

文章编号: 0253-9993(2006)03-0373-04

# 煤气热电三联产系统能量利用率的研究

沈胜强, 赵中友, 薛永锋

(大连理工大学 能源工程研究所, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 建立了煤气热电三联产系统热力系统模型, 提出用能量利用率 $\mu$ 来评价煤气热电三联产系统. 针对某煤气热电联产系统, 计算了不同干馏温度下3种典型煤在产煤气 $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ , 锅炉蒸汽负荷 $130\text{ t/h}$ 的情况下, 煤的总消耗量、能量利用率的变化情况. 计算表明: 当锅炉补煤量达到一定值时, 总煤量具有最小值, 系统的能量利用率具有最大值.

**关键词:** 煤气热电三联产; 能量利用率; 干馏温度

中图分类号: TK114 文献标识码: A

## Study on energy efficiency in heat, power and gas cogeneration system

SHEN Sheng-qiang, ZHAO Zhong-you, XUE Yong-feng

(Institute of Energy Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** A thermodynamic model was presented for the gas, heat and power cogeneration system. The energy efficiency  $\mu$  was adopted to evaluate the performance of the system. The gross coal consumptions and energy efficiencies of a heat, power and gas cogeneration system were calculated, with three types of coal at gas production  $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ , boiler load  $130\text{ t/h}$  and different pyrogenation temperatures. The results show that, there exists a minimum value of the system gross coal consumption and a maximum value of the energy efficiency.

**Key words:** heat, power and gas cogeneration; energy efficiency; pyrogenation temperature

煤气、热、电三联产系统是一种能源转化率高的能源利用系统<sup>[1]</sup>. 先将煤炭部分气化, 将煤炭中的挥发分转化为煤气, 在碳转化率达到一定值后, 将煤部分气化的剩余产物——半焦——随循环物经返料器送入循环流化床锅炉燃烧. 由锅炉产生的蒸汽可供汽轮机发电和工业、民用用气<sup>[2]</sup>. 三联产系统对于联合循环发电或同时需要煤气和热量的工厂是较为经济的, 不仅简化了气化炉的结构, 降低了投资, 而且可以提高碳的利用率, 减少环境污染<sup>[3]</sup>. 目前关于部分气化和燃烧的机理, 以及最佳干馏温度、能量利用率和热经济性评价等相关研究还少有报道. 本文针对一给定热力系统, 分析在煤气产量 $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ , 锅炉蒸汽负荷 $130\text{ t/h}$ 时, 不同热解温度和热解状况下, 总煤消耗量和能量利用率的变化情况, 并提出用能量利用率 $\mu$ 来评价气热电三联产系统.

## 1 热力系统模型

关于热电联产的研究已有很多, 本文对热电联产部分将不作分析, 重点分析煤的气化和锅炉燃烧部分, 即气热联产过程的分析. 气热联产装置是将循环流化床锅炉和干馏煤气发生炉紧密结合, 实现在一套

收稿日期: 2005-09-22

基金项目: 辽宁省科学技术重点基金资助项目(2005224001)

作者简介: 沈胜强(1961-), 男, 辽宁大连人, 教授. Tel: 0411-84707963, E-mail: zzbshen@dlut.edu.cn

系统中煤气、热力的联合生产。

气热联产装置工作原理如图 1 所示。气化炉为流化床气化炉，用再循环煤气作气化剂，煤块在流化床气化炉中受热裂解，析出高热值挥发分。气化吸热由循环流化床锅炉的高温循环物料提供，气化后的半焦随循环物经返料器送入循环流化床锅炉燃烧。由循环流化床锅炉产生的蒸汽可供汽轮机发电和工业、民用用气。循环流化床锅炉由空气鼓风，燃用从流化床气化炉传来的半焦和部分给煤，产生水蒸气并加热从气化炉来的循环物料，经炉膛出口的高温分离器分离后，再经返料器送回流化床气化炉。

