

花生壳成型燃料结渣特性分析

夏许宁, 刘圣勇*, 王鹏晓, 管泽运, 翟万里, 刘洪福

(河南农业大学农业部可再生能源重点开放/生物质能源河南省协同创新中心, 河南郑州 450002)

摘要 [目的]研究花生壳成型燃料的结渣特性。[方法]根据灰熔融特征温度和灰渣成分,评价花生壳成型燃料的结渣特性;利用沾污指数和灰分中 Na_2O 含量和当量 Na_2O ,分析花生壳成型燃料的沾污特性。[结果]花生壳成型燃料具有中等结渣倾向和低沾污倾向。[结论]该研究为生物质成型燃料燃烧设备的设计和燃烧效率的提高提供了理论依据。

关键词 花生壳;成型燃料;结渣特性;沾污特性

中图分类号 S216.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)23-249-02

Analysis of Slagging Characteristics of Peanut Shell Molding Fuel

XIA Xu-ning, LIU Sheng-yong*, WANG Peng-xiao et al (Renewable Energy Engineering Laboratory of Henan Agricultural University/ Collaborative Innovation Center of Biomass Energy, Henan Province, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract [Objective] The study aimed to study slagging characteristics of peanut shell molding fuel. [Method] According to ash melting characteristic temperatures and ash composition, the slagging characteristics of peanut shell molding fuel were assessed; the fouling characteristics of peanut shell molding fuel was analyzed based on fouling index as well as Na_2O content and equivalent Na_2O in ash. [Result] Peanut shell molding fuel has moderate slagging and low fouling tendencies. [Conclusion] The research could provide theoretical references for the design of combustion equipment of biomass molding fuel and improvement of combustion efficiency.

Key words Peanut shell; Molding fuel; Slagging characteristics; Fouling characteristics

随着能源需求量的增加,以及煤燃烧带来的环境污染等问题的加剧,生物质因其储量大、易取材、可再生、污染小等优点,已成为唯一可替代化石能源转化成气态、固态和液态以及其他化工原料或者产品的碳资源^[1]。生物质成型燃料以秸秆、木屑、稻壳等农林业剩余物为主要原料,用机械加压的方法,使原本松散的原料压缩成有一定形状的成型燃料,最后制成成型环保燃料,热值高、燃烧充分,是一种洁净低碳的可再生能源。作为锅炉燃料,它的燃烧时间长,强化燃烧炉膛温度高,而且经济实惠,同时对环境无污染,是替代常规化石能源的优质环保燃料。

我国是花生种植大国,主要分布在山东、河南、河北、广东等地区。其中,山东省种植面积最大,达80万 hm^2 ,年产量高达11万t;河南省种植面积约73万 hm^2 ,仅次于山东省。花生壳的年产量约378.19万 $\text{t}^{[2]}$,一小部分用作饲料或直接燃烧,大部分被废弃,造成资源的大量浪费。利用花生壳制作成型燃料,不仅可以回收资源,而且花生壳作燃料密度大、热值高、耐焚烧,还可以减少S、N等氧化物对环境的污染。

由于生物质成型燃料中无机元素(K、Na、Cl、S、Ca、Si、P等)含量较高,以盐或氧化物的形式存在于生物质原料内,这些物质的熔点相对较低,大部分为700~900 $^{\circ}\text{C}^{[3]}$ 。当生物质成型燃料燃烧时,炉膛温度高于碱金属化合物的熔点,使其软化并粘附在受热面上,出现结渣、沾污等现象,不仅影响燃烧设备的热性能,严重时还危及燃烧设备的安全运行。所以,对结渣特性进行研究,有利于生物质锅炉的炉膛设计、受热面的布置以及吹灰系统的设计。笔者研究花生壳固体成

型燃料的结渣特性,为燃烧效率的提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验原料与仪器 原料为成型花生壳。主要仪器包括粉碎机、烘干箱、电子天平、马弗炉、灰熔点测定仪、手持快速红外测温仪、等离子体发射光谱仪。

1.2 试验方法 燃料的结渣性测定参照《煤的结渣性测定方法》(GB/T 1572-2001);燃料的灰渣成分测定参照《煤的元素分析方法》(GB/T 476-2001)。

2 结果与分析

2.1 花生壳成型燃料的熔融特征温度 花生壳成型燃料的熔融特征温度包括变形温度、软化温度、半球温度、流动温度,分别为1 210、1 260、1 315、1 350 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 基于灰熔融特征温度的结渣特性评价 无论是燃煤锅炉还是生物质锅炉,受热面均会出现积灰、结渣等现象,生物质锅炉结渣现象更为严重。燃料在燃烧过程中,挥发性高的碱金属最先挥发,挥发后的气体部分凝结在烟气中的细小颗粒上,使颗粒的表面粘性增强,粘附在管壁上,导致受热面积积灰、结渣、腐蚀等。灰熔融特征温度是判断固体排渣层燃料结渣倾向的重要指标之一,根据花生壳成型燃料的灰熔融特征温度,来预测花生壳成型燃料的结渣倾向。

