

新疆滴水氧化铜矿物的硫化浮选行为研究

熊堃, 左可胜, 郑贵山

(长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 新疆滴水铜矿主要铜矿物为赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石。本文通过氧化铜矿物硫化反应自由能变计算、滴水铜矿硫化浮选试验、不同浮选时间段粗精矿的 XRD 分析, 以及原矿、赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的浮选速率计算, 考察赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的硫化浮选行为。浮选试验和 XRD 分析结果表明: 滴水铜矿、赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的粗选回收率分别为 71.91%、61.48%、92.90% 和 86.22%; 浮选速率计算结果表明滴水铜矿石、赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的浮选速率常数 k 分别为 0.152、0.104、0.284、0.210。滴水铜矿所含铜矿物以赤铜矿为主, 赤铜矿难硫化、难浮选是造成滴水铜矿浮选回收率低的主要原因。

关键词: 赤铜矿; 孔雀石; 硅孔雀石; 硫化浮选; 浮选速率

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.009

中图分类号: TD 952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 05-0071-06

铜在自然界中主要以硫化铜矿、氧化铜矿形式存在, 从世界范围来看, 30% 的铜是从氧化铜矿中提取的^[1]。氧化铜矿的加工方法包括浮选、湿法冶金和选冶联合工艺, 浮选因其高效、稳定和低成本得以广泛应用。直接浮选和硫化浮选是选别氧化铜矿的两种工艺, 直接浮选采用黄药、羟肟酸、油酸钠等作为捕收剂, 仅对含硅酸盐脉石矿物的孔雀石有较捕收效果。研究表明黄药与氧化铜矿表面反应生成黄原酸铜, 因第一吸附层不牢固造成黄原酸铜松散、脱落, 浮选效果差^[2-3]。众所周知, 黄药浮选硫化铜矿效果很好, 这就让人们想到将氧化铜矿转变为硫化矿后, 再用黄药捕收, 致使硫化浮选成为浮选氧化铜的首选工艺。该方法利用硫化剂将氧化铜矿物预先硫化, 再采用浮选硫化铜的黄药类捕收剂进行浮选^[4]。值得注意的是, 硫化浮选氧化铜矿过程中有一个重要

现象, 粗选时粗精矿回收率很高, 随精选次数和精选时间的增加, 回收率急剧下降, 氧化铜矿因浮选回收率低而难选成为一个公认的事实。有研究表明硫化剂的氧化失效是导致氧化铜矿物浮选回收率下降的主要原因, 采用分段添加硫化剂、黄药等才能获得较好的浮选效果, 但实践证明, 最终的浮选指标改善并不明显^[5-7]。

氧化铜矿复杂的生成过程致使大多数氧化铜矿石具有多种铜矿物共存、高氧化率、高结合率、高含泥量、细粒嵌布不均匀等特点^[8]。氧化铜矿物种类繁多, 孔雀石是典型的氧化铜物之一, 目前主要集中于孔雀石的浮选机理、表面药剂吸附机理及晶体化学研究, 寻求提高孔雀石回收率的方法。但实际氧化铜石都是多种氧化铜矿物共生的, 主要含有孔雀石、赤铜矿和硅孔雀石。本文以滴水铜矿为研究对象, 分析原矿和不同浮选时

收稿日期: 2019-09-12

作者简介: 熊堃 (1975-), 女, 讲师, 博士, 研究方向为有色金属矿浮选理论与工艺。

间段粗精矿中存在的赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的硫化浮选行为, 计算滴水铜矿石、赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的浮选速率, 找出滴水铜矿浮选回收率低的原因。

1 矿样与试验

1.1 矿样与试剂

矿石取自新疆滴水铜矿, 原矿多元素分析结果见表 1, 原矿 X 射线衍射分析结果见表 2。

表 1 原矿多元素分析结果 /%
Table 1 Multi-element analysis of the raw ore

| Cu | Pb | Zn | As | S | Au* | Ag* | Fe | Mn | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|--------------------------------|------------------|
| 1.29 | 0.021 | 0.076 | <0.1 | 0.082 | <0.2 | 11.3 | 2.94 | 0.072 | 19.73 | 3.90 | 9.34 | 43.69 |

