

## 牛粪混合煤渣压缩成型蜂窝煤特性研究

韩磊, 董红敏, 陶秀萍

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部畜牧环境设施设备质量监督检验测试中心, 农业部农业环境与气候变化重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**针对牛粪利用方式单一,不能充分利用而造成环境污染等问题,结合牛粪是一种可燃烧的生物质资源,通过合理加工可以充分利用的特点,进行了牛粪、煤渣在不同质量混合比下压缩成型蜂窝煤的理化指标测试及可行性研究。试验表明,当牛粪和煤混合小于4:6时可制成型煤,其含硫量明显低于原煤,牛粪、煤渣混合压缩成型蜂窝煤是可行性的。

**关键词:**牛粪;压缩成型;蜂窝煤

中图分类号:S216.1 文献标识码:A 文章编号:1008-0864(2009)03-0126-05

## Studies on the Characteristics of Honeycomb Briquette Compressed from Cattle Manure and Coal Mixture

HAN Lei, DONG Hong-min, TAO Xiu-ping

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Animal Environment Facility Surveillance, Inspection & Testing Center(Beijing), MOA; Lab of Environment and Climate Change in Agriculture, MOA, Beijing 100081, China)

**Abstract:**Cattle manure poses tremendous environmental problems, since it can not be fully utilized due to the monotony of the treatment technology. Considering the combustibility of cattle manure as a biomass resource, the feasibility of compress molding technology and the characteristics of honeycomb briquette of cattle manure and coal mixture were investigated at different weight ratios of cattle manure to coal. The results showed that cattle manure and coal mixture could be compressed into honeycomb briquette by optimizing the weight ratio of cattle manure to coal to be less than 4:6. The sulfur content in the honeycomb briquette of cattle manure and coal mixture was lower than that in coal honeycomb briquette. It's feasible to compress cattle manure and coal mixture and make honeycomb briquette from it.

**Key words:**cattle manure; compress molding; honeycomb briquette

可再生能源是中国能源优先发展的领域,可再生能源的开发利用对增加能源供应、改善能源结构、促进环境保护具有重要作用,是解决能源供需矛盾和实现可持续发展的战略选择<sup>[1]</sup>。畜禽粪便是生物质资源,据估算,我国畜禽粪便资源总量约 $26 \times 10^8$  t,相当于 $1.12 \times 10^8$  t的标准煤<sup>[2]</sup>。目前我国畜禽粪便能源利用主要集中在户用沼气和大中型沼气,到2006年底我国已经建成户用沼气2 068万口,大中型沼气5 278座,年可提供沼气约 $85 \times 10^8$  m<sup>3</sup><sup>[3]</sup>,缓解了农村能源供给,对改善农村环境有重要作用。但由于粪便产生量大,且

技术单一,目前的畜禽粪便不仅没有得到充分利用,还成为了重要的农业污染源。生物质能源化利用过程中除了具有低SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和灰尘排放的特性外,其对环境的最大贡献在于具有CO<sub>2</sub>零排放的特点<sup>[4]</sup>。由于牛粪中含有大量的纤维素,便于处理,将牛粪作为优质生物质能源原料开发不同形式的燃料引起了广泛关注。

涂德裕等<sup>[5]</sup>通过气化技术来处理畜禽粪便,能量转化效率在50%左右。Nakamura等<sup>[6]</sup>利用超临界气化技术处理了鸡粪,但是气化技术设备投资大,运行成本高;Koger等<sup>[7,8]</sup>对猪粪进行了

收稿日期:2008-12-18;修回日期:2009-02-26

基金项目:“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD14B09)资助。

作者简介:韩磊,硕士研究生,研究方向为农业废弃物处理。通讯作者:董红敏,研究员,博士生导师,主要从事畜禽养殖环境工程研究。Tel:010-82109979; E-mail:donghm@mail.caas.net.cn

气流携带床(BKT)初步试验,但操作系统较为复杂;畜禽粪便的直接燃烧技术设备较气化、液化技术简单且处理有效;Keener 等<sup>[9]</sup>利用 113T 蒸汽锅炉对蛋鸡粪和煤的混烧行为进行了可行性试验研究,发现混入 20% 的鸡粪对燃烧的气体排放没有显著影响,但是炉灰增加了约 50%;美国德克萨斯州农业实验站的研究人员对牛粪直接燃烧的污染气体排放、炉灰等进行了研究<sup>[10~12]</sup>,首次建立了牛粪燃烧的 NO<sub>x</sub> 排放模型,发现 NO<sub>x</sub> 排放量只有燃烧天然气、煤的 20% ~ 30%。

