

流化床等离子体加热稳定性试验*

张春梅¹ 易维明² 刘庆玉¹ 孙清¹ 张文基¹

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161; 2. 山东理工大学清洁能源工程技术研究中心, 淄博 255049)

【摘要】 采用电能和氩气等离子体两种加热方式,考察流化床反应器内不同位置温度的变化。在电加热速率不变的条件下,测定玉米秸秆样品在热裂解试验的3个阶段的(预热、反应和反应结束)温度,通过对不同阶段温度随时间变化分析得出采用电预热反应器,预热时间长,流化床床层温差较大,约为200℃;电预热后再通入氩气等离子体加热反应器,预热时间短,反应器预热到设定温度的时间一般为1h,且床层温差小(50℃左右);反应过程中温度稳定,有利于影响因素和产物特性分析。

关键词: 流化床 等离子体 热裂解 试验

中图分类号: TK6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)S0-0121-03

Experiment on the Stability of Plasma Heating Fluidized Bed

Zhang Chunmei¹ Yi Weiming² Liu Qingyu¹ Sun Qing¹ Zhang Wenji¹

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China 2. Shandong Research Center of Engineering & Technology for Clean Energy, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract

In the experiment, a fluidized bed was heated using Ar plasma and electricity. The temperature was tested at different levels of the reactor in the preheating, reacting period and finishing reacting with the content electricity heating rate. The results showed that the duration of time required to preheat the reactor to the experimental temperature by using electricity was longer than that required by using Ar plasma, which was usually 60 min. When electricity was used, the peak difference in temperature between the beds was measured at about 200℃, while the difference attributed to Ar plasma heating was about 50℃. Further, Ar plasma heating resulted in even distribution of heat and steady operation of the fluidized bed.

Key words Fluidized bed, Plasma, Pyrolysis, Experiment

引言

快速热裂解液化反应器最主要的特点是:较高的加热及热传导速率,可提供严格控制的反应终温,得到迅速冷凝的热裂解蒸汽。因此,目前生物质热裂解液化反应器可以分为两大类:一类是流化床式的,生物质颗粒和热载体主要依靠气流携带进行碰撞和混合,以实现动量交换和热量传递,其优点是运动部件少、结构简单、工作可靠和运行寿命长;缺点是外

加气体不仅增加了加热和冷却的工艺能耗,还稀释了不可冷凝的热解气体,使之热值下降^[1-2]。另一类是机械运动式的,生物质颗粒和热载体主要依靠机械运动进行碰撞和混合,以实现动量交换和热量传递,其优点是不需要或需少量外加气体,减少了工艺能耗和避免了稀释热解不可冷凝气体;缺点是反应器内有运动部件、结构复杂、工作可靠性和运行寿命难以得到保证^[3]。

要降低生物油大规模生产的成本,必须达到连

收稿日期:2010-07-01 修回日期:2010-07-16

* 辽宁省秸秆能源化利用项目

作者简介:张春梅,讲师,博士生,主要从事生物质热化学转换研究, E-mail: zchunmei_1977@126.com

通讯作者:易维明,教授,博士生导师,主要从事生物质能源开发与综合利用技术研究, E-mail: yiweiming@sdu.edu.cn

续稳定的生产^[4]。目前,流化床是理想的研究开发设备,在许多国家得到了广泛的研究并已达到了小型示范试验厂的规模。本文研究生物质在氩气等离子体氛围下热裂解过程中的加热稳定性,为流化床连续稳定的工业化生产提供一定的依据。

1 试验装置与工作原理

试验采用山东理工大学自行研制的以等离子体作为热源,同时配合热电阻丝保温的生物质快速热裂解液化流化床试验装置。主要包括等离子体发生器、热裂解反应器、产物收集部分及水、电、气的控制系统。

以电离的高温氩气作为主热源和流化气体。氩气从反应管的底部通入,反应管外壁缠有电阻丝,作为辅助热源兼作保温作用,最外层为硅酸铝喷丝毡保温层。反应管壁上,从喂料口处开始往上,开有6个间隔60 mm、直径为5 mm的小孔,用来安放热电偶,测定反应管内气流温度是否均匀一致,试验时将热电偶1、2、3、4、5、6的温度从下到上依次标记为 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 。在流化床顶部出口处加装一个热电偶,用于测定热裂解蒸汽进入冷凝管前的温度,计为 T_7 。为了保证焦油不会提前裂解,因此保证此处的温度超过200℃即可。随着反应的进行,产生大量的热裂解蒸汽,此时 T_7 高于设定的温度200℃,在200~240℃之间变化。在流化床外壁缠有3根1000 W电阻丝,为防止热电偶温度上升过快,电阻丝尽量避开热电偶的位置。试验开始时首先通电预热流化床,并由热电偶3控制流化床层温度 T_3 ,从而确定等离子体的功率。由于热电偶测定床内空气的温度,为了避免电阻丝的延迟效应,在流化床壁与电阻丝之间插入热电偶,测定床壁温度,当床壁温度达到设定点477℃时,电阻丝断电, T_3 继续升高至设定点。

