

## 安徽某含泥难选铜钼矿选矿试验

夏亮, 杜淑华, 朱国庆, 吴磊

(安徽省地质试验研究所, 安徽 合肥 230041)

**摘要:** 安徽某铜钼矿矿石中易泥化的蛇纹石含量高且含有小鳞片状的滑石, 属难选矿。针对该矿石性质, 试验确定了铜钼等可浮 - 铜钼分离 - 铜硫混合浮选 - 铜硫分离的浮选方案, 通过降低浮选矿浆浓度、使用低粘度的起泡剂 MIBC 和加大水玻璃用量等技术手段有效改善了钼浮选效果。闭路试验获得了良好的分选指标: 铜精矿品位为 18.31%, 回收率为 80.39%, 钼精矿品位为 47.79%, 回收率为 87.26%, 硫精矿品位为 39.25%, 回收率为 68.92%。

**关键词:** 铜钼矿; 高泥; 蛇纹石; 铜钼等可浮

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.03.0010

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2019) 03-0044-04

国内外, 矿泥含量高的钼矿石和铜钼矿石分布广泛。矿泥由于粒度细、黏稠、比表面积大, 会导致浮选泡沫结构变细, 矿化变差, 严重地影响粗粒黄铜矿和辉钼矿的上浮<sup>[1]</sup>。安徽某铜钼矿石原矿含铜 0.31%、含钼 0.154%、含硫 4.96%, 矿石中黄铜矿和辉钼矿结晶粒度粗, 易泥化的蛇纹石含量高且含有少量滑石。为合理开发该铜钼矿, 开展了选矿试验研究。

## 1 矿石性质

矿石中金属矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿, 脉石矿物主要为白云石、硅镁石、橄榄石、蛇纹石等。硅镁石和橄榄石多蚀变为蛇纹石、滑石, 造成该矿含泥量大, 给分选带来一定困难。矿石主要化学成分分析结果见表 1, 铜、钼物相分析结果见表 2, 主要金属矿物粒度组成见表 3。

表 1 矿石主要化学成分分析结果 /%

Table 1 Main chemical composition analysis of the raw ore

| Mo    | Cu   | S    | Pb    | Zn    | WO <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Re <sup>*</sup> | As <sup>*</sup> |
|-------|------|------|-------|-------|-----------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| 0.154 | 0.31 | 4.96 | 0.022 | 0.025 | 0.027           | 36.29            | 5.53                           | 15.45 | 12.85 | 0.25            | 26.0            |

\* 单位为 g/t。

表 2 矿石铜、钼物相分析结果

Table 2 Copper and molybdenum phase analysis of the raw ore

| 铜相别   | 含量 /% | 占有率 /% | 钼相别  | 含量 /% | 占有率 /% |
|-------|-------|--------|------|-------|--------|
| 原生硫化铜 | 0.28  | 90.32  | 辉钼矿  | 0.145 | 94.16  |
| 次生硫化铜 | 0.001 | 0.32   | 钼华   | 0.005 | 3.24   |
| 自由氧化铜 | 0.009 | 2.90   | 钼钨钙矿 | 0.002 | 1.30   |
| 结合氧化铜 | 0.02  | 6.46   | 钼酸铅  | 0.002 | 1.30   |
| 总铜    | 0.31  | 100.00 | 总钼   | 0.154 | 100.00 |

表 3 主要金属矿物粒度组成

Table 3 Sample size of major metallic minerals

| 粒级 /mm       | 黄铜矿含量 /% | 累计含量 /% | 粒级 /mm       | 辉钼矿含量 /% | 累计含量 /% |
|--------------|----------|---------|--------------|----------|---------|
| +1.2         | 5.92     | 5.92    | +1.2         | 0.00     | 0.00    |
| -1.2+0.6     | 1.18     | 7.10    | -1.2+0.6     | 31.37    | 31.37   |
| -0.6+0.3     | 6.81     | 13.91   | -0.6+0.3     | 7.32     | 38.69   |
| -0.3+0.15    | 15.99    | 29.90   | -0.3+0.15    | 7.84     | 46.53   |
| -0.15+0.075  | 32.80    | 62.70   | -0.15+0.075  | 28.50    | 75.03   |
| -0.075+0.038 | 17.51    | 80.21   | -0.075+0.038 | 19.22    | 94.25   |
| -0.038       | 19.79    | 100.00  | -0.038       | 5.75     | 100.00  |

由表 1 可知, 矿石中有用元素主要为钼、铜、硫。

收稿日期: 2018-01-19

作者简介: 夏亮 (1986-), 男, 工程师, 工程硕士。

由表2可知，矿石中的铜主要以原生硫化铜形式存在，占总铜的90.32%；钼主要以辉钼矿形式存在，占总钼的94.16%。

由表3可知，矿石中黄铜矿与辉钼矿的嵌布粒度较粗，粒度+0.075 mm的黄铜矿和辉钼矿分别达到了62.70%和75.03%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验方案的选择

