

# 低值胶结性物质制备秸秆颗粒燃料成型特性研究

刘超，高淑宁，鲍鹤鸣，关欣

(上海理工大学能源与动力工程学院，上海200093)

摘要：在原有利用农作物秸秆作为成型原料的基础上，添加具有胶黏性的低值胶黏剂，使得生物质成型燃料的成型特性得到进一步提升。试验数据表明，混合了造纸厂废液而制备成的成型燃料，其含水率的高低对成型特性具有显著影响，含水率过低或过高都无法成型。数据显示，当农作物秸秆与造纸厂黑液配比为7:3，含水率为12%时，密度为1457.07kg/m<sup>3</sup>，抗跌落强度为99.60%，平均抗压强度为134.44N，其成型特性、抗吸湿性、耐久性最佳。

## 0引言

生物质能源是一种具有广泛内涵的可再生能源，生物质中所蕴含的能量称为生物质能[1-3]。目前，我国农作物种植面积达100万km<sup>2</sup>，不考虑不可抗力因素，年产农作物秸秆大约为7亿t，折合3.5亿t标准煤[4]，因此，发展生物质能源势在必行[5]。然而目前农作物秸秆利用率较低，且利用过程中对环境产生破坏，造成生物质能源巨大浪费的同时，也破坏环境平衡。所以，高效利用生物质能源，对改善我国能源利用结构、弱化化石能源占比和促进绿色生态平衡具有重要意义[6]。

生物质固化成型主要依赖生物质中的木质素。当压力增加时，木质素本身的粒子特性发生改变，粒子变形，并随之产生塑性流动，垂直于粒子方向上的最大应力被延展，并且随着压力的逐渐增大，粒子之间相互填充空隙，伴随着压辊和物料之间、物料与物料之间的摩擦作用而产生的大量热量，使木质素被加热至软化温度(70~100℃)，木质素的粘合力增强，软化后的木质素和生物质原有的纤维素联合作用，使生物质成型。

本文中研究利用低廉、易取、原本难处理的胶黏剂中的木质素，使农作物秸秆在成型时的粘合力增强。在原料处理阶段，添加相对液态的胶黏剂，使原料之间充分混合，生物质成型得到成型颗粒燃料。并进一步研究成型燃料含水率、原料配比对成型燃料松弛密度、抗跌落性、抗吸湿性及抗压强度的影响程度，综合评价成型颗粒燃料的耐久性。

## 1成型燃料的成型特性研究方法

生物质原料(农作物秸秆)在经过原料收集、机械性粉碎、干燥、混合搅拌造纸厂黑液、晾干干燥、适当调节含水率、压辊式成型机、成型冷却，这一系列流程后，需对其产品进行性能检测[7]，熟悉认知该成型燃料的物理特性，以改善成型技术中可能存在的缺点，完善制作工艺。

## 1.1 成型颗粒燃料的密度测量方法

制备完成成型燃料后, 将其放置室温中冷却 2 h, 从中挑取 20 根长度大致相同的成型试样。由成型机压孔可得成型颗粒燃料的直径  $d$ , 利用实验室的游标卡尺测量其长度  $l(h)$ , 用天平测得试样的质量  $m$ , 密度按公式(1) 计算, 最后取平均值。

$$\rho = 4m/\pi d^2 l \quad (1)$$

## 1.2 成型颗粒燃料的跌落性测试方法

制备完成成型燃料后, 称取一定质量  $m_1$  的成型燃料, 用试样袋装好, 然后从 2 m 高处让其自由落体, 跌落在硬地上, 跌落 2 次后将依旧完好的成型颗粒燃料取出, 称量跌落后的碎屑  $m_2$ , 按公式(2) 计算成型燃料的破碎率。

$$V = m_2/m_1 \times 100\% \quad (2)$$

## 1.3 成型颗粒燃料的吸湿性测试方法

将成型燃料放置于开放环境中, 间隔一定时间测量不同配比、不同含水率颗粒燃料的质量差  $\Delta m$ , 并与颗粒燃料吸湿前的质量  $m$  进行比较, 得出成型燃料的吸湿率  $v$ 。

$$v = \Delta m/m \times 100\% \quad (3)$$

## 1.4 成型颗粒燃料的抗压强度测试方法

制备完成成型燃料后, 每组配比成型燃料选取 20 根。采用压力机进行屈服应力的测试: 将待测试样置于压力机的压块正中央, 通过机器仪表调整上下压块模具之间的距离, 使用压力机既定压力值进行压力测试, 记录燃料屈服应力的数值。

## 2低值胶结性物质制备秸秆颗粒燃料成型特性的实验研究

### 2.1试验原料特性分析

实验用农作物秸秆原料取自江苏省，在作物被割除后，对其秸秆进行干燥粉碎处理，将秸秆粉碎至粉末状，搅拌均匀后使用干燥箱（见图1）及精度天平（见图2）测得农作物秸秆的含水率见表1。



图 1 干燥箱



图 2 精度天平

表1 农作物秸秆原料水分测量数据

瓶数	瓶重/g	原料/g	实验测量数据记录			
			第一次测量/g	第二次测量/g	第三次测量/g	含水率/%
1	18.6686	1.0183	19.6006	19.5995	19.5951	8.703
2	18.3729	1.0046	19.2915	19.2931	19.2919	8.5208
3	18.9616	0.9944	19.8716	19.8726	19.8714	8.508

