

Numerical Simulation of Different Size Particles' Kinematics in Heavy Medium Vessels

Kai Zhu

Anju Coalmine, Jining Mining Industry Group Co. Ltd., Jining Shandong
Email: 3538717245@qq.com

Received: Mar. 5th, 2019; accepted: Mar. 25th, 2019; published: Apr. 1st, 2019

Abstract

In order to study the separation effect of heavy medium shallow groove separator for different particle sizes, the particle movement inside the heavy medium shallow groove separator was simulated by numerical simulation technology and DPM model. The trajectories of coal particles in the heavy medium shallow groove separator were compared under different horizontal flow velocity of suspension and different upward flow velocity of medium, so that the motion law of particle size with different trajectories in the heavy medium shallow groove separator were obtained.

Keywords

Heavy Medium Vessels, Numerical Simulation, DPM Model, Heavy Medium Suspension, Particle Kinematics

重介质浅槽分选机内不同粒径颗粒运动学的数值模拟

朱 凯

济宁矿业集团有限公司安居煤矿公司, 山东 济宁
Email: 3538717245@qq.com

收稿日期: 2019年3月5日; 录用日期: 2019年3月25日; 发布日期: 2019年4月1日

摘 要

为了研究重介质浅槽分选机对不同粒径颗粒的分选效果, 用数值模拟技术和DPM模型模拟重介质浅槽分

选机内部的颗粒运动, 将悬浮液不同水平流进入速度和不同上升流介质速度下重介质浅槽分选机内煤炭颗粒的运动轨迹进行比较, 从而得出重介质浅槽分选机内不同粒径颗粒的运动规律。

关键词

重介质浅槽分选机, 数值模拟, DPM模型, 重介质悬浮液, 颗粒运动学

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前块煤分选主要采用的设备是重介质浅槽分选机, 其处理量大、分选时间短、分选效果好, 逐渐取代了立轮、斜轮等传统的块煤分选设备, 得到了广泛应用[1] [2] [3]。为了进一步提高重介质浅槽分选机的分选效率、精煤产率及适用范围, 对不同粒径颗粒在重介质浅槽分选机中运动规律进行探索, 帮助我们对重介质浅槽分选机的机体结构进行合理优化, 更好地实现煤炭清洁利用这一目标。

在重介质浅槽分选机的研究中, 陈志强借助于数值模拟等手段, 针对探索重介质浅槽分选机内部的流场形态、重介质及颗粒的运动规律, 分析和研究了重介质浅槽分选机内部溢流区、分选区、底流区的流场情况; 黄亚飞、陈志强通过 PIV 技术研究了水平流和上升流比例对流场的影响等; 张立文, 张毅勤, 李国丰, 班海俊等人对分选机分选下限做了相关的探索和研究[4] [5] [6] [7]。

研究表明[8] [9], 在悬浮液中, 煤炭颗粒受入料初始速度和运动方向、悬浮液流变性等因素的影响。在水平流的作用下, 处于上层悬浮液中的矿粒朝轻产物的出口方向运动, 其水平速度等于或者小于水平流的速度。一般情况下, 为了减少煤炭颗粒的错配, 使其水平进入浅槽, 且速度和水平流的速度保持一致或接近。

在悬浮液中, 不仅均质介质水影响煤炭颗粒的运动速度, 且原煤颗粒与磁铁矿粉粒径的比值与煤炭颗粒的运动速度也存在一定关系。实验表明, 悬浮液的密度和粘度一定时, 煤炭颗粒的沉降速度相差不大。在悬浮液中, 矿物颗粒的运动分为两种, 当颗粒比较粗时与磁铁矿粉粒径相差较大时, 为“假定自由运动”, 此时可认为悬浮液是均质介质, 在这种情况下, 颗粒受到颗粒与加重剂颗粒相互作用而产生的阻力的影响不大, 仅考虑颗粒受到介质(基本上是悬浮液)的阻力; 而当煤炭颗粒的尺寸较小、和磁铁矿粉颗粒的尺寸相近时, 悬浮液对于颗粒不再是均匀介质, 这时水带来的阻力和与加重质颗粒之间的相互作用的阻力都对颗粒的运动特性产生影响, 对单个颗粒的运动而言, 后者阻力产生的影响已无法忽略不计。

