

生物质燃料直接燃烧过程特性的分析

刘建禹，翟国勋，陈荣耀

(东北农业大学工程学院黑龙江省哈尔滨150030)

摘要：主要介绍生物质燃料的直接燃烧过程，它包括生物质燃料的组成特性、热分解及燃烧过程、空气需要量、烟气量、热值和理论燃烧温度等。为利用生物质作为燃料的供热设备设计和生物质气化的研究提供理论依据。

0前言

生物质能是地球上最普遍的一种可再生能源，量大面广，开发利用潜力巨大。自从人类发现火，开始使用这种能源至今，全世界仍有15亿以上的人口在使用着这种原始的生物质能源。尤其在发展中国家，生物质能几乎是农村燃料的主要依靠。我国是一个生物质能源耗用大国，大部分生物质燃料为直接燃烧，这种农村能源结构在一个相当长的时期内不会发生变化，这是由农村联产承包体制及我国经济基础所决定的。因此，对生物质作为能源的直接燃烧技术和装置的研究还是十分必要的。

目前，我们已掌握了许多有关生物质燃料燃烧方面的物理、化学机理，并在有些方面进行了计量。但是，对于生物质燃料的直接燃烧尚未达到完全了解的程度，本文主要从生物质燃料的组成特性方面，说明其直接燃烧过程特点以助生物质燃料的有效利用，同时也为进一步科学、合理利用生物质能，向生物质气化方向发展提供研究的理论依据。

1生物质燃料和固体矿物质燃料(煤)的主要差别

表1列出了典型生物质燃料和典型的烟煤和无烟煤的元素组成和工业分析成分组成。

从表1中看出，生物质燃料和煤碳相比有以下一些主要差别(见表2)：

1)含碳量较少，含固定碳少。生物质燃料中含碳量最高的也仅50%左右，相当于生成年代较少的褐煤的含碳量。特别是固定碳的含量明显地比煤炭少。因此，生物质燃料不抗烧，热值较低(见表1)。

2)含氢量稍多，挥发分明显较多。生物质燃料中的碳多数和氢结合成低分子的碳氢化合物，遇一定的温度后热分解而析出挥发物。所以，生物质燃料易被引燃，燃烧初期，析出量较大，在空气和温度不足的情况下易产生镶黑边的火焰。在使用生物质为燃料的设备设计中必须注意到这一点。

表 1 一些生物质燃料、煤的工业分析成分、元素组成和低位热值

Table 1 The components for industrial analysis, element composition and calorific value of some biomass and coal

燃料种类 sort of fuel	工业分析成分 % components for industrial analysis				元素组成 % element composition						热值 calorific value Q _{low} KJ/kg
	W ^f	A ^f	V ^f	C _{td}	H ^f	C ^f	S ^f	N ^f	P ^f	K ₂ O ^f	
豆 秸 beanstalk	5.10	3.13	74.65	17.12	5.81	44.79	0.11	5.85	2.86	16.33	16157
稻 草 rice straw	4.97	13.86	65.11	16.06	5.06	38.32	0.11	0.63	0.146	11.28	13980
玉米秸 maize straw	4.87	5.93	71.45	17.75	5.45	42.17	0.12	0.74	2.60	13.80	15550
麦 秸 wheat straw	4.39	8.90	67.36	19.35	5.31	41.28	0.18	0.65	0.33	20.40	15374
牛 粪 cow dung	6.46	32.40	48.72	12.52	5.46	32.07	0.22	1.41	1.71	3.84	11627
烟 煤 bitum ite	8.85	21.37	38.48	31.30	3.81	57.42	0.46	0.93	/	/	24300
无烟煤 anthracite	8.00	19.02	7.85	65.13	2.64	65.65	0.51	0.99	/	/	24430

注：W^f 水分 water content, A^f 灰分 ash content, V^f 挥发分 volatile gas content, C_{td} 固定碳 solid carbon content

表 2 生物质燃料和煤炭在结构特性上的主要差别

Table 2 The main different between biomass and coal on the composition characteristics

燃料种类 sort of fuel	C %	O %	H %	S %	A %	V %	密度 t/m ³ density
生物质燃料 biomass fuel	38~50	30~44	5~6	0.10~0.20	4~14	65~70	0.47~0.64 (木材 wood)
煤 炭 coal	55~90	3~20	3~5	0.40~0.60	5~25	7~38	0.80~1.00