铜钼矿石常用的浮选工艺方案有铜钼混合浮选和铜钼等可浮<sup>[2-4]</sup>。探索试验结果表明，以煤油和丁黄药为捕收剂进行铜钼混合浮选时，需添加3000~4000 g/t的石灰抑制硫，添加的石灰对钼有明显的抑制作用，以煤油和Z-200为捕收剂进行铜钼混合浮选时，浮选泡沫较粘，大量矿泥上浮，泥的大量上浮对钼的精选极为不利。铜钼等可浮方案是在钼粗选不添加铜捕收剂，让可浮性好的铜与钼一起上浮，选钼尾矿铜硫混选再进行铜硫分离，该方案一方面可以控制石灰用量，消除石灰对钼浮选的不利影响，另一方面可以通过使用低粘度的起泡剂MIBC降低粗精矿的含泥量，有利于提高试验指标。因此，采用铜钼等可浮方案进行选矿试验。

### 2.2 钼粗选条件试验

#### 2.2.1 矿浆浓度试验

生产中，粗选浮选浓度一般为25%~45%，对含泥较多的矿石一般选择降低浮选矿浆浓度。矿浆浓度试验在磨矿细度-0.074 mm 80%，水玻璃用量2000 g/t，煤油用量90 g/t，MIBC用量25 g/t的条件下进行，试验流程见图1，试验结果见表4。

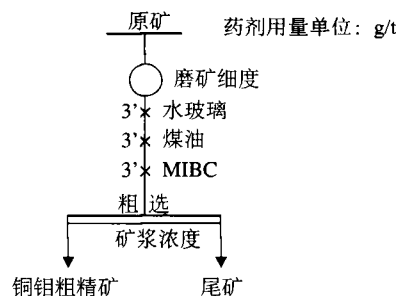


图1 粗选条件试验流程

Fig.1 Process of rough separation

表4 矿浆浓度试验铜钼粗精矿指标

Table 4 Cu-Mo coarse concentrate index on pulp concentration

| 矿浆浓度 /% | 品位 /% |      | 回收率 /% |       |
|---------|-------|------|--------|-------|
|         | Cu    | Mo   | Cu     | Mo    |
| 30      | 2.43  | 1.12 | 71.64  | 66.49 |
| 25      | 3.34  | 1.72 | 73.85  | 76.58 |
| 20      | 4.13  | 2.24 | 75.58  | 82.50 |

由表4可见，随着矿浆浓度的降低，铜、钼的粗精矿品位和回收率均有较大幅度的提高。试验选择粗选矿浆浓度为20%。

#### 2.2.2 磨矿细度试验

矿石的磨矿细度是极为重要的选矿工艺参数，直接关系到选矿指标和选矿成本。磨矿细度试验在浮选矿浆浓度20%，水玻璃用量2000 g/t，煤油用量90 g/t，MIBC用量25 g/t的条件下进行，试验结果见表5。

表5 磨矿细度试验铜钼粗精矿指标

Table 5 Cu-Mo coarse concentrate index on grinding fineness

| 磨矿细度<br>-0.074 mm/% | 品位 /% |      | 回收率 /% |       |
|---------------------|-------|------|--------|-------|
|                     | Cu    | Mo   | Cu     | Mo    |
| 65                  | 4.18  | 2.52 | 62.10  | 75.38 |
| 70                  | 4.11  | 2.45 | 66.45  | 79.66 |
| 75                  | 4.07  | 2.31 | 70.51  | 80.69 |
| 80                  | 4.32  | 2.35 | 75.17  | 82.50 |
| 85                  | 4.45  | 2.35 | 77.76  | 82.62 |

由表5可见，随着磨矿细度的增加，铜、钼的粗选回收率逐渐增加，当磨矿细度达到-0.074 mm 80%后继续增大磨矿细度，钼浮选指标变化较小。试验选择磨矿细度为-0.074 mm 80%。

#### 2.2.3 水玻璃用量试验

水玻璃是浮选常用的分散剂。水玻璃用量在磨矿细度为-0.074 mm 80%，煤油用量90 g/t，MIBC 25 g/t条件下进行。试验结果见表6。

表6 水玻璃用量试验铜钼粗精矿指标

Table 6 Cu-Mo coarse concentrate index on water glass dosage

| 水玻璃用量 /(g·t <sup>-1</sup> ) | Mo 品位 /% | Mo 回收率 /% |
|-----------------------------|----------|-----------|
| 1000                        | 2.30     | 76.85     |
| 2000                        | 2.35     | 82.50     |
| 3000                        | 2.34     | 85.86     |
| 4000                        | 2.21     | 87.25     |
| 5000                        | 2.13     | 88.34     |

