

稻壳与石英砂及煤粒的流化与混合特性研究

(浙江大学热能工程研究所) 陈冠益 方梦祥 骆仲泱 余春江 倪明江 岑可法

[摘要] 在小型试验台上对稻壳流化床锅炉进行了研究。对稻壳、稻壳与砂、稻壳与砂及煤等多组份物料的流化特性与混合特性的关键技术作了介绍,得出了有实际指导意义的结论。为实际的稻壳流化床燃烧锅炉设计和运行提供了理论依据和指导经验。

关键词 稻壳 流化床 流化特性 混合特性

中图分类号 TQ038.1

1 前言

随着传统能源资源(煤、油、气)储量的日益枯竭以及因它的广泛利用带来严重的环境污染,开发利用可再生的能源资源以及污染更小,甚至没有污染的新能源就成为当今世界急需解决的问题。其中生物质能源以其可再生性、低污染性、经济便利性引起了世人的注意。在生物质能源分布中,稻壳具有储量丰富、输送简单、易于预处理、分布相对集中、便于利用的特点,且稻壳的硫、氮含量不高,燃烧时对环境污染小。因此,稻壳的高效低污染燃烧利用成了一个极受关注的研究方向。

流化床锅炉具有炉膛容积热负荷大、燃烧过程扰动强烈、燃料在炉膛停留时间长的优点,能很好地

满足稻壳的挥发份析出迅速,且燃烬时间短,固定碳燃烬时间长等特点。此外,在稻壳不能及时供应时,它可以良好地实现与其他燃料(如煤)混烧,所以稻壳的流化床燃烧便成了当前燃烧稻壳的首选技术,而流化与混合特性恰是稻壳流化床燃烧技术的基础。

2 稻壳的特性

稻壳外形如船形,约长 9 mm 宽 3 mm 壳厚 0.2 mm,其表面有毛刺、极不光滑,粒子间容易产生卡塞、搭桥,流动性差,属于不易流化介质。稻壳的组成与其它木质物质一样,由木质素、纤维素、半纤维素组成,其含量取决于水稻品种和它的生长环境。稻壳与其它农业废弃物中的木质物质最大区别就是其灰份含量中几乎是纯的 SiO_2 和少量的 K、P 等元素。稻壳堆积密度与真实密度相差很大,给运输和输送带来很大困难。本试验所采用的稻壳的物性参数如表 1 所示。

表 1 稻壳的物性参数

粒径范围 (mm)	当量平均粒径 (mm)	自然堆积密度 (kg/m^3)	真实密度 (kg/m^3)	临界流化速度 (m/s)
0~10	1.60	122.9	500	0.60

2) 在石灰石的静态煅烧中,粒径对 CaO 比表面积以及平均孔径的影响不大。因此,对于型煤脱硫、链条炉脱硫等石灰石煅烧处于静态的情况下,石灰石粒径可以适当的粗一些,以便节约运行费用;

(3) 不仅煅烧温度对石灰石的烧结起着重要的作用,而且煅烧时的停留时间在煅烧温度较高时也起着非常重要的作用。

参考文献

- 张新生等. 燃煤烟气脱硫. 中国地质大学出版社, 1991.
- Corey R Milne, Geoffrey D Silcox, and David W Pershing. The

calcination and sintering models for application to high-temperature. Short-Time Sulfation of Calcium-Based Sorbents, Ind. Eng. Chem. Res., 1990, 29 139~149.

- Boynton R S. Chemistry and technology of lime and limestone, 2nd edition, John Wiley & Sons, inc., 1980.
- Timothy C Keener and Jiang Xiaolin. Surface area formation in dry FGD sorbents, Chem. Eng. Comm., 1989, 75 1~22.
- Sumana Keener, Soon-Jai Khang, Structural pore development model for Calcination, Chem. Eng. Comm., 1992, 117 279~291.
- 能源部电力环保研究所. 火电厂干式喷钙脱硫的试验研究, 1990年 8月.

