

间接加热炭化工艺对生物质炭化效果的影响

陈宝龙 樊启洲 王振

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 为提高生物质炭化炉的炭化效率,采用间接加热炭化方式对粉碎后的废弃树枝进行炭化,研究一次进风量、炭化温度、炭化时间等因子对炭化效果的影响,优化炭化工艺参数。结果表明:控制炉内炭化温度约500℃、炭化时间保持12 h左右、一次进风量为5 000 mm²、烟囱高度为2 m时,炭化收成率、碳素率和炭化物性能都维持在较高水平。

关键词 生物质; 加热; 炭化; 工艺参数

中图分类号 TS 216.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)01-0127-04

随着集约化和规模化的现代农业快速发展,农业废弃物数量不断增加,但处理和再利用技术相对落后,从而带来严重的环境问题和资源浪费问题。农业废弃物资源的合理应用已成为世界大多数国家共同面临的问题。农业废弃物的资源化利用和无害化处理,是控制农业环境污染、改善农村环境、发展循环经济、实现农业可持续发展的有效途径^[1-6]。

目前,生物质炭主要用于烧烤和取暖等,需要把切碎的生物质原料先机械压缩成棒状或块状,然后在炭化炉中炭化,转化效率低且能源消耗严重。现有的炭化设备比较简陋,存在生产成本低、能耗大和得炭率低等问题,且其设备多为实验室装置和工业设备,无法实现生物质原料的就地炭化,加之没有烟气回收利用装置,炭化过程中产生的气体直接排放到大气中,极易造成二次污染^[7-8]。烟气回用可移动式生物质炭化炉以农林业废弃物为炭化原料,即实现了就地处理,减少资源浪费和对环境的污染^[9]。炭化生成的木炭粉可作为土壤调节剂施入土壤中,改变土壤的酸碱度,提高土壤活性,减少化肥用量,改善土壤的透气性和排水能力,促进农作物生长。炭化时生成的可燃气体回收后可作为燃料使用,真正做到了零排放,形成了生物质的良性循环系统,保护了环境^[10]。

为提高生物质炭化炉的效率,优化农林业废弃物炭化处理的工艺参数,获得最高的综合性能,笔

者以修剪下来的树枝为炭化原料,对炭化时炉内温度、燃烧室内燃烧物料质量、通风时间长短、原料含水率等因子对炭化效果的影响等进行试验与分析,旨在为炭化工艺参数优化、炭化装置的改进和实现高效炭化技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 炭化装置

根据对生物质加热的不同方式,炭化装置可分为外热式、内热式和自燃式。前2种是由外部提供热源或直接给生物质加热,能耗较高;自燃式是利用炭化过程中生物质热分解生成的气体进行燃烧,能耗较低但容易出现炭化不完全现象,因此,采用间接加热的方式对生物质加热,既避免了能源的严重浪费,又避免出现炭化不完全现象。

本试验的炭化装置如图1所示。生物质燃料炭化部分经炭化炉顶部加入炭化室内,燃烧部分经填料口加入燃烧室内燃烧。炭化装置运转初始阶段,通过加入少量的农林业废弃物在燃烧室中进行燃烧,来预热干燥炭化室内的生物质原料,炭化室内产生的气体排除水蒸气以后,其余气体如甲烷、一氧化碳、氢气、二氧化碳等经烟气回用装置进入燃烧室内再次燃烧,即炭化开始之后热分解产生的可燃气体使用作进行炭化的能源。

为及时掌握炭化炉内的工作状态,在炭化室内

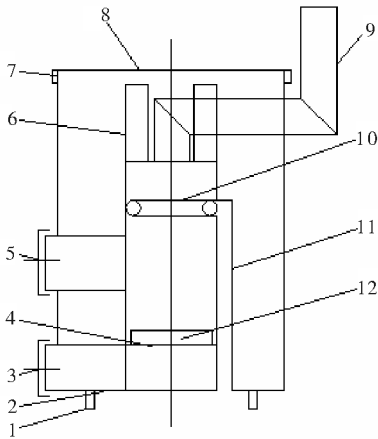
收稿日期: 2013-04-15

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200903023)