悬浮液的黏度也影响煤炭在悬浮液中运动, 其主要特性参数是流变黏度。选煤用的悬浮液中的固相颗粒经常相互作用[10], 固相颗粒浓度较低的悬浮液的流变特性接近于牛顿流体, 其流变特性由粘度来表示。由于分散相的体积浓度变化会引起粘度的变化, 在设定悬浮液的粘度时, 需要根据经验公式进行计算。

通过以上对实际生产中煤炭颗粒在重介质浅槽分选机中的运动特性进行分析和研究, 下面将模拟不同粒径颗粒在重介质浅槽分选机内部的运动情形。不同粒径的颗粒在重介质浅槽分选机的分选效果会有差别, 通过改变重介质浅槽分选机的悬浮液水平流进入速度和悬浮液上升流介质速度, 从而得出重介质

浅槽分选机内不同粒径颗粒的运动规律及其对分选效果的影响。

2. 数值模型的建立与分析

建立模型过程中的假设：① 以重产物为研究对象进行分析和研究，原煤的入料速度和水平介质速度一致，且立即被水平介质捕获；② 由于重介质浅槽分选机上升流布水板中小孔流动等，使颗粒的运动处于紊流状态，故采用紊流模型；③ 以煤炭颗粒下限 6 mm 为模拟条件，为了简化模型的计算，将悬浮液视为均质介质；④ 使用重介质悬浮液粘度模型公式计算悬浮液的流变粘度[11]：

$$\mu = (1 + 29.82\gamma^{-0.3395}e^{-10\alpha\lambda})e^{8.8190\gamma^{0.0830}\alpha+2.7830},$$

式中： α ——煤泥含量； γ ——剪切速率， s^{-1} ； λ ——固体体积浓度； e ——自然常数。

2.1. 模型建立与网格划分

建立重介质浅槽分选机模型(图 1)，槽体的长和高分别为 2540 mm 和 1450 mm，上升介质槽的高为 430 mm，布水板的孔径为 13 mm，入口设置为速度边界条件，出口设置为压力边界条件。对其进行网格划分(图 2)，网格数量为 25,294，网格质量较好，均在 0.8 以上，可用于计算。

