

## 福建某锌精矿铜钼综合回收试验研究

周生海

(紫金矿业集团股份有限公司)

**摘要:**福建某锌选矿厂的锌精矿含锌 47.33 %、含铜 1.29 %、含钼 0.49 %，铜、钼一直未得到有效回收。针对该锌精矿，开展再磨脱药—铜钼混合浮选—铜钼分离流程试验研究，铜钼混合浮选采用一粗两扫三精—粗精矿再磨工艺流程，铜钼分离采用一粗一扫四精工艺流程。全流程闭路试验可得到含铜 20.11 %、含金 0.78 g/t、铜回收率 65.9 % 的铜精矿，含钼 39.49 %、含铼 18.28 g/t、钼回收率 93.0 % 的钼精矿，以及含锌 49.53 %、锌回收率 99.0 % 的锌精矿，有效降低了锌精矿中铜、钼杂质含量，同时得到了铜精矿和钼精矿产品，实现了锌、铜、钼的高效分离。

**关键词:**锌精矿；再磨脱药；混合浮选；铜钼分离；综合回收

中图分类号:TD952

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)06-0031-06

doi:10.11792/hj20240607

## 引言

铜、钼是中国战略性矿产资源<sup>[1]</sup>，随着新能源、光伏等领域的高速发展，铜、钼的市场需求持续增加，价格一度攀升至历史高点<sup>[2-3]</sup>。除铜、钼矿床外，硫化铅锌矿床伴生的铜、钼金属也是重要的矿产资源<sup>[4-5]</sup>，伴生铜、钼的回收应得到更多关注。福建某锌选矿厂生产的锌精矿锌品位大于 45 %，但长期质量跟踪结果表明，锌精矿含铜约 1.29 %，含钼约 0.49 %。锌精矿中的铜、钼被用以抵消冶炼工艺能耗增加带来的生产成本<sup>[6]</sup>，并未对二者进行计价，给矿山企业造成一定的经济损失。

为回收锌精矿中伴生的铜、钼，开展再磨脱药—铜钼混合浮选—铜钼分离流程试验研究。实现了从锌精矿中回收铜、钼的目的，为选矿厂工艺改造提供了技术依据，对资源高效利用和提升矿山企业经济效益具有重要意义。

## 1 矿石性质

## 1.1 化学成分分析

试验样品为福建某锌选矿厂锌精矿，细度为 -0.074 mm 占比 67.2 %。试样化学成分分析结果见表 1。

由表 1 可知：锌精矿中含锌 47.33 %，含铜、钼分别为 1.29 %、0.49 %，是主要回收元素；金、铼品位较低，可附带回收。

表 1 试样化学成分分析结果

Table 1 Analysis results of chemical

composition of test samples

%

| 成分 | Cu   | Mo    | Zn               | Pb               | Au <sup>1)</sup>               |
|----|------|-------|------------------|------------------|--------------------------------|
| w  | 1.29 | 0.49  | 47.33            | 0.59             | 0.05                           |
| 成分 | Fe   | S     | Re <sup>2)</sup> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| w  | 9.32 | 31.23 | 0.28             | 3.42             | 1.64                           |

注:1)  $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$ ; 2)  $w(\text{Re})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$ 。

## 1.2 物相分析

试样中铜、钼物相分析结果分别见表 2、表 3。

表 2 铜物相分析结果

Table 2 Analysis results of copper phase

%

| 相别    | w(Cu) | 分布率    |
|-------|-------|--------|
| 原生硫化铜 | 0.93  | 72.09  |
| 次生硫化铜 | 0.33  | 25.58  |
| 氧化铜   | 0.03  | 2.33   |
| 总铜    | 1.29  | 100.00 |

表 3 钼物相分析结果

Table 3 Analysis results of molybdenum phase

%

| 相别  | w(Mo) | 分布率    |
|-----|-------|--------|
| 硫化钼 | 0.486 | 99.18  |
| 氧化钼 | 0.004 | 0.82   |
| 总钼  | 0.490 | 100.00 |

收稿日期:2024-01-11; 修回日期:2024-02-19

基金项目:福建省科技计划项目(2017I1010);厦门市留学人员科研项目(厦人社[2022]205号)

作者简介:周生海(1979—),男,工程师,从事选矿厂管理与实践工作;E-mail:shenghai.zhou@zijinmining.com

由表 2、表 3 可知:试样中铜以原生硫化铜为主,分布率为 72.09 %;钼以硫化钼为主,分布率达到 99.18 %。

1.3 工艺矿物学分析

试样中主要矿物组成分析结果见表 4,铜矿物(包括黄铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、硫砷铜矿)及辉钼矿的解离情况见表 5。

表 4 主要矿物组成分析结果

| Table 4 Analysis results of main mineral composition % |              |       |
|--------------------------------------------------------|--------------|-------|
| 类型                                                     | 矿物名称         | 相对含量  |
| 金属矿物                                                   | 黄铜矿          | 2.80  |
|                                                        | 铜蓝、蓝辉铜矿、硫砷铜矿 | 0.08  |
|                                                        | 辉钼矿          | 0.99  |
|                                                        | 闪锌矿          | 76.62 |
|                                                        | 方铅矿          | 0.92  |
|                                                        | 黄铁矿          | 11.42 |
| 非金属矿物                                                  | 石英、长石、闪石     | 1.96  |
|                                                        | 方解石、白云石      | 0.84  |

