

流化床部分煤气化实验研究

周宏仓, 金保升, 仲兆平, 黄亚继

(东南大学 洁净煤电与燃烧技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要: 在一台小型流化床部分煤气化炉上, 以空气和水蒸气为气化剂, 在不同操作条件下(给煤量、流化风量和蒸汽量), 进行了三种不同煤种的气化实验。研究表明, 床温随给煤量和蒸汽量的增加以及流化风量的减小而降低; 在一定范围内, 煤气中 CO 含量随给煤量、流化风量和蒸汽量的增加以及煤化程度的降低而升高; 煤气中 H₂ 含量随给煤量和煤化程度的升高以及流化风量和蒸汽量的减小而降低; CH₄ 含量随给煤量的增加而增加, 随流化风量、蒸汽量和煤化程度的升高而降低。另外, 煤化程度升高, 生成煤气的热值减小。

关键词: 流化床; 部分煤气化; 实验研究

中图分类号: TQ542.5 文献标识码: A

1 引言

煤气化发电技术是一种具有良好发展前景的洁净煤利用技术, 高发电效率和低污染物排放是其主要优点^[1]。目前, 天然气价格的上扬, 环境污染的加剧, 世界能源危机的紧迫, 均对加速发展基于煤气化发电的洁净煤技术提出了要求。

流化床技术已成功地应用于燃烧、气化、煨烧、催化裂解等多种过程, 作为一种高效、高生产能力的反应装置, 目前正逐步地被应用于煤炭气化方面^[2]。流化床气化炉内气、固之间具有良好的返混和接触, 传热效率很高, 流化床的温度和组成均匀, 有利于碳的转化和煤气生成^[3]。

在一台小型流化床气化炉上进行了以空气和水蒸气作为气化剂的煤部分气化实验, 研究了不同运

行参数对煤部分气化特性的影响。

2 实验物料

实验选用徐州优质烟煤、徐州烟煤和阳泉无烟煤三种煤样, 煤质分析见表 1。实验用煤样粒度为 0.3~1 mm, 其筛分组成见表 2。

表 2 实验煤样筛分组成

煤样	粒度分布/ % (按质量份额计)				平均粒 径/ mm
	0.3~0.4 mm	0.4~0.6 mm	0.6~0.8 mm	0.8~1.0 mm	
优质烟煤	17	19	10	54	0.63
烟煤	24	29	19	28	0.54
无烟煤	12	26	24	38	0.61

3 实验装置及方法

实验装置为东南大学热能工程研究所自行设计、建造的流化床部分煤气化实验台, 实验装置系统如图 1 所示。整个系统由鼓风与引风系统、蒸汽发生系统、高温烟气加热系统、加料系统、流化床本体、测量控制系统六部分组成。反应器主体为内径 100 mm、高 4 400 mm 的耐高温不锈钢管。冷空气经启动燃烧室预热后与过热蒸汽混合通过布风板进入床层, 提供气化所需的空气和水蒸气。旋风出口煤气进入除焦油塔, 去除煤气中的焦油, 然后进入布袋除尘器, 最后由引风机排空。煤由螺旋加料器送至正压给料口进入床层。沿炉高和烟道布置热电偶、压力测点及气体采样口。

表 1 实验煤样煤质分析

煤样	元素分析/ %					$Q_{net,ar}$ / MJ·kg ⁻¹	工业分析/ %			
	Cad	Had	Oad	Nad	Sad		Aad	Mad	Vad	Cfi
优质烟煤	70.40	4.54	7.86	1.24	0.63	28.91	12.62	2.72	30.57	54.09
烟煤	60.36	3.72	7.24	0.92	0.44	24.27	22.90	4.42	25.24	47.44
无烟煤	68.22	2.64	2.77	0.92	0.93	26.24	20.85	3.67	7.97	67.51

收稿日期: 2003-06-05; 修订日期: 2003-08-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目子课题(G19990221053); 教育部跨世纪优秀人才基金资助项目(K980026)

