

# 云南某高碳酸盐型含银氧化铜矿中铜银同步浮选实验

李向益, 王世涛, 曾茂青, 乐智广

(国土资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 国土资源部 昆明矿产资源监督检测中心, 云南 昆明 650218)

**摘要:** 对云南某高碳酸盐型含银氧化铜矿进行铜银同步浮选实验研究。结果表明, 通过闭路实验, 可获得铜银精矿 Cu 品位 22.03%, Cu 回收率 71.69%, Ag 品位 1095 g/t, Ag 回收率 81.90% 的技术指标。采用此同步浮选工艺可有效选别该含银氧化铜矿。

**关键词:** 氧化铜矿; 铜; 银; 同步浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.02.019

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)02-0105-06

铜作为一种有色金属, 由于其具有一系列优异的性能, 铜及铜制品被广泛用于电气、轻工、机械制造、交通运输、电子、邮电、军工等行业<sup>[1]</sup>。我国铜资源短缺, 铜资源存在贫矿多、富矿少、矿石品位偏低、优质铜矿资源少等特点<sup>[2]</sup>。目前随着铜需求日益增加, 硫化铜矿资源的不断开发利用, 硫化铜矿资源量逐年减少<sup>[3]</sup>。在我国铜矿资源中, 氧化铜矿资源占有重要地位, 是我国铜资源的重要组成部分, 除大多数硫化铜矿床上部有氧化带外, 还有储量巨大的独立氧化铜矿床<sup>[4-5]</sup>。

本文以云南某地含银氧化铜矿为研究对象, 开展铜银同步浮选实验研究, 旨在综合回收矿石中的铜和银, 为该地区含银氧化铜矿资源的开发利用及生产实践提供技术依据和参考。

## 1 原矿性质

### 1.1 原矿化学多元素及铜物相分析

原矿化学多元素分析及铜物相分析结果见表 1 和表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果/%  
Table 1 Multi-element analysis results of the run-of-mine ore

Cu	Ag*	Au*	As	S	TFe	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
1.38	60.16	0.06	0.075	0.06	1.05	36.90	12.30	2.53	25.90	18.51	0.45	0.26

\*单位为 g/t。

表 2 原矿铜物相分析结果  
Table 2 Copper phase analysis results of the raw ore

名称	原生硫化铜	次生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	总铜
含量/%	0.05	0.009	1.27	0.05	1.38
分配率/%	3.63	0.65	92.10	3.63	100.00

### 1.2 原矿矿物组成、嵌布特征及铜银赋存状态

矿石主要由孔雀石 (1.8%)、蓝铜矿 (0.4%)、

黄铜矿 (0.1%)、白云石 (77%)、石英 (9%)、斜长石 (2.2%)、绢云母 (3.6%)、方解石 (2%)、

收稿日期: 2020-09-04; 改回日期: 2021-02-28

作者简介: 李向益 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事选矿及矿产综合利用研究。

褐铁矿 (1.7%) 等组成。其中主要的目的矿物为孔雀石和蓝铜矿。矿石中碳酸盐含量高达 79%，矿石属于高碳酸盐型氧化铜。

矿石中目的矿物孔雀石、蓝铜矿主要呈微晶状、粉晶状，少数柱状，集合体呈脉状、不规则粒状、放射状，与白云石、褐铁矿和石英等脉石矿物嵌布关系复杂，其中部分目的矿物与白云石呈混染状嵌布、细脉穿插状连生，部分孔雀石填充于石英颗粒缝隙之间。嵌布粒度在 10~100 μm 之间，属微细粒至细粒嵌布，嵌布粒度较细是影响铜回收率提高的主要因素。

矿石中铜主要以独立矿物形式赋存在孔雀石和蓝铜矿中，占 89%，少部分铜赋存于黄铜矿、斑铜矿等硫化铜矿物中，占 2.5%，少部分赋存在硅孔雀石中，占 3.5%，部分以微细粒包裹体形式赋存在白云石等脉石矿物中，占 5%。

矿石中银主要以类质同象形式存在于孔雀石和蓝铜矿等铜矿物中，占 86% 部分银以微细粒包裹体形式赋存在白云石、石英及褐铁矿等脉石矿物中，占 13%，极少量的银以辉银矿形式包裹于孔雀石中。因此银主要是赋存或者包裹于铜矿物中，可以通过浮选回收氧化铜矿物从而达到银的同步回收。

