

文章编号:0254-0096(2017)04-0900-06

成型参数对桉树加工剩余物成型颗粒品质影响的实验研究

姜 洋^{1,2}, 李伟振², 蒋恩臣¹, 王功亮²

(1. 华南农业大学材料与能源学院, 广州 510642; 2. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640)

摘要:以桉树加工剩余物为研究对象,在龙门液压机 YM-10T 上进行原料压缩成型实验,在 INSTRON5564 型万能材料试验机上进行颗粒径向压缩实验,分析成型参数对颗粒品质(颗粒松弛密度、抗变形性和抗渗水性)的影响。考虑实际生产过程相关设备能耗、产量及运行状况,针对桉树加工剩余物原料,粒径范围 1~2 mm、成型压力 5~6 kN、原料水分 10%~15%、成型温度 90~120 °C、保压时间 6~9 s 适合于颗粒燃料的生产。

关键词:桉树剩余物; 颗粒品质; 成型参数; 密度

中图分类号: TK6; S216.2 **文献标识码:** A

0 引言

生物质成型燃料具有能量密度和质量密度大、颗粒均匀、含水率稳定、燃烧性能良好、易于存储和运输等特点^[1-3],近年来产业发展迅速,尤其在工业发达地区发展前景较好。桉树作为我国重点引进的速生林品种之一,已在我国南方地区大面积种植,成为我国南方发展速生丰产林的战略树种。在桉树的加工利用过程中,大量剩余物被作为废弃物抛弃,不但浪费资源而且污染环境。如果将桉树加工剩余物作为生物质颗粒燃料的原料,不但能缓解资源浪费问题,而且有利于资源的综合利用和桉树加工企业环境的改善。

由于影响生物质原料成型的因素较多,合理选择最佳的成型条件至关重要。目前,国内外针对不同原料的成型条件进行了各种研究。在成型压力方面,研究发现燃料密度随压力的增大先呈线性关系,到一定数值后再呈指数关系^[4,5]。任爱玲等^[6]研究发现,针对玉米秸秆、杨树锯末、梧桐树叶原料成型,压力在 25 MPa 以上成型效果比较好;武凯等^[7]通过研究发现,在环模成型中环模扭矩和物料泊松比及摩擦系数呈指数曲线关系,同时,环模压缩比与环模扭矩也呈指数曲线关系。在

原料水分方面,研究发现适量的水分可起到粘结剂和润滑剂的作用,有助于成型^[8],不同种类的原料在不同成型方式中所需的最佳水分也不同^[9],Obemberger 等^[3]的研究表明,针对水稻秸秆原料,水分在质量分数为 8%~12% 之间时燃料质量最好;姜洋等^[10]研究了玉米秸秆、豆秆、芦苇原料的成型特性,认为原料水分在 12%~18% 较为适宜,最佳含水率为 15%。在成型温度方面,合适的温度可使原料中的木质素软化,增强成型燃料的机械性^[11],一般在 80~150 °C 之间。陈树人等^[12]发现水稻秸秆的松弛密度和抗破碎性在成型温度 75~85 °C 之间时增大,在 85~95 °C 之间时减小。在原料粒径方面,其他条件不变时,原料粒径越小,燃料质量越好^[13],Mani 等^[14]的研究表明,成型燃料的密度随原料粉碎筛网尺寸由 3.2 mm 逐渐减小为 0.8 mm 时而变大。此外,王功亮等^[15]采用响应面的方法分析了玉米秸秆成型影响因素的交互作用,并得到了最优化的工艺参数(压力、温度、水分)为:4 kN(51.0 MPa)、110.8 °C、17%。

上述研究中,针对我国桉树加工剩余物原料特性的成型研究还较少,本文以桉树加工剩余物作为原料,进行颗粒成型的压缩实验,讨论粒径范围、成型压力、原料水分、成型温度、保压时间成型参数对桉树加工剩余物成型颗粒品质的影响,为桉树加工剩余物

收稿日期: 2015-04-10

基金项目: 广东省中国科学院全面战略合作项目(2012B090400025); “十二五”农村领域国家科技计划(2012BAD30B02)

