

文章编号:0253-9993(2013)03-0480-07

稀相气固流化床分选电厂磨煤机返料的研究

王 帅^{1,2},何亚群^{1,2},王海锋¹,贺靖峰¹,蔡 彬¹

(1. 中国矿业大学 化工学院,江苏 徐州 221116;2. 中国矿业大学 现代分析与计算中心,江苏 徐州 221116)

摘 要:通过分析磨煤机返料的粒度和密度分布,将物料分为0.500~0.125 mm和<0.500 mm两组,并分别对其进行稀相气固流化床分选实验。结果表明,两组物料的起始流化速度均为0.41 cm/s,物料中的黄铁矿和铝硅酸盐等矿物质得到了去除,0.500~0.125 mm和<0.500 mm两组物料轻产物和重产物灰分分别为38.90%、77.58%和44.64%、74.55%,硫分分别为1.09%、6.97%和1.62%、6.99%,可燃体回收率分别为94.11%和91.16%。其中,<0.500 mm物料流化床层更连续、稳定。扫描电镜(SEM)背散射图像与能谱仪(EDX)测试验证了分选的有效性。

关键词:气固流化床;磨煤机;分离器返料;微粉煤;矿物质;背散射成像

中图分类号:TD94 文献标志码:A

Study on recirculating loads of power plant pulverizer separated by dilute gas-solid fluidized bed

WANG Shuai^{1,2}, HE Ya-qun^{1,2}, WANG Hai-feng¹, HE Jing-feng¹, CAI Bin¹

(1. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Advanced Analysis and Computation Center, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to investigate the application of dilute fluidized bed in desulfuration and ash reduction to the classifier's recirculating loads in the power plant pulverizer, and how fine coal can influence the separation process in the fluidized bed, the size and density distribution of the pulverizer recirculating loads were analyzed to divide the materials into 0.500-0.125 mm and <0.500 mm groups. Then the separation experiment was performed on the fluidized bed. The results show that the minimum fluidization velocity of both these groups is 0.41 cm/s. At the same time, minerals, including pyrite, are effectively removed. The ash content of light and heavy products in the two groups are found to be 38.90% and 77.58% for 0.500-0.125 mm, and 44.64% and 74.55% for <0.500 mm. The sulfur content are 1.09%, 6.97% and 1.62%, 6.99% respectively, and the combustible material recovery rates are at 94.11% and 91.16% respectively. The results also show that the <0.500 mm group has a more continuous and stable fluidized bed. The back scatter imagery of SEM and the energy spectrum test show the effectiveness of the separation.

Key words: gas-solids fluidized bed; pulverizer; recirculating load of classifier; fine coal; mineral; backscattered electron image

目前,煤炭在我国能源结构中所占的比例为70%左右,是大气污染物的主要来源^[1],这些大气污染物主要来自燃煤电厂的火力发电过程。

在燃煤电厂中,磨煤过程是电厂制粉过程的关键环节,煤炭在这个环节中充分破碎,炭与矿物质充分

解离^[2]。在粗粉分离器的分离作用下,只有少量的高密度组分被分离并排出磨煤机,而大量的高密度组分特别是黄铁矿等可磨性差的组分仍然在磨煤机内循环、研磨,并进入炉膛燃烧,这不仅增加了磨煤功耗及设备损耗,而且燃烧过程将产生大量的二氧化硫、

收稿日期:2012-08-24 责任编辑:张晓宁

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51074156,51274196);国家青年科学基金资助项目(51104160)

作者简介:王 帅(1985—),男,江苏睢宁人,博士研究生。Tel:0516-83591099, E-mail: blueskyws1985@163.com。通讯作者:何亚群(1963—),男,江苏无锡人,教授,博士生导师。Tel:0516-83592928, E-mail: yqhe@cumt.edu.cn

