

沉降炉中粉煤气化的实验研究

黄凤豹,张忠孝,张守玉,陈国艳,陆成

(上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

摘要:以 O_2 为气化剂 N_2 为输送介质,在常压沉降炉装置上进行了几种粉煤的气化试验。试验考察了温度、氧碳比、停留时间对气化产气组成、碳转化率以及冷煤气效率的影响。

关键词:沉降炉;粉煤;气化

中图分类号:X511

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2010)01-0038-05

煤气化转化是清洁高效利用煤炭的主要途径之一,在众多的煤气化工艺中气流床气化技术占据了主导地位。与水煤浆气化技术相比,气流床粉煤气化技术具有煤种适应性广、原料消耗低、碳转化率高、冷煤气效率高等优势受到了国内外的重视^[1-3]。

影响气流床气化的参数很多,国内外的研究者做了大量的研究工作。吴学成等人通过建立气流床煤气化动力学模型研究了不同的气化剂、气化剂质量比率、气化温度、气化压力、停留时间等参数对气化过程和煤气组分的影响,发现气化温度是影响气化进程和煤气组分的最关键因素,对给定的气化反应系统,氧煤质量比为 0.87~0.88 时气化效率达到最佳值^[4-5]。许世森等人针对两段式气化炉进行

了深入地研究,得到了两段式气化炉的工艺参数^[6]。代正华等人用 Gibbs 自由能最小化方法对粉煤气化过程进行了热力学平衡分析,发现氧/煤、蒸气/煤是影响气化炉出口煤气组成的主要因素^[7]。笔者在实验室的常压高温沉降炉上考察了工艺参数(温度、O/C、煤粉停留时间)对粉煤气化过程的影响。

1 试验

1.1 试样

试验以龙口褐煤、大同烟煤和侯马烟煤为原料,煤样粒径为小于 $100\mu\text{m}$,与大规模煤气化的粒径相同。煤样的成分分析见表 1。

表 1 实验煤种参数分析

实验煤种	工业分析/%					元素分析/%				$Q_{\text{net,ad}} / (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	C_{ad}	H_{ad}	O_{ad}	S_{ad}	N_{ad}	
大同烟煤	2.66	10.52	27.47	59.35	75.48	4.34	7.35	1.52	0.79	26831
侯马烟煤	1.87	23.80	17.63	57.78	73.62	3.56	9.64	1.96	0.75	24621
龙口褐煤	8.4	22.1	39.7	29.8	49.9	3.4	14.22	0.6	1.38	18188

1.2 试验装置及操作

试验采用高温电加热沉降炉,如图 1 所示。炉子由刚玉管(内径 25mm,长 1.5m)、加热元件和耐火材料组成,其中刚玉管是煤进行气化反应的场所。刚玉管的外侧是圆柱形的加热炉膛,在炉膛内分别均匀布置了 4 根硅钼棒作为电加热元件。在炉

体中心高度位置上装有 1 根热电偶,用于测定和控制炉体温度。当反应器内温度达到设定温度时,经干燥过的煤粉,由煤粉给料机在氮气的携带下,均匀进入气化炉反应区,与同时进入反应区的气化剂氧气反应。煤粉与氧气反应后,合成气从下部管道冷却后排出,在冷却后的管子上开孔,用煤气分析

