

基于热重分析法的生物质燃烧特性试验分析

李运泉¹, 彭浩斌², 梁建活³

(1. 广东省特种设备检测研究院顺德检测院, 广东佛山528300; 2. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东广州510640; 3. 中国特种设备检测研究院, 北京100029)

摘要:选取柚木、云杉两种生物质原料为研究对象, 并以印尼煤和市政污泥为参照对象, 利用热重分析仪研究生物质燃烧特性。结果表明: 柚木的着火温度、燃尽温度、最大燃烧效率及其温度、残余物质量等燃烧特征指标均高于云杉木, 而其平均燃烧速率低于后者, 云杉木在燃用综合性能上的表现更佳; 柚木中某一性质的挥发分含量较高, 是造成其最大燃烧速率高的主要因素。

生物质能是重要的可再生能源, 在应对全球气候变化、能源供需矛盾、保护生态环境等方面发挥着重要作用, 是全球继石油、煤炭、天然气之后的第四大能源, 成为国际能源转型的重要力量^[1]。

我国生物质资源丰富, 能源化利用潜力大。《生物质能发展“十三五”规划》指出: 到2020年, 我国生物质能年利用量约5800万吨标准煤。

国内

外对生物质的

燃用进行了相对深入的探讨

。早期的研究以生物质能的热解、燃烧的机理和应用技

术为主^[2-4]

, 随着环保压力的日益增加和社会给予的高度重视, 越来越多的学者着手于生物质高效洁净利用的研究[5-8]。针对生物质燃烧特性的研究主要从静态样品和连续流动样品两个方向进行, 前者主要通过热重分析仪或微型管式炉获取燃烧特性参数, 后者则是基于连续进料燃烧。然而, 已有研究中对燃烧特征参数并未给予过多关注, 更未能从整体上分析参数之间的相互联系, 且缺少与其他燃用燃料的横向对比。

因此, 本文选取柚木、云杉两种生物质原料为研究对象, 利用热重分析仪研究生物质燃烧特性。同时, 选取燃煤、市政污泥为参照对象, 横向比较生物质和其他燃料之间的燃烧特性差异。基于实验结果, 探讨燃烧特性与燃料基础参数及其他变量的关联性, 为指导生物质高效洁净利用和研发高效的生物质燃用设备提供依据。

1实验部分

1.1实验原料

为体现实验研究的工程价值, 本文选用家具或轻工行业中典型的柚木(TS)和云杉木(DS)基材为实验原料, 并选用印尼煤(PC)和佛山某污水处理厂处置后的市政污泥(SS)为参照对象。原料在温度为105℃下连续干燥24h, 利用粉碎机粉碎, 并筛选粒径≤60目粉末作为实验样品, 置于干燥箱备用。4种原料的基础参数见表1。

表1 4种原料的工业分析、元素分析和发热量
Tab.1 Industrial analysis, elemental analysis and calorific value of the four materials

原料	工业分析/%				元素分析/%					热量 (MJ·kg ⁻¹)
	水分	灰分	挥发分	固定碳	碳	氢	氮	硫	氧	
TS	4.62	2.40	80.29	12.69	49.96	5.80	0.01	0.01	37.20	20.40
DS	0.36	1.02	84.38	14.24	49.62	6.20	0.44	0.16	42.20	19.36
PC	0.40	6.54	49.09	43.97	66.64	4.60	1.10	0.59	20.13	25.53
SS	3.78	51.34	40.74	4.14	19.34	4.08	3.43	1.24	16.79	9.36

1.2实验设备和方法

采用德国NETZSCH公司生产的STA449F5同步热分析仪, 测定燃烧特性试验过程的热重(TG)曲线和微商热重(DTG)曲线。实验过程如下:

(1)将未装样品的坩埚放在热电偶端点处的载样台，盖上加热炉体。升温程序从室温以20 /min的速率升温至900，进气流量为氩气(或氮气)80ml/min，空气20ml/min。启动程序开始试验，待试验结束后命名并保存基线。

