

旋流-静态微泡浮选柱浮选某难选钼矿的试验研究

刘炯天^{1,2}, 李小兵¹, 王永田¹, 曹亦俊¹, 吕发奎¹

- (1. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州, 221008;
2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳, 110004)

摘要: 针对某地高氧化率、微细粒不均匀嵌布、易泥化的难选钼矿石, 提出粗细粒级分级分选新工艺, 即原矿经破磨后将其中粒度小于 0.020 mm 的微细粒级部分利用水力旋流器分离出来, 采用高效、节能的微细粒分选设备旋流-静态微泡浮选柱进行分选, 解决了该钼矿中微细粒级钼金属回收问题。以煤油为捕收剂, 松醇油为起泡剂, 水玻璃为分散剂和脉石矿物抑制剂, 考察给料量、循环泵工作压力、药剂用量等因素对浮选指标的影响。分别采用一粗二精一扫和一粗二精 2 种工艺流程对平均钼含量为 0.181% 的原矿进行连选试验。研究表明: 采用粗细粒级分级分选、细粒浮选柱回收的工艺流程可获得精矿品位为 24.64%, 回收率为 54.33% 的钼精矿, 并简化了工艺流程。

关键词: 旋流-静态微泡浮选柱; 浮选; 钼矿; 氧化率; 泥化

中图分类号: TD923

文献标识码: A

文章编号: 1672-7207(2008)02-0300-07

Experimental study on separating some molybdenum ore by using cyclonic-static micro-bubble flotation column

LIU Jiong-tian^{1,2}, LI Xiao-bing¹, WANG Yong-tian¹, CAO Yi-jun¹, LÜ Fa-kui¹

- (1. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;
2. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: For some granule molybdenum ore with high oxidation ration, unhomogeneous dissemination and ease to slime which is difficult to separate, a new technological flowsheet was developed to solve the recovery of the granule molybdenum ore. The granule molybdenum ore under 0.020 mm was separated by using hydrocyclone, then processed with high efficiency and energy consumption-saving mineral processing equipment, cyclonic-static micro-bubble flotation column. In the experiment, the kerosene was used as collector, pine oil as frother, sodium silicate as dispersant and gangue minerals inhibitor. The effect of several parameters on floatation efficiency, namely, the feed capacity, pressure of circulating pump and the dosage of sodium silicate, pine oil, kerosene were systemically investigated. The flowsheets, i.e., the closed-circuit of one stage roughing one stage scavenging and two stage cleanings, and the closed-circuit of one stage roughing and two stage cleanings, were adopted to process raw ore containing Mo of 0.181%. The results show that the molybdenum concentrates containing Mo of 24.64% and recovery rate of 54.33% are obtained. Simultaneously, the technological flowsheet for the recovery of the granule molybdenum ore is shortened obviously.

Key words: cyclonic-static micro-bubble flotation column; floatation; molybdenum ore; oxidation ratio; sliming

收稿日期: 2007-05-23; 修回日期: 2007-07-02

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(50425414); 教育部博士生访学项目资助(2006年)

通信作者: 刘炯天(1963-), 男, 河南南阳人, 教授, 博士生导师, 从事微细粒分选和洁净煤技术研究; 电话: 0516-83590093; E-mail: scetljt@126.com

钼是一种重要的战略金属, 在地壳中其丰度约为 1×10^{-6} 。我国的钼矿资源具有品位低、规模大、多金属伴生等特点。钼矿选别多采用磨矿、粗选、粗精矿再磨、8~10 次精选的传统工艺, 流程长, 能耗高^[1]。代淑娟等^[2]采用磨矿、一粗二扫一精、再磨后 6 次精选工艺流程处理某地细粒不均匀嵌布的难选辉钼矿; 孟宪瑜等^[3]针对某地以粗细不均匀嵌布并与脉石密切伴生的钼矿物, 采用一段磨矿, 铜钼混合粗精经二次精选、再磨后分离, 分离后钼精矿又经 4 次精选的方法。随着我国经济建设不断发展和国外市场的融通, 国家对钼金属的需求量越来越大, 因此, 采用先进的分选方法与设备, 缩短工艺流程, 降低能耗, 从而对有限的钼矿资源进行高效开发利用势在必行。某地钼矿系高中温热液形成的细粒浸染型钨钼矿, 该矿选矿厂有 I 和 II 2 个处理系统, 处理能力分别为 500 t/d 和 600 t/d, 分别采用一粗三扫十精二精扫与一粗四扫十精二精扫的工艺流程。因矿石氧化程度高以及矿石中大量原生及次生矿泥的存在影响了浮选指标, 导致采用现有工艺难以获得较好浮选指标, 钼金属回收率仅为 40%~45%, 钼精矿品位仅为 15%~20%。为提高选别指标, 本文作者提出粗细粒级分级分选的新思路。将原矿中粒径小于 0.020 mm 的微细粒级钼矿石分离出来, 利用适合于微细粒分选的设备即旋流-静态微泡浮选柱进行分选, 粒径大于 0.020 mm 的矿粒进入浮选机系统, 解决了该钼矿中微细粒级钼金属回收问题。