由表6可见，随着水玻璃用量的增加，钼粗选回收率逐渐增加，为提高钼粗选回收率，试验

选择水玻璃用量为 5000 g/t。

### 2.2.4 煤油用量试验

煤油是钼浮选常用的捕收剂，煤油用量试验在磨矿细度为 -0.074 mm 80%，水玻璃用量 5000 g/t，MIBC 用量 25 g/t 的条件下进行。试验结果见表 7。

表 7 煤油用量试验铜钼粗精矿指标

Table 7 Cu-Mo coarse concentrate index on water glass dosage

| 水玻璃用量 / (g·t <sup>-1</sup> ) | Mo 品位 / % | Mo 回收率 / % |
|------------------------------|-----------|------------|
| 1000                         | 2.30      | 76.85      |
| 2000                         | 2.35      | 82.50      |
| 3000                         | 2.34      | 85.86      |
| 4000                         | 2.21      | 87.25      |
| 5000                         | 2.13      | 88.34      |

由表 7 可见，随着煤油用量的增加，钼浮选回收率逐渐增加，当煤油用量达到 120 g/t 后继续增大煤油用量，钼粗选回收率变化较小。试验选择煤油用量为 120 g/t。

### 2.3 钼精选试验

由于矿泥对浮选药剂的吸附作用，钼精选时辉钼矿的可浮性下降，浮选速度变慢。为改善钼浮选环境，提高回收率，试验对钼精选作业补加煤油、松醇油及 MIBC 进行了试验对比。试验结果表明，补加煤油会造成钼精选泡沫矿化变差，浮选时间变长，补加松醇油则会大量脉石上浮，精选效果差，补加 MIBC 可有效提高钼浮选速度，减少泥和滑石的上浮。

铜钼混合粗精矿品位低，需要数次精选才能进行铜钼分离。为考查再磨位置对铜钼分离指标的影响，试验对三次精选后的铜钼混合粗精矿进行了铜钼分离前再磨和分离后再磨的试验对比。试验结果表明，铜钼分离后再磨有利于降低铜精矿中钼的损失，铜精矿中钼品位由 1.01% 降到 0.14%，钼损失率由 9.14% 降到 1.14%。

### 2.4 闭路流程试验

在条件试验和开路流程试验的基础上进行了闭路流程试验。闭路流程试验对部分浮选药剂进行适当调整，以减少中矿循环对浮选环境的影响，为减少矿泥对钼精选影响，试验将钼精一和钼精二的中矿集中返回至钼粗选，为减少滑石对钼精选影响，试验将钼精五中矿返回至钼精三，其他中矿采取顺

序返回。试验流程见图 2，试验结果见表 8。

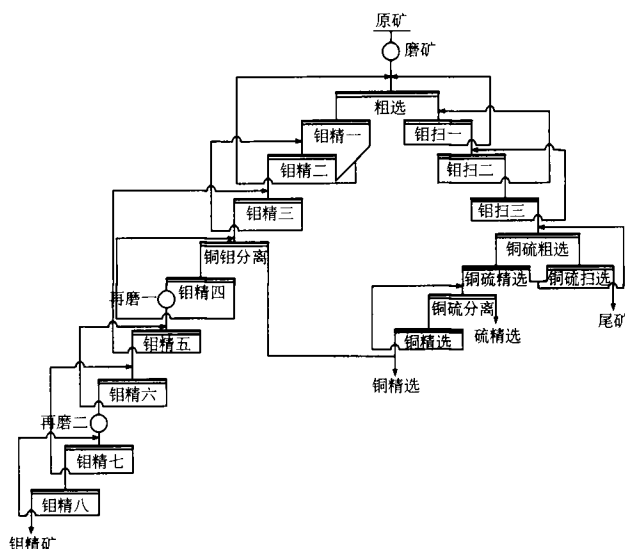


图 2 闭路流程试验流程

Fig. 2 Process of closed circuit

表 8 闭路流程试验结果

Table 8 Index of closed-circuit test

| 产品名称 | 产率 / % | 品位 / % |       |       | 回收率 / % |        |        |
|------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|--------|
|      |        | Mo     | Cu    | S     | Mo      | Cu     | S      |
| 钼精矿  | 0.28   | 47.79  | 0.059 | 26.30 | 87.26   | 0.05   | 1.49   |
| 铜精矿  | 1.35   | 0.25   | 18.31 | 19.60 | 2.18    | 80.39  | 5.34   |
| 硫精矿  | 8.70   | 0.022  | 0.30  | 39.25 | 1.24    | 8.49   | 68.92  |
| 尾矿   | 89.67  | 0.016  | 0.038 | 1.34  | 9.32    | 11.07  | 24.25  |
| 原矿   | 100.00 | 0.154  | 0.31  | 4.96  | 100.00  | 100.00 | 100.00 |

