

论折合火用的概念及其应用*

韩学廷 张杰
(河北建筑科技学院)

陈贵堂 张忠进
(吉林工业大学)

[摘要] 在假定火用和火用的使用价值之比的系数 k 等于能级 K 的基础上,导出了通用的折合火用计算公式,由此揭示了折合火用随能级的变化规律,进而证明了折合火用为一状态函数。折合火用分析能够更加全面准确地评价不同质能量的使用情况,而且以折合火用量法确定热、电冷产品的价格更为科学合理。

关键词 折合火用 可用火用,不可用火用 能级 实际火用 平均热力学温度
中图分类号 TK123

0 前言

火用分析突出了能量的质量和品位,因而分析较为科学合理;但它因忽视了火用的利用价值,也有不够全面的缺陷,例如对于热电冷产品定价。火用在能量传递——转换系统中发挥着某种作用是人们提出折合火用概念的主要客观依据^[1,2]。

1 比例系数 k

折合火用可以定义为将可用火用(能量中起作用的火用)加到实际火用(通常所讲的火用)之后的总火用。根据文献[1],本文给出单位工质的折合火用表达式为:

$$m = (1 + k \frac{1 - K}{K}) e = _ e \quad (1)$$

式中 k 为比例系数,其含义为单位火用与单位火用在使用过程中的价值之比,所以 $0 \leq k \leq 1$; $_ = 1 + k(1 - K) / K$,称为折合系数。通过对一热电联产系统的热经济分析,文献[1]认为该联产系统 k 的合理区间为 $[0.05 \quad 0.578]$ 。

文献[1]主张不同的用能过程火用的利用水平不同,必须根据具体的用能条件和要求才能决定火用的利用程度,即确定 k 的大小。这样一来,折合火用计算中的难点就是如何确定 k ,从而造成计算或分析折合火用很不方便,且 k 的取值易受人的主观因素影响,较难判定其合理性。

本文认为 k 的确定应当有一个较为统一的标准,使得计算出来的折合火用具有通用性,并遵循如下三个原则:

(1) 应当符合全为火用或全为火用的能量中火用的利用价值为零的边界条件;

(2) 应当使折合火用成为系统工质的一个状态函数,便于计算分析;

(3) 应当使能量中火用的利用程度与其能级成某种有规律的关系,即可用火用为能级的函数。

因此,我们选取 k 为一随能级 K 而变化的量,且因两者取值范围均为 $0 \sim 1$,故可假定 $k = K$,则式(1)变为:

$$m = (2 - K)e = _ e - \frac{e^2}{q} \quad (2)$$

式中此时 $_ = 2 - K$

2 折合约等项的变化规律

根据式 (2), 可计算出各种能级的折合约

可用合约等项, 见表 1 由式 (2) 和表 1 可绘

出折合约等项与能级之间的变化关系曲线, 见图 1

表 1 折合约计算一览表

能量 q kJ/kg	能级 K (少烟 e) kJ/kg	折合约系数	折合约 m kJ/kg	少烟 a kJ/kg	可用少烟 m' kJ/kg	不可用少烟 a' kJ/kg	比值 $\frac{m'}{a'}$
1	0	2	0	1	0	1	0
1	0.1	1.9	0.19	0.9	0.09	0.81	0.1
1	0.2	1.8	0.36	0.8	0.16	0.64	0.25
1	0.3	1.7	0.51	0.7	0.21	0.49	0.4286
1	0.4	1.6	0.64	0.6	0.24	0.36	0.6
1	0.5	1.5	0.75	0.5	0.25	0.25	1
1	0.6	1.4	0.84	0.4	0.24	0.16	1.5
1	0.7	1.3	0.91	0.3	0.21	0.09	2.3
1	0.8	1.2	0.96	0.2	0.16	0.04	4
1	0.9	1.1	0.99	0.1	0.09	0.01	9
1	1	1	1	0	0	0	$+\infty$

从式 (2), 图 1 中不难发现:

(1) 可用少烟 $m' = m - e = (1 - K)e$, 先升后降, 在 $K = 0.5$ 时最大 ($m' = 0.25$), 而两端可用少烟数值均为零, 符合边界条件。

(3) 折合约系数 $_$ 随 K 的增大而减小; 可用少烟与不可用少烟之比 $\frac{m'}{a'}$, 则随 K 的增大而迅速增大, 至 $K = 1$ 时为无穷大。