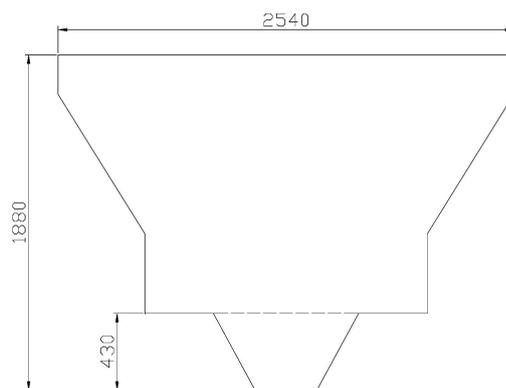


Figure 1. Machine model
图 1. 分选机模型

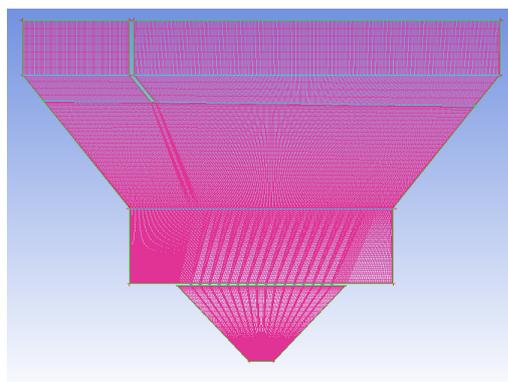


Figure 2. Model grid partition
图 2. 模型网格划分

在本次模拟中分别选取悬浮液水平流速度、悬浮液上升流速度对煤炭在分选时有着重要影响的性质作为研究对象。

2.2. 模型可靠性验证

在此次数值模拟中, 通过耦合计算方法(Coupled DPM)进行计算, 具体过程如下(图 3)所示。

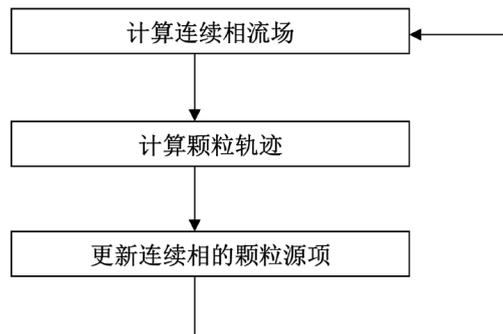


Figure 3. The calculation process of DPM
图 3. 耦合计算过程

基于重介质悬浮粘度的经验公式, 计算得出了 6 mm、13 mm 粒径的煤炭在悬浮液粘度不同情况下的自由沉降末速(表 1)。使用表 1 中颗粒直径和悬浮液的粘度数值进行模拟, 从而得到对应煤炭颗粒在槽体中的自由沉降末速, 同表 1 中的数值进行比对(图 4、图 5)。

Table 1. Free settling velocity of different size particles

表 1. 不同粒度颗粒自由沉降末速

颗粒直径/mm	煤泥含量	粘度/(mPa·s)	V_0 /(cm·s ⁻¹)
6	0.1	17.35	6.04
6	0.2	26.63	5.36
6	0.3	84.82	2.87
6	0.35	229.33	2.65
13	0.1	7.19	18.61
13	0.2	14.17	16.36
13	0.3	83.45	6.67
13	0.35	203.35	4.56

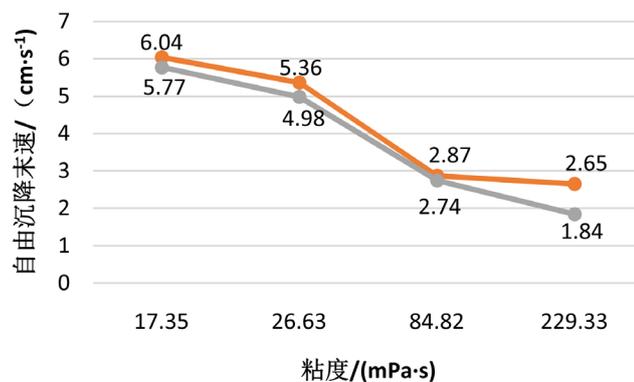


Figure 4. The computation of simulated and calculated value of free settlement velocity of 6 mm particles

图 4. 6 mm 颗粒自由沉降末速模拟值和计算值对比图

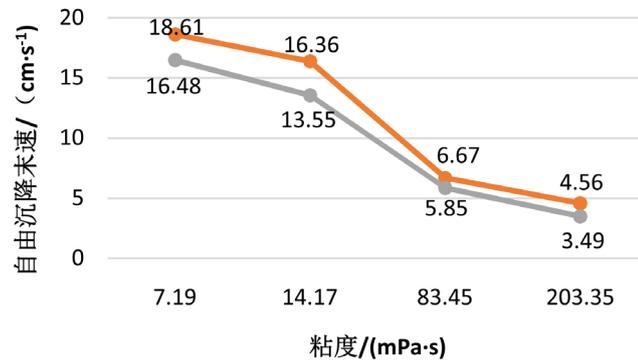


Figure 5. The computation of simulated and calculated value of free settlement velocity of 13 mm particles

图 5. 13 mm 颗粒自由沉降末速计算值和模拟值对照图

通过对比颗粒自由沉降末速计算值和模拟值可知,对于粒径 6 mm 的颗粒,颗粒自由沉降速度计算值和模拟值的差值随着粘度的增大先减小后增大,在粘度 80~85 mPa·s 时差值最小;对于粒径 13 mm 的颗粒也存在同样的规律。

颗粒自由沉降速度计算值和模拟值的差值最大为 2.15 cm/s,误差在可以接受的范围,对整个实验结果影响较小(在实际分选中),所以可采用该数值模拟来计算。

3. 模拟结果与分析

该数值模拟中,重产物颗粒的运动轨迹随介质条件的变化而变化。一般情况下认为,在重介质浅槽分选机中,物料停留 10 s 左右,分选时间太长会降低重介质浅槽分选机处理量,时间太短则物料颗粒还没有实现自由分层即排除分选机,不利于分选。故在此次模拟中根据重产物穿越分选区进入到底流区的时间,不同粒径重产物的运动路径和在 Y 轴方向的位移,进而推断在该条件下是否达到有效分选。

6 mm 至 150 mm 的颗粒 145 个,依次排列从入料口上方一次性加入,坐标为(-1260, -1160),长度为 150 mm,原煤同水平介质速度同速加入。

