

生物质颗粒燃料理化特性研究

焦其帅¹, 黄永茂¹, 张志华¹, 郝宏强¹, 林忠²

(1. 河北化工医药职业技术学院, 河北石家庄050026; 2. 黄骅市三丰生物能源有限公司, 河北黄骅061100)

摘要:以河北黄骅地区特有的多种生物质为原料, 制成生物质颗粒, 按照国标的要求, 分析了不同生物质颗粒的密度、机械强度、含水量、燃烧热值、挥发分含量、灰分含量、灰分成分等特性指标; 测定结果表明: 生物质颗粒的密度在 $1.1\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$

之间, 燃烧热值在 $3500\sim 5000\text{cal}/\text{g}$ 之间, 折合标准煤当量 $0.50\sim 0.71$, 挥发分含量为 $41.5\%\sim 45.3\%$ 之间, 灰分含量为 $0.8\%\sim 4.2\%$ 之间; 其中, 黄花松等松木的热值高, 灰分含量低, 灰分中硅含量较高, 灰较松散; 枣核等农产品下脚料热值、灰分含量居中, 灰分中碱金属含量高, 存在部分结渣现象; 芦苇等野生植物热值较低、灰分含量高, 灰分中硅酸盐、碱金属盐含量都高, 灰渣呈琉璃状。

0引言

生物质颗粒燃料由于具有原料廉价、来源广泛、可再生等突出优点, 受到广大研究者的关注, 并得到政府的大力支持。胡谢利等在文献中报道了生物质燃料制备技术的研究进展, 中国《可再生能源发展“十三五”规划》中明确规定继续支持生物质颗粒燃料的发展。

现有关于生物质颗粒燃料的文献报道都是以地区性很强的部分生物质为研究方向, 研究结果的应用范围存在地区特性, 如烟杆、甘蔗渣等, 仅适用于南方产烟、产糖地区。虽然我国生物质资源很丰富, 但种类繁多, 性质各异, 分布不均, 研究成果很难在全国范围内推广, 因此, 关于生物质颗粒燃料的研究, 只能以地区为特色, 任重而道远。

河北省沧州黄骅地区, 地处沿海, 生物质资源很丰富, 但针对该地区特有生物质的研究还未见报道。在这样的背景下, 从事生物质颗粒燃料生产的黄骅市三丰生物能源有限公司提出与高校合作, 开展针对性的研究。

通过采用河北沧州黄骅地区常见的木器加工下脚料(黄花松、樟子松等)、农产品加工下脚料(枣核、栗子壳等)、农作物秸秆(玉米秸秆、玉米芯等)、野生植物秸秆(红荆条、芦苇等)多种生物质为原料, 制成生物质颗粒燃料, 考察了其多种理化特性, 为沧州地区生物质能源的合理利用提供了科学的依据。

1实验部分

1.1实验过程

1.1.1生物质颗粒的制备过程

主要制备设备及仪器: 粉碎机, 制粒机, 均由黄骅市三丰生物能源有限公司提供。

主要制备过程: 将多种生物质原料分别进行暴晒干燥, 用粉碎机将原料粉碎至颗粒最大尺寸长度 $<1\text{cm}$, 将粉碎后的物料加入制粒机的料仓, 制备圆柱形生物质颗粒。控制颗粒直径为 0.8cm , 调整颗粒长度约为 2cm 。

1.1.2生物质颗粒燃料理化性质的测定

主要设备及仪器: MKM-2000B型密封焦炭转鼓试验机, 鹤壁市力达仪器有限公司; LDRL-3000C型热值仪, 鹤壁市力达仪器有限公司。

(1) 密度的测定。

先将生物质颗粒称重, 记录重量 m , 然后将称重后的颗粒放入装有部分水的量筒中, 待颗粒完全浸没后, 记录水面上涨体积 V 。生物质颗粒的密度按式(1)计算:

$$\rho \frac{m}{v} \quad (1)$$

(2) 机械强度的测定。

用转鼓试验机，按国标GB/T2006-1994《冶金焦炭机械强度的测定方法》测定。计算破碎率，用来表示生物质颗粒的抗碎和耐磨强度。

(3) 含水量的测定。

全水分析含水量及内水分析含水量均用热值仪测定。

(4) 燃烧热值的测定。

采用热值仪，按照国标GB 213-2008《煤的发热量测定方法》测定。干基热值用以下数据折算：

$$\text{干基热值} = \frac{\text{平均热值}}{1 - \text{全水分析含水量} + \text{内水分析含水量}}$$
$$\text{平均热值} = \frac{\text{低位热位} + \text{高位热位}}{2}$$

