

生物质散料直燃循环流化床锅炉开发设计

杨振斌¹ 徐 瑞²

1. 河南思源热能设备有限公司, 河南 郑州 450001

2. 郑州锅炉股份有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要] 生物质燃料是一种可再生燃料, 产量大、来源广泛, 燃烧后污染物排放少, 是相对洁净的燃料, 循环流化床燃烧是一种新型的高效、低污染的清洁燃烧技术。文中针对生物质燃料的燃烧特性和循环流化床燃烧技术特点, 通过介绍一台纯燃生物质散料锅炉的开发设计, 详细的阐述了利用循环流化床技术纯燃生物质散料锅炉在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; 开发设计

DOI: 10.33142/ec.v4i8.4256

中图分类号: TK6;TK229.91

文献标识码: A

Development and Design of Biomass Bulk Direct Fired Circulating Fluidized Bed Boiler

YANG Zhenbin¹, XU Rui²

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

2 Zhengzhou Boiler Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450001, China

Abstract: Biomass fuel is a renewable fuel with large output, wide sources and less pollutant emission after combustion. It is a relatively clean fuel. Circulating fluidized bed combustion is a new clean combustion technology with high efficiency and low pollution. According to the combustion characteristics of biomass fuel and the characteristics of circulating fluidized bed combustion technology, this paper introduces the development and design of a pure biomass bulk boiler, and expounds in detail the key technology and detailed structure of the pure biomass bulk boiler using circulating fluidized bed technology, so as to provide a useful reference way for the efficient and environmental protection utilization of biomass bulk.

Keywords: biomass bulk; direct combustion; circulating fluidized bed boiler; development design

引言

当前国家能源政策下, 寻找一种可再生的替代能源很紧迫。生物质能相较于其它能源, 由于它来源广泛方便, 我国广大地区每年有大量的工业、农业废弃物产出, 这些都使生物质能成为一种理想的可再生能源, 在我国玉米杆、稻壳、制药废液等可再生资源非常丰富。生物质燃料是一种相对洁净的燃料, 可再生性强。生物质燃料目前分为直接燃烧和生物质成型燃料燃烧, 成型燃料价格昂贵, 难以大力市场化推广。循环流化床燃烧^[1]是一种新型的高效、低污染的清洁燃烧技术。鉴于此, 开发一种生物质直接燃烧的循环流化床锅炉, 在对生物质燃料很少加工的情况下直接燃烧它, 降低锅炉运营成本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的发展途径。

1 燃料成分、燃烧特性和锅炉结构要求

1.1 生物质散料元素分析

本锅炉以秸秆及树皮、小麦秸秆、大豆秸秆、玉米秸秆、玉米芯次小薪材等按一定比例混合后为设计燃料, 其元素分析结果如下:

收到基碳 Car=31.54%,	收到基氮 Nar=0.5%,
收到基氧 Oar=25.35%,	收到基氢 Har=3.43%,
收到基硫 Sar=0.08%,	收到基灰份 Aar=7.1%,
收到基水分 Mar=32%,	可燃基挥发份 Var=56.3%
收到基低位发热值 Qnet.ar=10335kJ/kg	

根据以上数据可以看出, 该燃料成分下本身具有较低的发热值, 但是显示出很高挥发分, 兼具较高的自身氧含量, 兼具较低的自身灰含量, 如果以此燃料作为锅炉燃料, 将出现以下燃烧特殊性和燃烧产物的特殊性, (1) 单从燃料上看, 此种燃料易于燃烧, 燃烧可能出现爆燃情况, 锅炉设计时考虑应在燃料前期燃烧提供较多的氧气; (2) 燃料燃烧

后应考虑灰循环建立时维持灰循环较难的特点；（3）燃烧后的污染物如果要保持较低的排放，需要在锅炉设计时考虑燃料中的氧。



图1 生物质燃料堆积图

1.2 生物质散料的燃烧特性及对锅炉结构的要求

生物质散料的灰分较低，不能建立稳定的灰循环，在锅炉运行时应不定期的加入一定的惰性底料，应由底料补充系统，同时根据灰的含尘浓度较低的特点，应维持相对其他常规生物质较高的分离器截面流速和较高的炉膛截面烟气流速，维持此流速保证烟气携带灰的能力和分离器的自身效率都较高^[3]。