1 矿石性质

该钼矿物主要为氧化程度较高的钨钼矿, 矿石中含钙、镁矿物较多, 主要为滑石、蛇纹石、绿泥石及碳酸盐等钙镁矿物, 易泥化, 含大量原生及次生矿泥。原矿石钼物相分析结果表明, 该矿石钼氧化率达 21%, 甚至更高。钨钼矿以微细粒不均匀嵌布为主。因此, 该钼矿为国内外极难选的高氧化率、易泥化、微细粒不均匀嵌布的矿石。原矿石主要化学成分分析结果见表 1。

表 1 原矿石主要化学成分

Table 1 Chemical composition of original mine

							w/%
Mo	WO ₃	Si	Cu	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	
0.23	0.083	0.47	0.018	7.96	12.35	5.77	

2 试验

2.1 试验矿样

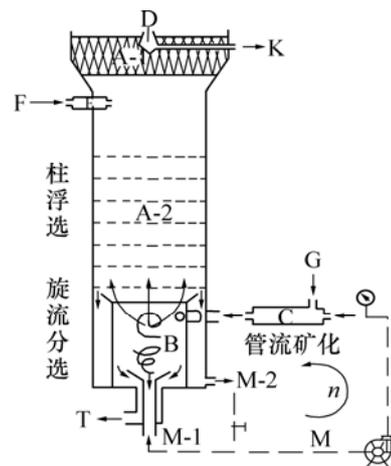
试验矿样取自选矿厂 I 系统。原矿石经碎磨、分级, 再经水力旋流器粗细分级, 将细粒级溢流分流一部分出来, 作为试验系统给矿。I 系统水力旋流器溢流, 粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 90%, 粒径小于 0.020 mm 的矿粒含量为 77%, 粒径小于 0.005 mm 的矿粒含量为 21%。

2.2 试验药剂

浮选试验中, 采用煤油为捕收剂, 松醇油为起泡剂, 水玻璃为分散剂和脉石矿物抑制剂。

2.3 试验设备

试验采用旋流-静态微泡浮选柱(图 1)^[4-5]作为分选设备。其主体结构包括柱分离段、旋流分离段、气泡发生与管流矿化 3 部分。整个浮选柱为一柱体, 柱分离段位于整个柱体上部。旋流分离段采用柱-锥相连的水介质旋流器结构, 并与柱分离段以上、下结构直通连接。从旋流分选角度看, 柱分离段相当于放大的旋流器溢流管。在柱分离段的顶部, 设置了喷淋水管和泡沫精矿收集槽。给矿点位于柱分离段中上部, 最终尾矿由旋流分离段底口排出^[6-8]。气泡发生器^[9-10]与浮选管段直接相连成一体, 单独布置在浮



A—柱分离器; B—旋流分离器; C—射流管浮选装置;

D—泡沫收集槽; F—入料; G—空气;

K—精矿; M—中矿; T—尾矿

图 1 旋流-静态微泡浮选柱原理结构图

Fig.1 Principle configuration chart of cyclonic-static micro-bubble flotation column

选柱体外。其出流沿切向方向与旋流分离段柱体相连。旋流-静态微泡浮选柱集柱浮选与旋流分选于一体,采用柱浮选、旋流分选、管流矿化结合的多重分选结构,在保持浮选柱分选选择性优势的同时,进一步提高浮选柱的适应性及分选效率,使其成为一种性能完备的细粒、微细粒高效分选设备^[11-13]。开发了包括液位控制、循环泵工作压力控制和浮选泡沫视频监控等监控系统,进一步提高了浮选柱系统运行的稳定性和可靠性^[14-15]。目前,该浮选柱已在磁铁矿阳离子反浮选、伴生萤石回收、钨粗选以及铜矿分选等工业得到应用^[16-19]。