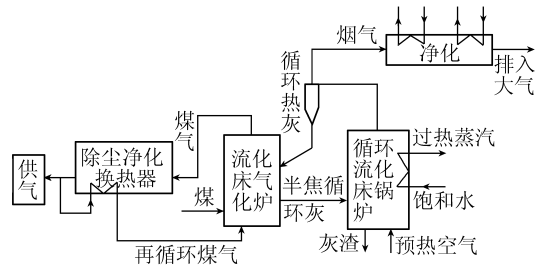


图 1 气热联产系统装置

Fig. 1 Heat and gas cogeneration system device

从流化床气化炉出来的高温煤气经出口两级旋风分离器除尘后，再经高温过热器、锅炉初级省煤器、煤气热交换器冷却后变成净煤气，送至煤气储罐，部分煤气经加压风机加压、气体热交换器加热后送回气化炉作流化气体用<sup>[4]</sup>。

## 2 系统数学模型

采用的热解气化模型<sup>[5]</sup>为

$$V = V_{\infty} - V_{\infty} \exp\left[-\frac{1}{n}K \frac{RT_p^2}{E} \exp\left(-\frac{E}{RT_p}\right)\right], \quad (1)$$

式中， $V$  为温度  $T_p$  时析出气体的体积； $V_{\infty}$  为时间  $t = \infty$  时析出气体的体积； $n$  为升温速度； $K$  为热解时析出某组分气体的速度常数； $R$  为理想气体常数； $E$  为各组分气体的活化能。

不同干馏温度下制气煤的热解率为

$$K_0 = 1.2V_{\text{daf}}^{-0.2} \exp\left[\frac{-2 \times 10^6}{R(T - T_0)^2}\right], \quad (2)$$

式中， $V_{\text{daf}}$  为制气煤的可燃基挥发分； $T$  为干馏温度； $T_0$  为制气煤初始温度。

由式 (1)，(2) 求出煤气热值与产率，再由式 (3) 求出半焦热量，即

$$Q_b = \frac{Q_{\text{dw}}M - \zeta_j Q_j - V_0 Q_q}{\zeta_b}, \quad (3)$$

式中， $Q_{\text{dw}}$  为制气煤的低位发热值； $M$  为总给煤量； $Q_j$  为干馏过程产生的焦油发热值； $Q_q$  为煤气热值； $\zeta_j$  和  $\zeta_b$  分别为焦油和半焦的产率。

补煤量为

$$B_b = \frac{D[(I_{\text{gr}} - i_{\text{gs}}) + (I_{\text{bs}} - i_{\text{gs}})\rho_{\text{pw}}]/\eta - B_z Q_b \zeta_b}{Q_{\text{dw}}}, \quad (4)$$

式中， $D$  为锅炉的蒸发量； $I_{\text{gr}}$  为过热蒸汽的焓； $i_{\text{gs}}$  为锅炉的给水焓； $I_{\text{bs}}$  为锅炉压力下的饱和水焓； $\rho_{\text{pw}}$  为锅炉的排污率； $\eta$  为循环流化床锅炉的热效率； $B_z$  为气化炉的给煤量。

定义用能量利用率  $\mu$  描述燃料在系统中的利用程度，作为评价气热联产系统能量转化程度的指标，即

$$\mu = \frac{Q_q V + Q_{\text{gl}}}{Q_{\text{dw}} M}, \quad (5)$$

式中， $Q_{\text{gl}}$  为锅炉所需热量。

## 3 计算结果分析与讨论

选用阜新褐煤、日照烟煤、京西无烟煤作为分析样煤，样煤的煤质分析见表 1。

表1 煤样的数据分析

Table 1 Analysis parameters of coals

煤种	工业分析/%			元素分析/%					热值/ kJ·kg <sup>-1</sup>
	M <sub>ar</sub>	A <sub>ar</sub>	V <sub>ar</sub>	C <sub>ar</sub>	H <sub>ar</sub>	O <sub>ar</sub>	S <sub>ar</sub>	N <sub>ar</sub>	
阜新褐煤	24.0	18.38	29.75	41.49	2.82	11.75	0.98	0.58	15 423
日照烟煤	11.6	21.73	27.47	50.79	3.32	11.48	0.47	0.61	19 250
京西无烟煤	7.0	16.78	6.71	66.46	2.36	5.18	0.61	1.60	25 718

利用上述模型计算得出半焦以及煤气的热值和产量, 并计算系统生产热值为 7 000 kJ/m<sup>3</sup> 以上的煤气为 10 000 m<sup>3</sup>/h, 气化炉的半焦和补煤保证 130 t/h 锅炉 (CFB130-9.81/540) 满负荷出力情况下的总给煤量及能量利用率. 计算过程假设流化床气化炉是个恒温密闭系统, 半焦从气化炉直接转移至锅炉燃烧. 表 2 为烟煤在 800 °C 时所产煤气和半焦的成分 (质量百分含量) 和热值.