作者简介: 周宏仓(1972-)男, 安徽六安人, 东南大学博士生。

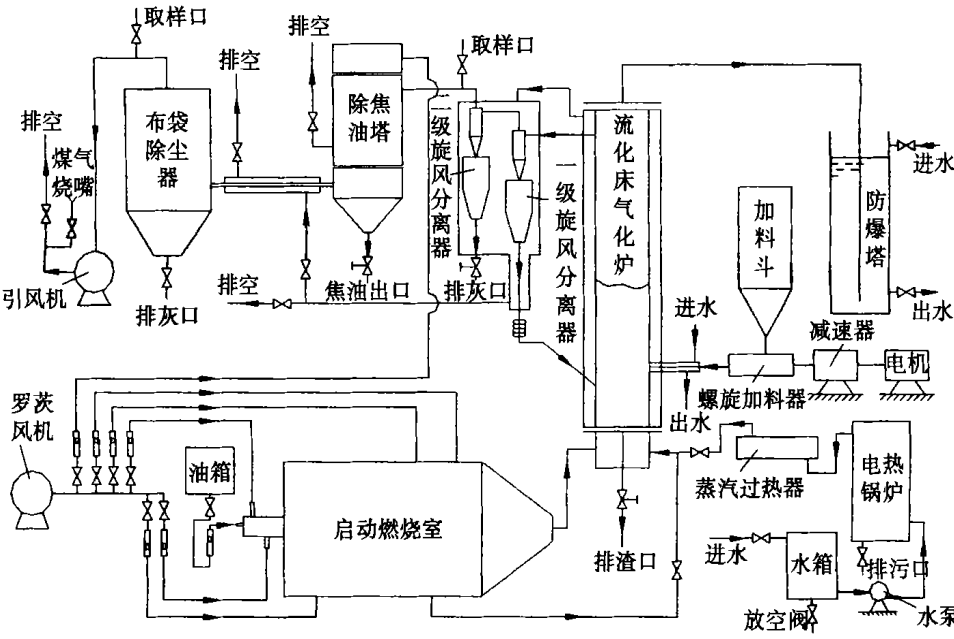


图 1 实验装置系统图

实验开始时, 首先点燃启动燃烧室, 并将温度控制在 $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 预热气化空气, 直至实验结束。燃烧烟气通入流化床气化炉本体夹套, 加热气化炉。当气化炉床温升至约 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 开始加入实验用煤。当床温达到实验所需的温度时, 通入过热蒸汽, 并加大给煤量。经过一段时间稳定后, 即可进入某实验工况, 稳定 1 h 后即可采集实验数据和气固样品。

用 1102 型气相色谱仪定量分析煤气中的 H_2 、 O_2 、 N_2 、 CO 、 CH_4 和 CO_2 。色谱条件为: TDX 柱, 4 m , 柱温 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$; 载气: Ar, 流量 44 mL/min ; 进样量: 0.186 mL ; 检测器: TCD, 检测器温度 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; 桥流: 80 mA 。

4 实验结果与讨论

4.1 床料流化特性

实验中所使用的情性床料是石英砂, 平均粒径为 0.55 mm , 表观密度为 1364 kg/m^3 。床层阻力特性如图 2 所示。水平布风板共布置了 18 个 $\Phi 10.5\text{ mm}$ 的风帽, 分两圈布置, 内圈 6 个, 外圈 12 个; 在每个风帽上开 3 个 $\Phi 1.0\text{ mm}$ 的小孔; 这样就保证了布风的均匀性。从图中可以看出, 流化风速为 0.25 m/s 时, 床内物料开始流化; 当流速达到约 0.3 m/s 时, 继续增大流速, 压差几乎保持不变, 此时即可认为床内物料处于起始流化状态。