* 单位为 g/t。

表 2 原矿 XRD 定量分析结果
Table 2 XRD quantitative analysis of the raw ore

| 矿物名称 | 矿物分子式 | 含量 /% | 矿物名称 | 矿物分子式 | 含量 /% |
|------|---|-------|------|--|-------|
| 石英 | SiO ₂ | 33.72 | 白云母 | KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂ | 7.48 |
| 方解石 | CaCO ₃ | 28.61 | 赤铜矿 | Cu ₂ O | 0.78 |
| 斜长石 | (CaNa)(SiAl) ₄ O ₈ | 10.21 | 孔雀石 | Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂ | 0.66 |
| 硅孔雀石 | Cu _{2-x} Si ₂ O ₃ (OH) _{3-x} H ₂ O | 0.39 | 白云石 | CaMg(CO ₃) ₂ | 9.36 |
| 绿泥石 | (Mg,Fe,Al) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ | 7.79 | 其他 | | 1.00 |

原矿 XRD 分析结果表明, 铜矿物主要含赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石, 含量分别为 0.78%、0.66% 和 0.39%。脉石主要有石英、方解石, 还有白云石、斜长石、绿泥石以及白云母等。

试验所用浮选药剂异戊基黄药、硫酸铵、硫化钠、水玻璃、羧甲基纤维素均为分析纯。

1.2 试验方法

称取矿样 500 g, 磨矿浓度为 65%, 磨至 -0.74 mm 85%, 矿浆置入 1.5 L 挂槽浮选机, 加入活化剂硫酸铵 1000 g/t, 搅拌 3 min, 硫化钠 1000 g/t, 搅拌 3 min, 捕收剂异戊基黄药 800 g/t, 搅拌 3 min, 起泡剂松醇油 80 g/t, 搅拌 1 min, 粗选时间 10 min。在不同浮选时间段 0 ~ 1 min, 1 ~ 3 min, 3 ~ 6 min, 6 ~ 10 min 分别进行人工刮泡, 得到四个不同浮选时间段的粗精矿。将各产品过滤、烘干、称重、制样后进行化验, 计算各粗精矿品位、回收率。

选用 Jade 5.0 软件对各粗精矿的 X 射线衍射图谱进行标定, 物相检索, 在消除晶体取向的条件下, 提取不同浮选时间段粗精矿中赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的 XRD 最大衍射峰强度值, 依据各矿物特征衍射峰最大衍射峰强度值与矿物含量成正比

的关系, 计算不同浮选时间段粗精矿中赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的含量及回收率。

2 结果与讨论

2.1 氧化铜矿物的硫化反应热力学计算

热力学研究在一定条件下化学反应过程的趋势和最终状态, 一个化学反应能够自发进行的必要条件是反应过程的自由能是降低的。滴水铜矿含有赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石, 进行硫化热力学计算, 可从理论上得出赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石得硫化反应吉布斯自由能, 对硫化反应的难易程度进行分析和判断。

根据化学热力学原理, 反应吉布斯自由能的计算如下:

$$\Delta G_T^0 = \sum \Delta G_T^0 (\text{生成物}) - \sum \Delta G_T^0 (\text{反应物}) \quad (1)$$

2.1.1 赤铜矿的硫化反应及自由能变化

硫化钠是最常用的硫化剂, 它是强碱弱酸盐, 硫化钠溶液化学性质研究表明, 不同 pH 值条件下, 硫化钠以不同的硫物种形式存在。当 pH 值 <7.0 和 pH 值 >13.9 时, H₂S 和 S²⁻ 分别为硫物种在溶液中的优势组分; 当 7.0 < pH 值 < 13.9, 主要以 HS⁻ 形式与矿物表面进行作用^[9]。故碱性条件下,

硫化钠在水中的优势组分为 HS⁻，溶液中的 HS⁻ 主要以化学吸附的形式作用于矿物表面，起硫化作用的主要是溶液中的 HS⁻ 离子，它与赤铜矿的化学反应方程式如下：



