

# 旋流—静态微泡浮选柱用于铜钼分离的试验研究

李国胜, 曹亦俊, 桂夏辉, 刘炯天, 邓丽君

(中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 利用旋流—静态微泡浮选柱半工业分选试验系统对某选矿厂铜精矿产品进行了铜钼分离的试验研究。经过浮选柱粗选—粗精矿再磨—三段柱精选的闭路流程, 在入料钼品位 0.17% 的情况下, 可以得到钼精矿品位 47.51%、钼回收率 72.07% 的浮选指标, 铜回收率达到 99.99%。该流程工艺简单, 在基本不损失铜金属的情况下, 得到了合格的钼精矿产品, 实现了资源的综合回收利用。

**关键词:** 铜精矿; 铜钼分离; 旋流—静态微泡浮选柱

中图分类号: TD456; TD952.1; TD954

文献标识码: A

文章编号: 1671-9492(2009)03-0042-00

世界上已知的钼矿物有 20 多种, 其中以辉钼矿分布最广, 是工业上最为重要的钼矿物。辉钼矿除少数形成单一的钼矿床外, 广泛的与其他硫化矿共生形成多金属矿, 如铜钼硫化矿床、钨钼铋矿床等。其中又以铜钼硫化矿床的工业价值最大, 据统计从铜钼矿石中回收的钼量约占世界钼总量的 50% 左右<sup>[1]</sup>。

从铜钼矿床中回收钼, 其中一个最重要的环节就是铜钼分离, 一般采用抑铜浮钼的方案进行。但是传统的铜钼分离工艺都存在着一些诸如钼回收率低、处理流程复杂等问题, 钼精选作业一般需要 5~6 段, 甚至更高。目前国内在铜钼混合精矿铜钼分离方面的研究多集中在开发硫化铜矿新型高效抑制剂和有效的脱药方式上等, 在分选过程和新设备开发方面关注较少。因此开发出能够提高钼回收率、简化铜钼分离作业流程的新工艺和新设备成为解决问题的关键, 是一个具有长远意义的研究课题。

自 20 世纪 80 年代以来, 浮选柱以其富集比

大、处理量大、投资小、运行费用低的优点再次受到矿业界的关注, 涌现出了一批各具特色的浮选柱, 取得了较大的成功, 例如 SFC 型充填式静态浮选柱、Jameson 浮选柱、微泡浮选柱等<sup>[2-4]</sup>。其中由中国矿业大学自主研发的矿用旋流—静态微泡浮选柱在部分微细粒矿物分选方面显示出了明显的优越性。本研究采用该设备对某铜精矿铜钼分离作业进行了试验研究, 缩短了钼精选作业流程, 取得了较为满意的结果。

## 1 试样及研究方法

### 1.1 矿石性质

该矿为我国西南地区的一大型斑岩型铜矿床, 该矿床探明铜内蕴经济资源量 92 万多吨, 其中伴生钼含量 6400 多吨, 综合回收利用价值大。本次试验用矿为该地区某选矿厂连续性扩大试验生产的铜钼混合精矿(本研究称之为原矿), 原矿的化学多元素分析结果如表 1 所示。

表 1 原矿化学多元素分析结果

Table 1 Multi-elementary analysis results of run-of-mine ore %

元素	Cu	Mo	Fe	Zn	Pb	Mn	S	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	其他
质量分数	23.80	0.17	31.90	0.06	0.05	0.03	36.10	0.15	0.30	0.28	2.80	0.23	0.37	3.85

原矿含铜 23.80% 左右, 含钼 0.17%。原矿的 X 射线衍射分析结果表明, 其矿物组成较为简单, 主要有黄铜矿、黄铁矿和辉钼矿等。因此, 本研究的

主要目的就是实现黄铜矿和辉钼矿的有效分离。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 技术路线

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2008BAB31B01)

收稿日期: 2009-01-16

作者简介: 李国胜(1983-), 男, 山东菏泽人, 硕士。

传统的铜钼分离工艺一般采用抑铜浮钼的方案进行，根据该矿矿石性质和铜钼矿物的浮选特性，本研究亦采用抑铜浮钼的试验方案。在实验室单槽浮选机上进行了药剂条件的探索和优化，用实验室型有机玻璃旋流—静态微泡浮选柱进行了粗选和精选的条件优化试验，最后在旋流—静态微泡浮选柱半工业分选试验系统对该矿进行了闭路试验研究。

