Experimental Investigation on Combustion Characteristics of Gas from Biomass Gasification

Yanghuiqin Ding, Yuezhao Zhu, Chuanhua Liao, Hua Zhang
College of Machinery and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China

Abstract: The biomass gasification technology is an effective way to realize synthetic utilization for agricultural and forestry residues, and is significative in both energy saving and environmental protection. Combustion property of biomass gas has been studied by self designed burner.The results show that biomass gas can stably and cleanly combust in concentric burner. The temperature of combustion flame is about 500℃~650℃. It can be used as fuel gas for steam boilers and industrial furnaces.

Keywords: Biomass; Gasification; Combustion

生物质气化燃气燃烧特性的试验研究

丁杨惠勤，朱跃钊，廖传华，张华
南京工业大学机械与动力工程学院 210009

摘　要：生物质气化技术是农林废弃物实现资源化利用的有效途径，对缓解能源压力、保护环境具有双重意义。在自行设计的燃烧器上试验研究了低热值生物质气化燃气的燃烧特性。结果表明生物质气化燃气在套筒式扩散喷嘴条件下能实现稳定、清洁燃烧，燃烧温度为 500℃~650℃，完全可以作为蒸汽锅炉及工业炉的燃料。

关键词：生物质;气化;燃烧

1 引言

生物质气化燃烧供热是指生物质经过气化炉气化后，生成的生物质燃气送入下一级燃烧器或燃气锅炉中直接燃烧，因而通常不需要高质量的气体净化和冷却系统，系统相对简单，热利用率高。生物质气化所得燃气是一种特殊的燃气，由于燃气中可燃性成分（CO、H_2、CH_4等）含量较少、热值低、消耗量大等特点，为保证这种燃气安全稳定着火并充分燃烧，开发出适合这种燃气燃烧的燃烧装置成为生物质气化供热应用的关键技术。国内有不少学者、科研单位进行了相关研究。河南省科学院能源研究所的雷廷宙等人[1,2]，按照生物质燃气物理、燃烧特性，根据燃烧学、传热学及燃气互换性原理设计了生物质燃气专用灶具，并用设计的灶具进行了各种生物质燃气的实验研究。

本文将气化炉产出的低热值燃气直接通入燃烧室内进行燃烧试验，研究喷嘴结构和助燃空气量对生物质燃气燃烧性能的影响规律，测定燃烧室内轴线温度的分布情况，为设计开发生物质气专用燃烧器提供理论依据。

基金项目：国家高技术研究发展计划（863 计划）（2008AA05Z207）

2 试验部分

2.1 试验原料

生物质气化都要通过气化炉完成，其反应过程很复杂，燃料基本上要经过氧化、还原、裂解(热解)和干燥四个阶段，氧化和还原反应统称为气化反应，其中主要包括的气化反应见表 1 所示[3,4]：

本试验使用松树枝为气化原料（取自安徽）。它的元素分析和工业分析结果见表 2。试样经筛分，选取粒径 3mm~20mm、长度 10mm~50mm 的物料进行自然风干处理，经检测物料的含水量为 12%左右。

2.2 实验装置与流程

生物质气化燃烧试验装置如图 1 所示，经反烧式固定床气化炉产生的低压热脏燃气经炭滤罐简单除尘后，

978-1-935068-17-4 © 2010 SciRes.

不经水洗冷却，直接与助燃空气一起供入燃烧喷嘴进行燃烧试验，调节助燃空气流量到试验工况，观测燃烧的火焰情况，并记录数据。

Table 1. .Reactions of gasification process
表 1。气化过程中的反应

反应类型	方程式	反应热 △H（kJ/mol）	序号
氧化反应	C＋O2＝CO2	＋408.860	（1）
	2C＋O2＝2CO	＋246.447	（2）
	C＋CO2＝2CO	－162.297	（3）
还原反应	C＋H2O＝CO＋H2	－118.742	（4）
	C＋2H2O＝CO2＋2H2	－75.186	（5）
	CO＋H2O＝CO2＋H2	－43.555	（6）
	C＋2H2＝CH4	＋87	（7）

