

徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.

内构件对提高干扰床细粒煤分选性能的影响

唐利刚¹, 谢广元², 赵跃民²

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为提高干扰床对细粒煤的分选性能, 在干扰床内加入内构件, 对比分析了加入内构件前后干扰床的分选效果。结果表明, 对于灰分 21.57% 的 1.50~0.25 mm 细粒煤, 为使精煤灰分不超过 10.00%, 普通干扰床的表观水速不宜超过 23.50 mm/s, 所得精煤灰分和精煤产率分别为 9.00%、72.56%, 可能偏差 E_p 为 0.123 g/cm³。在相同试验条件下, 加入内构件的干扰床在一定程度上能抑制煤粒的错配效应, 强化了煤粒基于密度差异分离的趋势, 提高了干扰床的分选性能, 所得精煤灰分和精煤产率分别为 8.83%、80.12%, 可能偏差 E_p 为 0.085 g/cm³。

关键词: 干扰床; 内构件; 细粒煤; 分选

中图分类号: TD94 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336 (2012) 09-0117-04

Internal Structural Parts Affected to Improve Fine Coal Separation Performances of Turbulence Bed

TANG Li-gang¹, XIE Guang-yuan², ZHAO Yue-min²

(1. Mining and Design Department, Tiandi Science and Technology Company Ltd., Beijing 100013, China;

2. School of Chemical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to improve the fine coal separation performance of the turbulence bed, an internal structural part was fixed in the turbulence bed in order to improve the separation effect. A comparison analysis was conducted on the separation effects of the turbulence bed before and after the internal structural parts fixed. The results showed that as for 1.50~0.25 mm fine coal with ash content of 21.57%, in order to make the cleaned coal with ash content not over 10.00%, the superficial water velocity of the conventional turbulence bed should not be over 23.50 mm/s, the ash content of the cleaned coal and the cleaned coal production rate were 9.00% and 72.56% individually and the probable error E_p value was 0.123 g/cm³. Under the same test conditions, the turbulence bed with the internal structural parts could restrain the misplacement effect of the coal particle in certain degrees, the coal particle based on the density different separation tendency could be enhanced and the separation performance of the turbulence bed could be improved. Thus the cleaned coal ash content and the cleaned coal production rate would be 8.83% and 80.12% and the E_p value was 0.085 g/cm³.

Key words: turbulence bed; internal structural parts; fine coal; separation

由于采煤地质条件的变化和采煤机械化程度的提高, 原煤中细粒级含量逐渐增大。我国选煤厂一般采用 2 段分选工艺: 粒级大于 0.5 mm 煤采用跳汰或重介质分选方法, 粒级小于 0.5 mm 煤泥采用浮选方法。跳汰或重介对小于 1.50 mm 粒级的煤分选效果较差, 而浮选对大于 0.25 mm 粒级的煤分选效果较差, 导致 1.50~0.25 mm 细粒煤得不

到有效分选。因此, 1.50~0.25 mm 细粒煤的高效分选已成为亟待解决的问题。在细粒煤分选设备中, 干扰床以其分选密度较低, 工艺简单, 结构紧凑, 运行成本低等优点, 逐渐受到重视^[1-5], 但其分选精度有待进一步提高^[6-9]。Galvin 等^[10]加入了平行倾斜板, 提出了 Reflux Classifier (RC) 分选机, 该设备对 1.50~0.25 mm 细粒煤的可能偏

收稿日期: 2012-05-28; 责任编辑: 代艳玲

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体资助项目 (50921002); 中国博士后科学基金资助项目 (20100480473)

作者简介: 唐利刚 (1983—), 男, 河北邢台人, 博士。E-mail: laotangx@126.com

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.117_030.html

引用格式: 唐利刚, 谢广元, 赵跃民. 内构件对提高干扰床细粒煤分选性能的影响 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (9): 117-120.