## 2 浮选实验研究

### 2.1 选矿工艺的选择

氧化铜矿的选矿工艺最常见的主要是硫化-黄药浮选和湿法浸出工艺。由于矿石中不仅有铜，还有较高品位的银，同时矿石中白云石、方解石等碳酸盐矿物高达 79%，采用湿法浸出工艺成本较高，也不利于矿石中银的回收。因此宜采用硫化-黄药浮选工艺回收矿石中的铜和银。通过大量预先探索实验，初步确定硫化剂为硫化钠，硫化钠添加方式为加入磨机，活化剂为 B-135，捕收剂为戊基黄药。

### 2.2 磨矿细度条件实验

矿物单体解离是实现矿石中氧化铜矿物与脉石矿物浮选分离的基础，也是浮选过程中取得良好浮选指标的关键。因此，确定合适的磨矿细度至关重要。在其他条件固定不变的情况下，研究

磨矿细度为-74 μm 含量对铜银浮选指标的影响，实验流程见图 1，实验结果见图 2。

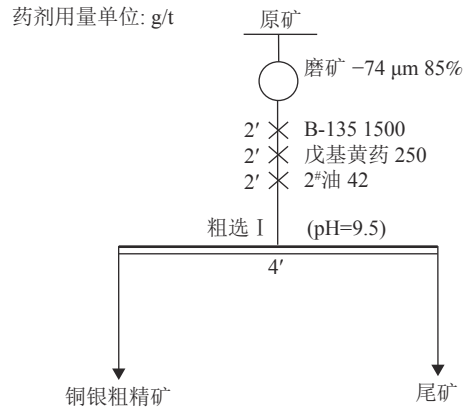


图 1 条件实验流程

Fig.1 Conditional test flowsheet

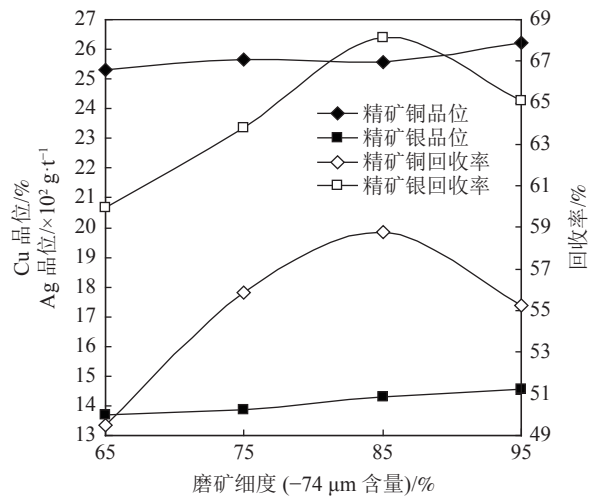


图 2 磨矿细度对铜银精矿中铜、银指标的影响

Fig.2 Effects of grinding fineness on the index of copper and silver in copper and silver concentrate

由图 2 可知，当磨矿细度从-74 μm 含量 65% 到 95% 变化时，铜银精矿铜品位变化不大，银品位略微有所提高，铜和银的回收率均是先提高后降低。综合铜银精矿中铜、银的品位和回收率考虑，合适的磨矿细度为-74 μm 含量为 85%。

### 2.3 粗选条件实验

粗选条件主要优化硫化剂硫化钠用量、活化剂 B-135 用量和捕收剂种类和用量，研究其对粗选铜粗精矿指标的影响效果。

#### 2.3.1 硫化钠用量

硫化钠对氧化铜矿物具有良好的硫化作用，

是氧化铜矿硫化—黄药浮选工艺中常用的硫化剂。在磨矿细度为 $-74\ \mu\text{m}$ 含量85%，活化剂B-135用量1500 g/t，捕收剂戊基黄药用量250 g/t的条件下，对硫化剂硫化钠用量进行条件实验，考查硫化钠用量对粗选铜银粗精矿指标的影响，实验流程见图1，实验结果见图3。

