

基于 EDEM-FLUENT 耦合的离心选矿机仿真优化分析

和建荣¹, 王进明², 俞霞¹, 许振邦¹

(1. 陕西火石咀煤矿有限责任公司, 陕西 咸阳 713500; 2. 中国地质大学(武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为提高立式离心选矿机的分选性能, 建立动量交换源项为流固耦合中的传递介质, 运用 EDEM 和 FLUENT 软件对离心选矿机分选过程进行耦合仿真分析, 采用二次回归正交旋转组合设计, 建立分选性能评价指标回收率及品位的多元回归模型。实验结果优化得出, 当反冲水水压为 0.03 MPa, 转动频率为 61.5 Hz, 给料速度为 0.74 m³/h 时, 选矿机分选性能最优。对仿真优化实验结果进行实际离心分选实验验证, 结果表明回收率与品位的预测值、仿真值和实验值误差大小均在 5% 以内。因此, 运用 DEM-CFD 对离心选矿机的回收率及品位进行分析具有可行性, 本文为离心选矿机工艺参数的匹配优化提供了参考。

关键词: 流固耦合; 离散元; 选矿机; 旋转正交实验

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.030

中图分类号: TD455 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0174-07

立式离心选矿机通过对矿物施加不同的离心力使目标矿物进行有目的性的分离, 是矿山机械中主要的工作设备^[1-2]。考虑到全球经济对矿石原料的依赖以及世界范围内能源的日益紧缺, 针对立式离心选矿机的研究, 对于实现立式离心选矿机的节能降耗和高效稳定具有重要意义^[3-4]。

为了有效提高立式离心选矿机的分选效率, 传统的理论设计与实验周期较长, 成本高, 难以高效的对立式离心选矿机工艺参数进行优化^[5]。近年来, 计算流体动力学与离散元法应用于颗粒分选机理的研究日益增多。王国仪等采用 N-S 紊流模型研究离心选矿机内流场分布^[6]。孙启潇等利用高速摄像机对离心选矿机内部流场运动状态进行研究, 获得了流场流速、流体介质运动状态等信息^[7]。王旭利用 Fluent 软件模拟了立式离心选矿机的流场特性, 得到了选矿机内流场分布信息^[8]。尽管学者们对离心选矿机进行了大量研究,

但得到的流场信息难以准确反映复杂流场的特性。

本文以离心选矿机为研究载体, 通过建立离心选矿机三维模型及构建动量交换源项为流固耦合中的传递介质。采用 DEM-CFD 耦合法, 以反冲水压、转动频率和给矿流量为实验因素, 回收率为分选性能评价指标, 进行二次回归正交旋转组合数值模拟实验, 旨在获得离心选矿机最优工艺参数组合。通过实际分选实验与仿真分选实验的对比, 验证 DEM-CFD 耦合模型的正确性, 为离心分选机构的设计及工艺参数的优化提供参考和依据。

1 离心分选动力学模型的建立

1.1 立式离心选矿机的分选过程及原理

立式离心选矿机在分选锥中的离心分选过程为: 当矿浆从给矿口进入分选槽后, 矿物颗粒在离心作用下不断向上作螺旋上升运动, 同时矿物颗粒将在向壁面运动的过程中不断受到反冲水冲

收稿日期: 2020-01-17; 改回日期: 2020-02-20

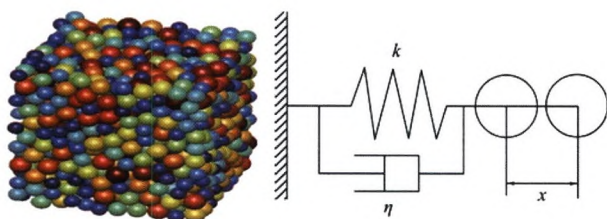
基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2018YFC0807906)

作者简介: 和建荣 (1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为物料高效分选先进技术与装备开发。

击作用, 矿物颗粒由于比重不同将分为轻、重两种颗粒。轻、重颗粒将在反冲水冲击力以及离心力的作用下进行分离。分选中轻颗粒由于无法承受反冲水的冲击力, 最终将从离心选矿机的溢流口流出设备成为尾矿, 达到富集目标矿物的目的。

