

## 一台生物质直燃技术在循环流化床锅炉应用

罗自立<sup>1</sup> 高展展<sup>2</sup>

1 洛阳高新热力有限公司, 河南 洛阳 471000

2 河南思源热能设备有限公司, 河南 郑州 450001

**[摘要]** 生物质散料作为一种可再生燃料, 易于获得, 燃烧后产物内含污染物少, 是相对洁净的燃料, 循环流化床燃烧技术是一种新型的高效、低污染排放可发展燃烧技术。文中针对生物质散料燃烧特性和循环流化床燃烧技术优势互补的特点, 通过介绍一台纯燃生物质散料锅炉的开发设计, 阐述了利用循环流化床燃烧技术进行纯燃生物质散料的锅炉开发时的关键技术和详细结构, 为高效环保利用生物质散料作为锅炉燃料提供有益的借鉴途径。

**[关键词]** 生物质散料; 直燃; 循环流化床锅炉; 应用

DOI: 10.33142/ec.v4i9.4459

中图分类号: TK229.6

文献标识码: A

### Application of a Biomass Direct Combustion Technology in Circulating Fluidized Bed Boiler

LUO Zili<sup>1</sup>, GAO Zhanzhan<sup>2</sup>

1. Luoyang Gaoxin Thermal Power Co., Ltd., Luoyang, Henan, 471000, China

2. Henan Siyuan Thermal Energy Equipment Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450001, China

**Abstract:** As a renewable fuel, biomass bulk is easy to obtain, and the combustion products contain less pollutants. It is a relatively clean fuel, and circulating fluidized bed combustion technology is a new type of high-efficiency, low pollution and developable combustion technology. According to the characteristics of biomass bulk combustion and the complementary advantages of circulating fluidized bed combustion technology, this paper introduces the development and design of a pure biomass bulk boiler, and expounds the key technology and detailed structure of the development of a pure biomass bulk boiler using circulating fluidized bed combustion technology, which provides a useful reference for the efficient and environmentally friendly use of biomass bulk as boiler fuel.

**Keywords:** biomass bulk; direct combustion; circulating fluidized bed boiler; application

### 序言

随着社会对能源需求品质的变化, 化石燃料作为主要能源来源, 由于燃烧时的污染物排放较高, 不适应当前世界的环保政策, 并且是不可再生能源, 其过度开发利用破坏地球环境, 因此该类能源的使用将会减少迅速。目前, 寻找一种可再生又燃烧后污染物少的替代能源, 成为了当务之急。生物质能是一种太阳能转变的可再生能源, 每年由太阳能转化的经过工业、农业利用后产生的生物质废弃物量非常大, 例如玉米秆、稻壳、制药废液等可再生资源, 这些资源如果不加以利用直接丢弃, 将占用大量的处理资源, 并且浪费了宝贵的能源资源。生物质废弃物作为燃料, 是一种相对洁净的燃料, 由于来自于太阳能, 其可再生性强, 如果利用得当, 可以产生各种能源, 变废为宝服务社会。生物质燃料燃烧利用, 目前分为散料直接燃烧和加工成型燃料燃烧, 成型燃料价格昂贵, 难以大力市场化推广, 生物质燃料直燃由于燃烧设备的复杂性, 目前处于积极探索阶段。循环流化床燃烧技术<sup>[1]</sup>是一种在发展中的高效、低污染的燃烧技术, 该技术由于底料流化态和炉膛的物料循环剧烈的因素, 对燃料适应性非常广泛。综合二者的优点, 开发一种生物质燃料运用循环流化床燃烧技术, 对生物质燃料很少加工的情况下直接在锅炉炉膛内燃烧, 把生物质废料有价值的利用又减少污染物的产生, 是一种符合国情的洁净燃料和洁净燃烧技术相结合发展途径。

本文针对生物质燃料的燃烧特性和循环流化床燃烧技术特点, 通过将二者的优势结合在锅炉内应用, 介绍一台纯燃生物质散料锅炉的研发, 阐述循环流化床直燃生物质散料锅炉关键技术和详细结构, 并对锅炉运行情况和运行结果进行简单介绍。

### 1 燃料成分、燃烧特性及产物

#### 1.1 燃料成分及简单燃烧分析

本锅炉以农作物秸秆及树皮、玉米芯及树木废薪材等按一定比例混合后作为设计燃料, 其元素分析数据如下:

收到基碳 Car=31.68%, 收到基氢 Har=4.16%, 收到基氧 Oar=25.20%, 收到基氮 Nar=0.8%, 收到基硫 Sar=0.06%,

收到基灰份  $A_{ar}=9.1\%$ ，收到基水分  $M_{ar}=29\%$ ，应用基挥发份  $V_{ar}=51.23\%$ ，收到基低位发热值  $Q_{net, ar}=9687\text{kJ/kg}$

据以上数据，燃料具有较低的发热值，较高的氧含量和较低的灰含量，作为锅炉燃料，挥发份很高，根据以上成分和试验结果，该燃料的燃烧过程和燃烧产物有如下特点，（1）挥发份高使此种燃料易于燃烧，并且可能出现爆燃，锅炉设计和运行应考虑燃料密度小出现悬浮燃烧量大的状况，燃烧时氧气供给应集中且充足，避免出现过多缺氧燃烧，结合目前的低氮燃烧技术，一次风应相对少供，二次风应上移相对集中多供；（2）烟气内携带的灰粒较少；（3）燃料中的氧较多，要保持较低的氮氧化物排放，需要在锅炉设计时考虑燃料中的氧。燃料堆积供应情况如下图 1。



图 1 燃料的堆积

## 1.2 燃烧特性及产物和匹配的锅炉结构要求

### 1.2.1 底料及分离器

生物质散料的灰分较低，建立稳定的灰循环很难，锅炉运行前期及正常运行时应根据料层差压变化加入一定的惰性底料，一般来说当料层差压或风压由冷态试验的数据确定，一般按  $3500\text{Pa}$  作为最低数据。灰份较低导致烟气的含尘浓度较低，应设计较高的炉膛烟气流速（大于  $5\text{m/s}$ ）和较高的分离器入口流速（大于  $25\text{m/s}$ ），目的提高烟气灰尘携带率和分离效率<sup>[3]</sup>。

### 1.2.2 燃烧特性及供风系统

生物质散料的挥发分很高，燃料密度小，悬浮燃烧量大，燃烧时氧气供给应集中且充足，避免出现过多缺氧燃烧，结合目前的低氮燃烧技术，一次风量应相对少供，二次风量应上移相对集中多供<sup>[2]</sup>，燃料中有较高的 N、O 含量，为了减少锅炉燃烧后的环保压力，在加大风量集中供给时，为了尽可能的减少  $\text{NO}_x$ （ $\text{SO}_x$  量很少）的产生，应控制燃料燃烧温度及燃烧时分级供氧量份额，具体的应减少密相区的燃烧份额或增加密相区的受热面积，通过供风及循环物料控制密相区燃烧温度在  $850^\circ\text{C}$  左右，但最低不能低于  $700^\circ\text{C}$ 。需要增加二次风的供给，并且把二次风上移及多层布置，一次风和二次风定为  $5:5$  的比例较好。炉膛高度方向的中间部分应加大燃料热量的吸收，裸露膜式壁及增加吸热面积，以便均匀炉膛温度。

### 1.2.3 燃烧产物及尾部结构

生物质燃烧后灰含有较多的碱性物质，其焦渣性及颗粒的吸附性较强，尾部对流受热面易于结渣和积灰，在锅炉尾部受热面设计时，一般设计成光管且顺列结构，较高烟气流速把烟气中的灰带走，每级受热面在烟气流向上高度不宜太大，主要是考虑除灰的辅助设备即吹灰器能够吹透，通常不宜超过  $1.5\text{m}$ 。灰的含水率高，宜采用燃气激波吹灰器，考虑布置及维修调整方便，一般布置炉后。

## 2 循环流化床锅炉燃烧技术

流化床锅炉对生物质燃料的适应性较好，具有以下燃烧特点：（1）床内底料颗粒扰动剧烈，混合好，生物质燃料极佳的着火条件；（2）由于蓄热量大，能维持生物质在  $850^\circ\text{C}$  左右的稳定燃烧，燃料燃后不易高温结渣，可有效减少  $\text{NO}_x$  等有害气体的生成，经济效益明显；（3）流化床对入炉的燃料颗粒尺寸要求较严格，尺寸、状况均一化，保证生物

质燃料的正常供料；(4) 对于类似秸秆、木屑等比重较小且散、蓄热能力差的生物质，应添加石英砂等蓄热床料，同时提高分离器的分离效率，避免较硬的生物质飞灰磨损尾部对流受热面，(5) 灰的吸附性较强，易于造成积灰和搭桥等问题，尾部应布置激波吹灰器。