2.2.1 初始变形温度。还原性气氛中的初始变形温度 DT 是预测炉内结渣倾向的一种常用指标。当燃料的 $DT > 1 289^{\circ}\text{C}$ 时,燃料不结渣;当 DT 为1 108~1 288 $^{\circ}\text{C}$ 时,中等结渣;当 $DT < 1 107^{\circ}\text{C}$ 时,严重结渣。根据该标准对生物质成型燃料结渣情况进行预测,得出生物质成型燃料的结渣性^[4-7]。花生壳成型燃料的初始变形温度为1 210 $^{\circ}\text{C}$,由此推断花生壳成型燃料具有中等结渣性。

2.2.2 软化温度。当燃料的软化温度 $ST > 1 390^{\circ}\text{C}$ 时,燃料轻微结渣;当 ST 为1 260~1 390 $^{\circ}\text{C}$ 时,中等结渣;当 $ST < 1 260^{\circ}\text{C}$,严重结渣。根据该标准对花生壳成型燃料结渣情

基金项目 河南省科技创新杰出人才计划(2014KJJCXJRC015);郑州市科技创新团队(131PCXTD588)。

作者简介 夏许宁(1990-),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向:生物质能转换。*通讯作者,教授,博士生导师,从事可再生能源研究。

收稿日期 2015-06-24

况进行预测。花生壳成型燃料的软化温度为 1 260 ℃,由此推断花生壳成型燃料具有中等结渣性。灰熔融特征温度的测定具有较大的误差,只能粗略判断炉内的结渣倾向。而灰熔融特征温度较高的燃料大都不具有结渣性,具有低等或中等灰熔融特征温度的燃料需要结合其他判别方法进行分析。

2.3 基于灰成分综合比值的结渣倾向判断 根据灰分的各成分含量计算碱酸比、铁钙比、硅比,判断生物质成型燃料的结渣倾向^[8]。花生壳成型燃料灰渣成分中, Si、Fe、Ti、Ca、Mg、Na、K、Al 含量分别为 26.8%、2.56%、0.32%、3.70%、2.04%、0.92%、5.66%、6.60%; SiO₂、Fe₂O₃、TiO₂、CaO、MgO、Na₂O、K₂O、Al₂O₃ 含量分别为 57.46%、3.65%、0.53%、5.05%、3.40%、1.53%、6.82%、9.54%。

2.3.1 碱酸比 B/A。碱酸比是指灰分中碱性成分的含量与酸性成分含量的比值,计算公式为: $B/A = (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)$, 式中 SiO₂、Fe₂O₃ 等分别为干燥基灰组分的质量分数。在高温的作用下,碱性氧化物和酸性氧化物会相互作用形成低熔点的共熔盐,且酸性氧化物的熔点比碱性氧化物的熔点普遍要高。因此,可以用碱酸比来衡量燃料结渣的难易程度。根据碱酸比,将燃料的结渣倾向分为 3 个等级,即低等 (<0.206)、中等(0.206 ~ 0.400); 高等 (>0.400)。花生壳成型燃料灰分的碱酸比为 0.302,具有中等结渣倾向。

2.3.2 硅比 G。硅比的计算公式为 $G = SiO_2 / (SiO_2 + CaO + MgO + Fe_2O_3)$, 式中分母大多为助熔剂, SiO₂ 较大意味着灰渣粘度和灰熔点较高,因而 G 越大,结渣倾向越小^[9]。花生壳成型燃料的硅比 $G = 82.6\%$, 根据表 1, 可判断花生壳成型燃料具有轻微结渣倾向。

表 1 利用硅比 G 判断结渣倾向的界限值^[10] %

结渣倾向	界限值		
	中国	美国	法国
低	>78.8	72~80	>72
中	66.1~78.8	65~72	65~72
高	<66.1	50~65	<65

2.3.3 铁钙比。由于花生壳成型燃料燃烧时挥发分含量较高,与烟煤更相近,故按烟煤型灰判断其结渣倾向。美国近年来用铁钙比作为判断烟煤型灰的结渣指标之一,当铁钙比 <0.3 时,燃料不结渣;当铁钙比为 0.3 ~ 3.0 时,中等或严重结渣;当铁钙比 >3.0 时,不结渣^[11]。花生壳成型燃料的铁钙比为 0.72,说明花生壳成型燃料具有中等或严重结渣性。

