生物质成型燃料燃烧理论分析

刘圣勇，赵迎芳，张百良

(农业部可再生能源重点开放实验室，河南郑州，450002)

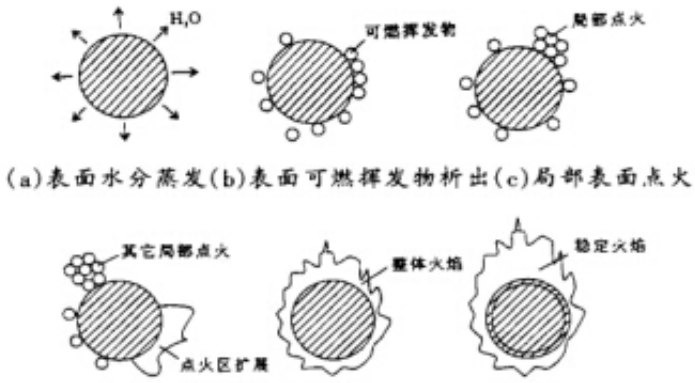
摘要：根据试验结果，分析总结了生物质成型燃料的点火性能、燃烧机理、燃烧特性等燃烧规律，从而为确定生物质成型燃料燃烧设备的热力特性参数打下基础，为研制生物质成型燃料专用燃烧设备提供科学依据。

生物质成型燃料燃烧理论分析是研制生物质成型燃料燃烧设备的基础，生物质成型燃料燃烧规律与木块、煤的燃烧规律有一定差别。为了使生物质成型燃料燃烧设备能够有较高的燃烧效率与较少的污染。必须对生物质成型燃料燃烧规律加以认真地研究与分析。根据国内外文献检索，关于生物质成型燃料层状燃烧的点火性能、燃烧机理、动力学特性还未见报到。为此作者根据试验结果对生物质成型燃料的点火性能、燃烧机理、燃烧特性等燃烧规律进行分析与总结。

1生物质成型燃料点火性能理论分析

1.1点火过程

生物质成型燃料的点火过程是指生物质成型燃料与氧分子接触、混合后，从开始反应，到温度升高至激烈的燃烧反应前的一段过程。实现生物质成型燃料的点火必须满足：生物质成型燃料表面析出一定浓度的挥发物，挥发物周围要有适量的空气，并且具有足够高的温度。生物质成型燃料的点火过程是：(1)在热源的作用下，水分被逐渐蒸发逸出生物质成型燃料表面；(2)随后生物质成型燃料表面层燃料颗粒中有机质开始分解，在其过程中有一部分挥发性可燃气态物质分解析出；(3)局部表面达到一定浓度的挥发物遇到适量的空气并达到一定温度，便开始局部着火燃烧；(4)随后点火面渐渐扩大，同时也有其它局部表面不断点火；(5)点火面迅速扩大为生物质成型燃料的整体火焰出现；(6)点火区域逐渐深入到生物质成型燃料内部一定深度，完成整个稳定点火过程。点火过程如图1表示。



(a)表面水分蒸发(b)表面可燃挥发物析出(c)局部表面点火

(d)点火区域扩大(e)整体火焰出现

(f)点火区域深入成型燃料内

图 1　生物质成型燃料点火过程示意图

1.2影响点火的因素

点火温度；生物质种类；外界的空气条件；生物质成型密度；生物质成型燃料含水率；生物质成型燃料几何尺寸等。

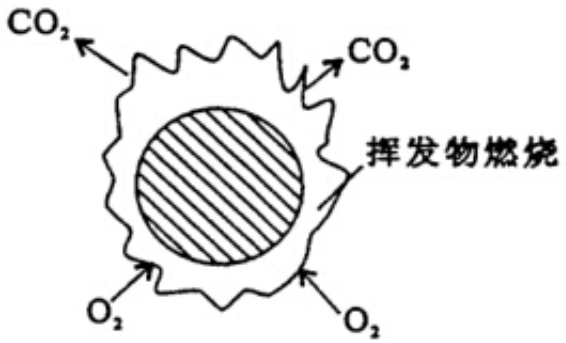
1.3点火特性

生物质成型燃料一般是高挥发分的生物质在一定温度下挤压而成。在高压成型的生物质燃料中，其组织结构限定了挥发分由内向外的析出速度及热量由外向内的传递速度减慢，且点火所需的氧气比原生物质有所减少，因此生物质成型燃料的点火性能比原生物质有所降低，但远远高于型煤的点火性能。从总体趋势分析，生物质成型燃料的点火特性更趋于生物质点火特性。

