

林木基与秸秆基生物质颗粒燃烧特性对比研究

朱 复 东

(江苏东工生物质能研究院有限公司, 江苏 盐城 224007)

摘 要: 选取落叶松、红松作为林木基生物质颗粒原料, 选取棉秆、玉米秸秆作为秸秆基生物质颗粒原料, 采用江苏东工生物质能研究院有限公司开发的生物质颗粒燃烧器为试验装置, 分析了 4 类生物质颗粒的燃烧特性、污染物排放特性及底灰结渣特性。结果表明: 水分越低、挥发分越高、灰分越低, 所需点火时间越短; 运行阶段林木基与秸秆基生物质颗粒能够充分燃烧, CO 排放浓度达到最小; 林木基与秸秆基生物质颗粒燃烧烟气中 NO_x 排放浓度低于国家标准, NO_x 排放浓度与 N 含量基本成正比, NO_x 生成方式主要为燃料型反应机制; 软化温度越高, 结渣率越低, 当软化温度达到 1390 °C 以上时, 不会发生结渣。

关键词: 林木基生物质颗粒; 秸秆基生物质颗粒; 燃烧; 污染物排放; 结渣

中图分类号: S216.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)04-0083-04

Comparison of combustion characteristics between forest – based and straw – based biomass pellet

ZHU Fudong

(Jiangsu Donggong Biomass Energy Research Institute Co., Ltd., Yancheng 224007, China)

Abstract: Larch and Korean pine were used as forest – based biomass pellet, cotton and corn straw were used as straw – based biomass pellet. Burning characteristics, pollutants discharge and bottom ash slagging characteristics of four biomass particles were analyzed with the biomass pellet burner developed by Jiangsu Donggong Biomass Energy Research Institute Limited Company. The results show that the lower moisture, ash content and the higher volatile matter, the shorter the ignition time. The forest – based and straw – based biomass pellet can full combustion during the running stage, and concentration of CO emission is the smallest, the emission of NO_x in flue gas concentration is lower than the national standard, the NO_x emission concentration is proportional to the content of N, the formation of NO_x is mainly the fuel type reaction mechanism. The higher the softening temperature, the lower the slagging rate. There is no evidence of slagging when the softening temperature is above 1390 °C.

Key words: forest – based biomass pellet; straw – based biomass pellet; combustion; pollutant discharge; slagging

0 引 言

随着全球经济的飞速发展, 不可再生的石油、煤炭等化石能源逐步枯竭, 化石能源的利用带来了环境的持续恶化, 因此具有清洁、可再生等特点的生物质能开发和利用受到了人们广泛关注^[1-3]。中国生物质资源丰富, 在诸多利用途径中, 生物质成型技术被认为是一种方便、易操作的利用方式^[4-5]。生物

质颗粒是一种具有洁净、高效、CO₂ 零排放、点火容易等优点的成型燃料^[6]。开发和利用丰富的生物质颗粒, 对解决日益严重的能源短缺问题和环境污染问题、实现经济可持续发展有着重要而深远的意义。目前, 国内外对于生物质颗粒的燃烧机理开展了一定研究^[7-9]。国外生物质颗粒的燃烧利用多以林木基类原料为主^[10], 国内利用的生物质能源则主要以秸秆基类原料为主^[11]。笔者拟分别进行林木

收稿日期: 2014-05-08; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.04.024

作者简介: 朱复东(1963—), 男, 江苏高邮人, 研究员级高级工程师, 工学硕士, 东南大学产业教授, 主要从事生物质能源化的研发工作。E-mail: dongon666@163.com

引用格式: 朱复东. 林木基与秸秆基生物质颗粒燃烧特性对比研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(4): 83-86.

ZHU Fudong. Comparison of combustion characteristics between forest – based and straw – based biomass pellet[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(4): 83-86.

