

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.025

模辊式生物质颗粒燃料成型机性能试验*

霍丽丽^{1,2} 田宜水² 孟海波² 赵立欣² 侯书林¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 农业部规划设计研究院农村能源与环保研究所, 北京 100125)

【摘要】 针对模辊式成型机在生产生物质颗粒燃料过程中存在能耗高等问题,以玉米秸秆为原料,研究成型机模辊间隙、主轴转速和模孔直径等参数对生产率、吨燃料能耗、颗粒燃料的成型率、机械耐久性和颗粒密度等的影响。结果表明:模辊间隙仅对成型率有影响,间隙为0.2 mm最优。吨燃料能耗和颗粒密度随主轴转速增大而减小;模孔直径大,生产率高,吨燃料能耗低,颗粒密度小;为保证生产率,主轴转速应大于等于160 r/min。不同因素试验,颗粒燃料的成型率大于95%,机械耐久性大于96%,均符合生物质颗粒燃料要求。

关键词: 生物质颗粒燃料 成型机 成型率 机械耐久性

中图分类号: TK6; S216.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0121-05

Parameters Experiment of Biomass Pellet Mill Performance

Huo Lili^{1,2} Tian Yishui² Meng Haibo² Zhao Lixin² Hou Shulin¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Institute of Energy and Environmental Protection, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China)

Abstract

Experiment on the main parameter of biomass pellet mill with corn straw was performed on account of high energy consuming in the process of modeling. Energy consumption per ton solid biofuel, the rate of qualified molded biofuel, mechanical durability and particle density were used to evaluate the effect of changing clearances between rolls and die, spindle speed and diameter of die orifice. The results indicated that clearances between rolls and die just had an effect on the rate of qualified molded biofuel, and the best optimal value was 0.2 mm, the energy consumption and particle density reducing by increasing of the spindle speed, bigger diameter of die orifice would bring about higher productivity and lower energy consumption. The spindle speed scope should not lower than 160 r/min to ensure the high productivity. Further, the rate of qualified molded biofuel was bigger than 95% and mechanical durability was bigger than 96%, which matched the requirements when experiments were done with different factors.

Key words Biomass pellet, Pellet mill, Rate of qualified molded biofuel, Mechanical durability

引言

生物质颗粒燃料作为一种优质的可再生能源,既能作为农村炊事炉具、采暖炉或工业锅炉等的良好燃料,又可为电厂提供清洁燃料;不仅有效解决了农村用能问题,而且也有利于改善农村环境,目前在

我国正全面推广^[1-3]。生物质成型主要分为模辊式、螺旋式、柱塞式等方式。由于生物质模辊式成型机具有生产率高、成型好(成型率大于95%),可连续生产等优点,与螺旋式、柱塞式成型机相比,工作状态更加稳定,对物料的适应性好,并且其加工方法满足燃煤电厂对生物质成型燃料均匀要求,可实现

收稿日期:2010-05-17 修回日期:2010-06-21

* 农业部引进国际先进农业科学技术项目(2008G2)和农业科技成果转化资金资助项目(2008GB23260384)

作者简介:霍丽丽,博士生,农业部规划设计研究院助理工程师,主要从事机械设计与制造研究, E-mail: huolili666@126.com

通讯作者:孟海波,高级工程师,主要从事生物质资源开发利用研究, E-mail: newmh7209@163.com

工业的自动上料,是目前发展的重点^[4~5]。但该类机具还存在着能耗高等问题。

目前,国内外模辊式成型机研究仅针对原料的种类、粒度及含水率等工艺参数^[6~10]。对于以玉米秸秆为原料的模辊式成型机的主要参数对成型的影响等研究较少。机具参数的研究主要集中在螺旋式或柱塞式成型机原理上^[11~13],模辊式成型机的成型原理与螺旋式、柱塞式差别较大,结构参数设计不同,上述研究并不适用于模辊式成型机。