Table 2. Ultimate analysis and proximate analysis of pine residue
表 2. 松树枝的元素分析和工业分析

元素分析/%					工业分析/%			
C	H	O	N	S	Mo	VM	Ash	FC
52.3	5.8	38.8	0.2	0.0	6.25	78.95	0.76	14.04

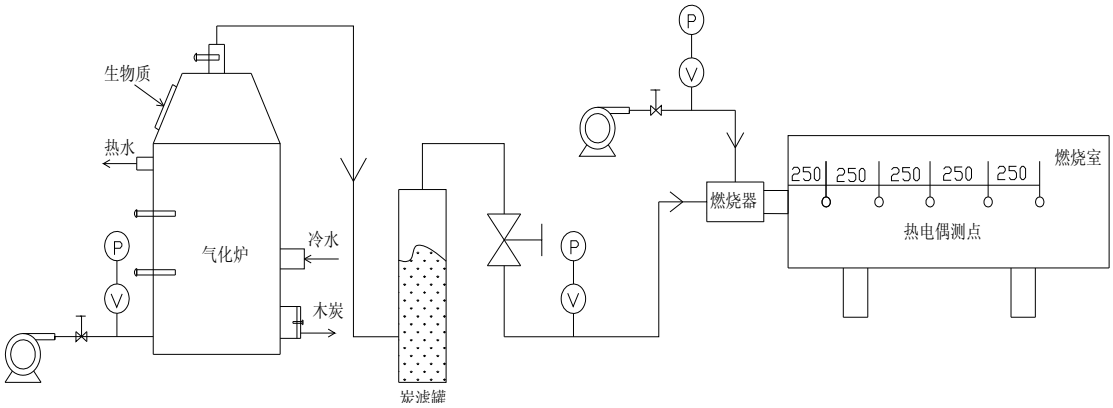

Figure 1. The flow chart of combustion experiment
图 1.热态燃烧试验流程图

整个系统由反烧式固定床气化炉、炭滤罐除尘器、球阀、碟阀、涡街流量计、助燃风机、燃烧喷嘴、燃烧室、U 型压差计、毕托管和微电脑压差计、K 型热电偶及智能巡检仪等组成。燃烧室直径 500mm，长 1500mm，在燃烧室的中心轴线上均布五根 K 型恺装热电偶，热电偶经补偿导线与温度巡检仪相连。

2.3 试验方法

2.3.1 试验工况

生物质气化燃气为一种低热值的可燃气，不同于天然气等常规燃气，其理化特性有自身的特殊性，不同炉型、不同气化剂所得燃气组分不一样，但相关特性数据可以通过计算求得。在众多的特性数据中，燃气的相对密度、理论空气量及爆炸极限相对重要。以空气为气化剂，所得燃气的爆炸极限大概在 16.9~80.4%[5]，相比其它燃气而言，生物质燃气爆炸极限的下限值很高（天然气爆炸极限下限值为 5%），也就是说，要点着生物质燃气必须保持燃气有一个很高的浓度，这也是本试验选择扩散式燃烧方式的原因。

为更好的了解生物质气化燃气的燃烧性能，试验时改变喷嘴结构和助燃空气流量，在不同工况下进行研究。燃烧试验工况见表 3。

Table 3. Working status of combustion experiment
表 3 燃烧试验工况

工况	1	2	3	4	5	6
喷嘴	旋流	套筒	套筒	套筒	套筒	套筒
燃气量	83	83	83	83	83	83
空气量	67.7	67.7	44.7	55.5	74.1	77.6
空气系数	1.13	1.13	0.75	0.93	1.24	1.30