基生物质颗粒以及秸秆基生物质颗粒的燃烧试验,根据试验结果,对比分析林木基生物质颗粒及秸秆基生物质颗粒燃烧后的燃烧特性、结渣特性、污染物排放特性等。

1 试验

1.1 试验原料

试验所用生物质颗粒由江苏东工生物质能研

究院研发的生物质颗粒成型机(DBZ-1型)压制而成,于2012年7月取自江苏省大丰某生物质颗粒生产厂。试验选取了4类典型的生物质颗粒,包括红松、落叶松2类林木基颗粒燃料;棉秆、玉米秸秆2类秸秆基颗粒燃料。成型颗粒为圆柱型,颗粒长度为20~50mm,颗粒密度约为 1.2 g/cm^3 ,颗粒直径为8mm。表1为试验所测4种生物质颗粒的特性。

表1 生物质颗粒的工业分析、元素分析和发热量

样品	工业分析/%				元素分析/%				$Q_{\text{net}}/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$
	M_{ad}	A_{d}	V_{daf}	FC_{ar}	$w(\text{C}_{\text{ar}})$	$w(\text{H}_{\text{ar}})$	$w(\text{N}_{\text{ar}})$	$w(\text{O}_{\text{ar}})$	
落叶松	7.63	78.68	2.84	10.85	47.63	6.04	0.22	46.11	16.98
红松	9.05	71.48	5.86	13.61	49.89	6.23	0.35	43.53	19.72
棉秆	9.41	65.97	9.75	14.87	40.44	5.07	0.91	53.58	19.43
玉米秸秆	8.27	75.73	4.06	11.94	40.46	5.83	0.78	52.93	22.54

1.2 试验仪器与方法

试验仪器: VarioEL 元素分析仪、HR-A5 微机灰熔点测定仪、VISTA-MPX 型等离子发射光谱仪、KM9106 型综合烟气分析仪、PL2002 型电子天平、BSA223S-CW 型分析天平、ZDHW-5 型微机全自动量热仪。

试验方法: 首先对红松、落叶松、棉秆、玉米秸秆4类试验原料分别称取等量样品,然后测定各个样品的水分、挥发分、固定碳、灰分以及C、H、O、N、S含量并测定发热量;最后对4种生物质燃料的渣块和底灰进行测量,称取等量的灰渣,分析4种生物质灰熔融特性及灰渣的化学成分。

燃料的进量控制在230~250g,进料速度为4.0~4.5kg/h;对同一种燃料进行至少3次试验并取其平均值作为试验结果。

1.3 试验测定参数

1) 燃烧特性。通过分析林木基及秸秆基生物

质颗粒中的水分、挥发分及灰分与点火时间的关系,反应4类生物质颗粒的燃烧特性。

2) 污染物排放特性。采用便携式烟气综合分析仪对烟气进行实时分析和记录,测定不同试验阶段林木基及秸秆基生物质颗粒燃烧产生的烟气中CO与 NO_x 排放质量浓度。

3) 底灰结渣特性。分析林木基及秸秆基生物质颗粒燃烧后底灰的灰熔融性对结渣的影响,反应4类生物质颗粒的底灰结渣特性。

2 试验结果与分析

2.1 燃烧特性

通过对4种生物质颗粒进行燃烧试验,发现生物质颗粒燃料点火时间与水分、挥发分及灰分密切相关。图1反应的是4类生物质颗粒的水分、挥发分和灰分对颗粒燃料的点火时间的影响。