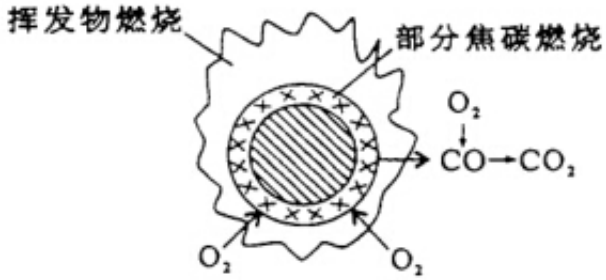
2生物质成型燃料燃烧理论分析

2.1生物质成型燃料燃烧机理

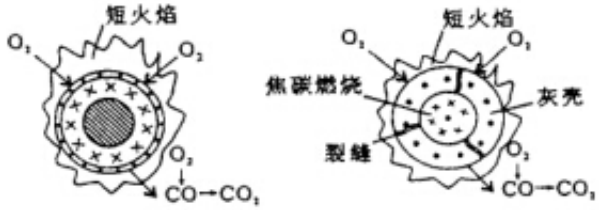
生物质成型燃料燃烧机理属于静态渗透式扩散燃烧，燃烧过程就从着火后开始。(1)生物质成型燃料表面可燃挥发物燃烧，进行可燃气体和氧气的放热化学反应，形成火焰；(2)除了生物质成型燃料表面部分可燃挥发物燃烧外，成型燃料表层部分的碳处于过渡燃烧区，形成较长火焰；(3)生物质成型燃料表面仍有较少的挥发分燃烧，更主要的是燃烧向成型燃料更深层渗透。焦碳的扩散燃烧，燃烧产物CO_2，CO及其它气体向外扩散，行进中CO不断与O_2结合成CO_2，成型燃料表层生成薄灰壳，外层包围着火焰；(4)生物质成型燃料进一步向更深层发展，在层内主要进行碳燃烧(即$C+O_2 \rightarrow CO$)，在球表面进行一氧化碳的燃烧(即$CO+O_2 \rightarrow CO_2$)，形成比较厚的灰壳，由于生物质的燃尽和热膨胀，灰层中呈现微孔组织或空隙通道甚至裂缝，较少的短火焰包围着成型块；(5)燃尽壳不断加厚，可燃物基本燃尽，在没有强烈干扰的情况下，形成整体的灰球，灰球表面几乎看不出火焰，灰球会变暗红色，至此完成了生物质成型燃料的整个燃烧过程，燃烧过程如图2表示。



(a)成型燃料挥发物燃烧过程

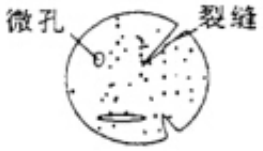


(b)成型燃料表面焦炭过渡区燃烧过程



(c)成型燃料渗透扩散区主燃烧过程

(d)成型燃料后期渗透扩散燃煤烧过程



(e)成型燃料燃料灰块生成

图 2　生物质成型燃料燃烧过程示意图

2.2　生物质成型燃料燃烧速度的影响因素

生物质成型燃料燃烧速度常用烧失量来表示：

2.2.1　生物质成型燃料烧失量（△m）：在一定时间内，生物质成型燃料燃烧的失重量，单位为 g[4]；

$$\triangle m = m_1 - m_2 \quad (1)$$

2.2.2　生物质成型燃料平均燃烧速度（Vm））：

平均单位时间内生物质成型燃料的失重量，单位 g/min；[5]

$$v_m = \frac{m_1 - m_2}{t_1 - t_2} \quad (2)$$

在式（1，2）中：m_1 为在 τ_1 时刻生物质成型燃料质量（g）；m_2 为在 τ_2 时刻生物质成型燃料质量（g）；τ_1 为生物质成型燃料的开始燃烧时刻（min）；τ_2 为生物质成型燃料的燃烧终止时刻（min）；

根据生物质成型燃料燃烧动力学分析，影响生物质成型燃料速度的主要因素有：生物质种类，生物质的含水率，生物质成型燃料密度，生物质成型燃料的几何尺寸，生物质成型燃料燃烧温度，燃烧时的通风条件等。