尽管我国在牧区有直接燃烧牛粪的习惯,但将牛粪与煤渣混合加工成蜂窝煤,并对其加工特性、热特性进行系统研究,还未见报道。本文的研究目的就是牛粪混合煤渣压缩成型蜂窝煤进行特性研究。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

牛粪取自北京金维福仁肉牛场,经堆肥化处理 - 空气中自然风干 - 粗粉碎至 2 mm 处理,煤渣为昌平煤场煤渣,混合 25% 粘土,粗粉碎至 2 mm。

### 1.2 试验设计

**1.2.1 原料的工业和元素分析** 为了了解原料的燃烧特性,对原料的相关成分进行了工业分析和元素分析。试验中先采集一定数量的牛粪和煤渣各自进行充分混合,然后采集牛粪、煤渣各 500 g,按四分法分别缩减至 100 g,各自 3 个样品,参照煤的工业、元素分析方法,对原料进行前期的工业和元素分析,具体分析指标和方法见表 1,取 3 个样品的平均值作为原料参数。

表 1 测试指标、测试方法及主要仪器设备

Table 1 Analysis index, methods and instrumentations.

指标分类 Index classification	测定方法 Measurement method	测定指标 Measurement index	主要仪器及设备 Instrument and equipment
	GB/T211 - 1996 煤中全水分的测定方法 Measurement method of water in coal	水分(%) Moisture(%)	干燥箱、干燥器、玻璃称量瓶、分析天平 Dryness box, desiccator, weighing bottle, analytical balance
		灰分(%) Ash(%)	马弗炉、瓷灰皿、干燥器、分析天平 Muffle, porcelain utensil, desiccator, analytical balance
工业分析 Proximate analysis	GB/T212 - 2001 煤的工业分析方法 Industry analysis method of coal	挥发分(%) Volatilization(%) 固定碳(%) Fixed carbon(%)	挥发分坩锅、马弗炉、坩锅架 Volatilization, crucible muffle, crucible frame
	GB/T213 - 2003 煤的发热量测定方法 Measurement method of heat of coal	燃烧热值(kJ/kg) Heat value(kJ/kg)	美国 PARR 公司 2618 型氧弹测热仪 2618 heat measurement instrument of PARR company in USA
元素分析 Element analysis	GB/T476 - 2001 煤的元素分析方法 Element measurement method of coal	碳(%) Carbon(%) 氢(%) Hydrogen(%) 氮(%) Nitrogen(%)	元素分析仪 Element analysis instrument
	GB/T214 - 1996 煤中全硫的测定方法 Measurement method of sulfur in coal	硫(%) Sulfur(%)	元素分析仪 Element analysis instrument
外观测定 Appearance measurement	GB/T13593 - 92 民用蜂窝煤标准 Beehive coal standard for folk	直径(mm) Diameter(mm) 高度(mm) Height(mm) 孔径(mm) Aperture(mm) 孔数 Hole count 样重(g/块) Weight(g/piece)	标准钢板尺 Normal armor plate ruler 人工数 Manpower 感量 0.1 的天平 Balance with the 0.1 definition

**1.2.2 牛粪煤渣混合压缩成型** 将牛粪、煤渣按不同质量比(0:10、1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4)称重,混匀后放置于自封袋。取牛粪、煤渣混合样,对混合样品加一定量水,用蜂窝煤压缩成型机压缩,通过对压缩成型蜂窝煤的初步致密性观察,筛选出较好的牛粪、煤渣混合比和适宜的压缩成型含水率。

**1.2.3 牛粪煤渣混合成型煤的测试分析** 对成型煤进行自然风干,然后随机抽取3块,参照DB11/097-2004进行测试分析,测试成型蜂窝煤的水分、灰分、挥发分、固定碳、燃烧热值、全硫、直径、高度、孔径、孔数、样重等理化指标(见表1)。

## 2 结果与分析

### 2.1 牛粪与煤渣原料的工业分析

表2和表3分别为为牛粪和煤渣原料的工业分析和元素分析结果。

表2 牛粪、煤渣的工业分析(空气干燥基)

Table 2 Proximate analysis of cattle manure and cinder (air dry basis).