通信作者: 蒋恩臣(1960—), 男, 博士、教授、博士生导师, 主要从事生物质能源化利用方面的研究。ecjiang@scau.edu.cn

成型颗粒的生产及应用提供借鉴。

1 原料和方法

1.1 实验原料

桉木来自鹤山某生物质成型燃料工厂,其工业

分析和元素分析如表 1 所示。桉木先经粉碎机粉碎,再经干燥箱干燥处理,然后按照质量比例加入适量水,均匀混合,调整原料水分后将原料用密封袋分别封存,防止吸收空气中的水分,并放置阴凉干燥处保存。

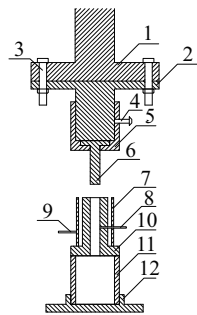
表 1 桉树加工剩余物的元素分析和工业分析

Table 1 Proximate and ultimate analysis and calorific value of eucalyptus residue

元素分析/%				工业分析/%				热值/kJ·kg ⁻¹	
[N] _{ad}	[C] _{ad}	[H] _{ad}	[S] _{ad}	A _{ad}	M _{ar}	V _{ad}	FC _{ad}	Q _{gr}	Q _{net}
0.64	42.66	5.58	0.012	4.71	11.36	75	20.29	14410	11370

1.2 实验装置及方法

桉木的压缩实验在龙门液压机 YM-10T 上进行,压缩模具如图 1 所示,压力机公称力 100 kN,压力上下公差为 30~50 N,可实现定程、定压及定温控制。压力机活塞杆直径 9.9 mm,模具孔直径 10.3 mm。实验前先将模具进行加热,达到设定温度及热平衡后将原料加入模具孔内,开始压缩实验,达到设定成型压力及保压时间后,停止压缩过程,从模具内取出颗粒,用密封袋密封保存,每种实验条件重复 10 次实验,结果取平均值。实验过程中,粒径范围取(0~1 mm、1~2 mm、2~3 mm、3~5 mm,各取值范围均含最大值,如 0~1 为(0,1])、成型压力取(4.5、6、7 kN)、原料水分取(5%、10%、15%、20%)、成型温度取(60、90、120、150 ℃)、保压时间取(3、6、9、12 s),进行单因素实验,每次变化一个实验参数,其他实验参数不变。



1. 上法兰板 2. 下法兰板 3. 法兰螺栓 4. 螺母
5. 活塞杆套筒 6. 活塞杆 7. 加热套 8. 热电偶
9. 电源线 10. 成型模具 11. 圆筒底座 12. 底座

图 1 压缩模具示意图

Fig. 1 Compression mold diagram

1.3 松弛密度 ρ_u

颗粒保存一周后,根据颗粒质量和体积计算松弛密度,质量由数显电子天平测定,体积通过游标卡尺

测定长度和直径来确定,按照式(1)和式(2)进行密度计算,各种成型条件下颗粒随机取 3 粒,取平均值。

$$V_u = \pi D^2 L / 4 \quad (1)$$

$$\rho_u = m / V_u \quad (2)$$

式中, V_u ——体积,mm³; D ——直径,mm; L ——长度,mm; ρ_u ——松弛密度,g/mm³; m ——质量,g。

1.4 抗变形性

研究表明,颗粒的抗变形性和硬度成正比,即颗粒硬度越高,抗变形性越好^[16]。本文以颗粒径向压缩的位移量来表征抗变形性。颗粒随机取 3 粒在 INSTRON5564 型万能材料试验机上进行径向压缩实验,压缩位移量取其平均值。