采用螺旋喂料器进行生物质原料的喂入,旋风分离器可对炭和灰进行分离,用电阻丝进行保温。采用两级球形冷凝管对热裂解蒸汽进行猝冷,冷凝得到的生物油用三口烧瓶收集。

反应温度是生物质热裂解制取生物油液体的一个重要的影响参数,本试验采用等离子加热后,解决的一个最大问题就是保证反应器有连续稳定的热源供应。为此本试验具体操作如表1所示。

由预试验得知: T_1 敏感度最高,加入物料后, T_1 迅速下降。 T_2 和 T_3 次之, T_4 、 T_5 、 T_6 均无明显变化。由此可以断定, T_1 、 T_2 、 T_3 是物料反应的主控点。因此将反应器的整个加热过程的温度变化划分为4个阶段,即电预热、氩气等离子体预热、反应过程中流化床加热,反应结束后流化床加热,以测定反应炉内

的 $T_1 \sim T_6$ 。

表1 流化床预热操作步骤

Tab.1 Procedure of pre-heating reactor

时间/s	步骤
0	开始通电加热,通循环冷却水
5	温度开始上升明显
35	达到设定温度,开始通入氩气
35	同时接通流化床出口处热电偶
52	床层温差不变,开始进料

2 试验结果与分析

2.1 设备预热

2.1.1 电加热

流化床反应器先采用电阻丝加热,待温度上升到一定高度后再通入氩气。图1为反应前用电阻丝预热的流化床反应器温度随时间的变化曲线。

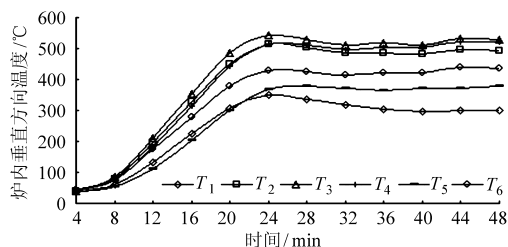


图1 反应前流化床反应器温度随时间的变化曲线

Fig.1 Temperature of pre-heating fluidized bed with electricity

前20 min,反应器温度上升很快,然后平稳上升。若继续加热约40 min后,温度基本保持不变,整个预热的时间约为60 min。预热结束后,流化床内不同位置温度差较大,其加热终温流化床内各位置温度如图2所示。其中最高温度为530℃,最低温度为301℃,其差值为229℃。

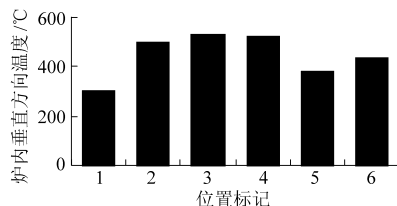


图2 电预热结束后流化床内温度

Fig.2 Temperature of fluidized bed after pre-heating with electricity

2.1.2 氩气预热

试验中为了节省氩气用量,继续向上述电预热30 min后的流化床反应器内通入氩气等离子体预热,流化床内温度变化如图3所示。经过30 min后,流化床内各个位置温度渐渐趋于一致。此时各热电偶所显示的温度如图4所示。床内各位置温差较小, T_3 、 T_4 相差8℃。

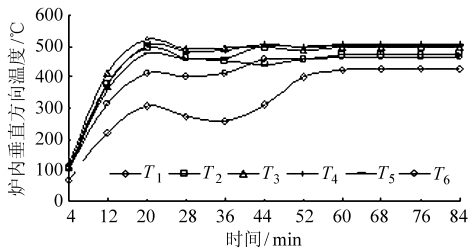


图3 流化床氩气等离子体预热

Fig. 3 Temperature of pre-heating fluidized bed with Ar plasma

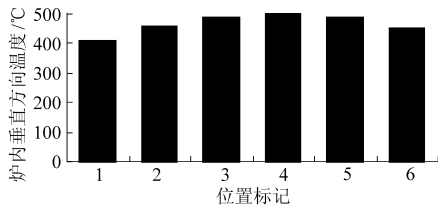


图4 氩气预热结束后流化床内温度

Fig. 4 Temperature of pre-heating fluidized bed after pre-heating with Ar plasma

2.2 反应过程中温度变化

流化床层预热结束后,接通螺旋进料器电源,冷凝管内有烟气流过,认为热裂解反应开始,记录反应开始进料时间,测定流化床层各点温度。整个反应过程中的温度监测变化如图5所示。