3)含氧量多。从表2所列数字看出，生物质燃料含氧量明显地多于煤炭，它使得生物质燃料热值低，但易于引燃。在燃烧时可相对地减少供给空气量。

4)密度小。生物质燃料的密度明显地较煤炭低(见表2)，质地比较疏松，特别是农作物秸秆和粪类。这样使得这类燃料易于燃烧和燃尽，灰烬中残留的碳量较燃用煤炭者少。

5)含硫量低。生物质燃料含硫量大多少于0.120%，燃烧时不必设置气体脱硫装置，降低了成本，又有利于环境的保护。

2 生物质燃料的燃烧过程

生物质燃料的燃烧过程是强烈的化学反应过程，又是燃料和空气间的传热、传质过程。燃烧除去燃料存在外，必须

有足够温度的热量供给和适当的空气供应。图1为燃料燃烧过程的图示。它可分作：预热、干燥(水分蒸发)、挥发分析出和焦碳(固定碳)燃烧等过程。

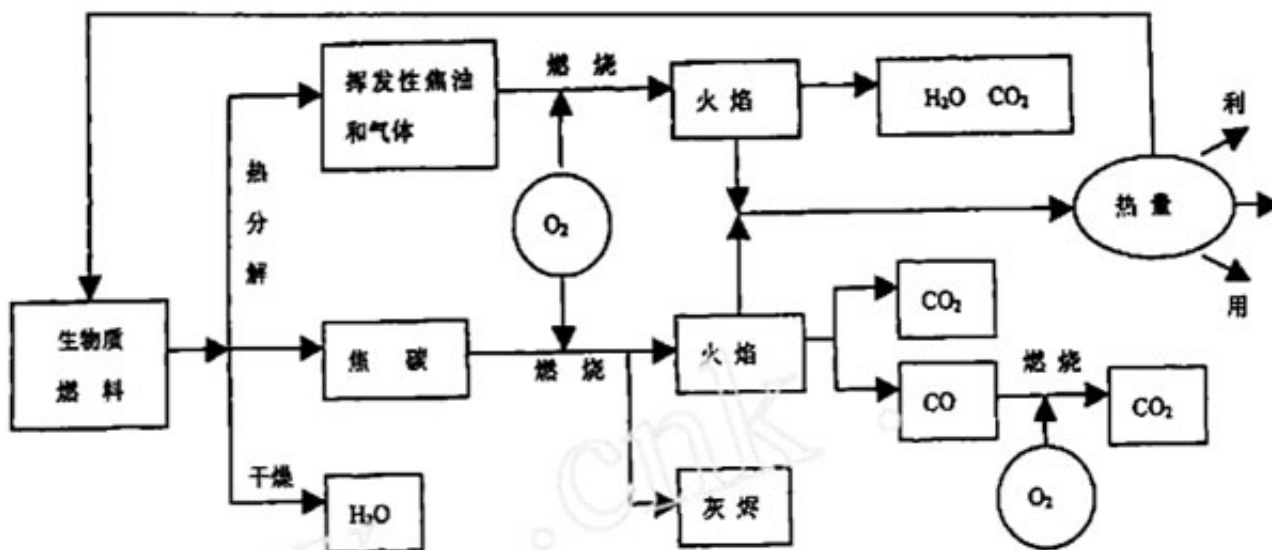


图 生物质燃料的燃烧过程

Fig Biomass fuel direct combustion process

燃料送入燃烧室后，在高温热量(由前期燃烧形成)作用下，燃料被加热和析出水分。随后，燃料由于温度的继续增高，约250℃左右，热分解开始，析出挥发分，并形成焦炭。气态的挥发分和周围高温空气掺混首先被引燃而燃烧。一般情况下，焦炭被挥发分包围着，燃烧室中氧气不易渗透到焦炭表面，只有当挥发分的燃烧快要终了时，焦炭及其周围温度已很高，空气中的氧气也有可能接触到焦炭表面，焦炭开始燃烧，并不断产生灰烬。

从上述说明可以看出，产生火焰的燃烧过程为两个阶级：即挥发分析出燃烧和焦炭燃烧，前者约占燃烧时间的10%，后者则占90%。同时也可看出，生物质燃料在燃烧过程中有以下一些特点：

1) 生物质燃料的密度小，结构比较松散，挥发分含量高，在250℃时热分解开始，在325℃时就已开始十分活跃，350℃时挥发分能析出80%。可以看到，挥发分析出时间较短，若空气供应不当，有机挥发分容易不被燃烬而排出，排烟为黑色，严重时为浓黄色烟。所以在设计燃用生物质燃料的设备时，必须有足够的扩散型空气供给，燃烧室必须有足够的容积和一定的拦火，以便有一定的燃烧空间和燃烧时间。同时空气供给量的多少也是生物质气化炉设计的关键之一。

2) 挥发分逐渐析出和烧完后，燃料的剩余物为疏松的焦炭，气流运动会将一部分碳粒裹入烟道，形成黑絮，所以，通风过强会降低燃烧效率。

3) 挥发分烧完，焦炭燃烧受到灰烬包裹和空气渗透较难的影响，妨碍了焦炭的燃烧，造成灰烬中残留余碳。为促进焦炭的燃烧充分，此时应适当加以捅火或加强炉篦的通风。

3空气供给量

适合的空气量和空气供给方式是保证燃料燃烧充分的条件之一。过多的空气供给，会吸收燃烧产生的热量，降低燃烧温度，淡化可燃气体的浓度，使化学反应减慢；过少的空气供给或空气受阻，分配不良，会使可燃气体未经燃烧而逸出。