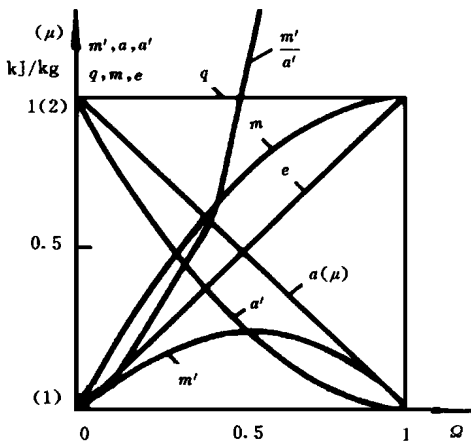


图 1 折合约等项变化曲线

(2) 随着 K 增加, 呈现出折合约 m 增大而不可用少烟 $a' = q - m = \frac{(1 - K)^2}{K} e$ (能量中不起作用的少烟) 减小的变化规律, 且在 $K = 0.5$ 前后增(减)速率变化不同。这是受 m' 变化规律的影响所致

3 折合约为一状态函数

选定环境状态 (P_0, T_0) 作为折合约计算基准, 相应得到环境状态参数 (h_0, S_0) , 于是根据式 (2) 则有:

$$m = 2[(h - h_0) - T_0(S - S_0)] - \frac{[(h - h_0) - T_0(S - S_0)]^2}{h - h_0} = \quad (3)$$

$$(1 + T_0 \frac{S - S_0}{h - h_0})e = (1 + \frac{T_0}{T_P})e$$

式中 $T_P = \frac{h - h_0}{S - S_0}$, 表示系统工质从某一确定状态变化至环境状态过程中吸(放)热的平均热力学温度 [3] 因为两个状态都是确定的, 因而 T_P 也是唯一确定的, 故折合约 m 可以认为是一状态函数, 数值上等于实际少烟 e 乘以一个 $(1 + \frac{T_0}{T_P})$ 的无因次量, 且仅与工质所处的状态有关。因此, 折合约同实际少烟

一样,在一定的环境条件下,也可当作系统工质的状态参数。从物理意义上可将折合 $\eta_{\text{火用}}$ 理解为系统工质在某一确定状态下能够作出的“广义最大有用功”。

对比式(2)和式(3),可知折合系数为:

$$\eta_{\text{火用}} = 2 - K = 1 + \frac{T_0}{T_P}, \text{ 且 } T_P = \frac{T_0}{1 - K} \quad (4)$$

由此可得符合人们定义的能级计算公式^[3]:

$$K = 1 - \frac{T_0}{T_P} = 1 - \frac{T_0(S - S_0)}{h - h_0} \quad (5)$$

既然折合 $\eta_{\text{火用}}$ 为一状态函数,则系统工质的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 差只取决于工质的初、终态参数,与工质所经历的过程无关。工质从状态1变化到状态2的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 差计算公式为:

$$\Delta m_{1-2} = m_1 - m_2 = e_1 - e_2 + t_0 \left(\frac{e_1}{T_{P1}} - \frac{e_2}{T_{P2}} \right) =$$

表 2 折合 $\eta_{\text{火用}}$ 平衡计算结果表

项 目	锅炉设备	汽轮机	凝汽器	水 泵	净输出功	总 计
折合 $\eta_{\text{火用}}$ 平衡	14 365kJ	10 958kJ	2 547kJ	8kJ	12 468kJ	40 346kJ
	35. 61%	27. 16%	6. 31%	0. 02%	30. 90%	100%
$\eta_{\text{火用}}$ 平衡	26 187kJ	2 980kJ	1 342kJ	34kJ	12 468kJ	43 011kJ
	60. 9%	6. 90%	3. 1%	0. 1%	29%	100%
能平衡	4 050kJ	0	23 982kJ	0	12 468kJ	40 500kJ
	10%	0	59. 2%	0	30. 8%	100%

少 40%多,而汽轮机的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损率较其 $\eta_{\text{火用}}$ 损率增大将近 3倍,凝冷器的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损率较其 $\eta_{\text{火用}}$ 损率增大 1倍多。根据折合 $\eta_{\text{火用}}$ 分析,要想提高能量利用的效率,除了改善折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损失最大的锅炉设备外,还要改善折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损失较大的汽轮机及冷凝器,这一点同 $\eta_{\text{火用}}$ 分析的结论有所不同。

按照折合 $\eta_{\text{火用}}$ 的观点,热电冷联产的主要优点,其一是由于提高了蒸汽参数,减少了锅炉的不可逆损失;其二是由于采用了供热式汽轮机,使蒸汽先作功后供热及制冷,减少了汽轮机和冷凝器的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损失。因此可

$$h_1 - h_2 - T_0^2 \left[\frac{(S_1 - S_0)}{h_1 - h_0} - \frac{(S_2 - S_0)^2}{h_2 - h_0} \right] \quad (6)$$

4 折合 $\eta_{\text{火用}}$ 的应用

将折合 $\eta_{\text{火用}}$ 应用于能量系统分析就形成了一种新的能量系统分析方法——折合 $\eta_{\text{火用}}$ 分析。同实际 $\eta_{\text{火用}}$ 一样,折合 $\eta_{\text{火用}}$ 还可应用于热经济分析中。