(5) 挥发分含量的测定。

参照德国标

准EN15148-2009、DINEN151

48-2010《固体生物燃料·挥发分含量的测定》，将重量

为 m_1

的生物质颗粒放入坩埚中，加入少量水（以便在挥发阶段驱逐空气），盖盖密封，放入马弗炉中，缓慢升温至150℃，恒温15min，至充分干燥，然后逐渐升温至600℃，维持30min，充分析出挥发分，自然冷却至室温，称量剩余固体的重量 m_2 ，挥发分含量 h 按下式计算：

$$h = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (2)$$

(6) 灰分含量的测定。

将重量为 m_1

的生物质颗粒放入陶瓷表面皿中，然后放入马弗炉，缓慢升温至600℃，维持30min，充分燃烧，自然冷却至室温。称量剩余固体的重量 m_2 。灰分含量 h_2 按下式计算：

$$h_2 = \frac{m_2}{m_1} \quad (3)$$

(7) 灰分成分的测定。

采用发光光谱法测定灰分中元素的含量，测定结果用丰度表示（原子个数的比例）。

1.2 结果与讨论

1.2.1 各种生物质颗粒的物理性能

测定了8种生物质颗粒燃料的密度、机械强度、水分含量等物理性能见表1。

表 1 各种生物质颗粒的物理性能

Fig. 1 The physical properties of the biomass particles

样品名	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	破碎率 / %	全水分析 含水量 / %	内水分析 含水量 / %
黄花松	1.29	15.6	8.14	3.10
樟子松	1.30	14.9	7.20	2.53
枣核	1.28	12.1	11.29	4.71
栗子壳	1.18	19.3	9.19	4.38
玉米秸	1.21	21.2	7.54	2.68
玉米芯	1.17	20.8	7.74	2.82
红荆条	1.16	16.7	12.41	3.87
芦苇	1.13	22.6	7.55	2.64

由表1可知，8种生物质颗粒的密度均在 $1.1 \sim 1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

，密度比水大，因此可以用盛水的量筒测定颗粒的体积，松木、枣核颗粒密度稍大，秸秆、野生植物颗粒密度较小；密度大的颗粒，有较小的破碎率，机械强度较高；全水分析含水量差别较大，这是受物料特性和干燥环境的影响，因此，在计算燃烧热值时，扣除了含水量的影响，折合成干基热值，更有可比性；内水分析含水量比较接近。

1.2.2 各种生物质颗粒的燃烧性能

测定了8种生物质颗粒燃料的燃烧热值、挥发分含量、灰分含量等燃烧性能，结果见表2。

表 2 各种生物质颗粒的燃烧性能

Fig. 2 The combustion performance of the biomass particles

样品名	低位热值 / (cal·g ⁻¹)	高位热值 / (cal·g ⁻¹)	干基热值 / (cal·g ⁻¹)	挥发分 含量 / %	灰分 含量 / %
黄花松	4 334	4 619	4 714	45.3	0.8
樟子松	4 595	4 868	4 963	44.6	1.0
枣核	3 990	4 521	4 555	37.1	2.1
栗子壳	3 144	3 537	3 509	32.4	2.5
玉米秸	4 219	4 484	4 573	33.9	1.7
玉米芯	3 848	4 098	4 178	34.7	1.4
红荆条	3 435	3 844	3 979	38.6	3.8
芦苇	3 886	4 137	4 218	31.5	4.2

由表2可知，8种生物质颗粒燃料，扣除外水分后的燃烧热值为3500~5000cal/g，其中，松木的热值最高，秸秆和野生植物次之，栗子壳的热值最低；挥发分含量为41.5%~45.3%，松木最高，芦苇和栗子壳最低；灰分含量为0.8%~4.2%，芦苇和红荆条最高，松木最低。