表 5 铜矿物及辉钼矿解离情况

| Table 5 Dissociation of copper minerals and molybdenite % |        |        |
|-----------------------------------------------------------|--------|--------|
| 解离情况                                                      | 分布率    |        |
|                                                           | 铜矿物    | 辉钼矿    |
| 完全解离( $x=100\%$ )                                         | 39.23  | 36.82  |
| 富连生体( $80\% \leq x < 100\%$ )                             | 32.49  | 57.20  |
| 中等富连生体( $50\% \leq x < 80\%$ )                            | 10.25  | 3.44   |
| 贫连生体( $x < 50\%$ )                                        | 18.03  | 2.54   |
| 合计                                                        | 100.00 | 100.00 |

注:“x”为目标矿物占复合颗粒的面积比。

由表 4 可知:试样中除闪锌矿(76.62 %)外,金属矿物以黄铁矿为主,相对含量为 11.42 %;铜矿物和辉钼矿的相对含量分别为 2.88 %和 0.99 %;非金属矿物的相对含量较低。

由表 5 可知:试样中铜矿物和辉钼矿的单体解离度均不高,分布率分别为 39.23 %和 36.82 %。未完全解离矿物均主要与闪锌矿连生。

2 试验结果与讨论

在矿石性质分析和前期探索试验的基础上,确认采用铜钼混合浮选—铜钼分离流程开展试验研究。

2.1 铜钼混合浮选试验

含铜钼精矿由抑硫浮钨工艺流程选别产生,矿石表面吸附捕收剂,给铜钼分离带来不利影响。因此,采用磨矿辅以脱药剂深度脱药的方法开展试验研究<sup>[7]</sup>。铜钼混合浮选试验流程见图 1。

2.1.1 磨矿细度试验

工艺矿物学分析结果表明,锌精矿中铜矿物和辉

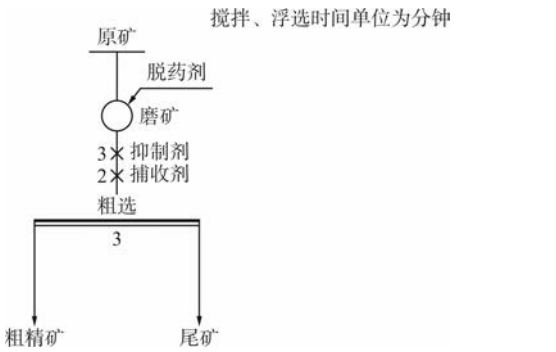


图 1 铜钼混合浮选试验流程

Fig. 1 Flow chart of copper-molybdenum mixed flotation test

钼矿的单体解离度不高,需要提高磨矿细度以进一步解离。在以活性炭+硫化钠(1 000 g/t+1 000 g/t)作脱药剂、硫酸锌+亚硫酸钠(3 000 g/t+3 000 g/t)作抑制剂、Z-200(20 g/t)作捕收剂条件下,开展磨矿细度试验。试验流程见图 1,试验结果见图 2。

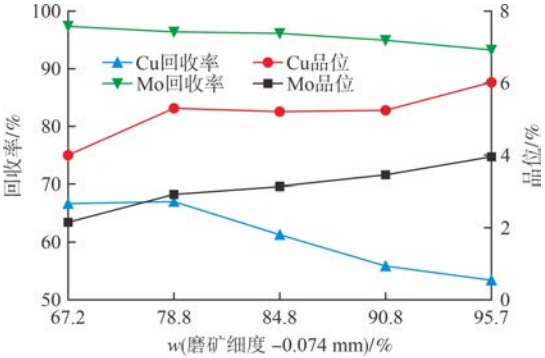


图 2 磨矿细度试验结果

Fig. 2 Test results of grinding fineness

由图 2 可知:磨矿细度对铜回收效果影响较大。磨矿细度提高,粗精矿产率降低,铜回收率呈先增后降趋势,钼回收率下降较小,铜、钼品位均呈升高趋势。综合考虑,确定磨矿细度为 -0.074 mm 占比 78.8 %。

2.1.2 脱药剂用量试验

活性炭具有丰富的微孔结构和较大的比表面积,可有效吸附矿浆中残留药剂<sup>[8]</sup>。活性炭配合硫化钠使用脱药效果更佳,且硫化钠在适当用量下可以降低浮选体系中铜离子的影响<sup>[9-10]</sup>。在磨矿细度 -0.074 mm 占比 78.8 %、硫酸锌+亚硫酸钠(3 000 g/t+3 000 g/t)作抑制剂、Z-200(20 g/t)作捕收剂条件下,开展脱药剂用量试验。试验流程见图 1,试验结果见图 3。

由图 3 可知:活性炭用量的增加对回收铜有一定的负面影响;随着硫化钠用量的增加,粗精矿铜回收率呈先增后降趋势。综合考虑,确定活性炭+硫化钠用量为 1 000 g/t+2 000 g/t。