本文以玉米秸秆为原料,对生物质模辊式成型机的主要参数(模孔直径、主轴转速、模辊间隙等)进行试验,研究其对成型机的生产率、吨燃料能耗、颗粒燃料的成型率、机械耐久性和颗粒密度等^[14~16]指标的影响规律,为模辊式成型机的设计提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设备与原料

北方地区玉米秸秆原料极为丰富,因此本试验选择北京市大兴区礼贤镇生产的玉米秸秆为原料。采用模辊式生物质颗粒燃料成型机,其主要工作部件是水平圆盘压模和与其相配的压辊,如图1所示(D 为模孔直径, X 为模辊间隙)。工作时电动机带动压模转动,通过模辊与物料间的摩擦力使压辊自转,将物料钳入、挤压,最后成圆柱状从模孔中被连续挤出,再由安装在出料口处的固定切刀切成一定长度的颗粒燃料。在该机工作过程中,由于压辊与压模之间存在相对滑动,可起到磨碎原料的作用,所以允许使用粒径稍大些的原料。其中,模辊间隙、主轴转速等可调,且可更换不同孔径的压模板。试验用颗粒燃料成型机额定生产率 80 kg/h;主轴电动机功率 11 kW;主轴最大转速 200 r/min;调频器 50 Hz。

表 1 秸秆原料粒度及含水率测定

Tab.1 Granularity distribution and total moisture of straw material

原料	模孔直径 10 mm		模孔直径 8 mm		模孔直径 6 mm	
	质量/g	所占百分比/%	质量/g	所占百分比/%	质量/g	所占百分比/%
总量	319.92	100	312.02	100	318.39	100
粒度大于 6 mm	26.55	8.30	26.43	8.47	20.56	6.46
粒度 3~6 mm	64.34	20.11	61.72	19.78	60.97	19.15
粒度小于 3 mm	229.03	71.59	223.87	71.75	236.86	74.39
原料含水率/%	20.41		21.13		23.98	

1.2.2 试验指标及测定方法

(1) 生产率。正常生产过程中,在成型机出口处每隔 5 min 接取颗粒一次,然后称量。考虑到原料含水率不同,计算中增加含水率系数。计算式为

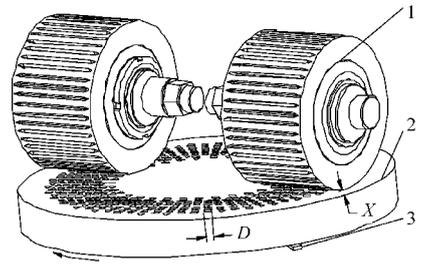


图 1 模辊式成型机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of pellet mill

1. 压辊 2. 压模 3. 切刀

其他试验设备与仪器有粉碎机(筛孔径 8 mm)、秒表、台秤(精度 5 g)、二分器、101-1A 型电热鼓风干燥箱、PL2002/01 型电子天平(精度 0.01 g)、BSA223S-CW 型分析天平(精度 0.1 mg)、KER-2400 型转鼓试验机、SZ11-4 型标准自动振筛机、MH-200E 型电子比重计(精度 0.001 g/cm³)等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验准备

首先将玉米秸秆粉碎,粒度小于 8 mm 的放入振动筛进行筛选,振动 30 s 后,测其粒度。试验原料分三批粉碎,分别用于 6、8、10 mm 模孔直径试验使用,如表 1 所示。可以得出:不同批次原料粒度基本一致。原料粉碎后,大于 6 mm 原料占总量不到 10%,粒度在 3~6 mm 之间的约占 20%,小于 3 mm 粒度大于 70%,能够满足成型要求。将粉碎后的秸秆原料自然风干或调湿处理,达到适宜成型的含水率,装入密封袋备用。试验原料含水率控制在 20% 左右。而 6 mm 孔径在原料含水率 20% 试验时,极易堵模,因此原料含水率略高。