生物质散料的挥发分很高，燃烧容易但时间短需氧量大，因此燃烧时势必应加强一次风量强烈供给^[2]，但考虑到燃料中较高的 N、O 含量，为了减少锅炉燃烧后的环保压力，在加强一次风的供给时，为了尽可能的减少 NO_x 及 SO_x 的产生，应控制燃料燃烧温度及燃烧时供氧量，控制燃烧温度需要控制燃料在循环流化床锅炉在密相区的燃烧份额或增加密相区的受热面积，生物质燃料中的氧本身就高，需要减少一次风氧气的供给，通过供风及循环物料控制燃烧温度在 850° C 左右，但最低不能低于 750° C。生物质燃料的挥发分很高，燃烧时需要大量氧气，因此需要增加二次风的供给，并且把二次风多层布置，一次风和二次风定为 5:5 的比例较好。因此循环流化床锅炉的炉膛不能有太大的水冷度，在炉膛内采用分段供风、多点供风的情况下，提高燃料和空气的混合利于燃烧进行，同时为了保证具有一定的燃烧时间，锅炉炉膛下部吸热量应较少，这些部位需要一定高度的浇注料覆盖处理，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。

生物质燃料燃烧后产物含有较多的碱性物质，这种灰分的结渣性及颗粒的吸附性较强。考虑燃烧产物这种特性，在锅炉尾部受热面设计时，光管的大量采用组成蛇形管，这些蛇形管布置成顺列特殊结构，把烟气中大量的灰带走靠提高烟气流速的方式，建议设计时每级对流受热面，顺烟气流向的管排高度不宜太大，便于除灰的辅助设备吹透性好除灰效果好，考虑一般情况下不超过 1.6 米。灰的含水量很大，可以考虑燃气激波吹灰器，同时易于布置在便于维修调整的地方。

以上分析可以看出，对于锅炉设计炉膛、分离、返料循环系统提出了特殊的结构要求，在设计锅炉时密相区应保持物料流化的情况下，少供一次风和减少热量的吸收，炉膛中上部为降低燃烧温度应增加吸热面积，根据灰的含尘浓度较低的特点，应维持相对其他常规生物质较高的分离器截面流速和较高的炉膛截面烟气流速，维持此流速保证烟气携带灰的能力和分离器的自身效率都较高^[4]。炉膛的返料在前期尽可能的关闭，正常运行时返料器应比燃煤时小，较少料封的时间和保证灰循环稳定性，锅炉尾部对流受热面易采用顺列光管结构。

2 循环流化床锅炉经典燃烧技术

对比国内和海外生物质燃料直接燃烧技术的发展历程，对生物质燃料各种成分的适应性较好的炉型就是流化床锅炉，该锅炉负荷可调节的范围相对较大，总结原因如下：（1）床内所包括的工质颗粒自身扰动剧烈，导致各种传热工况好，炉膛内的高温烟气、较冷的空气与投入的燃料的充分混合是有利的，生物质燃料高水分、低热值的特性也提供极佳的温度着火条件，开发设计的炉膛容积要有大的悬浮空间，这样燃料在炉膛内停留的时间相对较长，达到生物质混合燃料的燃尽和烧好，这可以使生物质锅炉的效率提高；（2）可通过加入小颗粒的碱性物质（脱硫剂），与燃烧过程

中产生的酸性气体反应,达到减少酸性气体排放的目的;(3)直燃流化床生物质锅炉能够很好地保持混合的生物质燃料在 810℃左右的稳定燃烧,并且使燃烬后基本没有结渣,这种特性减少了 NO_x、SO_x、二恶英等有害气体的生成条件;3)对于类似木屑、稻壳、谷壳等比重小而松散、蓄热能力保持比较差的大量生物质燃料,需要设计额外的添加石英砂等蓄热床料保持运行稳定,坏处是灰渣混入了石英砂等床料,燃烧产物很难加以综合再利用,此种比重较小燃料的燃烧灰的吸附性较强,积灰和搭桥等问题时有发生。(4)直燃流化床生物质锅炉不足是对入炉的燃料颗粒尺寸有相应的范围要求,造成了生物质燃料的尺寸进行干燥、筛选、粉碎等一系列前期处理,使其尺寸、状况合理化,这些措施保证锅炉运行时生物质燃料的正常燃烧流化。

