

生物质成型燃料链条蒸汽锅炉的研制

翟万里, 刘圣勇*, 管泽运, 王鹏晓, 刘洪福, 夏许宁, 唐亚婷

(1.河南农业大学\农业部农村可再生能源新材料与装备重点实验室, 郑州 450002; 2.生物质能源河南省协同创新中心, 郑州 450002)

摘要:针对生物质成型燃料燃烧特性,通过优化设计和试验研制出适合生物质成型燃料燃烧的专用链条蒸汽锅炉,该锅炉为单锅筒纵置式布置,采用新型链条炉膛结构。试验得出,锅炉的燃烧效率达96.7%,热效率达83.2%,锅炉排烟中CO、NO_x、SO₂、烟尘含量分别为360×10⁻⁶、116×10⁻⁶、44×10⁻⁶、26.4 mg/m³,表明锅炉的燃烧效率、热效率较高,锅炉消烟除尘性能较好,排烟中的烟尘、氮氧化物及SO₂含量低,符合国家锅炉的污染物排放标准要求。

关键词:蒸汽;生物质;锅炉;生物质成型燃料;链条蒸汽锅炉;热性能;消烟除尘

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.034

中图分类号:TK6

文献标志码:A

文章编号:1002-6819(2016)-01-0243-07

翟万里, 刘圣勇, 管泽运, 王鹏晓, 刘洪福, 夏许宁, 唐亚婷. 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉的研制[J]. 农业工程学报, 2016, 32(01): 243-249. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.034 http://www.tcsae.org

Zhai Wanli, Liu Shengyong, Guan Zeyun, Wang Pengxiao, Liu Hongfu, Xia Xuning, Tang Yating. Development of chain-steam boiler for biomass briquette[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(01): 243-249. (in Chinese with English abstract) doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.034 http://www.tcsae.org

0 引言

能源是人类社会生存与发展的物质基础。随着世界经济持续快速发展,各国对能源的需求剧增,而化石能源的有限导致油价居高不下,能源压力日益凸显^[1]。生物质能占世界一次能源消耗的1/4,是继化石能源煤、石油、天然气之后的第4位能源^[2]。生物质能贮量丰富,具有安全、清洁、易取等优点,并且是唯一可以储存和运输的可再生能源^[3]。世界各国都对生物质能源十分重视,纷纷出台了生物质能源的相关政策和规划^[4]。中国生物质资源量丰富,种类繁多,数量巨大,开发利用生物质能,符合可持续发展的科学发展观和循环经济理念,是解决中国能源问题的有效途径^[5-6]。

生物质成型燃料体积小、密度大,燃烧效率较高,存储运输方便,在工业、农业、家用暖房中均有较大利用价值,其燃烧设备的开发利用,是促进生物质能利用的有效途径^[7-10]。目前,国外生物质成型燃料燃烧设备以自动燃烧器为主,搭配各种热交换设备,组成生物质固体成型燃料燃烧设备整体系统,测控基本实现智能化,广泛应用于工业干燥、取暖、热水器等多种领域^[11-12]。但存在着维护费用高、智能操作较复杂、电耗较高和国内燃料匹配差等缺点,

不适合引进中国^[13]。2014年国家发改委、国家能源局、环境保护部发布关于能源行业加强大气污染防治工作方案的要求,提出大力发展生物质能供热,力推生物质成型燃料锅炉供热示范项目建设^[14]。目前,国内刘圣勇等人对生物质成型燃料热水锅炉的研究已取得一定进展,但关于生物质成型燃料链条蒸汽锅炉的理论研究和应用研究仍然较少。本论文根据生物质成型燃料燃烧特性,针对之前生物质锅炉存在的一些问题,通过优化设计和试验研制出适合于生物质成型燃料燃烧的专用链条蒸汽锅炉,旨在解决原有生物质锅炉适用范围窄、机械化程度低、热效率低、受热面易结渣、消烟除尘效果差等问题^[15-17]。

1 锅炉设计的背景及依据

1.1 双层炉排生物质成型燃料锅炉的不足之处

之前研制的双层炉排生物质成型燃料锅炉^[15]为热水锅炉,经长期使用,发现其存在不足之处。在增大锅炉燃料消耗量后,上炉排长时间受热容易出现炉排下沉的情况,影响设备的持续使用;炉膛结构较为简单,炉墙及烟道漏风情况较为严重,水冷壁及对流管束布置面积较小,炉膛的发热量与受热面吸热量不匹配,导致排烟热损失较大,影响锅炉热效率;锅炉墙体、集箱、汽管道和烟风道的保温性能较差,锅炉散热损失较大;缺少专用除尘器,消烟除尘效果欠佳;手动上料,操作不便,劳动强度大。

因此,此种双层炉排生物质成型燃料锅炉只适合于在供热量小、供热参数较低的一些热工设备上使用。根据出现的这些问题,结合生物质成型燃料燃烧特性,新型生物质锅炉的改进关键之处在于其炉排、炉膛结构的创新及其与汽管道、烟风系统的高效配合。通过优化设计和试验,研制出新的生物质成型燃料链条蒸汽锅炉,力求在