采用模辊式生物质颗粒燃料成型机进行压缩试验,按照 CEN/TS 14778—1 2005 固体生物质颗粒燃料取样方法取样^[15],测量并记录相关试验数据。

$$Q = 3600 \frac{m(1-H)}{t(1-0.2)} \quad (1)$$

式中 Q ——工作小时生产率,kg/h
 m ——接取的样品质量,kg

H ——成型燃料含水率, %

t ——接取样品时间, s

(2) 吨燃料能耗。指生物质颗粒燃料成型机生产 1 t 成型燃料所消耗的能量。计算式为

$$W = 1\,000 \frac{P}{Q} \quad (2)$$

式中 W ——小时吨燃料能耗, kW·h/t

P ——每小时消耗的电能, kW

(3) 成型率。用筛孔孔径为 6 mm 的振筛机筛分, 并称量, 计算式为

$$X = \frac{m_a}{m_b} \times 100\% \quad (3)$$

式中 X ——成型率, %

m_a ——筛上物质量, g

m_b ——总质量, g

(4) 机械耐久性。取上述筛分后的颗粒约 1 000 g 放入转鼓试验机内, 定向连续运转 500 转, 然后取出样品, 用上述的振筛机再进行筛分, 计算式为

$$C = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (4)$$

式中 C ——机械耐久性, %

m_2 ——转后筛分筛上物质量, g

m_1 ——所取样品总质量, g

(5) 颗粒密度。一般要求成型燃料颗粒密度大于 1.0 g/cm³。根据阿基米德排水法原理, 利用电子比重计直接测量得出数值。

生产出的颗粒燃料在实验室平铺放置 2~3 h, 待完全冷却后取样^[15], 测量成型率、含水率、机械耐久性和颗粒密度等。

1.2.3 试验设计

生物质颗粒燃料成型机的性能参数主要包括主轴转速、模孔直径与模辊间隙等。为考核成型机性能和颗粒燃料质量, 将主轴转速、模孔直径、模辊间隙作为试验因素, 考察其对生产率、吨燃料能耗、成型率、颗粒燃料的机械耐久性及其颗粒密度的影响规律。选择主轴转速 0~200 r/min, 间隔 20 r/min; 模辊间隙 0~1.5 mm, 间隔 0.1 mm; 选择 6、8、10 mm 模孔直径的压模分别进行单因素试验。首先进行模辊间隙试验, 分析模辊间隙对所选指标的影响规律, 然后选用最佳值进行不同主轴转速与模孔直径试验。

2 结果与讨论

2.1 模辊间隙的影响

模孔直径 8 mm、主轴转速 160 r/min 时, 模辊间隙对生产率、吨燃料能耗、机械耐久性、成型率的影响如图 2 所示。随着模辊间隙的增加, 生产率下降,

吨燃料能耗增加, 当模辊间隙大于 1.5 mm 时, 模孔已不出料, 无法成型。其中, 模辊间隙为 0.2 mm 时, 生产率最高, 吨燃料能耗最低, 为 72 kW·h/t。间隙过大时, 压辊对秸秆原料的挤压力变小, 使攫取能力变小, 压辊无法将料压进模孔内, 使原料在成型室内越积越多, 最终导致堵模死机。间隙过小时, 喂入原料量少, 生产率低, 摩擦力大, 导致吨燃料能耗高。若安装不当, 模辊之间可能有直接接触表面, 将加速模辊磨损, 降低寿命。

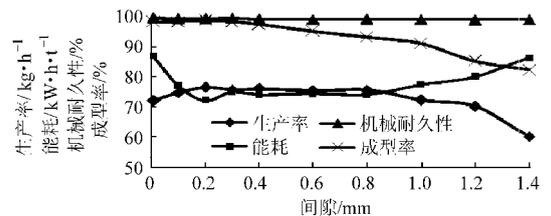


图2 模辊间隙对各指标的影响

Fig. 2 Impact of clearances between rolls and die on indexes

模辊间隙在 0~0.4 mm 生物质颗粒燃料的成型率均大于 95%, 压缩成型的生物质颗粒燃料表面光滑, 不易松散; 在 0.4~1.0 mm 之间, 成型率逐渐下降, 生物质颗粒燃料表面偶有裂纹, 成型率在 90%~95% 之间; 大于 1 mm 时, 成型燃料表面变粗糙, 裂纹增多, 且压缩后成型率小于 90%, 已不符合成型率要求。