2.3生物质成型燃料燃烧特性

2.3.1生物质燃料特性

表1为六种主要生物质的工业分析，元素分析、发热量的数值：

由表l可看出，生物质的挥发分远高于煤，灰分和含碳量远小于煤，其热值小于煤，生物质这种燃料特点就决定了它的燃烧具有一定的特征。

表 1　生物质基本成分分析结果

燃料种类	水分（%）	灰分（%）	挥发分（%）	固定碳（%）	Had（%）	Cad（%）	Sad（%）	Nad（%）	Pad（%）	Kad（%）	Qnet.ad（kJ/kg）
稻草	4.97	13.86	65.11	16.06	5.06	38.32	0.11	0.63	0.146	11.28	13 980
玉米秆	4.86	5.93	71.145	17.75	5.45	42.17	0.12	0.74	2.60	13.80	15 550
高粱秆	4.17	8.91	68.9	17.48	5.25	41.43	0.10	0.59	1.120	13.60	15 124
麦秸	7.13	10.4	63.90	25.67							15 740
棉秆	8.77	6.59	69.66	23.81							17 620
木屑	12.27	0.83	70.55	16.35	4.382	45.65	0.06	0.138	0.1	13.0	18 064
山西煤	6	26	9	59							26 377

2.3.2原生物质燃烧特性

原生物质特别是秸杆类生物质密度小，体积大，其挥发分高达60%～70%之间，点火温度低，易点火。同时热分解的温度又比较低，一般在350℃就释放出80%左右的挥发分，燃烧速度快，燃烧开始不久迅速由动力区进入扩散区，挥发分在短时期内迅速燃烧，放热量剧增，在传统燃烧设备中，高温烟气来不及传热就由烟囱排出，因此造成大量的排烟热损失。另一方面，挥发分剧烈燃烧所需要的氧量远远大于外界扩散所供应的氧量，使供氧明显不足，较多的挥发分不能燃尽，形成大量CO、H_2、CH_4等产物，产生大量的气体不完全燃烧损失。

当挥发分燃烧完毕，进入焦炭燃烧阶段时，由于生物质焦炭的结构为构散状，气流的扰动就可使其解体悬浮起来，脱离燃烧层，迅速进入炉膛的上方空间，经过烟道而进入烟囱，形成大量的固体不完全燃烧热损失。此时燃烧层剩下的焦炭量很少，不能形成燃烧中心，使得燃烧后劲不足。这时如不严格控制进入空气量，将使空气大量过剩，不但降低炉温，而且增加排烟热损失。

总之，生物质燃烧的速度忽快忽慢，燃烧所需的氧量与外界的供氧极不匹配，呈波浪式燃烧，燃烧过程不稳定。

2.3.3生物质成型燃料燃烧特性

由于生物质成型燃料是经过高压而形成的块状燃料，其密度远远大于原生物质，其结构与组织特征就决定了挥发分的逸出速度与传热速度都大大降低。点火温度有所升高，点火性能变差，但比型煤的点火性能要好，从点火性能考虑，仍不失生物质点火特性。燃烧开始时挥发分慢慢分解，燃烧处于动力区，随着挥发分燃烧逐渐进入过渡区与扩散区，燃烧速度适中，能够使挥发分放出的热量及时传递给受热面，使排烟热损失降低。同时挥发分燃烧所需的氧与外界扩散的氧很好的匹配，挥发分能够燃尽，又不过多的加入空气，炉温逐渐升高，减少了大量的气体不完全燃烧损失与排烟热损失。

挥发分燃烧后，剩余的焦炭骨架结构紧密，像型煤焦炭骨架一样，运动的气流不能使骨架解体悬浮，使骨架炭能保持层状燃烧，能够形成层状燃烧核心。

这时炭的燃烧所需要的氧与静态渗透扩散的氧相当，燃烧稳定持续，炉温较高，从而减少了固体与排烟热损失。在燃烧过程中可以清楚地看到炭的燃烧过程，蓝色火焰包裹着明亮的炭块，燃烧时间明显延长。

总之，生物质成型燃料燃烧速度均匀适中，燃烧所需的氧量与外界渗透扩散的氧量能够较好的匹配，燃烧波浪减小，燃烧相对稳定。

参考文献：

[1]李保谦，马孝琴，张百良，等.秸秆成型与燃烧技术的产业化分析[J]河南农业大学学报，1999，35(1)：78～80.

[2]刘伟军，王佐民，于晓东，等.生物质型煤点火性能的理论分析和试验[J].哈尔滨理工大学学报，1998，3(4)：l～4.

[3]刘伟军，王佐民，于晓东，等.生物质型煤燃烧机理分析和燃烧速度试验研究[J].煤炭转化，1998，21(4)：52～57.

[4]徐通模，燃烧学[M].北京：机械工业出版社，1984.10

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/88363.html