

生物质颗粒热风炉设计及其在粮食烘干领域的应用

朱广飞¹，余继琅¹，陆阳¹，盛奎川²

(1.台州市一鸣机械股份有限公司，浙江台州318053；2.浙江大学生物系统工程与食品科学学院，浙江杭州310058)

摘要：机械化粮食烘干中采用生物质燃料替代常规能源，对节能减排、降低成本、提高粮食品质具有重要意义。设计了一套生物质颗粒热风炉并与谷物烘干机耦合，通过自动控温系统调节热风温度以获得高品质谷物。生物质颗粒在时间继电器控制下自动进料，在炉膛内部设计一次进风和二次进风口，颗粒燃料的挥发分充分燃烧，提高了热风炉的输出热功率。设置了故障报警、远程监控系统，提高了设备的智能化程度。性能试验结果表明，该成套设备运行稳定，性能指标优良，验证了设计的合理性。经济效益分析表明，利用生物质颗粒热风炉烘干谷物成本较低，具有明显的经济效益和推广应用前景。

引言

随着我国“双碳”战略的实施，生物质颗粒燃料将占有越来越大的市场份额[1]。另一方面，机械化粮食烘干技术因具有减少粮食霉变、提升粮食品质、提高粮食贮藏安全性、节约土地资源及节省干燥时间等特点，越来越被粮食种植大户所接受[2-3]。

粮食烘干机的热源直接关系到用户的使用成本。随着大气污染防治行动计划的实施，我国已经严格限制在粮食烘干机中使用燃煤型热源，但采用燃油、天然气和电能（空气源热泵）的运行成本较高[4]。采用生物质成型燃料代替燃煤型热源，是一种切实可行的途径[5]。因此，设计和研发生物质颗粒热风炉，将颗粒燃料产生的热风作为稻谷等粮食烘干的热源，对农林废弃物的有效利用、降低粮食烘干成本具有重要意义。

1 热风炉结构及原理

1.1 结构组成

生物质颗粒热风炉结构主要由以下6部分组成，如图1所示[6]。

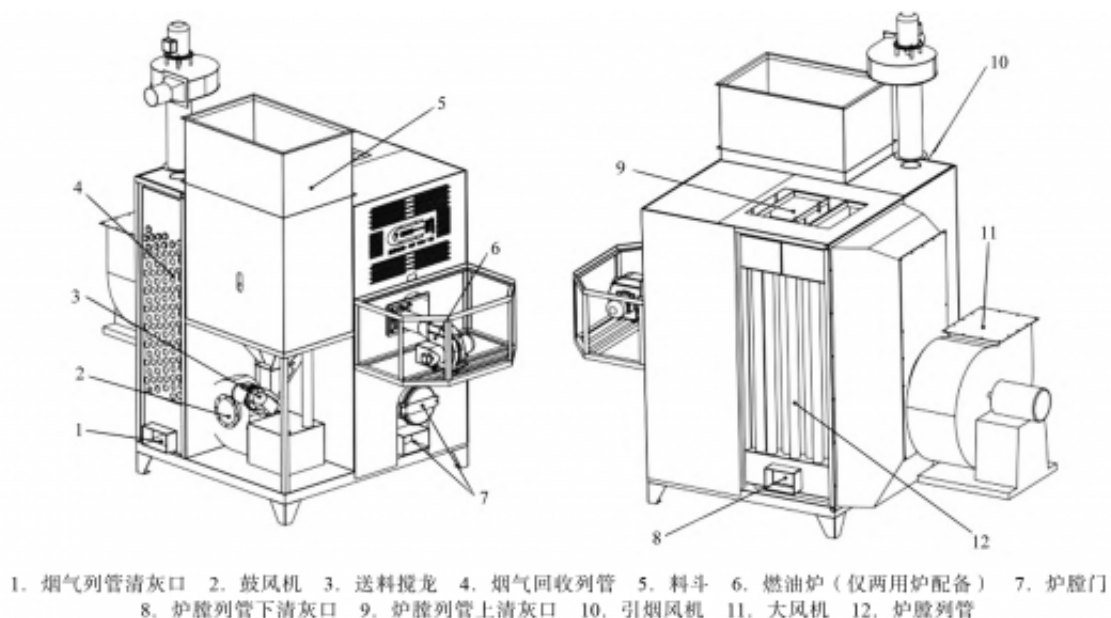


图1 生物质颗粒热风炉结构

Fig. 1 Structure of biomass pellet hot blast furnace

(1) 进料机构。主要由颗粒料斗、送料搅龙及电机（螺杆进料器）、鼓风机和支架等组成，其中送料搅龙配有增氧进风孔，在鼓风机作用下使空气不断进入炉膛助燃，同时能防止搅龙被炉内高温损坏，并防止炉膛内生物质颗粒在燃烧时因高温反向引燃料斗内的颗粒燃料。

