

八种生物质颗粒燃烧特征分析

任敏娜¹, 崔永章^{2,3}, 李晓¹, 曲云霞^{2,3}, 张林华^{2,3}

(1.山东建筑大学热能工程学院, 山东济南250101; 2.山东建筑大学可再生能源建筑利用技术省部共建教育部重点实验室, 山东济南250101; 3.山东建筑大学山东省建筑节能技术重点实验室, 山东济南250101)

摘要：生物质成型颗粒燃料具有易储存、运输及使用方便、清洁环保、燃烧效率高等优点。本文通过实验得到八种生物质颗粒燃料的工业分析值，结合傅—张着火指标和缪岩燃烧特性指标分别计算出FZ和ZM值，得出装饰纸的着火温度最低，稻壳的着火温度最高。通过观察燃料燃烧后焚烧灰的形貌，指出在740~920 温度范围内，生物质颗粒燃料燃烧后的灰颜色由黑逐渐变白，硬度由软逐渐变硬，甚至结焦渣。

0引言

生物质能是可再生能源，取之不尽，用之不竭。生物质压制成型为颗粒燃料是目前一种利用方式，通常是指直径小于25mm的圆柱体状固体成型燃料，颗粒密度较压缩前明显增大，可达1.2~1.4kg/m³；体积缩小75%~90%，便于贮存和运输；尺寸均匀，流动性好，便于实现自动化传输和燃烧，是燃烧效率高的清洁能源，有利于环保等。生物质颗粒燃料的几何特性和成型压力对燃烧特性有一定的影响。固体颗粒燃尽时间是和它的直径平方成正比的，即颗粒越粗，燃烧时间越长；成型压力所决定的孔隙率大的颗粒燃料相对较易燃烧，具有较好的燃烧性能；孔隙率小的颗粒燃料相对燃烧困难，其燃烧性能较差；压缩成型过程中，密度随压力增加而增加的幅度较大，当压力增加到一定值以后，成型密度的增加就变得缓慢。

本文主要从生物质颗粒燃料的工业分析角度分析其着火特性，在不同标准的基础上，得出各原料的着火温度，用以比较生物质颗粒燃料的燃烧性能。

1燃烧模型与理论

1.1颗粒燃烧模型

为了能更好地理解生物质颗粒的点火特性，引入颗粒燃烧模型。模型假设：燃烧过程是准稳态，颗粒在静止的无穷大环境中燃烧，介质中只含有氧气和惰性气体，颗粒为圆柱形，其燃烧为缩核反应，核心密度不变，不考虑破裂，考虑一个单截面的燃烧。生物质颗粒燃料的密度增大，燃烧时近似固体燃料的“颗粒燃烧模型”。颗粒燃烧模型过程如图1所示。



图1 颗粒燃烧模型过程示意

图1表现了一个颗粒燃料的着火燃烧全过程。首先燃料被加热干燥，随后挥发分开始析出。在足够高的温度和充足氧气的条件下，挥发出来的可燃气体就会在颗粒周围着火燃烧，形成光亮的火焰。因氧气被快速析出的挥发燃烧消耗，不能到达焦炭表面，焦炭受热但中心温度不超过600~700℃，这时挥发分的抢氧燃烧阻碍了焦炭的燃烧。由于挥发分在焦炭颗粒附近燃烧，焦炭被挥发分释放的热量所加热，当挥发分接近燃尽，需氧量急剧减少的时候，焦炭即能迅速地着火燃烧，这时候挥发分的燃烧促进了焦炭的燃烧。焦炭颗粒首先在表面局部开始燃烧、发亮，然后逐渐扩展到整个表面，其时焦炭的温度亦逐渐上升，达到最高值后几乎保持不变。

这时在炭粒周围只有极短的蓝色火焰，它主要是由一氧化碳燃烧所形成的。在焦炭燃烧阶段，仍有少量挥发分继续析出，但这时它对燃烧过程已不起决定性作用。

1.2不同燃烧指标

生物质颗粒着火温度的高低是燃料被点燃难易程度的一种外在反映，可以直接用来比较生物质颗粒本身的燃烧性能。

1.2.1 傅—张着火特性指标

傅—张着火指标是在煤焦非均相着火理论假设条件下得出的理论，对于生物质颗粒来说，目前还没有完善的理论，故本文以此理论来研究生物质颗粒的着火性能。傅维标等提出煤的着火指标为：

$$FZ = (V_{ad} + M_{ad})^2 \times FC_{ad} \times 100 \quad (1)$$

式中： FZ 为着火特性指标； V_{ad} 为空气干燥基挥发分； M_{ad} 为空气干燥基水分； FC_{ad} 为空气干燥基固定碳含量。 FZ 值越大，着火性能越好。