收稿日期:2015-07-24 修订日期:2015-12-02

基金项目:河南省科技创新杰出人才计划(144200510015);郑州市科技创新团队(131PCXTD588)

作者简介:翟万里(1993-),男,河南焦作人,主要从事生物质能源方面的研究。郑州 河南农业大学\农业部农村可再生能源新材料与装备重点实验室,450002。Email:277833272@qq.com

*通信作者:刘圣勇(1964-),男,河南柘城人,博士,教授,主要从事可再生能源方面的研究。郑州 河南农业大学\农业部农村可再生能源新材料与装备重点实验室,450002。Email:liushy@vip.sina.com

提高锅炉热效率的同时,降低大气污染物排放量,使其适合在高参数、供热量大的热工设备上使用,在性能指标和环保指标上达到工业使用的要求,实现机械化燃烧过程,降低劳动强度。

1.2 生物质成型燃料成分分析试验

对 5 种生物质成型燃料及烟煤进行工业分析,得出其水分、灰分、挥发分和固定碳的质量分数;进行元素分析,

得出燃料中各元素含量;测量各种燃料低位发热量数值。试验结果如表 1 所示。

从表中看出,不同种类生物质成型燃料的组成成分存在差异,但总体看来,其挥发分和含氧量远高于煤,灰分和含碳量小于煤,热值也小于煤。生物质成型燃料的这种组成成分决定了它的燃烧具有一定的特征:点火性能比原生物质有所降低,但仍好于煤;燃烧速度适中,燃烧相对稳定^[18-20]。

表 1 生物质成型燃料成分分析试验结果
Table 1 Analytic result of main components of biomass briquette

项目 Project	质量分数 quality percentage/%				空气干燥基各元素含量 Content of air dry element/%								空气干燥基净发热量 Air dry heat productivity $Q_{\text{net,ad}}/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$
	水分 Water	灰分 Ash	挥发分 Volatiles	固定碳 Fixed carbon	碳 Cad	氢 Had	氧 Oad	硫 Sad	氮 Nad	磷 Pad	钾 Kad		
稻秆 Straw	4.97	13.86	65.11	16.06	38.32	5.06	33.54	0.11	0.63	0.15	11.28	13 681	
玉米秸秆 Maize stalks	4.86	5.93	71.15	17.75	42.17	5.45	37.86	0.12	0.74	2.60	13.80	14 867	
高粱秸秆 Sorghum stalks	4.17	8.91	68.90	17.48	41.43	5.25	37.46	0.10	0.59	1.12	13.60	14 441	
杂木末 Weed tree	5.21	3.45	76.38	14.96	47.86	5.98	35.44	0.16	0.94	1.50	8.38	15 346	
花生壳 Peanut shells	6.43	3.79	68.20	21.58	49.56	6.21	34.66	0.10	1.24	0.15	9.26	15 844	
五种生物质平均值 Average	5.13	7.19	69.95	17.57	43.87	5.59	35.79	0.12	0.83	1.10	11.26	14 836	
烟煤 Bitumite	8.85	21.37	38.48	31.30	57.42	3.81	7.16	0.46	0.93	0.12	0.10	24 300	

1.3 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉主要设计参数

锅炉额定蒸发量 $D=1\,000\text{ kg/h}$, 额定工作压力 $P_e=0.7\text{ MPa}$, 额定出口蒸汽温度 $t=170\text{ }^\circ\text{C}$, 给水温度 $t_g=20\text{ }^\circ\text{C}$, 冷空气温度 $t_{lk}=20\text{ }^\circ\text{C}$, 排烟温度 $\theta_{py}=126\text{ }^\circ\text{C}$, 炉排面积热强度 $q_R=384.88\text{ kW/m}^2$, 炉膛容积热负荷 $q_V=189.88\text{ kW/m}^3$, 炉膛过剩空气系数 $\alpha_i=1.25$, 排烟处过剩空气系数 $\alpha_{py}=1.45$, 排烟热损失 $q_2=4.685\%$, 气体不完全燃烧损失 $q_3=0.2\%$, 固体不完全燃烧损失 $q_4=5\%$, 散热损失 $q_5=3\%$, 灰渣物理热损失 $q_6=0.206\%$, 燃料消耗量 $B=193.34\text{ kg/h}$, 锅炉效率 $\eta=86.909\%$ 。

2 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉结构设计

2.1 锅炉整体结构及工作原理

设计研制的生物质成型燃料链条蒸汽锅炉为单锅筒纵置式水管锅壳式锅炉,其燃烧设备为链条炉排,如图 1 所示。炉膛左右两侧布置辐射受热面,炉膛两翼布置对流受热面,锅筒内布置螺纹烟管对流受热面。锅炉本体在结构上采用上置锅筒,水冷壁管和集箱左右对称布置的形式。该锅炉的锅炉主机外侧为立体护板壳,炉墙采用耐热混凝土整体浇注捣制成型新工艺。该锅炉结构布置合理,燃烧效率高,其工作原理如下:

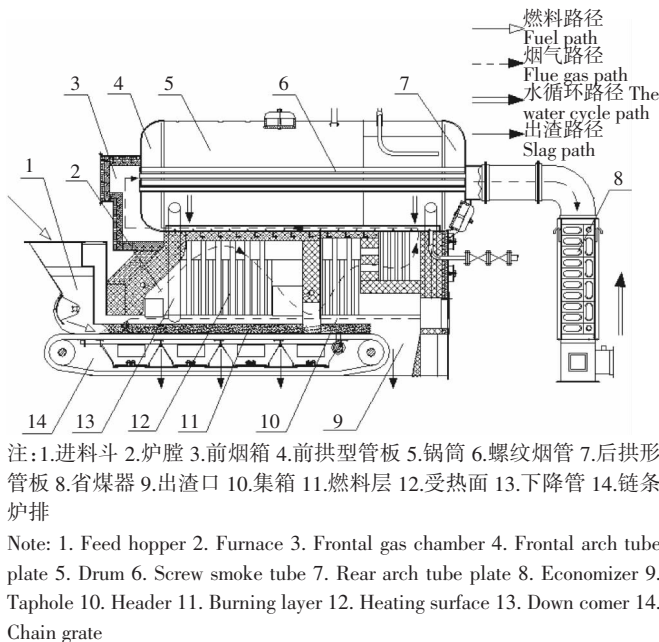
1)燃料路径:一定粒径的生物质成型燃料经进料斗送入锅炉链条炉排,炉排借电动机通过变速齿轮箱减速后由链轮来带动,将燃料带入炉内,燃料一边燃烧,一边向后移动。

2)烟气路径:燃料燃烧产生的大量高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热,将热量传递给管内的水,并冲刷炉膛两翼对流管束,之后通过前烟箱进入螺纹烟管对流受热面,经过省煤器、除尘器,由引风机抽引通过烟囱排入大气。

3)水循环路径:锅炉给水由水泵加压,先流经省煤器得到预热,然后进入锅筒。锅炉工作时,水冷壁和对流管

束内的水受热变为汽水混合物,高温蒸汽向上进入锅筒,由于下降管内的水不受热,密度较大,压迫下集箱的水继续补充水冷壁和对流管束,形成水循环回路。

4)出渣路径:燃料完全燃烧后产生的灰渣,有少量从链条炉排的缝隙落于灰渣斗,大部分在炉排末端被除渣板铲除于灰渣斗后排出。



注:1.进料斗 2.炉膛 3.前烟箱 4.前拱型管板 5.锅筒 6.螺纹烟管 7.后拱形管板 8.省煤器 9.出渣口 10.集箱 11.燃料层 12.受热面 13.下降管 14.链条炉排

Note: 1. Feed hopper 2. Furnace 3. Frontal gas chamber 4. Frontal arch tube plate 5. Drum 6. Screw smoke tube 7. Rear arch tube plate 8. Economizer 9. Taphole 10. Header 11. Burning layer 12. Heating surface 13. Down comer 14. Chain grate

图 1 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉结构图

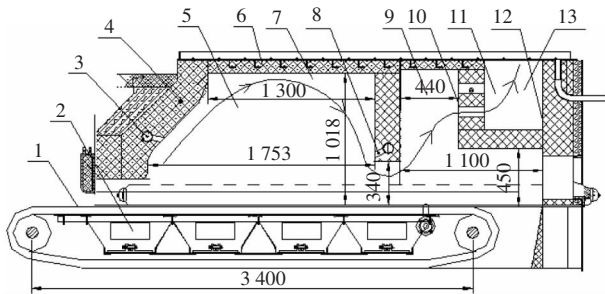
Fig.1 Structure figure of biomass briquette chain-steam boiler

该锅炉采用新型炉膛结构,使炉膛与链条炉排高效配合,加以独特的二次风设计,提高了锅炉燃烧效率及燃烧稳定性。炉膛内的八字墙和出口烟窗部分都具有一定的降尘作用,使锅炉的原始排尘浓度控制在标准以下,保证锅炉烟尘排放达到国家环保规定的指标。锅炉采用拱型管板与高效螺纹烟管组成锅筒,使锅筒由准刚性体结构变为准弹性体结构,取消了管板区的拉撑件,减少了应

力,并且强化了传热效果,提高了锅炉的热效率。

2.2 多拱炉膛的结构设计及计算

本文设计的生物质成型燃料链条蒸汽锅炉采用新型炉膛结构,如图2所示。链条炉排的上方从前至后依次设有前拱、中拱和后拱,中拱由竖向的折焰墙构成,后拱包括竖向的花墙和设置在花墙底部后侧的前后横向延伸的横向墙,前拱与中拱之间以及中拱与后拱之间均设有拱顶,前拱和中拱之间设有第一燃烧室,中拱和后拱之间设有第二燃烧室,后拱的后侧设有竖向的后炉墙,花墙、横向墙和后炉墙三者围设成第三燃烧室。此种设计能使链条炉排与炉膛高效配合,组织炉内空气动力场,提高燃烧效率及燃烧稳定性,改善生物质燃烧过程中积灰结渣问题。