### 1.2.2 旋流—静态微泡浮选柱分选原理

旋流—静态微泡浮选柱分离方法包括柱浮选、旋流分选、管流矿化 3 部分，分选原理如图 2 所示。

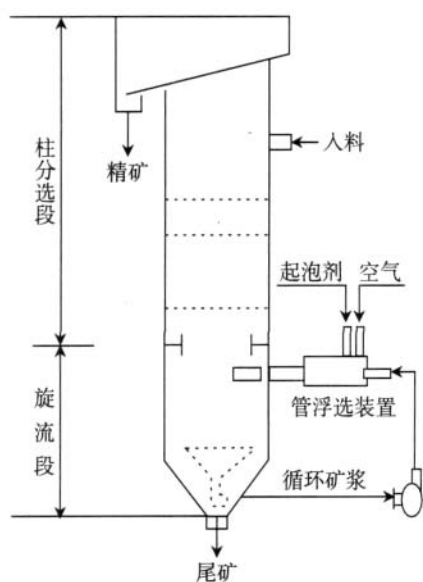


图 2 旋流—静态微泡浮选柱工作原理

Fig. 2 Principle of cyclonic-static micro bubble flotation column

整个设备为柱体，柱浮选位于柱体上部，采用逆流碰撞矿化的浮选原理，在低紊流的静态分选环境中实现微细物料的分选，在整个柱分选方法中起到粗选与精选作用；旋流分选与柱浮选呈上、下结构连接，构成柱分选方法的主体；旋流分选包括按密度的重力分离以及在旋流力场背景下的旋流浮选。旋流浮选不仅提供了一种高效矿化方式，而且使得浮选粒度下限大大降低，浮选速度大大提高。旋流分选以其强回收能力在柱分选过程中起到扫选柱浮选中矿作用。管流矿化利用射流原理，通过引入气体及粉碎成泡，在管流中形成循环中矿的气固液三相体系并实现了高度紊流矿化。管流矿化沿切向与旋流分选相连，形成中矿的循环分选。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 粗选试验

#### 2.1.1 浮选机粗选试验

粗选药剂条件探索试验在 XFD 实验室型浮选机上进行，单槽容积 1.5L。探索试验包括脱药条件试验，抑制剂硫化钠、捕收剂煤油、分散剂水玻璃和起泡剂松醇油的用量试验。经过药剂条件探索和优化试验之后，采用一次粗选、一次扫选工艺流程，获得了相对较好的作业指标，使铜精矿含钼达到 0.02% 以下，钼粗精矿和钼扫选精矿中钼的综合回收率接近 90%。工艺流程和药剂条件如图 1 所示，试验结果见表 2。

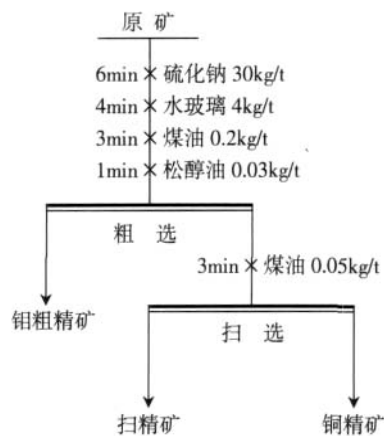


图 1 浮选机粗扫选工艺流程

Fig. 1 The roughing and scavenging flowsheet of flotation machine

表 2 浮选机粗扫选试验结果

Table 2 The results of roughing and scavenging flowsheet of flotation machine %

产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Mo	Cu	Mo
钼粗精矿	3.66	18.23	3.250	2.80	73.62
钼扫精矿	1.38	20.34	1.850	1.18	15.80
铜精矿	94.96	24.10	0.018	96.02	10.58
原矿	100.0	23.83	0.162	100.0	100.0

#### 2.1.2 浮选柱粗选试验

在前期浮选机药剂条件探索试验的基础上，利用  $\Phi 75\text{mm} \times 2000\text{mm}$  实验室型旋流—静态微泡浮选柱分选系统对原矿进行了粗选试验，流程如图 2 所示，试验结果见表 3。