本文所选案例是在结合生物质燃料混合后自身特点和所选流化床燃烧优势技术基础上,通过结构优化和燃料优选配比设计而成。在设计过程中采用先进的分级燃料的低温燃烧排放技术,将提前处理过的生物质燃料与所选择的矿物质燃料混合燃烧,既可以提高燃烧效率,从排放角度又能降低 SO_x、NO_x、二恶英等有害气体的排放量,提高混合生物质燃料的利用效率,减轻对尾部管束的腐蚀和磨损,减少了烟气携带污染物对环境的污染,具有效率高和污染低的独有特点,所开发设计的锅炉特别对相对集中、大规模地利用生物质资源场所。以下是该生物质直燃流化床锅炉设计的具体结构介绍。

3 锅炉结构介绍

锅炉适用于室内或半露天布置。锅炉采用双锅筒、自然循环、先集中后分散的下降管、鼓风和引风平衡通风方式、水冷涡壳旋风分离器、循环流化床生物质直燃方式,炉膛和尾部竖井烟道内都布置有蒸发受热面。针对生物质燃料的特殊性,锅炉设计炉膛温度≤820℃,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,确保锅炉安全稳定运行。同时,为维持床料循环,在炉膛布置有专门的补充床料接口。

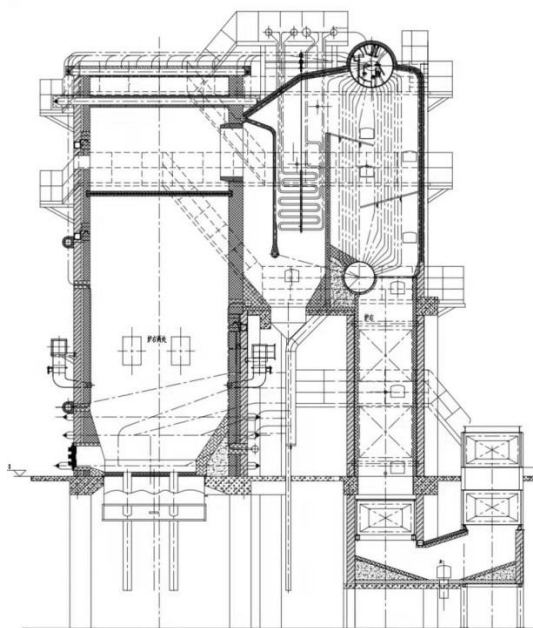


图2 锅炉结构图

3.1 设计参数及主要经济技术指标

3.1.1 混合生物质燃料要求

所选燃料为秸秆、树皮等混合燃料,可燃物挥发份 48%,低位发热值 10425kJ/kg,燃料经过轻微破碎通过给料机直接送入炉膛。燃料最大尺寸建议保持在 40mm 以下。

3.1.2 锅炉设计额定参数

(1) 额定蒸发量 25t/h, (2) 额定蒸汽温度 300℃, (3) 额定蒸汽压力 1.6MPa, (4) 选定给水温度 80℃, (5)

选定冷空气温度 25℃, (6) 选定排污率 5%, (7) 设计理论热效率 91.4%, (8) 设计理论排烟温度 131℃, (9) 稳定工况范围 35-100%, (10) 尾部过量空气系数 1.31。

