

## 新型射流浮选柱充气性能试验研究

程雄伟, 王怀法

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

**摘要:** 自行设计了新型射流浮选柱及试验系统。为了测试其充气性能, 采用压差法测定不同循环量、进气量、仲辛醇用量、入料量条件下气含率变化规律。试验结果表明: 气含率随着循环量的增大而增大, 但进气量较小时随着循环量的增大气含率先增大后减小。进气量增大时气含率先增大后减小, 且在进气量为  $1.1 \text{ m}^3/\text{h}$  时气含率最大。气含率随着仲辛醇量的增大而增大。入料量增大时气含率先增大后减小, 且入料量为  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  时气含率最大。

**关键词:** 射流浮选柱; 气含率; 压差法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.04.007

中图分类号: TD456 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 04-0038-05

浮选柱作为一种高效的煤泥, 处理设备, 具有能耗低、结构简单、处理量大等特点<sup>[1]</sup>, 因而得到了广泛的应用。目前常见的浮选柱有弗尼吉亚大学研制的微泡浮选柱、20世纪80年代在德国首先提出的射流式浮选柱以及充填式浮选柱等, 虽然结构各异, 但其原理相同, 都是气泡和矿物颗粒在紊流环境中由于速度差实现碰撞, 形成颗粒-气泡聚合物, 有用矿物被气泡捕收, 上浮进入泡沫层, 尾矿下沉, 从而实现分选, 所以大量分散均匀的气泡可以提高浮选效率。气含率是浮选柱内部气泡数量和大小的表征, 它决定了气泡所能承载的上浮矿物的数量和质量, 对浮选柱的处理能力和分选效果有着重要影响<sup>[2]</sup>。影响浮选柱气含率的操作因素有循环量、仲辛醇用量、进气量、入料量等。本文针对自行设计的新型射流浮选柱, 采用压差法对其在不同操作参数下的气含率进行了测定。

## 1 试验设备

设计新型射流浮选柱及试验系统具有以下特点: ①设置循环路, 经过循环泵的矿浆由循环矿

浆和入料矿浆两部分组成。可以通过对循环量和入料量的调节而改变循环倍率。②浮选柱空化气泡发生装置采用带腔室的改进型射流气泡发生器, 该气泡发生器充气性能优良<sup>[3]</sup>。③给料由浮选柱顶部的下导管直接给入到浮选柱下部, 在下导管内和浮选柱底部形成紊流环境, 柱体上部泡沫层厚度较厚且稳定。新型射流浮选柱的工作原理为: 原矿矿浆在搅拌桶内与药剂混合均匀, 在给料泵的作用下进入循环系统, 与循环矿浆混合, 在经过射流气泡发生器时, 空气由于矿浆高速流动产生的负压, 被吸入射流气泡发生器中, 在通过射流气泡发生器后产生大量空化气泡<sup>[4]</sup>, 中矿和原矿矿浆与空化气泡混合, 由下导管进入浮选柱, 可浮性好的精矿上浮, 向下运动的中矿和尾矿以及没有与气泡碰撞形成矿化气泡的目的矿物颗粒在循环泵作用下进入循环路, 反复循环, 实现中矿再选, 提高浮选效率。

## 2 试验原理

试验在清水条件下进行, 用仲辛醇作为起泡剂, 采用压差法测定气含率<sup>[5]</sup>, 忽略气体压强以

收稿日期: 2018-03-21; 改回日期: 2018-04-01

作者简介: 程雄伟 (1992-), 男, 硕士, 主要研究方向为细粒煤分选。

及沿程损失，仅考虑液相静压，示意图见图1。

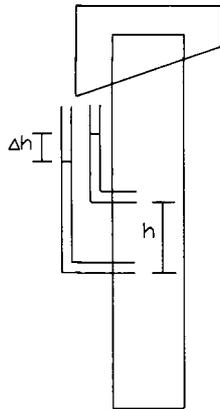


图1 试验原理示意图

Fig. 1 The experiment principle diagram

如图1所示，两测试点A和B之间的高度差为 $h$ ，则两点之间的压强差为 $\Delta P = \rho gh(1-\varepsilon)$  (1)  
式中： $\Delta P$ —A和B之间的压强； $\rho$ —液体密度； $g$ —重力加速度； $\varepsilon$ —气含率。