1.2.2 缪岩燃烧特性指标

缪岩^[8]提出煤的燃烧特性指标为：

$$ZM = \frac{V_{ad} + M_{ad}}{FC_{ad}} \times 100 \quad (2)$$

式中： ZM 为燃烧特性指标。 ZM 值越大，燃烧性能越好。

2 试验方法与内容

本试验采用国产5E - MAC 红外快速煤质分析仪进行生物质颗粒燃料工业分析指标的测试，坩埚材料为Al₂O₃。陶瓷纤维高温炉温度由温控系统控制，在1000℃下可以精确测量温度，通过计算机按设定的程序控制升温过程和进行数据采集。根据样品在不同温度下的失重计算出试样的水分、挥发分及灰分等工业指标。在试验过程中采用电子天平称取样品质量，其测量灵敏度为0.0001g，量程为0~200g。

3 试验结果与分析

3.1 原料工业分析

本文对直径为8mm、密度为1100kg/m³的八种不同的生物质颗粒进行试验，试验测试的结果如表1所示。

表 1 各生物质颗粒的工业分析值

样品	$M_{ad}/\%$	$V_{ad}/\%$	$A_{ad}/\%$	$FC_{ad}/\%$	$Q_{net,ad}/(MJ \cdot kg^{-1})$
咖啡壳	5.77	64.30	14.68	15.25	20.868
纸颗粒	8.34	70.79	5.98	14.89	19.381
中药渣	9.69	68.93	7.90	13.48	20.955
装饰纸	7.04	76.74	1.97	14.25	22.170
玉米杆	3.88	70.96	10.54	14.62	22.535
稻壳	4.68	52.25	29.16	13.91	16.852
棉杆	5.24	61.48	18.40	14.88	19.434
木屑	5.75	66.96	12.20	15.09	21.819
神木烟煤	2.60	32.76	6.56	58.08	28.37

从表中可以看出，与常规化石燃料煤相比，生物质挥发分含量高，达到60%~70%左右，固定碳含量低，只有15%左右，这决定了生物质的两个基本燃烧特性：着火容易、发热量低。

3.1.1水分对燃烧特性的影响

一般来讲，水分的存在使生物质中可燃物质的含量相对减少，热值降低。水分含量多使着火困难，影响燃烧速度。尽管水分不是一种可燃成份，但是其析出过程中的“造孔效应”使其起到了与可燃成份同样重要的作用。从表1可以看出，各种生物质颗粒燃料的水分含量均小于10%，其中，玉米秸秆相对来说更容易着火。

3.1.2挥发分对燃烧特性的影响

生物质颗粒燃料中的挥发分及其热值对着火和燃烧情况都有较大影响。对于热值高的挥发分，逸出的初始温度也高，当燃料受热时，挥发分首先析出，并着火燃烧。从表1可以看出，装饰纸的挥发分含量最高，最易于着火，燃烧也稳定。

3.1.3灰分对燃烧特性的影响

灰分亦是生物质颗粒燃料的不可燃成分，灰分含量越高，可燃成分相对减少，热值相对降低，燃烧温度也低。从图2可以看出，稻壳的灰分含量最高，故其热值较低，着火越困难。

3.2各生物质颗粒燃料的着火性能

根据1.2不同指标得到的各生物质颗粒燃料的FZ和ZM值如图2所示。

依据FZ指标，着火温度由低至最高排列的燃烧性能为：装饰纸 > 纸颗粒 > 中药渣 > 玉米杆 > 木屑 > 咖啡壳 > 棉杆 > 稻壳。该指标强调了挥发分和内在水分析出对碳燃烧过程的影响，认为两者析出后在碳内部形成空隙，FZ是和 $(Vad+Mad)$ 的平方成正比， $(Vad+Mad)$ 与FCad比较而言，前者对于着火的影响要比后者大得多。