(2)调取(1)的基线，称取试样(10 ± 1)mg，称准至0.02mg，平摊于坩埚中。把装有样品的坩埚放置在载样台，按(1)的试验条件升温至900，记录燃烧TG-DTG曲线。

2实验结果与分析

2.1燃烧过程分析

TS和DS的TG和DTG曲线如图1所示，特征相似。两种生物质燃烧DTG曲线均有二个明显的失重峰，可将燃烧过程分为3个阶段。第一阶段为干燥阶段，水分在120 前已完成蒸发，小分子挥发分开始受热分解。第二阶段为挥发分析出和燃烧阶段，大量的挥发分析出并燃烧，燃烧产生的热量进一步加剧燃烧反应，进而形成明显的失重峰。第三阶段为焦炭燃烧阶段，温度达到400 左右，挥发分燃烧殆尽，第二阶段所形成的焦炭便开始燃烧，DTG曲线形成第二个明显的失重峰。

图2为PC和SS的燃烧TG和DTG曲线，与TS、DS差异明显。从图1和图2的DTG曲线特征可看出，TS和DS的燃烧过程为两段式，而PC和SS为一段式，与其各自的燃料特性密切相关。当燃烧过程表现为两段式时，DTG曲线第一个失重峰是由挥发分析出燃烧反应所形成，第二个失重峰是由固定碳燃烧反应所形成；而一段式燃烧时，DTG曲线仅表现出一个明显的失重峰，为挥发分析出燃烧反应形成。