注：燃气量为 110℃状态下流量，单位 m3/h。空气量为标态下流量，单位 m3/h

2.3.2 试验步骤

（1）将定量经预处理的松枝加入气化炉内，加入少量木炭用于点火，向气化炉内通入少量的空气，点燃生物质，停止风机，盖上炉盖。

（2）打开气化炉燃气出口阀门，启动气化炉风机，待气化炉反应 10 分钟左右，排放刚开始气化的燃气，

停止气化炉风机，打开助燃空气风机，吹扫燃烧室 5 分钟，确保燃烧室无生物质燃气存在。

（3）调小助燃风机流量，以不吹灭点火源为宜，点燃点火源，将点火源接近燃烧器喷口，调节助燃空气流量至适当；开启气化炉风机，点火 1~5min，待喷口火焰稳定后则点火成功。

（4）点火成功后，调节气化炉风机流量至相应试验工况，观察燃烧情况，保证喷嘴稳定燃烧。

（5）待产气稳定后，调节助燃风机的流量到试验工况所需值，燃烧稳定 5min 后，开始记录燃烧室内各测点的温度数据并观察火焰特征，温度巡检仪每分钟巡检一次。

（6）每一个助燃空气流量下，稳定燃烧 10min 后，调节助燃风机空气量至另一流量。

（7）依次完成指定助燃空气流量下的燃烧试验，待气化炉产气质量有较大变化时，关闭气化炉风机，停止试验。

（8）更换喷嘴，重复步骤 1~7，完成另一喷嘴的燃烧试验。

3 结果与讨论

3.1 燃烧器结构对燃烧的影响

在燃气组成与助燃空气量不变的情况下，试验发现生物质燃气在两种结构的喷嘴上都能很容易点燃，并且保持稳定地燃烧，但其燃烧特征有很大不同。燃烧室轴线上的温度分布如图 2 所示，温度值取单位时间内的平均值。

由图 2 可知，切向进风时，靠近喷口处的热电偶温度值最高，其值为 678℃，沿燃烧室轴线距离的增大，温度不断减小，在 0~0.8m 这一区域温度高于 600℃，而出口端温度下降到 459℃。反观套筒式结构，喷嘴附近温度值非常低，只有 256℃，沿轴线方向温度不断攀升，高温区域主要集中在燃烧室后半部分，出口端温度达到 662℃。这和喷嘴结构有很大关系，旋流式燃烧器的空气从切向通入时，喷口轴线处形成一个负压，吸卷高温烟气回流，强化了空气和燃气的混合，使火焰主要集中在喷口处，形成短而平的火焰，而套筒式喷嘴空气和燃气平行进入燃烧室，靠的是速度差使气体混合，因而混合速度较慢，形成长火焰。

另外，由试验过程中观察两种喷嘴的燃烧现象可知，虽然切向风能强化生物质燃气与空气的混合，使生物质燃气燃烧更加充分，但燃烧过程中气流声非常大，火焰飘忽不定，形状难以辨认，明显偏离轴线，而且喷

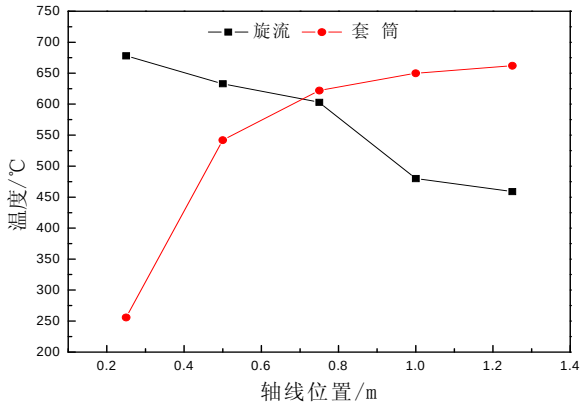

Figure 2. The temperature distribution in central axis of two burners

图 2. 两种燃烧器中心轴温度分布

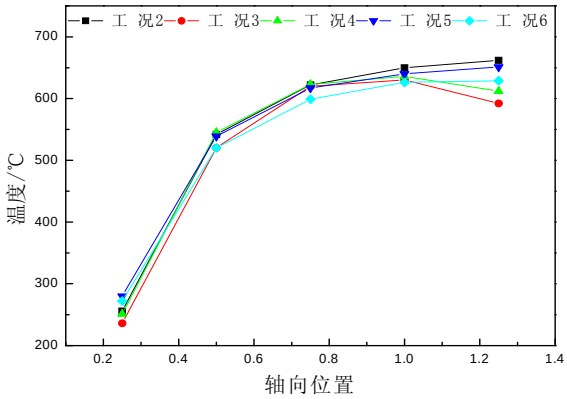

Fig.3 Temperature distribution in central axis of different air excess coefficient