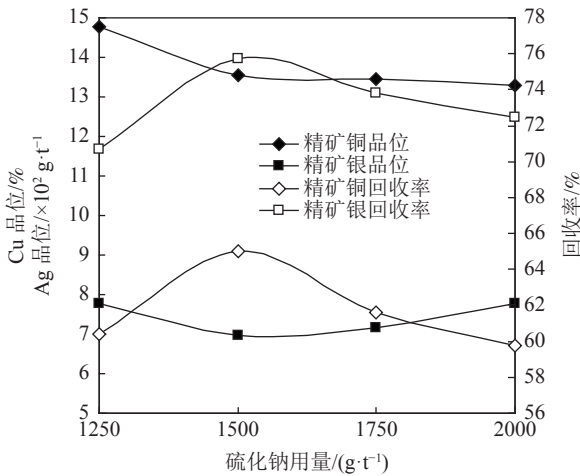


图3 硫化钠用量对铜银粗选浮选指标的影响

Fig.3 Effects of sodium sulfide dosage on the index of copper and silver roughing I

当硫化钠用量从1250 g/t逐步增加到2000 g/t，粗选铜银粗精矿Cu和Ag品位呈现先降低后略微升高的趋势，而回收率则呈现先升高后降低的趋势。因此粗选硫化剂硫化钠用量为1500 g/t。

### 2.3.2 活化剂B-135用量

B135是氧化铜矿的活化剂，在有硫化钠存在的条件下，其活化效果更好。在磨矿细度为 $-74\ \mu\text{m}$ 含量85%，硫化钠用量1500 g/t，捕收剂戊基黄药用量250 g/t的条件下，对活化剂B-135用量进行条件实验，考查B-135用量对粗选铜银粗精矿指标的影响，实验流程见图1，实验结果见图4。

随着活化剂B-135用量增加，粗选铜银粗精矿Cu和Ag品位呈现先降低趋势，而回收率则呈现先升高后稳定的趋势。因此粗选活化剂B-135用量为1500 g/t。

### 2.3.3 捕收剂种类

氧化铜硫化—黄药浮选工艺中，常见的捕收剂有丁基黄药和戊基黄药等。浮选铜的同时兼顾银的回收，因此考查不同种类的黄药对粗选铜银浮

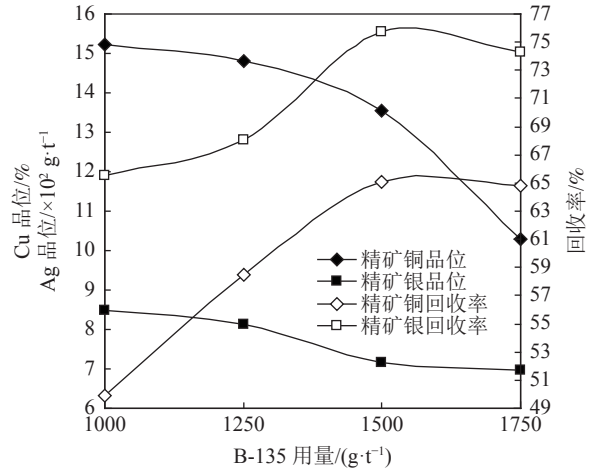


图4 B-135用量对铜银粗选浮选指标的影响

Fig.4 Effects of B-135 dosage on the index of copper and silver roughing I

选效果的影响，在磨矿细度为 $-74\ \mu\text{m}$ 85%，硫化钠用量1500 g/t，活化剂B-135用量1500 g/t，捕收剂用量均为250 g/t的条件下，对比丁基黄药、戊基黄药、541黄药和高效黄药对粗选铜银粗精矿指标的影响，实验结果见图5。

由图5可知，几种捕收剂中对粗选铜银同步浮选效果较好的为戊基黄药。因此采用戊基黄药作为该含银氧化铜矿的捕收剂。

### 2.3.4 捕收剂戊基黄药用量

通过捕收剂种类实验确定了含银氧化铜矿铜银同步浮选的捕收剂为戊基黄药。为了获得较好的戊基黄药用量，对戊基黄药用量进行优化实验，考查不同戊基黄药用量对粗选铜银浮选效果的影响。实验结果见图6。

随着捕收剂戊基黄药用量从150 g/t增加到300 g/t，粗选铜银粗精矿Cu和Ag品位呈现先降低趋势，而回收率则呈现明显升高后稳定的趋势。因此粗选捕收剂戊基黄药用量为250 g/t。