3.1. 水平介质速度对不同粒径颗粒运动的影响

为了探究难选煤颗粒,即分选密度 $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ 附近粒度级的分选行为,假定重颗粒的密度为 1600 kg/m^3 ,重介质悬浮液的密度为 1500 kg/m^3 ,其他相关物理参数如表(表 2)。

Table 2. Physical property parameters

表 2. 物理性质参数

组别	水平介质速度(m/s)		上升介质速度(m/s)	液相密度(kg/m ³)	颗粒密度(kg/m ³)	颗粒直径(mm)	颗粒速度(m/s)	
	X 方向(m/s)	Y 方向(m/s)					X 方向(m/s)	Y 方向(m/s)
Group 1	0.220	-0.175	0.28	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 2	0.240	-0.191	0.28	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 3	0.260	-0.228	0.28	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 4	0.280	-0.245	0.28	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 5	0.300	-0.262	0.28	1500	1600	6~150	0.20	-0.170

通过 Matlab 软件对模拟离散相数据的结果进行处理，得到 5 组不同粒径颗粒在 Y 方向的位移和运动时间的关系(图 6)。

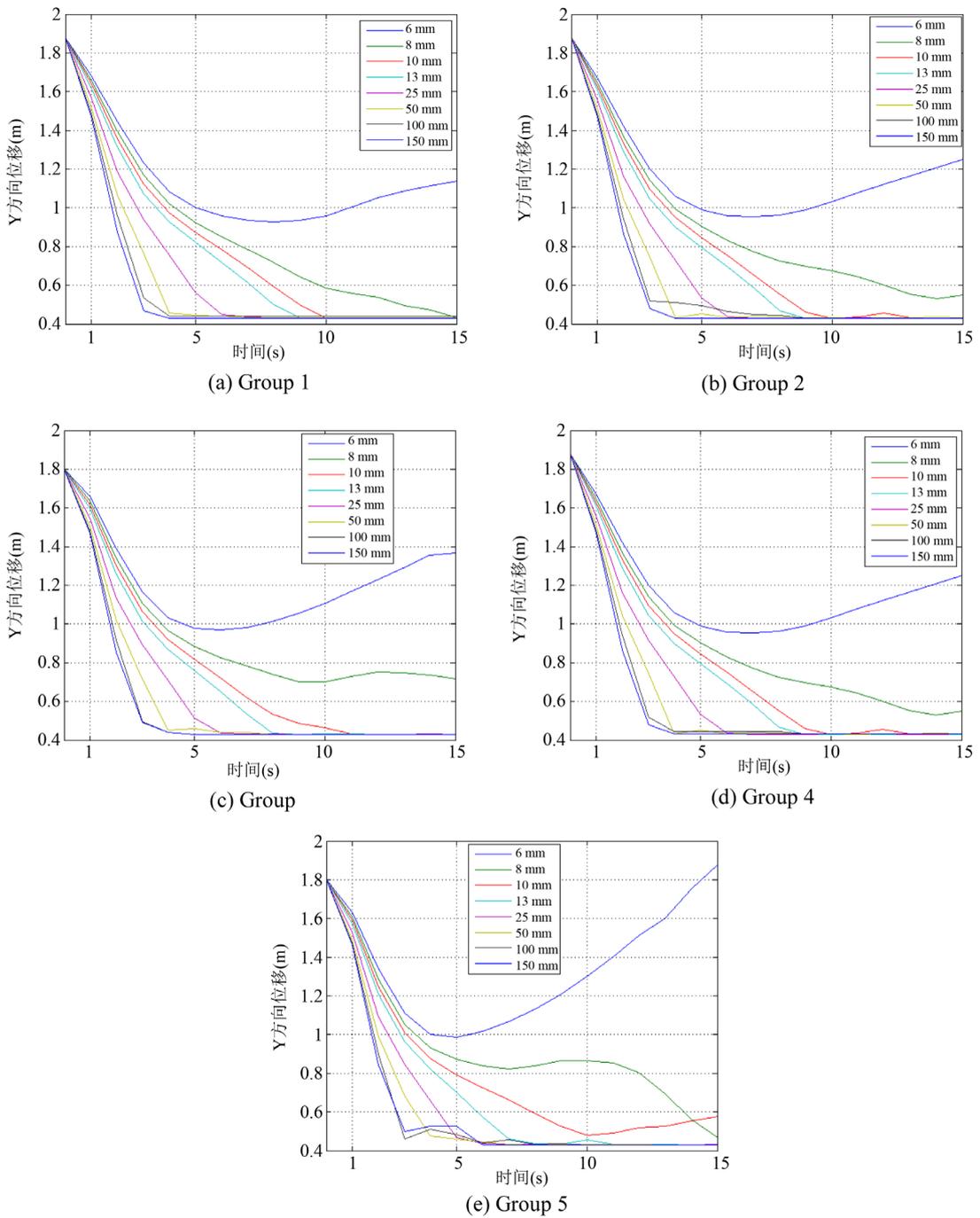


Figure 6. Relation of displacement and time in Y direction