3.2 燃烧流化床面设备及燃烧特点

本炉燃烧流化床面设备主要有螺旋生物质给料输入装置、流化布风燃烧装置、分离飞灰回送循环系统组成。流化布风燃烧装置由钢板焊接而成的等压风箱, 铸造的风帽、厚钢板拼接的布风板、两种材质组成的落渣管组成, 燃烧后生物质内掺杂的石块等通过四个落渣管排出炉底。运行时可由此方法来控制床面上燃料层的厚度, 维持正常的燃烧。螺旋生物质给料输入装置布置在锅炉前侧。一次风占总风量 52%, 一次风量应保证燃料的流化和部分燃烧, 达到抑 NO_x 的生成的目的。二次风约占 43%, 单层布置炉膛前后。播料风、回料风占总风量 5% 左右。燃料燃烧后生成的含尘烟气在引风机的抽动下, 向上进入卧式水冷涡壳分离器, 烟气携带的飞灰在分离器被分离出来, 经水冷回料通道由回料风送入炉膛密相区进行循环燃烧, 达到提高燃烧效率目的。

3.3 汽包和蒸发水冷受热面

上汽包外径为 $\Phi 1436\text{mm}$, 下汽包外径为 $\Phi 1028\text{mm}$, 都由 Q245R 锅炉专业钢板焊制卷圆而成。上汽包自由搁置在汽包梁上的两个汽包支座上, 下汽包则被对流管束悬吊悬空。汽包正常水位在汽包中心线以下 100mm, 允许水位波动 $\pm 50\text{mm}$ 。

水冷受热面的炉膛辐射换热部分有三片膜式水冷壁分布在左中右, 膜式壁所有的管子节距是 100, 所选用的管子规格为 $\Phi 51$, 回路的下降管和导汽管与上下汽包连接。炉膛前后墙双层水冷壁管子节距 100, 错列布置, 管子规格为 $\Phi 51$, 有下降管和导汽管与上下汽包焊接连接。对流管束部分是顺列布置, 对流管束的管子与上、下汽包采用焊接连接。

3.4 过热器受热面及喷水减温器调节装置

过热器受热面是水平管夹悬吊式结构, 高温段和低温段交错布置, 高低温受热面中间采用喷水减温器调节出口蒸汽温度。过热器管子规格为 $\Phi 42$, 减温水来自锅炉省煤器前给水管。道。

3.5 省煤器受热面

经过除氧的水经给水调节阀, 首先进入省煤器进口分配集箱, 通过集箱上连接的管道后进入省煤器蛇形管系, 给水在省煤器管组内吸收烟气热量温度升高, 通过集箱上连接的管道后进入省煤器出口集箱, 热水经过连接管道经出口集箱分配到上汽包。省煤器沿高度方向分为两级, 中间设有检修门孔, 省煤器蛇形管规格为 $\Phi 32 \times 4$ 。

3.6 空气预热器

为了加热空气和降低排烟温度, 预热生物质燃料便于燃烧, 在省煤器下面, 布置一次风和二次风管式卧式空气预热器。空气预热器管子规格 $\Phi 50$ 有缝钢管, 空气与烟气二次交叉流动。

3.7 监测阀门仪表

本锅炉配有规程要求的主要阀门、仪表。为保证汽水品质合格, 水处理房配有炉水、饱和蒸汽取样装置。没有可靠的水处理措施, 锅炉不得投入运行。

4 运行分析

该锅炉已经在海宁桐乡某地投入正常运行, 按要求用户的锅炉经过了 24 小时保有运行, 锅炉炉膛显示温度为 810℃, 空预器后排烟显示温度约为 134℃, 过量空气系数测试为 1.30, 监测排放量 SO_x 为 72mg/m³, 监测排放量 NO_x 为 48mg/m³, 环保及节能效果达到预期设计值, 为同型号锅炉的后期开发研究积累数据。

5 结束语

本锅炉各项锅炉参数基本达到了设计要求, 通过此次点火、调试、运行的成功进行, 为将来该类型循环流化床锅炉的开发设计和调试运行提供一个有效参考途径。

[参考文献]

- [1] 岑可法. 循环流化床锅炉理论设计与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
 - [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): 45.
 - [4] 周建娟, 范高峰. 2017 年第七届全国地方机械工程学会学术年会暨海峡两岸机械科技学术论坛论文集[J] 2017, 10, 18
- 作者简介: 杨振斌 (1973.12-), 男, 毕业于武汉汽车工业大学焊接工艺及设备专业, 现就职于河南思源热能设备有限公司, 毕业后一直从事锅炉的设计和开发, 工程师。