收稿日期:2009-09-29

作者简介:黄凤豹(1986-),男,山东菏泽人,硕士研究生,从事煤气化及洁净燃烧方面的研究。

通讯作者张守玉:zhangshouyu1971@hotmail.com。

仪对合成气的成分进行测量,可以测得气化产气中的 CO 、 H_2 、 CH_4 、 CO_2 、 O_2 的含量。灰渣自然沉降到炉底的不锈钢套管内。

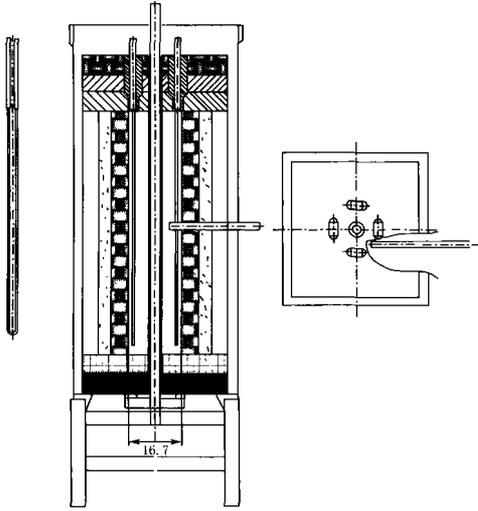


图1 气化炉结构示意图

1.3 气化炉内温度分布

气化炉内温度分布如图2所示。

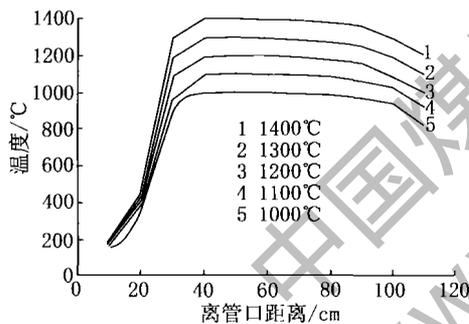


图2 气化炉内温度分布

从图2中可以看出,气化炉的恒温区间在40~100 cm之间,煤粉刚进入炉子的时候温度较低,为预热释放水分和挥发分析出的过程。距炉体顶部40cm以后,温度基本恒定,能够满足恒温气化的要求。

1.4 试验工况设计

1.4.1 停留时间的确定

在本试验中煤粉在炉内的停留时间由 N_2 的流量调节。氮气的流量由下式确定:

$$V = \prod d^2 h (273 + t_1) / 4 (273 + t_2) T_d \quad (1)$$

式中 d ——刚玉管内径;

h ——加热段高度;

T_d ——停留时间;

t_1 和 t_2 ——室温和气化炉内温度。

1.4.2 O/C 摩尔比的计算

实验运行参数所选用的 O/C 摩尔比采用公式(2)进行计算:

$$\alpha_{\text{O/C}} = \frac{V_{\text{O}_2} / 22.4 \times 2 + M_{\text{O}} \cdot W_{\text{C}} / 16}{M_{\text{C}} \cdot W_{\text{C}} / 12} \quad (2)$$

式中 V_{O_2} ——氧气投入量, m^3/h ;

M_{O} 、 M_{C} ——煤中氧和碳的百分含量, %;

W_{C} ——煤粉投入量, kg/h 。

2 实验数据的处理^[4]

2.1 合成气流量(Q)计算

由于热煤气温度高,直接测量较为困难,合成气流量采用氮平衡公式计算:

$$Q = \frac{Q_{\text{in}}}{[\text{N}_2]} \quad (3)$$

式中 Q_{in} ——所有进入气化炉内的 N_2 流量, m^3/h ;

$[\text{N}_2]$ ——干煤气氮气体积份额, %。

2.2 碳转化率(η_c)

碳转化率是衡量煤中碳元素在气化过程中利用程度的指标,在气化过程中,煤中的碳将转变成煤气中的 CO 、 CO_2 、 CH_4 和其它碳氢化合物,未转化的碳则残留在飞灰、底渣中从气化炉排出。因此,碳转化率可依下式计算:

$$\eta_c = \frac{([\text{CO}] + [\text{CO}_2] + \text{CH}_4) \times Q / 22.4}{M_{\text{C}} \times M_{\text{C}} / 12} \times 100\% \quad (4)$$

式中 $[\text{CO}]$ 、 $[\text{CO}_2]$ 、 $[\text{CH}_4]$ ——合成气中 CO 、 CO_2 和 CH_4 的体积百分比浓度, $V_{\text{ol}}\%$;

Q ——合成气体积流量, m^3/h ;

M_{C} ——固定碳含量, %;

W_{C} ——给煤量, kg/h 。

2.3 冷煤气效率(η_d)