2.4 试验流程

在实验室小型探索性试验基础上,确定采用一粗二精一扫的工艺流程对该钼矿石中粒径小于 0.020 mm 的细粒级部分进行分选(图 2)。该流程所采用的旋流-静态微泡浮选柱试验系统由调浆系统、柱分选系统和液位自动控制系统组成。采用直径为 400 mm 和 250 mm 的浮选柱各 1 台及直径为 200 mm 的浮选柱 2 台。

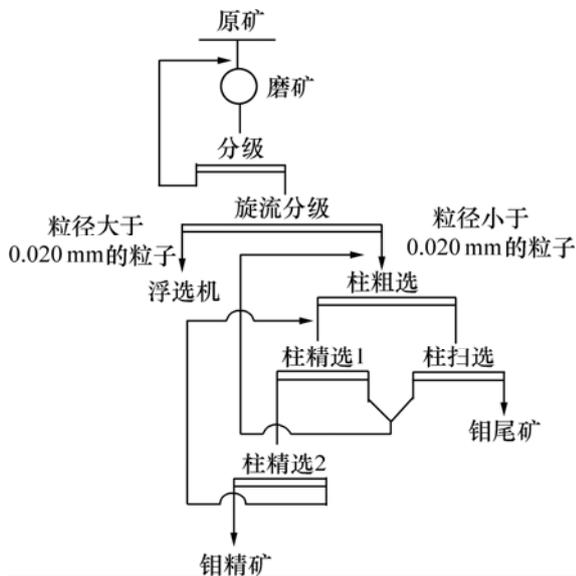


图 2 钼矿石粗细分级分选工艺流程

Fig.2 Technological flowsheet of molybdenum ore processing

3 结果与讨论

3.1 粗选条件试验

3.1.1 给料量对浮选效果的影响

粗选作业的工艺条件对该矿石的整体分选指标起

着决定性影响,给料量是影响粗选作业浮选指标的关键因素之一。试验条件如下:矿浆浓度为 16%~17%,水力旋流器溢流中粒径低于 0.045 mm 的矿粒含量为 90%,pH 值为 10~10.5,循环泵工作压力为 0.20 MPa,矿浆温度为 12 °C,充气量为 35%,泡沫层厚度为 300 mm,水玻璃用量为 20 kg/t,松醇油用量为 120 g/t,煤油用量为 200 g/t。试验中给料量对浮选效果的影响见图 3。

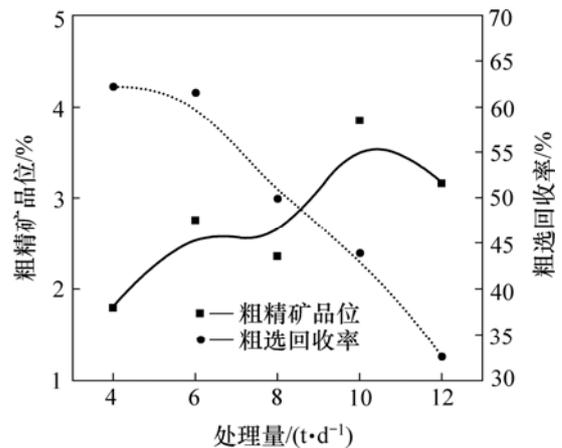


图 3 给料量对浮选效果的影响

Fig.3 Effect of feed capacity on flotation efficiency

由图 3 可看出,给料量由 4 t/d 增加到 12 t/d 时,粗精矿品位由 1.80% 提高到 3.16%,回收率由 62.15% 降低到 32.56%。当给料量较小时,分选时间较长,精矿品位不高,回收率较高;随着给料量增大,分选时间缩短,精矿品位逐渐提高,回收率呈递减趋势。

