

多孔板干扰床中细粒煤分离特性研究

王泽南¹, 唐利刚²

(1. 山西潞安环保能源开发股份有限公司 常村煤矿 山西 长治 046102; 2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013)

摘要: 为提高干扰床对细粒煤的分选效果, 将一种多孔板应用于干扰床, 采用实验与数值模拟相结合的方法, 研究了多孔板对细粒煤分选密度、颗粒分布的影响及多孔板干扰床的流化特性。结果表明: 多孔板使各粒级分选密度更加均匀, 粒度-分选密度曲线斜率由-0.518增至-0.448, 强化了颗粒的密度分离, 提高了分选效果。高密度颗粒(1.70、1.90 g/cm³)主要集中在床层底部, 低密度颗粒(1.40、1.50 g/cm³)主要集中在床层上部, 其体积分数分别为29.79%、32.86%、48.90%、20.81%, 错配颗粒比较少, 实现了煤粒的有效分选。干扰床床层悬浮区密度不是煤粒分选密度, 其平均值为1.23 g/cm³, 且在高度方向上并不均匀。多孔板干扰床中形成了多孔板分级-板间流化区-多孔板与边壁间流化区的多级分选模式, 能在一定程度上抑制高低密度颗粒错配, 实现细粒煤的高效分选。

关键词: 细粒煤; 干扰床; 多孔板; 数值模拟; 分离特性

中图分类号: TD94 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)06-0064-04

Separation characteristics of fine coal in hindered fluidized bed with perforated plate

WANG Zenan¹, TANG Ligang²

(1. Changcun Coal Mine Shanxi Lu'an Environment and Energy Co., Ltd. Changzhi 046102 China;

2. Coal Mining and Designing Department Tiandi Science & Technology Co., Ltd. Beijing 100013 China)

Abstract: In order to increase the separation performance of normal hindered fluidized bed for fine coal, the perforated plates were designed in this work. The separation characteristics of fine coal in the bed with perforated plate were investigated using a combination of experimental and numerical simulation methods. The results showed that the perforated plate were beneficial for the uniformity of separation density of each particle size range. The slope of particle size-separation density curve was increased from -0.518 to -0.448. The density separation of particles and separation performance were increased. The high-density particles(1.70 and 1.90 g/cm³) distributed at the bottom of bed. Their volume fractions were 29.79% and 32.86% respectively. The low-density particles(1.40 and 1.50 g/cm³) distributed at the upper of bed. Their volume fractions were 48.90% and 20.81% respectively. The misplaced particles were less, so the coal particles can be separated effectively. Furthermore, the density of suspension zone of bed wasn't the separation density. The fluidization density was 1.23 g/cm³ which was uneven along the height direction. The multi-stage separation model including perforated plates, fluidized zone among plates and the bed wall could inhibit the mismatch of high-density and low-density particles, meanwhile separate the fine coal effectively.

Key words: fine coal; hindered fluidized bed; perforated plate; numerical simulation; separation characteristic

0 引 言

干扰床在细粒煤分选领域的应用越来越广泛。20世纪60年代, 干扰床开始在选煤领域应用。澳

大利亚 Stratford 选煤厂采用干扰床对螺旋分选机的精煤进行再选, 可能偏差 E_p 值为 0.10 ~ 0.26 g/cm³[1]。Maharaj 等[2]研究了流体分布器对干扰床的影响, 分选 2 ~ 0.038 mm 细粒煤的 E_p 值为 0.19 ~

收稿日期: 2014-06-18; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.06.015

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20100480473); 天地科技开采设计事业部青年创新基金资助项目(KJ-2013-TDKC-20)

作者简介: 王泽南(1971—), 男, 河北沧州人, 高级工程师, 硕士, 从事选煤技术和煤炭质量管理工作。E-mail: wznzs@126.com

引用格式: 王泽南, 唐利刚. 多孔板干扰床中细粒煤分离特性研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(6): 64-67.

WANG Zenan, TANG Ligang. Separation characteristics of fine coal in hindered fluidized bed with perforated plate[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(6): 64-67.

