

生物质成型颗粒燃料气化锅炉的设计研究

李燕东, 王述洋, 刘会粉, 汪莉萍, 景果仙

(东北林业大学机电工程学院. 黑龙江哈尔滨150040)

摘要：根据生物质成型颗粒燃料特性及燃烧规律，通过详细的热工计算设计了生物质成型颗粒燃料气化锅炉。锅炉采用往复炉排，增强了炉膛燃烧强度，高的炉膛高度使得锅炉气化燃烧的程度增加。从而提高了锅炉的燃烧效率和热效率。

引言

生物质能源作为人类利用最早、最直接的一种传统能源。被利用了几十万年。但是由于生物质本身存在的问题而未能被大规模利用。例如：生物质热值低、一般利用前都需预处理、不便于运输存储、缺乏专用的燃烧设备等。经济社会的发展以能源的消耗为重要动力，经济越发展。能源消耗就越多。尤其是化石燃料消费的增加。这样就有两个突出问题摆在我们前面：一是环境污染日益严重；二是化石燃料的紧缺。农村的能源问题更加突出。一方面农村过剩的农作物剩余物或堆放在田间地头。占用宝贵的农田，或就地焚烧，不仅浪费大量的秸秆资源而且严重污染环境；另一方面国内0.5-4.0 t的燃煤快装锅炉已大量应用于乡镇企业的生产用热和乡镇居民的冬季采暖，严重制约了农村经济与能源的可持续发展。因此，研发性能完备的生物质燃烧设备，妥善处理农村秸秆剩余问题，已成为解决环境污染，提高农民生活质量的一项重要课题。

1设计依据

本文所设计的生物质成型颗粒燃料气化锅炉是以燃烧玉米秸秆成型颗粒燃料的专用燃烧设备。

1.1生物质成型颗粒燃料的特性

表1是玉米秸秆成型燃料的工业分析和元素分析以及发热量数值。

表 1 生物质成型颗粒燃料成份分析

Tab.1 Analysis of components of biomass pellets

燃料 类型	水分 /%	挥发 分/%	固定 碳/%	灰分 /%	C _e /%	H _e /%	O _e /%	N _e /%	S _e /%	Q _{dw} /kJ/kg
玉米 秸	4.87	71.45	17.75	5.93	42.57	3.82	37.86	0.73	0.12	15539

由表1看出，生物质成型燃料的挥发分高于煤炭。灰分、氮和硫含量远小于煤，其热值小于煤。研究表明。生物质成型颗粒燃料的燃烧性能优于柴薪。可以实现高效、洁净、低排放燃烧。生物质成型燃料燃烧具有自身的特性。

1.2生物质成型颗粒燃料的燃烧特性

由于生物质成型颗粒燃料是经过高压而形成的颗粒(直径 $\phi=6\sim 10\text{mm}$ ，长度 $L<80\text{mm}$)状物料，其密度远远大于原生物质，颗粒燃料的结构与组织特征决定了挥发分的析出速度与传热速度都大大降低。生物质成型颗粒燃料的燃烧过程可分为干燥脱水、挥发分析出、挥发分燃烧、焦炭燃烧和燃烬5个阶段：①生物质颗粒燃料中的水分蒸发；②随着颗粒燃料温度的不断升高，挥发分开始析出，燃烧处于动力区，这一过程即可认为是气化过程；③挥发物与氧气结合、燃烧，形成火焰，燃烧进入过渡区与扩散区，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；④挥发分燃烧完后，此时燃料中的木质素已经炭化，空气中的氧气充分接触到焦炭，焦炭开始燃烧。焦炭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；⑤燃烬壳不断加厚，可燃物基本燃尽，在没有强烈干扰的情况下。形成整体的灰壳，灰壳表面看不到火焰。燃烧过程结束。