浮选柱外部两U型管内液体高度差为 $\Delta h$ ，则压强差为 $\Delta P = \rho g(h - \Delta h)$  (2)

联立两式得气含率为： $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$  (3)

所以，读取玻璃管上液体的高度差 $h$ 就可以得出气含率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 循环量对气含率的影响

循环泵是浮选柱的动力来源<sup>[6]</sup>，为浮选柱分选和中煤循环提供动力支持，高速流动的矿浆由于射流而形成负压，使空气吸入气泡发生器，产生空化气泡，并在管道中形成高强度紊流的环境，有利于煤颗粒与气泡矿化，它决定了单位时间内进入气泡发生器的空气量<sup>[7]</sup>，所以，循环量的大小对气含率有着明显的影响。在测量循环量对气含率的影响时仲辛醇用量分别取5和10 mg/L，进气量控制为0.5、0.7、0.9、1.1和1.3 m<sup>3</sup>/h，控制入流量为0.7 m<sup>3</sup>/h，通过调节循环泵的转速控制循环量为0.207、0.364、0.546、0.714和0.809 m<sup>3</sup>/h，测量不同循环量对应的气含率，见图2。

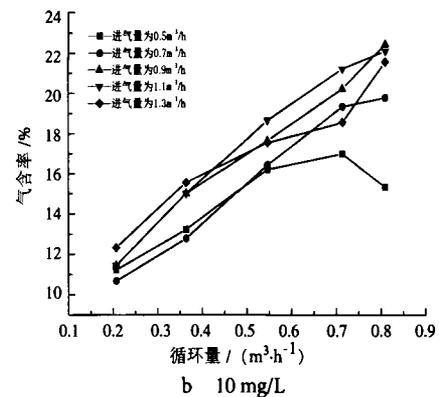
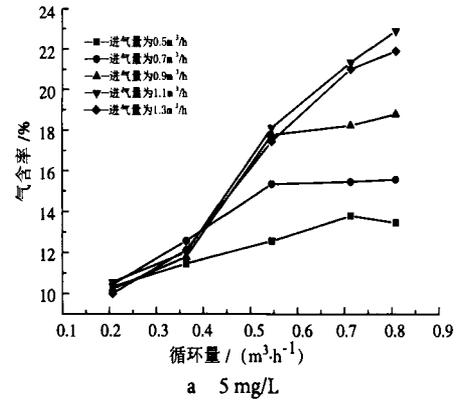


图2 仲辛醇用量对循环量对气含率的影响

Fig. 2 The effect of circulation volume on gas holdup in octanol dosage

由图2(a, b)发现，当循环量增大时，气含率整体随着循环量的增大而增大。进气量为0.5 m<sup>3</sup>/h时，气含率先随着循环量的增大而增大，但当循环量超过0.714 m<sup>3</sup>/h后由于进气量被限制在固定值，循环量增大时单位液体体积内的气体含量减少<sup>[8]</sup>，所以气含率会出现一定程度减小；同理，进气量被限制在0.7 m<sup>3</sup>/h时，当循环量增大时，气含率先随之增大，在循环量超过0.714 m<sup>3</sup>/h后，气含率增幅会减小，其变化趋于平稳；而在进气量为0.9、1.1和1.3 m<sup>3</sup>/h时，由于受进气量限制较小，循环量越大，管道内高速流动的矿浆产生的负压越大，吸入的空气量也越大，且高速流动的矿浆对空气的剪切作用加强，产生的气泡数量多体积小，因此气含率随着循环量的增大而增大，其最大值为23%左右。

#### 3.2 进气量对气含率的影响

进气量取决于矿浆循环时所产生的负压和气泡发生器的结构，空气由于射流负压的作用被吸入气泡发生器，在经过文丘里管后产生空化气泡，所以调节进气量可以改变浮选柱气含率<sup>[9]</sup>，测量进气量对气含率的影响时仲辛醇用量分别取5和10 mg/L，控制入流量为0.7m<sup>3</sup>/h，通过调节循环泵的转速控制循环量为0.207、0.364、0.546、0.714和0.809 m<sup>3</sup>/h，测量不同进气量对应的气含率见图3。

