

# 内蒙古某含银混合铜矿石选矿试验研究<sup>\*</sup>

周月锁<sup>1</sup>, 周世杰<sup>2</sup>, 高淑玲<sup>2</sup>, 张海峰<sup>1</sup>, 方萍<sup>2</sup>

(1. 包钢勘察测绘研究院, 内蒙古 包头 014010; 2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:** 内蒙古某含银铜矿石, 由于其铜氧化率达 20.16%, 采用常规浮选工艺回收率较低。针对这种情况, 采用优先浮选硫化铜后浮选氧化铜的原则流程, 以丁基黄药与 Z200 质量比为 3:1 的组合捕收剂为硫化铜的捕收剂, 以 Na<sub>2</sub>S 为氧化铜调整剂, 采用丁基黄药与羟肟酸钠混合捕收剂为氧化铜捕收剂。在磨矿细度为 -0.074 mm 占 80% 的条件下进行闭路试验, 硫化铜经 1 次粗选和 2 次扫选, 氧化铜经 1 次粗选 1 次扫选, 所获得的硫化铜和氧化铜粗精矿混合产物经过 4 次精选, 最终可获得铜品位为 19.18%、银品位为 2 308 g/t, 铜回收率为 80.90%、银回收率为 81.03% 的铜精矿产品。

**关键词:** 含银铜矿石; 氧化铜矿; 组合捕收剂; 浮选

**中图分类号:** TD952.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2018)06-0073-04

**DOI:** 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.06.015

## Experimental Research on Processing of a Silver-bearing Copper Ore in Inner Mongolia

ZHOU Yuesuo<sup>1</sup>, ZHOU Shijie<sup>2</sup>, GAO Shuling<sup>2</sup>, ZHANG Haifeng<sup>1</sup>, FANG Ping<sup>2</sup>

(1. Exploration Surveying Institute of Baogang Group, Baotou 014010, China; 2. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** Due to the copper oxidation rate of 20.16%, the low recovery is obtained by the conventional flotation processing of a silver-bearing copper ore in Inner Mongolia. In view of this situation, the principle of preferential flotation of copper sulfide minerals followed by flotation of copper oxide minerals is adopted. The combined collector of butyl xanthate and Z200 with a mass ratio of 3:1 is used for copper sulfide mineral collector, Na<sub>2</sub>S is used for copper oxide minerals regulator, and the mixture of butyl xanthate and Sodium hydroxamic acid is used for copper oxide minerals collector. By the closed-circuit test consisting of one roughing and two scavenging for copper sulfide minerals, of one roughing and one scavenging for copper oxide minerals and of four cleaning for mixing rough concentrate of copper sulfide and copper oxide minerals. The copper concentrate can be obtained with the copper grade of 19.18%, recovery of 80.90%, silver grade 2 308 g/t and its recovery of 81.03%.

**Key words:** silver-bearing copper ore; copper oxide ore; combined collector; flotation

作为不可替代的重要原料,铜金属广泛用于军事、电子电气、通讯、机械制造、建筑材料和交通运输等各个领域,在国民经济发展中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。随着我国铜矿资源的不断开采,富矿及易选矿产资源日益减少,如何对贫、细、杂难选矿产资源进行合理高效利用<sup>[2]</sup>,是亟待解决的重要课题之一。低成本、低毒高效浮选药剂的开发及应用愈发

重要<sup>[3-4]</sup>,对于硫化铜矿石的处理,在国内大多采用单一浮选法<sup>[5-6]</sup>,而氧化铜则需先硫化后采用组合捕收剂予以浮选回收<sup>[7-10]</sup>。本次试验矿样取自内蒙古某矿山,为含银较高的铜矿石,铜元素以硫化铜和氧化铜两种形式赋存,采用先浮选硫化铜后浮选氧化铜的原则工艺流程对矿石进行分选试验,并考察银在铜精矿产品中的富集情况,以达到综合回收

\* 收稿日期:2018-10-23

基金项目:中央高校基本科研业务费项目(N15010100)