1.2.3典型生物质颗粒的灰分成分分析

由表1可知，黄花松、樟子松等含油量较高的木料，灰分含量低，玉米秸秆灰分含量次之，枣核、栗子壳等农作物加工下脚料的灰分含量较高，红荆条、芦苇的灰分含量很高。从灰分的外观上看，松木料、秸秆的灰分松散，在流化炉中可被引风机轻松吸走；农产品下脚料的灰分较团聚，但容易打散，有轻微结渣现象；野生植物芦苇的灰分团聚严重，并形成许多琉璃珠状的灰渣。选定外观截然不同的3种典型灰分（黄花松灰、枣核灰、芦苇灰），用发光光谱法测定其中元素含量，结果见表3。

表 3 几种典型灰分的部分化学元素含量

Fig. 3 The contents of partial chemical element in several typical ash

样品名	元素丰度 / %										
	Si	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cl	O	S	其他
黄花松	10.2	6.9	4.1	5.7	4.9	1.8	1.6	2.1	49.6	5.4	-
枣核	6.5	12.2	10.8	3.3	1.6	0.7	0.2	3.7	48.2	4.9	-
芦苇	16.8	8.7	6.4	1.3	1.0	0.2	0.1	4.3	52.1	1.6	-

由表3可得，黄花松的灰分主要以氧化物的形式存在，并存在部分硫酸盐和氯化物；Si含量较高，约占已检出阳离

子总数的29%；其他碱性阳离子分布较均匀，铝铁含量较低。

枣核的灰分主要以氧化物的形式存在，也存在部分硫酸盐和氯化物，Si含量一般，碱金属阳离子（Na、K）含量高，约占已检出阳离子总数的60%以上。因碱金属的熔点低，所以在燃烧时易熔融，有部分结渣现象。

芦苇的灰分主要以氧化物、硅酸盐的形式存在，也存在少量硫酸盐和氯化物。Si含量超高，氧含量也很高，所以推测为硅酸盐含量高，因为芦苇的生长环境为盐碱地，尘土多，相对于其他原料单位重量的芦苇，与环境接触的表面积大，吸附尘土的能力强，这些尘土在燃烧后都以硅酸盐的形式留在灰渣中。

另外，除吸附灰尘的因素外，碱金属（Na、K）含量也较高，因为芦苇生长的盐碱地中NaCl、KCl含量高，因此，芦苇中必定碱金属含量高，而碱金属的熔点低，在燃烧时易熔融，2种因素结合在一起，芦苇燃烧的结渣现象严重，形成大量琉璃珠状灰渣，并粘结在一起，甚至堵塞流化炉的进风口，应通过改进炉具结构等方法解决。

2结语

选用8种代表性的原料制成生物质颗粒，经测定其理化性能及燃烧特性，得出如下结论：

（1）生物质颗粒的密度为 $1.1\sim 1.3\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

之间，黄花松、樟子松、枣核制成的生物质颗粒，密度较大，玉米芯、红荆条、芦苇制成的生物质颗粒密度较小；密度大的生物质颗粒，具有较低的破碎率，机械强度较高。

（2）干基生物质颗粒（扣除外水）的燃烧热值为 $3500\sim 5000\text{cal/g}$ ，其中，松木的热值最高，秸秆和野生植物次之，栗子壳的热值最低；挥发分含量为 $41.5\%\sim 45.3\%$ ，松木最高，芦苇和栗子壳最低；灰分含量为 $0.8\%\sim 4.2\%$ ，芦苇和红荆条最高，松木最低。

（3）通过测定灰分中元素的丰度，得知灰分主要由氧化物、氯化物、硫酸盐、硅酸盐等组成。以黄花松为代表的松木灰中， SiO_2

、硅酸盐含量较高，松木灰较松散；以枣核为代表的农产品下脚料灰中，钾、钠等碱金属含量高，因碱金属盐类的熔点低，所以灰分存在部分结渣现象；以芦苇为代表的野生植物灰中，硅酸盐含量高、碱金属盐含量也高，2种因素结合在一起，致使灰分中形成大量琉璃珠状灰渣，并粘合在一起，形成大块灰渣。

参考文献：

[1]胡谢利，云斯宁，尚建丽.生物质燃料压缩成型技术研究进展[J].化工新型材料，2016，44（9）：42-44.