表2 煤气及半焦的成分和热值

Table 2 Ingredient and thermal value of gas and semi-coal

煤气成分/%						热值/ kJ·kg <sup>-1</sup>	半焦成分/%						热值/ kJ·kg <sup>-1</sup>		
CO	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>		M <sub>ar</sub>	A <sub>ar</sub>	V <sub>ar</sub>	C <sub>ar</sub>	H <sub>ar</sub>	O <sub>ar</sub>		S <sub>ar</sub>	N <sub>ar</sub>
7.14	34.48	34.58	10.96	2.01	10.21	9 776	0	32.17	4.00	65.80	0.34	1.17	0.39	0.31	14 388

### 3.1 系统总给煤量随锅炉补煤量的变化

图 2 分别为燃用京西无烟煤、日照烟煤和阜新褐煤时, 在给定的气化炉温度下, 系统总耗煤量随锅炉补煤量的变化曲线. 当燃用京西无烟煤时, 锅炉运行需燃煤 14.09 t/h, 完全气化生产 10 000 m<sup>3</sup>/h 煤气耗煤 3.18 t/h, 煤气热值为 6.075 MJ/m<sup>3</sup>. 此时锅炉与气化炉的总耗煤量为 17.27 t/h, 能量利用率为 0.956; 当燃用日照烟煤时, 锅炉运行需燃煤 18.8 t/h, 气化炉耗煤 4.9 t/h, 煤气热值为 6.169 MJ/m<sup>3</sup>, 总耗煤量为 23.67 t/h, 能量利用率为 0.931; 当燃用阜新褐煤时, 锅炉运行需燃煤 23.49 t/h, 气化炉耗煤 7.07 t/h, 煤气热值为 6.341 MJ/m<sup>3</sup>, 总给煤量为 30.56 t/h, 能量利用率为 0.918.

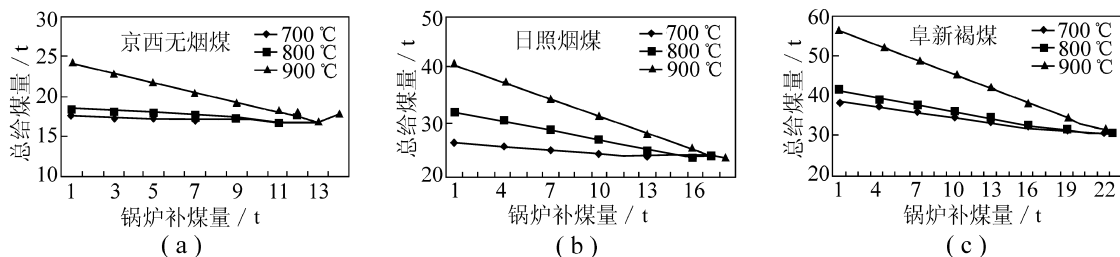


图2 多联产系统总耗煤量

Fig. 2 Coal consumption of the cogeneration system

从图 2 可以看出, 采用联产系统, 当锅炉补煤量增加到一定值时, 系统的总耗煤量达到最小; 气化炉干馏温度不同, 系统的总给煤量也不同. 比较 3 种煤样可以看出, 总耗煤量的最小值所对应的锅炉补煤量不同, 无烟煤最少, 褐煤最多. 在煤气产量一定的前提下, 适当调整气化炉温度和气化炉给煤量, 可使系统总耗煤量降低. 对于京西无烟煤, 向气化炉投入 4.77 t/h 煤, 气化炉干馏温度为 900 °C, 锅炉补煤 12 t/h 时, 系统耗煤总量最少; 对于日照烟煤, 向气化炉投入 8.27 t/h 煤, 气化炉干馏温度为 800 °C, 锅炉补煤 15 t/h 时, 系统总耗煤量最少; 对于阜新褐煤, 向气化炉投入 7.72 t/h 煤, 气化炉干馏温度为 900 °C, 锅炉补煤 22 t/h 时, 系统总耗煤量最少. 但在较宽的锅炉补煤量范围内, 700 °C 下的总耗煤量较低.