差 E_p 值达 0.06 g/cm^3 ，但其结构复杂，体积庞大，不易维修。焦红光等^[11]加入了阻尼块，阻尼块和脉动水流的综合作用使 $3 \sim 0.25 \text{ mm}$ 细粒煤的精煤灰分降低了 2%。笔者前期的数值模拟研究表明内构件（截顶倒圆锥形多孔板，简称多孔板）有助于提高干扰床的分选性能^[12]，在此基础上开展了该内构件对干扰床分选性能强化作用的试验研究。

1 试验

1) 试验装置。干扰床细粒煤分选试验装置如图 1 所示，其中有机玻璃柱体高 1000 mm ，内径 110 mm 。内构件为截顶倒圆锥形多孔板，多孔板厚 1 mm ，上开口直径 95 mm ，下开口直径 35 mm ，孔径 3 mm ，开孔率 32.65% ，板倾角 40° ，板间距 10 cm 。板间距定义为某一多孔板的下开口与相邻的下面一个多孔板的上开口之间的距离。多孔板由丝杠串联，丝杠顶端固定在流化床外壳的顶端。水流由泵打进流化床底部，经流体分布器后均匀上升。入料从柱体上端加入，受到上升水流的作用，颗粒群在床层中干扰沉降，沉降速度等于水流速度

的煤粒处于悬浮状态，形成具有一定密度的流化床，沉降速度小于（大于）水流速度的煤粒上浮（下沉），成为精煤（尾煤）。入料在流化床中并非基于床层的流化密度分层，但悬浮颗粒起到了加重质的作用，对颗粒基于密度差异分离有一定的促进作用。此外，穿越床层的尾煤颗粒及错配颗粒也起到增大床层密度的作用。

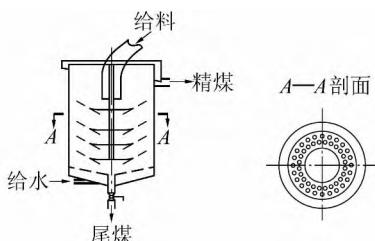


图 1 干扰床细粒煤分选试验装置

2) 入料性质。煤样取自临沂矿业集团古城煤矿，煤质分析结果见表 1。该煤样煤种为气煤，属于中高灰分、中高挥发分、低硫分、中热值煤炭。从原煤中筛分出 $1.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 粒级，灰分为 21.57% ，将其作为干扰床的入料。 $1.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 细粒煤的粒度组成见表 2。

表 1 煤样工业分析及元素分析测定结果

煤样	工业分析					元素分析				
	$M_t/\%$	$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$FC_d/\%$	$w(C)_{daf}/\%$	$w(H)_{daf}/\%$	$w(N)_{daf}/\%$	$w(O)_{daf}/\%$	$w(S)_{t,d}/\%$
原煤	7.98	2.76	31.58	39.50	44.22	80.20	5.25	1.38	12.08	0.74
浮煤	—	3.27	6.25	37.75	60.91	82.31	5.26	1.50	10.45	0.44

表 2 $1.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 细粒煤的粒度组成

粒级/mm	产率/%	灰分/%	筛上物累计	
			产率/%	灰分/%
$1.50 \sim 1.40$	0.45	15.21	0.45	15.21
$1.40 \sim 1.00$	47.71	24.14	48.15	24.06
$1.00 \sim 0.80$	8.74	21.36	56.89	23.64
$0.80 \sim 0.70$	10.82	17.57	67.71	22.67
$0.70 \sim 0.50$	9.10	17.70	76.81	22.08
$0.50 \sim 0.40$	9.87	19.20	86.68	21.76
$0.40 \sim 0.30$	4.95	17.22	91.63	21.51
$0.30 \sim 0.25$	8.37	22.21	100	21.57

由表 2 可知， $1.50 \sim 1.00 \text{ mm}$ 粒级含量最大，约占总量的 50%。 $1.50 \sim 1.00$ 、 $1.00 \sim 0.50$ 、 $0.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 粒级的灰分比较均匀，均在 20.00% 左右。 $0.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 煤泥含量及灰分都较高，扩大了粒度对分选效果的影响，增大颗粒按

密度分选的难度。 $1.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 入选煤的可选性曲线如图 2 所示。由图 2 可知：①煤样低密度级含量较大，其中小于 1.40 g/cm^3 密度级为主导密度级，含量高达 58.94% ，灰分为 8.00% ，这对精煤产品有利。 $1.60 \sim 1.80 \text{ g/cm}^3$ 密度级含量低，分选密度控制在该区间，颗粒错配量少，有利于取得较