由表1得知农作物秸秆的含水率在8.52%左右，为使实验原料摄取量相对科学，在表1的基础上，定农作物秸秆的含水率为8.52%。

实验用造纸厂废液选自上海周边某造纸厂，利用农作物秸秆含水率的测量方式方法，测得数据见表2。

表2 造纸厂废液原料水分测量数据

瓶数	瓶重/g	原料/g	实验测量数据记录					含水率/%
			测量1/g	测量2/g	测量3/g	测量4/g	测量5/g	
1	18.0438	5.0928	19.9688	19.8374	19.7204	19.6763	19.6419	68.62
2	18.4126	5.1515	20.3752	20.2401	20.1229	20.0765	20.0420	68.37
3	19.2201	6.1018	21.7890	21.5720	21.3870	21.3140	21.2586	66.59
4	17.8032	6.1067	20.4082	20.1824	19.9888	19.9136	19.8565	66.38

由表2可定该造纸厂废液的平均含水率为67%。此含水率显示出黑液为浊态物质，其水分较大，并伴有对秸秆作物的胶黏性。

## 2.2 仪器设备

试验仪器：天平（精度 $\pm 0.0001g$ ）、台秤（感量 $\pm 0.1g$ ）、电热鼓风干燥箱、颗粒状成型机（孔径6mm）、压力测试机（如图3）。



**图 3 平模碾压式成型机**

颗粒状成型机选择平模碾压成型机，其成型压制部件如图4所示。

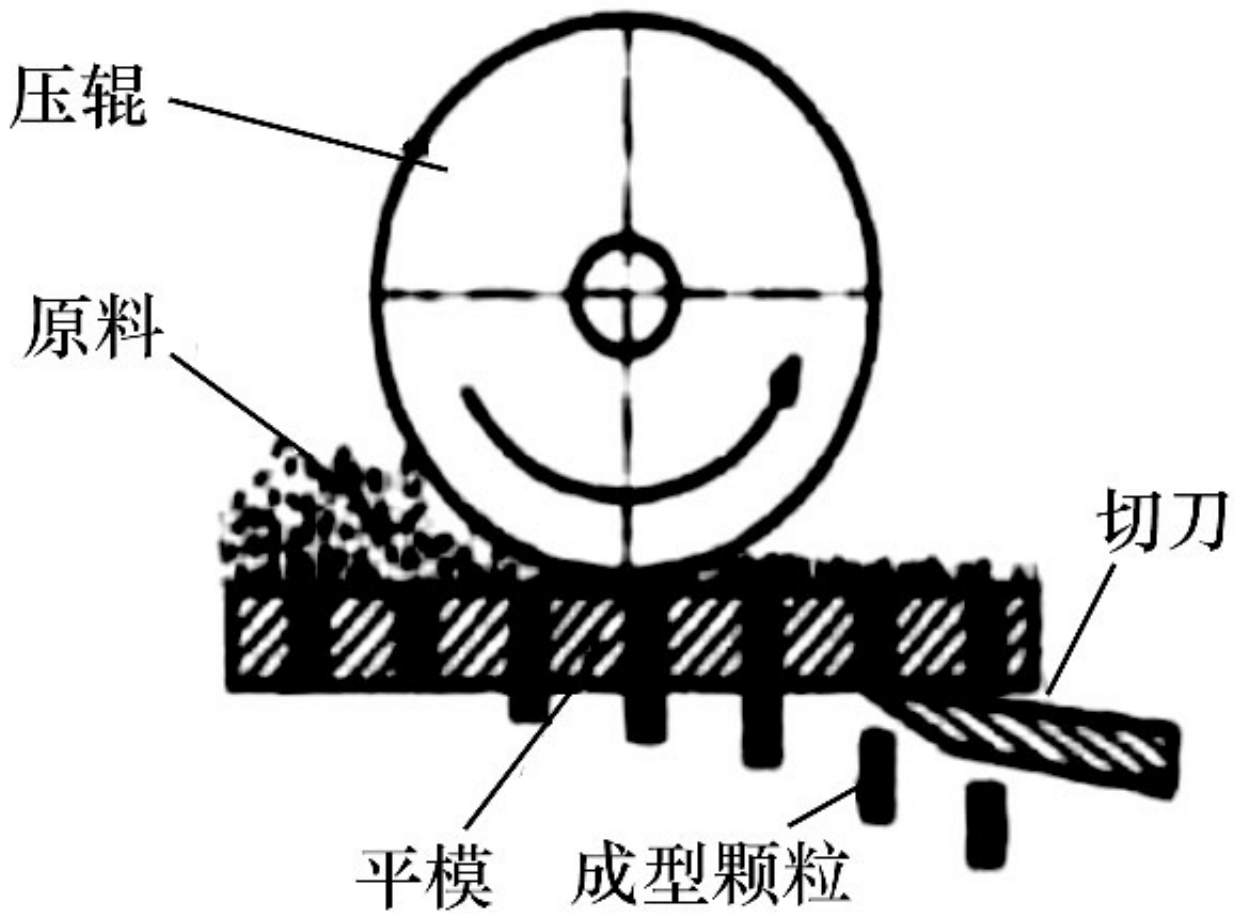


图 4 平模挤压成型部件结构示意图

2.3 颗粒成型燃料的试样制备

试验采取农作物原料与造纸厂黑液中各自所含固体的不同配比来制备不同成型燃料。具体试样配比参数（农作物黑液-含水率）为 7 : 3 - 12%、7 : 3 - 16%、7 : 3 - 18%、6 : 4 - 15%、5 : 5 - 16%、5 : 5 - 18%、5 : 5 - 22%。成型颗粒燃料产物如图5所示。