(渠源 编辑)

3 稻壳的流化特性与混合特性

冷态试验在一 H120 mm 高 1 200 mm 的流化床试验台上进行,流化床壁面为有机玻璃,用于观察床内流化状态;布风板为硅酸铝纤维板,布风均匀。在试验中,我们引入初始稻壳质量份额 X_i 对于双组分物料, X_i 为加入到床层中稻壳和砂的质量比;对于多组分物料, X_i 为加入到床层中稻壳、砂、煤的质量比。

3.1 临界流化特性

我们进行了纯稻壳、稻壳与石英砂双组份混合物料及稻壳、石英砂与煤多组份混合物料的临界流化特性试验。试验所用的床料为石英砂 A B C 三种,其物性参数如表 2 所示,试验用三种煤的物性参数如表 3 所示。试验中采用降低速度法来确定临界流化速度,试验结果如图 1 2 3 所示。

表 2 石英砂的物性参数

石英砂	粒径范围 (mm)	平均粒径 (mm)	临界流化速度 (m/s)	堆积密度 (kg/m ³)	真实密度 (kg/m ³)
A	0.3~ 0.8	0.52	0.29	1421	2814
B	0.8~ 1.0	0.9	0.37	1380	2801
C	1.0~ 2.5	1.55	0.49	1369	2795

表 3 煤种的物性参数

煤种	粒径范围 (mm)	平均粒径 (mm)	堆积密度 (kg/m ³)
A	1.0~ 2.5	1.58	770
B	2.5~ 5.0	3.5	805
C	5.0~ 7.5	6.2	821

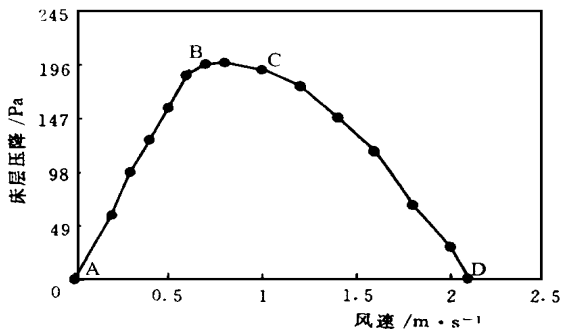


图 1 稻壳的流化、飞出特性曲线

图 1 中曲线 AB 段属于固定床,在这段范围内存在明显的固定床加喷泉状沟流的混合流动状态,但阻力特性仍与燃煤情况相似。BC 段为较窄的流化

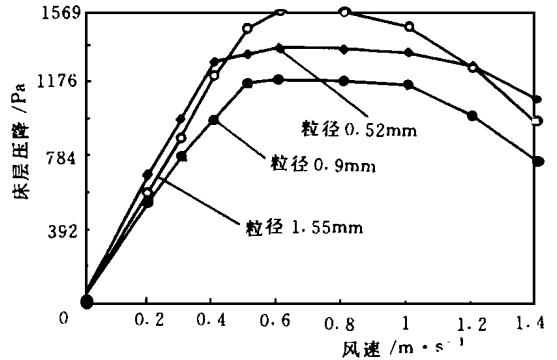


图 2 稻壳与石英砂混合的流化特性曲线 ($X_i = 1: 11$)

段,这反映了稻壳流化床流化范围要比燃煤流化床窄得多,且流化并不良好。在曲线的 CD 段,部分粒子达到了终端速度,飞出沸腾层。由图可知稻壳的临界流化速度为 0.60 m/s,较好的流化速度范围为 0.70~ 0.9 m/s 之间,稻壳在速度约为 1.1 m/s 开始飞出,在速度为 2.1 m/s 时,基本上全部飞出。对比图 1 与图 2,可知稻壳与石英砂 A 混合后与纯稻壳相比,临界流化速度降低了约 30%,飞出速度上升了近 18%,从较好的流化范围 (0.70~ 0.9 m/s) 变到良好的流化范围 (0.52~ 1.15 m/s),同时飞出速率明显降低。图 2 中稻壳与三种石英砂混合后的流化曲线表明,两种组份混合后的临界流化速度低于纯稻壳本身,但高于石英砂,而综合的流化性能优于纯稻壳本身,但劣于石英砂。由图 3 可知,三种煤都能很好地与稻壳、砂混合流化。与不混煤相比,临界流化速度有所降低,良好的流化速度范围变宽,这说明掺混一定的煤有助于改善床内流化状况。

3.2 混合特性

混合特性试验方法如下:在良好沸腾的流化床中,加入一定配比的稻壳,我们可以观察到,随着床内气泡上升和在表面不断破裂,上层稻壳随着床料向下沉降,并和床料不断混合,从而形成一定分布。在每一配比下,将床层维持在所希望的速度下,稳定流化若干分钟后突然停止送风,使床料快速静止以保持流化状态下的粒子分布,然后分层吸出,并测量出稻壳的质量,从而得到每层内稻壳的平均质量份额,进而可得到稻壳平均质量份额沿床高分布。