氮氧化物等污染物质,这是形成酸雨和大气污染的主要原因^[3]。此外,黄铁矿等矿物质的燃烧会在锅炉壁面形成难以清除的熔渣,降低锅炉的燃烧效率^[4]。因此,煤炭燃前脱硫降灰对电厂的环境保护和降低运行成本具有重要意义。近年来,干法分选技术已成为煤炭燃前脱硫降灰研究的热点,如空气重介质流化床分选^[5-6]、脉动气流分选^[7]、复合式干法分选和干法跳汰等干法选煤技术日趋成熟并已经或即将用于煤炭的工业分选^[8-9]。其中,由于气固流态化技术的引入,逐渐形成了基于气固两相流的干法选煤技术体系,包括影响气固流化床分选过程的因素和条件^[10],流化床中的气固两相流流化特性^[11-13],宽粒级加重介质对流化床流化特性及床层密度的影响^[14],以及流化床层密度检测及颗粒分离行为机理等^[15-18],这些研究为细粒煤、微细粉煤的流化床分选积累了理论基础。目前,流化床干法分选技术已能够对6 mm以下的细粒煤进行有效分选,为细粒煤和微细粉煤的干法分选带来了可能^[5,19]。

本文将气固流化床干法分选技术引入电厂磨煤过程,分别对0.500~0.125 mm和<0.500 mm两个粒级物料进行分选试验,研究<0.125 mm粒级的微粉煤对分选过程的影响以及磨煤返料在气固流化床中的分层规律,并运用扫描电子显微镜背散射成像技

术和能谱测试技术观察和分析分选效果^[20],探索气固流化床分选技术在电厂磨煤过程中进行煤炭脱硫降灰的可行性。

1 实验物料

实验物料来自于大唐煤电集团某发电厂的ZGM95型磨煤机分离器返料。工业分析可知,采样物料灰分为48.62%,硫分为1.92%。称取物料150 g,使用Retsch公司的AS-200自动筛分仪和标准套筛对物料进行筛分试验,物料的粒度组成见表1。可以看出,物料粒度基本在0.500 mm以下,其中主导粒级为0.250~0.125,0.500~0.250和0.125~0.063 mm三个部分,分别占62.98%,14.38%和11.52%;小于0.063 mm的占10.60%,即<0.125 mm的微粉煤占22.12%。

各粒级物料的密度组成见表2。可以看出,该物料的密度组成比较复杂,0.500~0.125 mm物料主要集中在小于1.5 g/cm³和大于2.0 g/cm³部分,<0.125 mm物料则主要集中在大于1.3 g/cm³部分。各粒级中大于2.0 g/cm³部分均在20%以上,其中0.250~0.125 mm和0.125~0.063 mm粒级分别达到36.69%和33.69%,可见,微粉煤中高密度物质占主要部分。

表1 物料粒度组成

Table 1 Size composition of material

粒度级/mm	>0.500	0.500~0.250	0.250~0.125	0.125~0.063	0.063~0.045	<0.045
质量分数/%	0.52	14.38	62.98	11.52	9.51	1.09

表2 物料各粒级密度组成

Table 2 Density components of each size material

密度级/(g·cm ⁻³)	粒度级/mm				
	0.500~0.250	0.250~0.125	0.125~0.063	0.063~0.045	<0.045
<1.3	17.16	8.16	0.78	1.16	1.27
1.3~1.4	16.64	16.07	4.40	19.75	13.94
1.4~1.5	15.50	19.85	15.62	21.59	20.97
1.5~1.6	9.56	7.62	19.15	11.67	18.04
1.6~1.8	15.14	5.92	16.11	14.58	18.62
1.8~2.0	5.09	5.69	10.44	6.66	7.26
>2.0	20.90	36.69	33.49	24.60	19.90

水分对于气固流化床的工作是不利因素,当水分达到一定值,颗粒之间会发生团聚现象,从而影响气固两相流的流变特性,导致床层不稳定,影响物料按密度分层的过程。由于磨煤机内部温度高达100~200℃,致使分离器返料颗粒表面几乎不含水分,经测定,物料

含水0.046%。不同粒级实验物料在FEI Quanta 250环境扫描电子显微镜(SEM)下进行观察(图1),可以看到,只有少量的极细颗粒因静电吸附在煤粒破碎后的断面上,颗粒之间没有因表面含水而发生团聚现象,这为流化床干法分选创造了有利条件。