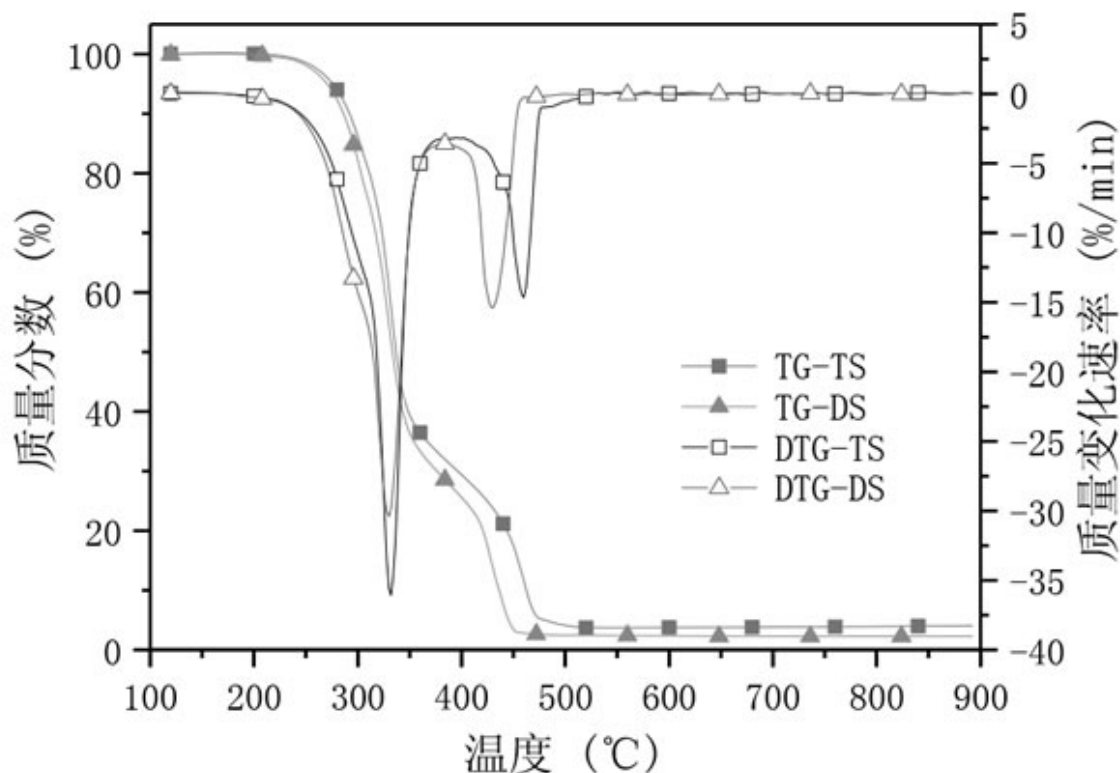


图 1 TS 和 DS 的燃烧 TG 和 DTG 曲线
Fig.1 TG and DTG curves of TS and DS

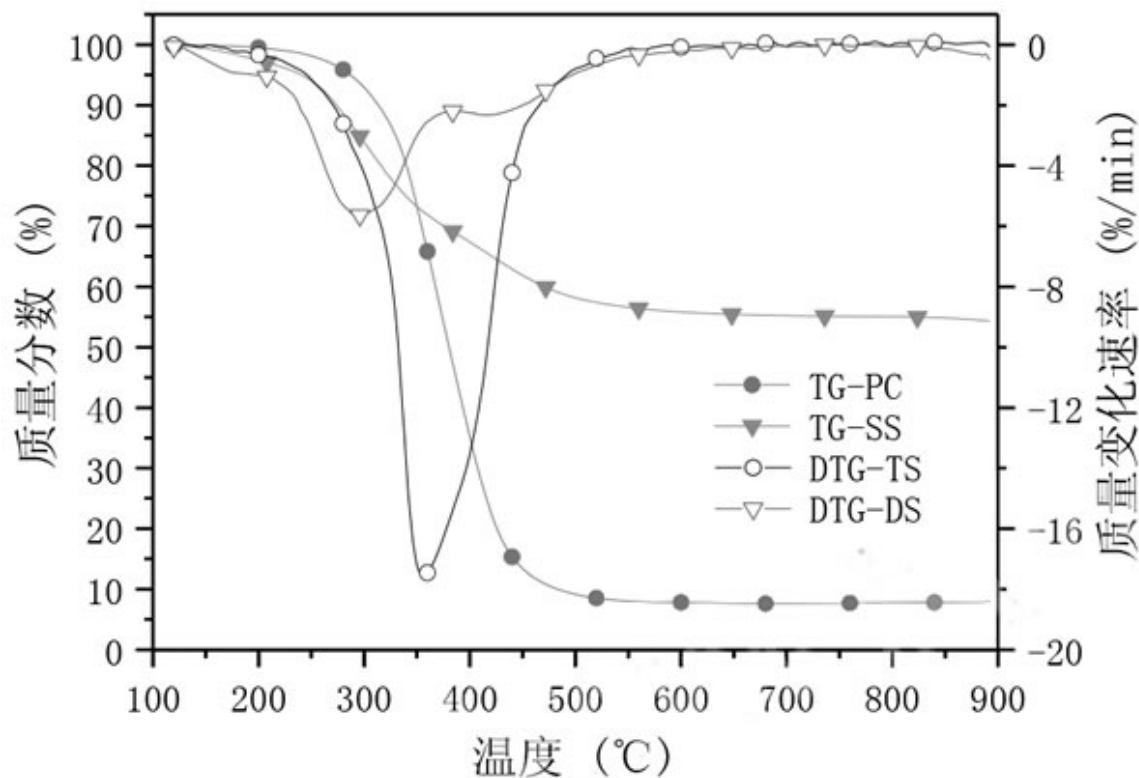


图 2 PC 和 SS 的燃烧 TG 和 DTG 曲线
Fig.2 TG and DTG curves of PC and SS

2.2 燃烧特性

根据TG-DTG曲线(如图3)确定样品的着火温度 T_i 、燃尽温度 T_f 、最大燃烧速率 v_p 、最大燃烧速率温度 T_p 、残余物质质量分数 α_o 、平均燃烧速率 v_a ，方法如下：

