文章编号：1000-1964(2005)06-0766-04

筛板充填浮选柱的气泡行为及其影响因素

张 敏，刘炯天
（中国矿业大学 化工学院，江苏 徐州 221008）

摘要：设计并建立了一套筛板充填旋流微泡浮选柱试验研究系统，利用高速动态分析仪研究了清水-空气条件下筛板充填浮选柱内气泡的运动行为及充填筛板附近流体的流态，探讨了气体表观速度、开孔率、起泡剂用量及筛板充填层数对气泡直径大小的影响. 结果表明：在筛板充填个数为 6 个，φ(起泡剂)为 6.5×10^{-3}，相同开孔率和表观气速时，气泡直径最大，而且气泡直径随表观气速的增加而增加. 研究结果为充填浮选柱的设计提供了依据.

关键词：筛板；充填；浮选柱；气泡
中图分类号：TQ 021；TD 922 **文献标识码**：A

Bubble Behaviors and Influencing Factors of the Sieved-Flotation Column

ZHANG Min, LIU Jiong-tian
(School of Chemical Engineering and Technology,
China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: An experimental research system of cyclone microbubble sieved-flotation column was designed and established. The bubble behaviors and flow pattern of flow near the packed sieve plate under water-gas condition was studied with the help of advanced high speed dynamic analysis equipment. The effects of gas superficial velocity, percentage of open area, foaming agent dosage and the number of packed sieve plate layer on bubble size were discussed. The results show that the diameter of air bubble is the biggest with 6 packed sieve plates, 6.5×10^{-3} foaming agent, same percentage of open area and same superficial gas velocity; the diameter of air bubble increases with the increase of superficial gas velocity. The research results can provide guidance for the design of the packed flotation column.

Key words: screen plates; packing; column flotation; air bubble

充填浮选柱(paked flotation column)在上世纪 80 年代由美国 D. C. Yang 教授首创[1]，结合传统浮选柱与化工精馏过程研制成功. 它主要由下部的捕集区和上部的精选区(泡沫区)构成. 入料从柱体中部给入，底部通入压缩空气，精矿从顶部溢流，尾矿从底部排出，顶部设喷水装置. 充填介质提供细小曲折的孔道，使矿粒和气泡紧密接触，强化分选作用.

充填浮选柱是化工填料与浮选柱的结合设备，有其特殊的分选优势，例如规划柱内矿浆流动、提供气液两相接触传质表面、改善沟流和壁流现象、实现小压降等，但是从一些工业应用的实际操作效果来看，填料充填浮选柱存在以下问题：

1) 由于充填介质充满整个柱体，减少了柱体的有效容积，影响浮选柱的处理能力；

2) 填料介质床层的通道小，且通道曲折，在处

收稿日期：2005-04-20
基金项目：国家杰出青年科学基金项目(50425168)
作者简介：张 敏(1978-)，女，河南省永城市人，博士研究生，从事筛板充填浮选柱方面的研究.
E-mail：cumtmin@sohu.com Tel：13813479397

理有固体悬浮颗粒的物料时存在堵塞的潜在危险；

3）更换和维修的难度加大，耗费更多，增加了成本.

其中堵塞问题是填料充填浮选柱工业应用的最大障碍，目前没有得到有效的解决. 这就提出了一个新的问题：怎样既能利用填料的结构特性，又可以避免堵塞带来的麻烦？由此我们想到了化工筛板塔的内部结构. 筛板是化工塔设备的内部充填结构，它为气液两相接触提供传质的表面，同时也规划液体流动，支撑泡沫层厚度. 结构设计与安装合理的情况下，垂直的大筛孔不会出现堵塞[2]. 目前筛板充填浮选柱已经在萤石矿、铁矿石的矿物分选中初步取得成效.

1　实验及测试系统

气泡是浮选柱流体的标识粒子，其大小和运动方式对浮选有决定性的影响. 本实验研究筛板充填浮选柱流体特性及气泡影响因素，为筛板充填浮选柱的进一步应用提供理论基础. 实验以空气-水作介质，采用高速动态分析仪，以 500 幅/s 的拍摄速度，拍摄流体流动状态及气泡运动特征. 拍摄画面以数字文件的格式记录在磁盘中，用专门的软件(Nac Movias for Windows)对信号进行分析，可输出拍摄对象的运动轨迹，得到任意瞬间拍摄对象的位移、速度等，并以数据图表形式输出进行分析研究.

实验研究系统的主体设备是旋流静态微泡浮选柱[3-8]，实验流程如图 1 所示，打开进料口及进料计量泵按一定流量向浮选柱注入清水；打开循环泵、进气阀及气体流量计向柱内充入空气. 气液两相流体在浮选柱内逆流运行，气体以气泡形式运动到柱顶部，液体在旋流作用下一部分进行循环，另一部分以尾矿从柱底部排出.