作者简介:周月锁(1970-),男,高级工程师,硕士,副院长,研究方向为资源综合利用及矿业环境保护。

通信作者:周世杰(1967-),男,高级工程师,硕士,从事有色金属矿及贵金属选冶理论技术研究。

矿石中有价金属元素的目的。

# 1 矿石性质

矿样的化学成分分析结果见表 1。

| 表 1 矿石化学成分分析结果                             |                  |                                |                                |                  |      |       | /%               |
|--------------------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|-------|------------------|
| Table 1 The chemical constitutions of ores |                  |                                |                                |                  |      |       |                  |
| 成分                                         | Cu               | Pb                             | Zn                             | Ag               | Au   | S     | As               |
| 含量                                         | 1.24             | 0.025                          | 0.086                          | 149              | 0.20 | 0.64  | 0.025            |
| 成分                                         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO   | TiO <sub>2</sub> |
| 含量                                         | 61.81            | 16.19                          | 8.16                           | 4.96             | 1.77 | 0.821 | 0.519            |

注: Au、Ag 的含量单位为 g/t。

从表 1 可以看出, 矿石中的主要化学成分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等, 其次为 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、CaO、Cu、Ag 等, Pb、Zn 等含量很低, 具有回收价值的金属元素主要是铜和银, 因此对铜的回收是本试验研究的重点, 同时考察银在闭路试验产品中的回收情况。

矿石中的主要金属矿物包括黄铜矿、孔雀石、自然铜、蓝铜矿、褐铁矿等, 黄铜矿含量较高, 其次是孔雀石; 主要脉石矿物为石英, 其次为碳酸盐矿物和绿泥石、绢云母等。含银矿物包括银黝铜矿、辉银矿、深红银矿及少量自然银, 且银大部分产于铜矿物中, 而脉石矿物中含银较少。

原矿中铜的化学物相分析结果详见表 2。

| 表 2 原矿铜的化学物相分析结果                                  |      |        | /% |
|---------------------------------------------------|------|--------|----|
| Table 2 Chemical phase analysis results of copper |      |        |    |
| 铜物相                                               | 铜含量  | 分布率    |    |
| 硫化铜                                               | 0.99 | 79.84  |    |
| 氧化铜                                               | 0.25 | 20.16  |    |
| 总 铜                                               | 1.24 | 100.00 |    |

由表 2 可知, 矿石中的硫化铜含量较高, 氧化铜含量为 0.25%, 铜氧化率达 20.16%, 因此在分选试验中应加强对氧化铜的回收, 以提高铜的总回收率。

# 2 试验研究

## 2.1 磨矿细度试验

采用如图 1 所示的试验流程, 改变磨矿细度, 对矿石进行分选试验。硫化铜浮选时, 采用丁基黄药与 Z200 组合捕收剂, 质量比 3 : 1, 用量为 150 g/t, 起泡剂 2<sup>#</sup>油用量为 30 g/t; 氧化铜浮选时, 采用 Na<sub>2</sub>S 为调整剂, 用量为 500 g/t, 采用丁基黄药与羟肟酸钠为组合捕收剂, 用量分别为 40 g/t 与 100 g/t, 起泡剂 2<sup>#</sup>油用量为 15 g/t, 试验结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 随着磨矿细度的提高, 铜粗精矿中铜的回收率呈上升趋势, 铜品位则呈先上升后