陈宝龙, 硕士研究生。研究方向: 可再生能源与环境。E-mail: chbl1988@163.com

通信作者: 樊启洲, 副教授。研究方向: 农业机械化工程, 可再生能源与环境。E-mail: qizhoufan@mail.hzau.edu.cn

从下往上依次设置了温度传感器,可监测装置内各部位温度的变化。根据各部位温度的变化控制通风量的多少和通风时间的长短。



1. 炉脚 Furnace feet; 2. 炉底板 Furnace bottom; 3. 一次进风口 Main inlet; 4. 燃烧室底板 Combustion chamber bottom; 5. 填料口 Filling hole; 6. 传热片 Transforming heat; 7. 炉盖压紧装置 Furnace cover pressing device; 8. 炉盖 Furnace cover; 9. 烟囱 Chimney; 10. 二次通风装置 The second-time ventilation device; 11. 二次通风管道 The second-time ventilation channel; 12. 烟气回用装置 Recycling device for flue gas.

图 1 生物质炭化炉总体结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the overall structure of the biomass carbonization furnace

1.2 供试材料

供试材料为华中农业大学校园内树木修剪后的废弃树枝,经收集、粉碎、风干而成木屑。控制木屑含水率小于 14%,木屑最大粒径小于 20 mm,并对木屑进行工业分析和元素分析。在工业分析中,木屑中挥发成分含量为 81.71%,固定碳含量为 17.60%;在元素分析中,木屑中碳元素含量为 48.81%,氧元素含量为 42.26%,氢元素含量为 7.24%,另含有少量的氮元素和硫元素。

1.3 工艺设计

生物质热解炭化气—固体产物综合利用系统工艺流程如图 2 所示。

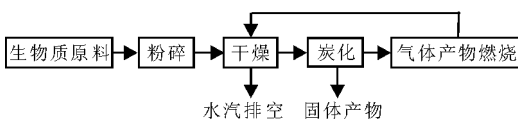


图 2 生物质炭化工艺流程示意图

Fig. 2 Flow diagram of the biomass carbonization process

1) 炉温设定。炭化过程中炭化温度的高低会直接影响炭化产率的高低和炭化效果的好坏,因此,炭化炉温的设定十分重要。本试验设定控制炉内温度的水平分别为 300、400、500、600、700 °C,通过控制燃烧室内燃烧原料的质量、一次进风量实现温度控制。

2) 一次进风量。一次进风量是生物质炭化炉燃烧室内空气的主要来源,其大小直接影响燃烧状态和炭化效果,因此,一次进风量对试验数据的分析和炭化工艺参数的确定有显著影响。试验中保证炭化温度在 500 °C 时,将一次进风量设置为 3 个平行水平,分别为 2 500、5 000、7 500 mm²,通过调节风门的开合度进行调节控制。

3) 炭化时间。炭化时间设定的长短,对生物质炭的形成和生物质炭品质的好坏有显著影响,是炭化工艺参数确定过程中重点考虑的内容。本试验炭化时间设置 8、12、16、20 h 四个水平,试验条件设定为一次进风量为 2 500 mm²、炭化温度为 500 °C。

2 结果与分析

2.1 炉内温度对炭化效果的影响

不同炉内温度下木屑炭化产率的变化曲线如图 3 所示。由图 3 可知,炉内温度低于 200 °C 时,原料的化学组成基本保持不变,木屑中所含的水分开始蒸发,此阶段主要对木屑进行干燥和预热; 200~400 °C 时,此阶段为剧烈热解过程,随着炉内温度升高,原料质量急剧降低,此阶段热解气体燃烧特性良好,将此阶段气体经回气装置送入燃烧室中进行充分燃烧,为整个系统提供热量来源; 400~600 °C 时,木屑已炭化为木炭并处于精炼阶段,且随着炉内温度的升高木炭中固定碳的含量逐渐升高,碳元素的比例超过 80%。