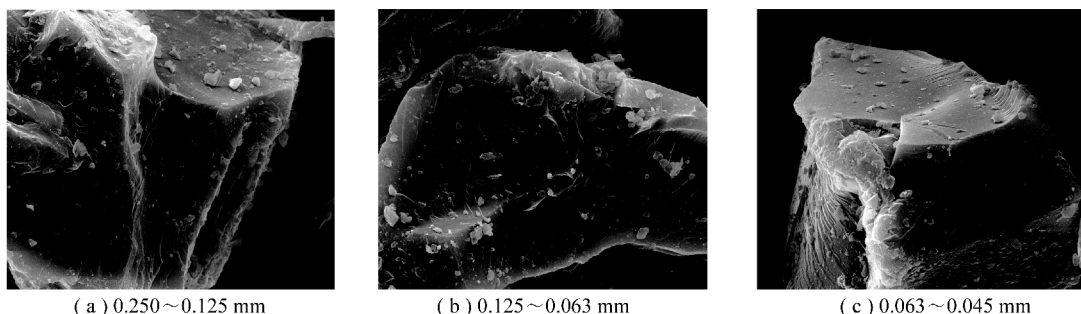


图1 不同粒度物料单颗粒的 SEM 照片($\times 4\ 000$)

Fig. 1 SEM pictures of different size single particle material($\times 4\ 000$)

2 流化床分选试验

2.1 实验装置

试验在 $300\text{ mm}\times 200\text{ mm}\times 500\text{ mm}$ 的流化床模型试验系统上进行,如图 2 所示。该系统主要由供风、流量控制、模型装置、参数检测等部分组成,其中流化床模型装置是核心部分,主要由气体分布器和床体构成。

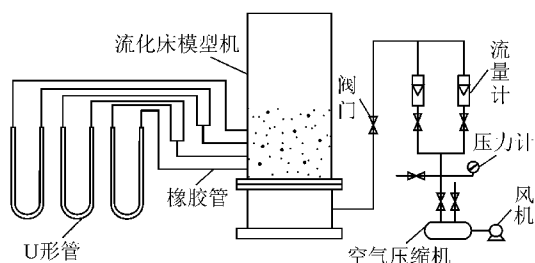


图2 流化床模型实验系统示意

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system with a fluidized bed model

2.2 分选实验

由于实际采样物料中含有大量微细颗粒($< 0.125\text{ mm}$),因此,为研究该粒度微粉煤对稀相气固流化床分选过程的影响,将实验物料分为两组,分别对 $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 和 $< 0.500\text{ mm}$ 粒度磨机返料进行分选试验。向流化床内加入试验物料,使床层高度达到 12 cm ,并从底向上将床层依次分为 4 层,其中靠近布风板的为第 4 层,最上部为第 1 层。打开风机及进气阀门,调节流量计,测量并记录各床层的压降。两组物料的流化特性曲线分别如图 3 所示,可以看出, $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 和 $< 0.500\text{ mm}$ 物料的起始流化速度均为 0.41 cm/s 。根据起始流化速度,将气流速度调节至 1.23 cm/s ,即流化数为 3,此时床层孔隙率增大,床层处于稀相状态,在此状态下保持一定时间使物料分层。最后,将风阀关闭,使床层恢复静止状态,用微型吸尘器在垂直方向上依次将上述各层物料取出,其中,从电厂磨煤生产经济性和探索性分选研

究的角度考虑,尽可能得到纯度较高的高灰高硫的重组分,因此,待床层静止后,从第 1 层到第 4 层依次取出的物料床层厚度分别为 $2, 4, 4, 2\text{ cm}$,即厚度比为 $1:2:2:1$,并对各层产物进行筛分、浮沉及工业分析,两组实验的各层产率见表 3。

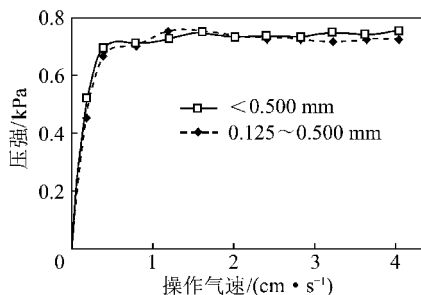


图3 流化特性曲线

Fig. 3 Fluidization characteristic curves in fluidized bed

表3 各层产物的产率

Table 3 Yield of each layer product

层数	$0.500\sim 0.125\text{ mm}$	$< 0.500\text{ mm}$
第 1 层	13.82	14.81
第 2 层	28.10	33.39
第 3 层	40.29	38.66
第 4 层	17.79	13.14