### 2.4 闭路流程实验

通过磨矿细度、粗选浮选条件实验研究，确定了较佳的磨矿细度 $-74\ \mu\text{m}$ 85%，粗选硫化钠用量1500 g/t、活化剂B-135用量1500 g/t，捕收剂为戊基黄药，其用量250 g/t。浮选流程结构为“两次粗选两次精选三次扫选”。浮选开路实验可得到铜银精矿Cu品位23.61%，Cu回收率为61.03%，Ag品位1168 g/t，Ag回收率69.48%的选矿指

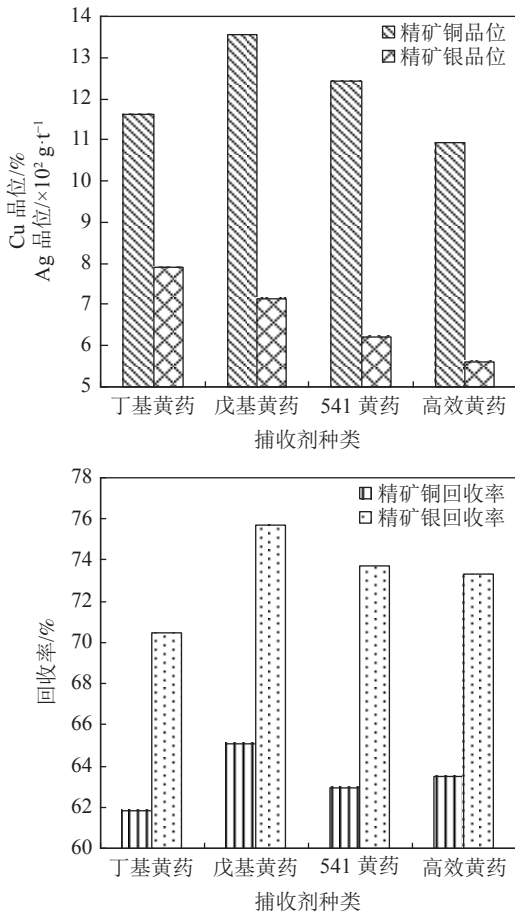


图 5 不同捕收剂对铜银粗选浮选指标的影响  
Fig.5 Effects of different collectors on the index of copper and silver roughing I

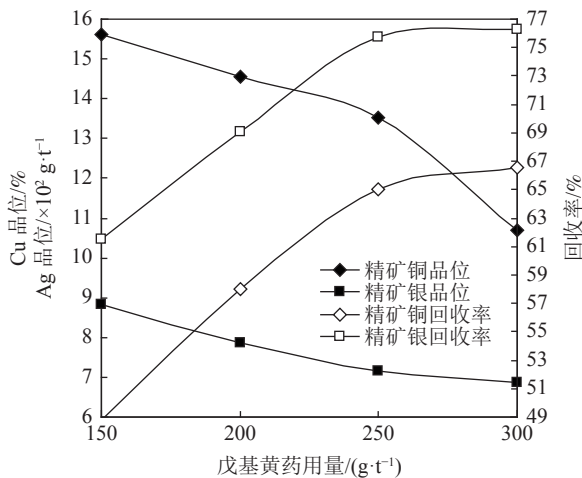


图 6 戊基黄药用量对铜银粗选效果的影响  
Fig.6 Effects of sodium isoamylxanthate dosage on the index of copper and silver roughing I

标。在磨矿细度、粗选浮选条件实验和开路实验的基础上进行浮选闭路流程实验，实验流程见图 7，实验结果见表 3。

由表 2 可知，云南某高碳酸盐型含银氧化铜矿经铜银同步浮选闭路实验流程选别后，获得铜银精矿 Cu 品位 22.03%，Cu 回收率为 71.69%，Ag 品位 1095 g/t，Ag 回收率 81.90% 的技术指标。铜银精矿达到了商品精矿的质量要求。矿石中的铜和银均得到较好的综合回收。

闭路实验铜银精矿中 Cu 和 Ag 回收率较低，主要是因为矿石中主要氧化铜矿物孔雀石和蓝铜矿呈微晶状、粉晶状，与白云石等脉石矿物呈混染状嵌布、细脉穿插状连生，嵌布关系复杂，嵌布粒度较细导致，部分铜难以回收，而银又主要是赋存在铜矿物中，部分铜矿物的损失从而影响银的回收率提高。

