

秸秆固化成型工艺对成型块品质的影响*

侯振东 田潇瑜 徐 杨
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】以玉米秸秆为研究对象,采用自制秸秆固化成型设备生产成型块,分别考察成型压力、加热温度及物料含水率对成型块物理品质和力学性能的影响,引入轴向位移、径向峰值位移、峰值压力和名义应力等概念衡量成型块的力学性能。研究表明:成型压力、温度及物料含水率对成型块的松弛密度、抗变形性和抗渗水性影响显著,当压力在60~90 MPa,加热温度在75~100℃,物料含水率在8%~12%时,可以生产出性能优良且便于储运的成型块。

关键词: 玉米秸秆 固化成型 工艺参数 物理品质 力学性能
中图分类号: S216.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)05-0086-04

Effect of Densification Processing on Physical Quality
and Mechanical Properties of Corn Stover

Hou Zhendong Tian Xiaoyu Xu Yang
(School of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Corn stover was taken as the object in the research. The material and compression character, the effects of heating temperature, moisture content and pressure on the physical quality and mechanical properties of corn stover were studied respectively. During the study, axial displacement, diametrical peak displacement and peak stress were all used to scale mechanics properties of corn stover. The results showed that when compression pressure of 60~90 MPa applied, moisture content of the grind was 8%~12% and heating temperature was at 75~100℃, the produced briquettes was with high-quality which was easy to store and transport.

Key words Corn stover, Densification, Parameters, Physical quality, Mechanical properties

引言

生物质能以资源丰富、生态环境友好的优点,已成为能源和环境领域研究的新热点^[1~2]。在生物质压缩成型技术的研究方面,国内外研究人员已经做了许多工作。研究主要集中在成型机具的研制、成型原理的研究、成型工艺的改进等方面。目前国内对生物质压缩成型的研究,主要集中在生物质压缩过程的压缩特性、机械特性、流变特性

和成型工艺等方面的试验研究和理论探讨,对成型块力学性能的评价在国内还没有统一的标准,早期的评价方法是碾压、摔碎等,误差较大,重复性与可比性较低^[3~8]。本试验在调研国外标准的基础上,提出采用万能材料试验机,考察不同压力、加热温度及含水率条件下,成型块的径向、轴向峰值压力及位移等指标,得出成型效果好的工艺参数范围,为生物质成型块力学性能评价标准和成型块的工业化生产提供理论依据。

收稿日期: 2009-06-03 修回日期: 2009-11-20
* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD07A14)
作者简介: 侯振东,硕士生,主要从事农业生物质材料研究, E-mail: zhendong1985@126.com
通讯作者: 徐杨,教授,博士生导师,主要从事新材料新工艺研究, E-mail: xuyang@cau.edu.cn

1 试验条件与方法

1.1 试验条件

本试验用原料为当年收获的玉米秸秆,经揉切粉碎使其粒度达到 5 ~ 8 mm。主要的设备包括: MFKP66X45 型粉碎机(江苏牧羊集团有限公司)、101A-2 型干燥箱(上海市试验仪器总厂)、AWH-3 型电子天平(感量 0.1)、KSW-4-11 型温度控制箱(北京电炉厂)、自制压缩装置(图 1)、PT-5LD 型手持式红外线测温仪(日本 OPTEX 公司)、INSTRON-4411 型万能材料试验机(英国 INSTRON 公司)、XWW-20 型万能材料试验机(承德金建检测仪器有限公司)、瓷坩埚、游标卡尺等。

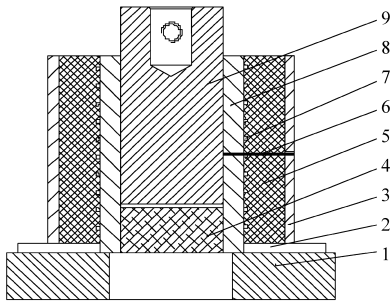


图 1 固化成型设备简图
Fig. 1 Densification equipment diagram

1、2. 法兰 3. 外套筒 4. 成型块 5. 石棉 6. 热电偶 7. 电阻丝 8. 内套筒 9. 压头

1.2 试验方法

1.2.1 不同含水率原料的制备

不同含水率物料的制取方法为:烘干玉米秸秆物料,去除物料中的游离水,使其达到绝干状态,烘干温度为 120℃,烘干时间 12 h。将烘干物料冷却至室温,密封保存备用。根据所需含水率计算需要喷洒的水量。称取一定质量的绝干物料,将由含水率计算得到的所需添加水量均匀地喷洒在干物料上,并用密封袋密封保存一周,使袋中物料的含水率均一。本次试验所需含水率分别取 5%、8%、12%、16%、20%。