冷煤气效率 η_d 按冷煤气效率定义进行计算,即煤气化制得煤气热值与燃料的热值之比。计算公式如下所示:

$$\eta_d = \frac{h_{\text{H}_2,0} + h_{\text{CO},0} + h_{\text{CH}_4,0}}{h_{f,\text{coal}}} \times 100\% \quad (5)$$

式中 $h_{\text{H}_2,0}$ 、 $h_{\text{CO},0}$ 和 $h_{\text{CH}_4,0}$ ——合成气中 H_2 、 CO 、 CH_4 的热值, kJ/h ;

$h_{f,\text{coal}}$ ——煤热值, kJ/h 。

3 结果与讨论

3.1 温度对气化效果的影响

温度是影响气化反应的一个重要因素。改变

气化炉的温度有很多方法,如改变氧煤比、气化炉压力等,但通过这样的方法并不能单独研究温度对气化过程及煤气组分的影响^[4]。试验采用电加热沉降炉,通过控制加热功率来改变气化炉温度。

图3、图4是氧碳比为1.1时的实验结果,从图中可以看到,随着温度的升高,最终煤气成分中CO、H₂体积分数逐渐增加,CO₂、CH₄体积分数逐渐减少,碳转化率、冷煤气效率逐渐增加。主要是因为

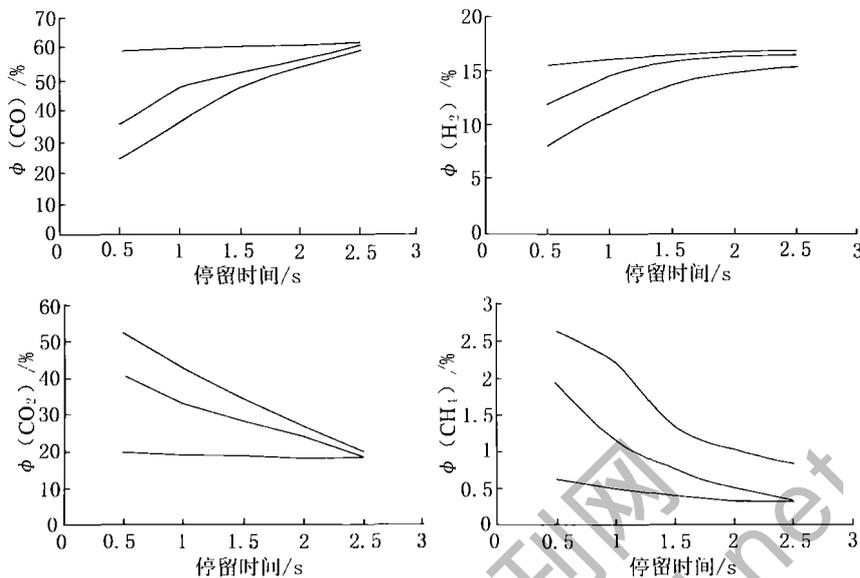


图3 温度对气化过程的影响(侯马烟煤 氧碳比1.1)