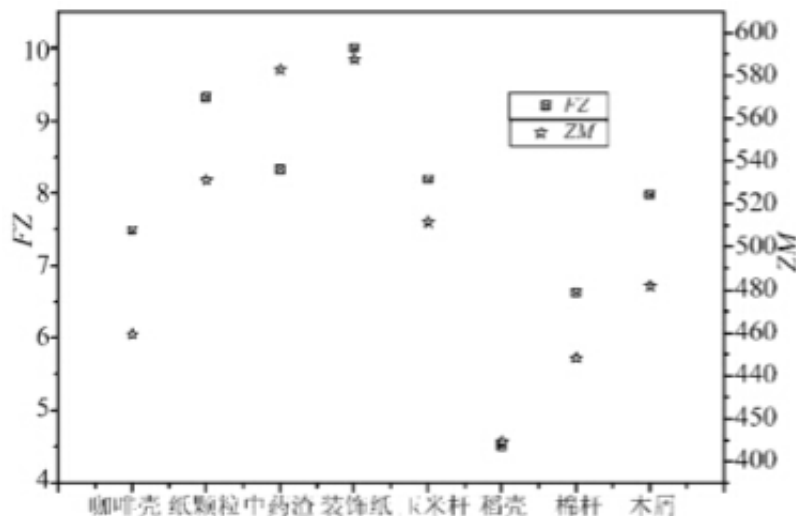


图2 各生物质颗粒燃料参数 FZ 和 ZM 的计算值

据ZM指标，着火温度由低至最高排列的燃烧性能为：装饰纸 > 中药渣 > 纸颗粒 > 玉米杆 > 木屑 > 咖啡壳 > 棉杆 > 稻壳。该指标是依赖于不同组分对着火温度的影响关系，不同组分，如挥发分或固定碳对着火温度的影响不同，挥发分对着火温度的影响是积极的，挥发分含量越高，生物质的着火温度就越低；而固定碳含量对着火温度的影响是消极的，固定碳含量越高，着火温度反而有所升高。因此，可以认为挥发分和内在水对于着火温度有重大影响。

燃烧特性指标ZM与另一张FZ指标相类似的地方是强调了挥发分及水分析出对生物质颗粒燃料燃烧过程的积极影响；不同的是固定碳含量对燃烧过程的影响，FZ指标认为是积极影响，ZM指标认为是消极影响。由于生物质颗粒燃料的挥发分含量高，固定碳含量低，故ZM指标更接近于实际情况。装饰纸的值最大，说明它的着火温度最低；相反，稻壳的值最小，它的着火温度最高。

4焚烧灰的形貌分析

不同生物质燃料焚烧灰有不同的形貌，如图3、图4所示。

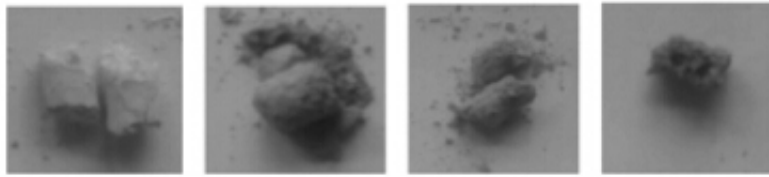


图3 920℃,不同原料的焚烧灰形貌

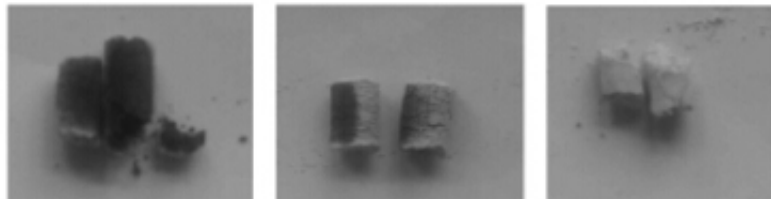


图4 稻壳在不同温度下的焚烧灰形貌

图3从左到右依次为稻壳、棉杆、木屑、玉米颗粒在920℃下的焚烧灰形貌。从图中可以看出，稻壳的结渣程度最为严重，灰发白；木屑的结渣程度为轻度，灰黑白相间且较软。虽然玉米秸秆的灰分含量只有10.54%，但其灰偏硬，有部分结焦渣。图4从左到右依次为稻壳在740℃、840℃、920℃下的焚烧灰形貌，随着温度的升高，稻壳燃烧后的灰渣颜色由黑逐渐变白，硬度由软逐渐变硬，甚至结焦。焚烧灰形貌的多样性反映出生物质颗粒中无机物存在的形式不同。焚烧灰中的酸性氧化物具有提高生物质颗粒燃料灰熔点的作用，其含量越大，熔融温度越高，包括 Al_2O_3 和 SiO_2 ；相反，碱性氧化物却有降低煤灰熔融温度的作用，其含量越多，熔融温度就越低，如 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 和 Fe_2O_3 等。从上文可知，玉米秸秆的结焦程度比较严重，故在秸秆类生物质中，玉米秸秆的碱性氧化物含量比较高。

5结论

通过对生物质颗粒燃料工业分析和着火指标的分析，得到如下结论：

- (1) 与常规化石燃料煤相比，生物质挥发分含量高，如玉米秸秆达到70.96%；固定碳含量低，如稻壳只有13.91%。这决定了颗粒燃料的两个基本燃烧特性：着火容易、发热量低。
- (2) 通过ZM与FZ指标的计算值可以看出，本文采用的8种颗粒燃料的着火温度从低至高依次为：装饰纸 > 中药渣 > 纸颗粒 > 玉米杆 > 木屑 > 咖啡壳 > 棉杆 > 稻壳。
- (3) 温度从740℃~920℃，生物质颗粒燃料燃烧后的灰渣颜色由黑逐渐变白，硬度由软逐渐变硬，甚至结焦。玉米秸秆因碱金属氧化物含量比较高，更易熔融、易结焦。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/105941.html>