2.4 花生壳成型燃料沾污特性评价 由于许多生物质的灰份中 K、Na 等元素含量很高,造成灰的灰熔点下降。灰熔点的下降会引起流化床的燃料粘结和换热面灰污、结垢和腐蚀问题^[12-13]。炉排上的结渣和对流受热面上沾污的形成原理不同,但两者相互影响。花生壳成型燃料燃烧时挥发分含量较高,与烟煤相近,所以按烟煤型灰来判断其沾污倾向。

2.4.1 沾污指数 R_f 。沾污指数 R_f 计算公式为 $R_f = \frac{A}{B} \times (Na_2O)$, 式中 A/B 为酸碱比;对于烟煤型灰, Na₂O 为煤灰中

Na 总含量。根据沾污指数 R_f , 烟煤型灰沾污倾向可以划分为 4 个等级,即低 (<0.2)、中(0.2 ~ 0.5)、高(0.5 ~ 1)、严重 (>1)。花生壳成型燃料沾污指数 $R_f = 0.051$, 所以其沾污倾向低^[14]。

2.4.2 灰分中 Na₂O 含量和当量 Na₂O。碱金属氧化物中 Na₂O 的含量对锅炉沾污影响最为严重,所以常用灰分中 Na₂O 的含量和碱金属氧化物的总含量来预测灰的沾污倾向。把 Na₂O 含量按下式折算成当量 Na₂O; 当量 Na₂O = $\frac{(Na_2O + 0.659K_2O)A}{100}$, 式中 A 为燃料的灰分;系数 0.659 为 Na₂O 和 K₂O 的摩尔当量比。花生壳成型燃料的 Na₂O 含量为 1.53%, 当量 Na₂O 为 0.15%, 根据表 2, 可以判断花生壳成型燃料具有低沾污倾向。

表 2 利用灰分中 Na₂O 含量和当量 Na₂O 来判断沾污倾向

沾污倾向	Na ₂ O 含量//%	当量 Na ₂ O//%
低	<2.0	<0.3
中	2~6	0.3~0.45
高	6~8	0.45~0.6
严重	>8	>0.6

3 结论

采用不同方法判断花生壳成型燃料的结渣特性及污染特性,结果表明花生壳成型燃料具有中等结渣倾向和低沾污倾向。为避免生物质成型燃料在燃烧过程中出现结渣现象,可以在生产过程中添加抗结渣剂,或采用固体排渣的方式。在设计生物质成型燃料燃烧设备时,要结合不同生物质成型燃料的燃烧特性,合理布置炉膛结构,尽量减少结渣现象,实现生物质燃料的高效燃烧。

参考文献

- [1] 袁振宏, 罗文. 生物质能产业现状及发展前景[J]. 化工进展, 2009, 28(10): 1687 - 1692.
- [2] 郭利磊, 王晓玉. 中国各省大田作物加工副产物资源量评估[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 45 - 55.
- [3] 林聪, 袁艳文. 生物质固体成型燃料抗结渣研究进展[J]. 可再生能源, 2009, 27(5): 48 - 51.
- [4] 刘圣勇, 王淮东, 艳康, 等. 玉米秸秆成型燃料结渣特性实验与分析[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(6): 649 - 652.
- [5] 刘圣勇, 王晓东, 王智展, 等. 玉米秸秆成型燃料孔隙率对燃烧效果的影响[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(6): 686 - 688.
- [6] 何望飞. 减轻锅炉结渣运行方案的分析与研究[J]. 热力发电, 2003(11): 32 - 34.
- [7] 蒋月美, 苏艺, 冯莉莉. 锅炉结渣机理分析[J]. 锅炉技术, 2001, 32(6): 9 - 11.
- [8] 阎维平, 陈吟颖. TK6 生物质燃料结渣特性分析与判别[J]. 华北电力大学学报, 2007(1): 49 - 54.
- [9] 刘圣勇, 党玉丽, 王喜云, 等. 木屑成型燃料结渣特性实验与分析[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(3): 97 - 100.
- [10] 章劲文, 堂海兵, 赵聚英. 层燃锅炉脱硫掺烧的结渣研究[J]. 锅炉技术, 1999, 30(1): 18 - 22.
- [11] 何佩熬, 张忠孝. 我国动力用煤结渣特性的实验研究[J]. 动力工程, 1987(2): 26 - 28.
- [12] BLANDER M, PEHON A D. The inorganic chemistry of the Combustion of wheat straw. [J]. Biomass Bioenergy 1997, 12(4): 295 - 298.
- [13] 宁新宇, 李诗媛, 吕清刚, 等. 生物质成型燃料流化床燃烧粘结机理实验研究[J]. 电站系统工程, 2008, 24(6): 17 - 19.
- [14] 鲁许整, 谷俊杰, 彭学志. 锅炉受热面积灰结渣判别方法的应用分析[J]. 电力情报, 2002(3): 16 - 20.