由图1a)可知,各种生物质颗粒燃料的水分均

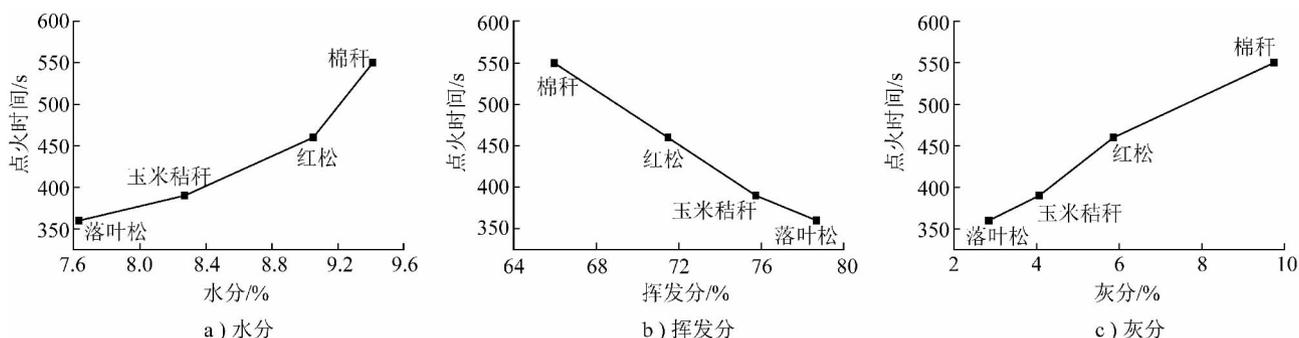


图1 水分、挥发分和灰分质量分数对生物质颗粒燃料点火时间的影响

小于 10% ,其中落叶松水分最低为 7.63% ,其所需点火时间最短为 360 s ,棉秆水分最高为 9.41% ,其所需点火时间最长为 550 s 。综上所述 ,点火时间和水分大致呈指数递增关系。原因大致是: 生物质颗粒中水分的存在 ,增加了生物质颗粒的干燥时间 ,而由于水分蒸发吸热又降低了燃烧温度(绝热燃烧温度) 。此外 ,燃料中的水分如超过一定比例 ,燃料将无法点燃^[12]。

由图 1b) 可知 ,落叶松的挥发分最高为 78.68% ,其所需的点火时间最短为 360 s ,棉秆的挥发分最低为 65.97% ,所需最长的点火时间为 550 s 。综上所述 ,燃料点火时间和挥发分之间大致为线性递减关系 ,即挥发分越高 ,所需点火时间越短。这是因为生物质颗粒的挥发分中含有大量可燃气体 ,如 CH_4 、 H_2 、 C_mH_n 等 ,挥发分越高意味着可燃气体的含量越高 ,而大量的可燃气体使燃料更容易被点燃^[13]。

由图 1c) 可知 ,棉秆灰分最高为 9.75% ,其所需点火时间最长为 550 s ,落叶松的灰分最低为 2.84% ,所需点火时间最短为 360 s 。可见点火时间随灰分增加而增加。这是由于灰分是生物质颗粒燃料的不可燃成分 ,灰分越高 ,可燃成分相对减少 ,热值相对降低 ,燃烧温度也低 ,则越不容易燃烧^[14]。

2.2 污染物排放特性

生物质燃料的燃烧分为启动、预运行、运行和停止 4 个阶段。试验中可以观察到以下过程: 首先是启动阶段的烟气 ,主要由水蒸气组成 ,呈现白色; 点火后 ,通过观测可以看到火焰颜色呈现红而宽的状态 ,且这一时刻为点火初期 ,燃烧器内的温度较低 ,烟气主要是由燃烧中助燃空气不足而呈现灰色或者黑色。在预运行阶段 ,伴随着温度的逐渐升高 ,火焰颜色发生变化逐渐由红色变成橘黄色。随后 ,进入运行阶段 ,火焰燃烧更加稳定为黄色 ,同时烟气呈现淡青色。在停止阶段 ,随着温度的降低 ,烟气颜色逐渐变黑 ,同时火焰变小直至熄灭。

4 类生物质颗粒燃烧烟气中 CO 和 NO_x 排放质量浓度如图 2 所示。

从图 2a) 中可以看出 ,燃烧器启动之后 ,随着燃烧的进行 ,挥发分的析出 ,烟气中 CO 的含量发生变化。首先是在启动和预运行阶段 ,由于燃烧室的温度较低 ,燃料进料已达到最大值但是燃烧所需的空气量不足 ,从而导致燃烧不充分 , CO 排放浓度高。进入运行阶段后 ,随着进风量的增大 , CO 迅速充分