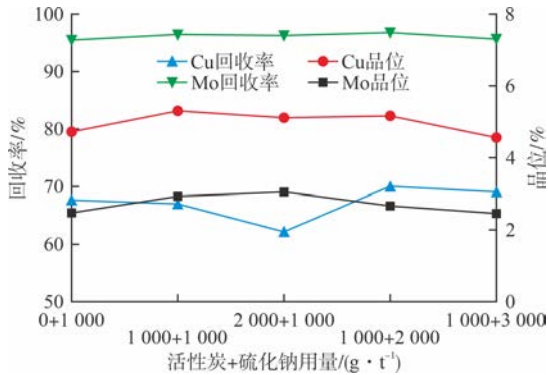


图 3 脱药剂用量试验结果

Fig. 3 Test results of reagent-stripping agent dosage

2.1.3 抑制剂用量试验

硫酸锌 + 亚硫酸钠是常用的锌组合抑制剂。在磨矿细度 -0.074 mm 占比 78.8 %、活性炭 + 硫化钠 (1 000 g/t + 2 000 g/t) 作脱药剂、Z-200 (20 g/t) 作捕收剂条件下,开展抑制剂用量试验。试验流程见图 1,试验结果见图 4。

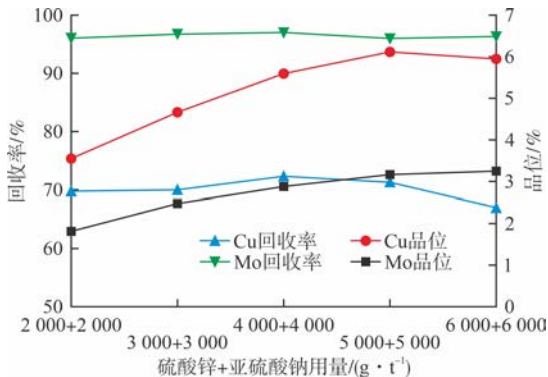


图 4 抑制剂用量试验结果

Fig. 4 Test results of inhibitor dosage

由图 4 可知:随着抑制剂硫酸锌 + 亚硫酸钠用量的增加,粗精矿产率逐渐降低,铜回收率和铜品位均呈先增后降趋势,钼品位逐渐升高。综合分析,硫酸锌 + 亚硫酸钠用量确定为 4 000 g/t + 4 000 g/t。

2.1.4 捕收剂种类及用量试验

在抑锌浮铜时,常采用捕收能力较弱、选择性较好的捕收剂,如短链黄药 (乙基黄药、异丙基黄药等)、黑药类 (丁铵黑药)、硫胺脂类 (Z-200)、硫氮类等<sup>[11]</sup>。在磨矿细度 -0.074 mm 占比 78.8 %、活性炭 + 硫化钠 (1 000 g/t + 2 000 g/t) 作脱药剂、硫酸锌 + 亚硫酸钠 (4 000 g/t + 4 000 g/t) 作抑制剂条件下,开展捕收剂种类及用量试验。试验流程见图 1,试验结果见表 6。

由表 6 可知:随着 Z-200 用量的增加,粗精矿产率逐渐增大,铜回收率先显著提升后降低;乙基黄药用量为 50 g/t 与 Z-200 用量为 20 g/t 和 30 g/t 时的铜回收率相当,但产率偏大,铜品位偏低;Z-200

表 6 捕收剂种类及用量试验结果

Table 6 Test results of collector type and dosage %

| 捕收剂种类<br>及用量/(g · t <sup>-1</sup> ) | 产物  | 产率    | 品位   |       | 回收率   |       |
|-------------------------------------|-----|-------|------|-------|-------|-------|
|                                     |     |       | Cu   | Mo    | Cu    | Mo    |
| Z-200<br>10                         | 粗精矿 | 13.1  | 5.20 | 3.65  | 52.4  | 95.0  |
|                                     | 尾矿  | 86.9  | 0.71 | 0.029 | 47.6  | 5.0   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.30 | 0.50  | 100.0 | 100.0 |
| Z-200<br>20                         | 粗精矿 | 17.4  | 5.31 | 2.75  | 71.8  | 97.0  |
|                                     | 尾矿  | 82.6  | 0.44 | 0.018 | 28.2  | 3.0   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.29 | 0.49  | 100.0 | 100.0 |
| Z-200<br>30                         | 粗精矿 | 20.3  | 4.58 | 2.40  | 72.1  | 97.1  |
|                                     | 尾矿  | 79.7  | 0.45 | 0.018 | 27.9  | 2.9   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.29 | 0.50  | 100.0 | 100.0 |
| 乙基黄药<br>30                          | 粗精矿 | 21.2  | 4.12 | 2.23  | 67.3  | 96.3  |
|                                     | 尾矿  | 78.8  | 0.54 | 0.023 | 32.7  | 3.7   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.30 | 0.49  | 100.0 | 100.0 |
| 乙基黄药<br>50                          | 粗精矿 | 24.3  | 3.86 | 1.94  | 72.4  | 96.3  |
|                                     | 尾矿  | 75.7  | 0.47 | 0.024 | 27.6  | 3.7   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.29 | 0.49  | 100.0 | 100.0 |
| Z200 + 煤油<br>20 + 10                | 粗精矿 | 15.7  | 5.77 | 3.04  | 69.1  | 96.2  |
|                                     | 尾矿  | 84.3  | 0.48 | 0.022 | 30.9  | 3.8   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.31 | 0.49  | 100.0 | 100.0 |
| Z200 + 煤油<br>20 + 20                | 粗精矿 | 14.0  | 4.97 | 3.46  | 54.0  | 96.4  |
|                                     | 尾矿  | 86.0  | 0.69 | 0.021 | 46.0  | 3.6   |
|                                     | 原矿  | 100.0 | 1.29 | 0.50  | 100.0 | 100.0 |