由表 8 可见，采用铜钼等可浮工艺进行闭路流程试验，可获得品位为 47.79%，回收率为 87.26% 的钼精矿，品位为 18.31%，回收率为 80.39% 的铜精矿，品位为 42.80%，回收率为 59.19% 的硫精矿。

## 3 结 论

(1) 安徽某铜钼矿石中金属矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿，脉石矿物主要为白云石、硅镁石、橄榄石、蛇纹石等。矿石中黄铜矿和辉钼矿结晶粒度粗，易泥化的蛇纹石含量高且含有少量滑石，属难选矿。

(2) 采用降低浮选矿浆浓度、使用低粘度的起泡剂 MIBC 和加大水玻璃用量等技术手段可有效改善蛇纹石、滑石对浮选的影响，提高回收指标。采用铜钼等可浮 - 铜钼分离 - 铜硫混合浮选 - 铜硫分离的浮选工艺进行闭路流程试验，最终获

得铜精矿品位为18.31%,回收率为80.39%,钼精矿品位为47.79%,回收率为87.26%,硫精矿品位为39.25%,回收率为68.92%。

### 参考文献:

[1] 马晶, 张文钰, 李枢本. 钼矿选矿 [M]. 北京: 冶金工

业出版社, 2008.

[2] 呼振峰. 西藏某铜钼矿选矿工艺研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2011 (6): 13-16.

[3] 宋磊. 铜钼硫复杂共生矿石选矿新工艺研究 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2012(2): 35-38.

[4] 孟宪瑜. 内蒙某铜钼矿石的选矿工艺研究 [J]. 有色矿冶, 2013(4): 28-30.

## Beneficiation of a Refractory Cu-Mo Ore Containing High-content Slimes in Anhui

Xia Liang, Du Shuhua, Zhu Guoqing, Wu Lei

(Anhui Geological Experiment Institute, Hefei, Anhui, China)

**Abstract:** The Cu-Mo ores from Anhui province were refractory ores due to its high content of easy-to-slime serpentine, and contain talc with small scale. Directed at the ore properties, the floatation scheme of Cu-Mo iso-flotation – Cu-Mo separation – Cu-S bulk flotation – Cu-S separation was determined by means of test, the flotation result of molybdenum could be effectively improve by using techniques such as reducing the flotation slurry concentration, using MIBC with low viscosity as foaming agent, and increasing the dosage of water glass. The excellent separating index was obtained in the closed circuit test as followings: Cu concentrate grade is 18.31% and recovery is 80.39%, Mo concentrate grade is 47.79% and recovery is 87.26%, S concentrate grade is 39.25% and recovery is 68.92%.

**Keywords:** Cu-Mo ore; High content slimes; Serpentine; Cu-Mo iso-flotation

////////////////////////////////////  
(上接 43 页)

## Experimental Research on Column-cell Integration Full Flotation Technology of Titanium in Vanadium Titanium Magnetite

Li Cheng<sup>1</sup>, Wang Weizhi<sup>1,2</sup>, Liu Zewei<sup>1</sup>, Wu Chuntao<sup>3</sup>, Liu Jun<sup>1</sup>

(1.College of Mining and Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China; 2. Mining Development and Safety Technology Key Lab of Hebei Province,Tangshan, Hebei, China; 3.Xinjiang Energy Group Crystal Extension Technology Materials Co.Ltd., Aletai, Xinjiang, China; 4.Chengde Heishan Iron Mine, Hebei Iron Steel Group Mining Co.Ltd., Chengde, Hebei, China)

**Abstract:** In order to improve the separation target, the column-cell integration full flotation technology of titanium is proposed based on the application of the packed micro-bubble countercurrent contacting flotation column in the titanium full flotation process. The column-cell integration full flotation tests for titanium recovery from Heishan's iron separation tailings were carried out. The flotation indexes and flow structure of the column-cell integration full flotation process were determined through the flotation column operating condition tests and the flow tests. The results showed that a final titanium concentrate with TiO<sub>2</sub> grade of 42.05% and TiO<sub>2</sub> recovery of 66.62% was obtained according to the flowsheet of one roughing(using flotation column) and five cleanings(using flotation machine), which realized the comprehensive recovery of titanium in the vanadium-titanium magnetite.

**Keywords:** Vanadium-titanium magnetite; Column-cell integration; Full flotation; Titanium concentrate