1.2 EDEM 中接触模型的建立

在离散元法的分析计算中, 软球模型将离散颗粒间的接触类比于阻尼运动, 可以较好地描述颗粒间的相互作用。因此, 本研究以软球模型为基础进行分析。软球模型的基本原理见图 1, 其中不同颜色的软球代表不同的粘结颗粒。



(a) 宏观的软球模型 (b) 微观的软球模型

图 1 软球模型

Fig. 1 Soft ball model

基于软球模型的颗粒运动方程为:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \eta \frac{\partial x}{\partial t} + kx = 0 \quad (1)$$

式中 x 是偏移平衡位置的位移, mm; t 是颗粒运动的时间, s; m 是颗粒质量, kg; η 是弹簧阻尼系数; k 是弹性系数。软球模型的计算基于 Hertz 接触理论^[9]。Hertz 接触理论其法向重叠量 α 理论公式为:

$$\alpha = R_1 + R_2 - |r_1 - r_2| \quad (2)$$

式中, R_1 , R_2 分别为两颗粒半径, mm; r_1 , r_2 分别为两颗粒球心位置, mm。

法向接触力 F_n 计算公式为:

$$F_n = \frac{4}{3} E_{eq} \sqrt{R_{eq}} \delta_n^{3/2} \quad (3)$$

式中 E_{eq} 为等效杨氏模量; δ_n 为法向重叠量, mm; R_{eq} 为等效接触半径, mm, 其计算公式分别为:

$$E_{eq} = \left[\frac{(1-u_i^2)}{E_i} + \frac{(1-u_j^2)}{E_j} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$R_{eq} = \left[\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j} \right]^{-1} \quad (5)$$

式中 E_i , E_j 分别为两接触颗粒的杨氏模量, MPa; u_i , u_j 分别为两接触颗粒的泊松比, R_i , R_j 分别为两颗粒半径, mm。根据 Raji^[10] 理论, 法向和切向阻尼力计算公式为:

$$F_{dn} = -2 \sqrt{\frac{5}{6}} \xi \sqrt{S_n m_{eq} v_n^{rel}} \quad (6)$$

$$F_{dt} = -2 \sqrt{\frac{5}{6}} \xi \sqrt{S_t m_{eq} v_t^{rel}} \quad (7)$$

式中 S_n , S_t 分别为法向和切向的刚度, N/m; v_n^{rel} , v_t^{rel} 分别为法向和切向速度, m/s; ξ 为阻尼系数, m_{eq} 为等效质量, kg。颗粒间力的传递计算通过上述数学模型计算得出, 以此保证外部载荷能够实时地反映在 Fluent 中。

1.3 固液耦合的数学模型与实现

为了使 CFD-DEM 耦合模型能够模拟固液两相流动, 采用欧拉 - 拉格朗日方法将颗粒相处理为离散相, 即

$$\sum_{i=1}^N (f_d)_i = \sum_{i=1}^N \frac{(V_p)_i K_i}{1 - \varepsilon_i} (u_i - v_i) \approx \frac{K(u - v)}{1 - \varepsilon} \sum_{i=1}^N (V_p)_i = V_c M_{l,p} \quad (8)$$

由上式可知, 流固耦合控制方程中的动量交换源项为

$$M_{l,p} = \frac{1}{V_c} \sum_{i=1}^N (f_d)_i \quad (9)$$

式中, f_d 为颗粒所受的曳力, V_c 为网格颗粒体积, N 为网格中所含颗粒数。

耦合求解的步骤主要为: 1. 划分模型网格并定义初始流场、颗粒位置、时间步长。2. 在一个时间步长后将 EDEM 求解器得到的颗粒速度、位置等信息传递给 Fluent 求解器。3. 通过 Fluent 求解器对颗粒的速度等信息进行求解并通过 API 耦合接口实时传递给 EDEM 中。其中, 颗粒与流体交换信息通过固液耦合中的动量交换源相为依据进行传递, 其耦合模型流程见图 2。