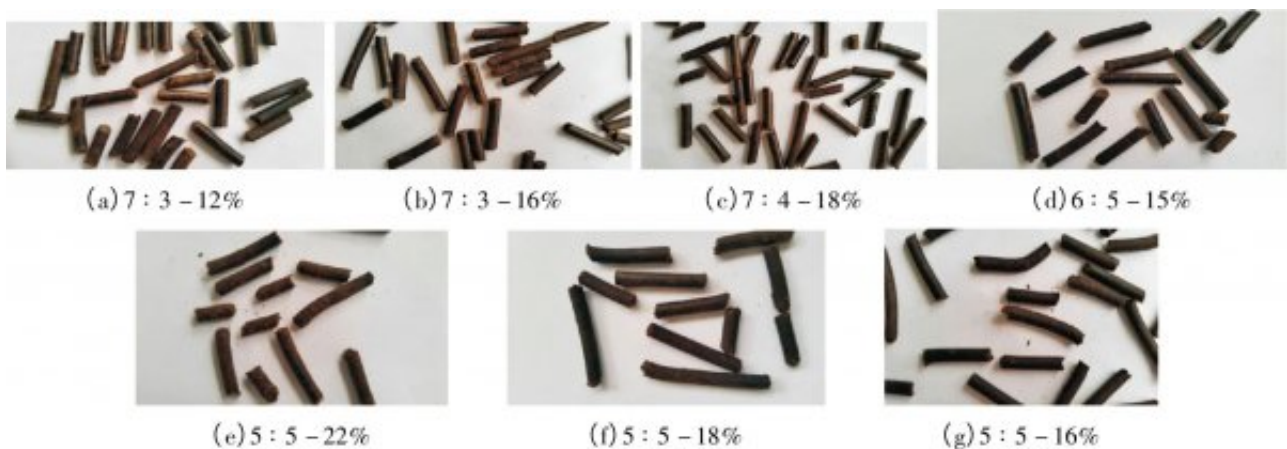


图 5 不同配比成型颗粒产物

2.4 颗粒成型燃料的含水率分析

用原料含水率的测量方法检测成型产物的含水率，得成型产品含水率如表3所示。

表3 成型产品含水率测量数据

配比	7:3			6:4	5:5		
含水率/%	12	16	18	15	16	18	22
外观特征	颜色棕黄、光泽、端面坚实、无裂纹	棕色稍浅、表面明显原料纤维状、少许毛料	偏黑、光泽、表面些许裂纹、毛料多	介于7:3-16%与5:5-16%之间	黑色、粗糙、毛料较多、些许裂纹、偏弯、偏软不易折	较黑、粗糙、毛料较多、裂纹较多、偏弯、较16%易折	深黑、粗糙、端面毛料、明显裂纹、易折、偏弯(成型失败)

由表3可知原料配比及含水率不同的成型产品在一系列的成型特性上存在较大的差异，观察图5(e)、图5(f)和图5(g)可知，在相同原料配比的基础上，含水率为22%的成型产品外观相对粗糙，表面无光泽，颜色较深，质地偏软，且从成型机中产出时，形状偏弯不直，表面裂纹较多，轴向应力较差，易折断，因此该配比、该含水率所得的成型产物在长度上表现出较短的现象，成型效果差。

在配比(5:5)含水率18%下，成型产物的成型特性得以加强，与含水率22%成型燃料相比，表面粗糙程度降低，裂纹减少，轴向应力加强，折断所需的力变强，但依旧存在成型产物偏弯的缺点。当黑液占比较高时，农作物秸秆吸收过多黑液，质地浸软。

观察图5(b)、图5(d)、图5(g)及表3中含水率为15%的成型产品物理特性可得，当含水率相同时，黑液占比越高，成型产物越弯，质地越软，且端面毛料明显偏多，折断所需力越低，裂纹增多。因此可得出结论：对于不同配比，外观特性随着造纸厂黑液占比的降低而增强，黑液占比与含水率共同影响成型燃料的物理特性。

### 2.5颗粒成型燃料的密度分析

利用1.1节中密度测量方法以及密度公式，测量成型产物的密度数据见表4。

表4 成型颗粒燃料的密度测量

配比	5:5			6:4	7:3		
含水率/%	16	18	22	15	12	16	18
密度/kg·m <sup>-3</sup>	1436.61	1402.07	1376.65	1447.42	1457.07	1432.95	1419.81

由于该实验选用的是平模碾压式成型机，对原料含水的要求较为宽松，能够适应10%~40%含水率的成型原料，成型颗粒燃料的密度为1000~1400kg/m<sup>3</sup>[8]。

