

# 生物质燃料燃烧机理及影响其燃烧的因素分析

田仲富，王述洋，曹有为（东北林业大学机电工程学院，黑龙江哈尔滨150040）

摘要：生物质燃料是一种资源储量大、清洁环保的可再生能源，研究其燃烧机理是一项非常有价值的工作。主要以秸秆燃料为例对生物质燃料的燃烧机理进行详细介绍；分别从炉膛温度、空气量、生物质燃料颗粒尺寸、反应时间、水分含量、灰分含量以及气固混合比等方面对影响生物质燃料燃烧的因素进行详细分析；对生物质燃料燃烧设备的设计有针对性地提出一些建议。

随着全球经济的迅猛发展，对能源的消耗也不断地增长，作为人类生存和发展的重要资源——煤碳、天然气以及石油为主的非再生能源将最终被耗尽，在大量使用这些非再生能源的同时会导致一系列严重的环境污染问题。所以，极大程度地努力提高现有能源的实际利用率，并通过高新技术开发出污染小、可再生的新能源，来逐渐取代那些高污染、非再生的石化能源，是解决人类能源和环境污染等危机问题的主要途径。目前，在众多的再生能源当中，生物质能是最有开发潜力的，因为其具有资源储量大、清洁环保以及能再生等特点<sup>[1]</sup>。

生物质燃料燃烧机理是研制生物质燃料燃烧设备的基础，这是因为生物质燃料燃烧机理与煤炭或木材的燃烧机理有很大区别。为了使生物质燃料燃烧设备能够有较高的燃烧效率和较低的环境污染，对生物质燃料燃烧机理进行详细的研究是一项非常有价值的工作<sup>[2]</sup>。为此，笔者查阅相关文献，分析生物质燃料的燃烧机理，并概述影响其燃烧的因素。

## 1 生物质燃料燃烧机理

1.1 生物质燃料特性 生物质燃料的元素组成同煤炭的元素组成是有很大差别的，表1是生物质燃料与煤炭的元素组成对比表<sup>[3]</sup>

。由表1可知，煤炭与生物质燃料相比存在以下差别：含C量较高，含固定C高；含O量低很多，含水量少；含H量稍低；挥发分含量较少；密度大。

表1 生物质燃料与煤炭的元素组成对比表

燃料	C//%	H//%	O//%	挥发分 %	灰分 %	密度 t/m <sup>3</sup>
生物质燃料	39~51	5~7	29~45	64~71	5~16	0.49~0.65 (木质)
煤炭(烟煤/ 无烟煤)	23~91	4~5	4~19	6~39	6~24	0.7~1.0

由于生物质燃料在组分上同煤炭有以上差别，所以在燃烧时，为了使生物质燃烧设备经济、高效和可靠地工作，应根据不同的生物质燃料，在供气方式、燃烧室结构和燃料供给等方面加以适当的调整，从而使燃烧更充分、更高效。

## 1.2 生物质燃料的燃烧阶段

1.2.1 各阶段分析。生物质燃料的燃烧过程是剧烈的放热/吸热的理化反应。在燃烧过程中，由于燃料与空气会发生传质、传热过程，所以燃料燃烧所产生的热量会使环境温度升高，升高的环境温度又会加快传质过程的进行。因此，发生燃烧的前提条件是：不仅要有足够的燃料，而且还要有适当的空气供给和足够的热量供给<sup>[4-5]</sup>。

生物质燃料的燃烧过程如图1所示。其燃烧过程可分为：燃料预热、干燥、挥发分析出燃烧和焦炭燃烧4个阶段。生物质燃料燃烧的各个阶段虽然大都是串行的，但也有相当一部分是重叠进行的，因而没有严格的区分线，每个阶段所需时间和燃料种类、成分和燃烧方式等因素息息相关。为了使分析更有针对性，以下以秸秆为例，说明其燃烧过程的4个阶段。

(1) 预热阶段：把秸秆送进燃烧设备后，用特定的点火方式引燃秸秆表面的可燃物，环境温度会逐渐升高。

(2) 干燥阶段：水会在逐渐升高的环境温度中蒸发，使秸秆变得干燥，同时干燥的秸秆继续吸热增温。

(3) 挥发分析出燃烧阶段：当温度达到106~110℃时，秸秆表面的挥发分会以气体的形式被析出，燃料的结构也开始变得蓬松；温度进一步升高，当达到260~370℃时，挥发分首先着火燃烧。可知，要具备温度和浓度这两个前提条件的情况下，挥发分才能燃烧。随着秸秆表面挥发分燃烧，其所放出的热能逐渐积累，通过传递和辐射向秸秆内层扩散，进一步使秸秆内层的挥发分被析出，这部分挥发分和氧混合继续燃烧，同时有大量的热量放出，这时挥发分包围了秸秆中剩余的焦炭，炉膛中的氧很难直接接触到焦炭表面，所以焦炭不易燃烧。挥发分的燃烧为其后的焦炭燃烧准备了热能条件<sup>[6]</sup>。