1.5 抗渗水性

各种成型条件下颗粒随机取 3 粒,浸没于 27 ℃ 的水面下 25 mm 处静置,记录颗粒完全剥落分解的时间,取其平均值。

2 结果及讨论

2.1 粒径的影响

随着粒径范围的增大(成型压力 5 kN、原料水分 15%、成型温度 120 ℃、保压时间 6 s),颗粒密度逐渐减小(图 2a),这可能和原料粒子间的结合方式有关。桉树加工剩余物原料粒径范围在 0~1 mm 之间时,主要为粉末状,压缩后粒子间距离较小,密度较大,且颗粒结合时分层情况比较明显;原料粒径范围在 1~2 mm 之间时,有较短的纤维状结构,压缩后存在较小的交叉结合形式,密度有所减小;随着原料粒径范围向 2~3 mm 和 3~5 mm 增大,纤维状结构和交叉结合形式进一步增多,密度进一步减小,颗粒结合分层情况不明显。此外,在相同载荷

条件下,随着粒径范围的增大,压缩位移逐渐减小(图 2b),说明颗粒的抗变形性增强。这与密度的变化趋势相反,主要是因为随着粒径范围的增大,粒子间的交叉结合方式减小了颗粒的弹性回复,增强了颗粒的抗变形性。而随着粒径范围的增大,颗粒的抗渗水性逐步减小(图 2a),这可能是交叉结合的方式更易于水分向颗粒内部渗透,导致抗渗水性减弱。实际生产及应用中,1~2 mm 粒径范围颗粒密度较高,能满足应用要求,且存在交叉结合形式,抵消了颗粒的弹性回复,抗变形性有所增强,抗渗水性时间满足颗粒转运要求。此外,原料粒径范围对粉碎机的产量、能耗及输送特性有较大影响,粒径范围越小粉碎机产量越低能耗越高,输送特性越好。针对桉树加工剩余物原料,1~2 mm 粒径范围适于颗粒燃料的生产。

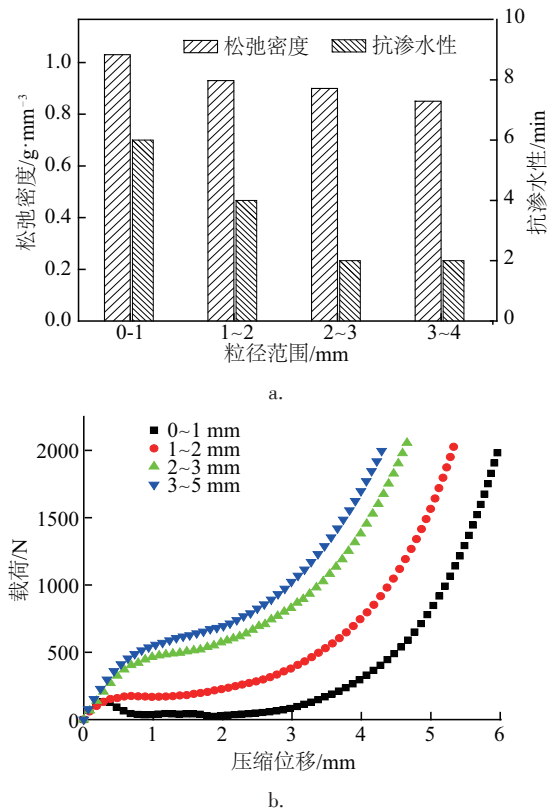


图2 原料粒径对颗粒的松驰密度、抗渗水性(a)及抗变形性(b)的影响

Fig. 2 The effect of particle size on the density, water permeability resistance(a) and deformation resistance(b)

2.2 成型压力的影响

随着成型压力的增大(粒径范围 1~2 mm、原料水分 15%、成型温度 120 ℃、保压时间 6 s),颗粒的

密度逐渐增大(图 3a),且变化明显,因为成型压力的增大有利于粒子间距离的缩小和粒子间结合力的增强,密度增大。有研究表明,颗粒密度的上限等于细胞壁的密度,在 1420~1500 g/cm³。之间越接近细胞壁的密度,随着成型压力的增大,密度增幅越小^[5]。50 MPa 以下,随着成型压力的增大,体积大幅减小。本研究中,成型压力分别设置为 4、5、6 和 7 kN,对应压强为 51、64、76 和 89 MPa。随着成型压力的增大,粒子间距缩小,压缩位移逐渐减小(图 3b),说明颗粒的抗变形性增强,主要是因为成型压力的增大,粒子间距被压缩得更小,增强了颗粒的抗变形性,此时水分不易于向颗粒内部渗透,抗渗水性增强(图 3a)。实际生产中,成型压力对应成型机电功率和产量,成型压力越大成型机所需电机功率越大产量越低,针对桉树加工剩余物原料,5~6 kN 成型压力适合于颗粒的生产。