原料 Material	牛粪 Cattle manure	煤渣 Cinder
水分(%) Moisture (%)	13.79 ± 0.05	2.93 ± 0.11
灰分(%) Ash (%)	29.45 ± 0.73	45.97 ± 2.50
挥发分(%) Volatilization (%)	41.99 ± 0.56	14.96 ± 0.01
固定碳(%) Fixed carbon (%)	14.75 ± 0.001	36.12 ± 2.48
燃烧热值(kJ/kg) Heat value (kJ/kg)	11 440 ± 20.42	14 420 ± 6.81

表3 牛粪、煤渣的元素分析(空气干燥基)

Table 3 Element analysis of cattle manure and cinder (air dry basis).

原料 Material	牛粪 Cattle manure	煤渣 Cinder
C(%) Carbon (%)	28.59 ± 0.0020	43.77 ± 0.0150
H(%) Hydrogen (%)	3.37 ± 0.0070	0.91 ± 0.0036
N(%) Nitrogen (%)	1.34 ± 0.0040	0.29 ± 0.0020
S(%) Sulfur (%)	0.28 ± 0.0009	0.36 ± 0.0020

从表2可以看出,尽管牛粪燃烧热值11 440 kJ/kg较煤渣的热值14 420 kJ/kg略低,但牛粪具有作为燃料的基本特征,牛粪在风干状态下完全

可以作为一种生物质燃料进行燃烧。由表3可知,牛粪中含碳量低于煤渣,而含氢元素明显高于煤渣,同时由于牛粪中含硫0.28%较煤渣的含硫0.36%偏低,所以在实际推广燃烧后,理论上对大气的污染应该较轻。

### 2.2 含水率对压缩成型的影响

通过对试压缩成型蜂窝煤的初步致密性观察,原料牛粪(含水率13.79%)和煤渣(含水率2.93%)按设定的比例混合后直接压缩不能成型,压缩过程中仍需要添加适量的水。表4为按照设计的质量比混合均匀后,压缩过程中再添加10%的水后,换算成干基下牛粪、煤渣、水的压缩成型混合比,取牛粪、煤渣混合比为1:9时为例,牛粪:煤渣:水 =  $[1 \times (1 - 13.79\%)] : [9 \times (1 - 2.93\%)] : [1 + 1 \times 13.79\% + 9 \times 2.93\%]$ 。从表4可以看出,尽管牛粪的水分含量高于煤渣,但由于牛粪和煤渣属于两种物质,随着牛粪所占比例的提高,在压缩过程中所用水分也有所提高。在实际压缩过程中可根据原料的种类、干湿等实际情况自行调节。

表4 干基下牛粪、煤渣、水的混合比(用水量10%)

Table 4 The mixed ratio of manure, cinder and water (10% water).

牛粪、煤渣混合比 Cattle manure:cinder	牛粪:煤渣:水(干基下质量比) Cattle manure:cinder:water (quality ratio of dry group)
0:10	0.000 : 97.070 : 12.930
1:9	8.621 : 87.363 : 14.016
2:8	17.242 : 77.656 : 15.102
3:7	25.863 : 67.949 : 16.188
4:6	34.484 : 58.242 : 17.274
5:5	43.105 : 48.535 : 18.360
6:4	51.726 : 38.828 : 19.446

### 2.3 牛粪利用率对压缩成型的影响

为了尽量添加较多的牛粪以实现资源化利用并减少牛粪造成的污染,本研究在试验中选取压缩成型的较适含水率15%,对牛粪利用率的影响进行了试验。表5为不同牛粪添加比例下的压缩成型试验结果。当牛粪利用率超过40%(牛粪、煤渣质量比为4:6)时,压缩成品颗粒较为松散,抗压强度不高,在实际推广应用过程中不利于燃料的保存和运输(参见图1)。牛粪混合比例低于40%,压缩成型效果较好。

表 5 原料的水利用率为 15% 各混合比压缩情况

Table 5 Compress instance of per-mixed ratio on water contain 15%.

