

生物质颗粒燃烧机的设计与实践

李世军

(开封大学，河南开封，475000)

摘要：针对生物质颗粒燃烧机在除渣、燃料燃尽率、燃烧效率、熄火及火力控制等方面的问题，设计出高效生物质颗粒燃烧机及其控制装置，采用螺旋蛟龙进料、推杆除渣、多级配风和自动控制原理，实现自动配风、自动进料、自动除渣，燃烧效率达到95%以上，燃尽率达到96%以上，适用于广大农村烟叶、茶籽、大枣、辣椒、花椒等农产品的烘干。

0引言

随着环保形势的日益严峻，生物质燃料应用及其设备的研究成为解决环境污染和能源问题的重要途径。我国生物质原料资源量大、分布广、种类多，是重要的可再生资源。在广大农村，各种秸秆已经成为农民朋友的心头之患，就地焚烧污染环境已严格禁止。将农林的废弃物加工成颗粒燃料，不仅解决了废物污染问题，还为颗粒燃烧机提供了燃料，形成了循环经济。生物

质颗粒燃料是成型的固体燃料，具有高效、洁净、

容易点火、CO₂近零排放等优点，是代替煤的最佳选择之一，已经在锅炉、热风炉等领域得到较好的应用。

经过多年的研究、试验、实践，在生物质的工业和化学分析、生物质颗粒燃烧机对生物质燃料的适应性、生物质燃料的燃烧特性、生物质颗粒燃烧机的进料方式以及生物质颗粒燃烧机和生物质颗粒燃烧机控制器专利技术等方面已经取得了丰硕成果，为生物质颗粒燃料机的应用及设计更好的生物质颗粒燃烧机奠定了基础，使生物质颗粒燃烧机的研究设计进入了相对成熟阶段。生物质颗粒燃烧机已经在烟叶烘烤、茶叶烘干以及锅炉改造等方面得到较好的应用。随着技术的提高进步，对生物质颗粒燃烧机的要求也越来越高，如何使燃烧机在燃烧过程中不结渣或少结渣、怎样除渣，如何最大限度地提高燃料的燃烧效率和燃尽率，如何提高自动控制的性能及可靠性等是生物质颗粒燃烧机研发设计的主要要解决的问题。本设计研发的是一般烘干农产品使用的额定热功率15万大卡生物质颗粒燃烧机，对颗粒燃料适应性强，采用三级自动配风、自动送料，对不同火势要求实施科学配风、送料，自动除渣，装置结构简单，操作方便。

1总体设计

烘干用15万大卡生物质颗粒燃烧机采取整体可移动的结构形式，高度通过支脚的丝杆调节，以适应不同的应用场合。火嘴总成采用椭圆筒型结构，使用时插入用火处，对于原有的烘干烤房火嘴插入原燃煤热风炉的加煤口，使用封火盖密封，火嘴喷出的火苗直接进入热风炉。分风室是基础部件，前面通过法兰与火嘴总成连接并用耐火垫密封，点火器套管、推渣杆套管、观火管等穿过分风室；下料管倾斜穿过分风室，其上部法兰与送料装置连接；在其后面安装助燃风机、除渣装置、点火器等；其下部通过螺栓与支架连接。料仓由支架支撑，通过其下部的出料口法兰与送料装置连接。除渣装置安装在支架上，带动推渣杆往复运动实现除渣。控制器安装在侧壁上，与点火器、送料电机、助燃风机、电动风门及温度传感器等电连接。总体结构如图1所示。

开始使用时，按控制器操作面板上的运行键，送料电机得电先预进料，然后点火器得电开始自动点火，助燃风机延时提供小风，点火成功后点火器自动失电。燃烧机按照烘干需要的温湿度由控制器控制自动送料、自动配风、自动定时除渣。停止使用时，长按停止键3s，停止送料，助燃风机延时停止，以避免回火冒烟。