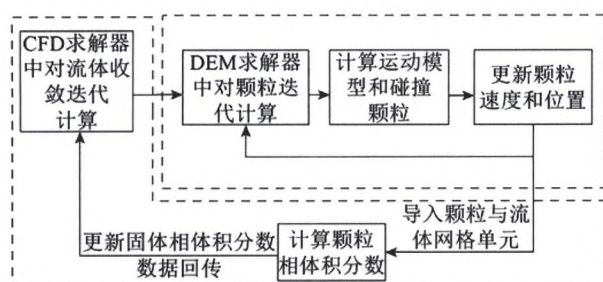


图2 DEM-CFD 耦合模型流程

Fig. 2 Flow chart of DEM-CFD coupling model

2 离心选矿机仿真优化与分析

2.1 仿真模型的建立

离心选矿机的主要工作部件是分选锥，应用三维软件 Pro/E 对分选锥进行建模，每层分选槽壁面都开有 1 mm 的反冲水孔。为了使仿真尽可能高效准确，利用 ANSYS Workbench 对分选锥模型进行布尔运算得到其流体域模型见图 3。

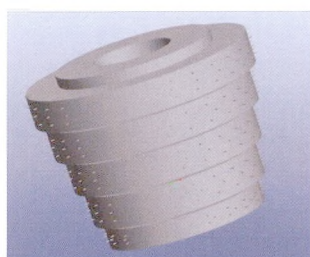


图3 流体域三维模型

Fig. 3 3D model of fluid domain

利用 Meshing 对分选锥流体域模型进行六面体网格划分见图 4。

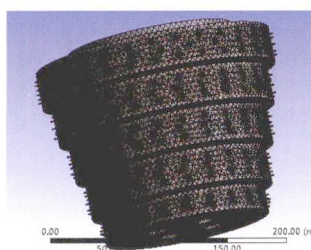


图4 分选锥网格

Fig. 4 Separation cone grid

采用 Hertz-Mindlin 无滑动作为分选过程的接触模型，结合文献^[1]得到固液两相流仿真参数见表 1。

表1 固液两相流仿真参数

Table 1 Simulation parameters of solid-liquid two-phase flow

项目	属性	数值
固相	泊松比	0.35
	弹性模量/(N·m ⁻²)	2.5 × 10 ⁷
	密度/(kg·m ⁻³)	2600,6500
	粒径/(mm)	0.074
	滚动摩擦系数	0.01
	静摩擦系数	0.27,0.15
	碰撞恢复系数	0.44,0.50
	颗粒入口速度/(m·s ⁻¹)	2
液相	泊松比	0.397
	弹性模量/(N·m ⁻²)	2 × 10 ⁸
	密度/(kg·m ⁻³)	998.2
	粘度/(Pa·s)	0.001
	入口速度/(m·s ⁻¹)	2

采用 DEM-CFD 耦合的方法进行仿真实验，将动量交换源项的数学模型编译进 UDF 耦合文件，通过耦合插件 UDF 连接 EDEM 与 Fluent 求解器。

2.2 DEM-CFD 模型验证

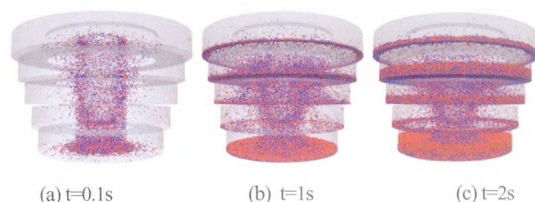


图5 分选锥内矿物颗粒分布

Fig. 5 Mineral particle distribution in the separation cone

图 5 为不同时刻下分选锥内颗粒群轨迹，其中蓝色、红色分别表征轻、重颗粒。当矿浆从入料口进入选矿机后，将在反冲水冲击力及离心力的作用下进入分选槽中(图 6a)；矿物颗粒将从下向上移动至不同的分选槽中，并按轻、重颗粒实现比重分离(图 6b)；最终，大部分重颗粒及少量轻颗粒留在富集槽底部，富集槽中分层现象显著(图 6c)。根据实际离心选矿机的分选原理，初步验证了本文建立的 DEM-CFD 耦合模型的准确性。