图 6. Y 方向位移和时间关系图

由图可知，流场相同时，颗粒在 Y 方向上的位移减小的速度随颗粒直径的减小变慢，到达底部所需要的时间随颗粒直径的减小逐渐增加。当粒度大于 13 mm 时，颗粒均能在 10 s 时间内到达分选槽体底部。

当粒度小于 13 mm 时, 尤其达到 6 mm 时, 其在槽体内的沉降受到参数变化的影响比较大。实验表明, 在分选时间为 10 s 时, Group 1 的条件下可达到最佳分选效果, 分选下限为 8 mm。

3.2. 上升介质速度对不同粒度颗粒运动的影响

水平介质速度沿用 group 1 的参数、角度, 其他参数和 3.1 相同, 对上升介质速度进行研究, 具体参数选取如表(表 3)。

Table 3. Physical property parameters
表 3. 物理性质参数

组别	上升介质速度 (m/s)	水平介质速度(m/s)		液相密度 (kg/m ³)	颗粒密度 (kg/m ³)	颗粒直径 (mm)	颗粒速度(m/s)	
		X 方向(m/s)	Y 方向(m/s)				X 方向(m/s)	Y 方向(m/s)
Group 6	0.2	0.220	-0.185	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 7	0.24	0.220	-0.185	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 1	0.28	0.220	-0.185	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 8	0.32	0.220	-0.185	1500	1600	6~150	0.20	-0.170
Group 9	0.36	0.220	-0.185	1500	1600	6~150	0.20	-0.170

