

转锥式生物质热解机械系统的研制

赵 军^{1,2}, 王述洋¹, 乔国朝¹, 曹有为¹, 张姝玉¹

(1. 东北林业大学机电学院, 哈尔滨 150001; 2. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

摘 要: 该文介绍了转锥式生物质热解系统的组成和工作过程, 该系统以自行研制的三锥齿缘式锥式反应器作为主反应器, 设计了连续弯叠火管式热载体加热炉和热载体气力输送装置。在反应器温度 550℃ 条件下, 取农作物秸秆和木材等生物质原料各 5 kg 进行试验, 加工平均耗时为 1 分 38 秒, 生物质油得率为 75.30%。该系统的研制和试验, 为大型生物质热解系统的开发提供了依据。

关键词: 生物质; 热解; 锥式反应器; 生物质

中图分类号: S216; TK6

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2007)5-0198-03

赵 军, 王述洋, 乔国朝, 等. 转锥式生物质热解机械系统的研制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 198–200.

Zhao Jun, Wang Shuyang, Qiao Guochao, et al. Development of rotating cone biomass pyrolysis mechanical system[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 198–200. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

生物质闪速热解是在中温(500~650℃)、高加热速率(>1000℃/s)和极短气体停留时间(<1s)的条件下, 将生物质直接热解, 热解气体经快速冷却, 获取生物质油的热化学反应过程。转锥式生物质热解系统, 不用载气, 减少了热解装置的体积和冷凝器负荷, 热解效率高。目前荷兰 Twente 大学有一套处理能力 5 t/d 的转锥式生物质热解设备在运行, 沈阳农业大学于 1995 年从荷兰引进了一套规模为 10 kg/h 的转锥式热解装置。本文研制的一套转锥式生物质热解系统, 是中国第一套三锥齿缘式锥式反应器热解系统, 采用了连续弯叠火管式热载体加热炉和热载体气力输送装置, 提高了生产率和生物质油得率。

1 转锥式生物质热解系统

转锥式生物质热解系统由反应器、热载体加热装置、热载体输送装置、气体净化装置、气体冷却装置和电控系统等 6 部分组成。图 1 为该系统的试验样机。

图 2 是转锥式生物质热解工艺流程图。经过处理的生物质和高温热载体(本文取石英砂)分别通过进料装置和热载体加热炉的管道进入主反应器的底部, 在锥帽的作用下, 生物质颗粒向四周分流的同时与热载体迅速混合, 然后在转锥离心力的作用下, 沿锥面螺旋上行, 在此过程中, 生物质颗粒被加热并进行热解。产生的热解气体通过出气管进入旋风分离器和冷却装置, 得到生物质油。热载体被甩到反应器底部, 沿流出管通过热载体输送装置进入到热载体加热炉中, 进行循环使用。

2 主要装置的设计

2.1 锥式主反应器

收稿日期: 2006-08-09 修订日期: 2007-01-17

基金项目: “863”计划项目(2001AA514060); “948”引进先进农业技术项目(2001-28)

作者简介: 赵 军(1969-), 男, 黑龙江大庆人, 副教授, 博士研究生, 主要从事生物质能研究利用。大庆 黑龙江八一农垦大学工程学院, 163319。Email: dqzhaojun@163.com

