

主动配气下生物质气化焦油热裂解特性试验*

郭飞强¹ 董玉平¹ 董磊² 景元琢² 杜红光¹ 王慧¹

(1. 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 济南 250061; 2. 山东百川同创能源有限公司, 济南 250101)

【摘要】 针对下吸式生物质固定床气化炉,采取主动配气的方式,进行焦油的热裂解性能试验。试验结果表明:主动配气下,气化炉同一截面反应均匀,具有较厚的高温层,为焦油热裂解提供良好的条件,并寻找到气化反应的最优配气量,在此配气量下,以玉米秸秆为原料,燃气中的焦油质量浓度约为 600 mg/m³,热值达到 5 400 kJ/m³左右,同时验证了灰层厚度等其他因素对焦油热裂解和燃气质量的影响。

关键词: 生物质 焦油 热裂解 主动配气

中图分类号: TK6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)07-0135-04

Tar Thermal Cracking in Biomass Gasifier under Active Air Distribution

Guo Feiqiang¹ Dong Yuping¹ Dong Lei² Jing Yuanzhuo² Du Hongguang¹ Wang Hui¹

(1. Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Ministry of Education, Shandong University, Ji'nan 250061, China 2. Shandong Baichuan Tongchuang Energy Co., Ltd., Ji'nan 250101, China)

Abstract

Active air distribution way was taken to the experimentally study on the tar cracking property in downdraft fixed-bed biomass gasifier. The results showed that the reaction was uniform in the same section and the gasifier had a thicker layer at high temperature under the active air distribution, which provided good conditions for tar cracking. The optimum air distribution way was achieved by the experiments, and the tar content in gas was about 600 mg/m³ in the range using corn stalk as the material with high heat value about 5 400 kJ/m³. The effect of ash layer thickness and the other factors on tar cracking and gas quality was also studied.

Key words Biomass, Tar, Cracking, Active air distribution

引言

生物质热解气化过程中会产生以多核芳香族碳氢化合物为主的大分子焦油,其所含能量约占产品气总能量的 5% ~ 15%,是生物质气化能量的一种严重损失,同时常温下焦油将会冷凝析出,容易阻塞管道、阀门,燃烧会产生碳粒,对燃气轮机、内燃机等利用设备造成损害^[1-3]。因此,如何实现焦油的充分裂解,转化为可燃气体是生物质气化的重要研究方向。

国内外研究人员在焦油问题进行了多方面的探索,目前,焦油的裂解研究主要集中在过程影响因素

及催化剂的探索,且多应用于流化床反应器。下吸式固定床气化炉燃气自上而下流动过程中,还原层具有裂解焦油的作用,然而良好的焦油裂解性能需要恰当控制燃气流速、反应层温度、反应均匀性等影响参数。常规下吸式气化炉气化介质(空气、富氧、水蒸气等)供给多采用被动式抽气的方式,气化介质供给量具有很大的不确定性,造成气化过程反应不稳定,焦油效果裂解性能得不到体现。如何实现气化介质的主动控制,提高气化炉内氧化、还原层温度和反应均匀性,促进焦油的热裂解反应^[4-8],对于解决焦油问题具有重要意义。

本文针对下吸式固定床气化炉,建立气化介质

收稿日期: 2010-08-16 修回日期: 2010-10-08
* 山东省自然科学基金资助项目(ZR2009EZ001)
作者简介: 郭飞强,博士生,主要从事生物质热解气化和燃气净化技术研究,E-mail: shandaguofeiqiang@163.com
通讯作者: 董玉平,教授,博士生导师,主要从事机械及生物质能开发利用研究,E-mail: dongyp@sdu.edu.cn

为空气的主动配气气化模型,研究主动配气系统下生物质气化特性,分析反应层温度及焦油含量随配气量的变化关系,为气化炉结构改进和控制系统建立提供依据。

1 主动配风模型

下吸式固定床气化炉气化介质(空气)的主动配气包括3部分,1处炉顶配气和2处炉膛配气,燃气由引风机从炉底抽出,3处主动配气均通过风机和阀体主动控制进给速度和方向,气化介质(空气)在炉膛内部主要流动模型如图1所示。