单位质量燃料的理论需要空气量可根据化学反应式获得。生物质燃料中磷含量极少，而钾都以氧化钾的形式出现，故二者可以忽略不计，单位质量燃料的理论需要空气量可按下式计算：

$$V^0 = 0.0889C^y + 0.256H^y + 0.0333(S^y + O^y) \quad \text{Nm}^3/\text{kg 燃料} \quad (1)$$

式中 V^0 ——单位质量燃料理论需要标准状态下空气的体积, Nm^3/kg 燃料;
 C^y 、 H^y 、 S^y 、 O^y ——燃料各组成元素的应用基含量, %。

常见的生物质燃料, 其理论需要空气量为 $4 \sim 5 \text{Nm}^3/\text{kg}$ 燃料。在实际燃烧时, 由于供给方式的限制以及空气和燃料的接触的不完善, 只供给理论空气量是不够的。为了保证燃料充分燃烧, 实际供给的空气要比理论需要量要多。实际供给空气量 V 和理论空气量之比称作空气过量系数, 用符号 a 表示:

$$a = \frac{V}{V^0} \quad (2)$$

炉灶中的排烟损失和排烟量及排烟温度有关, 排烟量大, 排烟损失也随之增大。同时, 排烟量的多少直接关系到炉灶的喉口、烟囱截面和火炕炕洞截面尺寸的确定。

在家用生物质燃料的炉灶中, 难以像工业锅炉可以用调节法加以控制空气过量系数值。从实际测试中可以看出, 凡是烟囱抽力不佳, 拦火过分, 喉口小等情况都会减少空气的进入, 排烟中一氧化碳量明显增多; 而烧火旺, 拦火小, 烟囱抽力大的情况下, 则空气过量系数增大, 最大时可达410以上。一般情况下空气过量系数 a 值在1170 ~ 3100之间。最佳的空气过量系数 a 值为2100左右。

空气过量系数可以采用烟气分析仪测定, 其值可按下式计算获得:

$$a_{py} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0.5CO}{100 - (CO_2 + O_2 + CO)}} \quad (3)$$

式中 a_{py} ——排烟处空气过量系数;
 O_2 、 CO_2 、 CO ——干烟气中氧、二氧化碳、一氧化碳含量的百分数。此式中 CO_2 严格讲应为 $RO_2 = CO_2 + SO_2$, 由于生物质燃料中硫的含量很少, 故 SO_2 忽略不计。

4排烟量

每千克燃料燃烧产生的烟气量除与燃料的元素组成、水分含量有关外，尚和空气过量系数有关。每千克燃料燃烧实际产生的烟气量可按下式计算：

$$V_{py} = [0.018866(C^y + 0.375S^y) + 0.111H^y + 0.0124W^y + 0.008N^y + (1.0161a_{py} - 0.21)V^0] \text{ Nm}^3/\text{kg 燃料} \quad (4)$$

式中 V_{py} ——每千克燃料燃烧产生的实际烟气量 Nm^3/kg 燃料
 W^y 、 N^y ——燃料的水分、氮元素的应用基含量的百分数。

5理论燃烧温度

目前尚不能用计算方法来获得实际燃烧温度，因为它受外界许多因素的影响。为了评价燃料燃烧过程本身的程度，设想使燃料在一理想条件下燃烧，理想条件是：没有散热损失和完全燃烧。这一条件下计算出来的燃烧温度称为理论燃烧温度，它可以按下式进行计算：

$$t_{th} = \frac{Q_{dw} + Q_a + Q_f + Q_{td}}{V_{py} \cdot C_{py}} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

式中 t_{th} ——理论燃烧温度， $^\circ\text{C}$ ；
 Q_{dw} ——燃料的低位热值， kJ/kg 燃料；
 Q_a ——空气带入的物理热， kJ/kg 燃料；
 Q_f ——燃料带入的物理热， kJ/kg 燃料；
 Q_{td} ——燃料热分解的吸热， kJ/kg 燃料；
 C_{py} ——烟气的定压比热， kJ/kg 燃料
 $^\circ\text{C}$ 。

以分析基玉米为例(数据见表1)，若 $a=214$ 时，其理论燃烧温度约为 940 ，明显地低于煤炭的理论燃烧温度。实测实际燃用生物质燃料的炉灶的结果是：焦碳层的燃烧温度为： $850 \sim 900$ ，火焰温度： $500 \sim 700$ ，在 a 减小时此值尚能提高。

6结束语

生物质燃料直接燃烧和煤炭的直接燃烧有所不同，特别在空气供给、燃烧室形状和体积的要求等方面有着显著的差别。了解上述基础性知识将有助于生物质燃料直接燃烧时燃烧效率的提高。同时也为生物质气化的研究提供理论依据。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/106123.html>