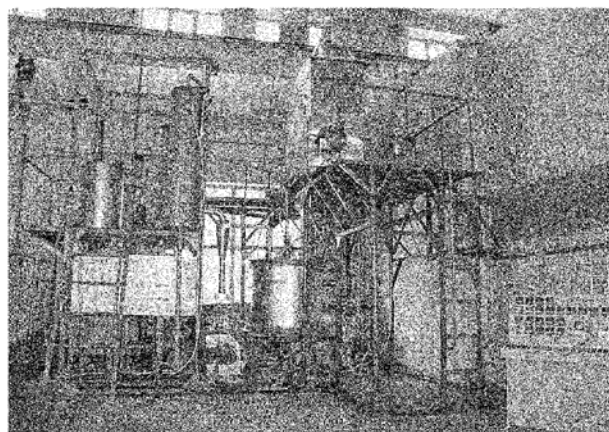


图 1 转锥式生物质热解系统

Fig. 1 Rotating cone biomass pyrolysis system

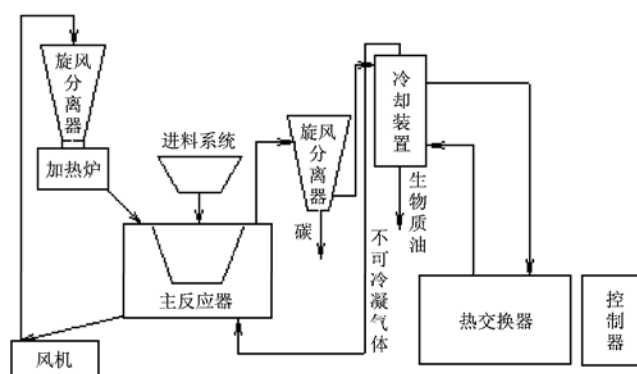


图 2 转锥式生物质热解工艺流程

Fig. 2 Working flow chart of rotating cone biomass pyrolysis system

通过对木材、秸秆等农林废弃物生物质物料热解规律的研究^[1,2], 热解反应为一级反应, 取最佳热解温度 550℃, 固相滞留期小于 0.5 s, 锥体的顶角为 90°^[3]。

锥式主反应器的锥体设计成双层固定锥和一层动锥的三锥反应器,在动锥的上沿设计了间断性的突沿,使部分不完全热解的生物质和热载体通过二层定锥的空间进到反应器底部重新进行热解,较之原设计的二层锥,提高了生物质的热解转化率。锥底底面固定一锥帽,在锥帽上设置4个螺旋搅条,使生物质颗粒下落到锥帽上向四周滑散,并在搅条的作用下与热载体迅速混合。在生物质的进料管和转锥的主轴上,设计了冷却水套。图3为转锥式反应器结构图。

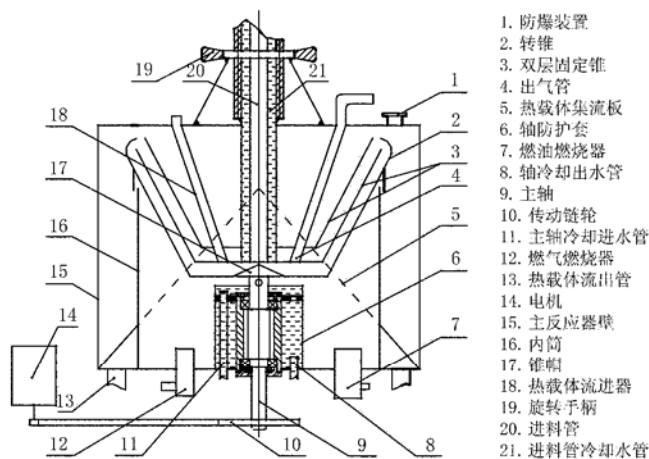


图3 转锥式反应器结构图

Fig. 3 Structure of rotating cone reactor

锥体顶角为 90° 时,转锥转速固定,以热载体力学模型为基础,建立热载体在转锥内运动的ADAMS仿真模型^[4],可做出热载体运动速度-时间的曲线。如图4所示,图中11条曲线对应不同的锥体上下端面半径,从中可计算出不同的转锥端面半径时的固相滞留期。由曲线图可知曲线6比较好,固体滞留时间是 $0.697-0.201=0.496\text{ s}$,即转锥上端面半径为 400.00 mm ,下端面半径为 144.82 mm 时,固相滞留期是 0.496 s 。因此,转锥设计尺寸取:锥角 90° ,锥体上端面半径为 400 mm ,下端面半径为 150 mm ,满足设计要求。

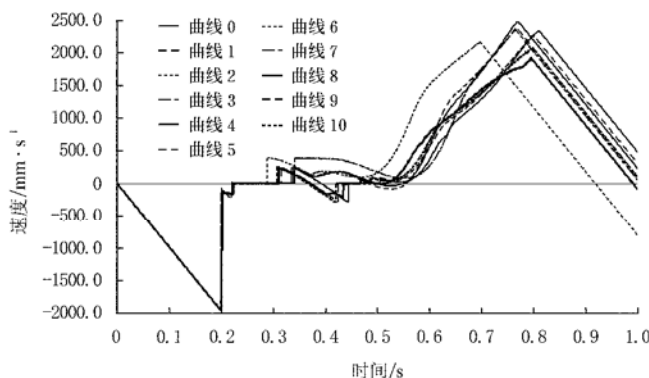


图4 转锥式反应器仿真曲线图

Fig. 4 Simulation graph of rotating cone reactor

2.2 热载体加热装置

热载体颗粒为精制石英砂,平均粒径为 0.35 mm ,密度为 2500 kg/m^3 。采用接触导热的热载体加热方式,加热燃烧器把柴

油雾化燃烧产生的烟气输送到加热炉内的加热管中,加热管连续弯叠、蛇形矩阵排列,热载体颗粒在加热管缝隙间流过而被迅速加热到设计温度。相对于燃烧器火焰直接加热方式,该方法对于大流量热载体加热速度快,热载体颗粒被充分加热,温度达 600°C ,热效率高,理论计算可达 80% 。由于热载体温度高,对转锥主轴和轴承、进料管进行循环水冷却处理。