由浮选柱旋流分离段底部排出的循环水进入加压循环泵后，经喷嘴转换成高速射流，并引射入大量气体，然后由气泡发生器形成高度分散的微细气泡. 循环水量与引射的气体量由玻璃转子流量计控制，循环水压力由压力表测量. 距柱底部 100mm 处设有圆锥旋流器，其上 60 mm 安装第一块筛板，其次向上每隔 600 mm 处安装筛板，共 6 块筛板，筛板材质与柱体相同. 主要设备参数见表 1.

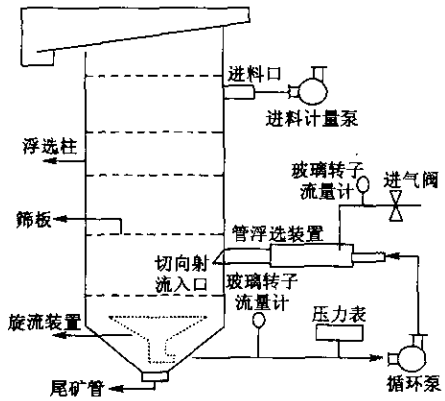


图 1　筛板充填浮选柱系统构

Fig. 1　Schematic diawing of sieved flotation column

表 1　实验系统主要设备参数

Table 1　The parameters of the apparatus in experimental system

设 备	参数/型号
浮选柱	高 H：4 m；直径 D：200 mm；壁厚 δ：5 mm
玻璃转子流量计	液体流量计：LZB-50 气体流量计：LZB-15
筛板(有机玻璃)	板厚：3 mm 开孔率：40%，50%，60%

实验测试系统主要测量参数是循环压力、表观气速、柱内流体及气泡特性等. 在不同操作参数下，柱内流动调整到最佳状态时，进行拍摄. 实验测试系统见图 2.

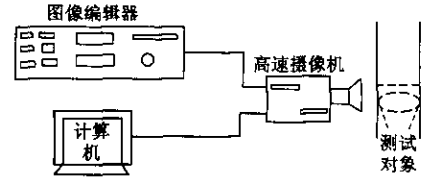


图 2　实验测试系统

Fig. 2　Test apparatus and system

2　实验结果与分析

2.1　气泡运动行为分析

高速动态拍摄以旋流区流体为研究对象，其中分散相是气相，连续相是液相. 在同样射流条件下，拍摄不同表观气速、不同循环压力下系列组流态图像，如图 3，操作参数见表 2.



图 3　筛板充填浮选柱典型流态图

Fig. 3　The flow form in sieved flotation column

表 2 旋流区高速动态拍摄操作参数
Table 2 Operating parameter

分组	表观气速/(m·min^{-1})	循环压力/MPa
A	0.53	0.1
B	0.53	0.05
C	0.26	0.05
D	0.26	0.1

图 3 中亮度越大的区域，说明微泡的密集度越大，也即气含率越大. 从图 3 中观察到，气泡群在射流与旋流作用下，绕柱中心轴线螺旋上升式运动. 比较表 1 中 A 和 B，说明循环压力在 0.05 MPa 为好；比较 A，C，D，说明表观气速在 0.26 m/min 较好. 也即是图 3d 的气泡群运动状态比较好，有利于浮选环境. 图 4 为二维平面上气泡群沿柱高的的运动轨迹.（以气体的射流入口为坐标原点，沿柱高的垂直方向为坐标 y 轴，横断面圆轴线为 x 轴，建立平面坐标系.）

从图 4 可见，气泡群沿柱高上升中逐渐集中在柱中心区，即螺旋范围减小.

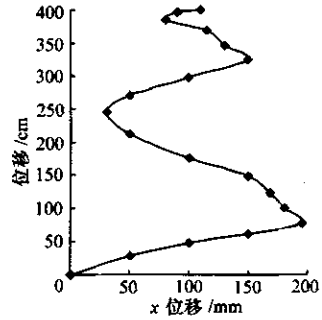


图 4 二维平面筛板充填浮选柱内气泡群的运动轨迹
Fig. 4 Bubble slot of two-diameter in sieved flotation column

2.2 气泡影响因素分析

实验过程共研究 5 个参数：气泡直径 d_b，充填筛板数目 N，气体表观气速 v_{sg}，，筛板开孔率 ϕ（同一孔径）和起泡剂用量 φ（起泡剂）. 研究气泡直径 d_b 的影响因素以及对矿物分选的作用.

1）$N=6$，φ（起泡剂）$=0$ 时，不同开孔率下，d_b 与 v_{sg} 的关系，见图 5a.

2）$N=6$，$v_{sg}=0.5$ m/min，$\phi=50\%$ 时，不同表观气速下，d_b 与 $V_{起泡剂}$ 的关系，见图 5b.