3.1.2 循环泵工作压力对浮选效果的影响

旋流-静态微泡浮选柱利用循环泵将相当于浮选柱入料量数倍的中矿从柱体底部吸入后,再经循环泵增能加压重新进入浮选柱进行分选。循环矿浆量可以通过循环泵工作压力来间接体现。试验条件如下:给料量为 6 t/d,矿浆浓度为 16%~18%,水力旋流器溢流中粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 90%,pH 值为 10~10.5,矿浆温度为 12 °C,充气量为 35%,泡沫层厚度为 300 mm,水玻璃用量为 20 kg/t,松醇油用量为 120 g/t,煤油用量为 200 g/t。试验中循环泵工作压力对浮选效果的影响见图 4。

由图 4 可知,随着循环泵工作压力的增加,粗精矿品位与回收率均呈上升趋势;当循环泵工作压力达到一定值后,从循环泵出来的矿浆进入浮选柱,使柱体内流体环境发生变化,粗精矿品位又略下降;当循

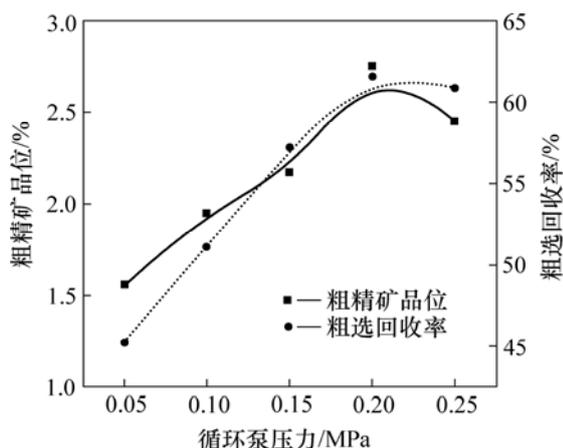


图4 循环泵工作压力对浮选效果的影响

Fig.4 Effect of pressure of circulating pump on flotation efficiency

环泵工作压力为 0.20 MPa 时, 粗精矿品位和回收率分别为 2.75%和 61.58%。

3.1.3 水玻璃用量对浮选效果的影响

磨细了的易泥化矿物恶化了浮选环境, 降低了目的矿物与脉石矿物的可浮性差异, 致使分选指标下降。水玻璃作为浮选过程中分散剂和脉石矿物抑制剂, 可以降低泡沫发粘的现象, 提高钼粗精矿品位, 尤其对于该种含大量矿泥的矿石, 采用较大水玻璃用量十分有利^[20-21]。试验条件如下: 处理量为 6 t/d, 矿浆浓度为 16%~18%, 水力旋流器溢流中粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 90%, pH 值为 10~10.5, 循环泵工作压力为 0.20 MPa, 矿浆温度为 13 °C, 充气量为 35%, 泡沫层厚度为 300 mm, 松醇油用量为 120 g/t, 煤油用量 200 g/t。试验结果如表 2 所示。

表2 水玻璃用量对浮选效果的影响

Table 2 Effect of dosage of soluble glass on flotation efficiency

序号	水玻璃用量/ (kg·t ⁻¹)	粗精矿品位/ %	粗选回收率/ %
1	15	1.96	58.05
2	20	2.35	54.17
3	25	2.84	46.58

由表 2 可以看出, 随着水玻璃用量增加, 粗选钼精矿品位有所提高, 而回收率有所下降。试验结果表明, 粗选作业水玻璃用量采用 20 kg/t 较为合适。

3.1.4 松醇油用量对浮选效果的影响

对于旋流-静态微泡浮选柱分选过程, 采用合理的松醇油用量不仅使泡沫具有良好的性能, 而且是保持浮选柱合适分选状态的必要条件。试验条件如下: 处理量为 6 t/d, 矿浆浓度为 16%~19%, 水力旋流器溢流粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 91%, pH 值为 10~10.5, 循环泵工作压力为 0.20 MPa, 矿浆温度为 13 °C, 充气量为 35%, 泡沫层厚度为 300 mm, 水玻璃用量为 20 kg/t, 煤油用量为 200 g/t。试验结果如图 5 所示。

由图 5 可看出, 随着松醇油用量的增加, 粗选回收率增加, 而粗精矿品位下降; 当松醇油用量由 60 g/t 增加到 140 g/t 时, 粗精矿品位由 3.37%下降到 1.67%, 回收率由 46.62%提高到 58.01%。综合考虑粗精矿品位与回收率, 松醇油用量采用 100 g/t 较为合适。