1.3 生物质颗粒燃料气化锅炉的主要设计参数

结合生物质成型颗粒燃料的特性, 本文设计的气化锅炉为往复炉排炉, 锅炉额定蒸发量 $D=0.5\text{t/h}$, 额定工作压力 $P_e=0.7\text{Mpa}$, 供气压力 $P_0=0.4\text{Mpa}$, 出口蒸汽温度 $t_{sh}=165^\circ\text{C}$, 锅炉排污率 $p_{pw}=5\%$, 蒸汽湿度 $W=3\%$ [10], 给水温度 $t_g=20^\circ\text{C}$, 冷空气温度 $t_k=20^\circ\text{C}$, 国内对生物质成型燃料锅炉的设计理论还很不成熟, 绝大多数参数都是参照燃煤锅炉而设计的, 本课题所设计的锅炉结合以往设计经验及燃煤锅炉相关参数而设计, 锅炉特性参数为固体不完全燃烧损失 $q_4=7\%$ 、气体不完全损失 $q_3=0.8\%$ 、排烟温度 $\theta_{py}=175^\circ\text{C}$ 、排烟损失 $q_2=9.31\%$ 、散热损失 $q_5=5\%$ 、灰渣物理热损失 $q_6=0.17\%$ 、锅炉热效率 $\eta=77.72\%$, 炉排面积热强度 $q_R=582\text{kW/m}^2$, 炉膛体积热强度 $q_v=350\text{kW/m}^3$, 计算燃料消耗量 $B_j=0.0284\text{kg/s}$, 炉膛平均过量空气系数 $\bar{\alpha}_L=1.35$, 锅炉管束平均过量空气系数 $\bar{\alpha}_g=1.425$, 锅炉烟管平均过量空气系数 $\bar{\alpha}_{yg}=1.55$ 。

2 生物质成型颗粒燃料气化锅炉设计

2.1 锅炉总体结构设计

锅炉的燃烧技术利用层燃技术, 采用单锅筒纵向布置, 锅筒下部为炉膛, 炉膛内布置水冷壁; 炉膛两侧为对流烟道, 对流烟道里布置对流受热管束; 锅筒内设置烟管, 此外有下集箱、风室、进料斗、灰渣室、炉墙、阀体等组成, 锅炉的结构如图1所示。

以图1为例介绍该生物质成型颗粒燃料气化锅炉的工作原理。首先一定量的生物质成型颗粒燃料经过炉门1送入到水平往复炉排2上。一次风从送风口13穿过炉排和燃料层进入炉膛。提供燃烧所需要的一次空气, 燃料在活动炉排的带动下缓缓向前移动。成型颗粒燃料在热源和空气的共同作用下脱水、气化、燃烧, 产生的含可燃物气体的高温烟气在后拱3的阻挡下反向流动进入上部炉膛空间。与二次风道4喷出的空气充分混合而迅速燃烧。燃烧完全的高温烟气被分成两股分别进入左右烟道5, 然后烟气流经炉膛两侧的对流烟道6中, 冲刷对流受热管束并与其中的工质进行热交换。错综排列的对流管束使烟气中灰分的含量大大减少。由对流烟道6出来的洁净烟气经过外烟道7进入埋设在锅筒里的烟

管8中，洁净烟气流过烟管8由烟口9排出。在引风机的抽力作用下送入烟囱，排到大气中。燃料燃尽后形成的灰渣由往复炉排的输送从出渣口14排到锅炉底部的灰渣室。此外，在锅筒上安装安全阀10、入孔11、主蒸汽出口12。

