

文章编号:0253-9993(2009)06-0823-04

浮选柱气含率及其影响因素对煤泥分选的研究

张 敏^{1,2}, 刘炯天², 张建强³

(1. 华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221008; 3. 中国铝业股份有限公司 郑州研究院, 河南 郑州 450041)

摘 要: 利用压差法检测浮选柱气含率, 通过正交设计和煤泥浮选实验, 研究循环压力、进气量和起泡剂浓度对气含率的影响以及气含率对煤泥浮选效果的影响. 结果表明, 起泡剂浓度对气含率的影响最大, 进气量次之, 循环压力最小. 在一定范围内, 随着气含率的增大, 精煤产率增大, 精煤的灰分也随之增大, 精煤质量下降. 当气含率为 24.17% 时, 精煤产率为 87.35%, 精煤灰分为 10.02%. 随着循环压力增大, 精煤产率增大, 但精煤灰分有所下降. 分析指出气含率大小可作为调节浮选柱矿物分选指标的一个参考标准.

关键词: 浮选柱; 气含率; 煤泥分选

中图分类号: TD923 文献标识码: A

Study of flotation column gas holdup and influence factors to slurry separation

ZHANG Min^{1,2}, LIU Jiong-tian², ZHANG Jian-qiang³

(1. State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 3. Zhengzhou Research Institute, China Aluminum Co. Ltd., Zhengzhou 450041, China)

Abstract: Pressure difference method was used to monitor gas holdup in flotation column. The influences of circulating pressure, air flow and frother concentration on gas holdup and the influence of gas holdup on slurry separation were mainly studied by Orthogonal and slurry flotation experiments. The results show that frother concentration is the most important factor that could affect gas holdup, and air flow is the second, and the circulating pump pressure is the third. The recovery and ash of cleaned coal increase with the increasing of gas holdup in a certain range, so the quality of cleaned coal decline. When gas holdup is 24.17%, the recovery of cleaned coal is 87.35%, and its ash is 10.02%. With the increasing of circulating pressure, the cleaned coal recovery increases, but its ash declines slightly. The gas holdup can be used as a reference standard for regulating the mineral separation indexes of flotation column.

Key words: flotation column; gas holdup; slurry separation

气泡发生器是浮选柱的核心部件, 气含率是气泡发生器运行状况的表征参数之一. 理论上讲, 浮选柱气含率高, 气泡状态好, 浮选柱的浮选效果就好.

1 气含率的测定方法^[1-2]

本实验采用压差法测量浮选柱内部的气含率. 为了便于推导及计算, 假设仅考虑液相的静压, 忽略动

压, 并忽略气体所产生的压强. 在图 1 中, A, B, C, D, E 是压差变送器的 5 个接口, B', C', D' 是压力变送器的接口. 为了方便推导气含率的计算公式, 取 BD 段为测量对象进行推导.

假设在没有充气的情况下, B, D 两点之间的压差为

$$\Delta p = \rho_s gh, \quad (1)$$

式中, ρ_s 为矿浆密度; g 为重力加速度; h 为 B, D 两点间的高度.

当浮选柱中充气时, BD 段的部分空间被空气所占, 矿浆所占的体积减少. 假设矿浆所占的体积转化为以浮选柱横截面为底面的液柱, 设该液柱的高度为 h_1 . 同样, 气体所占空间的高度为 h_2 ; 由于 BD 段的体积是一定的, 因此在相同底面积的情况下有

$$h_1 + h_2 = h, \quad (2)$$

此时 B, D 两点之间的压差为

$$\Delta p_1 = \rho_s gh_1 + \rho_a gh_2, \quad (3)$$

其中, ρ_a 为空气的密度. 由于空气密度相对于水的密度小, 其产生的压强可以忽略不计. 此时 B, D 之间的压差可表示为 (一般由直接测量得到)

$$\Delta p_1 = \rho_s gh_1. \quad (4)$$

气含率 ε 可表示为 (其中 S 是浮选柱横截面积): $\varepsilon = \frac{Sh_2}{Sh} = \frac{h_2}{h} = \frac{h - h_1}{h} = 1 - \frac{h_1}{h}$.

