机有限时间热力学最大输出功率, 量纲为  $J/t$ ;  $c_w$  通常不超过单位电价, 量纲为  $\text{¥}/J$ ;  $i$  表示利率;  $n$  表示计息周期数;  $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$  表示的是等额支付系列资金恢复系数;  $C_{n1} + C_{n2}$  表示的太阳能装置的非能量费用, 量纲为  $\text{¥}$ 。

从式(5)还可看出, 尽管不计能量成本和环保费用, 太阳能发展仍未能普及的原因在于太阳能装置的非能量成本费用  $C_{n1} + C_{n2}$  过大, 并且由于吸热板能够吸收的能量  $Q_s$  的变化不定和每天吸收时间有限, 使每天太阳能热机的输出功率太小, 从而使整个投资回收期太长, 存在经济效益差的问题。因此, 考虑到太阳能装置在环境保护和生态平衡上的优越性, 应鼓励人们广泛使用太阳能集热器, 建议有关政府在环保费用上给予完全减免和提供环保补贴。

## 5 结论

为了考虑生态效应, 在热经济学考虑了一次能源和二次能源、可再生能源和不可再生能源、污染能源和无污染能源的区别, 并引入反映能量转化深度的生态学目标函数来综合评估环保收费的准则, 同时在原有热经济学的能量系统的成本方程中加上独立的一项费用——总环保费用。在此基础上, 提出了能量系统的三重优化分析方法并用此方法对太阳能装置作了初步尝试。

## 参考文献

- [1] 王加璇, 张恒良. 动力工程热经济学. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 张宏尧. 能源技术经济学. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1993: 15~16.
- [3] 陈林根, 孙丰瑞, 陈文振. 热力循环的一对生态学品质因素. 热能动力工程, 1994, 9(6): 374~376.
- [4] Bejan. Theory of heat transfer-Irreversible power plants—II. The Optimal Allocation of Heat Exchange Equipment. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1995, 31(6): 433~444.

(渠源 编辑)

压气机湿压缩研究的发展 = **New Developments Concerning the Study of Compressor Wet Compression** [刊, 汉] / Liu Jiancheng, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 87 ~ 90

Wet compression as an approach for enhancing turbine compressor efficiency has been receiving increasing attention nowadays. This paper focuses on recent developments concerning the wet compression theory both at home and abroad. **Key words:** compressor, wet compression, water spray

燃煤电厂脱硫的现状分析和防治对策 = **An Analysis of the Current Status of Coal-fired Power Plant Desulfurization Technology and Some Measures Taken for its Further Advancement** [刊, 汉] / Gu Nianzu (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2000, 15(2). — // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 91 ~ 92, 115

A brief description is given of the present status of SO<sub>2</sub> emissions by coal-fired power plants and its development tendency. With the further development of power industry relevant measures have been taken to address the issue of environmental protection. Also discussed in this paper are some countermeasures adopted to reduce the desulfurization costs. **Key words:** sulfur dioxide, coal-fired power station, desulfurization, environmental pollution

绿色供暖(空调)系统 = **Green Heat Supply (Air Conditioning) System** [刊, 汉] Song Zhiping (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 93 ~ 97  
This paper introduces a new technical term, “green heat supply (air conditioning) system”, i. e., “low-emission heat-supply total energy system”. It is hoped that the coining of this technical term will render some help in implementing a sustainable development strategy from the perspective of heat supply and air conditioning. To scientifically delimit and quantify the category of green heat supply (air conditioning) system, the paper describes the conception of a reversible heat supply system and the theory and methodology of “unit consumption analysis” designed by the author. On this basis the characteristics essential for the above-cited system are designated. Furthermore, in connection with the specific conditions of a certain locality a technical scheme has been proposed to implement the system. The performance indexes of the system have been calculated. In addition to an analysis of the system’s technical and economic feasibility other related issues are also discussed and studied in this paper. **Key words:** heat supply system, air conditioning system, sustainable development, combined heat-and-electricity cogeneration

考虑生态效应的能量系统三重优化分析方法 = **A Triple Optimal Analysis-method Used for an Energy System with Ecological Effects Being Taken into Account** [刊, 汉] Liu Shiqiang, Yang Yunshun (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 98 ~ 99

By incorporating an item of total expenses of environmental protection into the energy cost equation of the existing thermoeconomics one can perform a quantitative analysis in thermoeconomics with ecological effects being taken into account. On the above basis the authors have come up with a triple optimal analysis-method. **Key words:** thermoeconomics, energy system, optimal analysis

热声热机及其应用 = **Thermoacoustic Engines and Their Applications** [刊, 汉] / Dong Kaijun, Luo Yunwen (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2000, 15(2). — 100 ~ 103

Due to their outstanding merits thermoacoustic engines have received a widespread attention from the general public. Described in this paper are the basic structure of the engine as well as the mechanism and conditions of a thermoacoustic conversion. In addition, a brief account is given of the present status of the thermoacoustic engine applications, its future development trends and further measures to be taken for its improvement. **Key**