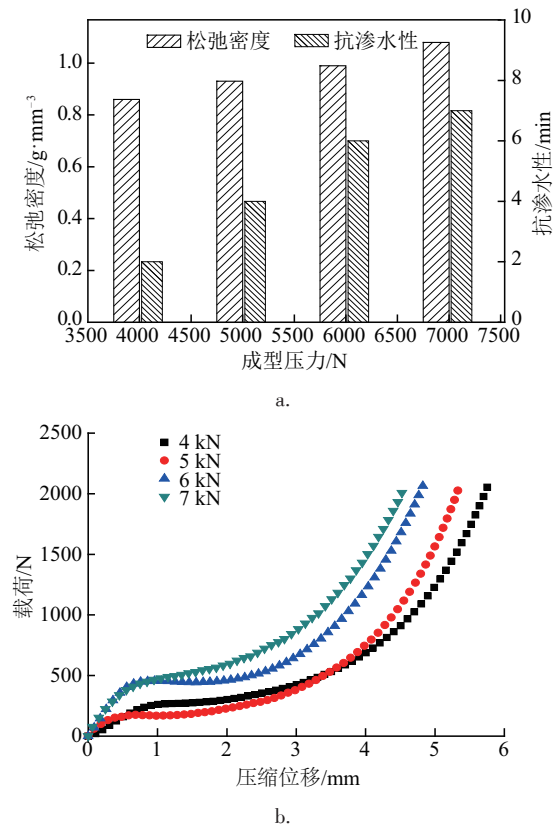


图3 成型压力对颗粒的松驰密度、抗渗水性(a)及抗变形性(b)的影响

Fig. 3 The effect of molding pressure on the density, water permeability resistance(a) and deformation resistance(b)

2.3 原料水分的影响

随着原料水分的增大(粒径范围 1~2 mm、成型

压力 5 kN、成型温度 120 ℃、保压时间 6 s), 颗粒密度逐渐减小(图 4a), 水分能使原料中高分子之间的内部或内在氢分子键被水分子的氢键代替, 促使原料中的木质素软化和塑化, 有利于原料的成型。由图 4b 可看出, 不同水分条件下, 压缩位移的变化趋势基本可认为: 5% > 10% > 20% > 15%, 说明在合适的原料水分条件下颗粒才表现出较大的抗变形性, 原料水分过高或过低均会使抗变形性有所降低。而颗粒的抗渗水性在原料水分为 10% 时最大, 原料水分增大或减小抗渗水性均有所降低, 原料水分较高, 颗粒本身水分较高, 抗渗水性减弱, 原料水分较低, 颗粒本身吸水性较强, 抗渗水性较弱(图 4a)。在实际生产中, 原料水分对干燥设备产量和能耗有影响, 原料水分越低干燥设备产量越低能耗越高, 针对桉树加工剩余物原料, 原料水分 10%~15% 为宜。