3 实验结果与分析

3.1 粒度分析

两组物料各层产物筛分实验结果分别见表 4,5。可以看出,两组物料各层产物的粒度分布规律相似,各组的前 3 层物料粒度组成基本相同,没有大的波动,其中, $< 0.500\text{ mm}$ 物料各层产物的粒度组成更接近入料的粒度组成。

对于两组物料的第 4 层产物,粒度组成呈现明显的变化,粗颗粒所占比例显著升高,其中, $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 物料中主导粒度 $0.500\sim 0.250\text{ mm}$ 和 $0.250\sim 0.125\text{ mm}$ 所占比例分别为 42.34% 和 54.95% ; $< 0.500\text{ mm}$ 物料第 4 层产物中 $0.500\sim$

0.250 mm 和 0.250 ~ 0.125 mm 粒级所占比例分别为 35.74% 和 54.93%, 而 0.125 ~ 0.063 mm 和 0.063 ~ 0.045 mm 所占比例分别降低到 4.15% 和 2.99%。

表 4 0.500 ~ 0.125 mm 物料各层产物的筛分试验结果

Table 4 Screening test results of each layer product of 0.500 ~ 0.125 mm material %

粒度级/mm	第1层	第2层	第3层	第4层
>0.500	0.16	0.17	0.33	2.25
0.250 ~ 0.500	13.17	12.83	17.27	42.34
0.125 ~ 0.250	82.49	83.06	79.67	54.95
0.063 ~ 0.125	3.12	2.96	2.12	0.37
0.045 ~ 0.063	1.00	0.97	0.62	0.09
<0.045	0.06	0.01		

表 5 <0.500 mm 物料各层产物筛分的试验结果

Table 5 Screening test result of each layer product of <0.500 mm material %

粒度级/mm	第1层	第2层	第3层	第4层
>0.500	0.29	0.26	0.35	1.94
0.250 ~ 0.500	10.40	10.36	12.44	35.74
0.125 ~ 0.250	65.15	64.77	64.60	54.93
0.063 ~ 0.125	13.26	13.56	12.52	4.15
0.045 ~ 0.063	9.90	10.54	9.29	2.99
<0.045	1.00	0.51	0.80	0.25

3.2 密度分析

两组物料各层产物的浮沉试验结果分别见表 6, 7。可以看到, 0.500 ~ 0.125 mm 物料的第 1, 2 层产物的密度组成基本相同, 第 3 层产物密度组成略有变化, 主要表现为大于 1.5 g/cm³ 组分的增加, 而 < 0.500 mm 物料前 3 层产物的密度组成则基本相同。两组物料第 4 层产物的密度组成均有明显的变化, 高密度组分明显增加, 0.500 ~ 0.125 mm 物料和 < 0.500 mm 物料的第 4 层产物中大于 2.0 g/cm³ 组分所占比例分别达到 60.13% 和 59.89%。

表 6 0.500 ~ 0.125 mm 物料各层产物的浮沉试验结果

Table 6 Float-sink test results of each layer product of 0.500 ~ 0.125 mm material %

密度级/ (g · cm ⁻³)	第1层	第2层	第3层	第4层
<1.3	24.09	20.30	24.96	6.72
1.3 ~ 1.4	22.12	21.40	11.83	5.34
1.4 ~ 1.5	10.79	13.65	10.46	6.00
1.5 ~ 1.6	7.03	10.46	4.91	8.24
1.6 ~ 1.8	8.98	5.76	9.51	5.46
1.8 ~ 2.0	4.58	5.20	6.75	8.10
>2.0	22.41	23.24	31.58	60.13

表 7 <0.500 mm 物料各层产物的浮沉试验结果

Table 7 Float-sink test results of each layer product of <0.500 mm material %

密度级/ (g · cm ⁻³)	第1层	第2层	第3层	第4层
<1.3	6.28	6.19	6.43	7.00
1.3 ~ 1.4	15.65	15.83	13.52	5.36
1.4 ~ 1.5	19.09	18.87	17.47	5.93
1.5 ~ 1.6	9.15	8.81	8.11	8.38
1.6 ~ 1.8	10.01	9.75	10.49	4.86
1.8 ~ 2.0	8.22	8.14	9.22	8.59
>2.0	31.61	32.41	34.78	59.89