图 3 不同过 空气系数中心轴温度分布

嘴的流动阻力较大，燃气的出口速度衰减很快。套筒式喷嘴燃烧的火焰呈圆锥状，具有良好的刚性，基本不冲刷燃烧室壁面，而且火焰的外观能直观地反映燃烧状况。

试验证明经反烧式固定床气化所得热生物质燃气在普通的套筒式喷嘴上就能稳定燃烧，不需要采用任何的稳焰措施。

3.2 空气量对燃烧的影响

同一组分、燃气流量一定时，改变助燃空气流量对生物质燃气的燃烧有很大的影响。试验中观察可知，生物质燃气在不同的过 空气系数下均能保持稳定燃烧，不存在冒黑烟及排放灰尘的情况，没有脱火的现象产生，在燃烧试验过程中还发现，燃气在燃烧过程中会产生强烈的 鸣声，火焰在喷口至炉 中间这段距离的刚性较好，到燃烧室出口端时，火焰都有不同程度的上

978-1-935068-17-4 © 2010 SciRes.

。

图 3 显示的是在不同过　空气系数条件下，燃烧室中心轴线位置上温度分布情况。从图中可以看出，五种工况变化规律基本一致，沿轴线距离的增大，温度迅速上升，到达 620℃左右之后，温度变化趋于平缓。喷口附近温度值较低，维持在 230~300℃之间，且过　空气系数大时温度值稍高些。此外过　空气系数小于 1 时，增大过　空气系数燃烧温度上升，而大于 1 时，增大过　空气系数燃烧温度反而下降。燃烧室中部温度范围在 500~650℃之间，这部分区域燃烧比较稳定，其温度值很有代表性，能够反映气化所得生物质燃气在燃烧室未进行保温情况下的燃烧温度。

4 结论

本文主要研究了生物质燃气在不同工况下，燃烧的稳定性和燃烧室轴线位置温度分布情况，得到的结论有：

（1）经反烧式固定床气化所得的低热值生物质燃气不需要采用特殊的稳焰措施，普通套筒式扩散喷嘴就能实现十分理想的燃烧过程。

（2）气化所得生物质燃气稳定燃烧时，燃烧室轴线 0.5~1m 范围内，温度变化幅度较小，其温度值很有代表性，生物质燃气在燃烧室未进行保温情况下的燃烧温度完全能满足一般的工业炉以及蒸汽锅炉的燃烧温度的要求。

References (参考文献)

[1] Lei Tingzhou; Shi Xinguang; Li Haijun; Yang Jianfeng; Li Zaifeng; Hu Jianjun. **Design of Biomass Gas Appliance** [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering，2001，17（4）：165~167.

[2] Lei Tingzhou; Ding Ming; Wang Lei; Cui Junzhen; Hu Jianjun; Sun Yincong. **Experiment of Technical Parameters and Performance of Biomass-Gas Appliance** [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering，2002，18（4）：101~103.

[3] Yuan Zhenhong，Wu Chuangzhi，Ma Longlong. **Technology Principle and Uitilization of Biomass Energy[**M]. Beijin：Chemical Industy Press，2005：1~392.

[4] Yu Hong mei. **An Experiment Study on Biomass Gasification in the Heat Pipe Biomass Gasifier** [D]. Nanjing：Nanjing University of technology，2007.

[5] Ma Longlong，Wu Chuangzhi，Sun Li.Biomass Gasification Technology and Its Application[M].Chemical Industy Press，2003.