2.3 正交仿真优化

为了评定离心选矿机的分选性能，引入回收率和品位作为实验性能评价指标^[12]，其中回收率用来评价有用矿物的回收程度，其计算表达式如下：

$$E_1 = \frac{\beta}{\alpha} \times 100\% \quad (10)$$

式中, E_1 为实际回收率, %; α 为原矿中所含该目标金属质量, kg; β 为精矿中目标金属质量, kg。分选完成后通过 EDEM 后处理器计算求得颗粒的回收率。

品位是指矿石中有用组分的含量, 其计算表达式如下:

$$E_2 = \frac{\beta}{\gamma} \times 100\% \quad (11)$$

式中, E_2 为品位, %; γ 为精矿总质量, kg。分选完成后通过 EDEM 后处理器分别计算求得相应回收率和品位。

本研究在前期以及前文研究的基础上^[13], 以三因素二次回归旋转组合设计安排仿真正交实验, 选择反冲水水压、转动频率、给矿流量为实验因素。对实验因素进行单因素预实验, 确定其因素水平编码见表 2, 每个编码重复 9 次仿真实验, 取其平均值作为仿真结果, 仿真实验方案与结果见表 3。

表 2 因素水平编码
Table 2 Factor level coding

编码	因素		
	反冲水水压 X_1/MPa	转动频率 X_2/Hz	给矿流量 $X_3/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
1.682	0.06	75	0.92
1	0.05	69	0.87
0	0.035	60	0.8
-1	0.02	51	0.73
-1.682	0.01	45	0.68

表 3 实验方案与结果
Table 3 Test scheme and results

序号	反冲水水压 X_1	转动频率 X_2	给矿流量 X_3	回收率 $E_1/\%$	品位 $E_2/\%$
1	1	1	1	76.12	12.53
2	1	1	-1	78.02	13.62
3	1	-1	1	80.81	15.79
4	1	-1	-1	79.02	14.07
5	-1	1	1	83.12	15.84
6	-1	1	-1	84.55	16.76
7	-1	-1	1	74.92	13.41
8	-1	-1	-1	76.01	13.27
9	1.682	0	0	74.72	12.61
10	-1.682	0	0	76.81	13.83
11	0	1.682	0	75.69	12.79
12	0	-1.682	0	73.81	11.03
13	0	0	1.682	82.95	20.31
14	0	0	-1.682	83.01	20.02
15	0	0	0	78.65	20.31
16	0	0	0	81.17	19.97
17	0	0	0	79.21	20.46
18	0	0	0	77.69	18.82
19	0	0	0	77.41	20.41
20	0	0	0	81.12	18.92
21	0	0	0	78.42	19.75
22	0	0	0	79.11	18.77
23	0	0	0	78.21	20.04

2.4 实验结果及分析

实验结果通过 SPSS24 对回收率和品位的 DEM-CFD 耦合结果展开非线性回归分析, 获得回收率与品位的二次回归方程模拟以及回归方程检验见表 4。

表 4 (a) 回收率回归方程检验

Table 4 (a) Test table of regression equation of recovery				
来源	平方和	自由度	均方	F 值
回归	15862.288	10	1586.229	594.09
残差	34.708	13	2.670	
修正前	15896.996	23		
修正后	129.829	22		

表 4 (b) 品位回归方程检验

Table 4 (b) Test table of grade regression equation				
来源	平方和	自由度	均方	F 值
回归	20423.162	10	2042.316	380.67
残差	69.755	13	5.365	
修正前	20353.407	23		
修正后	223.742	22		

查 F 表得 $F_{0.01}(10,13)=4.10$, 因此回归方程高度显著, 其二次回归方程模型为:

$$E_1 = -232.811 + 4.177 X_1 + 2.043 X_2 + 0.809 X_3 - 0.024 X_1 X_2 + 0.017 X_1 X_3 - 0.023 X_2 X_3 - 0.019 X_1^2 - 0.007 X_2^2 + 0.011 X_3^2 \quad (11)$$

$$E_2 = 916.451 - 0.952 X_1 + 0.209 X_2 - 0.437 X_3 - 0.742 X_1 X_2 + 0.693 X_1 X_3 - 0.015 X_2 X_3 - 2.317 X_1^2 - 0.253 X_2^2 + 1.670 X_3^2 \quad (12)$$