3.3 分选效果

对分选产物进行工业分析, 各层产物的灰分及硫分见表 8。其中, 0.500 ~ 0.125 mm 物料的轻产物和重产物的灰分和硫分分别为 38.90%, 77.58% 和 1.09%, 6.97%; <0.500 mm 物料的灰分和硫分分别为 44.64%, 74.55% 和 1.62%, 6.99%。用式 (1) 计算两组分选试验的可燃体回收率, 以评价两组物料的分选效果。

$$E = \gamma_j \left(\frac{100 - A_{dj}}{100 - A_{dy}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

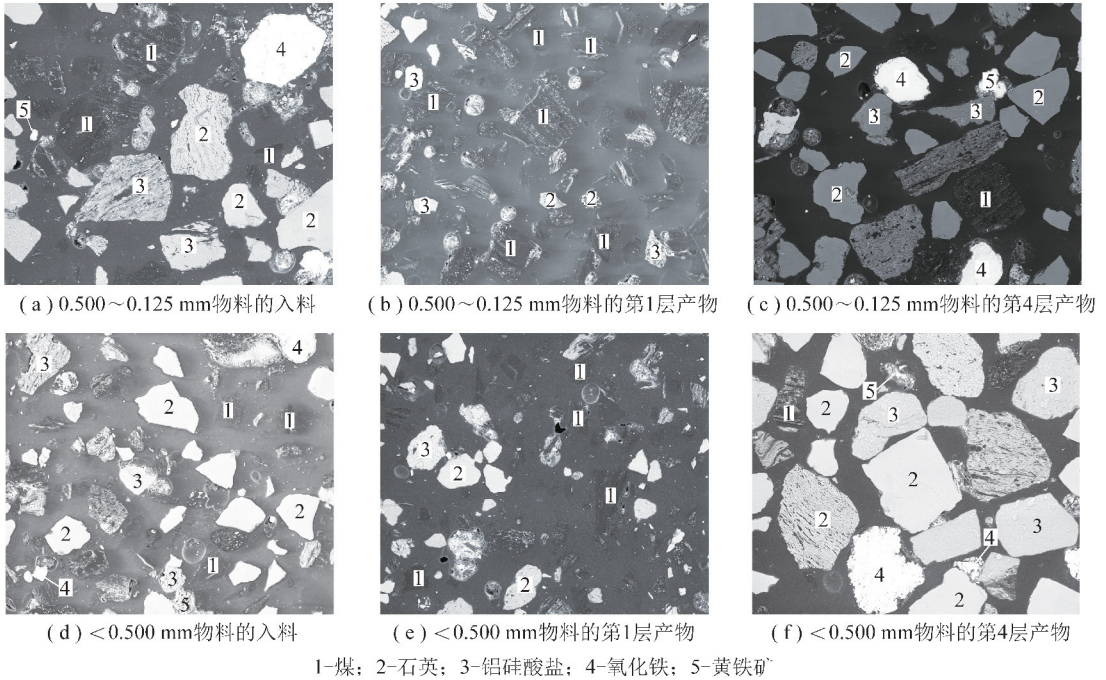
其中, E 为可燃体回收率; γ_j 为轻产物产率; A_{dj} 为轻产物灰分; A_{dy} 为原煤灰分。得到 0.500 ~ 0.125 mm 和 <0.500 mm 物料的可燃体回收率分别为 94.11% 和 91.16%。

表 8 各层产物灰分及硫分

Table 8 Ash and sulfur content of each layer product %

层数	0.500 ~ 0.125 mm		<0.500 mm	
	A_d	$w(S_{t,d})$	A_d	$w(S_{t,d})$
第1层	38.90	1.09	44.64	1.62
第2层	38.68	1.33	45.10	2.16
第3层	49.93	3.78	47.47	2.33
第4层	77.58	6.97	74.55	6.99

通过 SEM 和 Bruker QUANTAX400-10 电制冷能谱仪 (EDX) 的联合使用, 运用背散射成像技术 (BSE) 和元素面分布分别对两组物料及其产物进行观察和分析, SEM 背散射照片如图 4 所示。其中, 图 4(a) ~ (c) 依次为 0.500 ~ 0.125 mm 物料的入料、第 1 层产物和第 4 层产物; (d) ~ (f) 依次为 <0.500 mm 物料的入料、第 1 层产物和第 4 层产物。根据衬度差异及所含元素的不同, 可从亮、暗程度区分出煤与其他高密度矿物质 (如图中标注), 从背散射照片可以看出, 两组物料均得到了有效分选。