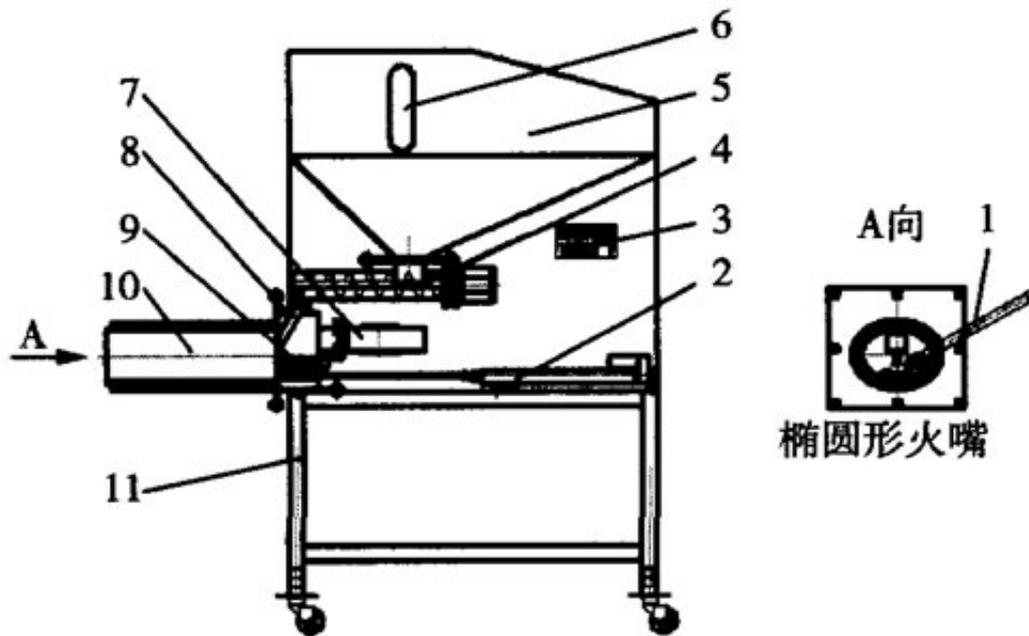


图 1 生物质颗粒燃烧机总体结构示意图

Fig. 1 A schematic diagram of the overall structure of a biomass pellet burner

1. 观火管 2. 除渣装置 3. 控制器 4. 送料装置 5. 料仓
6. 料位观察窗 7. 助燃风机 8. 分风室 9. 点火器 10. 火嘴 11. 支架

运行中，生物质颗粒从下料管落料进入火嘴燃烧室，其灰分首先起燃，燃料被预热有利于起火燃烧。助燃风进入分风室后被分成二部分，一部分通过下料管、点火器套管、推渣杆套管上的小孔进入火嘴燃烧室，形成一次助燃风；另一部分通过分风室前下部风口进入火嘴夹层，燃烧室下部椭圆面上开设多个 5 圆孔，风通过这些孔进入燃烧室，形成主燃的二次助燃风；燃烧室的前端上部椭圆面上，开设有多 5 助燃风孔，由分风室风口来的风部分由这些孔进入燃烧室前端形成三次助燃风。一次助燃风首先起到防回火作用，再者与二次助燃风作用使燃烧室内形成涡流，延长燃料在燃烧室内的时间，提高燃烧效率和燃尽率。三次助燃风风路最长，经过预热后激发燃烧室前端的可燃气体形成二次燃烧，温度可达 900 ~ 1100 ，在此高温下，焦油被裂解燃烧。

可以根据不同的颗粒燃料，在控制器上设定定时除渣时间间隔，对于使用易结渣的颗粒燃料(如秸秆类颗粒)除渣时间间隔就设置小些，若使用木质颗粒除渣时间间隔就设置大些。生物质颗粒原料中 Si、碱金属和碱土金属含量越高，结渣趋势越严重，颗粒燃烧机要适应各种颗粒燃料，就必须把结渣推出燃烧室。本设计的颗粒燃烧机除渣装置把结渣由推渣杆推至燃烧室前端 30 ~ 50mm 处，形成阻料堰阻止未燃尽的颗粒被吹出燃烧室，在这个区域利用二次燃烧将焦油裂解燃烧，留下的残渣被逐渐推出燃烧室。推渣杆是三根平行的圆杆，所以只推渣不推料，前进过程推渣，返回后退入其套管内，从而大大减小了推渣杆的受热变形延长了使用寿命。