牛粪、煤渣混合比 Cattle manure:cinder	成型情况 Molding instance
0:10	成型 Molding
1:9	成型 Molding
2:8	成型 Molding
3:7	成型 Molding
4:6	成型 Molding
5:5	较松散 Little relax
6:4	松散 Loose



图 1 不同混合比压缩成型蜂窝煤

Fig. 1 Honeycomb briquette of index in different mixed ratio.

## 2.4 型煤理化指标比对

对压缩成型的蜂窝煤的主要物理参数测试结果如表 6。牛粪压缩成型蜂窝煤燃料块直径 125 mm, 高度 80 mm, 孔数 16 个, 孔径 14 mm, 属合格。由于牛粪中含有大量未消化的纤维素, 牛粪的密度比煤的密度小, 因此在体积相同的条件下, 随着牛粪填料的增加样重会递减, 在技术成熟后的产业化过程中可通过建立企业标准等来控制质量。

牛粪较煤渣含水率偏高, 水分随着牛粪含量的增加而递增, 水分从牛粪含量为 40% 以上时有急剧增高趋势, 40% 时为 4.841 7%, 当牛粪含量升至 50% 时, 含水率为 7.838 9%, 偏高的含水率在压缩成型过程中不利于压缩的致密性, 压缩成品颗粒较为松散, 抗压强度不高, 在实际推广应用过程中不利于燃料的保存和运输。而且燃烧热值在牛粪含量超过 30% 后, 下降较快, 所以最优应该在 30% 处。

对压缩成型的蜂窝煤的主要化学和热特性参数测试结果如表 7。牛粪、煤渣混合压缩成型蜂

表 6 蜂窝煤理化指标测试比对

Table 6 Physics-chemistry index of honeycomb briquette.

牛粪:煤渣 Cattle manure:cinder	直径(mm) Diameter(mm)	高度(mm) Height(mm)	孔数(个) Hole count(个)	孔径(mm) Aperture(mm)	样重(g/块) Weight(g/piece)
GB 标准 GB standard	125 ~ 130	≥75	16	12 ~ 16	≥1250
0:10	125 ± 0.93	80 ± 0.97	16 ± 0.00	14 ± 0.09	897 ± 2.19
1:9	125 ± 1.31	80 ± 1.03	16 ± 0.00	14 ± 0.13	835 ± 2.77
2:8	125 ± 1.47	80 ± 1.17	16 ± 0.00	14 ± 0.07	785 ± 3.92
3:7	127 ± 1.12	80 ± 1.14	16 ± 0.00	14 ± 0.16	745 ± 5.01
4:6	125 ± 1.26	80 ± 1.19	16 ± 0.00	14 ± 0.12	739 ± 5.61
5:5	125 ± 1.15	80 ± 1.31	16 ± 0.00	14 ± 0.09	718 ± 5.82
6:4	125 ± 1.36	80 ± 1.56	16 ± 0.00	14 ± 0.16	673 ± 6.03

表 7 成型蜂窝煤工业分析指标测试(空气干燥基)

Table 7 Proximate analysis of moulding honeycomb briquette (dry basis).

牛粪、煤渣比 Cattle manure:cinder	水分(%) Moisture(%)	灰分(%) Ash(%)	挥发分(%) Volatilization(%)	燃烧热值(kJ/kg) Heat value(kJ/kg)	全硫(%) T-S(%)
GB 标准 GB standard	≤10.00	≤34.00	≥10.00	≥21 000	≤0.50
0:10	2.93 ± 0.10	47.97 ± 2.50	14.96 ± 0.01	14 420 ± 6.81	0.360 ± 0.002
1:9	3.64 ± 0.09	47.81 ± 0.26	16.51 ± 2.97	13 900 ± 16.25	0.355 ± 0.001 7
2:8	3.82 ± 1.18	45.46 ± 0.09	17.59 ± 3.23	13 870 ± 11.03	0.334 ± 0.004 1
3:7	3.99 ± 0.21	45.38 ± 0.10	27.99 ± 4.69	13 060 ± 7.51	0.317 ± 0.001 3
4:6	4.84 ± 0.46	44.88 ± 0.19	27.43 ± 0.33	12 910 ± 2.52	0.295 ± 0.021
5:5	7.83 ± 0.06	38.33 ± 3.20	28.88 ± 1.27	12 690 ± 7.37	0.284 ± 0.008 7
6:4	7.99 ± 0.65	30.61 ± 0.73	34.95 ± 0.56	12 320 ± 20.42	0.280 ± 0.000 9