1.2.2 成型块的制备工艺流程

称取不同含水率的物料 50 g,将其填充于自制成型套筒中,压头向下运动开始加压,当压力达到预定值时停止,保压 30 s,减压卸载得到 $\phi 50$ mm 成型块。在考察温度对于成型块性能的影响试验中,利用温度控制箱、热电偶控制成型筒腔内温度,并在压制前用手持式红外线测温仪测量腔内物料温度。当物料温度与腔内温度达到一致时,压制成型块。玉米秸秆固化成型的工艺流程如图 2 所示。

1.2.3 性能指标的测试方法

(1) 松弛密度 不同成型压力条件下制成的成

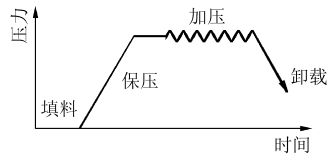


图 2 固化成型工艺曲线
Fig. 2 Process curve of densification

型块,静置 7 d 后用游标卡尺测量其直径和厚度,根据密度的计算公式,计算出成型块的松弛密度。

(2) 抗变形性 抗变形性表现在轴向或径向承载时成型块所具有的承受能力,具体表现为响应方向上的抗变形性压力、位移、应力和应变。径向抗变形性 3 个指标分别为峰值压力即成型块与万能材料试验机为线接触,测定其径向在连续加载受压情况下破裂的最大压力;径向位移为成型块抗压破裂所发生的位移变形;名义应力为成型块受压过程中的平均应力与试块厚度的比值。轴向抗变形性的指标为轴向位移,试验中成型块与万能材料试验机为点接触,测定其在加载受压且最大压力为 4.5 kN 时变形的位移。

(3) 抗渗水性 将成型块置于 20℃ 的水浴锅中,60 s 后取出称重,计算吸收的水量,吸水量与原样品质量之比,即能反应成型块的抗渗水性。

2 结果与分析

2.1 成型压力对成型块性能的影响

试验条件:温度 25℃,物料含水率为 8% 左右,考察成型压力为 10 ~ 120 MPa 内间隔 10 MPa 的 11 个压力值下成型块的性能特点,结果如图 3 所示。

图 3a 为不同成型压力下成型块的松弛密度曲线,随着成型压力的增大,成型块的松弛密度提高,当压力大于 60 MPa 时,松弛密度增大的趋势明显减缓。图 3b ~ 3e 为不同成型压力下成型块的抗变形性曲线,随着成型压力的增大,成型块的变形抗力增大,变形位移减小及抗变形能力提高,在大于 60 MPa 时,抗变形性的增高逐渐趋于平缓。图 3f 为不同成型压力下成型块的抗渗水性曲线,整体上而言,渗水率随着成型压力的增大而减小。这是由于外部压力使成型块内部颗粒之间结合紧密,在垂直于最大主应力的方向上,粒子向四周延展,粒子间以相互啮合的形式结合;在沿着最大主应力的方向上,粒子变薄,成为薄片状,粒子层之间以相互贴合的形式结合^[4]。随着成型压力的增大,成型块物质的结合力增大,结合强度提高,致密度大。由于农业物料的分散性大,有的物料含有土等杂质,在渗水试验中有掉渣的现象,图中出现的某几个点数据偏离的情况是正常的。同时,考虑成型压力过大对设备的要求相