根据上述反应中各物质的吉布斯自由能，根据公式 1 代入数据，并进行相关计算，得出反应吉布斯自由能变化 ΔG ：

$$\begin{aligned} \Delta G &= (\Delta_f G_m(\text{Cu}_2\text{S}) + \Delta_f G_m(\text{OH}^-) - \Delta_f G_m(\text{Cu}_2\text{O}) - \Delta_f G_m(\text{HS}^-)) \\ &= -70.258 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

2.1.2 孔雀石的硫化反应及自由能变化

孔雀石 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 硫化反应方程式：



根据上述反应中各物质的吉布斯自由能，计算反应吉布斯自由能变化 ΔG ：

$$\begin{aligned} \Delta G &= \frac{1}{2} (2\Delta_f G_m(\text{CuS}) + \Delta_f G_m(\text{H}_2\text{O}) + \Delta_f G_m(\text{CO}_2) + 2\Delta_f G_m(\text{OH}^-) \\ &- \Delta_f G_m(\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2) - 2\Delta_f G_m(\text{HS}^-)) \end{aligned}$$

2.1.3 硅孔雀石的硫化反应及自由能变化

硅孔雀石的结构复杂多变，尚无可靠的热力学数据，但其结构与硅酸铜相似，所以通过硅酸铜 $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的硫化反应分析硅孔雀石的硫化特性，硅酸铜的反应方程式为：



温度为 298.15 K 下，反应吉布斯自由能变化 ΔG ：

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta_f G_m(\text{CuS}) + 2\Delta_f G_m(\text{H}_2\text{O}) + \Delta_f G_m(\text{SiO}_2) - \Delta_f G_m(\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \\ &- \Delta_f G_m(\text{HS}^-) = -108.314 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的硫化反应自由能变化均小于零，表明硫化反应能够自发地进行。但是，自由能变化的大小表明，赤铜矿是比较难硫化的矿物之一。热力学计算数据说明，新疆滴水铜矿氧化铜矿物适合于硫化浮选，但要提高浮选指标，强化硫化是需要采取的措施之一。

2.2 滴水氧化铜矿物的浮选回收率与浮选时间关系

根据滴水铜矿物的可选性试验研究，确定了

滴水氧化铜矿的粗选药剂条件^[10]。即磨矿细度为 -0.074 mm 85%，硫化钠用量 1000 g/t，硫酸铵 1000 g/t，异戊基黄药用量 800 g/t，起泡剂用量 40 g/t，粗选 10 min，得到不同浮选时间段 0 ~ 1 min，1 ~ 3 min，3 ~ 6 min，6 ~ 10 min 的浮选粗精矿，各粗精矿品位及回收率见表 3。

表 3 不同浮选时间段浮选粗精矿的品位及回收率
Table 3 Grade and recovery of rough concentrate with different flotation periods

| 不同时间段精矿 | 产率 /% | Cu 品位 /% | Cu 回收率 /% |
|-------------------|-------|----------|-----------|
| 精矿 1 (0 ~ 1 min) | 3.28 | 10.28 | 26.15 |
| 精矿 2 (1 ~ 3 min) | 4.46 | 7.13 | 24.65 |
| 精矿 3 (3 ~ 6 min) | 4.42 | 4.32 | 14.80 |
| 精矿 4 (6 ~ 10 min) | 4.11 | 1.98 | 6.31 |
| 精矿合计 | 16.27 | 5.70 | 71.91 |

不同浮选时间段粗选试验结果表明，浮选时间段 0 ~ 1 min，精矿品位 10.28%，随着浮选的进行，精矿品位逐渐降低，浮选时间段 6 ~ 10 min，精矿品位下降到 1.98%。对四个不同浮选时间段粗精矿进行合计，可知精矿含铜品位 5.70%，铜回收率 71.91%，可浮选的铜矿物已基本上浮，粗选达到了终点。

为查明滴水氧化矿中赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石在浮选过程中的浮选特性，对不同时间段粗精矿进行 XRD 分析，获得不同浮选时间段粗精矿 XRD 分析图谱，见图 1。