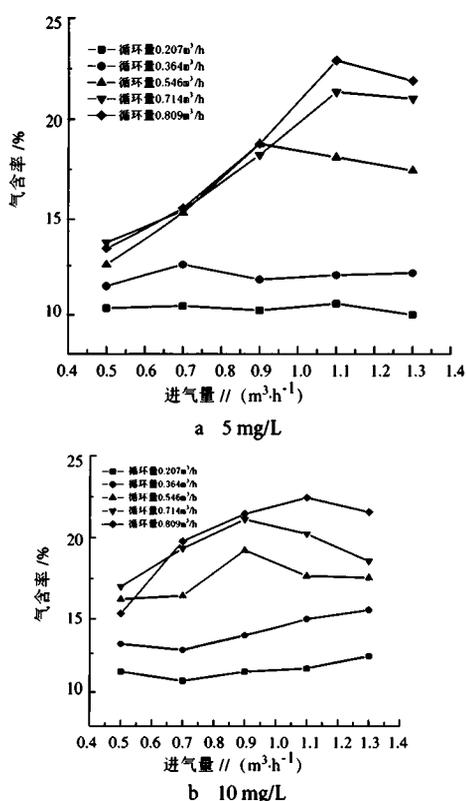


图3 仲辛醇用量对进气量对气含率的影响

Fig. 3 The effect of air intake on gas holdup in octanol dosage

由图3 (a, b) 可以看出在循环量为0.207和0.364 m<sup>3</sup>/h时，气含率稳定在10%~15%的范围内，其变化较小，因为此时射流流速较慢，吸入的空气量有限，所以气含率也在一个稳定的范围内；循环量为0.546、0.714和0.809 m<sup>3</sup>/h时气含率随着进气量的增大先增加后减小，并在进气量为1.1 m<sup>3</sup>/h处取得最大值，大约为24%左右，在进气量大于1.1 m<sup>3</sup>/h后，由于进气量增大，空化现象减弱，大气泡增多，气泡上升速度较大，气含率会出现小幅度下降。

3.3 仲辛醇对气含率的影响

在浮选中，气泡直径越小，分布越均匀，气泡与煤颗粒碰撞粘附形成矿化气泡的概率就越大，浮选效果就越好。在测量仲辛醇用量对气含率的影响时控制入流量为0.7 m<sup>3</sup>/h，通过调节循环泵的转速控制循环量为0.207、0.364、0.546、0.714和0.809 m<sup>3</sup>/h，进气量分别取0.5和0.7 m<sup>3</sup>/h，测量不同仲辛醇用量对气含率的影响，见图4。

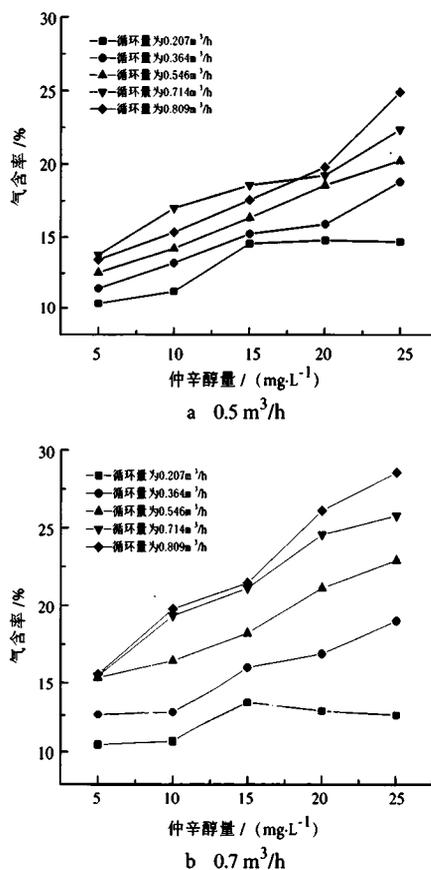


图4 进气量对仲辛醇用量对气含率的影响

Fig. 4 The effect of octanol dosage on gas holdup in 0.7 m<sup>3</sup>/h air intake

由图4 (a, b) 可知，气含率整体随着仲辛醇用量的增大而增大，但在循环量为0.207 m<sup>3</sup>/h时，气含率先随着仲辛醇用量的增大而增大，随后趋于平稳，这是由于循环量较小，矿浆流动时产生的负压也较小，吸入的空气量有限，所以气含率不会随仲辛醇用量的增大持续增大。而当循环量为0.364~0.809 m<sup>3</sup>/h时，起泡剂可以在气液两相表面定向排列，降低气-液两相表面张力<sup>[10]</sup>，促进紊流管流中的空气形成气泡，并且加强气泡的稳定性，防止气泡兼并，使气泡具有良好的分散