注:1.链条炉排 2.一次风 3.二次风 4.前拱 5.第一燃烧室 6.拱顶 7.烟气流向 8.中拱 9.第二燃烧室 10.后拱 11.第三燃烧室 12.后炉墙 13.烟气出口
Note:1. Chain grate 2. Primary air 3. Secondary air 4. Frontal arch 5. The first combustion chamber 6. Arch crown 7. The flow of flue gas 8. Middle arch 9. The second combustion chamber 10. Rear arch 11. The third combustion chamber 12. Furnace rear wall 13. The exit of flue gas

图2 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉炉膛结构图

Fig.2 Structure figure of biomass briquette chain-steam boiler furnace

炉排面积和炉膛体积是锅炉炉膛的两个主要参数,由(1)~(2)式^[21]可计算出锅炉炉排及炉膛的尺寸。

$$F = \frac{BQ_{\text{net,ar}}}{q_F} \quad (1)$$

$$V = \frac{BQ_{\text{net,ar}}}{R_V} \quad (2)$$

式中 F 为炉排面积, m^2 ; V 为炉膛容积, m^3 ; B 为燃料消耗量, kg/s ; $Q_{\text{net,ar}}$ 为生物质成型燃料收到基净发热量, kJ/kg ; q_F 为炉排面积热强度, kW/m^2 ; R_V 为炉膛容积强度, kW/m^3 。

2.3 锅炉受热面的结构设计及校核计算

2.3.1 锅炉辐射受热面的结构设计及校核计算

锅炉中以辐射换热形式为主的受热面称为辐射受热面,辐射受热面又称为水冷壁,敷设在锅炉炉膛四周的炉墙上,如图3所示。生物质成型燃料链条锅炉辐射受热面的设计包括其结构特性计算及传热计算。根据(3)式,通过结构特性计算可得出锅炉的总有效辐射受热面积。

$$H_f = H_{f_e} + H_{f_j} + H_{f_q} + H_{f_h} + H_{f_c} \quad (3)$$

式中 H_f 为总有效辐射受热面积, m^2 ; H_{f_e} 为炉膛左墙辐射受热面积, m^2 ; H_{f_j} 为炉膛右墙辐射受热面积, m^2 ; H_{f_q} 为炉膛前墙辐射受热面积, m^2 ; H_{f_h} 为炉膛后墙辐射受热面积, m^2 ; H_{f_c} 为出口烟窗辐射受热面积, m^2 。

辐射受热面的传热计算采用校核计算的方法,即先

假定出口烟气温度,然后进行校核计算,若计算得出的出口烟气温度在误差要求范围之内,则传热计算结束,否则应重新假定出口烟气温度进行校核计算,直到计算结果在误差范围之内为止。出口烟气温度根据(4)式(传热方程式)和(5)式(热平衡方程式)联立计算求得^[22]。

$$Q_r = \frac{3.6\sigma_0 H_f T_{fl}}{B_j \left(\frac{1}{\alpha_1} + m \right)} \quad (4)$$

$$Q_r = \varphi VC_{p_j}(\theta_1 - \theta_1') \quad (5)$$

式中: Q_r 为辐射受热面吸热量, kJ/kg ; σ_0 为黑体辐射常数; H_f 为有效辐射受热面积, m^2 ; T_{fl} 为理论燃烧温度, $^{\circ}\text{C}$; B_j 为计算燃料消耗量, kg/h ; α_1 为炉膛系统黑度; m 为系数; φ 为保热系数; VC_{p_j} 为烟气平均比热容, $\text{kJ/(kg}\cdot^{\circ}\text{C)}$; θ_1 为理论燃烧温度, $^{\circ}\text{C}$; θ_1' 为炉膛出口烟气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

若计算得出的出口烟气温度与假定值相差在 $\pm 100^{\circ}\text{C}$ 之内,则符合要求,否则应重新假定并校核。

本研究设计的与生物质成型燃料链条蒸汽锅炉炉膛结构相匹配的水冷壁,具有以下特点和作用:

- 1) 保护炉墙,降低高温堆炉墙的破坏;
- 2) 加强传热,减小锅炉总受热面积,降低锅炉钢材耗量与造价;
- 3) 吸收炉内的辐射热量,产生锅炉的大部分饱和蒸汽;
- 4) 防止炉膛结渣。

2.3.2 锅炉对流受热面的结构设计及校核计算

本研究设计锅炉的对流受热面包括锅炉对流管束(图3)和锅炉省煤器(图1)。在对流受热面中,高温烟气主要以对流的方式进行放热。对流受热面的设计包括其结构特性计算和传热计算。根据(6)式,通过结构特性计算可得出锅炉对流管束和省煤器的受热面积。