与煤油组合使用时,由于煤油的消泡作用,粗精矿产率有所降低,铜回收率也相应降低。综合考虑,选择 Z-200 作捕收剂,用量为 20 g/t。

2.1.5 粗精矿再磨细度试验

为提升精矿品质,开展一粗两扫三精开路流程粗精矿再磨细度试验。试验流程见图 5,试验结果见表 7。

由表 7 可知:粗精矿再磨可显著提升精矿品质,降低锌损失。当再磨细度 -0.038 mm 占比达到 95.8 % 时,精矿中的钼品位低于中矿 1,原因可能是磨矿细度太细,微细粒辉钼矿没有得到有效上浮。因此,粗精矿再磨细度确定为 -0.038 mm 占比 90.2 %。

2.1.6 铜钼混合浮选闭路试验

在上述试验的基础上,开展铜钼混合浮选闭路试验。试验流程见图 6,试验结果见表 8。

由表 8 可知:采用一粗两扫三精一粗精矿再磨工艺流程,铜钼混合浮选闭路试验可以获得含铜 16.53 %、铜回收率 68.9 %、含钼 8.69 %、钼回收率 97.3 % 的铜钼混合粗精矿,锌精矿中铜、钼品位分别降低至 0.43 % 和 0.014 %,钼品位提升至 49.58 %。