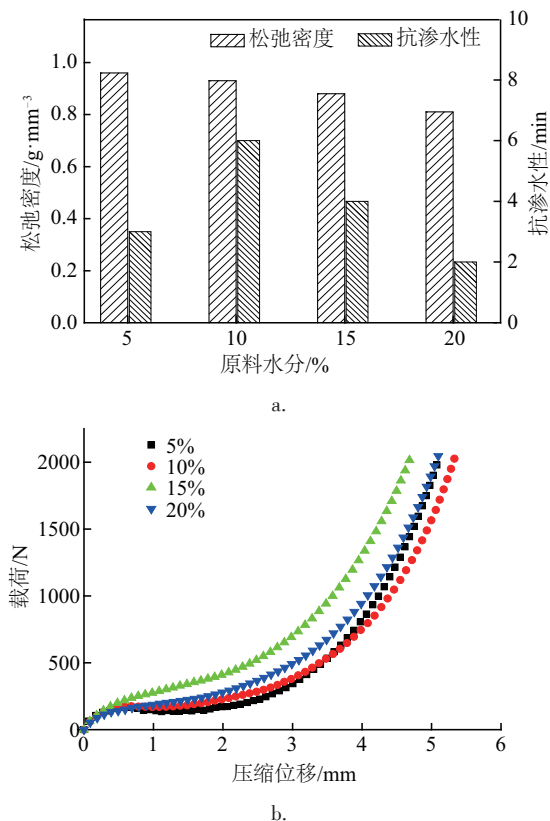


图4 原料水分对颗粒的松弛密度、抗渗水性(a)及抗变形性(b)的影响

Fig. 4 The effect of moisture on the density, water permeability resistance(a) and deformation resistance(b)

2.4 成型温度的影响

随着成型温度的升高(粒径范围 1~2 mm、成

型压力 5 kN、原料水分 15%、成型压力 5 kN、保压时间 6 s), 颗粒的密度逐渐增大(图 5a), 在 120 ℃ 以上时, 密度随成型温度的变化不明显。成型温度的升高有利于原料中木质素的软化和原料本身变软, 使其更易于被压缩。同时, 成型温度的升高有利于原料中脂肪酸、脂肪醇等提取物的析出, 利于原料粒子的流动和结合。另外, 随着成型温度的升高, 压缩位移逐渐减小(图 5b), 说明颗粒的抗变形性增强。其原因可能是, 升高成型温度, 软化后的木质素黏结能力增强, 粒子间的结合更加牢固, 颗粒的抗变形性增强; 而颗粒的抗渗水性在成型温度为 120 ℃ 时较大(图 5a), 成型温度较高, 成型时原料中水分蒸发较多, 导致抗渗水性降低, 成型温度较低, 木质素黏结能力减弱, 抗渗水性降低。实际生产中, 成型温度对应成型模具的使用寿命, 成型温度过高, 会造成模具退火、耐磨性减弱、使用寿命缩短, 针对桉树加工剩余物原料, 成型温度在 90~120 ℃ 为宜。

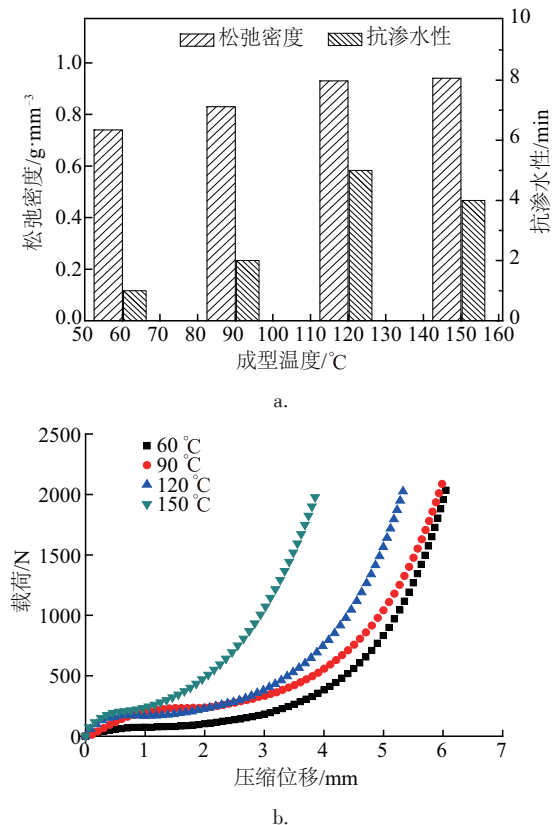


图5 成型温度对颗粒的松弛密度、抗渗水性(a)及抗变形性(b)的影响

Fig. 5 The effect of molding temperature on the density, water permeability resistance(a) and deformation resistance(b)