在给矿钼品位 0.171% 的条件下，浮选柱粗选可以得到钼粗精矿品位 3.95%、回收率 91.57% 的较好指标。通过表 2 和表 3 的结果对比可以看出，

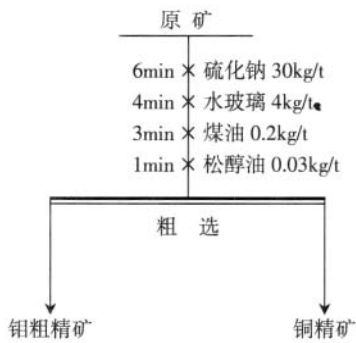


图2 浮选柱粗选工艺流程

Fig. 2 The roughing flowsheet of the flotation column

表3 浮选柱粗选试验结果

Table 3 The results of the flotation column roughing test %

产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Mo	Cu	Mo
钼粗精矿	3.96	19.97	3.950	3.31	91.57
铜精矿	96.04	24.02	0.015	96.69	8.43
原矿	100.0	23.86	0.171	100.0	100.0

浮选柱一段粗选超过浮选机一次粗选、一次扫选的试验指标，充分体现出旋流—静态微泡浮选柱回收能力强、富集比高、选择性好的特点。

## 2.2 精选及闭路试验

### 2.2.1 钼粗精矿再磨细度试验

采用浮选柱粗选和浮选机四段精选的开路试验流程，探索使辉钼矿达到单体解离的最佳条件。磨矿细度与钼精矿品位之间的关系如图3所示。

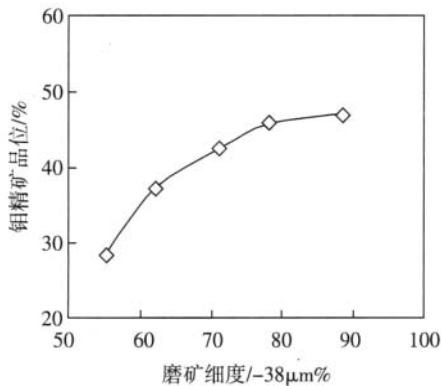


图3 再磨细度试验结果

Fig. 3 The test results of grinding size

由不同磨矿细度下钼精矿产品的品位和再磨细度之间的关系曲线可以看出，影响该矿石钼精矿质量的因素是辉钼矿与其他矿物的连生，必要的再磨细度是获得高质量精矿的首要条件。从曲线中可以看出，再磨细度-38μm含量占78%时，钼精矿品位达到45.88%，再增加磨矿细度，钼品

位提高有限。综合考虑磨矿能耗和钼精矿品位两种因素，后续试验的粗精矿再磨细度确定为-38μm含量占78%。

### 2.2.2 浮选柱与浮选机精选结果对比

精选试验在开路条件下进行，分别进行了浮选柱一次粗选、三次精选和浮选机一次粗选、一次扫选、四次精选的试验流程，两种流程所得到的最终钼精矿品位与钼回收率的对比结果见表4。

表4 浮选柱与浮选机指标对比

Table 4 The contrast results of flotation column and flotation machine %

产品名称	浮选柱指标				浮选机指标					
	产率	品位		回收率		产率	品位		回收率	
		Cu	Mo	Cu	Mo		Cu	Mo	Cu	Mo
钼精矿	0.21	1.02	48.75	0.01	60.14	0.26	3.11	38.56	0.03	58.95
铜精矿	99.79	24.55	0.07	99.99	39.86	99.74	24.55	0.07	99.97	41.05
原矿	100.0	24.50	0.17	100.0	100.0	100.0	24.49	0.17	100.0	100.0

表4中的铜精矿是指开路试验中精选中矿和粗扫选尾矿合并后的平均指标。在开路试验的条件下，浮选柱一次粗选、三次精选流程的钼精矿品位比浮选机一次粗选、一次扫选、四次精选流程的钼精矿品位高10.19%，钼金属回收率提高1.19%，并且流程结构上也更简单合理。