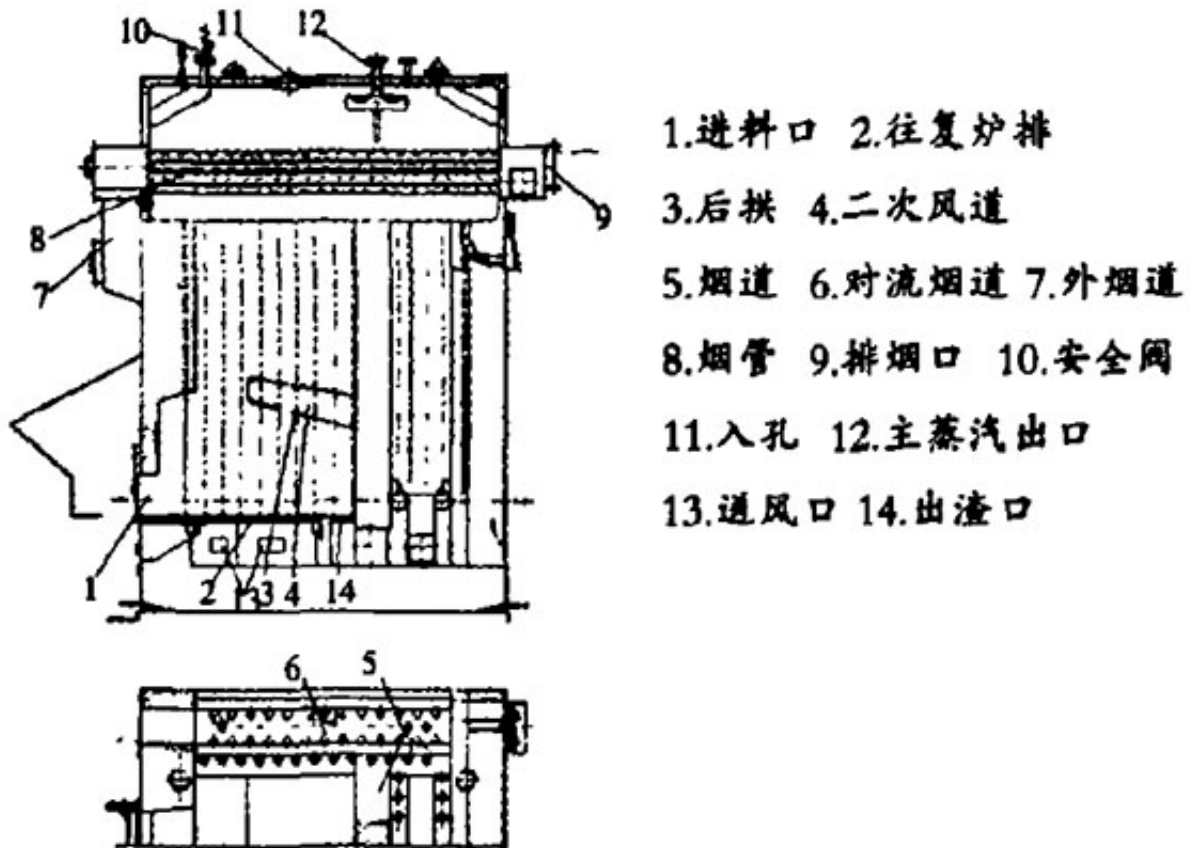


图1 生物质成型颗粒燃料气化锅炉结构图

Fig.1 Sketch of biomass pellets gasification boiler's structure

2.2 生物质成型颗粒燃料气化锅炉炉膛设计

炉膛体积和炉排面积是锅炉炉膛的两个主要参数，由式(1)、(2)可计算出锅炉炉膛及炉排尺寸：

$$R = \frac{BQ_{DW}}{q_R} \quad (1)$$

$$V = \frac{BQ_{DW}}{q_V} \quad (2)$$

式中： q_R —炉排面积热强度 (kW/m^2)； q_V —炉膛容积热强度 (kW/m^3)； Q_{DW} —生物质成型颗粒燃料低位发热量 (kJ/kg)；把选择参数代入式(1)、(2)就可计算出锅炉炉排与炉膛的尺寸。得 $R=0.822 \text{ m}^2$ 、 $V=1.367 \text{ m}^3$ 。

2.3 生物质成型颗粒燃料气化锅辐射受热面的设计

辐射受热面采用 $\phi=51\text{mm}$ 的单排无缝钢管，间距 $s=120\text{mm}$ ，具体布置如图 1，辐射受热面积 $H_r=2.52\text{m}^2$ 。依据我国《层状燃烧及沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法》（校核计算）对锅炉的辐射受热面进行了热力计算^[2]，计算得出炉膛出口烟温 $\theta_1''=746.9^\circ\text{C}$ ，辐射受热面传热量 $Q_r=7700 \text{ kJ}/\text{kg}$ ，对辐射受热面进行热力校核，校核结果符合设计要求。

2.4 生物质成型颗粒燃料气化锅炉对流受热面的设计

(1) 对流管束的设计计算。对流管束布置在炉膛后部与炉膛两侧的烟道内，如图 1 所示。对流管束均采用 $\phi=51\text{mm}$ 的无缝钢管，间距 $s_1=120\text{mm}$ 、 $s_2=80\text{mm}$ 。对流管束受热面积 $H_d=21.95\text{m}^2$ ，设计的对流烟道出口烟温 $\theta_{d\pi}''=300^\circ\text{C}$ ，计算所得的对流管束传热量 $Q_d=4211.33 \text{ kJ}/\text{kg}$ ，并依据相关校核方法校核对流管束传热量，结果符合设计要求。

(2) 对流烟管的设计计算。烟管是本论文设计的锅炉的最后一道受热面，烟管埋设在锅筒里，如图 2 所示。与其它受热面不同的是工质在管外流动，烟气在管内流动而进行对流换热，一共有 71 根 $\phi=38\text{mm}$ 、内径 $d_i=33\text{mm}$ 的无缝钢管组成，烟管对流受热面 $H_y=16.642\text{m}^2$ ，由烟管出口烟温 $=175^\circ\text{C}$ ，计算所得烟管对流换热热量 $Q_y=1086.86 \text{ kJ}/\text{kg}$ ，并依据相关校核方法校核对流烟管传热量，结果表明设计计算是正确的。