2.2 铜钼分离试验

2.2.1 硫化钠用量试验

硫化钠 (Na<sub>2</sub>S) 是常用的黄铜矿抑制剂,Na<sub>2</sub>S 水

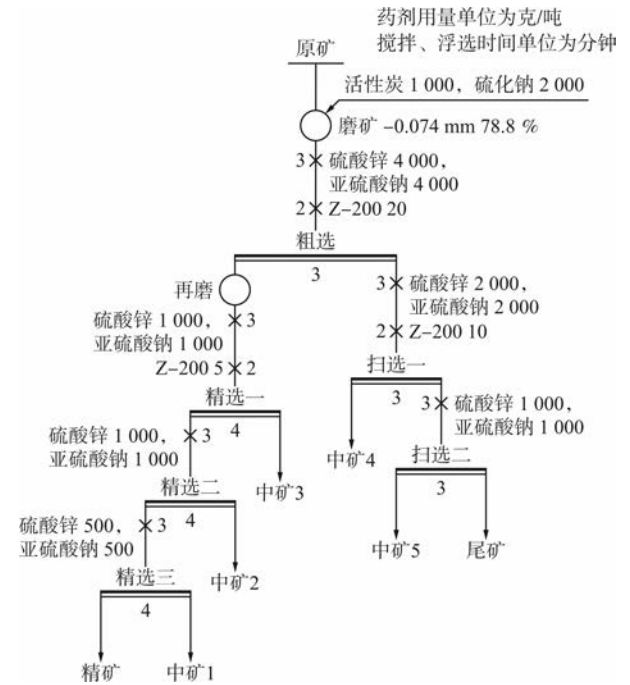


图 5 粗精矿再磨细度试验流程

Fig. 5 Flow chart of roughing concentrate regrinding fineness test

表 7 粗精矿再磨细度试验结果

Table 7 Test results of roughing concentrate regrinding fineness

| w(再磨细度<br>-0.038 mm) |      | 产物    | 产率    | 品位    |       |       | 回收率   |       |    |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
|                      |      |       |       | Cu    | Mo    | Zn    | Cu    | Mo    | Zn |
| 69.7                 | 精矿   | 4.0   | 14.58 | 5.91  | 19.54 | 44.3  | 48.1  | 1.6   |    |
|                      | 中矿 1 | 1.2   | 6.97  | 5.63  | 28.98 | 6.3   | 13.5  | 0.7   |    |
|                      | 中矿 2 | 2.5   | 3.69  | 2.73  | 34.27 | 7.1   | 14.1  | 1.8   |    |
|                      | 中矿 3 | 10.0  | 1.86  | 1.05  | 36.43 | 14.2  | 21.5  | 7.7   |    |
|                      | 中矿 4 | 8.4   | 1.31  | 0.078 | 42.28 | 8.4   | 1.3   | 7.5   |    |
|                      | 中矿 5 | 3.6   | 0.70  | 0.028 | 44.94 | 1.9   | 0.2   | 3.4   |    |
|                      | 尾矿   | 70.3  | 0.33  | 0.008 | 52.16 | 17.8  | 1.2   | 77.3  |    |
|                      | 原矿   | 100.0 | 1.30  | 0.49  | 47.49 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |    |
| 84.7                 | 精矿   | 3.7   | 15.95 | 7.61  | 14.48 | 45.6  | 56.5  | 1.1   |    |
|                      | 中矿 1 | 1.0   | 7.91  | 5.33  | 23.63 | 5.9   | 10.4  | 0.5   |    |
|                      | 中矿 2 | 2.2   | 3.96  | 2.72  | 30.51 | 6.7   | 11.9  | 1.4   |    |
|                      | 中矿 3 | 11.1  | 1.59  | 0.84  | 32.55 | 13.5  | 18.6  | 7.6   |    |
|                      | 中矿 4 | 9.1   | 1.24  | 0.066 | 41.22 | 8.6   | 1.2   | 7.9   |    |
|                      | 中矿 5 | 4.2   | 0.62  | 0.026 | 43.16 | 2.0   | 0.2   | 3.8   |    |
|                      | 尾矿   | 68.7  | 0.32  | 0.009 | 50.89 | 17.7  | 1.2   | 77.7  |    |
|                      | 原矿   | 100.0 | 1.31  | 0.50  | 47.47 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |    |
| 90.2                 | 精矿   | 2.9   | 18.62 | 8.72  | 9.17  | 41.0  | 50.8  | 0.6   |    |
|                      | 中矿 1 | 1.1   | 9.10  | 5.39  | 21.83 | 7.8   | 12.2  | 0.5   |    |
|                      | 中矿 2 | 2.2   | 4.24  | 2.82  | 26.17 | 7.3   | 12.7  | 1.2   |    |
|                      | 中矿 3 | 12.2  | 1.66  | 0.87  | 34.96 | 15.6  | 21.6  | 9.0   |    |
|                      | 中矿 4 | 7.7   | 1.48  | 0.076 | 42.11 | 8.8   | 1.2   | 6.9   |    |
|                      | 中矿 5 | 4.5   | 0.66  | 0.031 | 44.73 | 2.3   | 0.3   | 4.3   |    |
|                      | 尾矿   | 69.4  | 0.32  | 0.008 | 52.89 | 17.2  | 1.2   | 77.5  |    |
|                      | 原矿   | 100.0 | 1.30  | 0.49  | 47.32 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |    |
| 95.8                 | 精矿   | 2.3   | 19.69 | 6.48  | 6.04  | 34.7  | 29.6  | 0.3   |    |
|                      | 中矿 1 | 1.0   | 11.21 | 10.39 | 18.32 | 8.3   | 20.0  | 0.4   |    |
|                      | 中矿 2 | 2.3   | 6.30  | 4.39  | 29.98 | 11.0  | 19.9  | 1.4   |    |
|                      | 中矿 3 | 12.5  | 1.81  | 1.11  | 36.66 | 17.4  | 27.6  | 9.7   |    |
|                      | 中矿 4 | 7.9   | 1.42  | 0.084 | 42.24 | 8.6   | 1.3   | 7.0   |    |
|                      | 中矿 5 | 4.1   | 0.71  | 0.031 | 44.97 | 2.2   | 0.3   | 3.9   |    |
|                      | 尾矿   | 69.9  | 0.33  | 0.010 | 52.21 | 17.8  | 1.3   | 77.3  |    |
|                      | 原矿   | 100.0 | 1.30  | 0.50  | 47.28 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |    |

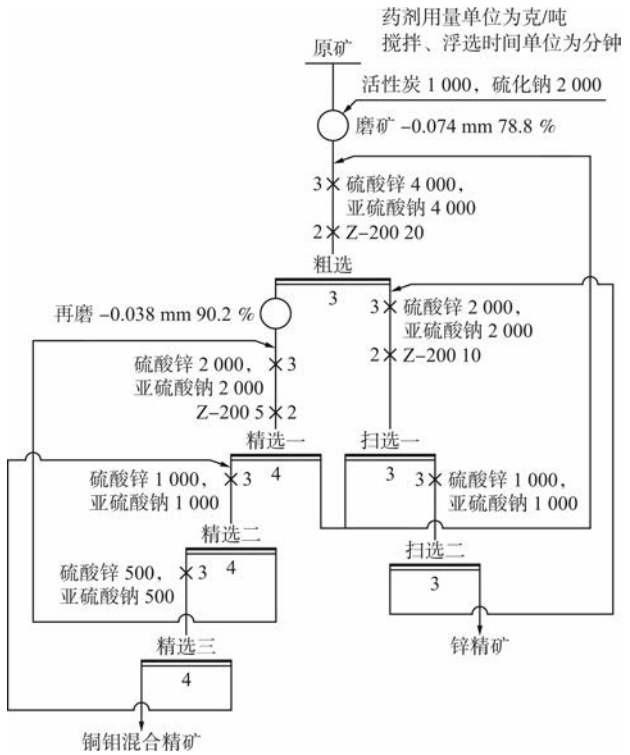


图 6 铜钼混合浮选闭路试验流程

Fig. 6 Closed-circuit test flow chart for copper – molybdenum mixed flotation

表 8 铜钼混合浮选闭路试验结果

Table 8 Closed-circuit test results for copper – molybdenum mixed flotation

| 产物     | 产率    | 品位    |       |       | 回收率   |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |       | Cu    | Mo    | Zn    | Cu    | Mo    | Zn    |
| 铜钼混合精矿 | 5.4   | 16.53 | 8.69  | 8.73  | 68.9  | 97.3  | 1.0   |
| 锌精矿    | 94.6  | 0.43  | 0.014 | 49.58 | 31.1  | 2.7   | 99.0  |
| 原矿     | 100.0 | 1.29  | 0.49  | 47.33 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