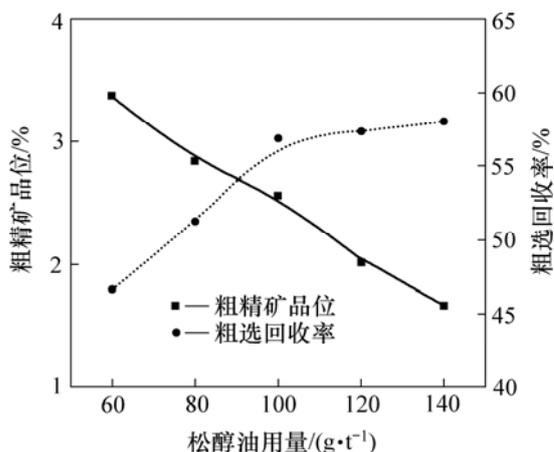


图5 松醇油用量对浮选效果的影响

Fig.5 Effect of dosage of pine oil on floatation efficiency

3.1.5 煤油用量对浮选效果的影响

在选钼生产实践中, 一般采用中性烃油类作为捕收剂。为提高选钼回收率, 近几年也出现了一些捕收能力强、选择性好的捕收剂, 如乳化煤油、磁化烃油、天然植物油和人工合成油等^[22-24]。煤油具有来源广泛、价格低廉等特点, 因此, 被广泛使用。试验采用煤油作为捕收剂。试验条件如下: 处理量为 6 t/d, 矿浆浓度为 16%~19%, 水力旋流器溢流粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 91%, pH 值为 10~10.5, 循环泵工作压力为 0.20 MPa, 矿浆温度为 13 °C, 充气量为 35%, 泡沫层厚度为 300 mm, 水玻璃用量为 20 kg/t, 松醇油用量为 100 g/t。试验结果如图 6 所示。

由图 6 可知, 随着煤油用量的增加, 粗选回收率先呈上升趋势, 而粗精矿品位呈下降趋势。因煤油具

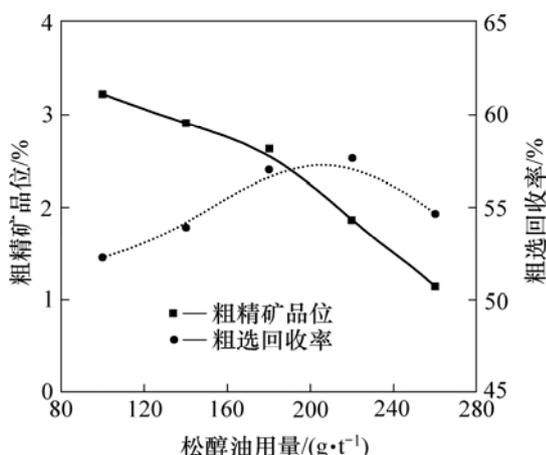


图 6 煤油用量对浮选效果的影响

Fig.6 Effect of dosage of kerosene on floatation efficiency

有消泡作用,当煤油用量继续增加时,回收率反而下降。当煤油用量由 100 g/t 增加到 220 g/t 时,粗精矿品位由 3.22% 下降到 1.86%,回收率由 52.25% 提高到 57.64%。结果表明,煤油用量在 180 g/t 较为合适。

3.2 精选条件试验

在精选作业段,添加适量水玻璃,可将绿泥石、蛇纹石、滑石等矿泥加以抑制,显著提高钼精矿品位,同时使泡沫性能得到改善。试验结果如表 3 所示。

表 3 水玻璃用量对精选作业的影响

Table 3 Effect of dosage of soluble glass on stage cleanings efficiency

试验序号	水玻璃用量/(kg·t ⁻¹)		精矿品位/%	回收率/%
	精一	精二		
1	—	—	11.87	58.29
2	2.0	—	12.77	49.21
3	—	2.5	21.79	47.06
4	1.0	0.5	22.38	54.10

由试验结果可以看出,在精选作业段不加抑制剂时,可获得较高的回收率,但精矿品位较低;在精一作业段加较大量抑制剂时,精矿品位虽略有提高,但回收率下降;在精二作业段加较大量抑制剂时,精矿品位大幅度提高,回收率也随之下降;在精一、二作业段同时添加一定量的抑制剂时,可获得较高品位与回收率的钼精矿。