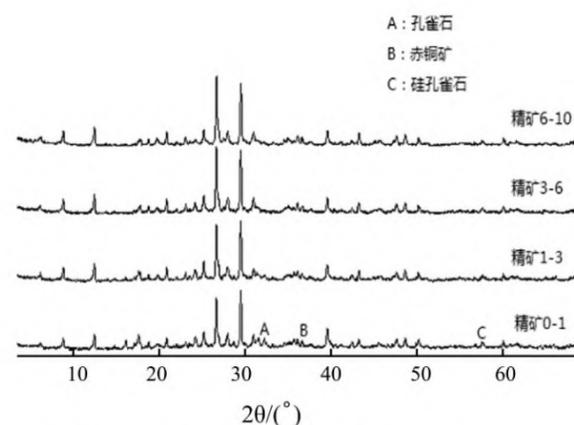


图 1 不同浮选时间段粗精矿 XRD

Fig. 1 XRD of rough concentrate with different flotation periods

从图 1 可以看出，不同浮选时间段粗精矿 XRD 中都含有赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石。由于矿石组成十分复杂，脉石含量高，铜矿物含量低，

XRD 图谱上反映出各种氧化铜矿物吸收峰的变化并不明显。选用 Jade5.0 软件对 X 射线衍射图谱进行标定,物相检索,在消除晶体取向的条件下,依据各矿物特征衍射线的衍射强度值与矿物含量成正比的关系,获取数据计算不同浮选时间段粗精矿中赤铜矿、孔雀石和孔雀石的含量。表 4 是不同浮选时间段粗精矿中各铜矿物的 XRD 最大衍射峰强度值。

根据表 4 计算对应矿物的相对含量,结果见表 5。

表 4 不同浮选时间段粗精矿中铜矿物的 XRD 最大衍射峰强度值

Table 4 XRD intensity value at max diffraction peak of copper minerals with different rough concentrate

| 精矿中的铜矿物名称 | 精矿 0~1 | 精矿 1~3 | 精矿 3~6 | 精矿 6~10 |
|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 孔雀石 | 709 | 692 | 576 | 274 |
| 赤铜矿 | 509 | 457 | 383 | 509 |
| 硅孔雀石 | 441 | 359 | 291 | 383 |
| 合计 | 1659 | 1508 | 1250 | 1166 |

表 5 不同浮选时间段粗铜精矿中铜矿物的相对含量 /%

Table 5 Relative content of copper minerals in different rough concentrate

| 精矿中的铜矿物名称 | 精矿 0~1 | 精矿 1~3 | 精矿 3~6 | 精矿 6~10 |
|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 孔雀石 | 42.74 | 45.89 | 46.08 | 23.50 |
| 赤铜矿 | 30.68 | 30.31 | 30.64 | 43.87 |
| 硅孔雀石 | 26.58 | 23.80 | 23.28 | 32.84 |
| 合计 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

已知孔雀石含铜 57.66%,赤铜矿含铜 88.89%,硅孔雀石含铜 40.63%,将表 5 折算成相对铜含量,结果见表 6。

表 6 不同浮选时间段粗精矿中各铜矿物的相对铜含量 /%

Table 6 Relative copper content of copper minerals in different rough concentrate

| 精矿中的铜矿物名称 | 精矿 0~1 | 精矿 1~3 | 精矿 3~6 | 精矿 6~10 |
|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 孔雀石 | 24.64 | 25.26 | 26.57 | 3.18 |
| 赤铜矿 | 27.27 | 26.93 | 27.23 | 38.99 |
| 硅孔雀石 | 10.8 | 9.67 | 9.46 | 13.34 |
| 合计 | 62.71 | 61.86 | 63.26 | 55.51 |

将表 6 中不同浮选时间段个粗精矿含铜品位按实际化验品位折算后,得表 7 不同浮选时间段粗精矿中各铜矿物的实际含铜品位。

原矿 XRD 定量分析表明原矿中孔雀石含量 0.68%,赤铜矿含量为 0.78%,硅孔雀石含量为 0.39%。根据孔雀石含铜 57.66%,赤铜矿含铜由表 7 可计算出孔雀石、赤铜矿、硅孔雀石在浮选不同时间时的回收率,结果分别见表 8~10。