解生成的 HS<sup>-</sup>会吸附于黄铜矿表面并形成亲水性薄膜,从而降低其可浮性<sup>[12]</sup>。以铜钼混合精矿为原料,考察硫化钠用量对铜钼分离的影响。试验流程见图 7,试验结果见表 9。

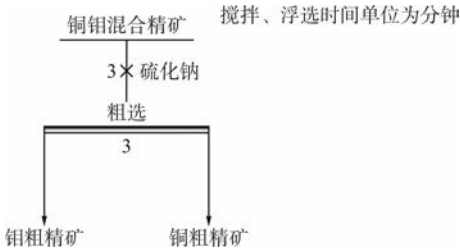


图 7 硫化钠用量试验流程

Fig. 7 Flow chart of sodium sulfide dosage test

由表 9 可知:随着硫化钠用量的增加,钼粗精矿中铜品位显著降低后趋于平缓;且硫化钠用量大于 20 kg/t 会增大钼的损失。因此,硫化钠用量确定为 20 kg/t。

表 9 硫化钠用量试验结果

| Table 9 Test results of sodium sulfide dosage |        | %     |       |       |       |       |  |
|-----------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 硫化钠用量/<br>(kg·t <sup>-1</sup> )               | 产物     | 产率    | 品位    |       | 作业回收率 |       |  |
|                                               |        |       | Cu    | Mo    | Cu    | Mo    |  |
| 10                                            | 钼粗精矿   | 86.0  | 16.80 | 9.62  | 87.3  | 95.5  |  |
|                                               | 铜粗精矿   | 14.0  | 15.02 | 2.79  | 12.7  | 4.5   |  |
|                                               | 铜钼混合精矿 | 100.0 | 16.55 | 8.66  | 100.0 | 100.0 |  |
| 15                                            | 钼粗精矿   | 38.1  | 10.82 | 21.03 | 24.9  | 92.3  |  |
|                                               | 铜粗精矿   | 61.9  | 20.04 | 1.08  | 75.1  | 7.7   |  |
|                                               | 铜钼混合精矿 | 100.0 | 16.50 | 8.68  | 100.0 | 100.0 |  |
| 20                                            | 钼粗精矿   | 31.5  | 5.39  | 25.13 | 10.3  | 91.4  |  |
|                                               | 铜粗精矿   | 68.5  | 21.62 | 1.09  | 89.7  | 8.6   |  |
|                                               | 铜钼混合精矿 | 100.0 | 16.52 | 8.67  | 100.0 | 100.0 |  |
| 25                                            | 钼粗精矿   | 30.1  | 5.33  | 25.44 | 9.7   | 88.5  |  |
|                                               | 铜粗精矿   | 69.9  | 21.33 | 1.42  | 90.3  | 11.5  |  |
|                                               | 铜钼混合精矿 | 100.0 | 16.51 | 8.65  | 100.0 | 100.0 |  |
| 30                                            | 钼粗精矿   | 30.5  | 5.19  | 24.25 | 9.6   | 85.3  |  |
|                                               | 铜粗精矿   | 69.5  | 21.52 | 1.84  | 90.4  | 14.7  |  |
|                                               | 铜钼混合精矿 | 100.0 | 16.54 | 8.67  | 100.0 | 100.0 |  |

2.2.2 闭路试验

在上述开路试验基础上,开展一粗一扫四精的铜钼分离闭路试验。试验流程见图 8,试验结果见表 10。

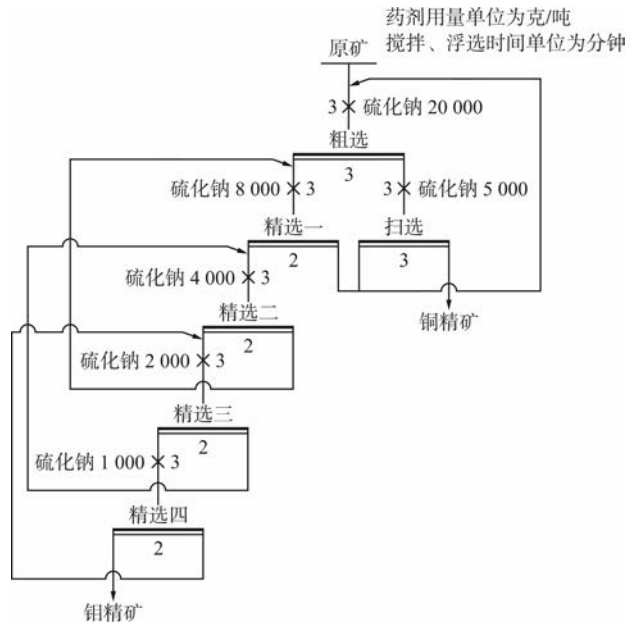


图 8 铜钼分离闭路试验流程

Fig. 8 Closed-circuit test flow chart for copper - molybdenum separation

表 10 铜钼分离闭路试验结果

| Table 10 Closed-circuit test results of copper - molybdenum separation |       | %     |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 产物                                                                     | 产率    | 品位    |       |       | 作业回收率 |       |       |
|                                                                        |       | Cu    | Mo    | Zn    | Cu    | Mo    | Zn    |
| 钼精矿                                                                    | 19.6  | 0.22  | 42.34 | 2.11  | 0.3   | 95.7  | 4.7   |
| 铜精矿                                                                    | 80.4  | 20.49 | 0.46  | 10.36 | 99.7  | 4.3   | 95.3  |
| 原矿                                                                     | 100.0 | 16.52 | 8.67  | 8.74  | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