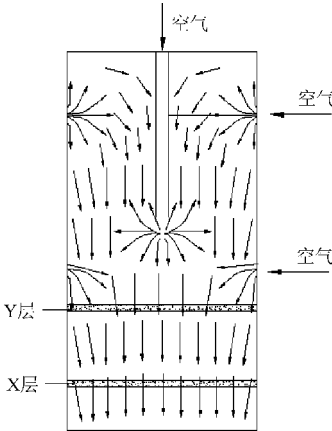


图1 主动式生物质气化炉配气模型

从图中可以看出,气化介质在气化炉主要的氧化、还原反应区分布较为均匀,主要氧化还原反应均匀稳定,有利于提高燃烧层的温度,充分依靠高温还原层和灰分中的碱金属催化作用,可以为焦油热裂解创造良好的温度氛围。

2 试验

2.1 试验原料

试验所采用的原料是玉米秸秆散料,其元素分析和工业分析如表1所示。

2.2 试验装置

试验装置如图2所示,主要装备仪器包括:产量为1000 m³/h的生物质气化机组一套,配气风机3台,气体流量计3支,焦油分析仪器1套,热电偶8支,奥氏气体分析仪,取样袋若干及其配套仪器装置。

2.3 试验步骤

本试验气化炉顶层、炉膛上层和炉膛下层配气的气体流量如表2所示。每一配气试验均以30 min为一时间段,该时间段内,每3 min记录一次气化炉内主要反应区的温度,计算30 min内的温度平均值。同样,30 min测试后计算一次焦油含量和燃气的热值,进而分析反应层温度、燃气焦油含量及燃气热值随配风量的变化趋势,验证主动配气对焦油热裂解的影响。

表1 玉米秸秆化学成分

Tab.1 Chemical composition of corn stalk

生物质	元素分析/%				工业分析/%				堆积密度 /kg·m ⁻³
	C	H	N	S	水分	灰分	挥发分	固定碳	
玉米秸秆	45.54	6.02	0.77	0.13	5.12	5.76	71.64	17.48	67

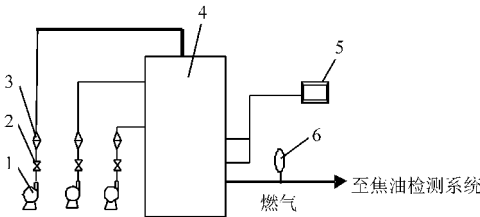


图2 主动配气下气化炉焦油热裂解试验系统简图

Fig.2 Test system diagram of tar thermal cracking in the gasifier under the active air distribution

1. 风机 2. 控制阀 3. 流量计 4. 气化炉 5. 热电偶温度显示器 6. 取样装置

2.4 空气进给量计算

单位质量原料完全燃烧所需理论空气量

$V =$

$$\frac{1}{0.21} \left(1.866 \frac{\varphi_C}{100} + 5.55 \frac{\varphi_H}{100} + 0.7 \frac{\varphi_S}{100} - 0.7 \frac{\varphi_O}{100} \right)$$

(1)

1 kg 生物质原料气化时所需空气量

$$V_L = \theta V$$

(2)

气化炉物料进给率

$$G = \frac{V_0}{\tau}$$

(3)

空气进给率

$$V_g = V_L G$$

(4)

式中 φ_C ——物料碳元素质量分数,%
 φ_H ——物料氢元素质量分数,%
 φ_S ——物料硫元素质量分数,%
 φ_O ——物料氧元素质量分数,%
 θ ——气化炉所需空气当量比
 V_0 ——气化炉产气量
 τ ——原料产气率,取1.8

经计算可得正常运行情况下,玉米散料气化所需空气理论进给率^[19]为 $V_g = 589 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

表 2 系统配气流量
Tab.2 Air feed of the system

配气 序号	配气流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$				过量空气 系数
	顶层	炉膛上层	炉膛下层	总量	
1	15	60	340	415	0.70
2	25	75	360	460	0.78
3	35	90	380	505	0.86
4	45	105	400	550	0.93
5	55	120	420	595	1.01
6	65	135	440	640	1.09
7	75	150	460	685	1.16
8	85	165	480	730	1.24
9	95	180	500	775	1.32
10	105	195	520	820	1.39