(4) 焦炭燃烧阶段：随着挥发分的减少，焦炭逐渐与氧接触，使焦炭开始燃烧。在焦炭的燃烧过程中会不断地产生灰分，燃料内层的焦炭被这些灰分包裹，阻止其继续燃烧。此时，若不时地搅动或加强炉膛中的供风，都能使剩余的焦炭继续燃烧。

总之，上述燃烧的各个过程可归纳为两大类：吸热反应（预热、干燥和挥发分析出）和放热反应。挥发分燃烧和焦炭燃烧，前者占燃烧时间15%，但提供总热量的65%，后者占燃烧时间的85%。

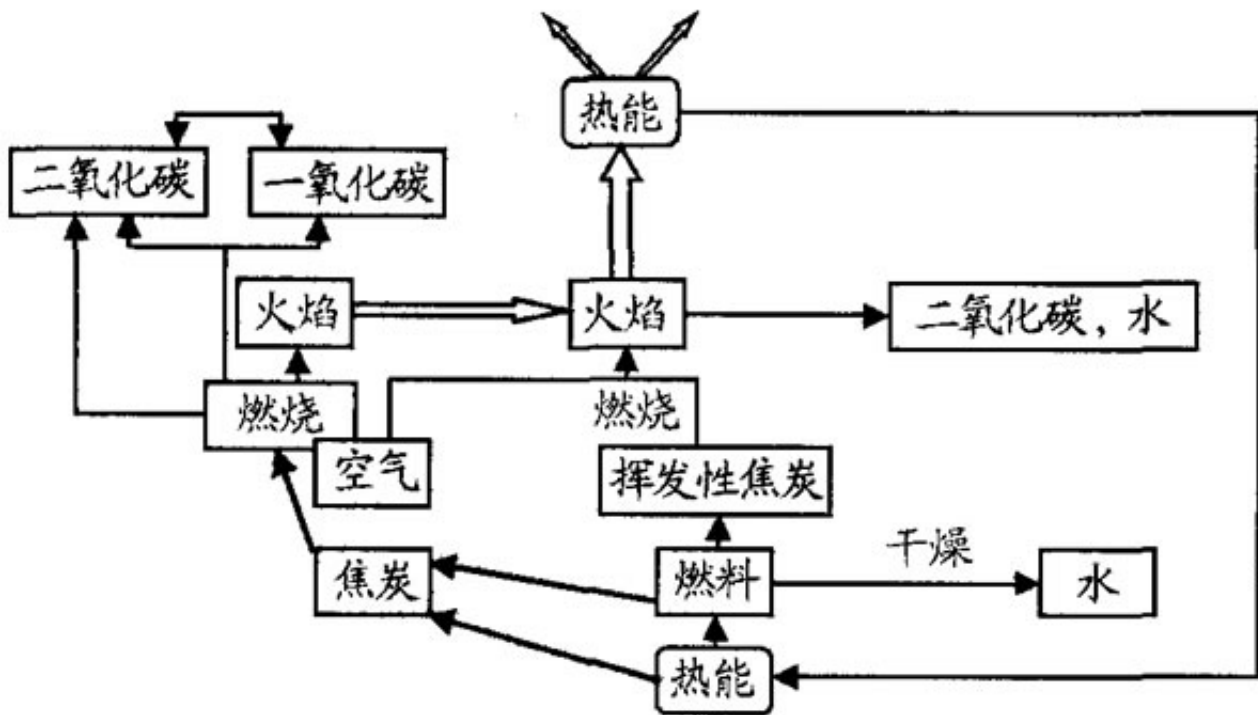


图1 生物质燃料的燃烧过程

1.2.2 温度控制。下面先从化学的角度来看一下生物质燃

料在灶膛中的反应过程，即只要表现为碳的燃烧过程<sup>[7]</sup>：



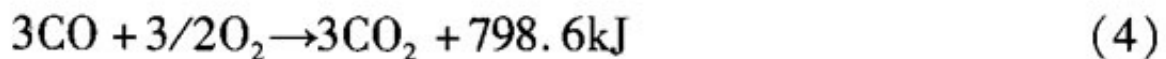
式(1)所产生的  $\text{CO}_2$  在  $\text{O}_2$  供给不足时,可能会和空气中的 C 进行吸热反应,导致环境温度下降,反应式为:



与此同时,空气中的水蒸气和 C 也可能进行吸热反应,其反应式为:



由反应式(2)和(3)可知,二者的产物 CO 和 H 均可以同  $\text{O}_2$  进一步发生放热反应,从而提高灶膛中的温度:



从以上反应式可知,在生物质燃料的燃烧过程中,C即使不能完全燃烧,但只要有足够的空气并经过一定的时间,也能使灶膛的放热强度达到要求。所以,在燃烧过程中循环引入一定量烟气,通过吸热反应来使灶膛温度下降,以防灶膛焦炭结渣。

### 1.2.3 燃烧所需空气量。生

物质燃料的可燃元素一般为C和H。燃烧过程中C和H分别与 $\text{O}_2$ 发生放热反应。大多数燃烧设备都是从空气来获得 $\text{O}_2$

$\text{O}_2$ 发生燃烧反应的反应式为:





由生物质燃料的体积百分数及各可燃成分所需氧的量(体积)可由式(6)、(7)以及(8)直接计算出。燃料所需的理论空气量  $V^0$  可由下式求出：

$$V^0 = (1/2\text{CO} + 2\text{CH}_4 + 1/2\text{H}_2) / 21 \quad (9)$$

燃烧过程中所需的空气量为：

$$L_a = \alpha \times V^0 \times L_g \quad (10)$$

式中,  $\alpha$  为空气过量系数, 为了使燃料在不预混条件下能够完全燃烧, 其取值为 1.5 ~ 2.8, 最佳的取值为 2.0;  $L_g$  为燃气用量 ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )。

1.2.4 排烟量。排烟量对于生物质燃料燃烧装置的结构和尺寸设计有着重要的影响, 所以排烟量的计算也很关键。生物质燃料燃烧过程中的排烟量和其元素组成、水分含量以及空气过量系数有关。每Kg生物质燃料燃烧过程中的排烟量计算式为：

$$V_{py} = 0.1868(0.376S^y + C^y) = 0.11H^y + 0.0134W^y + 0.006N^y + (1.02\alpha_{py} - 0.32)V^0 \quad (11)$$

式中,  $V_{py}$  是每 kg 生物质燃料的实际排烟量, 单位为  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $S^y$ 、 $C^y$ 、 $H^y$ 、 $W^y$  以及  $N^y$  分别为生物质燃料 S 元素、C 元素、H 元素、水分以及 N 元素的应用基含量(%);  $\alpha_{py}$  为排烟处  $Q$  值。

炉膛中的排烟热损失与排烟量温度呈正比关系, 因此排烟热损失随着排烟量的增大而增大。

1.2.5 燃烧温度。生物质燃料在燃烧时的燃烧温度与燃料种类、成分、环境条件、燃烧设备等因素有直接的关系。燃烧温度也是生物质燃料燃烧设备设计的关键参数之一。总地来看, 生物质燃料燃烧过程中热量吸入和热量排出的平衡关系决定了实际燃烧温度<sup>[8]</sup>。

生物质燃料燃烧的热量吸入主要包括燃料的化学热及燃料的发热量  $Q_{DW}$ 、燃料带入的物理热  $Q_f$ 、空气带入的物理热  $Q_a$ 。

生物质燃料燃烧的热量排出主要包括燃烧产物含有物理热  $Q_p$  ( $Q_p = V_p \times C_{pp} \times T_p$ , 其中,  $V_p$  为燃料的燃烧量,  $C_{pp}$  为燃烧产物的平均比热,  $T_p$  为燃烧产物的温度)、燃烧产物燃烧时向环境的传热量  $Q_{传}$ 、燃料未能完全燃烧的热损失  $Q_{不}$ 。

由热量平衡原理可知,当热量吸入和排出相等时,燃烧产物达到一个相对稳定的燃烧温度,即列热量平衡方程式为:

$$Q_{DW} + Q_a + Q_f = V_p \times C_{pp} \times T_p + Q_{传} + Q_{不} \quad (12)$$

由式(12)整理得到燃烧产物的温度为:

$$T_p = \frac{Q_{DW} + Q_a + Q_f - Q_{传} - Q_{不}}{V_p \times C_{pp}} \quad (13)$$