3.2.1 稻壳与石英砂的混合特性

混合试验结果如图 4 所示。由图 4 可以看出石

英砂 A(0.3~ 0.8 mm 粒径范围、平均粒径为 0.52 mm) 与稻壳的混合最均匀,其混合后质量份额沿床高分布曲线最平缓,质量份额从床高 50 mm 处的 6.3% 上升为 160 mm 处的 9.15%,质量份额相对变化幅度为 14% 左右。而对于两种平均粒径较大的床料,则为 490% 和 1450%,是 A 床料的 3 和 9 倍多。由此看出,在实际运行中,采用平均粒径为 0.52 mm 的石英砂作床料是比较理想的,而这正是普通石英砂厂生产的砂的平均粒径。若平均粒径过大,则床层分层现象更为严重,流化进一步恶化;反之则由于要求运行风速过小而导致受热面过大,从而影响锅炉结构尺寸与布置,导致经济上的不合算。

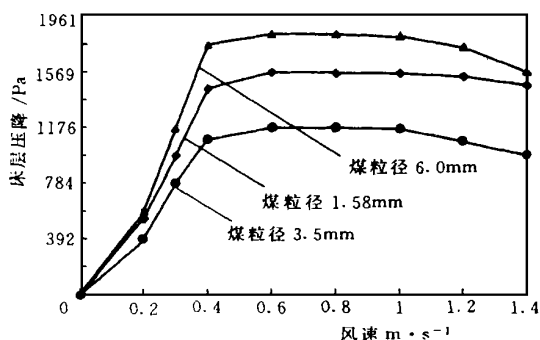


图 3 稻壳、石英砂和煤混合的流化特性曲线 ($X_i = 1: 11: 7$)

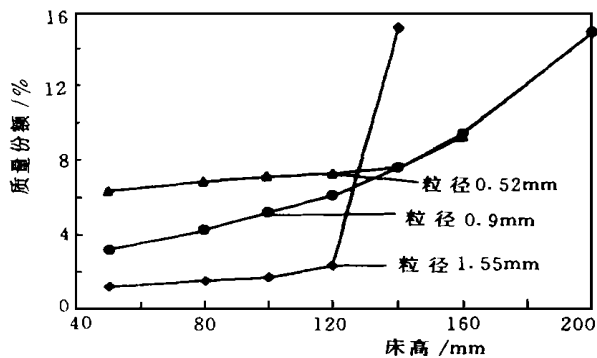


图 4 床料粒径对稻壳质量份额分布影响 ($X_i = 1: 11$)

3.2.2 稻壳、砂与煤的混合特性

由于稻壳的供应受季节影响严重,故实际的稻壳流化床锅炉要考虑与煤混烧,因此我们进行了稻壳、石英砂与煤混合试验。试验结果如图 5、6 所示。由图可看出,对于稻壳、砂与煤多组分混合物料系统,流化后的稻壳和煤的质量份额分布曲线都比较

平缓。这说明在多组分混合物料系统中,稻壳的混合特性与煤的粒径关系不大。相比之下,以粒径 1.58 mm 的煤粒与稻壳的混合特性最好。

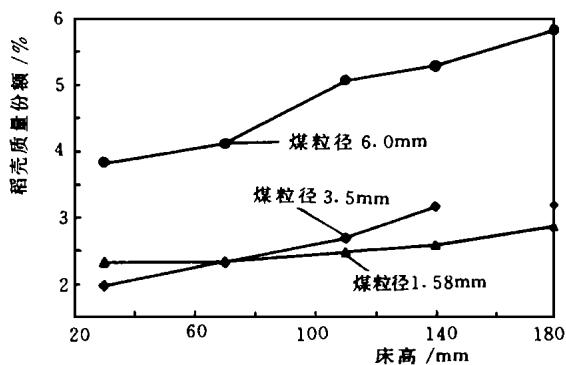


图 5 稻壳、石英砂和不同粒径的煤混合流化后的稻壳质量份额分布 ($X_i = 1: 11: 7$)

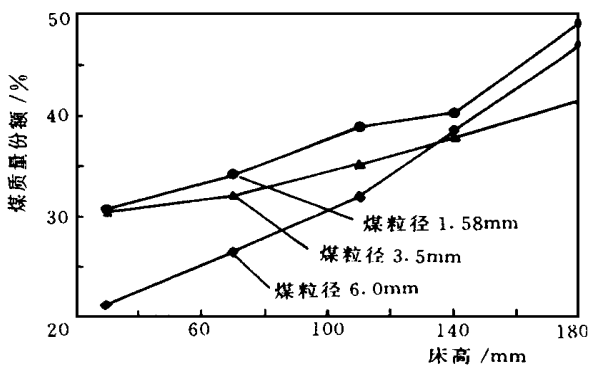


图 6 稻壳、石英砂和不同粒径的煤混合流化后的煤质量份额分布 ($X_i = 1: 11: 7$)