3 试验结果与分析

3.1 主动配气下焦油热裂解规律

气化炉 2 个主要反应层的温度变化如图 3 所示,Y 层位于 X 层上方 60 cm 处,X 层距离炉排 60 cm,由图中可以看出,两层均具有较高的反应温度,且随着配气量增加,处于不断上升的趋势。由此可以断定,气化炉高温区的跨度至少超过 60 cm,这也为气化反应和焦油热裂解高效进行提供了充分的温度条件。

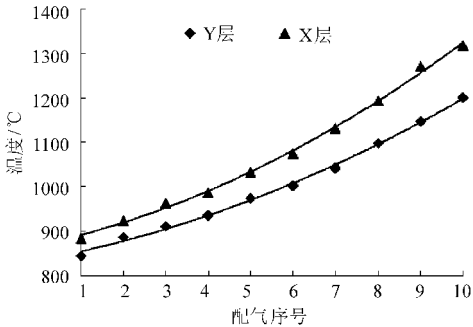


图 3 气化炉各层温度随配气量的变化曲线
Fig.3 Changing tend of temperature in different layers with air feed

图 4 是燃气中焦油含量和燃气热值随配气量增加的变化关系曲线,焦油含量随着配气量的增加呈现逐渐下降趋势,而燃气热值却是随着配气量增加,先迅速上升,空气过量系数为 1.01 ~ 1.09 时达到最大值,随后随着配气量的增加迅速下降。

空气过量系数高于 0.86 后,燃气中的焦油质量浓度开始低于 1 000 mg/m^3 ,燃气的热值处于一个快速上升的阶段,当燃气热值达到最高时,燃气中的焦油质量浓度仅为 500 ~ 700 mg/m^3 ,此时燃气热值处于最优阶段,达到 5 440 kJ/m^3 左右,焦油大量热裂

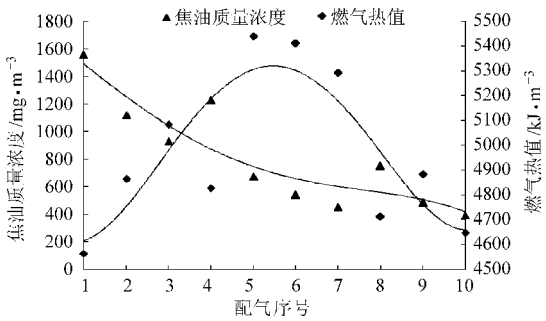
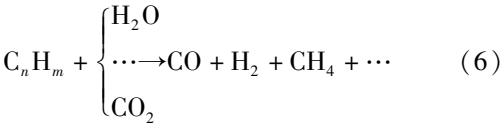
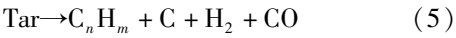


图 4 焦油质量浓度及燃气热值随配风量的变化曲线
Fig.4 Changing tend of tar content and gas heat value with air feed

解转化为可燃气体,主要发生的反应为



随着配气量的进一步增加,反应层的温度持续增高,此时氧化层将继续增厚,大部分焦油被燃烧裂解,燃气热值也随之快速下降,主要是由于还原层区间被压缩,燃气还原重整反应受到一定程度抑制造成的。

因此,主动配气所提供的均匀反应区间和高温氛围对于焦油热裂解具有较好的作用,通过适当的控制,可以使焦油热裂解率和燃气热值均处于一个较高的水平。然而,图中显示在反应运行到第 4 和第 8 配气序号时,燃气热值和焦油含量出现了较大的波动,这两个配气序号试验前恰是调整炉排排灰阶段,由此可知,如何合理利用主动配气实现焦油热裂解还需要验证灰层厚度等因素的影响。

3.2 其他影响因素

调整气化介质进给量稳定在配气序号 5,即气化炉空气过量系数为 1.01,此时气化反应处于最优范围内,每隔 120 min 启动滚动炉排清理灰分一次,每次清理将造成灰层厚度降低 15 ~ 20 cm,燃气中焦油质量浓度和燃气热值如图 5 所示,在主动配气控制下,燃气中的焦油质量浓度在 600 mg/m^3 左右,燃气热值在 5 400 kJ/m^3 左右,气化处于非常良好的状态,然而每次启动炉排后,焦油质量浓度和燃气热值都出现一次明显的波动变化。