0.29 g/cm³。Honaker 等^[3]建立了干扰床的物料平衡动力学模型,分选密度为 1.65 g/cm³时 E_p 预测值为 0.17 g/cm³。印度学者考察了干扰床对细粒矿物(铁矿、煤炭)的分选特性,由分配曲线可知,0.5 ~ 0.3 mm 细粒煤的 E_p 值为 0.215 g/cm³。Das 等^[4-5]、Mukherjee 等^[6]、Sarkar 等^[7]采用滑移速度模型预测细粒煤的沉降行为,其中 Galvin 模型的预测精度相对较高。干扰床在国内的应用也越来越多^[8-9]。针对普通干扰床分选精度普遍较低的问题^[10],有学者开展系列研究。Galvin 等^[11-12]在干扰床中加入加重质或引入脉动水流。结果表明,加入磁铁矿粉可增大床层流化密度,提高分选效果,但对磁铁矿粉粒度要求严格,可操作性较差;脉动水流对分选效果没有明显改善作用。Galvin 等^[13]在普通干扰床中加入平行倾斜板,形成了 Reflux Classifier(RC)。焦红光等^[14]提出了新型粗煤泥干扰床,降低了粗煤泥精煤灰分。笔者将自行研制的一种截顶倒圆锥形多孔板应用于干扰床,研究了细粒煤在多孔板干扰床中的分离特性,以期提高干扰床分选效果,实现细粒煤高效分选^[15]。

1 实验条件

1.1 实验原料

实验煤样来自古城煤矿,入料粒度为 1.5 ~ 0.25 mm,煤样可选性曲线如图 1 所示。由图 1 可知,煤样密度组成具有两头高、中间低的特点。主导密度级为 1.30 ~ 1.40 g/cm³,产率高达 47.08%,灰分为 7.55%; > 1.80 g/cm³ 密度级产率将近 15%,灰分将近 80%,说明煤质较好,易于分选。精煤灰分为 8.50% 时,理论精煤产率为 76.00%,预测煤样经分选后能将灰分控制在 10% 以下,且精煤产率较高。

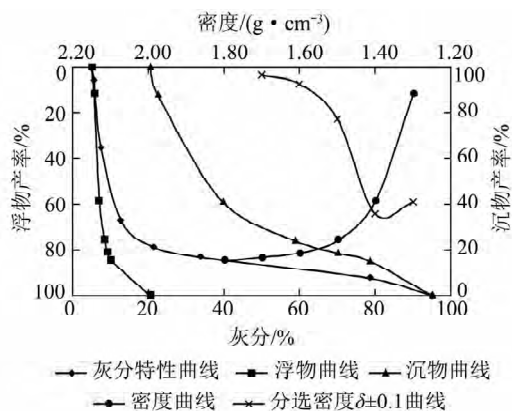


图 1 煤样的可选性曲线

1.2 实验装置

多孔板干扰床实验系统如图 2 所示。干扰床为有机玻璃柱体,高为 1000 mm,内径为 110 mm。多孔板孔径 3 mm,倾角 40°,开孔率 32.65%。多孔板由丝杠连接并固定在外壳顶部。实验时,用泵将水流从柱体底部的流体分布器给入柱体内,细粒煤从顶部给入。颗粒在干扰床内部受到水流的作用,形成干扰沉降,沉降速度小于水流速度的煤粒上浮,成为精煤,沉降速度大于水流速度的煤粒下沉,成为尾煤。