1-煤; 2-石英; 3-铝硅酸盐; 4-氧化铁; 5-黄铁矿

图 4 物料背散射照片(×160)

Fig. 4 BSE pictures of materials(×160)

3.4 微粉煤对分选过程的影响

本文主要从流化床层的粒度和密度稳定性来评价微粉煤对分选过程的影响,采用粒度分布均匀系数和密度分布均匀系数对两组实验进行比较。

通过计算各层粒度级分布标准偏差得到粒度分布均匀系数,用来比较两组物料在流化床中的粒度分布,计算公式为

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \quad (2)$$

其中, N 为床层层数; φ_i 为第 i 层物料的产率,即该层物料所占整个床层物料的质量分数; $\bar{\varphi}$ 为某粒度级物料在各层中产率的平均值。通过计算得到粒度分布均匀性曲线如图 5 所示。可以看出, >0.250 mm 粒级在 $0.500 \sim 0.125$ mm 物料床层中分布更均匀, <0.250 mm 粒级则在 <0.500 mm 物料床层中分布更均匀,这与表 3,4 的筛分实验结果一致。

通过计算各层密度级分布标准偏差得到密度分布均匀系数,用来比较两组物料在流化床中的密度分布,计算公式为

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2} \quad (3)$$

其中, ω_i 为第 i 层物料的产率,即该层物料所占整个床层物料的质量分数; $\bar{\omega}$ 为某密度级物料在各层中产率的平均值。通过计算得到密度分布均匀性曲线如图 6 所示。可以看出, <0.500 mm 物料中 <1.4 g/cm³

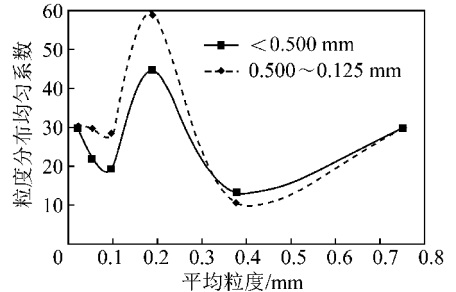


图 5 粒度分布均匀性曲线

Fig. 5 Uniformity curves of size distribution

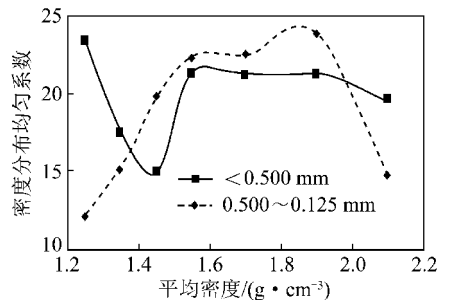


图 6 密度分布均匀性曲线

Fig. 6 Uniformity curves of density distribution

和 >2.0 g/cm³ 部分的密度分布均匀系数较大,而 $1.4 \sim 2.0$ g/cm³ 部分的密度分布均匀系数较小,即 <0.500 mm 物料中 $1.4 \sim 2.0$ g/cm³ 密度级在流化床中分布更均匀,这与表 5,6 的浮沉实验结果一致。

从以上实验及计算结果可以看出,两组物料在稀相气固流化床中均有按粒度分级现象,而且均按密度

差异进行了分层,低密度组分和高密度组分分别在流化床上部、底部得到了富集,但 $<0.500\text{ mm}$ 物料形成的分选流化床床层的密度更稳定、更连续。可见,微粉煤的存在对流化床层的稳定性产生了有利的影响。但从轻、重产物灰分差及可燃体回收率来看, $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 物料的分选效果更好。分析可知,主导粒级 $0.250\sim 0.125\text{ mm}$ 组分在流化床中起到了加重质的作用,在流化过程中形成了具有一定密度的流化床层,为物料在流化床中按密度分层创造了条件,由于 $<0.500\text{ mm}$ 物料中微粉煤($<0.125\text{ mm}$)的存在,一定程度地充填了流化床层中较大颗粒之间的间隙,使流化床层孔隙率减小,流化床单位体积内颗粒浓度增加,颗粒在流化床中运动时所受的黏滞力增加,颗粒之间的相互作用加强,形成了密度和粒度更稳定的分选床层,但颗粒在上升和下降过程中都要受到更大的阻力,所受合力减小,使颗粒在流化床中的自由沉降末速减小,最终表现为在稀相气固流化床中按密度分离的作用被削弱。