$$H = n\pi dl \quad (6)$$

式中: H 为对流受热面积, m^2 ; n 为管子数; d 为管子平均直径, m ; l 为管子长度, m 。

对流受热面的传热计算需采用校核计算的方法,先假定受热面出口温度,通过查表得出其焓值,由式(7)求出烟气侧放热量,由式(8)求出受热面传热量。

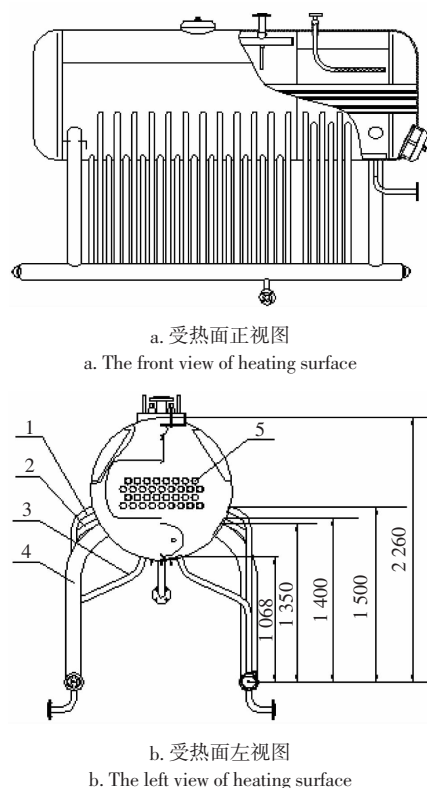
$$Q_{\eta} = \varphi(h' - h'' + \Delta\alpha h_{ik}^0) \quad (7)$$

$$Q_{cr} = \frac{KH\Delta t}{B_j} \quad (8)$$

式中: Q_{η} 为烟气侧放热量, kJ/kg ; φ 为保热系数; h' 为受热面进口烟气焓, kJ/kg ; h'' 为受热面出口烟气焓, kJ/kg ; $\Delta\alpha$ 为受热面漏风系数; h_{ik}^0 为冷空气理论焓, kJ/kg ; Q_{cr} 为受热面传热量, kJ/kg ; K 为传热系数, $\text{kW/(m}^2\cdot\text{K)}$; H 为对流受热面积, m^2 ; Δt 为对流受热面进出口温差, $^{\circ}\text{C}$; B_j 为计算燃料消耗量, kg/h 。

校核烟气侧放热量和受热面传热量的相对误差,若其在 $\pm 2\%$ 之内,则符合要求,否则应重新假定并校核。

该文设计的高效螺纹烟管对流受热面,强化对流传热效果,使锅炉升温、升压加快,提高了锅炉的传热系数和热效率;烟气在管内有扰动作用,烟管内不易积灰,起到自清扫的作用。



注: 1. 水冷壁 I 2. 水冷壁 II 3. 对流受热面 4. 下降管 5. 螺旋烟管对流受热面
Note: 1. Water-cooled wall I 2. Water-cooled wall II 3. Convection heating surface 4. Down Comer 5. Screw smoke tube convection heating surface

图 3 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉受热面结构图

Fig.3 Structure figure of biomass briquette chain-steam boiler heating surface

2.4 锅炉鼓、引风机的参数确定及选型

锅炉鼓风机和引风机能保证在既定的工作条件下, 满足锅炉全负荷运行时对烟、风流量和压头的需要。锅炉风机的选型, 首先应按风机的比转数选定风机形式, 然后根据锅炉烟风系统的设计流量和设计压头来确定所选风机的规格。风机的比转数可由(9)式计算得出, 风机设计计算流量可由(10)式计算得出, 风机的设计计算全压降可由(11)式计算得出:

$$n_s = 0.092n \frac{Q^{0.5}}{\left(\frac{1.2p}{\rho}\right)^{0.75}} \quad (9)$$

$$Q_j = \beta_1 \frac{101\,325V}{b_0 + \beta_2 H'} \quad (10)$$

$$H_j = \beta_2 \Delta H \quad (11)$$

式中: n_s 为风机比转数; n 为风机转数, r/min; Q 为风机的设计流量, m^3/h ; ρ 为工作介质的密度, kg/m^3 ; p 为风机的设计压头, Pa; Q_j 为风机设计计算流量, m^3/h ; V 为锅炉额定负荷下的介质流量, m^3/h ; b_0 为当地海拔的大气压力, Pa; H' 为风机入口截面处的负压, Pa; β_1 , β_2 分别为风机风量和压头的裕量系数; H_j 为风机的设计计算全压降, Pa; β_2' 为修正系数; ΔH 为风机全压, Pa。

通过计算得出锅炉风机有关参数, 根据风机制造厂产品目录选择出本锅炉的鼓风机型号为 G4-72, 风量为 1 688~3 517 m^3/h , 转速为 2900 r/min, 电机型号为 Y90L-2,

风压为 1 300~792 Pa, 功率为 2.2 kW; 引风机型号为 Y5-47, 风量为 3 130~5 750 m^3/h , 转速为 3 300 r/min, 电机型号为 Y112M-2, 风压为 1 873~1 285 Pa, 功率为 4 kW。