由表 10 可知:采用一粗一扫四精工艺流程,闭路试验可以获得含钼 42.34 %、钼作业回收率 95.7 % 的钼精矿,以及含铜 20.49 %、铜作业回收率 99.7 % 的铜精矿,实现铜、钼有效分离。

2.3 全流程闭路试验

在上述试验的基础上,开展全流程闭路试验。试验流程见图 9,试验结果见表 11。

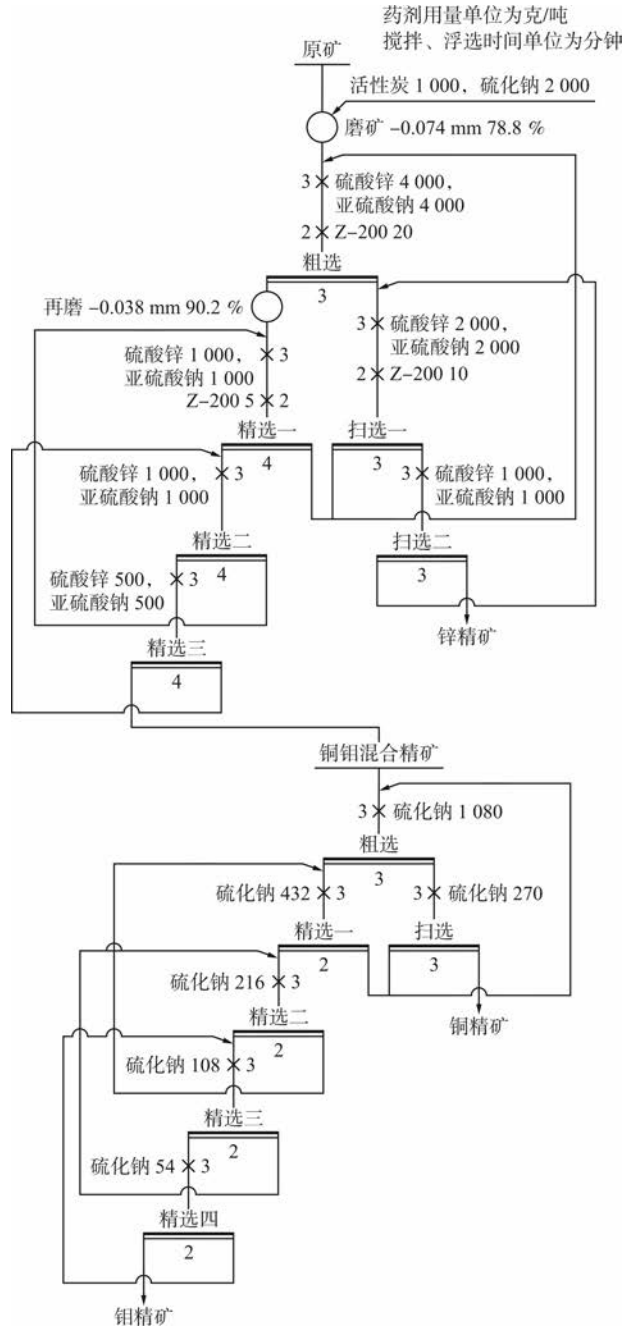


图 9 全流程闭路试验流程

Fig. 9 Flow chart of full-flow closed-circuit test

由表 11 可知:采用一粗两扫三精一粗精矿再磨的铜钼混合浮选工艺,以及一粗一扫四精的铜钼分离工艺,最终可以得到含铜 20.11 %、铜回收率 65.9 %、含金 0.78 g/t 的铜精矿,含钼 39.49 %、钼回收率 93.0 %、含铼 18.28 g/t 的钼精矿,以及含锌 49.53 %、

表 11 全流程闭路试验结果

Table 11 Full-flow closed-circuit test results %

| 产物  | 产率    | 品位    |       |       |                  |                  | 回收率   |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |       | Cu    | Mo    | Zn    | Au <sup>1)</sup> | Re <sup>2)</sup> | Cu    | Mo    | Zn    | Au    | Re    |
| 铜精矿 | 4.2   | 20.11 | 0.51  | 9.89  | 0.78             | 0.23             | 65.9  | 4.3   | 0.9   | 65.7  | 3.5   |
| 钼精矿 | 1.2   | 0.36  | 39.49 | 2.41  | 0.091            | 18.28            | 0.3   | 93.0  | 0.1   | 2.1   | 76.1  |
| 锌精矿 | 94.6  | 0.46  | 0.014 | 49.53 | 0.017            | 0.060            | 33.8  | 2.7   | 99.0  | 32.2  | 20.4  |
| 原矿  | 100.0 | 1.29  | 0.49  | 47.31 | 0.05             | 0.28             | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