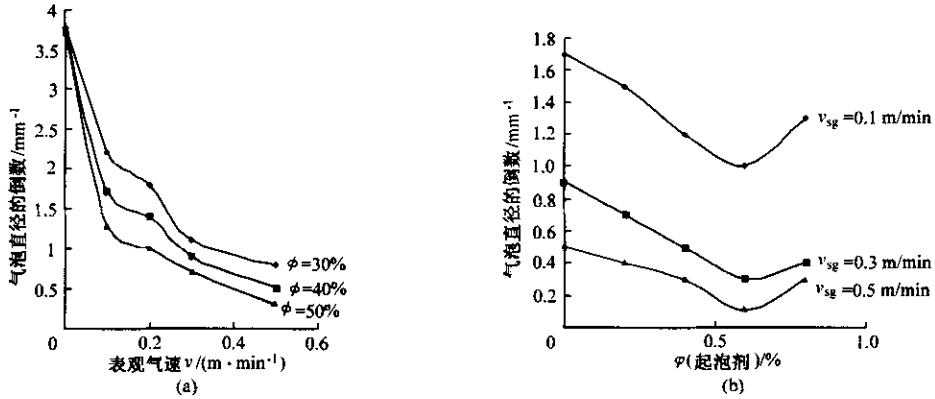


图 5 气泡直径与表面气速及起泡剂用量的关系
Fig. 5 The relation between d_b and v_{sg}, as well as d_b and $v_{frother}$

3）$v_{sg}=0.5$ m/min，$\phi=50\%$ 时，不同起泡剂量下，筛板充填层数 N 对气泡的影响，见图 6.

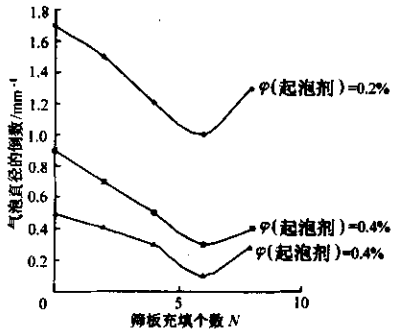


图 6 气泡直径与筛板充填个数的关系
Fig. 6 The relation between d_b and N

从图 5a 知道，在同样的筛板开孔率下，气泡直径随表观气速的增加而增加，但变化曲率减小；同样的表观气速下，气泡直径与开孔率成正比；由图 5b 可知，同一表观气速下，气泡直径随起泡剂用量的增加先增加后减小，即起泡剂量有最佳值；由图 6 可知，气泡直径与充填筛板个数成反比，但当筛板个数达到一定值后，气泡直径基本维持不变.

3 结 论

1）筛板筛孔的“过筛”，不仅解决填料堵塞的缺点，而且使得夹杂吸附不牢的脉石矿物容易脱落，这无疑改善了精矿质量；

2）气泡在柱内是螺旋上升的，且沿柱高逐渐

集中在柱中心轴线.不同高度筛孔多次改变气泡上升路线的倾斜角度,延长气泡上升路程,使矿物颗粒矿化程度更好,二次富集机会也多,因此回收率也得到保证,优化浮选效果.而且筛板筛孔一定程度上减少气泡的兼并机会,使气泡直径更趋于均匀、细小;

3) 气泡直径受筛板充填个数、表观气速、开孔率、起泡剂用量等因素的影响,研究结果表明:在筛板充填个数为 6 个,φ(起泡剂)为 0.65%,相同开孔率和表观气速时,气泡直径最大,而且气泡直径随表观气速的增加而增加;

4) 合理的筛板结构能够代替填料在浮选柱中对矿物分选的充填作用.

参考文献:

[1] 杨锦隆.新型充填式浮选柱[J].国外金属矿选矿,1991(2):8-12.
Yang J L. New packed floatation column[J]. Metal Beneficiation Aboard, 1991(2): 8-12.

[2] Iudwig E E. Applied process design for chemical and petrochem zeal plants[M]. Houston: Gulf Publishing Company, 1964.

[3] 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 J T. The separation method of cyclone-static microbubble column flotation and practical application Part 1: Column separation technology and cyclone-static microbubble column flotation separation[J]. Coal Preparation Technology, 2000(1):42-44.

[4] 刘炯天.旋流-静态微泡柱分选方法及应用(之二)——柱分离过程的静态化及其充填方式[J].选煤技术,2000(2):1-5.
Liu J T. The separation method of cyclone-static microbubble column flotation and practical application Part 2: Staticizing and packing patterns of separation process of the fFloatation column [J]. Coal Preparation Technology, 2000(2):1-5.

[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 J T. The separation method of cyclone-static microbubble column flotation and practical application Part 4: The mechanism of separation effected in cyclonic force field and enhanced recovering process [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 J T. The separation method of cyclone-static microbubble column flotation and practical application Part 5: Seriation of column seperation equipment and large cyclone-static microbubble flotation bed [J]. Coal Preparation Technology ,2000(5):1-4.

[7] 张荣曾,刘炯天,徐志强,等.连续粒度分布的充填效率[J].中国矿业大学学报,2002,31(6):552-556.
Zhang R Z, Liu J T, Xu Z Q, et al. Packing efficiency of continuously distributed particles [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002,31(6):552-556.

[8] 徐志强,黄甫京华,曾　鸣,等.射流浮选柱气泡发生器及其充气的研究[J].中国矿业大学学报,2003,32(6):615-619.
Xu Z Q, Huang F J H, Zeng M, et al. Research on bubble cenerator of jet flotation column and its aerating performance[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003,32(6):615-619.

(责任编辑　陈其泰)