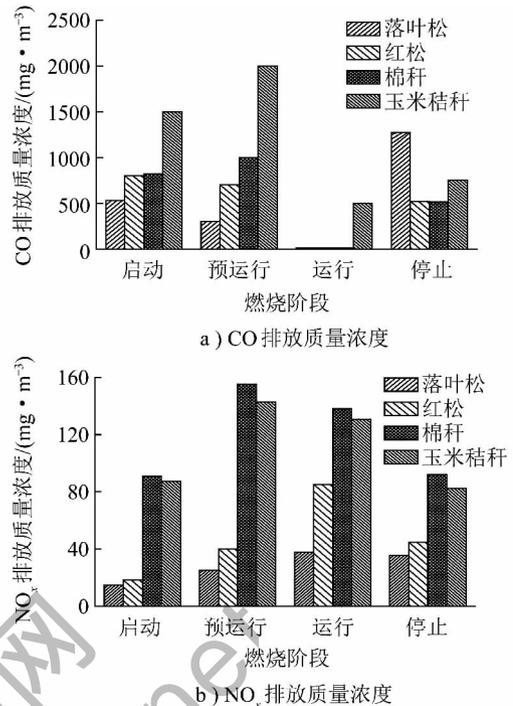


图 2 4 类生物质颗粒燃烧烟气中 CO 、 NO_x 排放质量浓度
燃烧 ,从而使 CO 含量降低。随着燃烧的不断稳定进行 , CO 含量达到最小。从运行到停止阶段 ,进风量逐渐减小直到为零 ,使未燃尽的燃料不能充分燃烧 ,在这一阶段 CO 排放质量浓度急剧增加。

由图 2b) 可知 ,正常运行时生物质颗粒燃烧时烟气的 NO_x 排放质量浓度由低到高依次为: 落叶松、红松、玉米秸秆、棉秆。4 类生物质颗粒燃烧烟气中 NO_x 的排放浓度均低于国家标准。由表 1 中对 4 种生物质颗粒 N 元素分析可知 ,燃料中 N 含量越高 ,该种生物质燃料的 NO_x 排放质量浓度就越高。当温度低于 1300 °C 时 , NO_x 的生成方式主要是燃料型。

2.3 底灰结渣特性

结渣是由软化或熔融的灰粒冷却不充分遇到温度较低的换热面时生成的熔渣。不同生物质燃料生成的灰渣有较大差异。影响锅炉结渣的因素很多 ,可以通过灰熔融特征来评价结渣特性。

4 种生物质颗粒的灰熔融性参数见表 2。

表 2 灰熔融性参数 °C

样品	变形温度 DT	软化温度 ST	半球温度 HY	流动温度 FT
落叶松	1332	1392	1404	1404
红松	1181	1196	1206	1254
棉秆	1231	1262	1284	1312
玉米秸秆	1148	1212	1246	1259

灰熔融特征温度是判别层燃炉灰渣黏结的指标。其中软化温度与生物质颗粒燃料结渣特性密切相关,是预测炉内结渣倾向的常用指标^[15]:① ST 大于 $1390\text{ }^{\circ}\text{C}$,生物质颗粒燃料不结渣。② ST 在 $1260\sim 1389\text{ }^{\circ}\text{C}$,生物质颗粒燃料中等结渣。③ ST 小于 $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$,生物质颗粒燃料严重结渣。

表2给出了4种生物质颗粒燃烧的灰熔融参数,落叶松 $ST=1392\text{ }^{\circ}\text{C}$,由此推测落叶松具有不结渣特性;棉秆 $ST=1262\text{ }^{\circ}\text{C}$,由此推测棉秆具有中等结渣特性;红松 $ST=1196\text{ }^{\circ}\text{C}$,玉米秸秆 $ST=1212\text{ }^{\circ}\text{C}$,由此推测红松与玉米秸秆具有严重结渣特性。

灰熔融特征温度只是判别生物质颗粒结渣特性的一个指标,判定结渣的分辨率和准确率都不高,要更为准确地预测生物质燃料是否结渣,还要结合其他的判别指标运用数学方法进行综合分析和判断。

3 结 论

1) 林木基与秸秆基生物质颗粒燃料燃烧所需的点火时间与燃料的水分、挥发分及灰分密切相关。水分越低、挥发分越高、灰分越低,所需点火时间越短。

2) 运行阶段,鼓风机全速运行,林木基与秸秆基生物质颗粒能够充分燃烧,温度不断升高,燃烧逐渐稳定, CO 排放浓度达到最小。

3) 林木基与秸秆基生物质颗粒燃烧烟气中 NO_x 的排放浓度均低于国家标准。在低于 $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,烟气中 NO_x 的N元素主要是来自于燃料,因此N含量高的生物质颗粒,其燃烧后生成的 NO_x 排放质量浓度相对较高。