4.2 给煤量对气化结果的影响

保持静止床高、流化风量、蒸汽量等参数不变, 以给煤量为横坐标, 床层温度为纵坐标, 得曲线图 3。由图可见, 当给煤量增大时, 床温呈下降趋势。总体来看, 给煤量的增加会导致炉内还原气氛加重, 有利于气化反应的进行, 因此床温会降低。

给煤量的改变对气化结果的影响如图 4 所示。煤的气化反应主要包括碳与水蒸气的水煤气反应、碳与二氧化碳的发生炉煤气反应、甲烷生

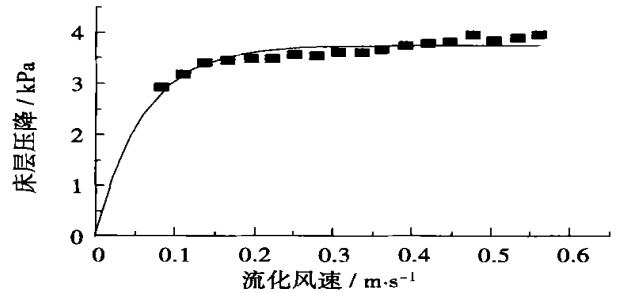


图 2 床料流化特性

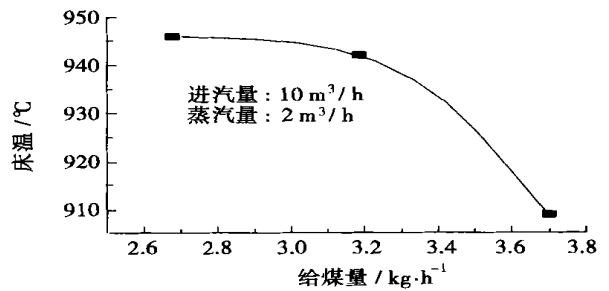


图 3 给煤量对床温的影响

成反应和变换反应^[3]。其中, 前两个反应是煤气化的主要反应, 它们属于吸热反应; 甲烷生成反应却是放热反应。从图 4 可以看出, 给煤量增大, CO 、 H_2 和 CH_4 在煤气中所占的体积份额的变化各异。CO 浓度先增加后降低, 这是因为适当地加大给煤量, 有利

于在炉膛内形成还原性气氛，促进气化反应的进行；当给煤量增大到一定程度时，由于气化反应吸收了大量的热量，使得床层温度降低，抑制了水煤气反应和发生炉煤气反应的进行。图 4 中 CH₄ 浓度随给煤量的增加而增加，这是由于在流化床煤气化过程中，CH₄ 主要来自于煤中挥发份的受热裂解⁴⁾。

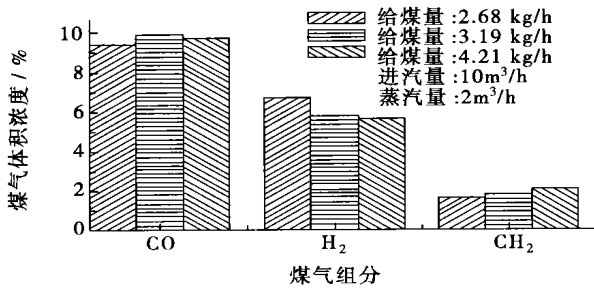


图 4 给煤量对煤气组分的影响

4.3 流化风量对气化结果的影响

固定给煤量、静止床高和水蒸气量，仅改变流化风量得曲线图 5。由图可见，流化风量增加，床层温度呈上升趋势。在流化风量较小时，流化风量增加对床温的影响更加明显，这与段钰锋等人得到的结果一致⁵⁾。这是因为流化风量增大以后，密相区的燃烧份额增加，提高了总体的反应热，床层温度升高，同时气化份额也增加，综合表现为床层温度呈上升趋势。