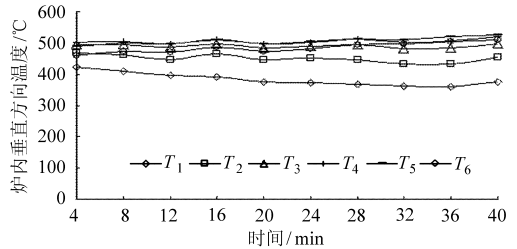


图5 热裂解反应过程中流化床内温度变化

Fig. 5 Temperature of fluidized bed during the reacting period

在整个试验过程中,流化床内温度波动较小。刚开始进料时,温度有所下降,5 min后温度开始逐渐回升,整个反应过程中,床层温差变化较小,受进料和氩气流量的影响较小,反应平稳,生物油产率更高,连续运行时间较长,约50 min。

3 结论

(1) 采用氩气等离子体预热反应器的时间较电预热反应器的时间短。

(2) 预热1 h后,采用氩气预热流化床反应器床层温度比单纯电预热更加均匀。

(3) 反应过程中通入等离子体加热生物质原料,床层内温度波动不大,有利于生物质热裂解的进行。

参 考 文 献

- 戴先文,周肇秋,吴创之,等. 循环流化床作为生物质热解液化反应器的实验研究[J]. 化学反应工程与工艺, 2000, 16(3): 263 ~ 269.
Dai Xianwen, Zhou Zhaoqiu, Wu Chuangzhi, et al. Experimental research on pyrolysis of biomass for liquid by circulating fluidized bed pyrolysis device[J]. Chemical Reaction Engineering and Technology, 2000, 16(3): 263 ~ 269. (in Chinese)
- 任铮伟,徐清,陈明强. 流化床生物质快速裂解制液体燃料[J]. 太阳能学报, 2002, 23(4): 462 ~ 466.
Ren Zhengwei, Xu Qing, Chen Mingqiang. Fast pyrolysis of biomass in fluid bed to produce liquid fuel[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2002, 23(4): 462 ~ 466. (in Chinese)
- 刘荣厚. 生物质快速热裂解制取生物油技术的研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(1): 3 ~ 7.
Liu Ronghou. Present situation of biomass fast pyrolysis for bio-oil production [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(1): 3 ~ 7. (in Chinese)
- 徐保江,李美玲,曾忠. 旋转锥闪速热解生物质实验研究[J]. 环境工程, 1999, 17(5): 71 ~ 74.
Xu Baojiang, Li Meiling, Zeng Zhong. Experimental research on pyrolysis of biomass by rotating cone flash pyrolysis device [J]. Environmental Engineering, 1999, 17(5): 71 ~ 74. (in Chinese)
- 李志合,易维明,李永军. 等离子体加热流化床反应器的设计与试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(4): 66 ~ 69.
Li Zhihe, Yi Weiming, Li Yongjun. Design and experimental study of fluidized bed heated by plasma flow jet [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(4): 66 ~ 69. (in Chinese)
- 易维明,柏雪源,何芳,等. 利用热等离子体进行生物质液化技术的研究[J]. 山东工程学院学报, 2000, 14(1): 9 ~ 12.
Yi Weiming, Bai Xueyuan, He Fang, et al. Biomass liquefaction in a high-temperature plasma jet flow [J]. Journal of Shandong Institute of Technology, 2000, 14(1): 9 ~ 12. (in Chinese)
- 柏雪源,易维明,王丽红,等. 玉米秸秆在等离子体加热流化床上的快速热裂解液化研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 127 ~ 130.
Bai Xueyuan, Yi Weiming, Wang Lihong, et al. Fast pyrolysis of biomass for bio-oil in a plasma heated fluidized bed [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 127 ~ 130. (in Chinese)
- 张春梅,刘荣厚,易维明,等. 玉米秸秆等离子体热裂解液化实验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 96 ~ 99.
Zhang Chunmei, Liu Ronghou, Yi Weiming, et al. Experimental study on plasma pyrolysis of corn stalk for liquid fuel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 96 ~ 99. (in Chinese)