### 3 结 论

(1) 云南某铜矿属于高碳酸盐型含银氧化铜矿。矿石品位为 Cu 1.38%、Ag 60.16 g/t，含 CaO 25.90%、MgO 18.51%。原矿中铜氧化率 95.73%。矿石中铜主要赋存在孔雀石和蓝铜矿中。矿石中银主要以类质同象形式存在于孔雀石和蓝铜矿等铜矿物中。

(2) 矿石中目的矿物孔雀石和蓝铜矿呈微晶状、粉晶状，与白云石、石英等脉石矿物呈混染状嵌布、细脉穿插状连生，嵌布粒度在 10~100  $\mu\text{m}$ ，属微细粒至细粒嵌布。

(3) 在较佳的浮选工艺条件下，原矿经铜银同步浮选闭路实验流程可获得铜银精矿 Cu 品位 22.03%，Ag 品位 1 095 g/t，Cu 回收率为 71.69%，Ag 回收率 81.90% 的技术指标。通过铜银同步浮选，矿石中的铜和银得到较好的综合回收。

(4) 铜银精矿铜和银回收率较低的主要原因是目的矿物孔雀石和蓝铜矿呈微晶状、粉晶状，与白云石等脉石矿物呈混染状嵌布、细脉穿插状连生，嵌布关系复杂，嵌布粒度较细，导致磨矿过程中矿物单体难以充分解离，部分铜难以回收，而银又主要是赋存在铜矿物中，部分铜矿物的损失从而影响银的回收率提高。