### 3 锅炉结构分部分介绍

#### 3.1 概述

本锅炉是结合流化床燃烧技术和生物质优点设计而成。将预处理过的生物质燃料送入炉膛燃烧，解决生物质燃料含碱性较高时对锅炉受热面的腐蚀和磨损，减少对环境的污染，具有燃烧效率高和低污染的特点，对于相对集中且需要大规模地利用生物质资源的地区较适宜。

锅炉结构布置了两个锅筒，采用自然循环、分散下降管循环方式，水冷式旋风气固分离器，循环流化床燃烧方式，对流竖井烟道内布置对流受热面。针对生物质燃料的特殊性，设计炉膛温度 $\leq 820^{\circ}\text{C}$ ，尾部对流受热面（过热器、对流管束、省煤器、空气预热器）全部采用顺列、大间距设计，对尾部受热面采用预留吹灰器接口的形式，为维持床料循环，通过燃料内添加惰性物料的方式。锅炉结构简图见图 2。

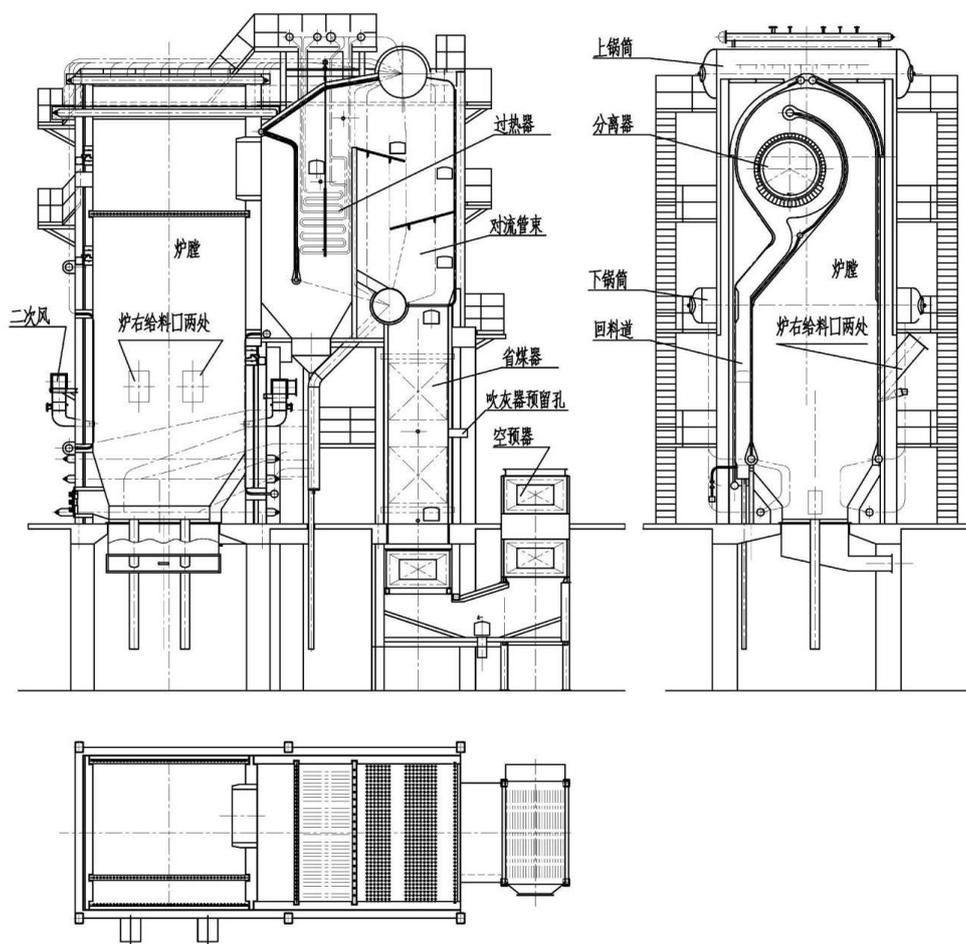


图 2 锅炉结构简图

#### 3.2 设计参数及主要经济技术指标

##### 3.2.1 设计参数

(1) 额定蒸发量 25t/h, (2) 额定蒸汽压力 1.6MPa, (3) 额定蒸汽温度  $350^{\circ}\text{C}$ , (4) 给水温度  $112^{\circ}\text{C}$ , (5) 冷空气温度  $20^{\circ}\text{C}$ , (6) 排污率 5%, (7) 排烟温度  $141^{\circ}\text{C}$