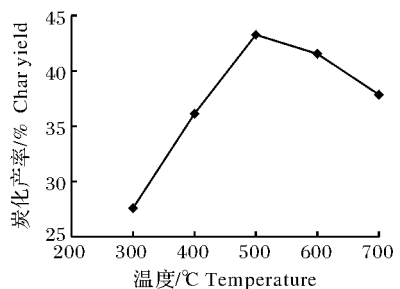


图 3 不同炭化温度下炭化产率的变化

Fig. 3 Changes of the char yield with different charring temperature

综合分析可知,原料在 150 °C 以下属预热干燥阶段,150~400 °C 为快速热解过程,在 400~600 °C 之间进行炭化,400 °C 以下炭化不够完全,600 °C 以上可能出现过炭化现象,木炭进一步燃烧生成高温气体,随烟气排出,减少木炭收成率。从图 3 中可以看出,当炭化温度在 500 °C 时,炭化产率达到最高 43.26%。

2.2 一次进风量对炭化效果的影响

一次进风是影响生物质炭化炉燃烧状态的主要因素,是燃烧室内燃烧反应所需空气量的主要来源。一次进风量对升温速率的影响如图 4 所示。由图 4 可知,炭化室内升温速率随一次进风量的变化整体呈先上升后下降的趋势。一次进风量为 2 500 mm² 时 A、B、C、D 各点温度传感器测得的升温速率均处于最小值,5 000 mm² 时达到最大值,这说明在该试验条件下,开始阶段升温速率随着一次进风量的增加而增大,表明开始阶段进入燃烧室内的空气量不够,生物质燃烧未实现充分燃烧;随着进入空气量的逐渐增大,升温速率反而会出现相应程度的降低,因为通入空气量过多,会降低燃烧室的温度,加剧烟气的排出量,多余的空气经烟囱排出会带着大量的热量,因此,从升温速率来看,应该选择合适的一次通风量,以保证燃烧室内生物质燃料和可燃气体的充分燃烧,从而达到热能最大限度的利用。

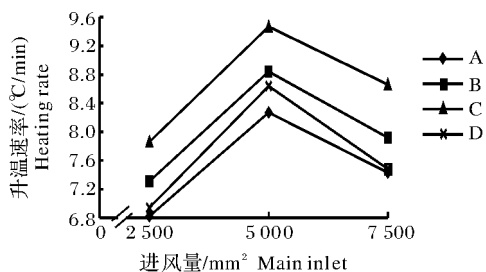


图4 一次进风量对升温速率的影响

Fig. 4 Influence of primary air inlet on heating rate

2.3 炭化时间对炭化效果的影响

炭化时间的长短直接影响炭化率和炭化产率的高低,在生物质炭化过程中控制炭化时间的长短非常重要。由图 5 可知,控制炭化温度在 500 °C 左右,在炭化时间为 8 h 时,木炭化不完全,炭化室内生物质原料还在相互发生热反应,还有部分生物质没有炭化;当炭化时间达到 12 h 的时候出现 1 个峰值,此时炭化室内温度基本等同于外界温度,达到了自然冷却的效果,炭化产率达到 43.26%,随后基本保

持不变。综合分析可知,炭化温度过短时,可能会有一部分木炭原料没有完全炭化,且木炭的品质较低,挥发成分含量较高,固定碳含量较低。但随着炭化时间的进一步延长,超过 12 h 以后,炭化产率基本保持不变。因炭化时间的延长会加大人力物力的消耗,故炭化时间应该控制在 12 h 左右。