图6和图7分别给出了配比7:3和5:5成型燃料密度比较。



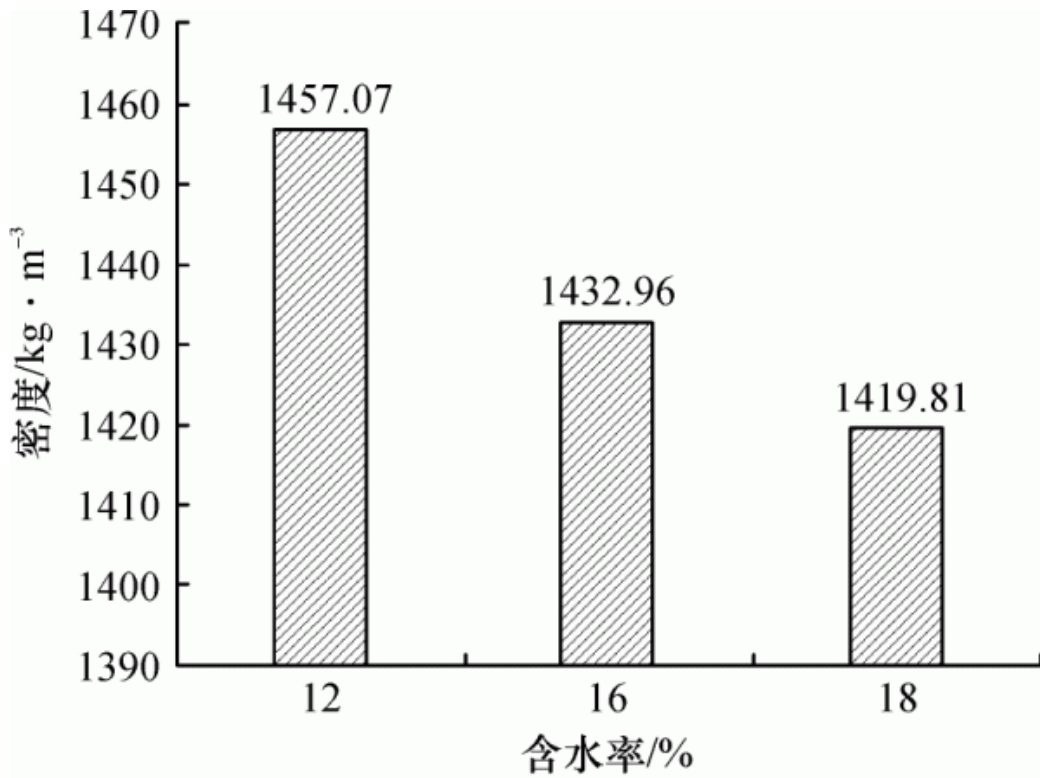


图6 配比7:3成型燃料密度比较

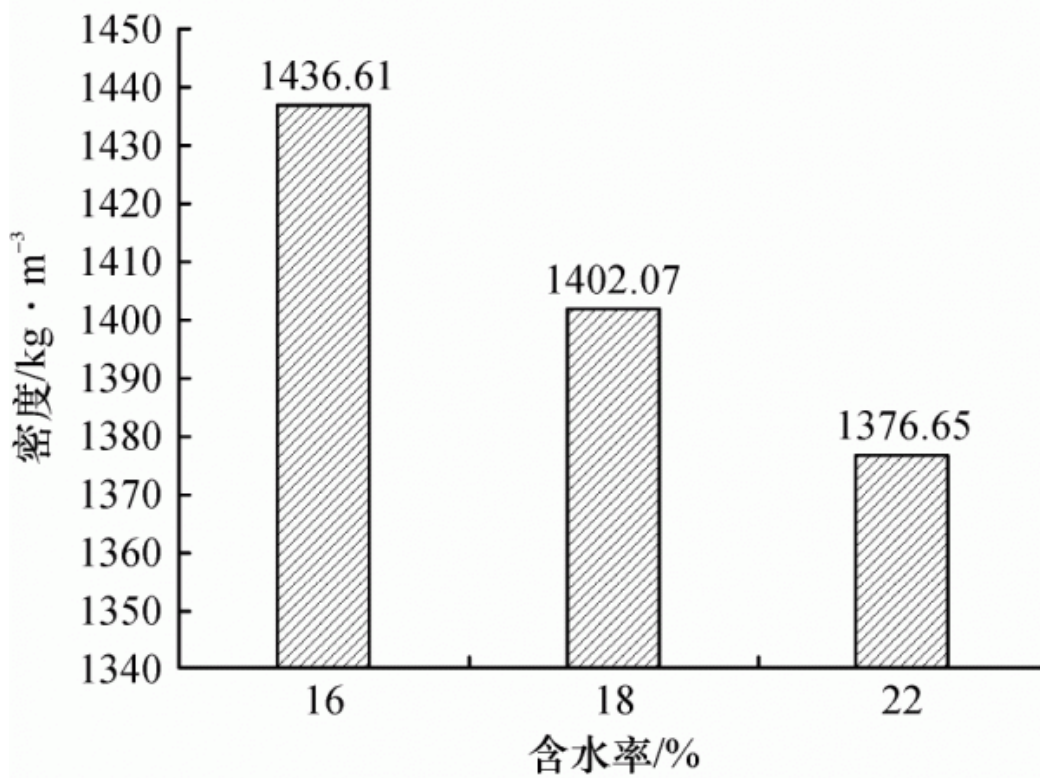


图7 配比5:5成型燃料密度比较

观察图6与图7可知，当成型燃料配比相同时，由于含水率不同，成型燃料的密度随含水率的图7配比5:5成型燃料密度比较增高而降低。具体原因如下：由于混合原料蒸发程度的不同，当混合原料含水率过高时，水分子使得原料传热系数增大，分子间力减小，空隙增多，粘结不牢，继而造成燃料密度降低。而当含水率为22%时，由于含水率过高，混合原料内部存在过多水分，导致生物质成型燃料挤压出成型模具后，水蒸气不能及时从成型模具中排出，导致体积膨胀，燃料成型失败。

