

叶轮转速对粗粒浮选机分选动力煤的影响

药靖晖, 杨润全, 王怀法

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 基于课题组前期设计了一种集细粒常规浮选和粗粒流态化浮选的宽粒级煤泥浮选机, 将底部结构改造为倒锥形, 避免了尾矿沉积, 根据其实际尺寸构建物理模型, 对其内部流场进行气液两相流数值模拟, 对不同叶轮转速下的湍流结果进行对比。使用实验室试验系统对泰安煤业羊路河选煤厂所采煤样进行分选试验, 得出使分选效果较为理想的叶轮转速值为 1200 r/min。

关键词: 浮选; 粗粒浮选机; CFD 流场模拟; 流态化

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.04.033

中图分类号: TD456 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 04-0153-04

在煤炭开采过程中, 煤泥粒度大小对分选效果影响较大, 重介旋流器的粒度分选范围一般为 50 ~ 1 mm, 而浮选的粒度上限一般为 0.5 mm, 这样重选与浮选之间产生了一个粒度缺口, 是否能够对 0.5 ~ 1 mm 以上的粗煤泥实现有效分选成为减少精煤损失, 提高选煤厂效益的关键。煤炭的洗选工艺大致可以分为两类: 脱泥工艺和不脱泥工艺。大多数选煤厂都采用 0.5 mm 脱泥分级, 煤泥浮选。煤泥浮选经常会导致浮选跑粗, 精煤回收率不高。为了回收这部分粗煤泥, 提高选煤厂的经济效益。很多选煤厂都引进了粗煤泥分选设备, 如煤泥重介旋流器、干扰床分选机 (TBS)、螺旋分选机等。这些设备从一定程度上解决了粗煤泥分选问题^[1]。本文对宽粒级煤泥浮选机结构进行改进, 并根据内部流场模拟结果验证其合理性, 最后通过煤样分选试验探究最佳叶轮转速。

1 浮选机构造及工作原理

浮选机结构。主要由槽体、格子板、叶轮 - 定子系统、假底及倒锥形筒底等部件构成。

其工作原理是: 矿浆先经搅拌桶充分搅拌均匀, 然后被搅拌均匀的矿浆经过给料蠕动泵从入

料口以一定流速进入到浮选机槽体的内部。给料的同时进气管会不断进入空气。槽体内部矿浆和空气进行混合矿化。旋转的叶轮会带矿浆以一定速度转动, 转动的矿浆与定子发生碰撞, 从而会在格子板下方形成强紊流矿化区, 而矿浆中的粗粒矿粒和气泡会穿过格子板^[2]。此时的粗颗粒矿粒会与从入料口进入的矿浆相碰, 从而形成流态化悬浮层。矿粒和气泡在整个过程中有足够长的接触时间, 可以充分接触, 形成矿化气泡。矿化气泡在上升水流推力和自身的浮力作用下, 会不断上升并最终在液面形成泡沫层, 当泡沫层超过槽体边沿时, 载有煤颗粒的泡沫会跌落到精矿槽中, 从而排出^[3]。因气泡破灭或携载能力不足而脱落的矿粒, 会跌落到循环通道, 在叶轮抽吸作用和内外筒压差作用下重新回到叶轮搅拌区进行新一轮的浮选, 那些不能被气泡携载的尾矿最终会进入浮选机底部, 经倒锥形排放口将其收集排出。

该浮选机的主要特点: (1) 矿浆在浮选机内可得到充分循环。叶轮 - 定子系统产生的抽吸力可将下部矿浆抽吸上扬, 因有循环孔的存在和内外筒的压差, 使得矿浆在筒内形成立体循环, 得到有效分选; (2) 入料矿浆经充分调浆后由中心给

收稿日期: 2018-04-10; 改回日期: 2018-04-25

作者简介: 药靖晖 (1993-), 男, 硕士, 主要研究方向为细粒煤分选。

料口直接给入栅格板上方,该区域气含率高,紊流强度较弱,粗颗粒矿物与气泡接触时间较长,不易发生脱附,保证了分选效果^[4];(3)格子板将筒内矿浆流分为两个部分,上升矿浆通过格子板时,速度和湍流强度都会降低,这样格子板上方将形成粗矿粒悬浮层,下方则会形成强紊流细粒矿化区,从而为粗、细颗粒浮选提供不同的流体力学环境;