3.2.3 稻壳与煤的混合特性

我们用煤作床料,进行了稻壳与煤的混合试验。混合后稻壳的质量份额分布曲线示于图 7 中。由图可以看出,粒径为 1.58 mm 的煤粒与稻壳混合较好,粒径为 6.0 mm 的煤粒混合较差,说明稻壳的混合均匀状况与煤的粒径关系较大,这同稻壳与砂双组份物料的混合试验结果相似,即在我们的研究范围内,与稻壳混合的砂或煤粒径越小,混合越均匀。

3.2.4 流化风速、初始稻壳质量份额的影响

粒径 0.52 mm 石英砂作床料时流化风速、初始稻壳质量份额对稻壳浓度分布的影响规律如图 8、9 所示。由图 8 可见,随流化风速的增加,稻壳质量份额沿床高分布趋于均匀。这说明适当地增加流化速

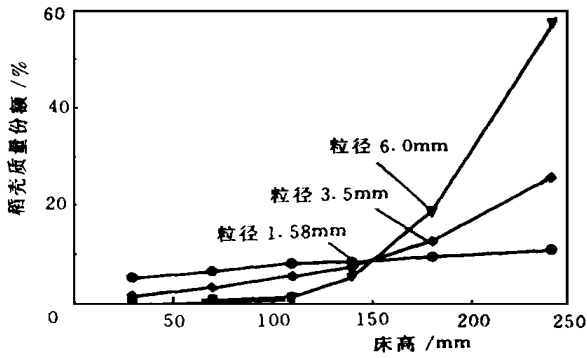


图 7 稻壳与煤混合流化后的质量份额分布
($X_i = 1:7$)

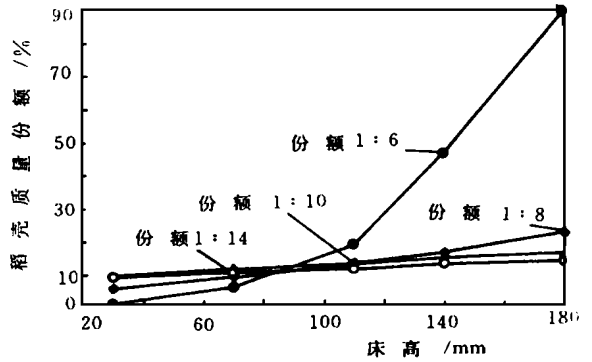


图 9 稻壳初始质量份额的影响

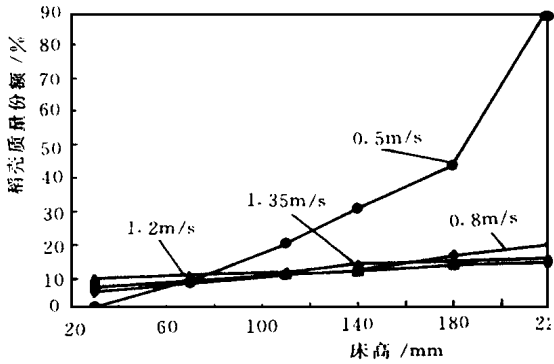


图 8 流化风速对稻壳质量份额分布的影响
($X_i = 1:11$)

(3) 采用石英砂作床料,可实现良好流化,砂的粒径分布对稻壳流化床的流化状况影响显著,平均粒径为 0.52 mm 的砂作床料,可以实现良好的流化和混合,且比较经济。建议流化速度选取为 1~ 2 m/s,流化数为 3~ 7;建议初始稻壳质量份额 $X_i < 1:9$,否则流化不好,分层严重。

(4) 煤的粒径对稻壳、砂与煤多组份混合物料系统的流化,混合影响不大,但对稻壳与煤双组份混合物料系统的流化,混合有较大影响

参考文献

- 1 Rajaram S and Maliah K T U. A 10 MWe fluidized bed power plant for paddy straw. Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion, ASME, 1993, Vol. 1.
- 2 刘皓,林志杰等.稻壳流化床的试验研究.第六届全国流态化会议,1987.
- 3 方梦祥.循环流化床蒸汽燃气联产技术的机理研究.浙江大学博士学位论文,1991.
- 4 鲍亦令,陆慧林等.稻壳流化床中颗粒的混合.中国工程热物理学会第七届年会,1990.