### 3.2 系统能量利用率随锅炉补煤量的变化

图3为系统使用京西无烟煤、日照烟煤和阜新褐煤时,在不同干馏温度下,系统能量利用率随锅炉补煤量的变化曲线.从图中可以看到,能量利用率具有最大值.在较大的锅炉补煤量范围内,干馏温度为700℃的能量利用率较大,900℃时较小.能量利用率与总耗煤量有较密切的联系,但并不完全对应.根据能量利用率的定义,能量利用率是系统产生煤气热量与供给锅炉热量之和与煤总发热量的比值,所以煤气热值也起到重要作用.本文针对生产企业需要,限定的是煤气产量,不同干馏温度下煤气热值不同,所以不同干馏温度下系统最大能量利用率与最低煤耗量所对应的点也不完全相同.

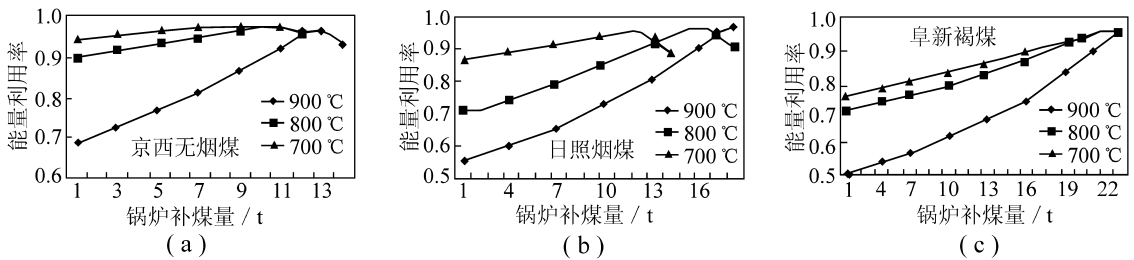


图3 系统能量利用率

Fig. 3 Energy efficiency of the cogeneration system

对于本系统,使用京西无烟煤,向气化炉投入9.86 t/h煤,气化炉干馏温度为700℃,锅炉补煤量为7 t/h时,系统能量利用率最高,为0.972;使用日照烟煤时,向气化炉投入8.27 t/h煤,气化炉干馏温度为800℃,锅炉补煤量15 t/h时,系统能量利用率最高,为0.976;对于阜新褐煤,向气化炉投入7.72 t/h煤,气化炉干馏温度为900℃,锅炉补煤量为22 t/h时,系统能量利用率最高,为0.954.

## 4 结 论

(1) 气热联产系统比分产系统具有更高的能量利用率,总煤耗降低.

(2) 在气热联产系统生产热值7 MJ/m<sup>3</sup>以上的煤气10 000 m<sup>3</sup>/h,剩余半焦和部分补煤保证130 t/h锅炉(CFB130-9.81/540)满负荷出力情况下,改变锅炉补煤量,系统的总耗煤量具有最小值,相应的能量利用率具有最大值.

(3) 在较宽的锅炉补煤量范围内,干馏温度为700℃条件下的系统总给煤量最低,系统能量利用率最高.但最佳值可能在更高的干馏温度下.

## 参考文献:

- [1] Fang M X, Luo Z Y, Li X T. A multi-product cogeneration system using combined coal gasification and combustion [J]. Energy, 1998, 23 (3): 203 ~ 212.
- [2] Given T J. Performance study of a partial gasification pressurized combustion topping gas cycle and split rankine combined cycle [J]. Fuel and Energy, 2004, 45 (4): 175 ~ 183.
- [3] Makarytchev S V. Environmental impact analysis of ACFB-BASED gas and power cogeneration [J]. Energy, 1998, 23 (9): 711 ~ 717.
- [4] 刘耀鑫,方梦祥,余春江,等.循环流化床热、电、气多联产技术方案研究[J].热力发电,2003,2(6): 32 ~ 39.
- [5] 寇公.煤炭气化工程[M].北京:机械工业出版社,1992. 52 ~ 81.