3.3 一粗二精一扫流程连选试验

在条件试验的基础上,按优化条件进行 72 h 连选

试验,以考察试验的可靠性。试验条件如下:处理量为 6 t/d,矿浆浓度为 15%~17%,水力旋流器溢流中粒径小于 0.045 mm 的矿粒含量为 90%,pH 值为 9.5~10.5,循环泵工作压力为 0.20~0.22 MPa,矿浆温度为 12~15 °C,充气量为 35%~40%,泡沫层厚度为 300~450 mm,水玻璃用量为 20 kg/t(粗选)、1 kg/t(精一)、0.5 kg/t(精二),煤油用量为 180 g/t(粗选)、150 g/t(扫选),松醇油用量为 100 g/t(粗选)、50 g/t(扫选)。连选试验流程图见图 7。

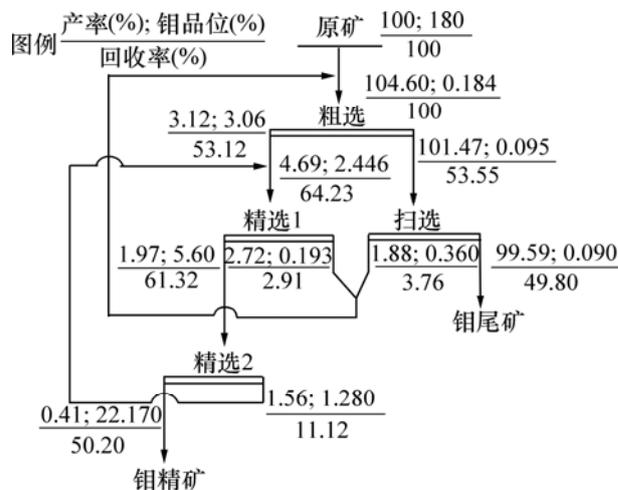


图 7 一粗二精一扫流程试验流程

Fig.7 Flowsheet of continuous processing by using cyclonic-static micro-bubble flotation columns

利用旋流-静态微泡浮选柱对粒径低于 0.020 mm 的细粒级部分进行 72 h 连选试验,原矿的平均品位为 0.181%,可获得平均品位为 24.64%,回收率为 54.33% 的钼精矿,显示出旋流-静态微泡浮选柱较强的回收能力。

从旋流-静态微泡浮选柱的结构及分选原理上分析,其回收能力强的原因有:

- a. 在旋流-静态微泡浮选柱下部的旋流分离段,离心力场的存在强化了对矿物的分选效果,从某种程度上讲,其完成了对循环中矿的多次扫选作用;
- b. 浮选柱采用体外配置的自吸式气泡发生器,它可以依靠射流负压自身引入气体并把它粉碎成微泡,因其形成的气泡直径小且数量多,这大大提高了矿物颗粒与气泡碰撞及矿化的效果,进而提高了对目的矿物的回收能力。

3.4 一粗二精流程试验

从一粗二精一扫流程连选试验结果及流程分析来看,扫选作业段的回收作用并不明显。因此,进一步

对流程加以简化, 去掉扫选作业, 采用一粗二精的流程。试验条件和一粗二精一扫闭路流程连选试验粗选作业与精选作业的条件相同。一粗二精工艺闭路流程 24 h 连选试验(分 3 组试验, 每 8 h 1 组)的结果见表 4。

表 4 一粗二精闭路流程连选试验结果

Table 4 Results of continuous operation of closed-circuit of one stage roughing and two stage cleanings

试验组数	精矿品位/%	回收率/%
1	25.63	54.85
2	24.95	54.23
3	25.37	54.66
平均值	25.32	54.58

由一粗二精闭路工艺流程 24 h 连选试验结果来看, 进一步简化工艺流程后, 仍然可获得平均精矿品位为 25.32%, 回收率为 54.58%的钼精矿。这体现了旋流-静态微泡浮选柱在回收能力方面的独特优势, 可以一段粗选作业替代粗选、扫选作业, 使分选工艺流程大大简化。