2.5 生物质成型颗粒燃料气化锅炉热力计算汇总

生物质成型颗粒燃料气化锅炉热力计算汇总结果见表 2。

表 2 锅炉热力计算汇总

Tab.2 Summary of boiler's thermal calculation

序号	名称	符号	单位	炉膛	对流管束	烟管
1	烟气出口温度	θ''	$^\circ\text{C}$	756.9	300	175
2	工质进口温度	t'	$^\circ\text{C}$	164.98	164.98	164.98
3	工质出口温度	t''	$^\circ\text{C}$	164.98	164.98	164.98
4	烟气平均流速	w_y	m/s	—	2.78	5.79
5	平均温压	Δt	$^\circ\text{C}$	—	305.91	48.06
6	传热系数	K	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	—	0.018	0.039
7	受热面积	H	m^2	2.52	21.95	16.642
8	总传热量	Q	kJ/kg	7700	4211.33	1086.86

2.6 气化锅炉风机选型设计

通风是锅炉的“呼吸”器官。也是调整锅炉出力的手段。只有合理地设计通风系统和选用通风设备，才能保证锅炉的燃烧和传热过程正常进行。目前常用的机械通风方式有三种，即负压通风、平衡通风和正压通风。本文设计的锅炉选用平衡通风，即在锅炉设备中同时装有送风机和引风机。

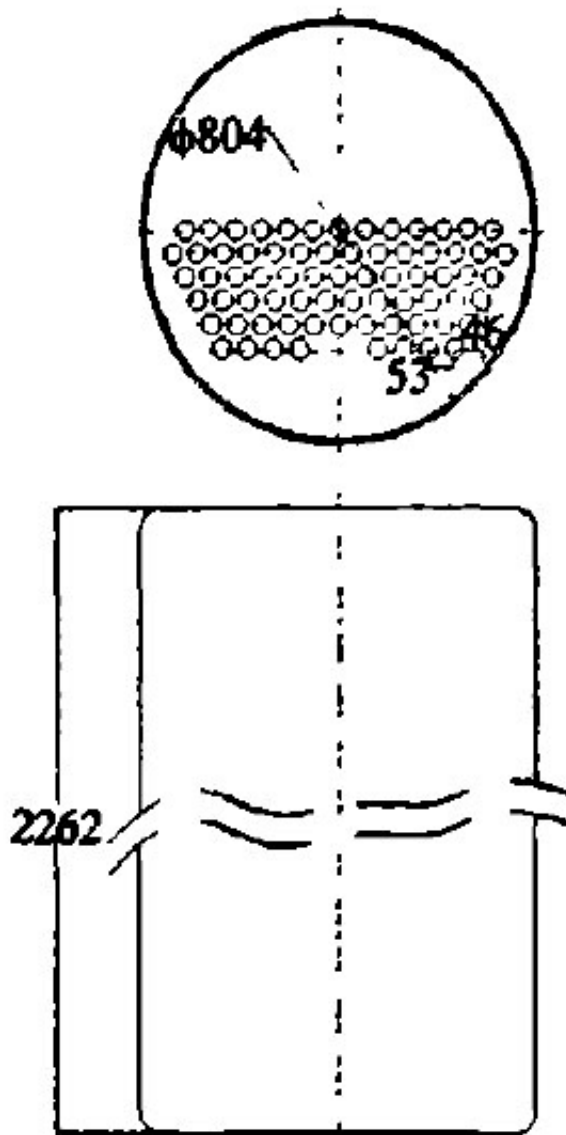


图 2 烟管布置图

**Fig.2 Sketch of
smoke pipe layout**

依据燃烧需要的空气量及适当的过量空气系数和风道全压降。选择送风机时往往为了安全起见应考虑一定的储备，用储备系数加以修正。引风机是用于克服烟道阻力的，依据燃烧产生的烟气量和烟道全压降以及一定的储备系数选择引风机。送、引风机风量和风压可由计算确定。依据计算结果和锅炉辅机厂家提供的产品目录选择风机型号。选择由某公司生产的送风机和引风机，送风机型号为：4—72—3.6A；引风机型号为：Y5—47—3C。

3结论

采用高炉膛结构，加强了颗粒燃料的气化效果，使燃烧更加充分，从而提高锅炉热效率；采用平衡配风法使炉膛过量空气系数减小而减少排烟损失；往复炉排的应用使得炉膛燃烧强度增加。改善了燃料的着火状况。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/93532.html>