性和均匀性，不会因为兼并而形成大气泡，所以气含率随着仲辛醇用量的增大而增大。在进气量为  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ ，仲辛醇用量为  $25 \text{ mg/L}$  时气含率取得最大值，大约为 29%。

### 3.4 入料量对气含率的影响

在研究入料量对气含率的影响时，将仲辛醇用量固定在  $15 \text{ mg/L}$ ，进气量分别取  $0.5$ 、 $0.7$ 、 $0.9$ 、 $1.1$  和  $1.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ，测量在循环量为  $0.546 \text{ m}^3/\text{h}$  和  $0.714 \text{ m}^3/\text{h}$  时不同入料量对气含率的影响，见图 5。

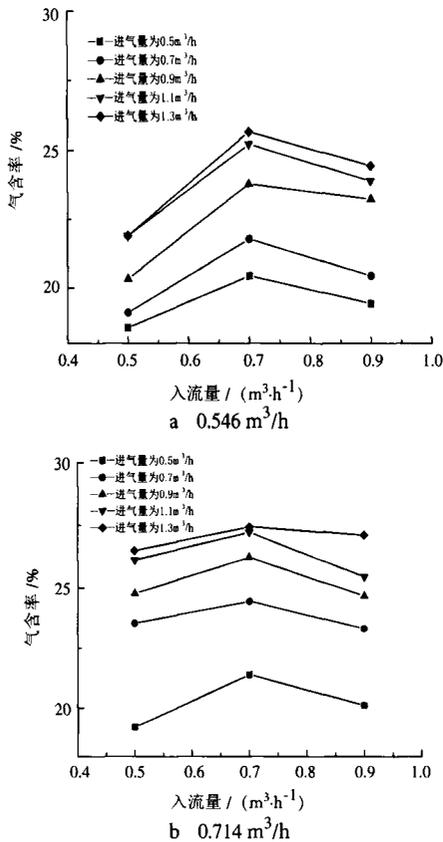


图 11 不同循环量时入料量对气含率的影响

Fig.11 The effect of feeding flow rate on gas holdup in different circulation volume

由图 5 (a, b) 可以看出随着入料量的增加气含率先增大后减小。当入料量由  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  增加到  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  时通过气泡发生器的射流流速增大，由于负压而吸入的空气量也增多，同时也增强了流体对空气的剪切作用，产生数量更多体积更小的气泡，所以气含率变大。而当给料量由  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  增加到  $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$  后，在循环量一定的情况下，当给料量增大时浮选柱内单位时间进入的液体量增多，而底部的循环量一定，所

以液体表观流速加大，气液两相速度比变小，气泡在浮选柱内停留的时间较短，所以气含率减小。

## 4 总 结

(1) 气含率随循环量和仲辛醇用量的增大而增大，对比发现循环量对气含率的影响大于仲辛醇用量的影响，所以在需要提高气含率时，应该优先考虑提高循环量。

(2) 进气量是浮选柱气泡的来源，所以进气量增大时气含率增大，但进气量过大时由于大气泡增多气含率反而减小。

(3) 入料量增大时气含率先增大后减小，在  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  时取得最大值。

(4) 当循环量为  $0.809 \text{ m}^3/\text{h}$ ，进气量为  $1.1 \text{ m}^3/\text{h}$ ，仲辛醇用量为  $25 \text{ mg/L}$ ，入料量为  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  时气含率最大，大约为 29%。

## 参考文献：

[1] 杨琳琳,程坤,文书明.浮选柱的研究进展概述[J].矿山机械,2007(10):87-90+5.

[2] 廖寅飞,刘炯天,李树磊.煤泥柱浮选的承载能力与气含率轴向分布[J].煤炭学报,2013,38(8):1443-1447.

[3] 刘建朝.射流浮选柱的数值模拟与试验研究[D].太原理工大学,2010.

[4] 徐志强,皇甫京华,曾鸣,等.射流浮选柱气泡发生器及其充气性能的研究[J].中国矿业大学学报,2003(6):19-23.

[5] 田野,杨润全,王怀法.不同结构空化气泡发生器的试验研究[J].煤炭技术,2014,33(6):216-218.