4 结 论

a. 旋流-静态微泡浮选柱作为一种有效的柱式微细分选设备, 在对某地高氧化率、微细粒不均匀嵌布、易泥化的难选钼矿石分选中具有较强的回收能力。

b. 旋流-静态微泡浮选柱通过柱浮选、旋流分选、管流矿化结合的多重分选方式的有序集成, 在保持柱分选选择性优势的同时, 进一步提高了浮选柱的适应性与分选效率。

c. 试验采用粗细粒级分级分选的工艺, 对粒径小于 0.020 mm 的微细粒级钼矿采用旋流-静态微泡浮选柱一粗二精工艺流程, 获得了平均精矿品位为 25.32%, 回收率为 54.58%钼精矿。试验所采用的分离方法高效, 工艺流程简洁, 为细粒级矿物的分选开辟了一条新的途径。

参考文献:

[1] 张文钰, 徐秋生. 我国钼资源开发现状与发展趋势[J]. 矿业快报, 2006, 22(9): 1-4.
ZHANG Wen-zheng, XU Qiu-sheng. Present situation of

molybdenum resource development of our country and development trend[J]. Express Information of Mining Industry, 2006, 22(9): 1-4.

[2] 代淑娟, 王泽红. 某钼矿石浮选试验研究[J]. 有色矿冶, 2003, 19(6): 17-20.
DAI Shu-juan, WANG Ze-hong. The experimental study on some Mo ores[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2003, 19(6): 17-20.

[3] 孟宪瑜, 迟爱玲. 某难选铜钼矿的选矿试验研究[J]. 有色矿冶, 2006, 22(3): 19-21.
MENG Xian-yu, CHI Ai-ling. Experimental study on separating a refractory copper-molybdenum ore[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2006, 22(3): 19-21.

[4] LIU Jiong-tian. Cyclonic-static microbubble flotation apparatus & method: USA, 6073775[P]. 2000-03-13.

[5] 刘炯天. 静态微泡浮选柱强化分选方法及装置: 中国, ZL 97 1 07091.1[P]. 2002-03-13.
LIU Jiong-tian. Static microbubble flotation strengthened method & apparatus: China, ZL 97 107091.1[P]. 2002-03-13.

[6] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱及洁净煤制备研究[D]. 北京: 中国矿业大学化工学院, 1998.
LIU Jiong-tian. Study on cyclonic-static microbubble flotation column and preparation technology of clean coal[D]. Beijing: School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, 1998.

[7] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱分选方法及应用(之一): 柱分选技术与旋流-静态微泡浮选柱分选方法[J]. 选煤技术, 2000, 28(1): 42-44.
LIU Jiong-tian. The separation method and application of cyclonic-static microbubble flotation column(No.1): The column separation technology and column separation method of cyclonic-static microbubble flotation column[J]. Coal Preparation Technology, 2000, 28(1): 42-44.

[8] 刘炯天, 王永田, 曹亦俊, 等. 浮选柱技术的研究现状及发展趋势[J]. 选煤技术, 2006, 34(5): 25-29.
LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, CAO Yi-jun, et al. Present situation and development tendency of flotation column technology[J]. Coal Preparation Technology, 2006, 34(5): 25-29.

[9] 刘炯天. 自吸式微泡发生器: 中国, ZL 95 2 36369.4[P]. 1996-03-23.
LIU Jiong-tian. Self-absorbing microbubble generator: China, ZL 95 2 36369.4[P]. 1996-03-23.

[10] 刘炯天, 王永田. 自吸式微泡发生器充气性能研究[J]. 中国矿业大学学报, 1998, 27(1): 27-31.
LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian. Study on performance of self-absorbing microbubble generator[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1998, 27(1): 27-31.

[11] 刘炯天. 旋流-静态微泡浮选柱分选方法及应用(之四): 旋流力场分离与强化回收机制[J]. 选煤技术, 2000, 28(4): 1-4.
LIU Jiong-tian. The separation method and application of