2.5 保压时间的影响

随着保压时间的延长(粒径范围 1~2 mm、原料水分 15%、成型压力 5 kN、成型温度 120 ℃),有利于减小颗粒的弹性回复,增大颗粒的密度,但密度的增大并不明显,说明保压时间对密度的影响较小(图 6a)。随着保压时间的延长,压缩位移逐渐减小(图 6b),说明颗粒的抗变形性增强,可能是因为保压时间的延长,颗粒的弹性回复得到进一步消除,增强了颗粒的抗变形性。此外,随着保压时间的延长,有利于粒子间的紧密结合和弹性回复的消除,水分的渗透性减弱,抗渗水性增强(图 6a)。实际生产中,保压时间对应电机的线速度,保压时间越长,电机级数越高,电机线速度越慢,产量越低。保压时间 9 s 时颗粒的抗渗水性已能满足颗粒转运要求,保压时间继续延长会导致电机线速度降低,降低产量。针对桉树加工剩余物原料,保压时间 6~9 s 为宜。

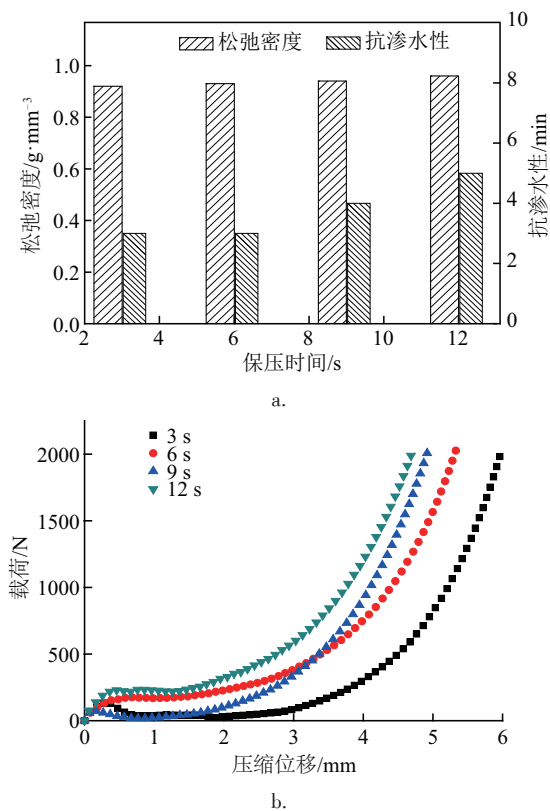


图 6 保压时间对颗粒的松弛密度、抗渗水性(a)及抗变形性(b)的影响

Fig. 6 The effect of Holding time on the density, water permeability resistance(a) and deformation resistance(b)

3 结 论

以桉树加工剩余物为原料,进行颗粒燃料的压

缩实验,考察原料粒径范围、成型压力、原料水分、成型温度、保压时间等成型参数对颗粒密度、抗变形性和抗渗水性的影响,主要结论为:

1)随着粒径范围和原料水分的增大,颗粒密度逐渐减小;随着成型压力和成型温度的升高,颗粒密度逐渐增大;在 120 ℃以上时,密度随成型温度的变化不明显;随着保压时间的延长,颗粒密度增大,但变化不明显。

2)随着粒径范围的增大、成型压力的增大、保压时间的延长,颗粒的抗变形性增加;原料水分 15%和成型温度为 120 ℃时颗粒的抗变形性最佳,原料水分和成型温度过高或过低均会使抗变形性有所降低。

3)随着粒径范围的增大,抗渗水性逐步减小;随着成型压力的增大和保压时间的延长,抗渗水性增强;原料水分 10%时,抗渗水性最大,原料水分增大或减小抗渗水性均有所减弱;成型温度为 120 ℃时抗渗水性最大,成型温度过高或过低渗水性均有所降低。

4)针对桉树加工剩余物原料,1~2 mm 粒径范围、5~6 kN 成型压力、10%~15%原料水分、90~120 ℃成型温度、6~9 s 保压时间适宜颗粒燃料的生产。