4.1 简单蒸汽动力装置折合 $\eta_{\text{火用}}$ 分析

根据文献[4]对一简单蒸汽动力装置 $\eta_{\text{火用}}$ 分析的基础上,本文对其进行了折合 $\eta_{\text{火用}}$ 分析,计算结果见表2。根据表2,可绘出折合 $\eta_{\text{火用}}$ 流程图,见图2。

从表2可以看出,尽管锅炉的折合 $\eta_{\text{火用}}$ 损率仍占第一位,但较其 $\eta_{\text{火用}}$ 平衡中的 $\eta_{\text{火用}}$ 损率减

以说,从折合 $\eta_{\text{火用}}$ 分析的角度,更应提倡热电

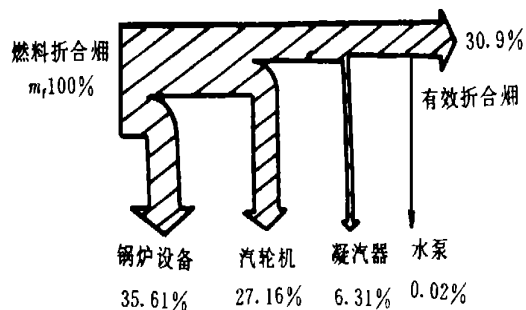


图 2 简单蒸汽动力装置折合 $\eta_{\text{火用}}$ 流程图

冷联产。这也说明了折合 $\eta_{\text{折}}$ 分析体现了全面用能的思想,用来评价能量的使用情况更为准确恰当

4.2 热电冷联产系统热力与热经济分析

根据文献 [5] 中工程算例分析,某煤矿热电冷联产系统的热力计算结果见表 3,热电冷产品单价见表 4 该联产系统为 12MW 次高压抽汽机组,抽汽参数为 0.49MPa, 235℃;供暖高温水为 140~90℃;冷冻水为 7~12℃。燃料为每吨标煤 150 元的劣质煤。其它数据见文献 [5]

表 3 热电冷联产热力计算结果表

项目	供热量 Q_r (MW)	制冷量 Q_c (MW)	供电量 N (MW)	标煤耗量 B_b (kg/h)	折合 $\eta_{\text{折}}$ 率 Z_m (%)	$\eta_{\text{折}}$ 效率 Z_c (%)	能效率 Z_l (%)
冬季	28	9	10.2	9181.9	31.72	24.00	63.14
夏季	10	15	10.2	7894.6	25.39	21.32	54.77

从表 3 可以看出联产系统折合 $\eta_{\text{折}}$ 效率高于 $\eta_{\text{折}}$ 效率而低于能效率偏向 $\eta_{\text{折}}$ 效率,用来评价热电冷三种质量不同的能量生产的效率更为全面恰当,从而克服了能效率评价过高而 $\eta_{\text{折}}$ 效率评价又低的弊端

表 4 热电冷产品单价表

方法 \ 单价	抽汽价 C_{cn} (Y/GJ)	电价 C_e (Y/kW·h)	抽汽价 C_z (Y/t)	高温水价 C_{gn} (Y/GJ)	高温水价 $C_{gn'}$ (Y/t)	冷冻水价 C_{z1} (Y/GL)	冷冻水价 C_{z1} (Y/t)
折合 $\eta_{\text{折}}$ 量法	31.747	0.1143	43.029	45.843	4.179	270.181	0.4119
$\eta_{\text{折}}$ 量法	41.809	0.1505	33.232	65.153	3.385	444.405	0.3452
热量法	20.402	0.0734	54.994	23.592	5.005	23.120	0.4850

从表 4 可以看出,成本分摊方法采用能量产品折合 $\eta_{\text{折}}$ 量(等价)法较热量法和 $\eta_{\text{折}}$ 量法更为准确合理,算出的热电冷三种产品的折合 $\eta_{\text{折}}$ 单价,既区分了品位的不同,又考虑了 $\eta_{\text{折}}$ 的价值,使热电厂和热(冷)用户双方都受益,因而更容易被供用双方所接受。

5 结论

本文根据可用 $\eta_{\text{折}}$ 是能级的函数的概念假定了比例系数 k 等于能级 Ω ,从而导出了简单实用的折合 $\eta_{\text{折}}$ 计算公式,绘制出折合 $\eta_{\text{折}}$ 等项随能级的变化曲线,证明了折合 $\eta_{\text{折}}$ 是一个系统工质的状态函数,为折合 $\eta_{\text{折}}$ 的计算分析,尤其为应用创造了有利条件。折合 $\eta_{\text{折}}$ 分析较 $\eta_{\text{折}}$ 分析更能全面准确地评价能量的使用情况,如简单蒸汽动力装置折合 $\eta_{\text{折}}$ 损失的分布规律是解释热电冷联产具有优越性的