(2) 燃烧系统。主要由颗粒燃烧器(耐高温不锈钢)、点火器(电热管及风机)、布风管、一次进风口、二次进风口和引烟风机等组成。

(3) 炉体。主要由燃烧室、炉膛内壁(耐高温不锈钢)和保温层、炉体外壳和顶盖、炉体底座、炉膛门等组成。

(4) 换热系统。主要由炉内多排平行布置的烟气列管(炉膛内高温烟气与送向烘干机的室温空气进行热交换)、大风机(送向烘干机的空气经过热风炉内的风管换热)等组成。

(5) 除灰装置。主要由炉膛列管上清灰口、下清灰口、接灰盒等组成。

(6) 控制系统。主要由电气控制单元、触摸屏人机操作界面等组成,能对热风炉参数进行调节和监控,控制点火机构、进料电机、风机等部件,主要采集热风温度、进料量等参数信号,具有故障报警功能,控制系统具有手动、自动和参数设置功能。

1.2 工作原理

生物质颗粒燃料(直径8~10mm)由上料机装入料斗(或料仓),在时间继电器的控制下自动控制进料量,通过送料搅龙(螺杆进料器)均匀地将燃料送至燃烧室;同时点火机构启动、电热管迅速加热升温,高温热风送入燃烧器内,3~5min内将颗粒燃料点燃,点燃后点火机构断电、停止工作。根据不同的粮食烘干量,搅龙也可设置成一定的间隔时间进料,即进料螺杆运行几秒之后停顿几秒,以调整不同热负荷。

助燃空气在风机压送下,均匀地穿过环形炉壁,使燃料充分燃烧。送料搅龙配有增氧进风孔,使空气不断进入颗粒助燃,同时能防止搅龙被炉内高温损坏。此外,炉膛底部设计了一次进风口、上部配备了二次进风口,即在燃烧室底部进行一次燃烧、在燃烧室内上方进行二次燃烧,可使挥发分充分燃烧。主要是因为生物质颗粒燃料含有大量的挥发分,这与煤炭主要成分是碳不同[7]。生物质颗粒需要通过一次燃烧和二次燃烧,才能在炉膛内完全燃烧、产生高温,排出的烟气中才不会有污染气体[8]。否则,没有燃尽的一氧化碳等气体会排放至空气中,造成能量损失和环境污染[9]。

颗粒燃料燃烧后产生的高温烟气进入换热器管内,与换热器管外的空气进行间接换热,将冷空气加热到一定的温度。烟气先经过换热管内换热,后经过换热管进行二次换热,可以充分利用高温烟气的热量,并减少换热器管道的堵塞。由于热风机负压吸风,又对燃烧炉外壁进行冷却并将热风吸入,以获得最大的燃烧能量,满足烘干机的使用[10]。由于颗粒燃料的燃烧采用在封闭的炉膛内燃烧,保证颗粒燃烧彻底和降低热能损失。燃烧产生的高温烟气与多排风管进行热交换后,烟气上升至炉体顶部的排烟口时,温度已降低至120℃以内,然后通过引烟风机及排烟管排出至室外。

颗粒燃烧后的灰烬,通过燃烧室底部的炉栅落入下部的接灰盒内。由于木质类生物质颗粒燃料燃烧后的灰分含量很少,可以通过手动方式拉出排灰抽屉、定期清灰[11]。

控制系统能对热风炉工艺参数进行调节和监控,控制点火机构、搅龙进料电机、鼓风机、引烟风机、大风机等部件工作状态。在送风管道的出风口设置了温度传感器等采集热风温度参数,通过设置搅龙电机运行时间长短控制进料量,通过设置风机转速控制风量及风速等,控制系统具有手动、自动和参数设置功能,具有故障报警功能。通过变频控制系统控制风机,风机不会因停炉而立刻停止运行,它会慢慢地减速运行,直到把烟气完全排出炉体外,可有效防止爆燃,通过变频系统控制风机,运行噪声大幅度降低。