窝煤(牛粪:煤渣比为1:9、2:8、3:7)指标测试中含水率均小于10.00%,全硫均小于0.50%;但牛粪成型煤的挥发分偏高,发热量偏低(牛粪的燃烧热值偏低,随着牛粪含量的增加,燃烧热值也随之降低),且低于标准值,但和市场销售的蜂窝煤的热量相差不大。

### 3 结论

通过对牛粪混合煤渣压缩成型蜂窝煤的特性测试分析,得出以下结论:

①牛粪具有较好的燃烧特性,牛粪热值为11 440 kJ/kg,且牛粪的含硫量比测定煤的含硫量低22%。

②牛粪利用率应低于40%,当牛粪、煤渣质量比大于4:6时,压缩成品颗粒较为松散,抗压强度不高,不利于燃料的保存和运输。

③牛粪、煤渣混合压缩成型蜂窝煤是可行的,当牛粪添加比例小于40%时,牛粪型块的热值不小于普通型煤的热值90%,且牛粪型煤的含硫量明显低于原煤。

综上所述,牛粪、煤渣混合压缩成型蜂窝煤在牛粪利用率在20~40%处综合较为合理,既解决了燃煤的资源紧缺问题,又减轻了燃烧化石能源对环境的污染问题。在农村试用推广有着很现实的实际意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国新闻办公室. 中国的能源状况与政策[R/OL]. 中华人民共和国中央人民政府白皮书, [http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/26/content\\_84415.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/26/content_84415.htm), 2007-12-26.
- [2] 刘荣章,曾玉荣,翁志辉,等. 我国生物质能源开发技术与策略[J]. 中国农业科技导报, 2006,8(4):40-45.
- [3] 中国农业部. 中国农业年鉴[C]. 北京:中国农业出版社, 2007,5-100.
- [4] 刘荣厚,牛卫生,张大雷. 生物质热化学转换技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 涂德裕,董红敏,丁为民,等. 畜禽粪便热化学转换特性和可行性分析研究[J]. 中国农业科技导报,2007,9(1):59-62.
- [6] Nakamura A, Kiyonaga E, Miura T, *et al.*. Fundamental design of supercritical water gasification process using chicken manure[A]. In: The 8th International Symposium on Supercritical Fluids[C]. Kyoto, Japan,2006.
- [7] Koger J, Wossink A, van Kempen T, *et al.*. The production of liquid fuels from swine waste[R/OL]. [http://www.energy-nc.net/programs/docs/renewable/ethanol swine waste. doc](http://www.energy-nc.net/programs/docs/renewable/ethanol%20swine%20waste.doc), 2004-8-27.
- [8] Koger J, Bull L, Burnette R P, *et al.*. Gasification for elimination of swine waste solids with recovery of value-added products[R]. "Recycle" Final Gasification Report, 2005.
- [9] Keener K M. Characterization of poultry manure for potential co-combustion with coal in an electricity generation plant[R]. ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress, Chicago, Illinois, USA, 2002.
- [10] Sweeten J M, Annamalai K, Thien B, *et al.*. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part I. Feedlot biomass (cattle manure) fuel quality and characteristics[J]. Fuel, 2003, 82(10):1167-1182.
- [11] Annamalai K, Thien B, Sweeten J, *et al.*. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part II. Performance results from 30 kW/t (100,000 BTU/h laboratory scale boiler burner[J]. Fuel, 2003, 82(10):1183-1193.
- [12] Annamalai K, Sweeten J, Freeman M, *et al.*. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) Fuels, Part III: fouling results from a 500,000 BTU/h pilot plant scale boiler burner[J]. Fuel, 2003, 82(10):1195-1200.
- [1] 中华人民共和国新闻办公室. 中国的能源状况与政策[R/OL]. 中华人民共和国中央人民政府白皮书, [http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/26/content\\_84415.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/26/content_84415.htm), 2007-12-26.