(4)倒锥形尾矿排放。解决了尾矿沉槽不易排出的问题,也使浮选机的清理更加方便。

2 浮选机物理建模

GAMBIT是一种常用的计算流体力学相关的前处理软件,这种软件可以对目前各种类型的CAD数据相关几何文件进行分析处理,而获得相应的结构化与非结构化网格^[5-7]。其也可以高效的处理一些复杂几何体,比如对其分区处理后而得到各种类型的结构化网格。

本文使用GAMBIT作为前处理软件,建立浮选机物理模型,浮选机建模时所使用坐标系介绍如下:三维坐标原点为浮选机顶部中心;浮选机进气口反向为y轴正方向,沿浮选机高度为z轴负方向,由于坐标原点的选取,浮选机处于z轴正方向;同时垂直于y轴和z轴的方向为x轴方向。浮选机模型在三维坐标的数值为x(-8.4~8.4 cm);y(-8.4~8.4 cm);z(0~34 cm)。

浮选机主要结构参数介绍如下(长度单位均为m):外筒体的直径和高度分别为0.15和0.30;内筒体的直径和高度分别为0.10和0.21;倒锥体高度为0.06,底部直径为0.01;叶轮直径和高度分别为0.05和0.03;定子的外径和高度分别为0.09和0.04。

3 浮选机内部流场模拟

3.1 数值方法及边界条件

数值模拟分析过程中应用了相应的Fluent工具,而在求解过程中应用的流动模型为RNG k-ε湍流模型。根据需要而选择了滑移网格进行流场分析;而在压力设置时根据模型需要而选择了

PRESTO!格式离散;而对应的动量和动能方程应用了Second Order Upwind;浮选机对应的流动收敛很困难,因而在模拟分析过程中应用了非稳态方法进行计算,收敛精度采用Fluent默认设置0.001,设置时间步长为0.001s,时间步为50000^[8-10]。

将进水口设为液相速度入口,且在分析过程中为了方便处理,而假设入口速度是均匀分布的,相应的入料量0.12 m³/h,在此基础上代入相关参数而确定出其流速为0.0264 m/s;设置的充气量为0.5 m³/h。而最终计算得出充气流速为0.44 m/s。浮选机出口的上下部分别为相应的精矿出口尾矿出口,而后一个出口依据出料量设置为0.06 m³/h,且确定出其流速为0.05 m/s,精矿排出口为压力出口,压力值为标准大气压。采用标准壁面函数处理此区域的湍流,考虑到重力产生的影响,设置沿z轴正向重力加速度为9.81m/s²。采用清水作为流体介质,其密度为998.2kg/m³;比热容为4182J/(kg·K)^[11]。

3.2 不同叶轮转速下浮选机内湍流度差异

取叶轮转速分别为1000、1200和1400 r/min,对浮选机内部流场进行模拟。在叶轮区域,矿浆湍流强度并不随叶轮转速的增加而增强,由图可知叶轮转速为1200 r/min时浮选机内湍流强度较大。格子板下部矿浆内主要为细矿粒,而这些颗粒质量小、动量低,导致其与气泡的碰撞几率、粘附几率较小,浮选效率差,回收率不高。而在较强的紊流条件下,矿浆内的细矿粒与气泡之间的碰撞作用和粘附作用能够得到强化。因此,矿浆的强湍流度,高紊流环境有利于细矿粒的分选。可通过变频器来控制叶轮转速,从而找到使分选效果较好的最佳条件。

4 粗粒浮选机浮选试验研究

4.1 试验煤样

本次试验煤样来源于泰安煤业选煤厂,厂址位于山西省忻州市保德县城东南28 km处,选煤厂原煤处理能力为1.8 Mt/a,主要产品为1/3配焦煤和动力煤,本次采样为旋流器底流产品。煤样筛析结果见表1所示。

表1 试验煤样筛析结果
Tab.1 Test coal sample screening data

粒度级	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
+1.5	7.22	20.76	4.22	20.76
1.5~1.0	7.65	17.28	11.87	18.52
1.0~0.74	11.73	25.07	23.59	21.78
0.71~0.5	17.58	23.34	41.17	22.44
0.5~0.25	19.16	23.36	60.33	22.74
0.25~0.125	27.09	34.96	87.42	26.53
0.125~0.074	7.23	36.17	94.65	27.26
-0.074	5.35	57.70	100.00	28.89
合计	100.00	29.51		