图 2 多孔板干扰床实验系统

2 结果与讨论

2.1 多孔板对细粒煤分选密度的影响

多孔板对粒度 - 分选密度的影响如图 3 所示。

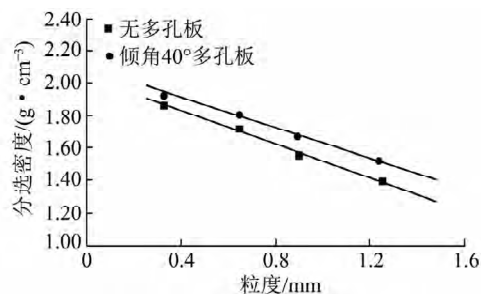


图 3 多孔板对粒度 - 分选密度的影响

由图 3 可知,随着粒度增大,普通干扰床及多孔板干扰床的分选密度均逐渐下降,多孔板干扰床的分选密度略高于普通干扰床。在多孔板作用下,多孔板干扰床粒度 - 分选密度曲线的斜率更大,由 -0.518 增至 -0.448。说明多孔板使各粒级分选密度更加均匀,有利于强化颗粒基于密度差异分离的趋势,提高分选效果。普通干扰床及多孔板干扰床的粒度 d 与分选密度 ρ_{50} 的关系分别表示为式(1)、式(2)

$$\rho_{50} = -0.518d + 2.031 \quad (1)$$

$$\rho_{50} = -0.448d + 2.070 \quad (2)$$

2.2 多孔板对颗粒分布的影响

采用 Eulerian - Eulerian 双流体模型,利用数值

计算方法考察多组分煤粒在多孔板干扰床中的分离特性。

液固两相连续性方程为($i=1, s$)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i) + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i v_i) = 0 \quad (3)$$

式中 t 为时间 s ; α 为体积分数; ρ 为密度 kg/m^3 ; v 为速度 m/s 。

液固两相动量守恒方程为($i=1, s; k=s, l$)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i v_i) + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i v_i v_i) = -\alpha_i \nabla P_i + \nabla \cdot \tau_i + \alpha_i \rho_i g - \beta(v_i - v_k) \quad (4)$$

式中 P 为压力 Pa ; τ 为应力张量 Pa ; g 为重力加速度 m/s^2 ; β 为液固动量交换系数。

建立的干扰床模型高 2000 mm, 内径 110 mm, 多孔板上口直径 95 mm, 下口直径 35 mm, 倾角 45° , 板间距 10 cm, 孔径 3 mm, 开孔率 32.65%。入料粒度为 0.35、1 mm, 密度为 1.40、1.50、1.60、1.70、1.90 g/cm^3 , 5 个密度颗粒的质量分数均为 20%。

颗粒体积分数随床高的变化如图 4 所示。由图 4 可知, 高密度颗粒(1.70、1.90 g/cm^3) 主要集中在床层底部, 体积分数分别为 29.79%、32.86%, 并且在床高方向呈逐渐降低的趋势; 而低密度颗粒(1.40、1.50 g/cm^3) 主要集中在床层上部, 体积分数分别为 48.90%、20.81%, 并且沿床高方向逐渐升高; 中间密度(1.60 g/cm^3) 颗粒分布比较均匀, 体积分数在 17.58% 附近波动。床层底部和顶部分别为高密度颗粒和低密度颗粒的聚集区, 错配颗粒比较少, 实现了煤粒的有效分选。

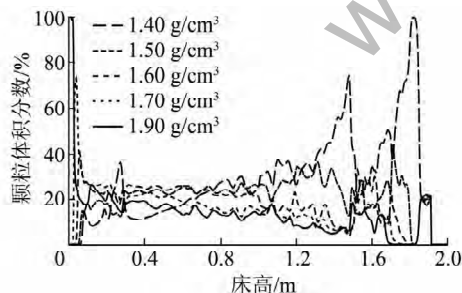


图4 颗粒体积分数随床高的变化

2.3 多孔板干扰床的流化特性

多孔板作用下的低密度粗颗粒(密度 1.40 g/cm^3 , 粒度 1 mm) 沉降过程如图 5 所示。由图 5 可知, 沉降时间为 12 s 时, 入料遇到多孔板的阻挡作用, 在多孔板上表面穿越开孔时沉降速度降低, 同时沿多孔板与边壁间区域下降。沉降时间为 21 s 时,

干扰床中出现多个涡流, 逐渐形成多孔板分级—板间流化区—多孔板与边壁间流化区的多级分选模式, 经过多孔板的梯级协调, 煤粒密度分离进一步增强。随着分选过程的进行, 床层的流化状态逐渐趋于稳定, 低密度粗颗粒运动速度逐渐下降, 不断在床层上部聚集, 186 s 时最终达到了基于密度差异的有效分离。