模辊间隙对机械耐久性和颗粒密度影响不大, 均能满足机械耐久性大于 95% 和颗粒密度大于等于 1.0 g/cm³ 的标准要求^[16]。

综上所述, 模辊间隙的最佳范围为 0~0.4 mm, 其中 0.2 mm 时最优。

2.2 主轴转速和模孔直径的影响试验

2.2.1 生产率

模辊间隙为 0.2 mm 时, 生产率与主轴转速的关系如图 3 所示。在模孔直径相同时, 随主轴转速的增加, 生产率增大。低转速时, 生产率增加较快; 大于 160 r/min 后生产率增加变得缓慢, 其值为 80~100 kg/h。这是由于转速过快时, 压辊对原料的挤压力一定, 一些原料无法快速挤入相应模孔内, 而从压辊齿两侧挤出, 使生产率增加缓慢。

同一转速下, 模孔直径越大, 生产率越高, 在转速 160 r/min 时, 模孔直径 10 mm 的生产率比直径 6 mm 的提高了 25%, 这是由于孔径大, 被压进模孔的原料多, 生产率相对较高。

但模孔直径不易过大或过小, 高速转动下, 孔径过小则原料难挤入模孔内, 在成型室被摩擦的时间过长而产生热量, 原料水分蒸发较快, 压辊无法将原

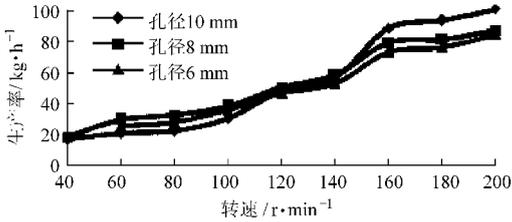


图3 生产率的变化曲线

Fig. 3 Productivity curves

料顺利压出,导致模孔堵塞,严重时会产生放炮、颗粒炭化等现象。孔径过大,在压模厚度不改变情况下,成型率难以保证,且压出的颗粒燃料易松散。

2.2.2 吨燃料能耗

试验测得吨燃料能耗与主轴转速和模孔直径的关系如图4所示,吨燃料能耗随转速增大而减小。转速大于等于160 r/min,生产率增加趋于缓慢,吨燃料能耗变化不大,同一模孔直径下,吨燃料能耗变化量不超过10 kW·h/t。低转速时,单位时间挤出颗粒燃料质量少,所需的电能较多,随着转速增大,生产率提高,燃料的出料速度加快,克服弹性变形的能量减小,吨燃料能耗逐渐减小。当孔径为10 mm,主轴转速为180 r/min时,吨燃料能耗达最低值为71.4 kW·h/t。

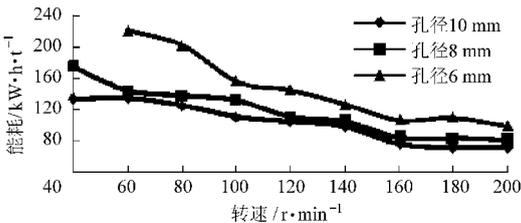


图4 吨燃料能耗的变化曲线

Fig. 4 Energy consumption per ton solid biofuel curves

同一转速下,模孔直径越大,吨燃料能耗越低。转速在160 r/min时,模孔直径10 mm的吨燃料能耗比直径6 mm的减小了42 kW·h/t。这是由于模孔直径小,单位时间内的进料量少,挤压困难,克服秸秆原料弹性变形所需吨燃料能耗较大。