2 主要技术参数

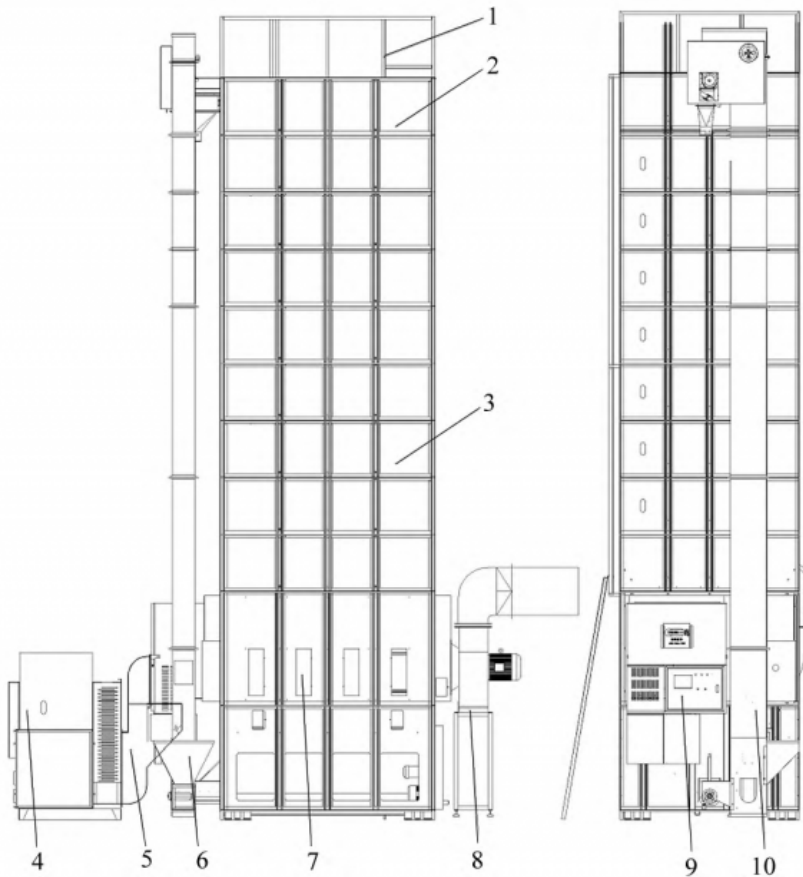
设计研制的5LS-20型生物质颗粒热风炉(额定热功率 8.37×10^5 kJ/h)的主要技术参数如表1所示。

表 1 主要技术参数
Tab. 1 Main design parameters

项目	参数
炉体外形尺寸（长×宽×高）/（mm×mm×mm）	1 110×1 210×1 770
颗粒燃料直径/mm	8~10
进料方式	自动进料
热功率/MW	0.235
热效率/%	≥80
输出热风温度/°C	60~150
热风机风量/（m ³ ·h ⁻¹ ）	6 677~13 353
热风机功率/kW	4.0
引烟风机风量/（m ³ ·h ⁻¹ ）	1 450
引烟风机功率/kW	0.75
配套总功率/kW	5.67

3热风炉与粮食烘干机的耦合

生物质颗粒热风炉与循环式谷物烘干机耦合如图2所示。生物质颗粒热风炉用于粮食烘干的场景如图3所示。该热风炉利用可再生的生物质颗粒为燃料以替代煤炭和燃油，具有明显的低碳减排和低成本运行优势。采用一次风和二次风设计的热解气化燃烧技术，使生物质颗粒的挥发分充分燃烧，降低烟气的污染气体排放，提高热效率[12]。



1. 烘干机护栏 2. 分粮层 3. 缓苏层 4. 颗粒热风炉
5. 热风出口 6. 烘干机进料斗 7. 烘干层 8. 热风机
9. 电器控制装置 10. 烘干机提升机

图2 生物质颗粒热风炉与粮食烘干机耦合

Fig. 2 Assembly drawing of biomass pellet hot blast furnace and grain dryer



图3 生物质颗粒热风炉烘干粮食应用场景

Fig. 3 Scene of biomass pellet hot blast furnace used for grain drying

通过自动控温技术，确保炉膛内温度稳定而不被烧坏，并能自动调节粮食烘干机的热风温度（偏差 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ），以获得高品质的谷物。热风炉搅拢出口处增加了超温报警装置，如果出现操作不当发生意外回火现象，温度达到设定值时，程序控制即可停机，报警器持续响起，保证设备不会损坏和发生安全事故。与手机APP实时对接，如遇故障可第一时间处理，智能化、安全性更高。多台烘干机使用时，烘干台数可自动控制，当一台烘干结束后，程序自动切换台数，可防止颗粒燃料的浪费，运行操作更加人性化。

4性能试验与经济效益分析

4.1性能试验

2020

年11月27

日在浙江省台州

市路桥区谷物烘干厂实地试验，

以5LS-30型生物质颗粒热风炉（额定热功率 1.26×10^6

kJ/h ）耦合1台谷物烘干机进行测试，其中稻谷干燥的主要指标如表2所示。试验采用的生物质颗粒燃料的工业分析成分为含水率9.36%、灰分2.68%、挥发分69.79%、固定碳18.18%。其高位热值为 18.14MJ/kg ，低位热值 16.40MJ/kg 。在烘干机稳定运行后的1h区间内，测定颗粒消耗量为 20.56kg ，稻谷含水率由27.8%降至27.2%，即减干率为 $0.6\%/h$ 。主要性能指标达到或优于设计要求。