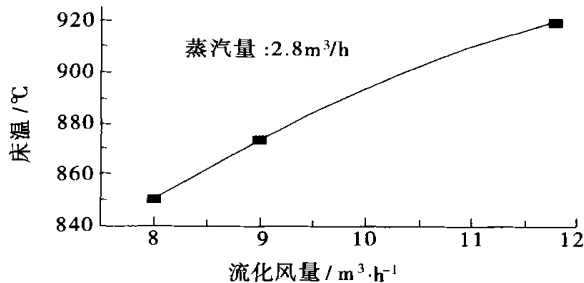


图 5 流化风量对床温的影响

图 6 给出了煤气组分与流化风量之间的关系。流化风量增加，煤气中 CH₄ 含量呈下降趋势，CO 和 H₂ 含量上升后又下降。这是由于流化风量增加，导致床层温度升高，有利于水煤气反应和发生炉煤气反应的进行以及水蒸气的分解，生成 H₂ 和 CO；同时，流化风量增加，气流速度增大，颗粒在床内停留的时间缩短，气化效率降低；流化风量过大，气化时 C 和 O₂ 的化学当量比降低，已生成的 CO 和 H₂ 可能

会在稀相区被氧化，降低可燃组分的份额。另外，流化风量增加，参与气化的惰性组分 N₂ 的含量增大，吸收大量热量，降低可燃组分的份额。因此，在其它操作参数不变的条件下，要获得理想的煤气热值、气化效率和碳转化率，必须寻找一个最佳的流化风量值。

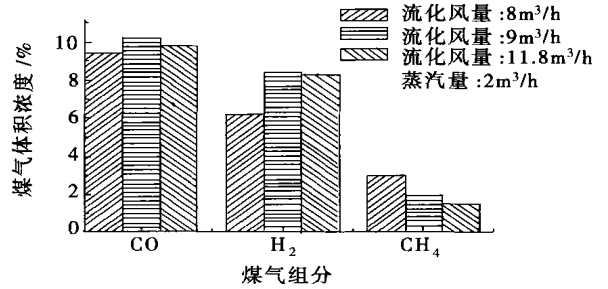


图 6 流化风量对煤气组分的影响

4.4 蒸汽量对气化结果的影响

图 7 给出了蒸汽量增加对床层温度的影响。床层温度随着蒸汽量的增加而降低。这是因为蒸汽量增加，参与分解的水蒸气的数量增多；同时，蒸汽量增加还会加快水煤气反应的进行。这两种过程都需要从周围环境中吸收大量的热量，导致床层温度降低。

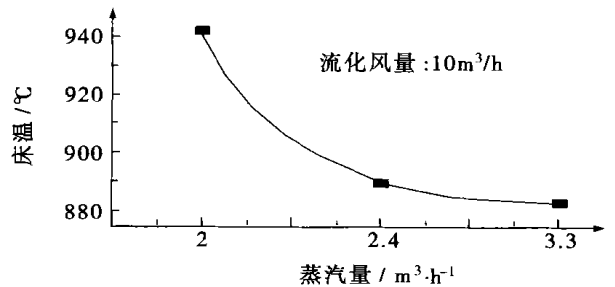


图 7 蒸汽量对床温的影响

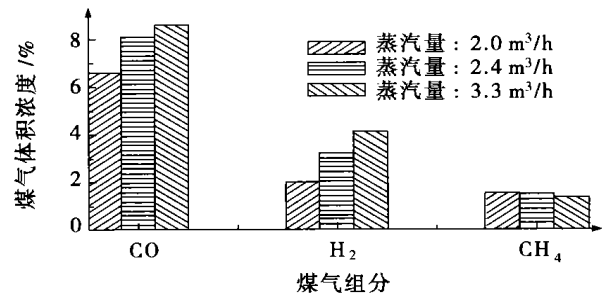


图 8 蒸汽量对煤气组分的影响

蒸汽量对煤气组分的影响如图8所示。从图8可以得知,蒸汽量的增加,煤气中 H_2 和 CO 含量增加, CH_4 含量稍微有些降低。研究发现^[6]当水蒸气浓度较小时,反应速度与浓度呈线性关系;当浓度增大时,反应级数减小,反应速度与浓度无关。因此,适当增大水蒸气浓度,一方面可以提高反应速度,促进水煤气反应的进行;另一方面可以通过改变床温来影响气化结果。所以,蒸汽量的增加,可以提高 H_2 和 CO 在可燃组分中的份额,特别是 H_2 的份额;而 CH_4 的份额由于产气量的提高稍微有些降低。因此,在实际气化过程中,需要选择一个理想的汽煤比,来改善气化过程。