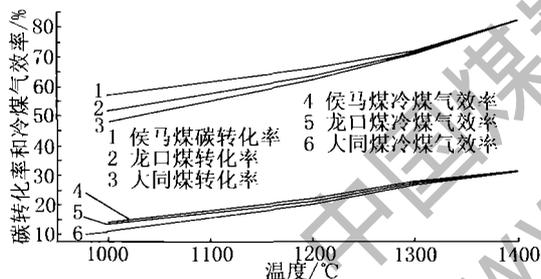


图4 温度对碳转化率和冷煤气效率的影响

3.2 O/C 对气化效果的影响

由图5可以得出,随着O/C的增加CO逐渐减少,H₂逐渐减少,CO₂逐渐增加,碳的转化率逐渐增加,冷煤气效率先增加后减少。主要是因为,增加氧量,反应式

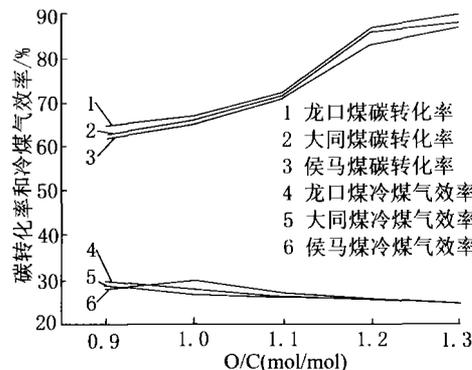
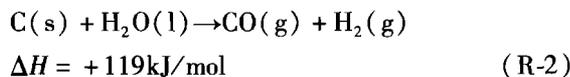
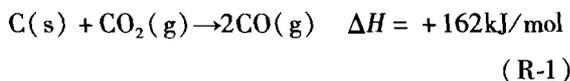
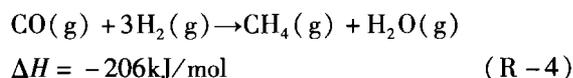
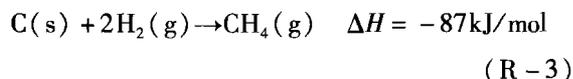


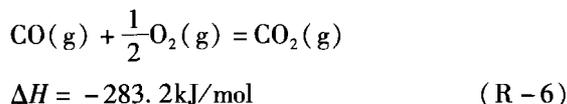
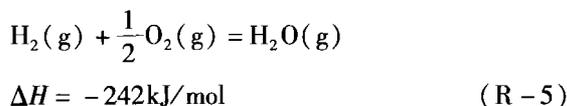
图5 氧碳比对碳转化率和冷煤气效率的影响 (反应温度1300℃;停留时间1.5s)

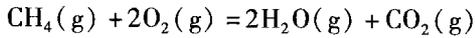


R-1、R-2 为强吸热反应,提高温度有利于气化反应向正方向进行,有利于CO、H₂的生成,CO₂正好相反;煤气中的CH₄主要由挥发分析出和通过



R-3、R-4 反应得到,提高温度不利于R-3、R-4向正方向进行,不利于CH₄的生成。





$$\Delta H = -803.2 \text{ kJ/mol} \quad (\text{R}-7)$$

就会发生,使得煤气中的无效气体成分 CO_2 增加,而 H_2 、 CO 含量减少,所以虽然碳的转化率随着 O/C 的增加而增加,但气化效率是先增加后减少,这与 Y J Kim^[10-11] 等的研究结果一致。另外吴学成^[5-6] 等人对气流床气化做了模拟研究,得出的氧煤比为 0.87 ~ 0.88,笔者得到的 O/C 比为 1.1,换算成氧煤比为 0.88,结果吻合的较好。

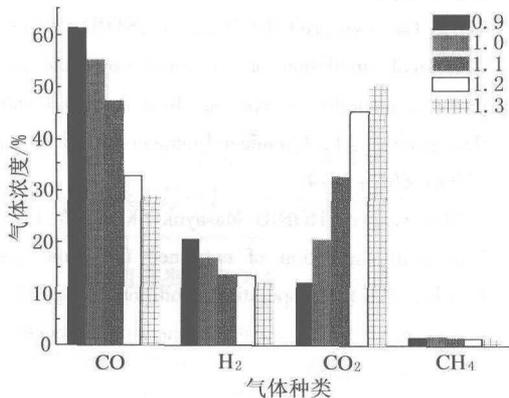


图6 不同氧碳比下产气组分浓度变化
(侯马烟煤 反应温度 1300℃ ;停留时间 1.5s)

4.3 炉内停留时间对气化效果的影响

气化过程是一系列反应通过竞争反应慢慢使系统趋于平衡的过程,理论上讲要达到完全平衡需要较长时间;从阶段上看,某个时间点之前是激烈的竞争反应过程,过了这个时间点后系统进入了缓慢反应并无限接近平衡^[6]。实际气化炉中的煤气组分都是在一定的停留时间下得到的,停留时间在实际气化炉的设计和运行中是很重要的。停留时间太长,或者设备投资增加,或者煤气产率降低;停留时间太短,煤炭转化率低,煤气组分品质差^[12-13]。吴学成等人对停留时间与煤气组分做了模拟研究,认为高温高压下设计停留时间在 0.9 ~ 1.2s 是比较合理的。