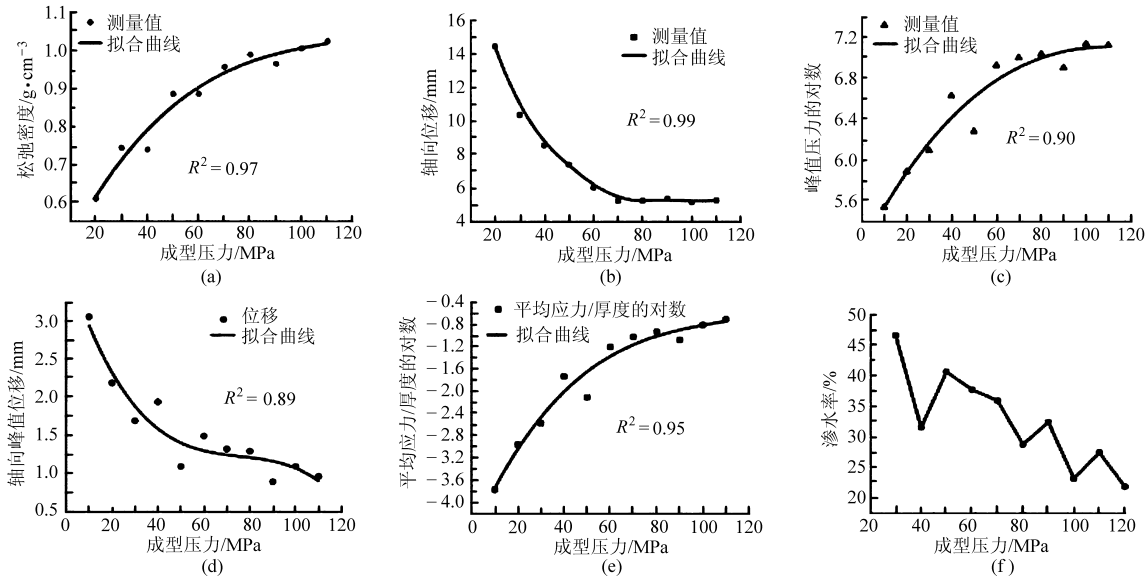


图 3 成型压力与成型块物理品质力学特性的关系

Fig.3 Relation curves between pressure and physical quality and mechanical properties of briquette

(a) 成型压力与松弛密度 (b) 成型压力与轴向位移 (c) 成型压力与峰值压力的对数
(d) 成型压力与径向位移 (e) 成型压力与名义应力的对数 (f) 成型压力与抗渗水性

应提高,而对提高成型块性能不明显,易造成能源浪费。综上所述,选取成型压力为 60 ~ 90 MPa 较为经济适宜。

2.2 温度对成型效果的影响

物料含水率为 8% 左右,考察加热温度为 25、50、75、110 及 140℃,成型压力为 50、70、90、110 MPa 时成型块的性能,结果如图 4 所示。

图 4a 为不同温度及压力条件下的松弛密度曲线,随着加热温度的提高,成型块的松弛密度总体呈提高的趋势,但当温度高于 75℃ 时松弛密度增加减

缓;当压力为 110 MPa 时,高温下成型块的松弛密度有所下降,这是由于高温高压下物料表面的炭化结果;在同一温度下,成型压力越大松弛密度越大。图 4b、4c 为不同温度及压力条件下的抗变形性曲线,随着加热温度的提高,成型块的轴向位移减小,在大于 75℃ 时变化趋势渐缓;成型块的径向峰值压力先增加后略有减小,同一温度下,随着成型压力的增大,成型块的抗变形性能提高。图 4d 为不同温度及压力条件下的抗渗水性曲线,随着温度的提高,成型块的抗渗水性下降;同一温度下,随着成型压力的

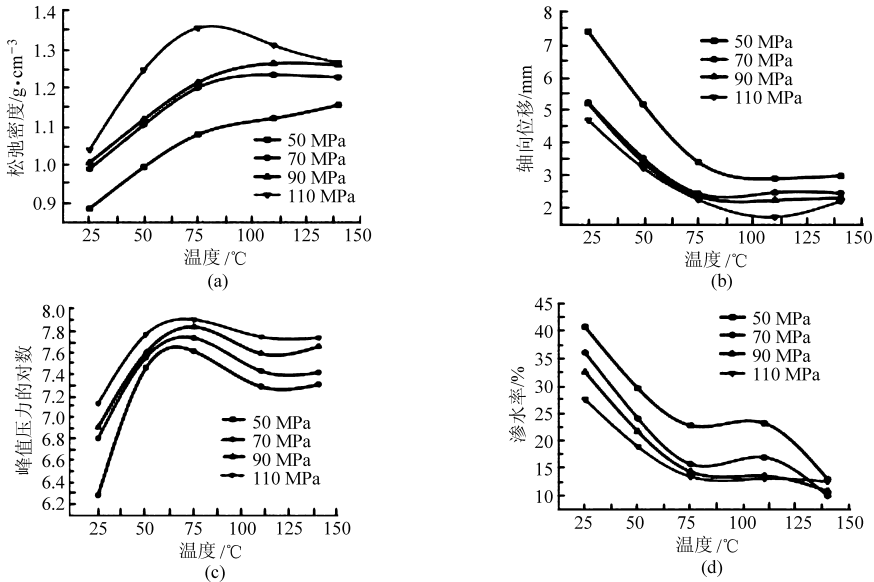


图 4 加热温度与成型块物理品质力学特性的关系

Fig.4 Relation curves between temperature and physical quality and mechanical properties of briquette

(a) 加热温度与松弛密度 (b) 加热温度与轴向位移 (c) 加热温度与径向峰值压力的对数 (d) 加热温度与抗渗水性

增大,成型块的抗渗水性下降。上述现象主要是由于加热使原料的木质素软化,起到粘结剂的作用,另一方面使原料本身变软,变得容易压缩。同时,75℃达到了物料玻璃化转变温度,增强木质素等物质的活性,使成型块具有更好的耐久性^[7,9]。在加热温度较高时,考虑物料与成型筒内壁摩擦产生热能,使成型块局部温度升高,尤其对成型块径向抗变形性有一定影响,故选取成型温度在 75 ~ 100℃ 左右较适宜。