生物质气化过程中,燃烧产生的炭与灰分形成还原层,是焦油热裂解和燃气还原重整主要反应区域,此外灰分中含有碱金属对于焦油的热裂解和二次重整反应具有催化作用,因此灰层的厚度对于焦油热裂解和燃气品质具有重要的影响,灰层厚度的减小将会直接造成燃气品质的下降,本试验中焦油质量浓度和燃气热值所出现的两个跳跃点恰好印证

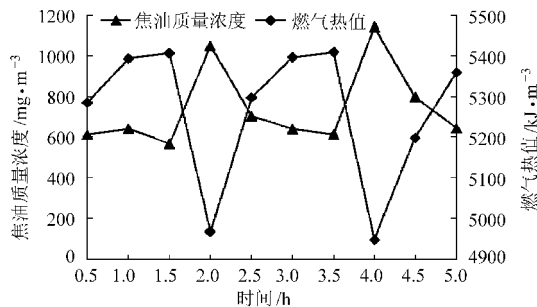


图 5 恒定配气量下焦油质量浓度和燃气热值的变化

Fig. 5 Changing tend of tar content and gas heat value in constant air feed

了这一点。

4 结 论

(1) 气化炉主要反应区的温度随配气量的增加

逐渐升高,且具有较厚的高温层,为焦油热裂解反应提供了良好的氛围。

(2) 主动配气实现气化介质进给量的主动控制,进而控制气化炉内的反应状态,气化炉总配气量为 595 m³/h 时,以玉米秸秆为原料,燃气中焦油质量浓度为 600 mg/m³ 左右,燃气热值达 5 400 kJ/m³ 左右,相较于传统的 4 700 ~ 4 900 kJ/m³ 有大幅提升,证实主动配气可以促进焦油充分热裂解而转化为可燃气体,并推动燃气的二次重整反应,提高燃气品质。

(3) 主动配气下,焦油热裂解性能和燃气品质还受到灰层厚度等因素的影响,气化反应过程中形成的半焦还原层及所含的碱金属对于焦油热裂解和重整反应具有重要的影响。

参 考 文 献

1 刘蓉厚,牛卫生,张大雷. 生物质热化学转换技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

2 万仁新. 生物质能工程[M]. 北京:中国农业出版社,1992.

3 吴文广,罗永浩,陈祎,等. 生物质焦油净化方法研究进展[J]. 工业加热,2008,37(2):1~5.
Wu Wenguang, Luo Yonghao, Chen Yi, et al. The progress in tar reduction method research[J]. Industrial Heating, 2008, 37(2):1~5. (in Chinese)

4 Christoph Pfeifer, Hermann Hofbauer. Development of catalytic tar decomposition down stream from a dual fluidized bed biomass steam gasifier [J]. Powder Technology,2008,180(1~2):9~16.

5 杨海平,米铁,陈汉平,等. 生物质气化中焦油的转化方法[J]. 煤气与热力,2004,24(3):122~126.
Yang Haiping, Mi Tie, Chen Hanping, et al. Tar conversion in biomass gasification [J]. Gas & Heat, 2004,24(3):122~126. (in Chinese)

6 Lopamudra Devi, Krzysztof J, Ptasinski, et al. A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes [J]. Biomass and Bioenergy, 2003,24(2):125~140.

7 赖艳华,吕明新,董玉平. 生物质热解气中焦油生成机理及其脱除研究[J]. 农村能源,2001(4):16~19.

8 彭军霞,赵增立,王小玲,等. 生物质焦对甲苯的催化裂解实验研究[J]. 煤炭转化,2009,32(4):92~96.
Peng Junxia, Zhao Zengli, Wang Xiaoling, et al. Catalytic decomposition of toluene over biomass char [J]. Coal Conversion, 2009, 32(4):92~96. (in Chinese)

9 袁振宏,吴创之,马隆龙. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003:176~177.

10 李大中,王卉. 稻秆气化焦油催化裂解脱除过程模型改进与优化[J]. 农业机械学报,2010,41(3):109~112.
Li Dazhong, Wang Hui. Improving and optimizing the LS-SVM model of the rice straw gasification tar removal process by catalytic cracking[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):109~112. (in Chinese)