由式 (1), (4) 可得 $\frac{h_1}{h} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p} = \frac{\Delta p_1}{\rho_s gh}$.

气含率的表达式为

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta p_1}{\rho_s gh}. \quad (5)$$

2 浮选柱气含率对煤泥分选实验

2.1 样品准备及实验系统

实验样品取自中国新登某生产煤, 经过筛分后取 0.5 mm 以下作为浮选用样. 实验选用煤油为捕收剂, 松醇油为起泡剂. 煤泥浮选浓度选择 60 g/L, 捕收剂煤油用量固定不变, 为 105 g/t. 主要影响因素选择循环压力、进气量和起泡剂松醇油的浓度. 采用 3 因素 3 水平正交实验方法. 浮选柱为中国矿业大学自主知识产权的旋流-静态微泡浮选柱^[3], 试验系统如图 2 所示.

2.2 实验结果及分析

表 1 为浮选柱在各正交实验条件下及相应的气含率、精煤、尾煤的产率及灰分.

由式 (5) 可知, 气含率与矿浆的密度 ρ_s 有关. 当用煤泥进行实验时, 矿浆的密度较清水大. 实验中, 矿浆的浓度为 60 g/L. 在配制矿浆时, 忽略煤在水中所占的体积, 矿浆的密度为

$$\rho_s = (1\ 000 + 60)/1 = 1\ 060\ (\text{g/L}) = 1\ 060\ (\text{kg/m}^3),$$

$$\Delta p = \rho_s gh = 1\ 060 \times 9.8 \times 0.4/1\ 000 = 4.155\ 2\ (\text{kPa}).$$

以实验 1 为例计算气含率: 测量的压强 $\Delta p_1 = 3.7\ \text{kPa}$, 气含率 $\varepsilon = \left(1 - \frac{\Delta p_1}{\rho_s gh}\right) = \left(1 - \frac{3.74}{4.155\ 2}\right) \times 100\% =$

9.99%.

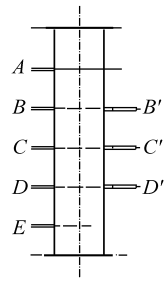


图 1 气含率测试原理

Fig. 1 The testing principle of gas holdup

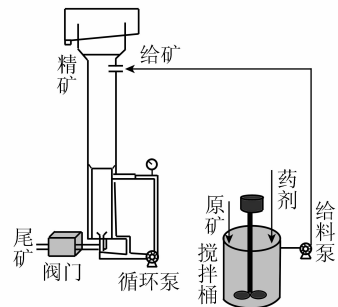


图 2 浮选柱实验系统

Fig. 2 The experiment system of flotation column

表1 浮选柱实验数据
Table 1 The experiment results of flotation column

| 因素 | 循环压 力/MPa | 进气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) | 起泡剂浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 气含 率/% | 精煤产 率/% | 精煤灰 分/% | 尾煤产 率/% | 尾煤灰 分/% |
|-----|--------------|--|---|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 实验1 | 0.150 | 0.4 | 2 | 9.99 | 42.17 | 5.45 | 57.83 | 20.58 |
| 实验2 | 0.150 | 0.6 | 4 | 17.78 | 78.19 | 8.69 | 21.81 | 33.96 |
| 实验3 | 0.150 | 0.8 | 6 | 24.17 | 87.35 | 10.02 | 12.65 | 43.06 |
| 实验4 | 0.175 | 0.4 | 4 | 13.47 | 56.72 | 6.11 | 43.28 | 24.80 |
| 实验5 | 0.175 | 0.6 | 6 | 20.68 | 84.47 | 8.39 | 15.53 | 45.80 |
| 实验6 | 0.175 | 0.8 | 2 | 14.93 | 65.42 | 7.10 | 34.58 | 27.63 |
| 实验7 | 0.200 | 0.4 | 6 | 15.28 | 74.86 | 6.79 | 25.14 | 36.28 |
| 实验8 | 0.200 | 0.6 | 2 | 13.69 | 58.94 | 5.35 | 41.06 | 26.91 |
| 实验9 | 0.200 | 0.8 | 4 | 17.45 | 76.48 | 7.57 | 23.52 | 35.76 |