##### 3.2.2 燃料要求

农作物秸秆及树皮、玉米芯次小薪材等按一定比例混合后作为设计燃料，低位发热值  $9687\text{kJ/kg}$  左右，可燃物挥

发份 51.23%左右，燃料经过简单破碎直接送入炉膛。最大尺寸应保持在 40mm 以下。

### 3.2.3 炉膛设计及特点

燃烧配风设备和物料循环系统组成。布风装置由流化床以及等压风箱组成。运行时可由排渣来控制沸腾床上料层厚度。給料口布置在锅炉右侧。一次风占总风量 55%，二次风约占 42%，双层布置，播煤风、松动风占总风量 3%左右。烟气中飞灰经水冷式旋风分离器分离后，经回料道由松动风重新送入炉膛再燃烧。

炉膛下部沸腾层设置竖埋管，沸腾层工作温度为 830℃左右，由特殊曲线型的左中右三片膜式壁和前后重型炉墙组成悬浮段、水冷分离器及回料道。通过分离、回送实现循环燃烧。炉膛出口和分离器出口温度 820℃左右。

### 3.3 上下锅筒和炉膛膜式壁系统

上锅筒外径为  $\Phi 1460\text{mm}$ ，下锅筒外径为  $\Phi 1040\text{mm}$ ，二者均用 Q245R 锅炉钢板焊制而成。上锅筒通过对流管束悬吊下锅筒。

水冷系统的炉膛部分有左中右三片膜式水冷壁，管子节距 100，管子规格外直径  $\Phi 51\text{mm}$ ，壁厚 5mm，有下降管和导汽管与上锅筒连接。水冷系统的对流管束部分采用顺列布置，水管外直径  $\Phi 51\text{mm}$ ，壁厚 4mm。

### 3.4 过热器系统

过热器，分高低过两级顺列布置，水平悬吊式结构，中间笛型管式喷水减温器调节过热蒸汽温度。过热器管子外直径  $\Phi 42\text{mm}$ ，壁厚 4mm。喷水减温器筒体外直径  $\Phi 273\text{mm}$ ，壁厚 12mm，喷水来自半冷凝水。

### 3.5 省煤器

锅炉给水经给水调节装置进入省煤器进口集箱，然后进入省煤器蛇形管，经过省煤器管组加热后进入省煤器出口集箱，由出口集箱引入上锅筒。整个省煤器沿高度方向分为两段顺列布置，省煤器管外直径  $\Phi 32\text{mm}$ ，壁厚 4mm，材质 ND 钢。

### 3.6 空气预热器

空预器采用卧式顺列布置。空气预热器管子外直径  $\Phi 51\text{mm}$ ，壁厚 4mm 有缝钢管，材质外搪瓷管。

### 3.7 钢架、平台扶梯、炉墙

钢架采用焊接框架结构，柱脚与地基为固接。钢架是锅炉主要承重部件，锅炉本体主要受压部件、分离器、回料道、部分炉墙等由钢架来支撑。平台采用网格结构，轻型美观、不宜积灰等优点。本锅炉采用重型炉墙，设有人孔门、观察孔和测量孔。

### 3.8 阀门仪表及管道

本锅炉根据 TSG G0001-2012《锅炉安全技术监察规程》的相关规定，配备必备的热工仪表、阀门及各项保护装置，以确保锅炉的安全经济运行。

## 4 运行分析

该锅炉已经在山东某地投运，锅炉经过了 72 小时试运行，锅炉炉膛温度为 830℃，锅炉排烟温度约为 146℃，过量空气系数为 1.31，NO<sub>x</sub> 的在线监测排放量为 43mg/m<sup>3</sup>，达到了设计要求。从锅炉排烟温度数据看，下次设计设计时应适当增加省煤器面积，该锅炉为带埋管的低速循环流化床锅炉，全国各地此类型直燃生物质的设计和运行经验较少，本文为锅炉的后期开发研究积累数据。

### [参考文献]

- [1] 林宗虎等. 循环流化床锅炉[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 宋永利. 工业锅炉生物质燃烧技术[J]. 节能技术, 2003(3): 78.
- [3] 任强强, 赵长遂. 升温速率对生物质热解的影响[J]. 燃料化学学报, 2008, 36(2): 34.

作者简介: 罗自立 (1967.10-), 男,, 毕业于: 郑州大学工业自动化专业, 现就职于洛阳高新热力有限公司, 毕业后一直从事锅炉的运行和开发, 工程师。