考虑到文章篇幅, 这里重点分析回收率随离心选矿机工艺参数的变化, 研究因素的响应面图由 MATLAB 2016 a 编程得到见图 7。

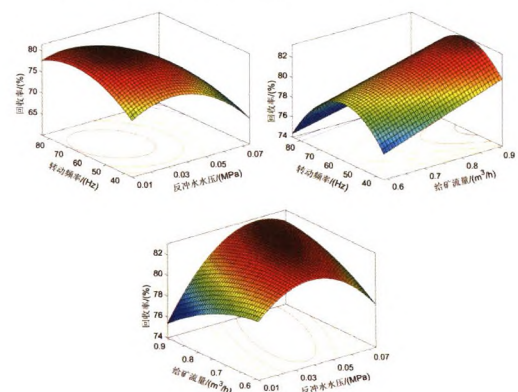


图 7 回收率响应曲面

Fig. 7 Response surface diagram of recovery rate

分析图 7 可以得到, 当给矿流量位于零水平, 随着转动频率逐渐增大, 回收率与其有着非线性

关系,出现了先上升后下降的现象;当转动频率位于零水平时,随着给矿流量的增大,回收率呈现出缓慢上升的趋势。当转动频率位于零水平时,随着反冲水水压的增大,回收率呈现出先上升后下降的趋势;当反冲水水压位于零水平时,随着转动频率的增大,回收率呈现出先上升后下降的趋势。当反冲水水压位于零水平时,随着给矿流量的增大,回收率呈现出先缓慢上升后逐渐下降的趋势,说明给矿流量的变化对回收率影响不大;当给矿流量位于零水平时,随着反冲水水压的增大,回收率呈现先上升后下降的趋势。

从回收率的二次回归方程模型与图 7 回收率的响应曲面可以看出,在正交实验因素范围内,三个因素对回收率的显著影响顺序为:反冲水水压对回收率的影响最大,转动频率次之,给矿流量对回收率的影响最小。从品位的回归方程可知,在实验范围内三因素对品位显著性影响大小顺序依次是:反冲水水压、给矿流量和转动频率。该结果表明了离心选矿机工艺参数与回收率和品位之间的关系,为研究离心选矿机的回收率提供了一种新的方法与思路。

2.5 离心选矿机分选工艺参数优化

为寻找实验三因素的较佳工作参数组合,提高立式离心选矿机的分选性能,以回收率和品位最大为约束条件,建立约束方程如下:

$$\begin{aligned} F_{\max} &= E_1 + E_2 \\ \text{s.t.} \begin{cases} 0.01 \text{ MPa} \leq X_1 \leq 0.06 \text{ MPa} \\ 45 \text{ Hz} \leq X_2 \leq 75 \text{ Hz} \\ 0.68 \text{ m}^3/\text{h} \leq X_3 \leq 0.92 \text{ m}^3/\text{h} \end{cases} \quad (13) \end{aligned}$$

根据建立的参数化数学模型,结合实验三因素的取值范围,利用 Matlab 中非线性优化 fmincon 函数对约束方程进行求解,参数优化结果为:反冲水水压 0.03 MPa,转动频率 60.49 Hz,給料速度为 0.737 m³/h,此时回收率预测值为 82.09%,品位回收率预测值为 21.37%。

2.6 离心分选工艺参数的验证

为验证立式离心选矿机仿真分析分选效果能否真实模拟矿石分选实况,对实验室现有的尼尔森选矿机进行离心分选实验。根据分选工艺参数优化结果组合建立仿真与实验结果的对比分析,每项实验进行 5 次,取其平均值作为最终结果见表 5。

表 5 离心分选工艺参数匹配方案

Table 5 Matching scheme of centrifugal separation process parameters

项目	反冲水水压 /MPa	转动频率 /Hz	给矿流量 /(m ³ ·h ⁻¹)	回收率 /%	品位 /%
预测值	0.03	61.49	0.737	82.13	21.37
仿真值	0.03	61.5	0.74	81.69	20.89
实验值	0.03	61.5	0.74	80.72	20.45

从表 5 可以看出,对比回收率和品位的预测结果,仿真回收率和品位与实验回收率和品位都有一定程度的降低,且实验回收率和品位均小于仿真值,这主要是因为实验过程中受到测量精度误差、杂质等因素的影响。回收率和品位的预测值、仿真值和实验值误差大小均在 5% 以内,再次验证了本文所建立基于 DEM-CFD 耦合分选模型的有效性和可行性。