2.2.3 颗粒燃料成型率

模孔直径和主轴转速对成型率的影响如图5所示。可以看出,主轴转速和模孔直径对成型率影响不大,成型率在95%~99%之间,满足大于95%的要求^[16]。

2.2.4 颗粒燃料机械耐久性

主轴转速、模孔直径对颗粒燃料的机械耐久性影响如图6所示。主轴转速和模孔直径对颗粒耐久性影响并不显著,颗粒燃料机械耐久性较好,均大于96%,符合颗粒燃料要求。主轴转速180 r/min,模孔直径8 mm时,颗粒燃料机械耐久性最好,最佳值为98.3%。

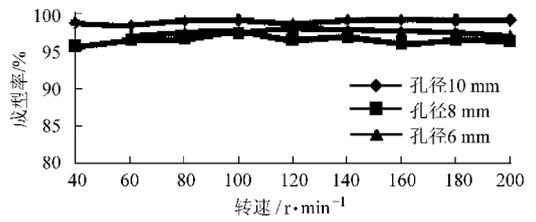


图5 成型率的变化曲线

Fig. 5 Rate of qualified molded biofuel curves

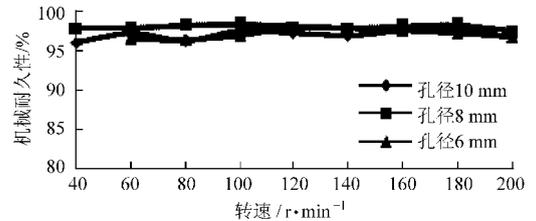


图6 机械耐久性的变化曲线

Fig. 6 Mechanical durability curves

2.2.5 颗粒密度

主轴转速、模孔直径对颗粒燃料密度的影响如图7所示。颗粒密度变化范围为1.1~1.2 g/cm³,均符合颗粒燃料的要求。随着主轴转速的增加,颗粒密度略有下降。模孔直径小,则颗粒密度大。这是由于转速增大,模孔直径大时,出料速度快,原料在模孔内的挤压时间短,挤出颗粒较松散,致使颗粒密度小。反之,主轴转速小,模孔直径小,出料慢,被挤压时间久,压辊与原料间摩擦作用加剧而产生大量热量,导致原料中所含木质素软化,粘合力增大,粒子易被压缩成型,颗粒较密实。

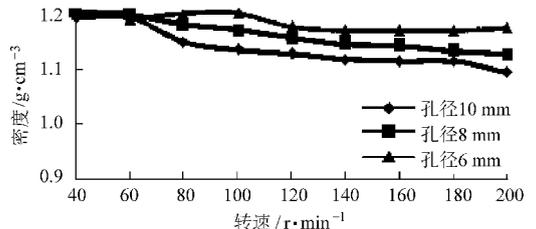


图7 颗粒密度的变化曲线

Fig. 7 Particle density curves

3 结论

(1) 模辊间隙对成型率有显著影响,对其他指标的影响不显著。间隙越大,成型率越低。间隙最佳取值范围0~0.4 mm,最优值为0.2 mm。

(2) 主轴转速和模孔直径对生产率、吨燃料能耗影响较大。随着转速增大,生产率增大,吨燃料能耗减小;模孔直径大,生产率高,吨燃料能耗低。为保证生产率,转速取值应大于等于160 r/min。为使吨燃料能耗较低,模孔直径应取较大值10 mm。

(3) 各因素对颗粒燃料机械耐久性影响不显著,均符合颗粒燃料的标准要求。

(4) 主轴转速和模孔直径对颗粒密度均有一定影响,但影响不大,颗粒密度均大于 1.1 g/cm^3 。若对颗粒密度要求较高,则主轴转速值应取较小值,选模孔直径较小的压模。若对颗粒燃料仅为一般要求,则尽可能增加主轴转速,选取模孔直径较大的压模。