注:1) $w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$ ; 2) $w(\text{Re})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$ 。

锌回收率 99.0 % 的锌精矿。

试验不仅降低了锌精矿中铜、钼杂质含量,同时得到了铜精矿和钼精矿,实现了锌、铜、钼的有效分离。

3 结 论

1) 福建某锌精矿含锌 47.33 %, 含铜和钼分别为 1.29 % 和 0.49 %。在工艺矿物学的基础上,开展再磨脱药—铜钼混合浮选—铜钼分离流程试验研究,以提高锌精矿品质,同时回收铜、钼。

2) 铜钼混合浮选试验结果表明,采用一粗两扫三精—粗精矿再磨工艺流程,可以获得含铜 16.53 %、铜回收率 68.9 %、含钼 8.69 %、钼回收率 97.3 % 的铜钼混合精矿,锌精矿中铜、钼品位分别降低至 0.43 % 和 0.014 %, 锌品位提升至 49.58 %。

3) 铜钼分离试验结果表明,采用一粗一扫四精工艺流程,可以获得含钼 42.34 %、钼作业回收率 95.7 %、含铜 0.22 %、含锌 2.11 % 的钼精矿,以及含铜 20.49 %、铜作业回收率 99.7 %、含钼 0.46 %、含锌 10.36 % 的铜精矿。

4) 采用再磨脱药—铜钼混合浮选—铜钼分离工

艺流程,全流程闭路试验最终可以得到含铜 20.11 %、铜回收率 65.9 %、含金 0.78 g/t 的铜精矿,含钼 39.49 %、钼回收率 93.0 %、含铼 18.28 g/t 的钼精矿,以及含锌 49.53 %、锌回收率 99.0 % 的锌精矿,不仅有效降低了锌精矿中铜、钼杂质含量,同时得到了铜精矿和钼精矿,实现了锌、铜、钼的有效分离。

[参 考 文 献]

[1] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2016—2020 年)[M/OL]. (2016—11—15)[2023—12—20]. [https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101\\_2324927.html](https://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101_2324927.html).

[2] 王京,阴秀琦,王寿成,等. 钼期货上市必要性和可行性分析[J]. 矿产勘查,2023,14(10):1 856—1 861.

[3] 张小红. 2023 年铜价与需求预测[J]. 中国有色金属,2023(3):38—39.

[4] 谢峰,黄恩铭,李博,等. 青海某低品位铅锌矿床中伴生铜资源的综合回收工艺[J]. 有色金属(选矿部分),2022(5):92—99.

[5] 杨建文. 综合回收复杂铅锌矿伴生铜资源浮选新工艺试验研究[J]. 湖南有色金属,2008(4):15—20,49.

[6] 于建忠,张康龙. 高铜锌精矿对铅锌冶炼工艺能耗的影响[J]. 中国有色冶金,2012,41(5):23—25.

[7] 范培强,张文杰,童雄,等. 浮选分离铜锌硫化物药剂研究现状及展望[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版),2022,47(6):33—42.

[8] 魏守岩. 铜钼混合精矿残余药剂测量及脱药试验研究[J]. 世界有色金属,2017(14):254—255.

[9] 马敏洁,韩跃新,李慧. 铜钼混合精矿预处理强化铜钼分离研究进展[J]. 矿产保护与利用,2023,43(3):43—50.

[10] 赖桂华. 铜钼混合精矿高效分离试验研究与应用[J]. 黄金,2021,42(3):60—62,67.

[11] 魏德洲. 固体物料分选学[M]. 2 版. 北京:冶金工业出版社,2013:302—308.

[12] 邱廷省,丁声强,张宝红,等. 硫化钠在浮选中的应用技术现状[J]. 有色金属科学与工程,2012,3(6):39—43.

Experimental study on copper – molybdenum comprehensive recovery from a zinc concentrate in Fujian

Zhou Shenghai  
(Zijin Mining Group Co., Ltd.)

**Abstract:** The zinc concentrate of a zinc beneficiation plant in Fujian contains 47.33 % zinc, 1.29 % copper, and 0.49 % molybdenum, with copper and molybdenum not effectively recovered. For this zinc concentrate, experimental research was conducted using a regrinding and agent removal – copper and molybdenum mixed flotation – copper and molybdenum separation process. The copper and molybdenum mixed flotation process employed a roughing stage, two scavenging stages, and three cleaning stages, followed by regrinding of the roughing concentrate, while the copper and molybdenum separation process included a roughing stage, a scavenging stage, and four cleaning stages. The closed-circuit test of the entire process yielded a copper concentrate containing 20.11 % copper and 0.78 g/t gold, with a copper recovery rate of 65.9 %; a molybdenum concentrate containing 39.49 % molybdenum and 18.28 g/t rhenium, with a molybdenum recovery rate of 93.0 %; and a zinc concentrate containing 49.53 % zinc, with a recovery rate of 99.0 %. This effectively reduced the impurities of copper and molybdenum in the zinc concentrate, while obtaining high-quality copper and molybdenum concentrates, achieving efficient separation of zinc, copper, and molybdenum.

**Keywords:** zinc concentrate; regrinding and agent removal; mixed flotation; copper and molybdenum separation; comprehensive recovery