4.5 煤种对气化结果的影响

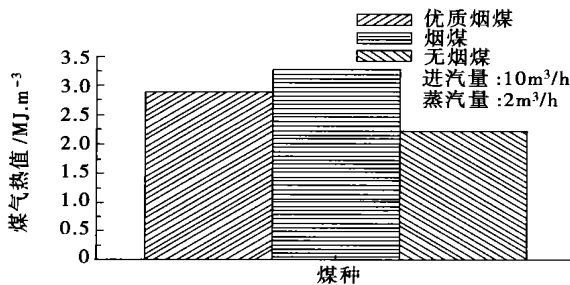


图9 煤种对煤气热值的影响

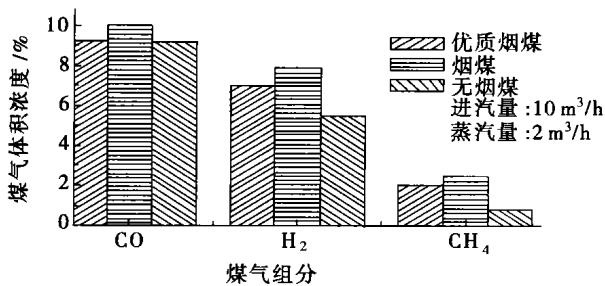


图10 煤种对煤气组分的影响

不同煤种对气化结果的影响如图9和图10所示。煤气热值随煤化程度的升高呈下降趋势。煤化

程度越高,所含的挥发份越多,易于挥发进入到煤气中。实验证明^[6],煤的挥发份有60%~65%进入煤气,煤气热值与煤的挥发份成正比。煤气中可燃组分 CO 、 H_2 和 CH_4 的含量随煤化程度增高,基本呈下降趋势。煤化程度低的煤,其气化活性高于煤化程度高的煤,有利于煤的气化。随着煤化程度的升高,煤中固定碳含量增加,可能会提高煤气产率。总之,不同煤种对气化结果的影响比较复杂,具体要看实际的气化情况而定。

5 结论

(1) 流化床部分煤气化气化炉床层温度随给煤量和蒸汽量的增加以及流化风量的减小而降低。

(2) 在一定范围内,煤气中 CO 含量随给煤量、流化风量和蒸汽量的增加以及煤化程度的降低而升高。

(3) 在适当范围内,煤气中 H_2 含量随给煤量和煤化程度的升高以及流化风量和蒸汽量的降低而降低。

(4) 煤气中 CH_4 含量随给煤量的增加而增加,随流化风量、蒸汽量和煤化程度的升高而降低。

(5) 煤化程度越低,生成煤气的热值越高。

参考文献:

- [1] OCAMPOA A, ARENASB E. An experimental study on gasification of colombian coal in fluidised bed[J]. *Fuel*, 2003, **82**: 161-164.
- [2] 房倚天,周政. 循环流化床(CFB)煤/焦气化反应的研究 I: 操作气速、固体循环速率对循环流化床气化反应的影响[J]. *燃料化学学报*, 1998, **26**(6): 521-525.
- [3] 寇公. 煤炭气化工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [4] 彭万旺,陈家仁. 加压流化床粉煤气化工艺特性研究[J]. *煤炭学报*, 1994, **19**(3): 315-323.
- [5] 段钰锋,赵长遂. 喷动流化床煤气化试验研究[J]. *燃烧科学与技术*, 2001, **7**(3): 278-281.
- [6] 重庆建筑工程学院. 燃气生产与净化[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.