(1)着火温度 T_i ：过DTG曲线峰值点P作垂线与TG曲线交于A点，过A点作TG曲线的切线 L_2 ，该切线与TG曲线上挥发分开始失重时水平线 L_1 的交点i，i点所对应的横坐标值即为着火温度()。

(2)燃尽温度 T_f ：切线 L_2 与TG曲线重量损失结束时的水平线 L_3 的交点f，f所对应的横坐标值即为燃尽温度()。

(3)最大燃烧速率 v_p ：P点所对应的DTG曲线上的纵坐标值即为最大燃烧速率(%/min)。

(4)最大燃烧速率温度 T_p ：P点所对应的DTG曲线上的横坐标值即为最大燃烧速率温度()。

(5)残余物质质量分数 α_o ：重量损失结束时的剩余样品百分数(%)。

(6)平均燃烧速率 v_a ：其计算公式见式(1)：

$$v_a = \beta \times \frac{\alpha_i - \alpha_f}{T_f - T_i} \quad (1)$$

式中： β 为升温速率，取值为20 °C/min； α_i 为着火温度点对应的剩余样品百分数，%； α_f 为燃尽温度点对应的剩余样品百分数，%。

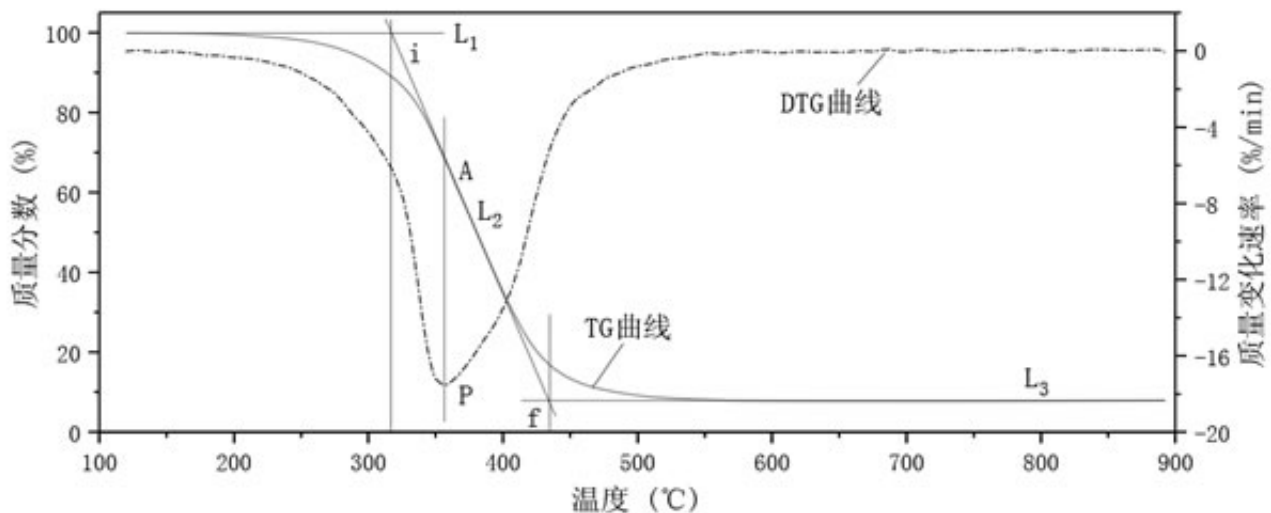


图3 燃烧特征指标确定示意图

Fig.3 Combustion characteristic index determination diagram

由表2可知，DS着火温度较TS低，说明DS含有较多热分解温度低的小分子挥发分。各种原料的燃尽温度差异明显，与其固定碳含量和灰分含量有关。一般情况下，固定碳比例低、灰分高的原料，其燃尽温度则高，主要是因为固定碳成分高时，可持续为燃烧过程提供较高的热量，进而促进固定碳或剩余样品的燃烧，而灰分高的原料易于在燃尽阶段形成灰壳，阻碍氧气向内渗透和燃烧产物向外扩散，不利于整体燃烧[9]，燃尽温度高是最直观的表现。TS的最大燃烧速率高于DS，但其平均燃烧速率明显低于后者，综合其有效燃烧时间区间和工业分析结果，可判断TS中某一性质挥发分含量较高，并集中于某一时间区间析出和燃烧，使得其最大燃烧速率偏高。

表 2 4 种原料的燃烧特征指标
Tab.2 Combustion characteristic indicators of the four materials

原料	着火温度 T_i	燃尽温度 T_f	最大燃烧速率 V_p	最大燃烧速率温度 T_p	残余物质量 α_o	平均燃烧速率 v_i
TS	305.6	472.2	36.13	331.4	4.09	5.66
DS	296.5	447.6	30.41	330.0	2.30	10.64
PC	316.4	438.9	17.52	356.8	7.95	12.02
SS	249.5	489.2	5.64	295.8	53.98	2.95

综合表1和表2数据可分析，生物质燃烧残余物质量分数与其灰分含量成正相关关系，平均燃烧速率一定程度上也受到灰分的影响，但与最大燃烧速率无直接联系。PC和SS的试验结果，也能够很好证实燃烧残余物与灰分的正相关这一现象。基于工程应用角度，DS在使用过程的可控性更高，其平均燃烧速率、燃尽温度等特性指标更接近于PC。TS在工程应用时，应注重瞬间剧烈燃烧并可从给料环节进行燃烧过程调节。SS的热值、平均燃烧速率、残余物等指标明显劣于其他3种原料，不宜单独燃用，建议通过掺烧形式进行减量化的处理。