2.5 锅炉除尘器的设计

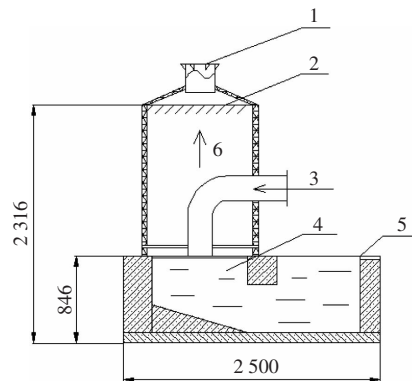
根据生物质成型燃料燃烧特性及该锅炉结构特性设计配套专用水膜除尘器, 如图 4 所示。具有除尘效率高、占地面积小、使用寿命长等优点。其工作原理如下:

1) 锅炉含尘烟气由引风机抽引经除尘器进气口进入, 在烟气流速降低时, 借助烟尘自身重力, 从烟气中自然沉降分离出来, 落入沉降池中;

2) 当烟气流动方向急剧改变时, 借助烟尘惯性力, 通过尘粒与除尘器下部的水层碰撞, 使烟尘从烟气中分离出来, 落入沉降池中;

3) 当烟气进入水中时, 烟尘粒子及未燃尽的碳灰等尘粒被吸附于水中, 经过滤后的烟气向上走;

4) 烟气中含的水分经除尘器上部的挡板消除后, 留下洁净的白烟经烟囱排入大气, 沉降池中的灰渣被定期清理出来。



注: 1. 烟囱 2. 挡板 3. 烟气进口方向 4. 沉降池 5. 清灰口 6. 烟气出口方向
Note: 1. Chimney 2. Dam board 3. Entrance of flue gas 4. Settling basin 5. Cleaning door 6. Exit of flue gas

图 4 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉除尘器结构图

Fig.4 Structure figure of biomass briquette chain-steam boiler deduster

3 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉试验

3.1 材料与仪器

该锅炉试验燃烧的生物质成型燃料取自郑州德润锅炉股份有限公司, 3 种燃料分别为液压成型稻秆、液压成型玉米秸秆、液压成型高粱秆, 密度为 1.10 t/m^3 , 粒度为 50~70 mm 圆柱, 含水率为 6.8%。

试验仪器: MGA5 移动式红外烟气分析仪 (约克仪器设备有限公司)、Omega Scope 便携式高温红外线温度计 (Omega 工业测量—中国)、SC8010 烟气黑度仪 (上海锡诺仪器有限公司)、ZDHW-6A 微机全自动立式量热仪 (鹤壁市天冠仪器仪表有限公司)、远红外烘干箱 (鹤壁市天冠仪器仪表有限公司)、高温节能马弗炉 (鹤壁市天冠仪器仪表有限公司)、电子天平、卷尺等。

3.2 试验结果

根据 GB/T10180-2003 《工业锅炉热工性能试验规

程》、GB13271-2014《锅炉大气污染物排放标准》、GB5468-1991《锅炉烟尘测试方法》,于 2015 年 3 月对该文研制出的生物质成型燃料链条蒸汽锅炉进行热性能及环保指标试验。试验地点为河南农业大学机电工程学院三区试验工厂,试验日锅炉每天正常运行 6 h,持续 7 d。试验结果如表 2 所示。

表 2 生物质成型燃料链条蒸汽锅炉试验结果
Table 2 Test results of biomass briquette boiler

项目 Project		数据来源 Data source	稻秆 Straw	玉米秆 Maize stalks	高粱秆 Sorghum stalks
锅炉的正平衡 Boiler positive heat balance	收到基净发热量 Received heat productivity/(kJ·kg ⁻¹)	实测	13 498	14 684	14 258
	输出蒸汽量 Rated Output of steam/(kg·h ⁻¹)	实测	955	984	976
	蒸汽温度 Temperature of steam/℃	实测	171	173	173
	蒸汽压力 Pressure of steam/MPa	实测	0.7	0.7	0.7
	蒸汽焓 Enthalpy of steam/(kJ·kg ⁻¹)	查表	2 765	2 766	2 766
	给水温度 Temperature of supplied water/℃	实测	20	20	20
	给水压力 Pressure of supplied water/MPa	实测	0.8	0.8	0.8
	给水焓 Enthalpy of supplied water/(kJ·kg ⁻¹)	查表	84.6	84.6	84.6
	燃料消耗量 Consumption of fuel/(kg·h ⁻¹)	实测	231.6	215.9	221.5
	锅炉正平衡效率 Balance efficiency of Boiler/%	计算	81.9	83.2	82.9
	排烟温度 Exhaust smoke temperature/℃	实测	135	131	134
	排烟处过剩空气系数 Exhaust smoke excess air number	实测	1.46	1.45	1.48
	炉渣中碳含量 Content of carbon in slag/%	实测	9.3	7.8	8.2
	固体不完全燃烧损失(包括炉渣、漏料及飞灰中的固体不完全燃烧损失)Heat loss due to unburned carbon in refuse/%	计算	4.5	2.8	2.9
	排烟热损失 Heat loss due to exhaust gas/%	计算	8.6	8.9	8.4
锅炉的反平衡 Boiler negative heat balance	气体不完全燃烧损失 Heat loss due to unburned gases/%	计算	0.33	0.42	0.46
	散热损失 Heat loss due to flue dust/%	计算	3.4	3.8	4.4
	灰渣物理热损失 Heat loss due to sensible heat in slag/%	计算	0.38	0.18	0.27
	锅炉燃烧效率 Combustion efficiency of Boiler/%	计算	95.17	96.78	96.64
	锅炉反平衡效率 Negative balance efficiency of Boiler/%	计算	82.8	83.9	83.6
	锅炉正反平衡效率偏差 Deviation of balance of Boiler/%	计算	0.9	0.7	0.7
	排烟中 CO 含量 Content of CO in exhaust smoke/10 ⁻⁶	实测	360	371	386
	排烟中 CO ₂ 含量 Content of CO ₂ in exhaust smoke/%	实测	12.4	11.9	13.24
	排烟中 NO _x 含量 Content of NO _x in exhaust smoke/10 ⁻⁶	实测	125	116	138
	排烟中 SO ₂ 含量 Content of SO ₂ in exhaust smoke/10 ⁻⁶	实测	44	52	47
锅炉污染物排放 Boiler pollution emission	排烟中烟尘含量 Content of smoke dust in exhaust smoke/(mg·m ⁻³)	实测+计算	26.4	27.1	29.4
	烟气林格曼黑度/级 Fume Ringelmann Blackness	实测	<1	<1	<1