由表1可见，该煤样中0.5 mm以上粒度占41.18%，这部分物料采用常规浮选设备不能实现有效分选，+1 mm 粒度占11.87%，-0.25 mm 粒度占39.67%，灰分为38.25%，灰分较高。

4.2 叶轮转速对浮选结果的影响

试验条件：矿浆浓度60 g/L；入料速度120 L/h；充气量0.4 m³/h；捕收剂（煤油）用量1000 g/t；起泡剂（仲辛醇）用量100 g/t；叶轮转速为800、1000、1200、1400和1600 r/min。

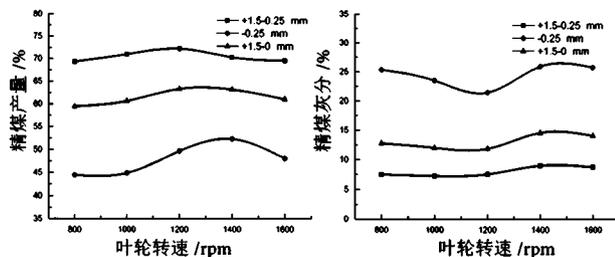


图1 不同叶轮转速下精煤产率和灰分变化曲线
Fig.1 Concentrate coal yield and ash change curve under different impeller speeds

不同叶轮转速下精煤产品的各项指标见图1。在叶轮转速由800 r/min上升到1200 r/min的过程中，粗粒和细粒煤泥的精煤产率都呈现上升趋势，这说明叶轮转速较低时，浮选机内矿浆湍流程度较弱，煤粒与气泡不能充分接触，无法发生有效碰撞，随着叶轮转速的增加，精煤颗粒与气泡黏附概率增大，产率随之增加。叶轮转速由1000 r/min上升到1200 r/min过程中，粗粒和细粒及整体煤泥精煤产率增长率最大，说明当叶轮转速到达1200 r/min左右时，浮选机内矿浆湍流强度为较理想状态，可分别为格子板下部矿浆内的细粒煤和上部矿浆内的粗煤泥提供合适的紊流环境，此条件下粗粒和细粒煤泥的分选效果均较好。结合灰分变化曲线，在转速1000~1200 r/min范围，随精煤产率的上升其灰分

呈下降趋势，说明此阶段气泡流可将粒度大、灰分低的矿粒携带至液面排出，对于粗煤泥的分选效果较好。而当叶轮转速超过1400 r/min后，煤粒易与气泡发生脱附，导致精煤产率下降。所以，使得分选效果最佳的叶轮转速应为1200 r/min左右。

尾煤产率和灰分变化情况见图6。尾煤产率变化情况与精煤相反，在叶轮转速由800 r/min上升到1200 r/min的过程中呈下降趋势，在1200 r/min处达到产率最小值，之后逐渐上升。结合灰分变化曲线，最大值也在1200 r/min附近获得。此时分选效果最佳。

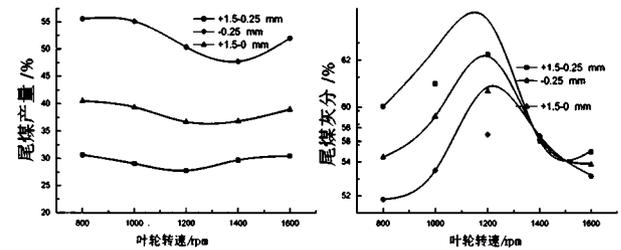


图6 不同叶轮转速下尾煤产率、灰分变化曲线
Fig.6 The curves of the change of tail coal yield and ash at different impeller rotation speeds

浮选机内不同叶轮转速下流场模拟结果表明，叶轮转速为1200 r/min时，筒内矿浆湍流强度较1000 r/min和1400 r/min时要大，这与试验结果相吻合。

5 结论

(1) 浮选机内部湍流强度分布表明，叶轮转区湍流强度最大，格子板下部区域矿浆湍流强度大于上部区域，使细粒煤位于强紊流区，粗粒煤位于弱紊流区，两者都能得到有效分选。矿浆在叶轮区域的湍流度并不随叶轮转速的增加而增大，叶轮转速为1200 r/min时湍流强度较大。