[参考文献]

- [1] Li Hui, Liu Xinhua, Legros Robert, et al. Pelletization of torrefied sawdust and properties of torrefied pellets [J]. Applied Energy, 2012, 93: 680—685.
- [2] Gil M V, Oulego P, Casal M D, et al. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends [J]. Bioresour Technology, 2010, 101 (22): 8859—8867.
- [3] Obemberger I, Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour [J]. Biomass and Bioenergy, 2004, 27(6): 653—669.
- [4] 李美华. 生物质燃料致密成型参数的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [4] Li Meihua. The study on biofuel solidification parameter [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005.
- [5] Stelte Wolfgang, Holm Jens K, Sanadi Anand R, et al. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions[J]. Fuel, 2011, 90(11): 3285—3290.
- [6] 任爱玲, 闫 石. 生物质成型技术的研究[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(16): 4765—4768.

- [6] Ren Ailing, Yan Shi. Biomass briquetting technology research [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(16): 4765—4768.
- [7] 武 凯, 施水娟, 彭斌彬, 等. 环模制粒挤压过程力学建模及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 142—147.
- [7] Wu Kai, Shi Shuijuan, Peng Binbin, et al. Modeling and analysis on extruding force in pelleting process [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 142—147.
- [8] Kaliyan N, Vance Morey R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products [J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(3): 337—359.
- [9] 景元琢, 董玉平, 盖 超, 等. 生物质固化成型技术研究进展与展望[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 72—77.
- [9] Jing Yuanzhuo, Dong Yuping, Gai Chao, et al. Research development and prospects of biomass briquetting technology [J]. Engineering Sciences, 2011, 13(2): 72—77.
- [10] 姜 洋, 曲静霞, 郭 军, 等. 生物质颗粒燃料成型条件的研究[J]. 可再生能源, 2006, 24(5): 16—18.
- [10] Jiang Yang, Qu Jingxia, Guo Jun, et al. Study on the formation conditions of biomass pellet [J]. Renewable Energy Resources, 2006, 24(5): 16—18.
- [11] Kaliyan N, Morey R V. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from com stover and switchgrass [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(3): 1082—1090.
- [12] 陈树人, 段 建, 姚 勇, 等. 环模式成型机压缩水稻秆成型工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 32—41.
- [12] Chen Shuren, Duan Jian, Yao Yong, et al. Optimization of technique parameters of annular mould briquetting machine for straw briquette compressing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(22): 32—41.
- [13] Kaliyan N, Vance Morey R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products [J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(3): 337—359.
- [14] Mani S, Tabil L G, Sokhansanj S. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species [J]. Canadian Biosystems Engineering, 2004, 46(3): 55—61.
- [15] 王功亮, 姜 洋, 李伟振, 等. 基于响应面法的玉米秸秆成型工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 223—227.
- [15] Wang Gongliang, Jiang Yang, Li Weizhen, et al. Process optimization of corn stover compression molding experiments based on response surface method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(13): 223—227.
- [16] Rhén Christofer, Gref Rolf, Sjöström Michael, et al. Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets [J]. Fuel Process Technology, 2005, 87(1): 11—16.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFECT OF MOLDING PARAMETERS ON QUALITY OF EUCALYPTUS RESIDUE PELLETS

Jiang Yang^{1,2}, Li Weizhen², Jiang Enchen¹, Wang Gongliang²

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Using eucalyptus residue as raw material, compression molding experiment was conducted in YM-10T longmen hydraulic press and pellet radial compression experiment was conducted in INSTRON5564 universal material testing machine to analyze the effect of molding parameters on pellet quality (density, deformation resistance and water permeability resistance). Considering the energy consumption, yield and operating condition of actual production process, the suitable pellet production condition is 1-2 mm particle size, 5-6 kN molding pressure, 10%-15% material moisture, 90-120 °C molding temperature and 6-9 s holding time.

Keywords: eucalyptus residue; quality of eucalyptus residue pellet; molding parameter; density