To understand the formation mechanism of NO_x during a combustion process, tests were conducted over the temperature range of 873-1 673 K by selecting pyridine and pyrrole as nitrogen-containing model compounds. With the combined use of a Fourier transform infrared spectrometer (Ft-Ir) and a spectrophotometer the law of HCN and NH_3 escape during the pyrolysis of model compounds was experimentally investigated in an isothermal continuous-flow reactor. The investigation results indicate that HCN is the main nitrogen-containing product in the pyrolysis products of model compounds. The conversion rate of pyridine and pyrrole will increase with a rise in temperature. Under a same temperature the HCN formation rate of pyrrole is higher than that of pyridine and the NH_3 formation rate of pyrrole is higher than that of pyridine. **Key words:** coal combustion, nitrogen, model compound, Fourier transform infrared radiation analyzer

氧化钙添加剂对烟气中汞分布的影响 = **The Impact of CaO Additive on Mercury Distribution in Flue Gases** [刊, 汉] / WANG Quan-hai, QIU Jian-rong, YANG Jian-feng, et al (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 249 ~ 251.

Under the condition of one atmospheric pressure and within a temperature range of 273.15-1 273.15 K the impact of CaO and HCl formed during a combustion process on the morphology and distribution of trace element mercury was investigated through the use of an analytical method based on chemical thermodynamic-equilibrium. The results of the analysis indicate that elemental mercury is the main form of the mercury in the maximum temperature zone of coal combustion. With the reduction of temperature in flue gases the elemental mercury will undergo a chemical reaction, resulting in the formation of a bivalent mercury compound, which mainly assumes the form of $\text{HgCl}_2(\text{g})$. The results being forecast also show that an increase in chlorine elements can lead to an increased evaporation and emission of the mercury element. On the other hand, CaO(s) does not exercise a great influence on the behavior characteristics of mercury in the flue gases. There exists a relatively great difference between the results of chemical thermodynamic-equilibrium analysis and those of experiments. In spite of this, a comparison of the two sets of results still allows one to conclude that the CaO(s) has influenced the distribution characteristics of mercury element in the flue gases. This has been brought about mainly through a decrease in ash-particle surface area and/or a change in fly ash mineralogical and morphological features. **Key words:** coal, mercury, CaO, morphology

流化床部分煤气化实验研究 = **Experimental Study of Coal Partial Gasification in a Fluidized Bed** [刊, 汉] / ZHOU Hong-cang, JIN Bao-sheng, ZHONG Zhao-ping, et al (Education Ministry Key Laboratory of Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(3). — 252 ~ 255

On a small-sized coal partial-gasification test facility for a fluidized bed gasification tests of three kinds of coal were carried out under different operating conditions (namely, different coal feed rate, fluidized air flow rate and steam feed rate) with air and steam serving as gasifying agents. The results of the test show that the bed temperature decreases with an increase in coal feed rate and steam flow rate and also with a decrease in fluidized air flow rate. Within a certain range the CO content in gas will increase with an increase in coal feed rate, fluidized air flow rate and steam flow rate and also with a decrease in gasification degree. H_2 content in the gas will decrease with an increase in coal feed rate and gasification degree and also with a reduction in fluidized air flow rate and steam flow rate. CH_4 content will increase with an increase in coal feed rate, and will decrease with an increase in fluidized air flow rate, steam flow rate and gasification degree. Moreover, with a higher gasification degree the heating value of the generated gas will decrease. **Key words:** fluidized bed, coal partial gasification, experimental study

循环流化床中石油焦与煤混合燃烧温度场研究 = **A Study of the Temperature Profile Resulting from the Mixed Combustion of Petroleum Coke and Coal in a Circulating Fluidized Bed** [刊, 汉] / WANG Wen-xuan, ZHANG Shou-yu, YUE Guang-xi (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), ZHAO Chang-sui (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Southeastern University, Nan-