图3为清水条件下起泡剂松醇油与气含率的简略关系，可以知道，由于起泡剂的添加，气泡直径变小，产生气泡的数量增多，气含率随着起泡剂浓度增大而增大，达到一定浓度后，增加缓慢。当然不同起泡剂对气含率的影响程度是不一样的。气含率与浮选之间的关系主要考察其和精煤的产率与精煤灰分的关系。图4为气含率与精煤产率和精煤灰分的关系。可以看出，随着气含率的增大，精煤产率增大，精煤的灰分与精煤产率走势相近。由图3、4可知，虽然清水中起泡剂松醇油浓度增大可以增大气含率，由此增加精煤产率，但结果精煤灰分也会偏高。因此，在该煤浮选过程中，气含率不能过大，否则精煤灰分会偏高而不符合需求指标。由此可将气含率作为调节矿物浮选指标的一个参考标准，先根据矿物浮选指标确定所需求的气含率，再根据其气含率确定起泡剂用量。

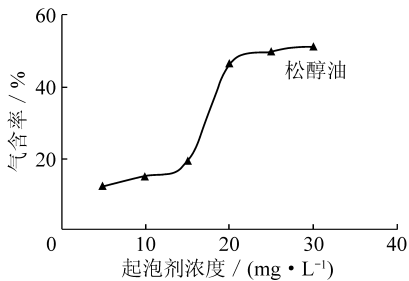


图3 清水中起泡剂浓度与气含率的关系

Fig.3 Relationship between frother concentration and gas holdup

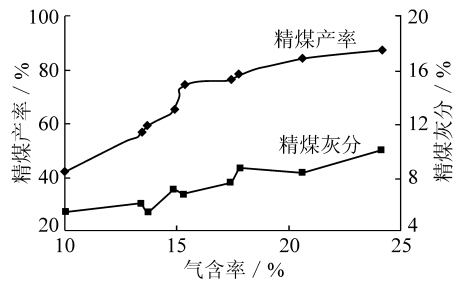


图4 气含率与精煤的关系

Fig.4 Relationship between gas holdup and cleaned coal

表2为利用极差分析法对精煤产率、精煤灰分和尾煤灰分进行分析的数据，均值1、2、3分别代表各因素的3个水平。由表2可以看出，起泡剂浓度不仅是气含率的重要影响因素，而且对精煤产率、精煤灰分和尾煤灰分同样有着重要影响。在表2中，3个影响因素对精煤产率、精煤灰分及尾煤灰分的影响不同。数据表明，随着进气量和起泡剂浓度的增大，精煤产率随之增大。但是，在精煤产率增大的同时，精煤灰分也增大，因此导致精煤质量下降。循环压力与之不同，随着循环压力的增大，精煤产率增大。此时，精煤灰分有所下降，精煤质量提高。循环压力不仅对气含率有所影响，而且还给旋流分离段提供动力^[3-6]。在旋流力场作用下，气泡及矿化气泡由于密度小，汇集至旋流分离段的中上部（还包含浮力作用），与矿粒及向下移动的矿浆分离，它具有分散气泡与分选的双重作用。