[2]GB/T 2006-1994.冶金焦炭机械强度的测定方法[S].

[3]GB 213-2008.煤的发热量测定方法[S].

[4]蒋正武.生物质燃料的燃烧过程及其焚烧灰特性研究[J].材料导报，2010，24（2）：66-68，81.

[5]张学敏，张永亮，姚宗路，等.不同进料方式燃烧器对生物质燃料颗粒物排放特性的影响[J].农业工程学报，2014，30（12）：200-207.

[6]苟文涛，王晓剑，钟俊周，等.不同配方生物质燃料物理特性与燃烧特性研究[J].安徽农业科学，2018，46（24）：177-181.

[7]刘慧娟.从专利申请角度分析生物质固化成型工艺的技术发展[J].科技前沿，2015，43.

[8]刘超，高淑宁，鲍鹤鸣，等.低值胶结性物质制备秸秆颗粒燃料成型特性研究[J].能源工程，2018（5）：37-43.

[9]杨佳，江宁川，王振国，等.分析固体生物质燃料检验标准与其行业发展之间的关系[J].资源节约与环保，2015（6）：69.

[10]皮中原.固体生物质燃料检验方法标准概述[J].煤质技术，2011（2）：17-19.

- [11]刘军利,蒋剑春.论生物质能源标准体系()—生物质固体燃料标准化研究进展[J].生物质化学工程,2006,40(6):54-58.
- [12]张燕,佟达.生物质固体燃料的成型及其影响因素分析[J].林业机械与木工设备,2012,40(4):20-28.
- [13]田宜水,赵立欣,孟海波,等.中国生物质固体成型燃料标准体系的研究[J].可再生能源,2010,28(1):1-5.
- [14]牛康任,张燕,宋魁彦.高效燃烧颗粒状生物质固体燃料加工工艺及品质评价研究[J].林业机械与木工设备,2015,43(12):36-39.
- [15]张永亮,张学敏,赵立欣,等.固体生物质燃料燃烧颗粒物排放研究状况[J].可再生能源,2013,31(9):88-93.
- [16]孙振锋,边志敏.河北省生物质固体成型燃料产业发展研究[J].可再生能源,2013,31(6):126-128.
- [17]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.
- [18]常子磐,李来武,严经天,等.菊芋、玉米和大豆秸秆颗粒状燃料的燃烧性能比较[J].江苏农业科学,2015,43(3):308-310.
- [19]李强,陈铁军,饶发明,等.锯末制备生物质成型燃料的试验研究[J].可再生能源,2012,30(9):85-89.
- [20]张秀秀,侯梅芳,宋丽莉,等.农林固体有机废弃物压缩成型研究进展[J].上海应用技术学院学报(自然科学版),2015,15(1):67-85.
- [21]伏喜斌.燃生物质成型燃料工业锅炉能效指标确定[J].节能,2017(12):19-22.
- [22]陈凤.生物燃料环模制粒机应用现状与改进思路[J].机械工程师,2018(6):60-65.
- [23]陈晓红,王智勇,毛天宇.生物质成型燃料产业现状与发展前景[J].中国资源综合利用,2018,36(6):83-85.
- [24]张霞,蔡宗寿,陈丽红,等.生物质成型燃料致密成型机理及品质评价指标[J].可再生能源,2014,35(12):1917-1921.
- [25]关雎,聂淑瑜.生物质固体成型燃料热值和碳元素预测模型的建立[J].化学分析计量,2017,26(3):31-36.
- [26]杜良巧,李运富,刘思源,等.生物质固体成型燃料物性及燃烧性能研究[J].广东化工,2018,45(2):35-41.
- [27]李冲,蒋志坚,李俊,等.我国生物质成型燃料产业化现状及发展瓶颈浅析[J].工业锅炉,2017(6):11-15.146

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/149782.html>