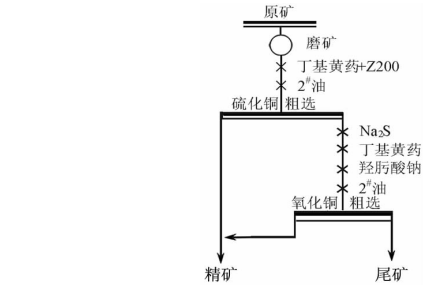


图 1 试验流程  
Fig. 1 Flotation flow sheet

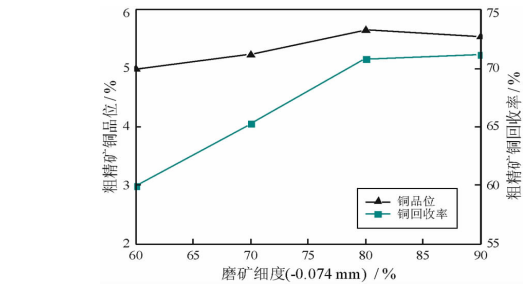


图 2 磨矿细度对铜粗精矿指标的影响  
Fig. 2 The grade and recovery of Cu with grinding sizes

略下降的趋势, 即当磨矿细度提高到 -0.074 mm 含量占 80% 时, 铜品位最高。综合考虑, 确定适宜的磨矿产品细度为 -0.074 mm 含量占 80%。

## 2.2 硫化铜粗选条件试验

### 2.2.1 捕收剂种类试验

根据经验和查阅资料可知, 硫化铜矿物的常用捕收剂为丁基黄药、Z200、丁铵黑药等, 因此在磨矿细度为 -0.074 mm 含量 80% 的条件下, 采用上述捕收剂及其相应组合 (按一定质量比) 对矿石进行浮选试验, 考查不同捕收剂对试验指标的影响, 其中捕收剂总用量均为 150 g/t, 2<sup>#</sup>油用量为 30 g/t, 试验结果如表 3。

| 表 3 捕收剂种类粗选试验精矿指标                                          |       |      |       | /% |
|------------------------------------------------------------|-------|------|-------|----|
| Table 3 Rougher results with different kinds of collectors |       |      |       |    |
| 捕收剂种类                                                      | 产 率   | 铜品位  | 铜回收率  |    |
| Z200                                                       | 7.04  | 8.85 | 50.25 |    |
| 丁铵黑药                                                       | 7.80  | 8.37 | 52.65 |    |
| 丁基黄药                                                       | 8.25  | 8.59 | 57.15 |    |
| 丁基黄药 : Z200 = 4 : 1                                        | 7.88  | 8.61 | 54.72 |    |
| 丁基黄药 : Z200 = 3 : 1                                        | 11.25 | 6.92 | 62.78 |    |
| 丁基黄药 : Z200 = 2 : 1                                        | 10.56 | 7.09 | 60.38 |    |

从表 3 可以看出, 在所采用的 3 种捕收剂中, 当采用 Z200 时获得的铜品位最高, 表明其选择性较好, 而采用丁基黄药时对应的回收率最高, 表明其捕收能力较强。综合品位和回收率两个技术指标, 使

用 Z200 和丁基黄药组合药剂有可能取得理想的技术指标,同时二者也是生产中常用的捕收剂。

从表 3 还能看出,使用 Z200 与丁基黄药的组合捕收剂时,粗精矿中铜的回收率明显提高,当其质量比为 3 : 1 时回收率可达 62. 78%,此时铜品位略低,可通过调整其它条件予以提高。

2.2.2 捕收剂用量试验

在磨矿细度为 -0.074 mm 占 80%、2<sup>#</sup>油用量为 25 g/t、Z200 与丁基黄药的质量比为 3 : 1 条件下,调整组合捕收剂的总用量,取得的试验结果如图 3 所示。

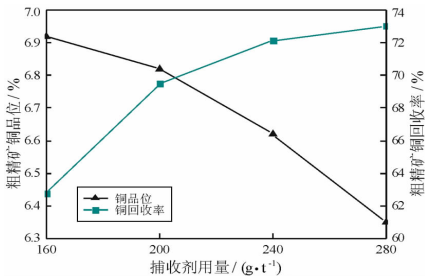


图 3 组合捕收剂用量对浮选指标的影响

Fig.3 Cu grade and recovery with different mass of combination collectors

由图 3 可见,随着组合捕收剂用量的增加,铜精矿中的铜回收率明显提高,而其中的铜品位则不断下降。综合考虑,确定铜粗选时 Z200 与丁基黄药组合捕收剂的总用量为 240 g/t,此时的回收率与铜品位约为 6.65 和 72%。