2 送料和配风设计

以额定热功率 15 万大卡为基本的设计依据，生物质颗粒燃料低位发热量的平均值按 15485 kJ/kg 计算，15 万大卡生物质颗粒燃烧机单位时间内的进料能力应满足

$$M \geq \frac{4.186N}{Q_{DW}\eta_1\eta_2} \quad (1)$$

式中： M ——送料装置的送料能力，kg/h；

N ——额定热功率，kcal；

Q_{DW} ——颗粒燃料的低位发热量，kJ/kg， $Q_{DW} = 15\,485\text{kJ/kg}$ ；

h_1 ——燃烧效率，按 90% 计算；

h_2 ——燃尽率，按 95% 计算。

$$\begin{aligned} M &\geq \frac{4.186N}{4Q_{DW}\eta_1\eta_2} = \frac{4.186 \times 150\,000}{15\,485 \times 0.9 \times 0.95} \\ &= 47.4\text{kg/h} \end{aligned}$$

取 $M=48\text{kg/h}$

2.1 配风设计

2.1.1 实际需要空气量计算

1kg 颗粒燃料燃烧需要的理论氧气量按式计算

$$V_{o_2}^0 = 1.866 \frac{C_{ar}}{100} + 0.7 \frac{S_{ar}}{100} + 5.56 \frac{H_{ar}}{100} - 0.7 \frac{O_{ar}}{100} \quad (2)$$

空气中氧气的含量占 21%，所以 1kg 燃料燃烧所需的理论空气量

$$V^0 = \frac{V_{o_2}^0}{0.21} \quad (3)$$

式中： $V_{o_2}^0$ —— 1kg 燃料燃烧所需的理论氧气体积；

V^0 —— 1kg 燃料燃烧所需的理论空气量；

C_{ar} —— 燃料中碳元素收到基的含量；

S_{ar} —— 燃料中硫元素收到基的含量；

H_{ar} —— 燃料中氢元素收到基的含量；

O_{ar} —— 燃料中氧元素收到基的含量。

按典型

生物质颗粒燃料元

素分析中各组成部分含量的平均值计

算，1kg燃料燃烧所需的理论氧气体积为0.93m³/kg，1kg燃料燃烧所需的理论空气量为4.43m³/kg。

烘干用生物质

颗粒燃烧机为常压使用，进料量

48kg/h，热功率15万大卡，所需理论空气量为212.64m³

/h；考虑到使用各种原料的生物质颗粒燃料，且实际风量可以由控制器进行调节，过量空气系数取1.5，计算得出实际需要空气量为318.96m³/h。

2.1.2 一次助燃风、二次助燃风、三次助燃风的配风比

一次助燃风的作用是防回火和与二次助燃风形成涡流，占比过小会影响防回火效果，多大则容易将燃料吹出火嘴，结合旋风炉设计规范和实践总结，一次助燃风量占总风量的10%~15%较为合适；二次风是主要助燃风，占总风量的80%；三次助燃风是二次燃烧助燃风，占总风量的5%~10%。

2.2 送料设计

本设计的生物质颗粒燃烧机送料能力的必须大于公式(1)计算量48kg/h。送料装置主要由螺旋绞龙、绞龙筒和送料电机构成。绞龙筒采用 89mm、壁厚5mm的无缝钢管，其内壁的有效直径为 79mm；选用螺旋绞龙的有效外径 73mm，导程65mm，绞龙轴 26mm，螺旋绞龙与绞龙筒的单边间隙是3mm，绞龙轴采用两端支撑，这样可有效避免由于绞龙轴的悬臂变形带来的啃料现象；送料电机选用功率为60W、转速10r/min的减速电机，通过键连接带动绞龙旋转。