一种最好的理论根据;折合 $\eta_{\text{折}}$ 效率作为度量不同质的能量生产(例如热电冷联产系统)的真实效率更为恰当适中,而折合 $\eta_{\text{折}}$ 量法将为热经济中关于成本合理分摊找到一条新的途径

参考文献

- 1 张于. 热电联产系统的热力学分析和热经济分析. 华东化工学院硕士论文, 1989. 12
- 2 Yang Donghua et al. Recent developments of the energy grade balance analysis (EGBA) - Part I Fundamentals. Analysis of Thermal and Energy Systems, Athens, 1991
- 3 朱明善. 能量系统的 $\eta_{\text{折}}$ 分析. 清华大学出版社, 1988. 4
- 4 邱信立等. 工程热力学(第二版). 中国建筑工业出版社, 1985. 12
- 5 韩学廷等. 煤矿热电冷能量系统分析及决策研究, 研究报告. 1996. 9

(李乡复 编辑)

cessively low thermal efficiency of the boiler. Relevant modification measures are proposed, with the help of which anticipated improvements have been attained. **Key words** energy saving, fly ash, combustible

小型燃煤锅炉改烧天然气的措施及效果 = **Measures and Effectiveness of Switch-over to Natural Gas Firing by a Small-sized Coal-fired Boiler** [刊, 中] / Guo Jianqiang, Han Hongjia, et al (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -200~ 203

Specific measures are described regarding the change-over to burning natural gas by a small-sized coal-fired boiler. In this connection some valuable experiences are provided for coal-fired boilers to switch over to firing natural gas. **Key words** boiler, natural gas, modification

论折合焓的概念及其应用 = **On the Concept of Reduced Exergy and Its Application** [刊, 中] Han Xueting, Zhang Jie (Hebei Institute of Architectural Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -204~ 207

On the basis of the assumption that factor K of the ratio of use value of non-usable energy and exergy is equal to energy level Ω , deducted is a universally applicable formula for calculating reduced exergy. From this one can perceive the variation relationship of reduced exergy with energy level, thereby proving that the reduced exergy is a status function. The analysis of the reduced exergy can lead to a more comprehensive and accurate evaluation of the use conditions of various energy quantities. Moreover, the determination of the price of heat, electricity and cold products by the reduced exergy method is more scientific and rational. **Key words** reduced exergy, usable non-usable energy, unusable energy level, practical exergy, average thermodynamic temperature

一种新型的电站热力系统矩阵模型及其应用 = **A New Type of Power Station Thermodynamic System Matrix Model and Its Application** [刊, 中] / Si Fengqi, Hu Huajin, Xu Zhigao (South eastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -208~ 212

The authors have come up with a new type of power station thermodynamic system matrix model. It takes into consideration in a comprehensive way the object characteristics of a regenerative system and various auxiliary systems and features a simple and easy-to-understand physical concept. By the use of a heat balance method the algorithm of the model is reliable and universally applicable. Through the implementation of a computer software it is possible to make use of the idea of configuration. This outstanding merit can enhance the robustness and transplantability of the power plant performance monitoring software, creating wide application prospects in the area of power station performance analysis. **Key words** thermodynamic system, matrix, mathematical model, power station, configuration, software

Windows平台上锅炉微机监控系统的开发应用 = **Development and Application of a Microcomputer-based Boiler Monitoring System on a Windows Platform** [刊, 中] / Wan Jingyi, Liu Qingge (Harbin No. 703 Research Institute), Zhao Xia, Jin Hongda (Suibin County Television Station) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -213~ 217

The authors give a brief description of the hardware structure and regulating principle of a Yanhua industrial control model PC486 boiler microcomputer-based monitoring system, detailing the development of microcomputer-based boiler monitoring system and software design method on a Windows platform as well as the important role played by dynamic data exchange (DDE) and dynamic chain connection function base on a Windows platform. **Key words** windows, boiler, microcomputer monitoring

可编程控制器在声能吹灰控制中的应用 = **The Use of Programmable Controllers in Sonic-Energy Soot Blowing Control** [刊, 中] / Zhang Rui, Jin Haifeng (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1998, 13(3). -218~ 220

Described is the technological process and control method involved in the use of programmable controllers for controlling sonic-energy soot blowing and the resulting energy-saving. The application of such programmable controllers in the above-mentioned area is not only proper but also cost-effective. **Key words** programmable controllers, sonicenergy, soot removal, control

JKTH-1000DEH系统在 50 MW 汽轮机组上的应用 = **The Use of JKTH-1000DEH System in a 50 MW**