表 7 不同浮选时间段粗精矿中铜矿物的实际含铜品位 /%

Table 7 Copper grade of copper minerals with different flotation periods

| 精矿中的铜矿物名称 | 精矿 0~1 | 精矿 1~3 | 精矿 3~6 | 精矿 6~10 |
|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 孔雀石 | 4.04 | 2.92 | 1.82 | 0.11 |
| 赤铜矿 | 4.47 | 3.10 | 1.86 | 1.39 |
| 硅孔雀石 | 1.77 | 1.11 | 0.64 | 0.48 |
| 合计 | 10.28 | 7.13 | 4.32 | 1.98 |

表 8 不同浮选时间时孔雀石浮选结果

Table 8 Results of malachite at different flotation time

| 浮选时间 /min | 精矿产率 /% | Cu 品位 /% | Cu 回收率 /% |
|-----------|---------|----------|-----------|
| 1 | 3.28 | 4.04 | 32.32 |
| 3 | 7.74 | 3.39 | 64.08 |
| 6 | 12.16 | 2.82 | 83.70 |
| 10 | 16.27 | 1.38 | 92.90 |

表 9 不同浮选时间时赤铜矿浮选结果

Table 9 Results of cuprite at different flotation time

| 浮选时间 /min | 精矿产率 /% | Cu 品位 /% | Cu 回收率 /% |
|-----------|---------|----------|-----------|
| 1 | 3.28 | 4.47 | 21.25 |
| 3 | 7.74 | 3.68 | 41.29 |
| 6 | 12.16 | 3.02 | 53.20 |
| 10 | 16.27 | 2.61 | 61.48 |

表 10 不同浮选时间时硅孔雀石浮选结果

Table 10 Results of chrysocolla at different flotation time

| 浮选时间 /min | 精矿产率 /% | Cu 品位 /% | Cu 回收率 /% |
|-----------|---------|----------|-----------|
| 1 | 3.28 | 1.77 | 30.56 |
| 3 | 7.74 | 1.39 | 56.62 |
| 6 | 12.16 | 1.12 | 71.51 |
| 10 | 16.27 | 1.01 | 86.22 |

由表 8~10 可知,赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石的粗选回收率分别为 61.48%、92.90% 和 86.22%。滴水氧化铜矿中的孔雀石可浮性高于硅孔雀石,而赤铜矿是最难浮选的氧化铜矿矿物,在相同的浮选时间下,赤铜矿的浮选回收率最低,而滴水氧化铜矿又以赤铜矿为主,所以赤铜矿难浮选是该铜矿难浮选的主要原因。

2.3 滴水氧化铜矿的浮选速率

浮选速率可用如下微分方程式表示，即：

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = k(100 - \varepsilon)^n \quad (5)$$

式中： ε - 精矿中铜的回收率 %； t 浮选时间，分钟； k 选浮选速率常数； n 选指数。

如果 n 为 1，则浮选符合一级速率方程，此时，对上式积分可得：

$$\ln\left(1 - \frac{1}{100}\varepsilon\right) = -kt \quad (6)$$

将表 3、表 8 ~ 10 中的数据按公式 6 作图，并令 $E = -\ln\left(1 - \frac{1}{100}\varepsilon\right)$ ，则 E 与 t 之间应为直线关系。如不呈直线关系，则 n 不等于 1。所作浮选时间与浮选动力学数据 $-\ln\left(1 - \frac{1}{100}\varepsilon\right)$ 与浮选时间的关系图见图 2。