3 结 论

旋流-静态微泡浮选柱^[3]是一种新型的矿物分选设备和方法，它打破传统的浮选方式，引入了旋流

表 2 极差分析
Table 2 The range analysis

| 均值 | 精煤产率/% | | | 精煤灰分/% | | | 尾煤灰分/% | | |
|------|--------|-------|-------|--------|------|-------|--------|-------|-------|
| | 循环压力 | 进气量 | 超泡剂浓度 | 循环压力 | 进气量 | 超泡剂浓度 | 循环压力 | 进气量 | 超泡剂浓度 |
| 均值 1 | 69.23 | 57.91 | 55.51 | 8.05 | 6.11 | 5.96 | 32.53 | 27.22 | 25.04 |
| 均值 2 | 68.87 | 73.86 | 70.46 | 7.20 | 7.47 | 7.45 | 32.74 | 35.55 | 31.50 |
| 均值 3 | 70.09 | 76.41 | 82.22 | 6.57 | 8.23 | 8.40 | 32.98 | 35.48 | 41.71 |
| 极差 | 1.22 | 18.50 | 26.71 | 1.48 | 2.11 | 2.43 | 0.45 | 8.33 | 16.67 |

与静态化。通过研究循环压力、进气量及起泡剂浓度对浮选柱气含率的影响和气含率对煤泥分选效果的影响,说明气含率可作为调节煤泥分选指标的一个参考标准,为煤泥分选指出一条新方法。

(1) 由于起泡剂的添加,气泡直径变小,产生气泡的数量增多,气含率随着起泡剂浓度增大而增大,到一定浓度后,增加缓慢。不同起泡剂对气含率的影响程度不同。

(2) 进气量是浮选气泡的来源,对气含率有一定的影响,没有进气量也没有气含率。

(3) 循环压力也是影响气含率的因素,影响气泡大小与尺寸。随着循环压力增大,精煤产率增大,此时,精煤灰分有所下降,精煤质量提高。

(4) 在一定范围内,随着气含率的增大,精煤产率增大,精煤的灰分也随之增大,精煤质量下降。当气含率为 24.17% 时,精煤产率为 87.35%,精煤灰分为 10.02%。

参考文献:

- [1] 李延峰,张敏,刘炯天. 浮选柱充填方式及其优化 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (4): 431-434.
Li Yanfeng, Zhang Min, Liu Jiongtian. Packing mode and optimization of flotation column [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33 (4): 431-434.
- [2] 李延峰,张敏,刘炯天. 浮选柱筛板充填的气含率研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37 (2): 255-258.
Li Yanfeng, Zhang Min, Liu Jiongtian. Study of gas content in a sieve packing flotation column [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 37 (2): 255-258.
- [3] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱及洁净煤制备研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 1998.
Liu Jiongtian. Study on cyclonic static micro-bubble column flotation and clean coal preparation [D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 1998.
- [4] 刘炯天. 旋流-静态微泡柱分选方法及应用(之一)柱分选技术与旋流-静态微泡柱分选方法 [J]. 选煤技术, 2000 (1): 42-44.
Liu Jiongtian. The separation method of cyclonic-static micro-bubble column flotation and practical application: Part 1: Column separation technology and the separation method of cyclonic-static micro-bubble column flotation [J]. Coal Preparation Technology, 2000 (1): 42-44.
- [5] 刘炯天. 旋流-静态微泡柱分选方法及应用(之四)旋流力场分离与强化回收机制 [J]. 选煤技术, 2000 (4): 1-4.
Liu Jiongtian. The separation method of cyclonic-static micro-bubble column flotation and practical application: Part 4: cyclonic field separation and strengthen recovery mechanisms [J]. Coal Preparation Technology, 2000 (4): 1-4.
- [6] 刘炯天. 旋流-静态微泡柱分选方法及应用(之五)柱分选设备系列化及大型旋流-静态微泡浮选床 [J]. 选煤技术, 2000 (5): 1-4.
Liu Jiongtian. The separation method of cyclonic-static micro-bubble column flotation and practical application: Part 5: Column separation equipment serialization and large cyclonic-static micro-bubble-flotation bed [J]. Coal Preparation Technology, 2000 (5): 1-4.