3结论

- (1)TS着火温度、燃尽温度、最大燃烧效率及其温度、残余物质量均高于DS，而其平均燃烧速率低于后者。
- (2)TS中某一性质的挥发分含量较高，是造成其最大燃烧速率高的主要因素，结合其他特性指标，可判断DS在燃用综合性能上的表现更佳。
- (3)DS具有与PC较多相似的特性指标，SS各种指标劣于其他3种燃料，宜通过掺烧的形式燃用。

参考文献

- [1]Wang S , Jiang X M , Han X X , et al.Combustion Characteristics of Seaweed Biomass.1.Combustion Characteristics of Enteromorpha clathrata and Sargassum natans[J].Energy & Fuels , 2009 , 23(10) : 5173-5178.
- [2]Senneca O.Kinetics of pyrolysis , combustion and gasification of three biomass fuels[J].Fuel Processing Technology , 2007 , 88(1) : 87-97.
- [3]RHEN C , OHMAN M , GREFF R , et al.Effect of raw material composition in woody biomass pellets on combustion characteristics[J].Biomass and Bioenergy , 2007 , 31(1) : 66-72.
- [4]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，2010，05：220-226.
- [5]V á r hegyi G , Sebesty é n Z , Cz é g é ny Z , et al.Combustion Kinetics of Biomass Materials in the Kinetic Regime[J].Energy & Fuels , 2012 , 26(2) : 1323-1335.
- [6]陈国华，李运泉，彭浩斌，等.大颗粒木质成型燃料燃烧过程烟气排放特性[J].农业工程学报，2015，07：215-220.
- [7]郝江涛，于伟，卢平，等.生物质高级再燃脱硝的影响因素与元素释放特性[J].燃料化学学报，2014，05：552-559.
- [8]牛艳青，惠世恩，刘长春，等.生物质再燃NO_x脱除特性研究[J].可再生能源，2014，32(6)：843-847.
- [9]张百良.生物质成型燃料技术与工程化[M].北京：化学工业出版社，

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/135424.html>