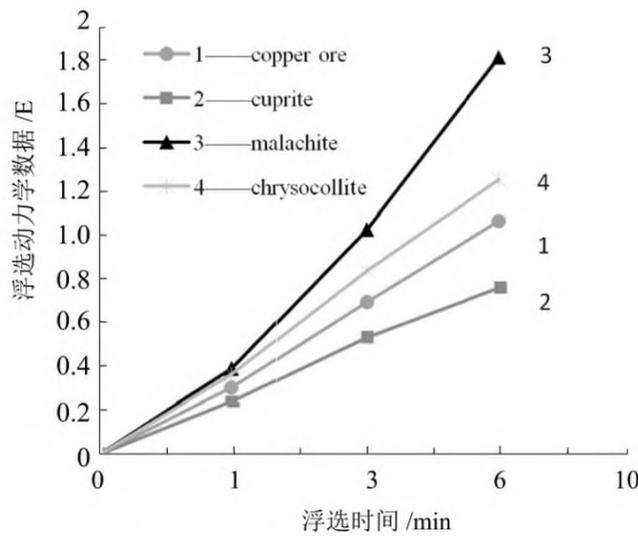


图 2 滴水氧化铜矿物浮选动力学数据 $-\ln\left(1 - \frac{1}{100}\varepsilon\right)$ 与时间 t 的关系图

Fig. 2 Relation between flotation dynamics date and time of copper oxide minerals

由图 2 可知，在浮选时间 6 min 之前，各种氧化铜矿物的浮选符合一级浮选速率方程，混合氧化铜矿、赤铜矿、孔雀石、硅孔雀石的浮选速率常数 k 分别为 0.152、0.104、0.284、0.210，几种氧化铜矿物的浮选动力学方程为：

$$\text{混合氧化铜矿： } \varepsilon = 100(1 - e^{-0.152t}) \quad (7)$$

$$\text{孔雀石： } \varepsilon = 100(1 - e^{-0.284t}) \quad (8)$$

$$\text{硅孔雀石： } \varepsilon = 100(1 - e^{-0.210t}) \quad (9)$$

$$\text{赤铜矿： } \varepsilon = 100(1 - e^{-0.104t}) \quad (10)$$

由此可以看出，滴水铜矿中孔雀石的浮选速率最大，硅孔雀石次之，赤铜矿最小，所以，浮选速率结果证明赤铜矿是比较难浮的氧化铜矿物，而滴水铜矿主要含赤铜矿，因此这是该铜矿难选

的重要原因之一。

3 结 论

新疆滴水铜矿属氧化铜矿，主要铜矿物有赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石。三种氧化铜矿物的硫化反应自由能变表明，赤铜矿难硫化。结合浮选试验和不同浮选时间段粗精矿的 XRD 结果，计算得出滴水铜矿、赤铜矿、孔雀石和硅孔雀石浮选回收率，分别为 71.91%、61.48%、92.90% 和 86.22%。由此计算滴水铜矿和各铜矿物的浮选速率，在浮选时间 6min 范围内，各种铜矿物浮选符合一级浮选动力学方程，滴水铜矿、赤铜矿、孔雀石、硅孔雀石的浮选速率常数 k 分别为 0.152、0.104、0.284、0.210。孔雀石的浮选速率最大，硅孔雀石次之，赤铜矿最小，浮选动力学试验说明赤铜矿是比较难浮的氧化铜矿物。

参考文献：

- [1] 王鹏程, 陈志勇, 曹志明, 等. 氧化铜矿石的选矿技术现状与展望 [J]. 金属矿山, 2016(5): 106-112.
Wang P C, Chen Z Y, Cao Z M, et al. Status and prospect of copper oxide ore dressing technology [J]. Metal Mines, 2016(5): 106-112.
- [2] 张国范, 蒋世鹏, 冯其明, 等. 溶液体系中含锌矿物表面硫化研究 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2017(4): 851-859.
Zhang G F, Jiang S P, Feng Q M, et al. Study on surface vulcanization of zinc containing minerals in solution system [J]. Journal of Central South University: Natural Science edition. 2017(4): 851-859.
- [3] 宋凯伟, 李佳磊, 蔡锦鹏, 等. 典型氧化铜铅锌矿物浮选的表面硫化研究进展 [J]. 化工进展, 2018, 37(9): 3618-3628.
Song K W, Li J L, Cai J P, et al. Progress in surface vulcanization of typical copper oxide mineral flotation [J]. Chemical Industry Progress, 2018, 37(9): 3618-3628.
- [4] 朱阳戈, 陈建华, 柯宝霖, 等. 黄铜矿与孔雀石的电子结构及硫化作用的电化学研究 [J]. 有色金属工程, 2018(4): 95-100.
Zhu Y G, Chen J H, Ke B L, et al. Electrochemical studies on the electronic structure and vulcanization of chalcocite and malachite [J]. Nonferrous Metal Engineering, 2018(4): 95-100.
- [5] 刘殿文, 张文彬, 文书明. 氧化铜矿浮选技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
Liu D W, Zhang W B, W S M. Flotation technology of oxidized copper mine [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [6] 丰奇成, 文书明, 柏少军, 等. 丹新疆泥质难选氧化铜矿浮