根据上述参数在 Fluent 中得到颗粒的运动路径, 通过 Matlab 得到不同上升速度介质速度下, 不同粒径颗粒在 Y 方向的位移和时间的关系(图 7)。

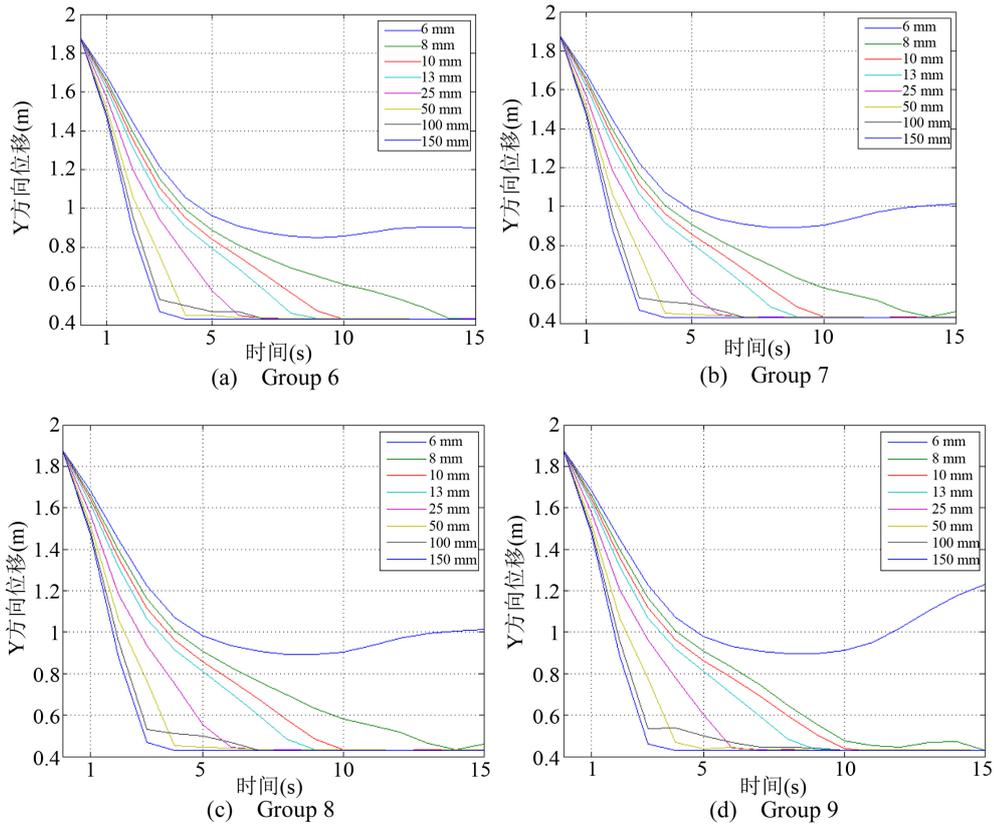


Figure 7. Relation of movement time and displacement in Y direction
图 7. 运动时间和 Y 方向位移关系图

由图可见, 上升流速度不同时, 不同粒径的颗粒沉降相同距离时所需时间不同, 时间随粒度的降低增加。对粒径大的颗粒(10 mm 及其以上的颗粒)而言, 上升介质速度的增加对其在 Y 方向上的位移的影响较小, 而对粒径较小的颗粒, 受到的影响较大。Group 9 图中 8 mm 粒径的颗粒分选更有效, 因此分选下限为 8 mm 时更有利于分选。

4. 结论

通过对不同粒径颗粒在不同重介质悬浮液性质下的运动行为的模拟和颗粒 X 方向、Y 方向位移和时间的关系的对比分析, 可以得到如下结论:

- 1) 悬浮液密度为 1500 kg/m^3 , 固体颗粒密度为 1600 kg/m^3 时, 13 mm 粒径及以上的颗粒受重悬浮液性质改变的影响不大, 10 s 内固体颗粒均能完成沉降, 成为重产物。
- 2) 上升流速度为 0.36 m/s, 水平流速度为(0.22, -0.185)时, 8 mm 粒径及以上的颗粒可以实现有效分选。
- 3) 上升流速度为 0.36 m/s, 水平流速度为(0.22, -0.185)时, 小于 6 mm 的颗粒基本不能在有限时间内完成沉降, 且离溢流口较近时, 易随轻产物夹带排出, 造成精煤污染, 降低分选精度。
- 4) 当分选下限降为 8 mm 时, 可以满足重介质浅槽分选机的分选精度。

参考文献

- [1] 贺民强, 程国锋, 刘家宝. 重介浅槽分选机的原理及应用分析[J]. 能源与节能, 2014(6): 133-135.
- [2] 陈文茂. 重介浅槽分选技术在洗煤厂中的研究与应用[J]. 能源与节能, 2018(1): 184-185.
- [3] 黄振源. 浅槽重介分选工艺在选煤厂的运用[J]. 煤炭科技, 2017(2): 117-118.
- [4] 张立文, 李国丰, 周恩会, 朱广庆, 张博. 末煤浅槽分选下限多因素分析及试验研究[J]. 中国粉体技术, 2018, 24(5): 61-65.
- [5] 黄亚飞. 降低浅槽重介分选机入料粒度下限的探讨[J]. 选煤技术, 2017(2): 56-58.
- [6] 张毅勤. 炼焦煤选煤厂机械选矸作业入料粒度下限的探讨[J]. 选煤技术, 2014(2): 65-67, 71.
- [7] 班海俊. 李家壕选煤厂降低重介浅槽入洗下限的工业试验研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2017(5): 25-32.
- [8] 张鹏. 重介质悬浮液流变粘度对旋流器分选的影响[J]. 中外企业家, 2014(15): 99.
- [9] 李大虎, 程相锋, 朱学帅, 等. 重介质悬浮液粘度预测及应用[J]. 煤炭工程, 2016, 48(11): 120-123.
- [10] 齐正义. 高效简化末煤重介分选工艺及装备的研究[R]. 2014: 1-2.
- [11] 王瑞, 齐正义, 宋俊超, 等. 悬浮液粘度对旋流器分选下限影响的研究[J]. 选煤技术, 2017(2): 25-28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: me@hanspub.org