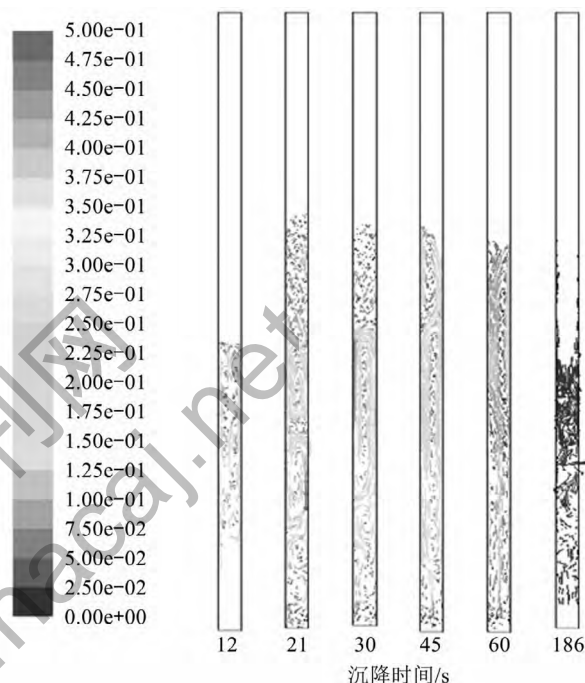


图5 低密度粗颗粒沉降过程

床层流化特性变化如图 6 所示。由图 6 可知, 床层压降与床高不是线性关系, 说明床层密度不均匀。随着床高的增加, 床层密度逐渐降低。床层底部和顶部分别为精煤和尾煤的堆积层, 为床层密度的最高区域和最低区域, 中间为颗粒悬浮区, 密度自下而上呈逐渐降低的趋势。悬浮区密度不是煤粒分选密度, 其平均值为 1.23 g/cm^3 , 且不易在高度方向上保持均匀。因此, 床层中颗粒的重介质作用十分有限, 颗粒并非依据床层的流化密度分离, 而是基于干扰沉降速度差异分离。

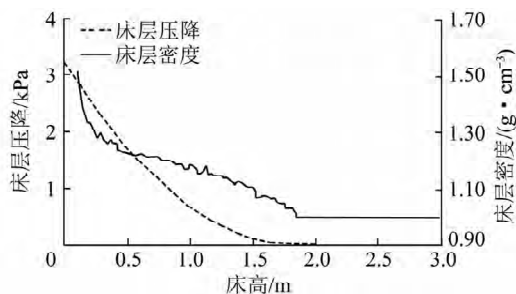


图6 床层流化特性变化

3 结 论

1) 多孔板作用下的粒度-分选密度曲线的斜率更大,由-0.518增至-0.448,强化了颗粒基于密度差异分离的趋势,提出了普通床及多孔板干扰床的粒度-分选密度的模型。

2) 高密度颗粒(1.70 、 1.90 g/cm^3)主要集中在床层底部,体积分数分别为29.79%、32.86%,低密度颗粒(1.40 、 1.50 g/cm^3)主要集中在床层上部,体积分数分别为48.90%、20.81%,中间密度(1.60 g/cm^3)颗粒分布比较均匀,沿床高方向其体积分数在17.58%左右波动。

3) 多孔板干扰床中形成了多孔板分级-板间流化区-多孔板与边壁间流化区的多级分选模式,在一定程度上能抑制低密度粗颗粒及高密度细颗粒的错配,从而提高干扰床的分选性能。

参考文献:

- [1] Drummond R, Nicol S, Swanson A. Teetered bed separators: the Australian experience [J]. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 2002, 102(7): 385-392.
- [2] 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.
- [3] Honaker R Q, Mondal K. Dynamic modeling of fine coal separations in a hindered-bed classifier [J]. *Coal Preparation* 2000, 21(2): 211-232.
- [4] Das A, Sarkar B, Biswas P *et al.* Performance prediction of floatex density separator in processing iron ore fines: a relative velocity approach [J]. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 2009, 118(2): 78-84.
- [5] 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.
- [6] Mukherjee A K, Mishra B K, Kumar R V. Application of liquid/solid fluidization technique in beneficiation of fines [J]. *International Journal of Mineral Processing* 2009, 92(1/2): 67-73.
- [7] Sarkar B, Das A. A comparative study of slip velocity models for the prediction of performance of floatex density separator [J]. *International Journal of Mineral Processing* 2010, 94(1/2): 20-27.
- [8] 石后盛. TBS 在新阳选煤厂的应用 [J]. *洁净煤技术* 2014, 20(1): 110-112.
- [9] 张永清, 王 婕, 付晓恒. TBS 分选机在王家岭选煤厂的应用 [J]. *洁净煤技术* 2014, 20(3): 28-32.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Galvin K P, Pratten S J, Lambert N *et al.* Influence of a jiggling action on the gravity separation achieved in a teetered bed separator [J]. *Minerals Engineering* 2002, 15(12): 1199-1202.
- [13] 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.
- [14] 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, 41(2): 85-87.
- [15] 唐利刚. 带内构件干扰床细粒煤分选实验研究 [J]. *煤炭工程* 2012, 44(7): 103-105, 108.
- [16] 陈荣荣, 常宏宏, 魏文珑, 等. 水煤浆用分散剂的研究进展 [J]. *选煤技术* 2007(5): 45-47.
- [17] 杜小茹, 李光美, 黄 欣, 等. 水煤浆技术以及难制浆煤种成浆性的提高途径 [J]. *煤炭技术* 2010, 29(1): 176-178.
- [18] 武成利, 钱先锋, 程 翼. 丙烯酸系水煤浆添加剂的制浆性能研究 [J]. *煤炭科学技术* 2006, 34(7): 7-10.
- [19] 武成利, 陈彩静, 单 婉, 等. 分散剂对低阶煤制备高浓度气化水煤浆的影响 [J]. *煤炭技术* 2012, 10(31): 220-222.
- [20] 李婷婷, 吴国光, 孟献梁, 等. 煤泥对木质素系分散剂的吸附性能研究 [J]. *煤炭科学技术* 2014, 42(3): 117-120, 124.
- [21] 王国房, 颜淑娟, 郭志新, 等. 低阶煤气化水煤浆添加剂的评价研究 [J]. *洁净煤技术* 2009, 15(6): 39-41.
- [22] 苗真勇, 李婷婷, 孟献梁, 等. Gemini 型分散剂对低阶煤制浆性能的影响 [J]. *中国矿业大学学报*, 2013, 42(6): 1054-1059.
- [23] 董 平, 吕玉庭, 聂丽君. 洁净煤与褐煤水煤浆技术 [J]. *应用能源技术*, 1997(3): 7-10.

(上接第63页)

- [7] 陈怀珍. 神华煤制水煤浆特性及工业试验研究 [J]. *洁净煤技术* 2007, 13(5): 38-40.
- [8] 李 振, 于 伟, 杨 超, 等. 低阶煤提质利用现状及展望 [J]. *矿山机械* 2013, 41(7): 1-6.
- [9] 范艳青, 陈 雯, 蒋训雄, 等. 褐煤半焦水蒸气活化法制备活性炭的工艺研究 [J]. *煤炭加工与综合利用* 2005(3): 35-39.
- [10] 虞育杰. 褐煤水热脱水提质制备高浓度水煤浆的基础研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [11] 顾小愚. 改善神华低阶煤成浆性的实验研究 [J]. *煤炭科学技术* 2009, 37(1): 111-113.
- [12] 颜艳东. 褐煤提质及其成浆性能研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2012.
- [13] 袁善录, 戴爱军. 制备高浓度水煤浆的影响因素探讨 [J]. *应用化工* 2007, 36(12): 1242-1251.
- [14] 高志芳. 提质褐煤制浆及配煤成浆特性的研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2009.
- [15] 纪明俊, 李寒旭, 燕春福. 淮化 Texaco 气化配煤制取水煤浆的