2.3 含水率对成型效果的影响

在成型压力为 70 MPa,温度为 25℃ 时,考察物料含水率分别为 5%、8%、12%、16%、20% 时成型块的性能,结果如表 1 所示。可以看出,含水率在 8% ~ 12% 时,成型块的性能指标较好,相反,偏大或偏小的含水率使成型块的性能下降。这是因为含水率过低,物料不能很好结合,不利于木质素的塑化和热量的传递;而含水率过高,则使物料间的结合趋于松散、缝隙变大,导致成型块易吸水解离,同时挤压过程中物料的水分受热蒸发,大量的水汽通过成型筒迅速排放,使物料难以成型^[10-11]。

表 1 不同含水率条件下成型块的品质特性

Tab.1 Characteristics of briquette properties under different moisture contents

含水率/%	平均松弛密度/g·cm ⁻³	轴向位移/mm	峰值压力的对数 <i>N</i>	渗水率/%
5	0.97	5.28	6.96	23.20*
8	1.07*	3.96*	7.32*	24.57*
12	1.06*	4.89*	7.27*	28.26*
16	1.04	5.56	7.19	35.95
20	0.86	9.49	6.62	38.48

注:* 表示成型块品质较好的数据。

3 结束语

本文引入轴向位移、径向峰值位移、峰值压力和名义应力等概念衡量成型块的力学性能是可行的。综合考虑成型压力、温度及含水率对成型块物理品质力学特性的影响,选取成型压力为 60 ~ 90 MPa,加热温度为 75 ~ 100℃,物料含水率在 8% ~ 12% 之间的工艺条件,制成的成型块可以满足使用、储运要求,达到节能的目的,为生物质固化成型的工业化生产提供参考依据。

参 考 文 献

1 周中仁,吴文良. 生物质能研究现状及展望[J]. 农业工程学报,2005,21(12):12 ~ 15.
Zhou Zhongren, Wu Wenliang. Status and prospects of biomass energy[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 12 ~ 15. (in Chinese)

2 吴创之,周肇秋,阴秀丽,等. 我国生物质能源发展现状与思考[J]. 农业机械学报,2009,40(1):91 ~ 99.
Wu Chuangzhi, Zhou Zhaoqiu, Yin Xiuli, et al. Current status of biomass energy development in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(1):91 ~ 99. (in Chinese)

3 何元斌. 生物质压缩成型燃料及成型技术[J]. 农村能源,1995(6):19 ~ 21.
He Yuanbin, Review of the application of silicone rubber in solid rocket[J]. Rural Energy, 1995(6): 19 ~ 21. (in Chinese)

4 Nalladurai Kaliyan, Vance Morey R. Roll press briquetting of corn stover and switchgrass: a pilot scale continuous briquetting study[C]//2007 Annual Meeting Paper No. 076044. St. Joseph, Mich.: ASABE, 2007.

5 王春光,杨明韶,高煊文. 农业纤维物料压缩流变研究现状[J]. 农业机械学报,1998,29(1):141 ~ 144.
Wang Chunguang, Yang Mingshao, Gao Huanwen. Compressing and rheological study on agricultural fibrous materials[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1998,29(1):141 ~ 144. (in Chinese)

6 范林,王春光,王洪波,等. 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, et al. Study on the compressibility of maize straw rubbed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(11):76 ~ 80. (in Chinese)

7 薛伟,王秀波. 采伐剩余物固化成型技术[J]. 森林工程,1998,14(4):4 ~ 5.

8 盛奎川,吴杰. 生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(2):242 ~ 245.
Sheng Kuichuan, Wu Jie. Review on physical properties and forming mechanisms of biomass briquettes[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2):242 ~ 245. (in Chinese)

9 王民,郭康权,朱文荣. 秸秆制作成型燃料的试验研究[J]. 农业工程学报,1993,9(1):99 ~ 104.
Wang Min, Guo Kangquan, Zhu Wenrong. A preliminary study on the preparation of pressurized straw briquette[J]. Transactions of the CSAE, 1993, 9(1):99 ~ 104. (in Chinese)

10 郭康权,赵东. 植物秸秆模压成型流变特性的试验研究[J]. 西北农业大学学报,1995,23(3):11 ~ 15.
Guo Kangquan, Zhao Dong. An experimental study on the rheological properties of the cornstalk in the mold press process [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 1995, 23(3):11 ~ 15. (in Chinese)

11 Nalladurai Kaliyan, Vance Morey R. Densification characteristics of corn stover and switchgrass[C]//2006 ASAE Annual Meeting Paper No.066174. St. Joseph, Mich.: ASABE, 2006.