4 结 论

1)试验得出,该锅炉输出蒸汽量达到 984 kg/h、蒸汽温度达到 173 ℃,蒸汽压力达到 0.7 MPa,均满足设计要求,可在高参数、供热量大的热工设备上使用。

2)该锅炉燃烧效率达 96.78%,与之前双层炉排生物质成型燃料锅炉的 98.4%相比略有降低,这是由不同的炉排结构以及燃料消耗量的显著增加引起的,属正常范围;而全面反映锅炉性能的热效率由 81.4%提升至 83.2%,说明这种链条炉排、多拱炉膛结构与各受热面较好匹配,排烟热损失由 10.6%降至 8.6%,散热损失由 5.3%降至 3.4%,在显著增大供热量的同时仍提高锅炉热效率,说明锅炉设计合理。

3)该锅炉排烟中 CO、NO_x、SO₂、烟尘含量分别为 360×

10⁻⁶、116×10⁻⁶、44×10⁻⁶、26.4 mg/m³,其中烟尘含量较双层炉排锅炉的 108.6 mg/m³降至 26.4 mg/m³,说明该锅炉烟风系统及除尘器的设计布置有效、得当,消烟除尘效果较好,具有较高的环保效益。

[参 考 文 献]

[1] 陈曦,韩志群,孔繁华,等.生物质能源的开发与利用[J].化学进展,2007,19(7):1091-1097.
Chen Xi, Han Zhiqun, Kong Fanhua, et al. Exploitation and utilization of bio-energy[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(7): 1091-1097.(in Chinese with English abstract)

[2] 中华人民共和国国家发展计划委员会基础产业发展司.中国能源与可再生能源 1999 白皮书[R].北京:中国计划出版社,2000.

- [3] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- Yuan Zhenhong, Wu Chuangzhi, Ma Longlong, et al. Principle and technology for exploitation of bio-energy[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.(in Chinese with English abstract)
- [4] 陈敬全. 欧盟生物能源发展现状和相关政策研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2012, 27(3): 21–35.
- Wang Jiuchen, Dai Lin, Tian Yishui, et al. Analysis of the development status and trends of biomass energy industry in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2007, 23(9): 276–282. (in Chinese with English abstract)
- [6] 孙振钧. 中国生物质产业及发展取向 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 1–5.
- Sun Zhenjun. Biomass industry and its developmental trends in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2004, 20(5): 1–5. (in Chinese with English abstract)
- [7] 姚宗路, 田宜水, 孟海波, 等. 生物质固体成型燃料加工生产线及配套设备[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 280–285.
- Yao Zonglu, Tian Yishui, Meng Haibo, et al. Production line and corollary equipment of biomass solid fuel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 280–285. (in Chinese with English abstract)
- [8] 郭飞强, 董玉平, 董磊, 等. 生物质成型燃料三次配风锅炉的设计及低 NO_x 排放效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 42–46.
- Guo Feiqiang, Dong Yuping, Dong Lei, et al. Design and low NO_x emission effect of biomass briquette boiler with third air distribution type[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14): 42–46. (in Chinese with English abstract)
- [9] 谭文英, 许勇, 王述洋, 等. 生物质燃料多功能炉设计与性能测试[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 10–17.
- Tan Wenying, Xu Yong, Wang Shuyang, et al. Design and performance test of multi-function stove for biomass fuel [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(15): 10–17. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张学敏, 张永亮, 姚宗路, 等. 不同进料方式燃烧器对生物质燃料颗粒物排放特性的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 200–207.
- Zhang Xuemin, Zhang Yongliang, Yao Zonglu, et al. Effect of burners with different feeding modes on emission characteristics of biomass molding fuel particles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(12): 200–207. (in Chinese with English abstract)
- [11] Limousy L, Jeguirima M, Dutournié P, et al. Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee ground pellets[J]. Fuel, 2013, 107: 323–329.
- [12] Cook J, Beyea J. Bio-energy in the United states: progress and possibilities[J]. Biomass and Bio-energy, 2000, 18(6): 441–442.
- [13] 刘圣勇, 陈开碇, 张百良. 国内外生物质成型燃料设备研究与开发现状[J]. 可再生能源, 2002, (4): 14–15.
- [14] 关于印发能源行业加强大气污染防治工作方案的通知[R]. 发改能源[2014]506 号.
- [15] 刘圣勇, 袁超, 张佰珍, 等. 秸秆成型燃料锅炉的研制[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(3): 329–334.
- Liu Shengyong, Yuan Chao, Zhang Baizhen, et al. Development of straw briquette boiler[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2004, 38(3): 329–334. (in Chinese with English abstract)
- [16] 石斌, 沈美华, 徐方洪, 等. 浅析生物质成型燃料锅炉的研究及应用[J]. 中国科技博览, 2011, (33): 338–339.
- [17] 马孝琴, 李刚. 小型燃煤锅炉改造成秸秆成型燃料锅炉的前景分析[J]. 农村能源, 2001, (5): 20–22.
- Ma Xiaoqin, Li Gang. Prospect analyse of reforming small-scale coal boiler to straw forming fuel boiler[J]. Rural Energy, 2001, (5): 20–22. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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): 1–4.
- Liu Weijun, Wang Zuomin, Yu Xiaodong, et al. Theoretical analysis and experimental research on firing characteristics of bio-coal[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 1998, 3(4): 1–4. (in Chinese with English abstract)
- [19] 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.
- Liu Weijun, Wang Zuomin, Yu Xiaodong, et al. Burning theoretical analysis and study on combustion velocity of bio-coal [J]. Coal Conversion, 1998, 21(4): 52–57. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘圣勇, 赵迎芳, 张百良. 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.
- Liu Shengyong, Zhao Yingfang, Zhang Bailiang. Analysis on combustion theory of biomass fuel[J]. Energy Research and Utilization, 2002, (6): 26–28. (in Chinese with English abstract)
- [21] 林宗虎, 徐通模. 实用锅炉手册(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [22] 宋贵良. 锅炉计算手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995.