4 结 论

(1) 两组物料有相同的较低起始流化速度,为 0.41 cm/s ,在稀相气固流化床分选条件下,两组物料均有按粒度分级现象,对应各层产物的粒度分布规律基本相同。

(2) $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 物料的轻产物和重产物灰分分别为 38.90% 和 77.58% ,可燃体回收率为 94.11% ; $<0.500\text{ mm}$ 物料的轻产物和重产物灰分分别为 44.64% 和 74.55% ,可燃体回收率为 91.16% 。

(3) SEM背散射成像及EDX元素面分布结果表明,两组物料中的煤与其他矿物质组分得到了分离,两组物料均按密度进行了分层,硫分得到了有效去除。

(4) $<0.125\text{ mm}$ 粒级微粉煤的存在,使流化床单位体积内颗粒浓度增加,颗粒在流化床中的黏滞力增加,相互作用加强,同时,使得颗粒在流化床中的自由沉降末速减小,最终表现为在稀相气固流化床中按密度分离的作用被削弱,因此, $<0.500\text{ mm}$ 全粒级磨煤机返料的流化床层更连续、更稳定,而 $0.500\sim 0.125\text{ mm}$ 物料的分选效果更好。

参考文献:

[1] 湛天兵,武建军,韩甲业. 燃煤污染现状及其治理技术综述[J]. 煤,2006,15(2):1-4.

Chen Tianbing, Wu Jianjun, Han Jiaye. An overview of present status of coal burning pollution and treatment technologies[J]. Coal, 2006, 15(2):1-4.

- [2] 戴 为,牛海峰,马洪顺. 中速磨煤机[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [3] 许传凯,袁 颖. 大型燃煤电厂锅炉运行现状分析[J]. 中国电力,2003,36(1):1-5.
Xu Chuankai, Yuan Ying. Analysis of present operating situation of large size coal-fired utility boilers[J]. Electric Power, 2003, 36(1): 1-5.
- [4] 沈桂男. 煤质变化对锅炉运行经济性的影响[J]. 华东电力, 2005, 33(3):29-31.
Shen Guinan. Effect of coal quality variation on economy of boiler operation[J]. East China Electric Power, 2005, 33(3):29-31.
- [5] 骆振福,赵跃民. 流态化分选理论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2002.
Luo Zhenfu, Zhao Yuemin. Separation theory of fluidization[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2002.
- [6] 曾 鸣,魏汝晖,梁世红,等. 新型干法分选机分选过程影响因素分析[J]. 煤炭学报,2011,36(5):845-848.
Zeng Ming, Wei Ruhui, Liang Shihong, et al. Analysis on influencing factor of separation process of a new-style dry separator[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(5):845-848.
- [7] 何亚群,赵跃民. 脉动气流分选[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.
He Yaquin, Zhao Yuemin. Technology of pulsing air separation[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [8] 沈丽娟,陈建中. 复合式干法分选机中床层物料的运动分析[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(4):447-451.
Shen Lijuan, Chen Jianzhong. Analysis of material motion in compound dry separator[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(4):447-451.
- [9] Sampaio C H, Aliaga W, Pacheco E T, et al. Coal beneficiation of Candiota mine by dry jigging[J]. Fuel Processing Technology, 2008, 89(2):198-202.
- [10] 骆振福,赵跃民,陈清如,等. 浓相高密度分选流化床气体分布参数的研究[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(3):237-240.
Luo Zhenfu, Zhao Yuemin, Chen Qingru, et al. Research on gas distribution of dense phase high density fluidized bed for separation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(3):237-240.
- [11] 骆振福,陈清如,杨玉芬. 振动流化床加重质流动模型的研究[J]. 煤炭学报,1997,22(6):647-652.
Luo Zhenfu, Chen Qingru, Yang Yufen. Research on flow model of medium solids in vibration fluidized bed[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(6):647-652.
- [12] Zhao Yuemin, Tang Ligang, Luo Zhenfu, et al. Experimental and numerical simulation studies of the fluidization characteristics of a separating gas-solid fluidized bed[J]. Fuel Processing Technology, 2010, 91(12):1819-1825.
- [13] 贺靖峰,赵跃民,何亚群,等. 浓相气固高密度流化床内的气泡动力学行为特性[J]. 煤炭学报,2012,37(2):295-300.
He Jingfeng, Zhao Yuemin, He Yaquin, et al. Dynamic fluid bubble behaviors in the dense gas-solid fluidized bed with high densities[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2):295-300.
- [14] 唐利刚,赵跃民,骆振福,等. 宽粒级加重质的流化特性[J]. 中