### 2.2.3 闭路试验

经过浮选柱精选流程试验以及浮选柱和浮选机精选开路试验结果的对比，最后确定流程为柱粗选—粗精矿再磨—三段柱精选。试验流程如图4所示，试验结果见表5。

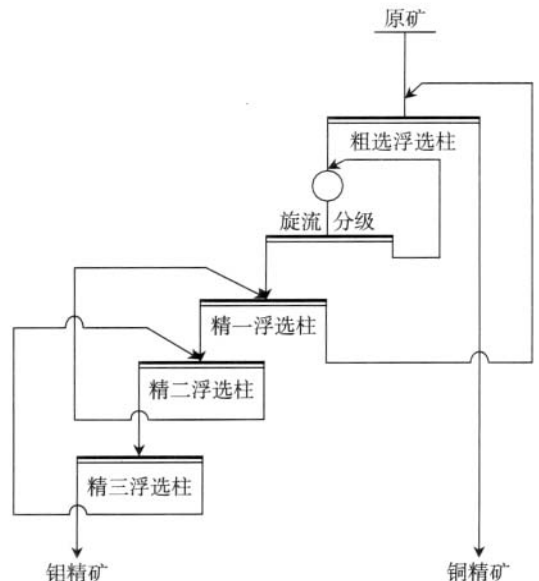


图4 闭路试验流程

Fig. 4 The flowsheet of closed circuit test

表5 闭路试验结果  
Table 5 The results of the closed circuit test %

产 品	产 率	品 位		回 收 率	
		Cu	Mo	Cu	Mo
钼精矿	0.26	0.87	47.51	0.01	72.07
铜精矿	99.74	24.55	0.048	99.99	27.93
原矿	100.0	24.49	0.171	100.0	100.0

在给矿钼品位 0.171% 的条件下, 经过柱粗选—粗精矿再磨—三段柱精选的闭路试验流程, 可以得到钼精矿品位 47.51%、钼回收率 72.07% 的理想指标。并且铜精矿中的铜金属基本没有损失, 铜回收率达到 99.99%。与传统的钼回收的精选作业相比, 流程大大缩短, 这充分体现了旋流—静态微泡浮选柱回收能力强、富集比高、选择性强的特点。

### 3 结语

1) 由浮选柱和浮选机粗选以及开路精选试验结果对比可知, 旋流—静态微泡浮选柱在富集能力和回收水平上都优于传统浮选机。

2) 试验矿样为选矿处理过的含钼合格铜精矿, 因此钼的回收应达到铜的损失最小化。经过浮选柱一次粗选、三次精选、粗精矿再磨的闭路试验流

程, 得到的钼精矿含钼 47.51%、钼回收率 72.07%, 最终铜精矿中铜回收率达到 99.99%, 较好地实现了预期目标。

3) 旋流—静态微泡浮选柱的发明与应用, 在浮选领域实现了微细粒矿物分选的突破, 其较强的回收能力和高选择性优势为缩短铜钼分离作业流程提供了一种新的技术途径。

4) 本试验研究对我国西南地区大型斑岩型铜钼矿床的综合开发利用具有一定的指导作用, 同时依托新设备旋流—静态微泡浮选柱形成的新工艺对我国其它地区类似铜钼矿床的选矿开发也具有借鉴和参考价值。

### 参考文献

- [1] 孟宪瑜, 迟爱玲. 某难选铜钼矿石的选矿试验研究[J]. 有色矿冶, 2006, 22(3): 19-21.
- [2] 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(5): 25-29.
- [3] 张海军, 刘炯天, 王永田. 矿用旋流—静态微泡浮选柱的分选原理及参数控制[J]. 中国矿业, 2006, 15(5): 70-72.
- [4] 马子龙, 刘炯天, 曹亦俊, 等. 旋流—静态微泡浮选柱用于金川镍矿的可行性研究[J]. 有色金属: 选矿部分, 2009, (2) 32-35.

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE COPPER-MOLYBDENUM SEPARATION BY USING CYCLONIC-STATIC MICRO BUBBLE FLOTATION COLUMN

LI Guosheng, CAO Yijun, GUI Xiahui, LIU Jiongtian, DENG Lijun

(School of Chemical Engineering & Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu, 221008)

### ABSTRACT

Object of this study was the copper concentrate of some concentrating mill, experimental study on copper-molybdenum separation was made in the semi-industrial system of cyclonic-static micro bubble flotation column. Using closed cycle flowsheet of column rougher flotation—grinding rough concentrate again—three column cleanings, from the copper concentrate containing Mo of 0.17%, the test got the molybdenum concentrates containing Mo of 47.51% and recovery rate of 72.07%, the copper recovery rate was 99.99%. This flowsheet was simple, in the condition of little loss of the copper concentrate, the up to grade molybdenum concentrates were produced, the goal of resources comprehensive utilization was achieved.

**Key words:** copper concentrate; copper-molybdenum separation; cyclonic-static micro bubble flotation column