选试验研究 [J]. 试矿产综合利用, 2011(3): 21-24.
 Feng Q C, Wen S M, Bai S J, et al. Experimental study on flotation of refractory argillaceous copper ore in Xinjiang [J]. Comprehensive Mineral Utilization, 2011(3) : 21-24.
 [7] 武薇, 童雄. 氧化铜矿的浮选及研究进展 [J]. 矿冶, 2011(2): 5-9.
 Wu W, Tong X. Flotation and research progress of oxidized copper ore [J]. Mining & Metallurgy, 2011(2) : 5-9.
 [8] 汤雁斌. 难选氧化铜矿石选矿综述 [J]. 铜业工程, 2011(5): 10-13.
 Tang Y B. A Review of the mineral processing of refractory

copper oxide ores [J]. Copper Engineering, 2011(5) : 10-13.
 [9] 胡岳华, 邱冠周, 袁诚, 等. 孔雀石/菱锌矿浮选溶液化学研究 [J]. 有色金属, 1996(2): 40-44.
 Hu Y H, Qiu G Z, Yuan C, Wang D Z. et al. Chemical study on the flotation solution of malachite/Calzonite [J]. Nonferrous Metals, 1996(2) : 40-44.
 [10] 熊堃, 文书明, 先永骏. 赤铜矿型氧化铜矿浮选试验研究 [J]. 矿冶, 2011, 20 (3): 26-29.
 Xiong K, Wen S M, Xian Y J. Experimental study on flotation of chalcopyrite oxide copper mine [J]. Mining and metallurgy, 2011, 20 (3) : 26-29

Study on Sulphidization Flotation Characteristics of Copper Oxide Minerals in Dishui, Xinjiang

Xiong Kun, Zuo Kesheng, Zheng Guishan

(College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an Shaanxi, China)

Abstract: The main copper minerals of XinJiang DiShui copper mine are cuprite, malachite and chrysocolla. Sulphidization flotation characteristics of copper oxide minerals were studied by free energy calculation of sulfurization reaction of copper oxide minerals, sulphidization flotataion expeirments, XRD analysis of rough concentrate in different flotation periods and flotation rate calculation of copper ore, cuprite, malachite and chrysocolla. The results of flotation test and XRD analysis show that the rough recovery of copper ore, cuprite, malachite and chrysocolla are 71.91%、61.48%、92.90% and 86.22%, respectively. The flotation rate constants k of copper ore, cuprite, malachite and chrysocolla are 0.152, 0.104, 0.284 and 0.210. Cuprite is the main oxide copper mineral in DiShui copper ore, and the reason for the low flotation recovery of DiShui copper ore is that cuprite is the most difficult oxide copper mineral to sulfide and flotation.

Keywords: Cuprite; Malachite; Chrysocolla; Sulphidization flotation; Flotation rate

////////////////////////////////////
 (上接 109 页)

Determiration of Nickel Phase by ICP-AES

Zhu Lin, Zhao Yuqing, Shi Hua

(Qinghai Application Center of Geological Exploration, Qinghai, Xining, China)

Abstract: The sample was impregnated with nickel sulfate in a neutral solution of ammonium acetate-sodium sulfite, nickel oxide in citric acid, nickel sulfide in saturated bromine water, and nickel silicate was determined in the final residue. Nickel sulfate, nickel oxide, nickel sulfide, and nickel silicate were all measured on an inductively coupled plasma emission spectrometer in 10 % aqueous medium, and the amounts of nickel sulfate, nickel oxide, nickel sulfide, and nickel silicate were calculated respectively. The results show that the permitted limit of the relative deviation between the sum of its components and the total amount analyzed separately does not exceed 10 %, which meets the requirements of the "Geological and Mineral Laboratory Test Quality Management Code"(DZ/T 0130.3 -2006).

Keywords: ICP-AES; Nickel; Phase analysis