[6] 胡卫新,刘炯天,李振,等.旋流-静态微泡浮选柱气含率影响因素研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(4):617-621.

[7] 岳双凌,刘炯天,廖寅飞.工业浮选柱的气含率测定及其影响因素研究[J].矿山机械,2012,40(2):80-84.

[8] 王红新,夏文成,杨建国,等.充气量和循环量对浮选柱气含率的影响研究[J].煤炭工程,2011(2):85-87.

[9] 张敏,刘炯天,张建强.浮选柱气含率及其影响因素对煤泥分选的研究[J].煤炭学报,2009,34(6):823-826.

[10] 杨磊,孙玉龙.浮选起泡剂的研究现状和发展趋势[J].科技视界,2016(2):137.

(下转 15 页)

- [21] 石晓波, 李春根, 汪德先. 铁酸锌纳米微粒的制备及其催化性能 [J]. 化学世界, 2002, 43(9): 451-453.
- [22] 张嘉, 张立新. 中空铁酸锌纳米材料的制备及其光催化性能 [J]. 现代化工, 2015, 35(2): 10-16.
- [23] 阎鑫, 胡小玲, 岳红, 等. 纳米铁酸锌的水热合成 [J]. 化学通报, 2002, 65(9): 623-626.
- [24] Zhang G Y, Sun Y Q, Gao D Z, et al. Quasi-cube ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals: hydrothermal synthesis and photocatalytic activity with TiO<sub>2</sub> (Degussa P25) as nanocomposite[J]. Materials Research Bulletin, 2010, 45(7): 755-760.
- [25] 徐明, 杨金林, 马少健, 等. 焙烧法制备铁酸锌试验研究 [J]. 矿冶工程, 2016, 36(3): 74-77.
- [26] 徐国财, 戴明虎, 姚宝慧, 等. 纳米铁酸锌的制备与应用 [J]. 材料工程, 2009 (S2): 29-31.
- [27] 何涛. 铁酸锌纳米晶的制备及其防辐射性能的分析 [J]. 科技通报, 2017, 33(7): 9-12.
- [28] 田庆华, 黄凯, 郭学益. 纳米铁酸锌粉末制备的研究进展 [J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2005 (4): 200-204.
- [29] Yu H F, Gadalla A M. Preparation of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> powder by spray pyrolysis of nitrate aerosols in NH<sub>3</sub> [J]. Journal of materials research, 1996, 11(3): 663-670.

## Application Status and Preparation Process of Zinc Ferrite

Zheng Tianxin, Liang Jinglong, Li Hui, Yang Yu, Wang Bin

(College of Metallurgy and Energy, North China University of Technology, Tangshan, Hebei, China)

**Abstract:** The application status of zinc ferrite in recent years was reviewed, including treatment of industrial waste water, desulphurization materials, high-performance wave absorbing materials, anti-corrosion coatings, and flame retardants. The mechanochemical synthesis process, sol-gel process, hydrothermal synthesis process, roasting process, coprecipitation process, and metal organic salt thermal decomposition process of zinc ferrite were introduced. The principle and conditions of various processes were summarized. Advantages and disadvantages and development status. And pointed out the direction of future development.

**Keywords:** Zinc ferrite; Photocatalysis; Desulfurization; Absorptivity; Preparation process

////////////////////////////////////  
(上接 41 页)

## Experimental Study on the Aeration Performance of a New Type of Jet Flotation Column

Cheng Xiongwei, Wang Huaifa

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

**Abstract:** A new type of jet flotation column and experimental system were designed. The change in trend of gas holdup was measured by pressure difference under the conditions of different circulation, air intake, dosage of secondary octanol and feeding flow rate. The study has demonstrated that gas holdup gradually increases with the increasing of circulation, while it firstly increases and then decreases with the circulation increasing when the volume of air intake is low. The gas holdup firstly increases and then decreases with the air intake increasing, and the maximum is reached when the volume of air intake is 1.1 m<sup>3</sup>/h. The gas holdup increases with the increasing of the dosage of secondary octanol. In addition, the gas holdup varies from increasing to decreasing with feeding amount increasing, and the maximum is acquired when feeding amount is 0.7 m<sup>3</sup>/h.

**Keywords:** Gas holdup; Jet flotation column; Pressure difference