## 2影响生物质燃料燃烧的因素

2.1炉膛温度 炉膛温度是影响生物质燃料燃烧最直接的因素,在充分考虑焦炭结渣问题的前提下,必须最大程度地提高炉膛的温度,才能促进生物质燃料燃烧的反应速率。

2.2空气量 燃烧反应的进程决定于燃料与空气的供给。燃烧反应会由于空气量供给太少,而使燃料燃烧不完全,进而造成燃料浪费;但空气供给太多,过量的空气将所吸收的热量白白带走,致使燃烧温度降低,燃烧也会相应地变为不稳定。所以,空气量需有个最佳范围,故空气过量系数的稳定性是保障燃烧过程稳定的前提条件。

2.3生物质燃料颗粒尺寸 因固体颗粒反应一般在其表面进行,因而生物质燃料颗粒的表面积越大,对燃烧反应的进行越有利。颗粒尺寸与其表面积呈反比,所以,应尽量减小生物质燃料颗粒的尺寸,才能提高其燃烧反应效率。

2.4反应时间 生物质燃料的燃烧也属于化学反应范畴,所以其燃烧要经过一定的时间才能结束。充足的反应时间也是生物质燃料完成燃烧反应的重要因素之一。

2.5水分、灰分含量 燃烧反应属于放热反应,而水分蒸发恰好会强烈地吸收热量,生物质燃料的燃烧过程属于自维持型燃烧,所以其水分含量不应超过70%,若超过,则需借助辅助燃料助燃。

因燃料中的灰分不可燃,因此生物质燃料灰分含量越高,其热值和燃烧温度越低。在燃烧过程中内层未燃烧的燃料可能会被灰分包裹,进而使燃料燃烧速度降低,同时灶膛温度达到一定高度时,高灰分含量定会增加熔化量,所以应采取合理的措施,使燃料完全燃烧,同时减少对燃烧炉灶的腐蚀。

2.6气固混合比 在燃烧进行时,要有一定的氧扩散到燃料颗粒表面,在燃料燃烧反应的进行过程当中,其内层的灰

分会慢慢暴露出来，进而包裹没有燃烧完全的炭。所以在燃烧过程中应不时搅动来保证合理的气固混合比，才能使灰分剥落并暴露出没有燃烧完全的炭，最终使燃料进行充分的燃烧。

### 3结论

分析表明，温度、空气量和固混合以及反应时间和空间是其（生物质燃料）充分燃烧的三要素。但是，因参与吸热反应的生物质燃料和参与放热反应的并不是直接接触，因而生物质燃料的吸热只能从灶膛内壁以及火焰的辐射获得。所以，水分含量不同的生物质燃料，对燃烧设备的要求也有很大差异，水分较大的需很多的热量来保证吸热反应进行，故要尽量使灶膛内壁的温度保持一定高度；对水分含量较小的燃料要注意对灶膛内壁的冷却，以防止灰渣在灶膛内结渣。应根据不同生物质燃料的燃烧机理，探索不同类型的燃烧技术并研发相应的燃烧设备，以便于提高生物质燃料的燃烧效率。

该研究可为生物质燃料的燃烧特性分析和生物质燃料燃烧设备的设计提供参考。

### 参考文献

- [1]张明，袁益超.生物质直接燃烧技术的发展研究[J].能源研究与信息，2005，21（1）：15-18.
- [2]刘圣勇，赵迎芳，张百息.生物质成型燃料燃烧理论分析[J].能源研究与利用，2002（6）：26-28.
- [3]GILBE C，OHMAN M，HNDSTROM E，et al.Slagging Characteristics dur-ing residential combustion of biomass pellets[J].Energy&Fuels，2008，22（5）：3536-3543.
- [4]罗娟，侯书林，赵立欣.生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J].可再生能源，2009（6）：90-95.
- [5]BAERNTHALER G，ZISCHKA M，HARALDSSON C，et al.Determination of major and minor ash-forming elements in solid biofuels[J].Biomass and Bioenergy，2006，30（11）：983-997.
- [6]王惺，李定凯，倪维斗.生物质压缩颗粒的燃烧特性[J].燃烧科学与技术，2007，13（1）：86-90.
- [7]DIAS J，COSTAM，AZEVEDO JLT.Testf a small domestic boiler using diferet pellets[J].Biomass and Bioenergy，2004，27（6）：531-539.
- [8]侯中兰，贾孟立，郭前辉.影响生物质成型燃料点火性能的因素分析[J].可再生能源，2007，25（1）：71-72.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/132880.html>