- 国矿业大学学报,2009,38(4):509-514.
- Tang Ligang,Zhao Yuemin,Luo Zhenfu, et al. Fluidization characteristics of medium solids with a wide size range[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2009,38(4):509-514.
- [15] 韦鲁滨,陈清如,邢洪波. 固流化床中粗粒的沉降行为[J]. 中国矿业大学学报,2000,29(2):136-139.
- Wei Lubin,Chen Qingru,Xing Hongbo. Settling behavior of coarse particles in gas-solid fluidized bed[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2000,29(2):136-139.
- [16] 陶秀祥,严德坤,骆振福,等. 气固流化床密度的在线测控研究[J]. 煤炭学报,2002,27(3):315-319.
- Tao Xiuxiang,Yan Dekun,Luo Zhenfu, et al. Measurement and control research on density of gas-solid fluidized bed[J]. Journal of China Coal Society,2002,27(3):315-319.
- [17] 韦鲁滨,边炳鑫,陈清如,等. 物体在流化床中的终端末速[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(1):5-8.
- Wei Lubin,Bian Bingxin,Chen Qingru, et al. Study on terminal velocity of objects moving in fluidized beds[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2001,30(1):5-8.
- [18] 骆振福,陈尚龙,赵跃民,等. 基于马尔可夫理论的气固分选流化床密度的预测[J]. 煤炭学报,2011,36(1):105-109.
- Luo Zhenfu,Chen Shanglong,Zhao Yuemin, et al. Density prediction of gas-solid fluidized bed for separation base on Markov theory[J]. Journal of China Coal Society,2011,36(1):105-109.
- [19] Oshitani J,Kawahito T,Yoshida M, et al. Improvement of dry float-sink separation of smaller sized spheres by reducing the fluidized bed height[J]. Advanced Powder Technology,2012,23(1):27-30.
- [20] 王培铭,丰曙霞,刘贤萍. 背散射电子图像分析在水泥基材料微观结构研究中的应用[J]. 硅酸盐学报,2011,39(10):1659-1665.
- Wang Peiming,Feng Shuxia,Liu Xianping. Application of back-scattered electron imaging and image analysis in microstructure research on cement-based materials[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society,2011,39(10):1659-1665.

《煤炭学报》两篇优秀论文入选

“2011 年中国百篇最具影响国内学术论文”

据“中国科技论文统计结果发布会”发布的信息,《煤炭学报》2007 年刊登的两篇论文入选“2011 年中国百篇最具影响国内学术论文”,分别是:

(1)康红普,王金华,林健. 高预应力强支护系统及其在深部巷道中的应用[J]. 煤炭学报,2007,32(12):1233-1238;

(2)胡千庭,梁运培,刘见中. 采空区瓦斯流动规律的 CFD 模拟[J]. 煤炭学报,2007,32(7):719-723.

“中国百篇最具影响国内学术论文”是从 2007—2011 年中国科技论文与引文数据库收录的数百万计的论文中选出的,主要考察论文的创新性、论文的文献类型、是否前沿重点学科、论文发表的期刊水平、论文的规范化程度、论文他引率等,评选出的百篇论文代表了各个学科科研成果的最高水平。本次评选的 100 篇论文,按照学科部类划分,工业技术 41 篇、医药卫生 31 篇、基础科学 17 篇、农林牧渔 10 篇、管理及其他 1 篇。

“中国百篇最具影响国内学术论文”评选活动影响巨大,人民网等重要媒体都有报道,各单位更是将其视为代表科研实力的重要荣誉。《煤炭学报》刊登的论文首次入围,是一次历史性的突破,这是论文作者的光荣,也是本刊的光荣,在此向论文作者表示祝贺。