图8给出了含水率15%，不同配比（7:3、6:4、5:5）的成型燃料密度测量数据。由图8可得，当含水率相同时，成型原料配比的的不同，对成型燃料的密度影响甚微。

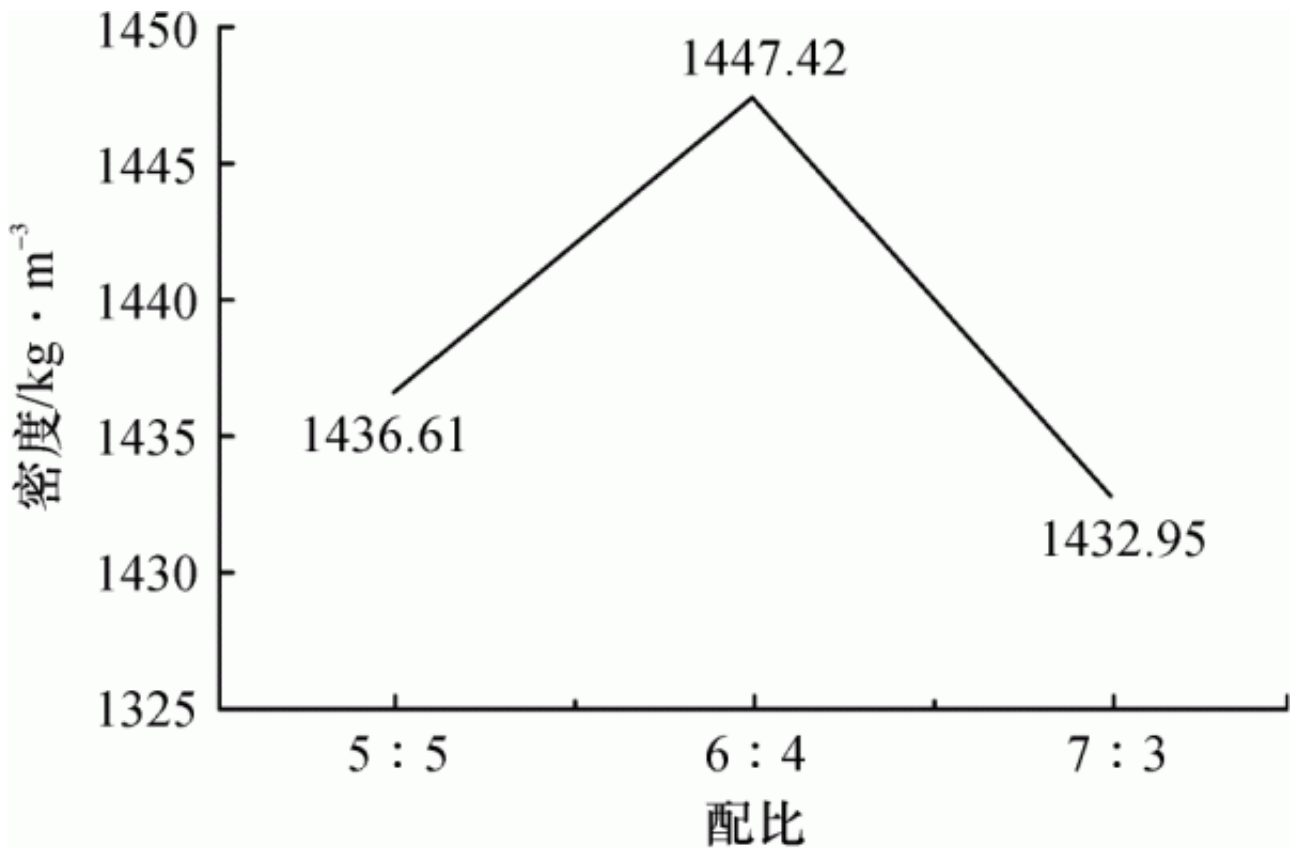


图8 相同含水率(15%)不同配比成型燃料密度

由表4中各比例成型燃料的密度值比较可见，含水率为12%、固体配比为7:3的成型产物的密度值最大。一方面，黑液中存在的木质素在软化温度下产生黏度，成型原料本身胶黏性增强，成型更为致密；另一方面，黑液占比越大，秸秆与黑液混合越均匀。而最终含水率仅与混合原料蒸发程度相关，含水率越低，则成型效果越佳。因此，在考虑成型原料固体配比时，需在黑液占比与含水率高低之间寻找最佳点，使成型效果最佳，而表4数据亦证实7:3的配比值较其他配比值成型产物更优，且密度值随含水率的增大而降低。

### 2.6颗粒成型燃料的跌落性研究

利用1.2节测跌落性方法，进行成型燃料跌落性试验，并记录数据于表5。

图9、图10及图11给出了不同配比、含水率对成型燃料破碎性的影响程度。

表5 成型燃料跌落数据

配比	5 : 5			6 : 4	7 : 3		
含水率 / %	16	18	22	15	12	16	18
跌落性 / %	99.46	98.67	99.44	99.52	99.60	99.60	99.57