分选实验结束后为了观察选矿机的轻重矿料在分选锥中的分布情况,提取分选锥中富集槽的矿料。可以看出分选后的矿料有明显的分层现象,属于轻颗粒的石英砂更多的分布在外层,而比重更大的钨矿主要集中在里层,这与前文 DEM-CFD 数值模拟得到的分层结果一致。

4 结 论

(1) 建立了动量交换源项为流固耦合中的传递介质,并根据分选原理验证了 DEM-CFD 模型的正确性,为进行更加符合实际离心选矿机分选过程的数值仿真实验奠定基础。利用 EDEM 和 FLUENT 对离心选矿机分选过程进行二次正交旋转组合耦合实验,建立了回收率的二次回归方程并得到相应响应曲面,确定了实验因素对回收率的主次因素为:反冲水水压、转动频率和给矿流量。

(2) 利用 MATLAB 中非线性优化函数 fmincon 对约束模型进行寻优处理, 在反冲水水压 0.03 MPa, 转动频率 61.5 Hz, 给料速度为 0.74 m³/h 时, 分选性能较佳, 对仿真优化实验结果进行实际离心分选实验验证, 结果表明回收率与品位的预测值、仿真值和实验值误差大小均在 5% 以内。因此, 运用 DEM-CFD 对离心选矿机的回收率及品位进行分析具有可行性, 同时为离心选矿机工艺参数的匹配优化提供依据。

参考文献:

- [1] 郭学益, 田庆华, 刘咏, 等. 有色金属资源循环研究应用进展 [J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 1859-1901.
- GUO X Y, TIAN Q H, LIU Y, et al. Progress in research and application of resource recycling of nonferrous metals [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2019, 29(9): 1859-1901.
- [2] ZHAO Y, ZHANG Y, LIU T, et al. Pre-concentration of vanadium from stone coal by gravity separation [J]. International Journal of Mineral Processing, 2013, 121: 1-5.
- [3] 路龚学. 我国地质矿产资源勘查现状及未来发展展望 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(4): 43-44.
- LU G X. Current situation and future development prospect of geological and mineral resources exploration in China [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2015(4): 43-44.
- [4] 张茜. 我国矿产资源综合利用现状分析 [J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(1): 106-108.
- ZHANG Q. Analysis of comprehensive utilization of mineral resources in China [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2013, 33(1): 106-108.
- [5] 黄万抚, 吴浩, 文金磊, 等. Knelson 离心机的分选原理及应用研究 [J]. 矿山机械, 2015, 43(11): 96-100.
- HUANG W F, WU H, WEN J L, et al. Study on separation principle and application of Knelson centrifuge [J]. Mining Machinery, 2015, 43(11): 96-100.
- [6] 王国仪. 《N-S 方程的数值解和紊流模型》[J]. 河海大学科技情报, 1988(1): 215.
- WANG G Y. Numerical solution of N-S equation and turbulence model [J]. Science and Technology Information of Hohai University, 1988(1): 215.
- [7] 孙启潇, 陶有俊, 王旭, 等. 基于 CFD 的 Falcon 分选机内部流场测试 [J]. 中国煤炭, 2016, 42(4): 94-98.
- SUN Q X, TAO Y J, WANG X, et al. Internal Flow Field Test of Falcon Separator Based on CFD [J]. China Coal, 2016, 42(4): 94-98.
- [8] 王旭. Falcon 离心分选机流场模拟及其计算理论的基础研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- WANG X. Fundamental research on flow field simulation and calculation theory of falcon centrifugal separator [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2015.
- [9] Tsuji Y, Tanaka T, Ishida T. Lagrangian numerical simulation of plug flow of cohesionless particles in a horizontal pipe [J]. Powder technology, 1992, 71(3): 239-250.
- [10] Raji A O. Discrete element modelling of the deformation of bulk agricultural particulates [J]. 1999: 129-141.
- [11] Chu K W, Wang B, Yu A B, et al. CFD-DEM modelling of multiphase flow in dense medium cyclones [J]. Powder Technology, 2009, 193(3): 235-247.
- [12] 罗先伟, 许大洪. 离心选矿机回收微细粒锡石的工艺研究及应用 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2018(2): 49-52.
- LUO X W, XU D H. Research and application of recycling process of fine cassiterite by centrifugal concentrator [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2018(2): 49-52.
- [13] 游志程, 陈禄政, 谢海云, 等. 旋流连续离心分选机选矿实验研究 [J]. 矿山机械, 2017, 45(2): 41-45.
- YOU Z C, CHEN L Z, XIE H Y, et al. Experimental study on ore concentration of cyclone continuous centrifugal separator [J]. Mining & Processing Equipment, 2017, 45(2): 41-45.