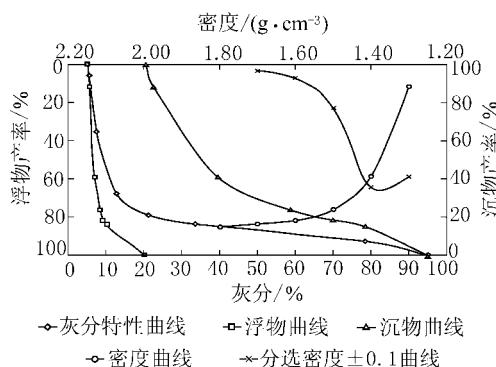


图 2 $1.50 \sim 0.25 \text{ mm}$ 入选煤的可选性曲线

好的分选效果。②精煤灰分为9.00%时,其理论精煤产率为80.00%,理论分选密度为1.58 g/cm³,分选密度±0.1含量为9.50%,可选性为易选;当精煤灰分为8.50%时,其理论精煤产率为76.00%,理论分选密度为1.50 g/cm³,分选密度±0.1含量为23.20%,可选性为较难选。

2 结果与讨论

为更清晰地对比加入多孔板后干扰床分选效果的变化,对加入多孔板前的干扰床分选效果进行了试验。没有多孔板时干扰床的产品灰分、产率及可

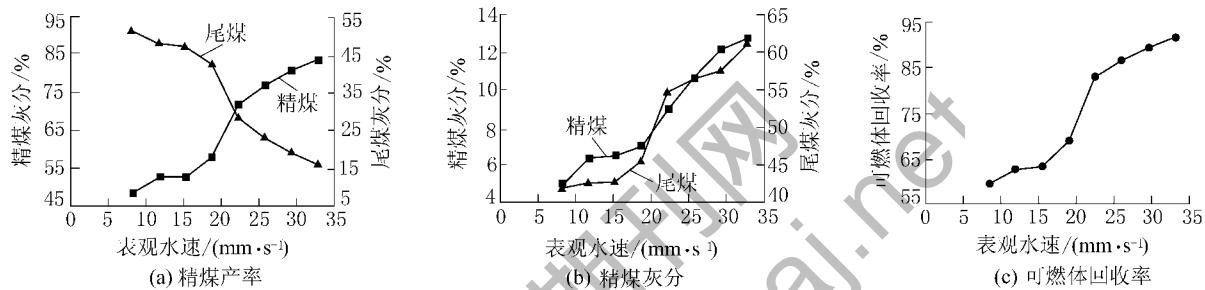


图3 普通干扰床分选效果随水速的变化曲线

加入多孔板前后干扰床分配曲线的变化如图4所示。可以看出,加入多孔板前干扰床的分选密度为1.60 g/cm³,可能偏差 E_p 为0.123 g/cm³,分选精度较低。分析其原因为:1.50~1.60 g/cm³的分配率较高,有40.51%的颗粒错配到了尾煤中,降低了精煤可燃体回收率,但是由于该密度级在入料中含量较少,精煤产率仍达到84.19%。1.60~1.80 g/cm³的分配率较低,有31.26%的颗粒错配到了精煤中,使精煤灰分升高,由于1.60~1.80 g/cm³在入料中含量较少,仅3.49%,没有对精煤灰分造成较大影响,精煤灰分较低,为9.00%。但这2个密度级颗粒的错配降低了入料整体的分选效果。前者主要来自低密度粗颗粒,后者主要来自高密度细颗粒。细粒煤在干扰床中基于沉降速度差异分离,而非床层的流化密度,因此较宽的粒度分