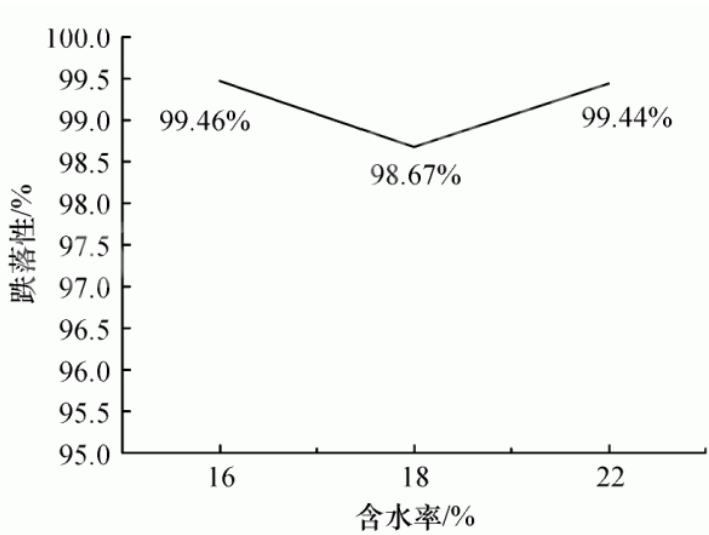


图9 配比5:5成型燃料跌碎强度

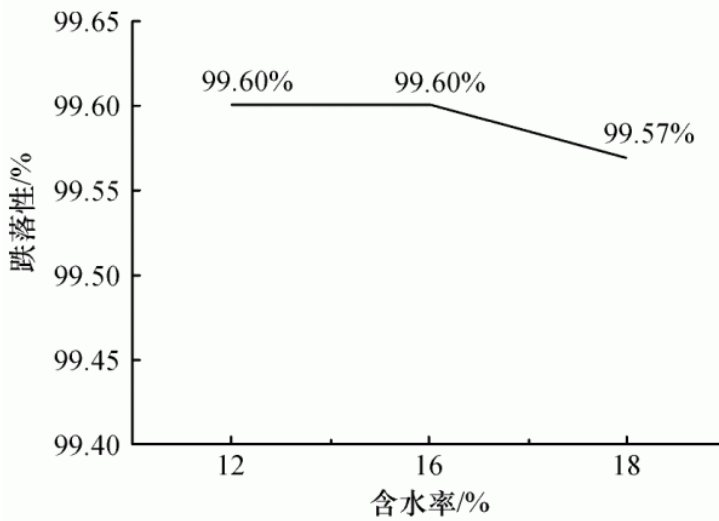


图10 配比7:3成型燃料跌碎强度

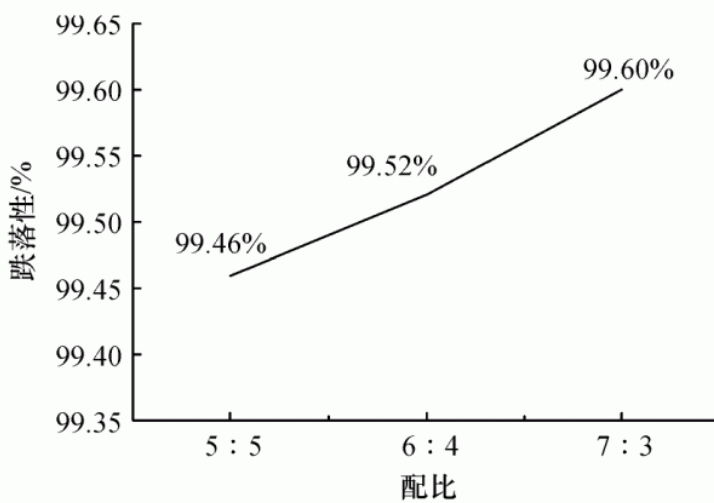


图11 相同含水率不同配比成型燃料跌碎强度

可以看出，配比为7:3的成型燃料的抗跌落性最强。将配比5:5、6:4以及7:3成型燃料的抗跌落性数值进行对比，可以得出，当黑液占比较少时，农作物秸秆的浸软程度较浅，成型燃料的抗跌落性增强。当成型燃料的含水率较低时，成型密度较高，成型颗粒燃料更加致密，成型抗跌落性更强。

这些高抗跌落性说明实验的几种成型燃料试样（除5:5 - 22%以外）都能满足包装、贮存、运输和使用过程中的要求，损坏较小。

### 2.7颗粒成型燃料的吸湿性研究

利用1.3节中吸湿性研究方法，进行吸湿性试验，并记录数据于表6中。

表6 成型燃料吸湿性数据记录

时间/h	7:3			6:4	5:5		
	12	16	18	15	16	18	22
0~6	0.342	0.437	0.398	0.412	0.405	0.646	0.836
6~12	0.265	0.403	0.365	0.376	0.363	0.536	0.763
12~24	0.296	0.363	0.338	0.347	0.341	0.421	0.572
24~48	0.021	0.054	0.067	0.035	0.085	0.104	0.123
48~72	0.0002	0.0007	0.0002	0.0003	0.0005	0.0009	0.001

据其他研究表明，成型燃料的抗吸湿性与纤维形状存在密切关系，纤维比表面大，成型燃料容易渗水；相反，由于纤维比表面积变小，纤维间空隙易于充填，可压缩性变大，使得成型燃料内部残存的内应力变小，从而削弱成型燃料的亲水性，提高抗吸湿性[9]。由表6可知，当混合原料配比相同时，含水率越大，吸湿率越大，抗吸湿性越差，相反则越佳，这一点跟成型燃料的密度有间接关系；当含水率相同时，物料占比对成型燃料吸湿率影响较小。其中7:3 - 12%的吸湿率最小，其抗吸湿性最好。

### 2.8颗粒成型燃料的抗压性研究

利用1.4节中测试抗压性的实验方法，可以分别得出不同原料配比的成型燃料的抗压性数据，具体数据记录在表7中。

表7 成型燃料抗压强度数据比较

配比		7:3			6:4	5:5	
含水率/%		12	16	18	15	16	18
抗压强度/N	最小	122.07	123.55	120.17	122.80	115.53	105.57
	最大	154.90	150.60	149.88	142.04	139.89	148.08
	平均	133.023			131.16	125.775	
离散程度/%		70.14	58.87	62.03	25.49	54.36	95.58