(下转 140 页)

- TANG S C. Influence of manganese ion concentration on zinc electrodeposition process [J]. Hunan nonferrous metals, 2009,25 (2) : 28-29,76.
- [3] 王吉坤. 铅锌冶炼生产技术手册 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2012.
- WANG J K. Lead and Zinc Smelting Production Technology Manual [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012.
- [4] 赵兵伍, 赵德军, 李建福. 锌电积阳极泥综合处理研究 [J]. 云南冶金, 2013,42(3):33-35+40.
- ZHAO B W, ZHAO D J, LI J F. Study on comprehensive Treatment of Zinc electrodeposited anode mud [J]. Yunnan metallurgy, 2013,42 (3) : 33-35+40.
- [5] 向平. 锌电解阳极泥锰铅银分离的技术与理论研究 [D]. 长沙:中南大学, 2011.
- XIANG P. Technology and Theoretical Research on separation of manganese, lead and silver from zinc electrolytic anode [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [6] 徐军. 从锌阳极泥中综合回收锌锰并富集铅银的研究 [J]. 湖南有色金属, 2013,29(2):23-26.
- XU J. Comprehensive Recovery of Zinc manganese and enrichment of lead and Silver from zinc anode slime [J]. Hunan nonferrous metals, 2013,29 (2) : 23-26.

Study on Improving the Utilization of Manganese in Zinc Electroposition Anode Slime

Xie Tingfang^{1,2}, Luo Yongguang², Jiao Zhiliang², Ma Aiyuan³

(1. Faculty of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi, China; 2. Yunnan Chihong Zn-Ge Co., Ltd., Qujing, Yunnan, China; 3. School of Chemistry and Materials Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou, China)

Abstract: The process of direct reductive leaching of manganese from zinc electroposition anode slime by using iron sulfide in sulfuric acid media was investigated. The particle size, dosage of reductant, the initial acid concentration, leaching time, leaching temperature and other parameters on the recovery of manganese were examined. The experimental results under different conditions were discussed and the better process parameters were determined. The experimental results shows that more than 90% of the manganese leaching rate can be achieved under better conditions, which provides a reference for improving the utilization ratio of manganese in the zinc smelting process.

Keywords: Zinc electrowinning; Anode slime; Manganese; Iron sulfide

////////////////////////////////////
(上接 179 页)

Simulation and Optimization Analysis of Centrifugal Concentrator Based on EDEM-FLUENT Coupling

He Jianrong¹, Wang Jinming², Yu Xia¹, Xu Zhenbang¹

(1. Shaanxi Huoshizui Coal Mine Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei, China)

Abstract: In order to improve the separation performance of the vertical centrifugal concentrator, the momentum exchange source term was established as the transfer medium in the fluid solid coupling. The coupling simulation analysis of the separation process of the centrifugal concentrator was carried out by using EDEM and FLUENT software, and the multiple regression model and response surface of the recovery rate of the separation performance evaluation index were established by using the quadratic regression orthogonal rotation combination design. The results showed that when the backflushing water pressure is 0.03 MPa, the rotating frequency is 61.5 hz, and the feeding speed is 0.74 m³/h, the separation performance of the concentrator is the best. The result of centrifugal separation test showed that the error of predicted value, simulated value and test value is less than 5%. Therefore, it is feasible to use DEM-CFD to analyze the recovery of the centrifugal concentrator, which provides a reference for the matching and optimization of the process parameters of the centrifugal concentrator.

Keywords: Fluid-solid coupling; Discrete element; Concentrator; Rotating orthogonal test