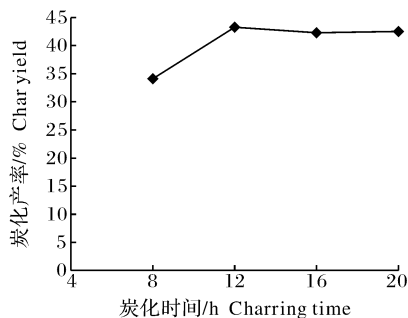


图5 炭化时间对炭化产率的影响

Fig. 5 Influence of charring time on char yield

3 讨论

为改善农村生态环境,解决就地炭化难的问题,笔者设计的生物质炭化炉,可实现生物质资源的就地炭化和就地利用。采用该间接加热生物质炭化装置进行生物质炭化试验,优化了炭化工艺参数,试验结果与分析表明: I. 一次进风量对生物质炭化炉的性能指标具有较显著的影响。当一次进风量过小时,会造成燃料的不完全燃烧现象,但当进风量过多的时候,会造成燃烧室内热能随空气经烟气管道排出的现象,无法实现最大的热转化效率。最佳一次进风量为 5 000 mm²; II. 炭化时间对生物质炭化炉最终碳的形成具有显著的影响。对炭化产率的影响具有较显著的影响,当炭化时间设定过短时(8 h)会出现不完全炭化现象,炭化率和炭化产率都偏低,但炭化时间也不易过长,炭化时间过长时会造成效率降低和人力物力极度浪费。最佳炭化时间为 12 h; III. 炭化温度是影响生物质炭化过程中生物质炭形成的重要因素之一。炭化温度设置过低,会出现不完全炭化现象,温度过高会出现生物质炭继续燃烧,变成高温气体随烟气管道排出,影响生物质炭的产率。控制炭化温度在 500 °C 时,可以实现炭化产率的最大化。

综上所述,设计的可移动式生物质炭化炉在对生物质废料进行炭化处理的过程中,较理想的工艺参数是:控制炉内炭化温度约 500 °C、炭化时间保持

12 h 左右、一次进风量为 5 000 mm²、烟囱高度为 2 m 时,炭化收成率、碳素率和炭化物性能都维持在较高水平。

此外,因受供试材料和试验条件的影响,笔者仅对生物质炭化炉进行了木屑的炭化试验,今后还应选择其他不同生物质原料进行试验,并不断改进和优化生物质炭化炉,为合理应用资源和控制环境污染继续努力探索。

参 考 文 献

- [1] 杜建红,孙丽娅,张永康,等.三段式炭化装置及炭化工艺参数研究[J].机械设计与制造,2010,12(12):186-188.
- [2] 秦岭.生物质热解动力学及反应机理的研究[D].北京:清华大学图书馆,2012.
- [3] 王金梅,陈革新,赵培庆,等.生物质连续炭化工艺研究[J].现代化工,2009,29(9):300-302.
- [4] 杜立新.生物质致密成型技术处理农林业废弃物[J].山西能源与节能,2010,58(2):21-22.
- [5] NABAIS J V,CARROTT P,CARROTT M M L R,et al. Influence of preparation conditions in the textural and chemical properties of activated carbons from a novel biomass precursor: the coffee endocarp[J]. Bioresource Technology, 2008, 99 (15):7224-7231.
- [6] 方进.上吸式生物质气化炉设计与实验研究[D].合肥:安徽工程大学图书馆,2012.
- [7] 胡见波,杜泽学,闵恩泽.生物质水热液化机理研究进展[J].石油炼制与化工,2012,43(4):87-92.
- [8] 何光设,蒋恩臣.生物质成型材料干馏裂解工艺试验[J].农业工程学报,2006(10):129-131.
- [9] 郭聪颖.基于 ANSYS CFX 生物质半气化炉的试验研究及模拟[D].武汉:华中农业大学图书馆,2011.
- [10] 傅旭峰,仲兆平,肖刚,等.几种生物质热解特性及动力学的对比[J].农业工程学报,2009(1):199-202.
- [11] WEBLEY P A. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage[J]. Chemical Engineering, 2010, 162(3):883-892.

Influence of indirect heating carbonization process on biomass carbonization efficiency

CHEN Bao-long FAN Qi-zhou WANG Zhen

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract An indirect heating carbonization method is used to carbonize the wood chip from trimmed branches, and some technological parameters that influence the carbonization are studied. The parameters are main air inlet, carbonization temperature and carbonization time. The aim of the experiment is to optimize the technological parameters of the carbonization in order to provide technical support to the improvement of the ecological environment and the recycling of the waste in agricultural production. The results show that carbonization yield rate, carbon rate and the charcoals performance are maintained at a high level when the carbonization temperature is controlled at about 500 °C, the carbonized time is set at about 12 h, the main air inlet is set at 5 000 mm², and the chimney height is 2 m.

Key words biomass; heating; carbonization; technological parameter

(责任编辑:陈红叶)