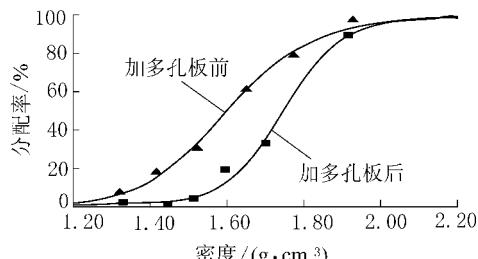
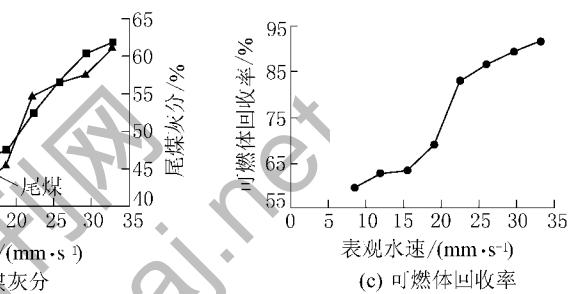


图4 加入多孔板前后干扰床的分配曲线

燃体回收率随表观水速的变化如图3所示。随水速增大,精煤灰分及可燃体回收率都逐渐升高,这是由于精煤粒度及密度下限不断增大所致。水速25.72 mm/s时,精煤和尾煤灰分分别为11.50%、55.00%,精煤产率及可燃体回收率分别为76.85%、86.72%,这表明有部分低密度粗颗粒错配到了尾煤中。为使精煤灰分不超过10.00%,水速不宜超过23.50 mm/s。水速为21.05 mm/s时,加入多孔板前精煤灰分和精煤产率分别为9.00%、72.56%。加入多孔板后,干扰床的精煤灰分为8.83%,精煤产率为80.12%。



布是影响煤粒密度分离的不利因素。

加入多孔板后干扰床的分选密度1.74 g/cm³, E_p 为0.085 g/cm³。与未加多孔板时相比,干扰床的分选性能有较大提高。这是因小于1.60 g/cm³密度级的分配率很低,其中小于1.40 g/cm³密度级基本上没有错配颗粒,而1.50~1.60 g/cm³密度级也仅有12.65%的颗粒错配到了尾煤中,并且大于1.80 g/cm³密度级的分配率很高,仅有10.01%的颗粒错配到精煤中。多孔板对分选产品粒度的影响见表3。

表3 加入多孔板前后分选产品粒度的变化

粒级/mm	加多孔板前产率/%		加多孔板后产率/%	
	精煤	尾煤	精煤	尾煤
1.50~1.40	0	0	0	0.11
1.40~1.00	9.40	21.29	19.07	14.46
1.00~0.80	6.89	1.85	7.15	1.14
0.80~0.50	24.36	3.15	41.26	2.88
0.50~0.40	17.32	0.70	7.90	0.83
0.40~0.20	14.60	0.44	4.74	0.45
合计	72.56	27.44	80.12	19.88

由表3可知,加入多孔板后干扰床分选出了更多的粗粒精煤,精煤的平均粒径由0.52 mm升至

0.66 mm。这是由于多孔板的分级作用很大程度上抑制了低密度粗颗粒错配到尾煤中，而高密度粗颗粒不易错配到精煤中，这有利于提高干扰床的分选性能。

3 结 论

1) 细粒煤在干扰床中基于沉降速度差异分离，而非依据床层的流化密度基于颗粒密度差异分离，较宽的粒度分布不利于颗粒按密度分离。

2) 对于灰分 21.57% 的 1.50~0.25 mm 细粒煤，普通干扰床分选后的精煤灰分和精煤产率分别为 9.00%、72.56%， E_p 值为 0.123 g/cm³。在相同试验条件下，加入截顶倒圆锥形多孔板后干扰床的精煤灰分和精煤产率分别为 8.83%、80.12%， E_p 值为 0.085 g/cm³。

3) 多孔板在一定程度上可以抑制颗粒的错配，强化煤粒的密度分离趋势，从而取得更好的分选效果。今后应进一步研究加入多孔板后煤粒在干扰床中的分离特征，以及多孔板对床层流型及其演变规律的影响。

参考文献:

- [1] Honaker R Q, Mondal K. Dynamic Modeling of Fine Coal Separations in a Hindered - bed Classifier [J]. *Coal Preparation*, 2000, 21 (2): 211~232.
- [2] Drummond R, Nicol S, Swanson A. Teetered Bed Separators:

(上接第 27 页)