(2) 对所采煤样进行不同叶轮转速下的浮选试验后，发现使得分选效果最佳的叶轮转速为1200 r/min，此时精煤产率为63.28%，灰分为11.85%；尾煤灰分为60.19%。

参考文献：

[1] 陈锋, 种亚岗. 粗粒煤泥浮选研究现状浅析[J]. 陕西煤炭, 2017, 36(5): 54-56.
[2] 杨润全, 王怀法. 宽粒级煤浮选机流场数值模拟研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 657-661.
[3] 郭柄霖, 杨润全, 王怀法. 叶轮转速与通气量对宽粒级

煤泥浮选影响的研究 [J]. 中国煤炭, 2015,41(5):99-104.

[4] 王泓皓, 杨润全, 王怀法. 宽粒级煤泥浮选机浮选试验研究 [J]. 煤炭工程, 2013,45(9):112-115.

[5] 翟爱峰, 刘炯天. 基于 FLUENT 的浮选柱旋流分选结构数值模拟 [J]. 金属矿山, 2012,41(7):136-140.

[6] Yan, Xiaokang, Liu, et al. A single-phase turbulent flow numerical simulation of a cyclonic-static micro bubble flotation column [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012,22(1):95-100.

[7] 王刚, 费之奎, 丁光耀. 基于 FLUENT 的浮选机搅拌叶

轮的选型 [J]. 矿山机械, 2013,41(4):95-99.

[8] Hosseini S A, Tafreshi H V. Modeling particle-loaded single fiber efficiency and fiber drag using ANSYS-Fluent CFD code [J]. Computers & Fluids, 2012,66(66):157-166.

[9] 李梦君, 李浙昆, 熊勇, 等. 基于 FLUENT 滑移网格的浮选离心叶片泵内流场的 CFD 分析 [J]. 科学技术与工程, 2011,11(23):5664-5668.

[10] 刘春艳, 程宏志, 石焕. XJM-S8 型浮选机数值模拟及槽内矿浆流态分析 [J]. 选煤技术, 2009(3):20-22.

Effect of Rotation Speed of Impeller on Separation of Steam Coal by Coarse Flotation Machine

Yao Jinghui, Yang Runquan, Wang Huaifa

(Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi, China).

Abstract: A coarse particle flotation machine based on fine-grained conventional flotation and coarse-grained fluidized flotation was designed based on the design of the earlier stage of the research group. Now, The bottom structure was transformed into a reversed-cone shape, avoiding tailings deposits. The physical model was constructed in terms of size. The internal flow field was subjected to numerical simulation of gas-liquid two-phase flow, and comparing the turbulence results at different impeller speeds. Using laboratory test system to conduct a sorting test on the coal samples taken at Yangluhe Coal Preparation Plant, and the impeller rotation speed of 1200 r/min will make the sorting effect more satisfactory.

Keywords: Flotation; coarse flotation machine; CFD flow field simulation; fluidization

////////////////////////////////////
(上接 58 页)

Flotation Test of Low-grade Spodumene in the Jiulong Area of West Sichuan

Chen Chao^{1,2}, Zhag Yushu¹, Zhang Shaoxiang¹, Yang Lei¹, Liu Nengyun¹

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Metal Mineral Resources Comprehensive Utilization Technology Research Center, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China; 2. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning, China.)

Abstract: Lithium is widely used in high-energy batteries, ceramic glass, medical treatment, aerospace and other fields. Spodumene in Western Sichuan is an important lithium raw material base. Spodumene in Jiulong area of Western Sichuan has the characteristics of great prospecting potential, low grade of raw ore and difficult comprehensive utilization. The Li₂O grade of low grade spodumene ore of Jiulong area of West Sichuan is 0.94%. The main valuable mineral is spodumene, and gangue minerals are feldspar and quartz. The theoretical grade of spodumene concentrate is 6.42%, and the theoretical recovery is 83.99%. At the condition of grinding fineness of -0.075mm 84.04%, the lithium concentrate of 5.52% Li₂O is obtained with the recovery of 76.18% through the closed circuit of one-roughing, two-scavenging, four-cleaning and middlings returned in order. The test results provide reference for the development and utilization of Low Grade spodumene in the Jiulong area of West Sichuan.

Keywords: Spodumene; Low-grade; Flotation