(5) 实验研究结果为云南某地含银氧化铜矿的开发利用及生产实践提供技术依据和参考。

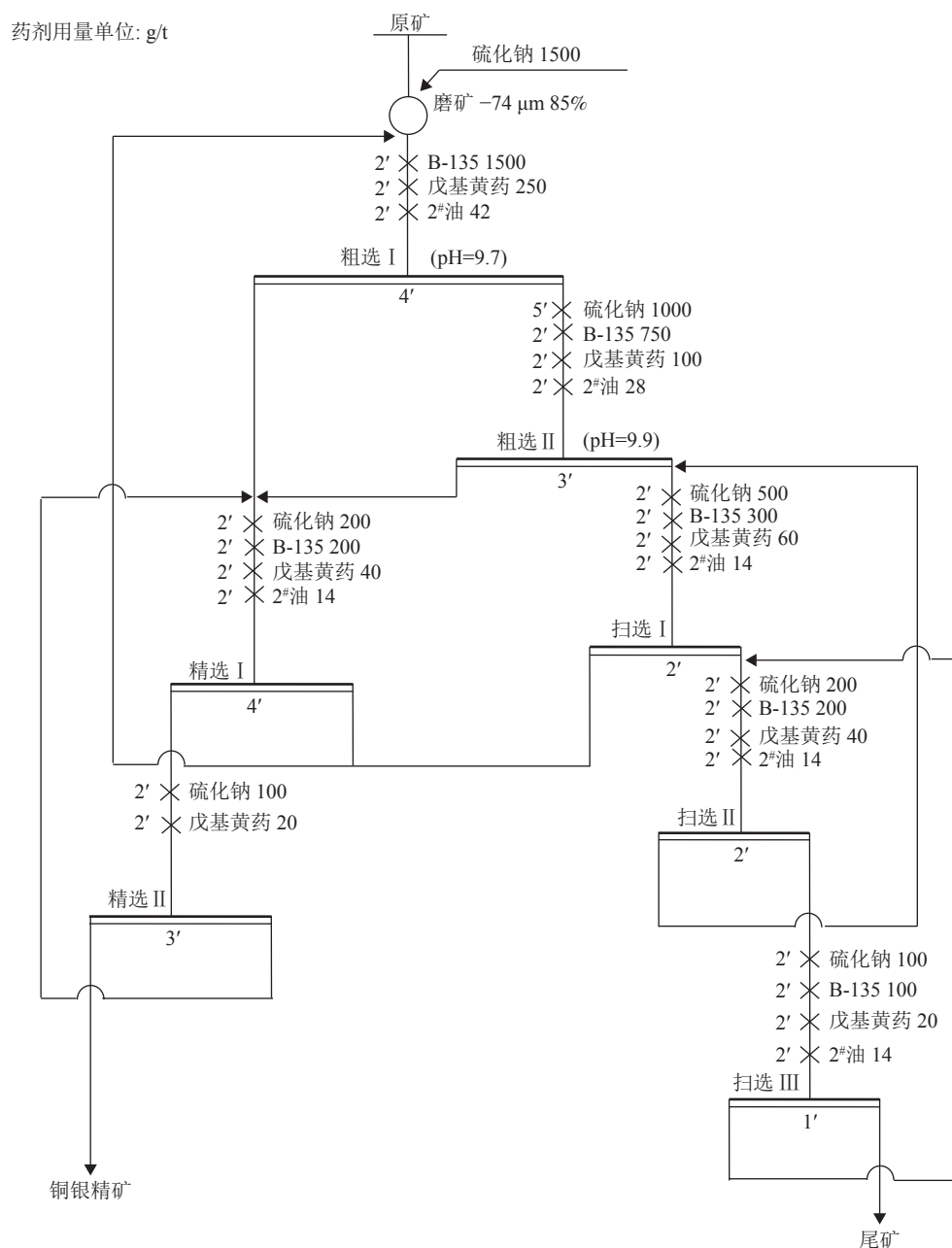


图7 浮选闭路实验流程  
Fig.7 Process flowsheet of the close-circuit test

表3 闭路流程实验结果  
Table 3 Results of the close-circuit test

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Cu	Ag*	Cu	Ag
铜银精矿	4.50	22.03	1095	71.69	81.90
尾矿	95.50	0.41	11.40	28.31	18.10
原矿	100.00	1.38	60.16	100.00	100.00

\*单位为 g/t。

参考文献：

[1] 张汉彪, 薛伟. 刚果(金)某复杂难选氧化铜矿选矿实验研

究[J]. 矿产综合利用, 2020(3):117-120.

ZHANG H B, XUE W. Experimental study on beneficiation of

- a complex refractory copper oxide ore in Congo (DRC)[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(3):117-120.
- [2] 宋涛, 雷霆, 张汉平. 云南某低品位氧化铜矿的选矿实验研究[J]. 有色金属 (选矿部分), 2008(6):36-38.
- SONG T, LEI T, ZHANG H P. Study on the ore beneficiation of a low-grade oxide copper ore in Yunnan Province[J]. *Non-ferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2008(6):36-38.
- [3] 庞杰, 郑永兴, 戈保梁, 等. 难选氧化铜矿选冶联合技术研究现状与进展[J]. *矿产综合利用*, 2019(5):1-5.
- PANG J, ZHENG Y X, GE B L, et al. Research status and development of the dressing-metallurgy combination processing of refractory copper oxides[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(5):1-5.
- [4] 熊堃, 左可胜, 郑贵山. 新疆滴水氧化铜矿物的硫化浮选行为研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):82-86.
- XIONG K, ZUO K S, ZHENG G S. Study on sulphidization flotation characteristics of copper oxide minerals in Dishui, Xinjiang[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):82-86.
- [5] 杜淑华, 戈保梁, 潘邦龙, 等. 某难选氧化铜矿分步优先浮选和中矿处理工艺研究[J]. *矿冶*, 2007, 16(1):28-29,49.
- DU S H, GE B L, PAN B L, et al. Study on flotation process of a refractory oxide copper ore[J]. *Mining and Metallurgy*, 2007, 16(1):28-29,49.

## Experimental Research on Synchronous Flotation of Copper and Silver in a Silver-bearing Copper Oxide Ore with High Carbonate Gangue from Yunnan

Li Xiangyi, Wang Shitao, Zeng Maoqing, Le Zhiguang

(Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, Ministry of Land and Resources, Kunming Mineral Resources Surveillance Testing Centre, Ministry of Land and Resources, Kunming, Yunnan, China)

**Abstract:** A synchronous flotation test of copper and silver in a silver-bearing copper oxide ore with high carbonate gangue from Yunnan was studied. The results show that copper and silver concentrate copper grade of 22.03% and recovery of 71.69% was achieved through the closed circuit flotation test. And the grade and recovery of silver in copper concentrate were relatively 1095 g/t and 81.90%. The synchronous flotation technology using in the silver-bearing copper oxide ore is effectual .

**Keywords:** Copper oxide ore; Copper; Silver; Synchronous flotation