2.3 热载体输送装置

热载体颗粒输送采用气力输送原理,利用风机配合旋风分离器,实现热载体颗粒的输送和分离。热载体从主反应器流出落入风机的上部,在气体压差的作用下向上运动,进入旋风分离器,分离后的热载体进入加热器,经加热后进入主反应器。

3 结果与分析

试验选择黑龙江产玉米秸秆、大豆秸秆、白桦、柞木等生物质原料,进行干燥处理,使含水率小于 10% ,再进行粉碎处理,处理后原料粒径为 $0.8\sim 1.2\text{ mm}$ 。试验前通入氮气 3 min ,清除系统中的空气。热载体加热至反应温度,在主反应器中循环 5 min 。上述生物质原料各取 5 kg 进行试验,收集生物质油,计算生物质油得率。试验前对物料进行称重,试验后对所得生物质油进行称重,以试验后所得生物质油质量所占试验前称得的试验物料质量的百分比定义为生物质油得率。不同生物质热解试验结果见表1。

表1 主要热解参数及生物油得率

Table 1 Major pyrolysis characteristics parameters and bio-oil production ratio

序号	原料	主反应器温度/ $^\circ\text{C}$	热载体流量/ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	生物燃油产出量/ kg	加工耗时/ min	生物质油得率/%
1	玉米秸秆 1	553	1800	3.38	1.77	67.6
2	玉米秸秆 2	557	1800	3.32	1.82	66.4
3	大豆秸秆 1	558	1800	3.66	1.68	73.2
4	大豆秸秆 2	556	1800	3.63	1.67	72.6
5	白桦 1	555	1800	3.89	1.52	77.8
6	白桦 2	557	1800	3.91	1.60	78.2
7	柞木 1	553	1800	4.14	1.48	82.8
8	柞木 2	556	1800	4.19	1.55	83.8
平均		555.6	1800	3.77	1.63	75.3

由表1试验数据和计算结果可知, 5 kg 原料热解平均耗时为 $1\text{分}38\text{秒}$,生物质油得率为 75.3% 。生物质原料的喂入量少,热解充分,生物质油得率较高。连续长时间运转、增加生物质原料的喂入量时,对热载体的输送提出了更高的要求,这是该热解系统进一步改进的地方。保证主反应器的反应温度,降低反应器内的固相停留时间,避免生物质气相的二次裂解,可以提高生物质油的产出量。

4 结论

1) 对本文研制的三锥齿缘式锥式反应器,用 5 kg 不同的生物质原料进行热解试验,平均耗时为 $1\text{分}38\text{秒}$,生物质油得率为 75.30% 。

2) 设计了连续弯叠火管式热载体加热炉和热载体气力输送

装置,提高了热载体的加热和输送效率。

3) 转锥式生物质热解系统的研制和试验,为大型生物质热解系统的开发提供了参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] 徐保江,李美玲,曾 忠,等. 旋转锥式生物质热解系统及热载体动力学研究[J]. 上海理工大学学报, 2000, 22(1): 16– 20.
- [2] 沈永兵,肖 军,沈来宏. 木质类生物质的热重分析研究[J]. 能源研究与利用, 2005, (3): 23– 26.
- [3] Bridgwater A V, Peacocke G V C. Fast pyrolysis processes for biomass[J]. Sustainable and Renewable Energy Reviews, 1999, 4(1): 1– 73.
- [4] 芮执元,程林章. 基于 Pro/E 与 ADAM 结合的虚拟样机动态仿真[J]. 现代制造工程, 2005, (1): 56– 58.

Development of rotating cone biomass pyrolysis mechanical system

Zhao Jun^{1,2}, Wang Shuyang¹, Qiao Guochao¹, Cao Youwei¹, Zhang Shuyu¹

(1. College of Mechanics and Electronics Northeast Forestry University, Harbin 150001, China;

2. College of Engineering, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing 163319, China)

Abstract: The composition and working process of rotating cone biomass pyrolysis system were introduced. In this system, the primary reactor was three-cone-tooth type rotating cone reactor. The continuous curving fired heating stove and pneumatic transmission of heat conveyors were designed. When the reactor temperature was 550℃ and 5 kg different dryness biomass materiel was taken, the average time of production was one minuite and thirty-eight second. The bio-oil production ratio was 75.30%. The development and test of pyrolysis system provide reference basis for large biomass pyrolysis system.

Key words: biomass; pyrolysis; rotating cone reactor; bio-oil