Development of chain-steam boiler for biomass briquette

Zhai Wanli, Liu Shengyong^{*}, Guan Zeyun, Wang Pengxiao, Liu Hongfu, Xia Xuning, Tang Yating

(1. Key Laboratory of New Materials and Facilities for Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Collaborative Innovation Center of Biomass Energy, Henan Province, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A special chain-steam boiler applied to biomass briquette was devised through optimum design and performance test to overcome the shortcoming of traditional biomass boiler which had low degree of mechanization and high pollution. The design foundation included the component analysis of biomass briquette, the combustion characteristic of biomass briquette and the main technical parameters of the special chain-steam boiler. The boiler had single longitudinal layout drum and water-fire tube shell, and its combustion equipment was chain grate. Water-cooled wall was installed on both the left and right sides of the furnace, and convection banks fixed on the flanks, while screw smoke tube convection heating surface applied in the drum. During the boiler working, biomass briquettes with certain particle size were fed into chain grate by feed hopper, and then burning in the furnace. The high-temperature flue gas was generated by combustion flowed along the bottom of the drum, then entered the convection banks on the flanks through the export of boiler smokestack, and then entered the convection heating surface of screw smoke tube through the frontal smoke chamber. Passing through economizer and deduster, the exhausted gas was discharged into atmosphere through chimney pumped by induced-draft fan finally. Innovation of the boiler was the new structure of the furnace which has front, middle and rear arch on the upper part of the chain grate to form more efficient air dynamic field. The stability of combustion was improved on account of the arrangement of the arch crown and combustion chambers, and the combustion efficiency was improved also for the high fitting degree of chain grate and furnace in this design. In addition, the screw smoke tube in the drum, which may strengthen the effect of convection heat transfer, could also raise the thermal efficiency of this boiler. For the purpose of achieving to the national standard, new type water film dust collector was chosen to decrease the discharge quantity of atmospheric pollution in the exhaust smoke. Experiments were carried out in the pilot plant of Henan Agricultural University on March 2015. Three different types of biomass briquette were combusted to test the thermal performance and environmental index of the chain-steam boiler. These experiments continued 7 days, and the boiler operated normally 6 h each day. The test results showed that the combustion efficiency of this boiler reached 96.7%, and the thermal efficiency was 83.2%. The output of steam was 984 kg/h, while the temperature of steam reached 173 °C, and the pressure of steam 0.7 MPa. Furthermore, the content of CO in the exhaust smoke was 360×10^{-6} , and 116×10^{-6} for that of NO_x. For SO₂, the content was 44×10^{-6} , while 26.4 mg/m³ for smoke dust. The test data indicated that combustion and thermal efficiency of the new boiler were higher than traditional boilers. Moreover, powerful smoke removing function could be achieved by this new boiler, and contents of smoke dust, nitrogen oxide and sulfur dioxide in the exhaust smoke are low enough to meet the national standard.

Keywords: vapors; biomass; boiler; biomass briquette; chain-steam boiler; thermal performance; smoke removing