- cyclonic-static microbubble flotation column(No.4): Cyclonic fluid field separation and strengthened recovery mechanism[J]. Coal Preparation Technology, 2000, 28(4): 1-4.
- [12] 刘炯天, 王永田, 曹亦俊, 等. “十五”国家科技攻关计划项目研究报告: 大型矿用微泡柱分选设备的研制[R]. 徐州: 中国矿业大学浮选柱研究中心, 2003.
- LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, CAO Yi-jun, et al. The key technologies R&D program for the 10th Five-year Plan: Research on technologies of large mineral microbubble flotation column[R]. Xuzhou: Flotation Column Research Center, China University of Mining and Technology, 2003.
- [13] 刘炯天, 王永田, 曹亦俊, 等. “十五”国家科技攻关滚动项目研究报告: 矿用微泡浮选柱全流程分选技术研究[R]. 徐州: 中国矿业大学浮选柱研究中心, 2006.
- LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, CAO Yi-jun, et al. The key technologies R&D program for the 10th Five-year Plan: Research on full flowsheet mineral processing with mineral microbubble flotation column[R]. Xuzhou: Flotation Column Research Center, China University of Mining and Technology, 2006.
- [14] 荣国强, 刘炯天, 王永田, 等. 大型浮选设备矿浆液位检测控制系统的研究[J]. 中国矿业, 2007, 16(5): 51-54.
- RONG Guo-qiang, LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, et al. Design of the automatic pulp-level control system of large flotation equipments[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(5): 51-54.
- [15] 荣国强, 刘炯天, 刘莉君, 等. 旋流-静态微泡浮选柱液位自动控制系统设计[J]. 金属矿山, 2007, 42(5): 62-64.
- RONG Guo-qiang, LIU Jiong-tian, LIU Li-jun, et al. Design of automatic pulp level control system for cyclonic-static fine-bubble flotation column[J]. Metal Mine, 2007, 42(5): 62-64.
- [16] 周晓华, 宋晓娟, 刘炯天, 等. 旋流-静态微泡浮选柱浮选萤石试验研究[J]. 矿冶, 2005, 14(2): 21-24.
- ZHOU Xiao-hua, SONG Xiao-juan, LIU Jiong-tian, et al. Experimental study on fluorite mine by cyclonic-static micro-bubble flotation column[J]. Mining & Metallurgy, 2005, 14(2): 21-24.
- [17] 周晓华, 刘炯天, 王永田, 等. 利用旋流-静态微泡浮选柱选萤石矿的实验室研究[J]. 非金属矿, 2003, 26(1): 48-49, 58.
- ZHOU Xiao-hua, LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, et al. Research of fluorite mine by cyclonic-static micro-bubble flotation column[J]. Non-Metallic Mines, 2003, 26(1): 48-49, 58.
- [18] 陈家洪, 马洁珍, 马子龙, 等. 旋流静态微泡浮选柱用于部分优先浮铜的工业试验研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2006, 58(6): 38-41.
- CHEN Jia-hong, MA Jie-zhen, MA Zi-long, et al. The industrial pilot study on the priority flotation of copper using the cyclonic-static microbubble floatation column in Xinjiang Ashele Ore Dressing Plant[J]. Non-Ferrous Metals: Mineral Processing, 2006, 58(6): 38-41.
- [19] 张海军, 刘炯天, 王永田, 等. 磁铁矿浮选柱阳离子反浮选试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(1): 67-71.
- ZHANG Hai-jun, LIU Jiong-tian, WANG Yong-tian, et al. Research on cationic reverse floatation of magnetite using a flotation column[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(1): 67-71.
- [20] 雷贵春. 某铜钼矿铜钼分离工艺试验研究[J]. 中国钼业, 2004, 28(5): 18-21.
- LEI Gui-chun. Study on technology of the copper-molybdenum separation in a copper molybdenum mine[J]. China Molybdenum Industry, 2004, 28(5): 18-21.
- [21] 陈德明. 钼矿石浮选工艺试验研究[J]. 四川有色金属, 2006, 21(2): 15-17.
- CHEN De-ming. Study on flotation technology of some Mo ores[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2006, 21(2): 15-17.
- [22] 任骊东. 选钼捕收剂的应用研究与实践[J]. 中国钼业, 2006, 30(3): 18-20.
- REN Li-dong. Study on application and practice molybdenite collector[J]. China Molybdenum Industry, 2006, 30(3): 18-20.
- [23] 张文钰. 辉钼矿浮选捕收剂的寻觅[J]. 中国钼业, 2006, 30(2): 3-6.
- ZHANG Wen-zheng. Searching for collectors for the flotation of molybdenite[J]. China Molybdenum Industry, 2006, 30(2): 3-6.
- [24] 徐秋生. 磁化烃油选钼试验研究[J]. 金属矿山, 2006, 41(9): 53-54.
- XU Qiu-sheng. Research on hydrocarbon oil magnetization for molybdenum separation[J]. Metal Mine, 2006, 41(9): 53-54.