参 考 文 献

- 1 农业部. 农业生物质能产业发展规划(2007~2015年) [N]. 人民日报,2007-07-03.
Ministry of Agriculture. German agricultural biomass industry development planning (2007~2015) [N]. People's Daily, 2007-07-03. (in Chinese)
- 2 Animesh Dutta. Bio-energy for achieving MDGs [C]. Asian Institute of Technology, 2007.
- 3 罗娟,侯书林,赵立欣,等. 生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J]. 可再生能源,2009(12):90~95.
Luo Juan, Hou Shulin, Zhao Lixin, et al. The research progress of pellet burning equipments [J]. Renewable Energy Resources, 2009(12):90~95. (in Chinese)
- 4 霍丽丽,侯书林,赵立欣,等. 生物质固体成型燃料技术及设备研究进展[J]. 安全与环境学报,2009(12):27~31.
Huo Lili, Hou Shulin, Zhao Lixin, et al. Overview of the research advancements of solid biofuel-preparation technology and the corresponding facilities needed [J]. Journal of Safety and Environment, 2009(12):27~31. (in Chinese)
- 5 孟海波,赵立欣,徐义田,等. 用粗糙集理论评价生物质固体成型燃料技术的研究[J]. 农业工程学报,2008,24(3):198~202.
Meng Haibo, Zhao Lixin, Xu Yitian, et al. Assessment of biomass pellets and briquettes technologies by rough sets theory [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(3):198~202. (in Chinese)
- 6 孙清,白红春,谷士艳,等. 水稻秆颗粒冷压成型工艺条件优化[J]. 农业机械学报,2009,40(8):100~104.
Sun Qing, Bai Hongchun, Gu Shiyan, et al. Optimization of the technology for straw briquette cold press process [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(8):100~104. (in Chinese)
- 7 李在峰,雷廷宙,何晓峰,等. 玉米秸秆颗粒燃料致密成型电耗测试[J]. 农业工程学报,2006,22(增刊1):117~119.
Li Zaifeng, Lei Tingzhou, He Xiaofeng, et al. Analysis on electricity cost of corn stalk granule compression molding [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp. 1):117~119. (in Chinese)
- 8 Bhattacharya S C, Augustus Leon M, Md Mizanur Rahman. A study on improved biomass briquetting [J]. Energy for Sustainable Development,2002, 6(2): 67~71.
- 9 O'Dogherty M J, Gilbertson H G, Gale G E. Measurements of the physical and mechanical properties of wheat straw [C]// Proceedings of the 4th International Conference on the Physical Properties of Agricultural Materials, German Democratic Republic, 1989: 608~613.
- 10 O'Dogherty M J. A review of the mechanical behavior of strew when compressed to high densities [J]. J. Agric. Engng. Res., 1989, 44(1):241~265.
- 11 胡建军,雷廷宙,何晓峰,等. 小麦秸秆颗粒燃料冷态压缩成型参数实验研究[J]. 太阳能学报,2008,29(2):241~245.
Hu Jianjun, Lei Tingzhou, He Xiaofeng, et al. Experimental research on the compressing molding parameter under cold condition for wheat straw pellet fuel [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2008,29(2):241~245. (in Chinese)
- 12 范林,王春光,王洪波. 揉碎玉米秸秆可压缩性研究[J]. 农业机械学报,2008,39(11):76~80.
Fan Lin, Wang Chunguang, Wang Hongbo. Study on the compressibility of maize straw rubbed [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(11):76~80. (in Chinese)
- 13 刘圣勇,杨国峰,杨群发,等. 螺杆挤压式生物质成型机优化设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(7):96~100.
Liu Shengyong, Yang Guofeng, Yang Qunfa, et al. Optimal design and experiment of screw briquetting biomass fuel machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(7):96~100. (in Chinese)
- 14 田宜水,赵立欣,孟海波,等. 欧盟固体生物质燃料标准技术进展[J]. 可再生能源,2007,25(4):61~64.
Tian Yishui, Zhao Lixin, Meng Haibo, et al. Status of solid biofuel standards of EU [J]. Renewable Energy Resources, 2007,25(4):61~64. (in Chinese)
- 15 CEN/TS 14778-1—2005 Solid biofuels-sampling-part 1: methods for sampling[S].
- 16 CEN/TS 15210-1—2005 Solid biofuels-methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes-part 1: pellets[S].