螺旋绞龙外径与绞龙筒间必须有足够的间隙, 当该间隙大于等于颗粒燃料直径时, 会造成颗粒间相互挤压使颗粒碎掉, 间隙过小不足以弥补各项误差, 对于 6~8mm 的颗粒燃料, 取单边间隙 3mm 是合适的。螺旋绞龙的导程直接影响送料能力, 导程越大需要的送料电机功率越大、送料能力越强, 但细化控制相对困难, 本设计采用 65mm 导程, 使用电机功率小且能以秒为单位控制送料与停料循环。

水平螺旋绞龙送料能力按公式(4)计算

$$Q = \left[\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 \right] \pi r n S \varphi \frac{60}{1\ 000} \quad (4)$$

式中: Q ——送料能力, kg/h;

D_1 ——螺旋绞龙有效外径, cm;

D_0 ——绞龙轴直径, cm;

r ——颗粒密度, g/cm³, 颗粒密度 1.0~1.3 g/cm³, 本设计取 $r=1.1$ g/cm³;

n ——绞龙转速, r/min;

S ——绞龙导程, cm;

φ ——物料充填系数, 本设计取 $\varphi=0.45$ 。

代入已知数据, 计算得 $Q=84.377$ kg/h, 大于需要的送料能力 48kg/h, 实际送料能力是需求能力的 1.75 倍。

3 关键部件设计

3.1 分风室与火嘴燃烧室

根据配风设计和整体要求设计分风室。结构如图 2 所示。根据配风比要求, 在下料管下端开设 6 个 5 孔, 点火器套管前端

开设 4 个 5 孔

, 3 个推渣杆套管前端各开

设 4 个 5 孔, 共 20 个 5 孔为一次助燃风孔, 通风面积为 432mm²

, 占总通风面积的 12%;

在分风室与火嘴连接面下部开设与火嘴内腔形状对

应宽度为 11mm²

的半椭圆通风口, 其通风面积为 3280mm, 为二次助燃风和三次助燃风通风口, 占总通风面积的 88%。

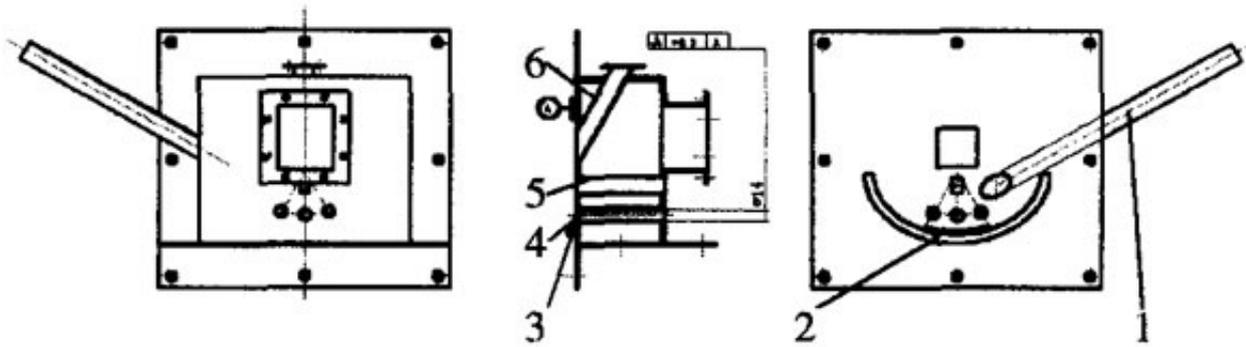


图 2 分风室结构

Fig. 2 Air distribution room structure

1. 观火管 2. 二、三次风进风口 3. 燃烧室径向定位圈
4. 推渣杆套管 5. 点火器套管 6. 下料管

推渣套管的长度为110mm，推渣杆的最大行程为350mm，规定其对前端的垂直度公差为0.3，那么在350mm长度上的最大倾斜量为0.95mm；同理，对于三个推杆间的平行度误差定义在350mm长度上不大于0.95mm，装配后的极限误差可达到1.9mm。所以使用内径为 14的钢管作为推杆套管，使用 10mm的圆钢作为推杆，其单边间隙是2mm，不会造成卡死现象。