表 2 稻谷干燥性能指标

Tab. 2 Main performance index of rice drying

项目	测定值
干燥温度/ $^{\circ}\text{C}$	62 ± 2
环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	18
干前含水率/%	28
干后含水率/%	14.5
干前质量/kg	12 000
平均干燥时间/h	12
平均减干率/ $(\% \cdot \text{h}^{-1})$	0.7

4.2经济效益分析

按1台5LS-30型生物质颗粒热风炉（额定热功率 1.26×10^6

kJ/h ）耦合3台12t谷物烘干机进行计算，烘干机总功率为 $7.4\text{kW} \times 3 = 22.2\text{kW}$ ，热风炉功率约 8.07kW ，烘干时间20h。生物质颗粒用量以 70kg/h 计算（环境气温 18°C ），颗粒价格以 1.2元/kg 计，则颗粒费为 $70 \times 20 \times 1.2 = 1680$ （元）；电费按 $0.68\text{元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计，则电费为 $(22.2 + 8.07) \times 20 \times 0.68 = 411.7$ （元）。因此，烘干成本为 $(1680 + 411.7) \div (12 \times 3 \times 2) = 0.029$ （元/500g）。与利用空气源热泵烘干稻谷相比，生物质颗粒热风炉烘干谷物成本降低50%，具有明显的经济效益和应用前景。

5结论

设计研制了以生物质颗粒为燃料的热风炉，利用二次燃烧节能技术和温度自动控制技术，具有结构新颖、设计合理、使用方便、自动化程度高等优点；与粮食烘干机耦合，热风输出稳定、热效率高，保证了干燥后谷物品质，且烘干谷物成本较低，具有明显的经济效益和推广应用前景。采用可再生的生物质颗粒替代煤炭、燃油和电能（空气源热泵

) 用于粮食烘干，对我国实施“双碳”战略具有重要意义。

参考文献

- [1] 高兴忠，卢芯彤，聂晶，等．生物质颗粒燃料生产及运用[J]．再生资源与循环经济，2021，14(8)：36-39.
- GAO Xingzhong, LU Xintong, NIE Jing, et al. Production and ap-

- plication of biomass pellet fuel[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2021, 14(8): 36-39.
- [2] 吴煜, 黄盛杰, 赵旺. 粮食烘干技术简析与发展趋势[J]. *农业装备技术*, 2022, 48(1): 4-6.
- WU Yu, HUANG Shengjie, ZHAO Wang. A brief analysis and development trend of grain drying technology[J]. *Agricultural Equipment & Technology*, 2022, 48(1): 4-6.
- [3] 黄盛杰, 吴煜. 高质量粮食烘干关键技术的发展现状与应用前景[J]. *广西农业机械化*, 2020(6): 37-38.
- [4] 魏伟伟, 王金良. 粮食烘干机发展现状及解决对策研究[J]. *粮食科技与经济*, 2018, 43(9): 107-109.
- [5] 李彦军. 生物质燃料成型技术发展现状研究[J]. *现代商贸工业*, 2021, 42(28): 162-163.
- [6] 生物质颗粒热风炉: T/NJ 1181—2019[S].
- [7] 耿爱欣, 潘文琦, 杨红强. 中国林木生物质能源替代煤炭的减排效益评估[J]. *资源科学*, 2020, 42(3): 536-547.
- GENG Aixin, PAN Wenqi, YANG Hongqiang. Quantifying the mitigating effects and benefits from substituting wood biomass for coal in energy production in China[J]. *Resources Science*, 2020, 42(3): 536-547.
- [8] 吴同杰, 赵立欣, 姚宗路, 等. 生物质燃烧VOCs排放特性与测试方法研究进展[J]. *环境工程*, 2015, 33(S1): 481-484, 494.
- WU Tongjie, ZHAO Lixin, YAO Zonglu, et al. Research progress on biomass combustion emission of volatile organic compounds characteristics and the test method[J]. *Environmental Engineering*, 2015, 33(S1): 481-484, 494.
- [9] ZHOU Ying, XING Xiaofan, LANG Jianlei, et al. A comprehensive biomass burning emission inventory with high spatial and temporal resolution in China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, 17(4): 2 839-2 864.
- [10] TRADAT M. Transient and steady experimental and numerical thermal studies towards energy efficiency improvements in data centers[Z]. ProQuest Dissertations Publishing, 2019.
- [11] NUNES L J R, MATIAS J C O, CATALAO J P S. Biomass combustion systems: a review on the physical and chemical properties of the ashes[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 53: 235-242.
- [12] 余有芳, 尚鹏鹏, 盛奎川. 生物质燃烧烟气排放特性与污染物控制[J]. *农业工程*, 2017, 7(2): 50-54.
- YU Youfang, SHANG Pengpeng, SHENG Kuichuan. Emission characteristics and pollutant control of biomass combustion[J]. *Agricultural Engineering*, 2017, 7(2): 50-54.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/213819.html>