试验是高温常压下的气化试验,从图 7、图 8 停留时间和产气组分,碳转化率以及冷煤气效率的关系上综合分析。停留时间为 1.5s 之前煤气组分的变化比较激烈,而 1.5s 之后就趋于平缓了。停留时间到 2s 后,基本上已经达到了平衡。对于该工况,设计停留时间在 2s 是比较合理的。随着停留时间的增加,大同烟煤和侯马烟煤的碳转化率和冷煤气效率由开始的低于龙口褐煤变为高于龙口褐煤的碳转换效率和冷煤气效率,主要是因为褐煤的挥

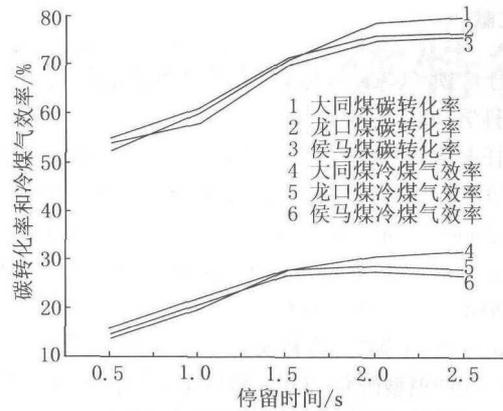


图7 停留时间与碳转化率、冷煤气效率的关系
(反应温度 1300℃ ;氧碳比 1.1g/g)

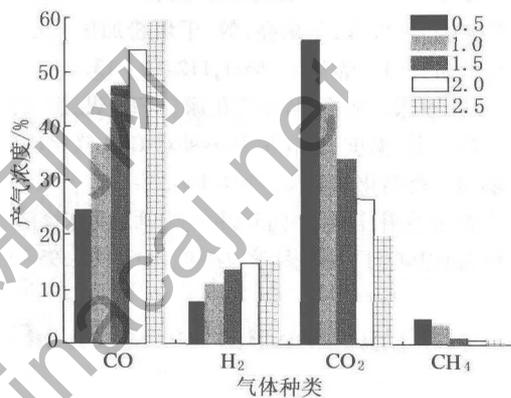


图8 不同停留时间下产气组分浓度变化
(侯马烟煤 反应温度 1300℃,氧碳比 1.1g/g)

发份含量较高而总的碳含量较低,所以在最初较短的反应时间内褐煤的碳转化率和冷煤气效率较高,随着反应时间的延长,气化反应进入缓慢反应阶段,碳转化率和冷煤气效率增长缓慢。而烟煤由于碳含量较高,在同样的反应时间内仍处于较激烈的反应过程中,碳转化率增长较快。

5 结 语

(1) 温度是影响气化反应进程的关键因素,温度升高气化过程得到强化。 CO 、 H_2 含量增加,碳转化率和冷煤气效率都有很大提高。

(2) 通过改变氧碳比分析,认为对于给定的气化炉,存在最佳 O/C。对本试验中用到的气化炉最佳 O/C 为 1.1,氧煤质量比为 0.88。

(3) 停留时间对煤气化过程中碳转化率有较大影响。对于给定的气化过程,某个时间点之前是激烈的竞争反应过程,过了这个时间点后系统进入了缓慢反应并无限接近平衡。

参考文献:

- [1] 于广锁. 气流床气化技术的现状和发展趋势[J]. 世界科学, 2005, 1:33-34.
- [2] 任永强, 许世森, 鄒时旺. 干法进料煤气化技术在中国的进展与发展趋势[J]. 中国电力, 2004, 37(6):49-52.
- [3] Shinobu Sugiyama, Naoki Suzuki. Gasification performance of coals using high temperature air[J]. ENERGY, 2005, (30):399-413.
- [4] 吴学成, 王勤辉, 骆仲泱, 等. 气化参数影响气流床煤气的模型研究(I) - 模型建立及验证[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004, 38(10):1361-1365.
- [5] 吴学成, 王勤辉, 骆仲泱, 等. 气化参数影响气流床煤气的模型研究(II) - 模型预测及分析[J]. 浙江大学学报(工学版). 2004, 38(11):1483-1489.
- [6] 任永强, 许世森, 张东亮, 等. 干煤粉加压气化技术的试验研究[J]. 煤化工, 2004, 112:10-13.
- [7] 房倚天, 陈富艳等. 循环流化床(CFB)煤/焦气化反应的研究 II. 温度、氧含量及煤种对 CFB 气化反应的影响[J]. 燃料化学学报, 1999(1):23-28.
- [8] 肖睿, 金保升. 温度对中试规模的喷动流化床煤部分气化行为的影响[J]. 燃烧科学与技术, 2005(11):395-399.
- [9] 彭万旺, 步学朋. 加压粉煤流化床气化技术试验研究[J]. 煤炭转化, 1998, 21(4):67-74.
- [10] Y J Kim, S H Lee. Coal gasification characteristics in an internally circulating fluidized bed with draught tube [J]. Fuel, 2000, (79):69-77.
- [11] Y. J. Kim, S. H. Lee. Coal gasification characteristics in a downer Fuel, 2001, (80):1915-1922.
- [12] 许建良, 代正华. 气流床气化炉内颗粒停留时间分布[J]. 化工学报, 2008(59):53-57.
- [13] 许寿泽, 于广锁. 四喷嘴对置式气化炉停留时间分布的随机模型[J]. 燃料化学学报, 2006(34):30-35.
- [14] CHEN Cai-xia, HORIO Masayuki, KOJIMA Toshinori. Numerical simulation of entrained flow coal gasifier. Part I: modeling of coal gasification in an entrained flow gasifier[J], Chemical Engineering Science, 2000, (55):3861-3874.
- [15] CHEN Cai-xia, HORIO Masayuki, KOJIMA Toshinori. Numerical simulation of entrained flow coal gasifier. Part II: effects of operating conditions on gasifier performance [J], Chemical Engineering Science, 2000, (55):3875-3883.

Experimental research of coal gasification in drop-tube furnace

HUANG Feng-bao, ZHANG Zhong-xiao, ZHANG Shou-yu, CHEN Guo-yan, LU Cheng

(School of Energy and Power Engineering, Shanghai University of Science and Engineering, Shanghai 200093, China)

Abstract: Carried out several powdered coal gasification experiments in ordinary pressure drop-tube furnace using O_2 as gas agent and N_2 as medium. Study the influence of temperature, oxygen-carbon ratio, residence time to Composition of gasification gas, carbon fractional conversion and gas efficiency.

Keywords: drop-tube furnace; powdered coal; gasification

信息检索

超化矿:深度净化矿井水

不需要添加化学制剂,每小时产水160吨

近日,经过两个多月的紧张施工,一套无机陶瓷膜矿井水处理系统在河南郑州煤炭工业集团超化矿投入使用,使井下煤水排污问题得以解决。

据了解,超化矿矿井水处理系统先把从煤矿井下排出的黑煤水汇集到平地的沉淀池,再将污水进行膜渗透净化和消毒,使之达到国家生活饮用水标准。

超化矿矿井水处理系统产水量每小时可达160吨,不仅缓解了居民用水紧张局面,还减少了污染物排放,并可收集到更多的水煤灰。

据悉,超化矿矿井水处理系统采用先进的膜渗透技术,具备自动化微机集中控制和手动控制两套操作程序,在各出水管路都安装有浊度监测报警仪,在水池上安有低水位声光报警装置,可实现无人值守运行。

同时,超化矿矿井水处理系统净化成本低廉,不添加化学制剂,并可自动清洗。目前,超化矿在河南省煤矿中尚属首家使用该系统。此后,郑煤集团将在各生产矿井陆续推广该系统。