根据各配比成型燃料的抗压强度，研究成型原料配比不同对成型燃料抗压强度的影响：控制含水率为15%，比较各成型燃料抗压强度如图12所示。

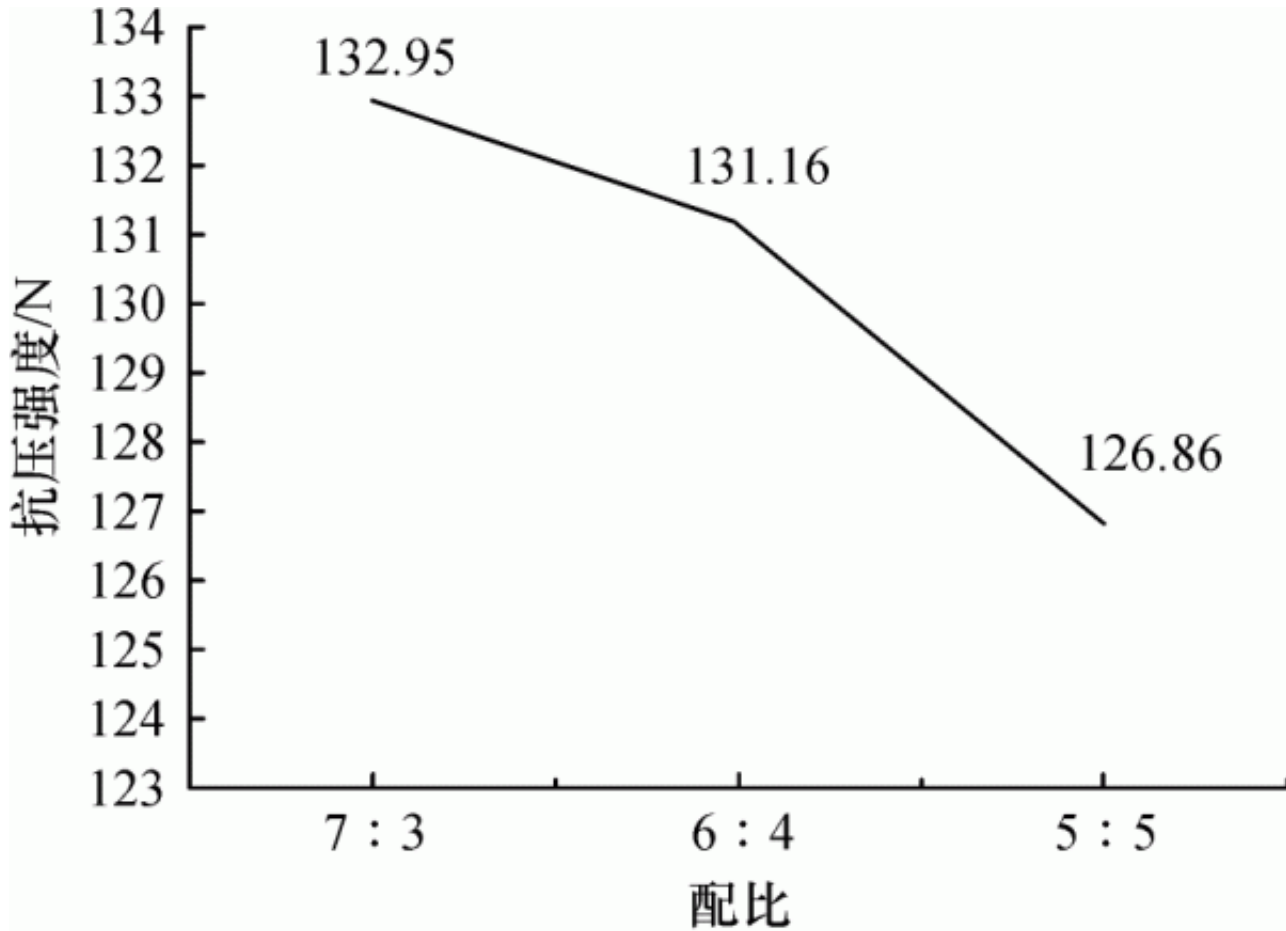


图 12 含水率 15% 不同配比成型燃料抗压强度

图12含水率15%不同配比成型燃料抗压强度由图12可知，当含水率相同时，不同原料配比所制成的成型燃料抗压强度之间存在差异，抗压强度随着造纸厂黑液占比的增加而降低。当造纸厂黑液占比过大时，造成成型燃料的质地偏软，进而影响成型燃料的抗压强度降低。因此，成型原料的配比是影响成型燃料抗压强度的因素之一。