断面尺寸大、围岩强度小，其矿压显现不同于一般巷道。该类巷道围岩变形量大、变形区域大、变形速度大。深井大断面煤巷稳定性控制机理在于及时、高强度支护，强控顶（底）、强固帮，促使围岩及早形成稳定的承载圈，与支护体一同承载，维持巷道围岩稳定。深井大断面煤巷锚杆、锚索联合支护工艺在于“锚杆先刚后柔、锚索先柔后刚”，利用锚杆自身的延伸量和锚索端部安装的让压结构适应围岩变形大的特点。

参考文献:

- [1] 何满潮，谢和平，彭苏萍，等. 深部开采岩体力学研究 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2005, 24 (16): 2803~2814.
- [2] 康红普，王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [3] 李树清，王卫军，潘长良. 深部巷道围岩承载结构的数值分

- the Australian Experience [J]. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 2002, 102 (7): 385~392.
- [3] Maharaj L, Pocock J, Loveday B K. The Effect of Distributor Configuration on the Hydrodynamics of the Teetered Bed Separator [J]. *Minerals Engineering*, 2007, 20 (11): 1089~1098.
- [4] Das A, Sarkar B, Mehrotra S P. Prediction of Separation Performance of Floatex Density Separator for Processing of Fine Coal Particles [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2009, 91 (1/2): 41~49.
- [5] 刘魁景. 粗煤泥液固流态化分选技术的现状及分析 [J]. *中国煤炭*, 2008, 34 (9): 83~84.
- [6] 杨胜林，朱爱敏. 入料粒度及床层密度对干扰床分选效果的影响 [J]. *煤炭科学技术*, 2012, 40 (1): 126~128.
- [7] 徐凤，张晓洲，李云红，等. 干扰床分选机 (TBS) 的评述 [J]. *煤炭加工与综合利用*, 2008 (3): 1~5.
- [8] Galvin K P, Pratten S J, Nicol S K. Dense Medium Separation Using a Teetered Bed Separator [J]. *Minerals Engineering*, 1999, 12 (9): 1059~1081.
- [9] Galvin K P, Pratten S J, Lambert N, et al. Influence of a Jigging Action on the Gravity Separation Achieved in a Teetered Bed Separator [J]. *Minerals Engineering*, 2002, 15 (12): 1199~1202.
- [10] Galvin K P, Callen A M, Spear S. Gravity Separation of Coarse Particles Using the Reflux Classifier [J]. *Minerals Engineering*, 2010, 23 (4): 339~349.
- [11] 焦红光，惠兵，冯金涛，等. 新型粗煤泥干扰床分选技术的研究 [J]. *煤炭工程*, 2009 (2): 85~87.
- [12] 唐利刚，朱庆山，段晨龙，等. 干扰床中细粒煤散式流化特性数值模拟研究 [J]. *中国矿业大学学报*, 2012, 41 (1): 86~90.
- 析 [J]. *岩土工程学报*, 2006, 28 (3): 377~381.
- [4] 王卫军，李树清，欧阳广斌. 深井煤层巷道围岩控制技术及试验研究 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25 (10): 2102~2107.
- [5] 秦永洋，许少东，杨张杰. 深井沿空掘巷煤柱合理宽度确定及支护参数优化 [J]. *煤炭科学技术*, 2010, 38 (2): 15~18.
- [6] 刘泉声，卢兴利. 煤矿深部巷道破裂围岩非线性大变形及支护对策研究 [J]. *岩土力学*, 2010, 31 (10): 3273~3279.
- [7] 陈建功，周陶陶，张永兴. 深部洞室围岩分区破裂化的冲击破坏机制研究 [J]. *岩土力学*, 2011, 32 (9): 2629~2635.
- [8] 侯朝炯，郭励生，勾攀峰. 煤巷锚杆支护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [9] 肖同强，柏建彪，王襄禹，等. 深部大断面厚顶煤巷道围岩稳定原理及控制 [J]. *岩土力学*, 2011, 32 (6): 1874~1880.
- [10] 赵庆彪，侯朝炯，马念杰. 煤巷锚杆-锚索支护互补原理及其设计方法 [J]. *中国矿业大学学报*, 2005, 34 (4): 37~43.