火嘴燃烧室(结构如图1)要能够在1000 以上长期使用，所以材料选用RTCr16耐热铸铁，厚度6mm。椭圆筒形的燃烧室有利于一次风和二次风作用形成涡旋流，延长颗粒燃料在燃烧室内的时间，能提高燃料的燃尽率；这种燃烧室的燃烧面积相对圆形大，且有利于除渣。

在火嘴燃烧室下平面均布开设152个 5孔为二次助燃风孔，通风面积为2985mm²，占
总通风面

积的80%；在火嘴

燃烧室的前面上部椭圆面开设16个 5孔组成三次助燃风孔，通风面积为312mm²

，占总通风面积的8%。由于一般的生物质颗粒燃料直径是 6~8mm，故所有助燃风孔的直径均为 5，这样的孔径可保证颗粒不漏料，且使用消失模铸造时可以直接将燃烧室铸造成型，不需再次加工。

3.2除渣装置

除渣装置主要由推渣杆组件和电动推杆组成(图1)。推渣杆在其导套中由电动推杆带动作往复运动，电动推杆与机架铰链连接，与推渣杆组件铰链连接；为保证电动推杆的稳定性，在电动推杆外壳前端设置辅助支撑，安装时调节该支撑的高度，使电动推杆与推渣杆平行。三根推渣杆的材料为0Cr25Ni20(310S)耐高温不锈钢，在350mm长上的平行度公差定为0.95mm。

3.3控制器设计简述

生物质颗粒燃烧机的控制器要根据温度传感器的温度信号，综合控制点火器、助燃风机、送料装置和除渣装置，实现自动点火、自动配风、自动送料、自动排湿和自动除渣。控制器的输入为烘干室干湿温度传感器和火嘴温度传感器的温度信号，执行部件包括：点火器、助燃风机、送料电机、除渣装置和排湿用补风门。

本设计的生物质颗粒燃烧机控制器是基于单片机的控制装置。烘干室干球温度和湿球温度相应的滞后和非线性比较严重，难建数学模型，从而采用模糊控制较合适。模糊控制是一种自动控制，以模糊数学、模糊语言和模糊逻辑为理论基础。模糊控制系统是一种具有闭环结构的数字控制系统。

本设计适用于使用循环风机实现热风循环的烘干烤房，其循环风机是由人工控制的。当补风门有开时，烤房外部的空气进入烤房，打破了原有的热风循环，烤房内的潮湿空气从排湿门排出，达到排湿目的。

农作物的烘干有升温过程也有稳温过程，烘干工艺一般是多个升温、稳温的组合。升温时火力要大，稳温时火力要小；大火需要大风，小火需要小风；大火阶段送料要多，小火阶段送料要少。为了适应火势的要求，把助燃风机风量和送料划分10个档位，1档最低，10档最高。同时可以设置保证小火不熄火的最小送料量和大火不积料的最大送料量。

可以自动控制也可以手动控制，燃烧参数及系统参数在停止状态和运行状态都能修改。

4结束语

按照本文提供的设计方法已经成功设计了15万大卡、10万大卡的生物质颗粒燃烧机，于2017年7月至11月在四川凉山州、广元市进行试验。在烟叶烘烤、茶籽烘烤方面进行长时间的运行试用，取得良好效果。应用于烤烟的生物质热源烤房，颗粒燃料的燃烧效率在95%以上，燃尽率在96%以上；干球温度实际控制精度在目标干球温度 ± 0.8 以内，湿球温度实际控制精度在目标湿球温度 ± 0.5 以内；且与其他生物质颗粒燃烧机对比，配风、送料更加科学合理，平均每烤能节省生物质颗粒燃料80~100kg。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/133453.html>