控制成型原料配比相同（7 3），含水率对成型燃料抗压强度的影响如图13所示。

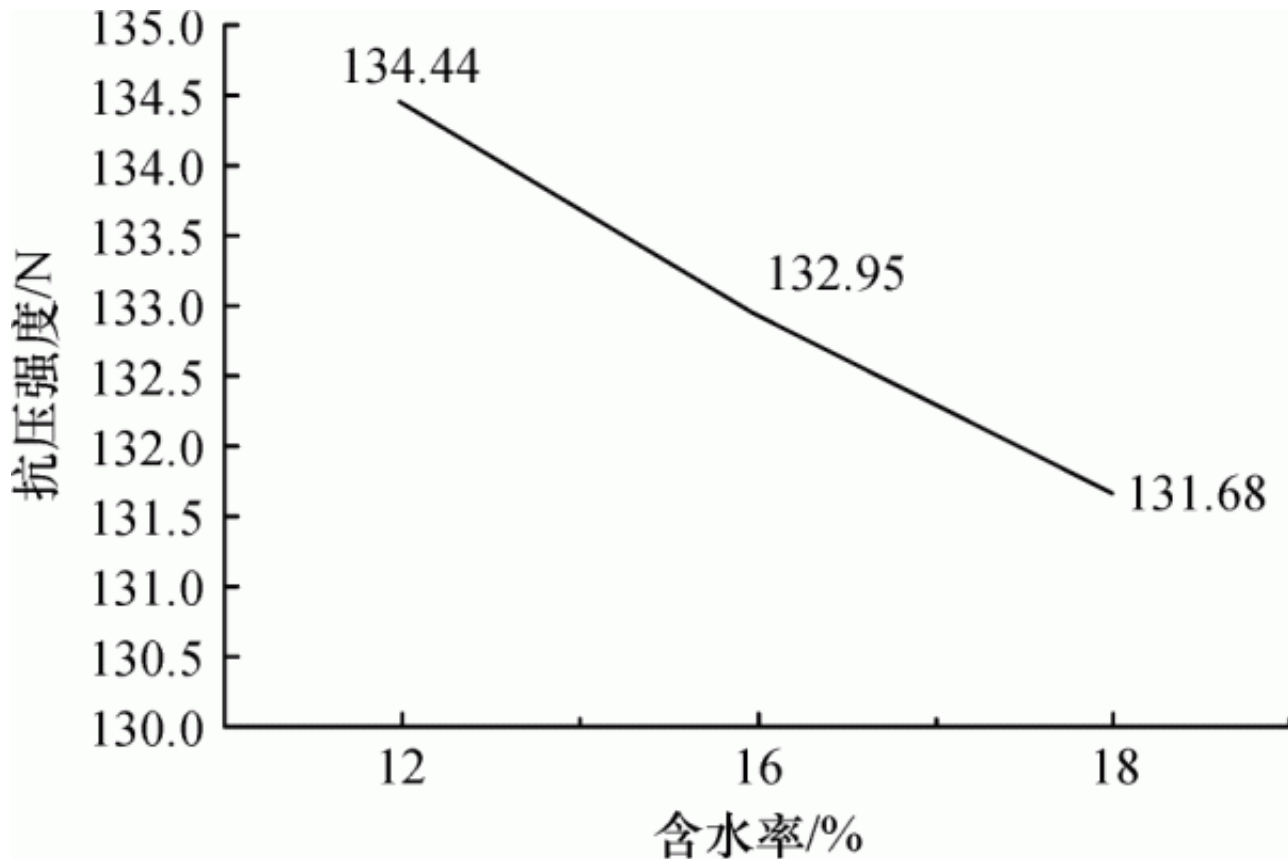


图 13 含水率对成型燃料抗压强度的影响

由图13可知，成型燃料的抗压性随着生物质原料含水率的降低而增强，然而，值得注意的是，含水率的低值有一个极限，因为过低的含水率易造成无法成型。

试验得知，原料的含水率是影响生物质抗压性的重要参数：含水率过高，导致成型燃料分子间力减小，空隙增多，胶黏性变差，粘结效果不良，抗压强度偏低，并且含水率较高时，成型燃料内部存在过多的水分子使生物质原料分子间距离增大，影响热量传递，降低了成型温度[10 - 11]，使生物质原料中的木质难以达到熔融温度，造成生物质自身胶黏性降低，影响生物质抗压性能；含水率过低，造成生物质原料体内相对缺乏水分这一自由基，继而影响水分与糖类混合形成胶体，降低了生物质原料的胶黏性，影响生物质抗压性能。

### 3结论

本试验采用了低廉的农作物秸秆原料，以及原本难处理的造纸厂黑液，制备价格低廉、清洁高效的生物质成型燃料。利用黑液中存在的木质素和控制成型原料的含水率以达到增强成型燃料的物理特性的目的。

(1) 黑液占比较高时，农作物秸秆吸收过多黑液，质地浸软，造成成型产物原料质地偏软，成型产物偏弯不直，且端面毛料明显偏多，折断所需力越低，裂纹增多。当对于不同配比而言时，外观特性随着造纸厂黑液占比的降低而增强。

(2) 含水率为12%，固体配比为7 : 3的成型产物的密度值最大，且密度值随含水率的增大而减小。当成型燃料的含水率较低时，成型密度较高，成型颗粒燃料更加致密，成型抗跌落性更强。

(3) 当混合原料配比相同时，含水率越大，吸湿率越大，抗吸湿性越差，相反则越佳。当含水率相同时，物料占比对成型燃料吸湿率影响较小。其中7 : 3 - 12%的吸湿率最小，抗吸湿性最好。

(4) 原料的含水率是影响生物质抗压性的重要参数。含水率过高时，过多水分蒸发吸热，降低了成型温度，造成生物质自身胶黏性降低，影响生物质抗压性能；含水率过低，造成生物质原料体内相对缺乏水分这一自由基，继而影

响水分与糖类混合形成胶体，降低了生物质原料的胶黏性，影响生物质抗压性能。

## 参考文献：

- [1] 张无敌, 宋洪川, 韦小岗, 等. 21 世纪发展生物质能前景广阔 [J]. 中国能源, 2001 (5) :35 – 38.
- [2] 蒋剑春. 生物质能源应用研究现状与发展前景 [J]. 林产化学与工业, 2002, 22 (2) :75 – 80.
- [3] HARDING N S, ADAMS B R. Biomass as a reburning fuel: a specialized cofiring application [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19 (6) :429 – 445.
- [4] 王庆和, 孙 勇. 我国生物质燃料固化成型设备研究现状 [J]. 农机化研究, 2008 (1) :203 – 205.
- [5] 雷廷宙, 沈胜强, 李在峰, 等. 生物质干燥机的设计及试验研究 [J]. 可再生能源:2006 (3) :29 – 32.
- [6] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 可再生能源中长期发展规划 [R]. 北京:2007.
- [7] 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.
- [8] 孔雪辉, 王述洋, 黎粤华. 生物质燃料固化成型设备发展现状及趋势 [J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23 (3) :12 – 13, 21.
- [9] 杨 华, 刘石彩, 赵佳平, 等. 生物质棒状成型燃料的物理特性研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 2 (2) :114 – 118.
- [10] 攀峰鸣. 我国农村秸秆成型燃料规模化技术研究 [D]. 郑州:河南农业大学, 2005.
- [11] LEHTIKANNAS P. Storage effects on pelletised saw dust, logging residues and bark [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19 (5) :287 – 293.



原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/170726.html>