作者简介:陈冠益 男,1971年生,现为浙江大学热能工程研究所博士生,师从岑可法院士、倪明江教授和骆仲决教授。主要从事生物质燃烧与气化、循环流化床技术研究。通讯地址:310027,杭州,浙江大学热能工程研究所
收稿日期 1997-06-10
收修改稿 1997-09-10

度,可减轻床层分层,但流化速度也不能太大,否则会因为稻壳飞出量的增加而引起燃烧效率下降。床内稻壳质量份额分布在流化数 $1 < N < 2.0$ 时很不均匀,分层严重;在流化数 $2 < N < 3$ 时逐渐趋于均匀;在流化数 $N > 3$ 时比较均匀。由图 9 可见,随着初始稻壳质量份额 X_i 的增大,稻壳的质量份额分布逐渐呈现不均匀。当 $X_i = 1:6$ 时,质量份额上下相差很大,分层严重。 $X_i < 1:9$ 时,分布比较均匀。

4 结论

(1) 纯稻壳不易流化,临界流化速度约为 0.60 m/s

(2) 稻壳在速度 1.1 m/s 左右开始飞出,在速度约为 2.1 m/s,基本上全部飞出。

燃气蒸汽联合循环技术的发展 = **The Development of Gas-Steam Turbine Combined Cycle Technology** [刊, 中] /Cheng Yingjun, Zou Jietang, Chen Ying (Shanghai Jiaotong University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 311~ 314

The authors discuss the evolutionary course of development of gas-steam turbine combined cycles and give a brief description of certain types of advanced combined cycles. It is hoped that the paper will be helpful for those interested in grasping the development tendency of such combined cycles. **Key words** gas turbine, combined cycle, development

利用出口几何结构改善循环流化床锅炉性能 = **The Improvement of Circulating Fluidized Bed Boiler Performance Through the Use of Exit Geometric Structures** [刊, 中] /Jin Yan, Zheng Qiayu (Qinghua University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 315~ 316

The exit geometric structures of a circulating fluidized bed boiler exercise a tremendous influence on its in-boiler gas-solid dual-phase flow behavior and heat transfer characteristics. This is called the exit end effect of a circulating fluidized bed boiler. Test results have shown that the use of a rational exit geometric structure is conducive to the enhancement of particle internal circulation and in-boiler heat transfer. **Key words** circulating fluidized bed boiler, exit geometric structure, internal circulation

动力装置与主锅炉匹配的初步研究 = **A Preliminary Study of the Matching of a Power Plant and its Main Boiler** [刊, 中] /Chen Qiduo, Shen Zhigang, Liu Changcheng, et al (Harbin No. 703 Research Institute) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 317~ 318

This paper dwells on the matching of a power plant and its main boiler as well as their interrelationship. It can serve as a guide during the design of a naval steam power plant and its main boiler. **Key words** power plant, main boiler, matching

石灰石静态煅烧特性的研究 = **A Study of Limestone Static Calcination Characteristics** [刊, 中] /Zheng Ying, Shi Xuefeng, Zhou Yingbiao, et al (Huazhong University of Science & Engineering) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 319~ 321

With the help of a laboratory ASAP2000 specific surface area measuring instrument studied are the CaO microstructure characteristics obtained after the calcination of two kinds of limestone. Discussed is the influence on CaO specific surface area and average pore diameter of calcination time, calcination temperature and limestone particle diameter. **Key words** limestone, calcination, pore characteristics

稻壳与石英砂及煤粒的流化与混合特性研究 = **A Study of the Fluidization and Mixing Characteristics of Rice Husk, Quartz Sand and Pulverized Coal** [刊, 中] /Chen Guanyi, Fang Mengxiang, Luo Zhongyang, et al (Zhejiang University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(5). - 321~ 324

On a small-sized test stand studied is a rice husk-fired fluidized bed boiler with respect to such key techniques as fluidization and mixing characteristics of multi-component materials like rice husk, silicon sand and coal, etc. A series of practical and instructive conclusions are obtained, which can serve as a theoretical basis and guidelines for the design and operation of rice husk-fired fluidized bed boilers. **Key words** rice husk, fluidized bed, fluidization characteristics, mixing characteristics, experimental study