4) 林木基与秸秆基生物质颗粒燃料的灰熔融特征表征了其结渣特性,生物质颗粒燃料的软化温

度越高,则对应的结渣率越低。如果生物质颗粒的软化温度在 $1390\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,该燃料不会发生结渣。

参考文献:

- [1] 任敏娜,崔永章,李 晓,等.八种生物质颗粒燃烧特征分析[J].山东建筑大学学报,2012,27(3):298-301.
- [2] 王翠苹,李定凯,王凤印,等.生物质成型颗粒燃料燃烧特性的试验研究[J].农业工程学报,2006,22(10):174-177.
- [3] 姚宗路,赵立欣,Ronnback M,等.生物质颗粒燃料特性及其对燃烧的影响分析[J].农业工程学报,2010,41(10):97-102.
- [4] 田宜水,孟海波.农作物秸秆开发利用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [5] Margaret K, Mann Pamela L, Spath. Life cycle assessment of a biomass gasification combined-cycle power system[M]. 戴 林,王革华,占增安,译,贡光禹,校.北京:中国环境科学出版社,2000.
- [6] 戴文仪.生物质颗粒燃料燃烧特性及燃烧动力学实验研究[D].长春:吉林大学,2008.
- [7] 袁艳文,林 聪,赵立欣,等.生物质固体成型燃料抗结渣研究进展[J].可再生能源,2009(5):54-57.
- [8] 矫振伟,赵武子,王瀚平,等.混合生物质颗粒燃料的燃烧特性[J].可再生能源,2012,30(6):77-81.
- [9] Gilbe C, Öhman M, Lindström E, et al. Slagging characteristics during residential combustion of biomass pellets[J]. Energy & Fuels, 2008, 22(5):3536-3543.
- [10] Juan F González, Carmen M González-García, Antonio Ramiro, et al. Use of energy crops for domestic heating with a mural boiler[J]. Fuel Processing Technology, 2006, 87(8):717-726.
- [11] 罗 娟,侯书林,赵立欣,等.生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J].可再生能源,2009(6):90-95.
- [12] 罗 娟,侯书林,赵立欣,等.典型生物质颗粒燃料燃烧特性试验[J].农业工程学报,2010,26(5):220-226.
- [13] 李桂荣.生物质与煤混合燃烧成灰特性研究[D].沈阳:沈阳航空工业学院,2009.
- [14] 叶贻杰.生物质灰特性及其结渣机理的研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [15] 罗小金.生物质颗粒燃料燃烧的试验特性[D].长春:吉林大学,2008.
- [33] 廖洪强,李保庆,张碧江,等.煤焦炉气共热解特性研究IV:甲烷和一氧化碳对热解的影响[J].燃料化学学报,1998,26(1):13-17.
- [34] 孙庆雷,李 文,陈浩侃,等.神木煤显微组分热解和加氢热解的焦油组成[J].燃料化学学报,2005,33(4):413-415.
- [35] Braekman - danheux C, Cyprès R, Fontana A, et al. Coal hydromethanolysis with coke-oven gas: 2. Influence of the coke-oven gas components on pyrolysis yields[J]. Fuel, 1995, 74(1):17-19.
- [36] Zhang X F, Dong L, Zhang J W, et al. Coal pyrolysis in a fluidized bed reactor simulating the process conditions of coal topping in CFB boiler[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011, 91(1):241-250.
- [37] 雷 玉.神府煤在不同气氛下的催化热解反应性研究[D].西安:西安科技大学,2010.
- [38] 邹献武,姚建中,杨学民,等.喷动-载流床中 Co/ZSM-5 分子筛催化剂对煤热解的催化作用[J].过程工程学报,2007,7(6):1107-1112.
- [39] 王兴栋,韩江则,陆江银,等.半焦基催化剂裂解煤热解产物提高油气品质[J].化工学报,2012,63(12):3897-3905.
- [40] 邓 靖,李文英,李晓红,等.橄榄石基固体热载体影响褐煤热解产物分布的分析[J].燃料化学学报,2013,41(8):937-942.
- [41] 曾令鹏,谢放华,韩江则,等.多层床煤热解提高油气品质的机理研究[J].煤炭转化,2014,37(1):55-64.

(上接第82页)