2.3 氧化铜粗选条件试验

2.3.1 Na<sub>2</sub>S 用量试验

在前述硫化铜粗选试验后进行氧化铜粗选试验。氧化铜粗选的试验条件为:丁基黄药用量 40 g/t,羟肟酸钠用量 80 g/t,2<sup>#</sup>油用量为 15 g/t。考查活化剂 Na<sub>2</sub>S 用量对氧化铜浮选指标的影响,试验结果见图 4。

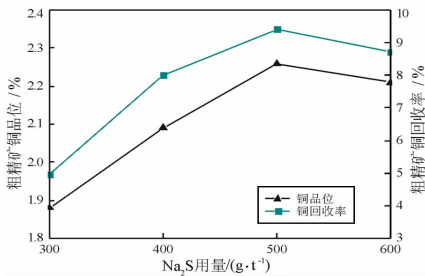


图 4 Na<sub>2</sub>S 用量对浮选指标的影响

Fig.4 The effect of Na<sub>2</sub>S on flotation results

由图 4 可以发现,随着 Na<sub>2</sub>S 用量的增加,氧化铜粗选精矿中铜的回收率和品位均先显著升高而后缓慢下降,当 Na<sub>2</sub>S 用量为 500 g/t 时浮选技术指标最佳,故以此用量作为最佳条件。

2.3.2 羟肟酸钠用量试验

为了确保提高铜的回收率,在 Na<sub>2</sub>S 用量为 500 g/t、2<sup>#</sup>油用量为 15 g/t、丁基黄药用量为 40 g/t 的基础上,调整氧化铜捕收剂羟肟酸钠的用量。试验结果如图 5 所示。

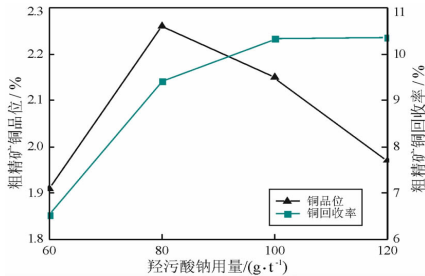


图 5 捕收剂羟肟酸钠用量对浮选指标的影响

Fig.5 The effect of Sodium hydroxyl acid on flotation results

由图 5 可看出,随着羟肟酸钠用量的不断增加,粗精矿中铜的回收率明显上升,而其中的铜品位则先升高而后下降。综合考虑,确定羟肟酸钠的适宜用量为 100 g/t。

2.4 综合条件闭路试验

在上述条件试验和精扫选流程试验的基础上,确定硫化铜浮选流程为 1 粗 4 精 2 扫;氧化铜浮选流程为 1 粗 1 扫,粗选精矿返回到硫化铜 1 次精选中。闭路浮选试验流程见图 6,闭路试验结果如表 4 所示。

|     |        | 表 4 闭路流程试验结果                               |       |      |        |        |        | /% |
|-----|--------|--------------------------------------------|-------|------|--------|--------|--------|----|
|     |        | Table 4 The results of closed circuit test |       |      |        |        |        |    |
| 产 品 | 产 率    | 品 位                                        |       |      | 回 收 率  |        |        |    |
|     |        | Cu                                         | Ag    | Au   | Cu     | Ag     | Au     |    |
| 铜精矿 | 5.23   | 19.18                                      | 2308  | 0.85 | 80.90  | 81.03  | 22.67  |    |
| 尾 矿 | 94.77  | 0.25                                       | 29.82 | 0.16 | 19.10  | 18.97  | 77.33  |    |
| 原 矿 | 100.00 | 1.24                                       | 149.0 | 0.20 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |    |

注: Au、Ag 的含量单位为 g/t。

从表 4 可以看出,对于铜品位为 1.24%、含银 149 g/t 的试样,在磨矿细度为 -0.074 mm 占 80% 的条件下,通过上述闭路浮选流程,可以获得铜品位为 19.18%、银品位为 2 308 g/t,铜回收率为 80.90%、银回收率为 81.03% 的铜精矿产品。

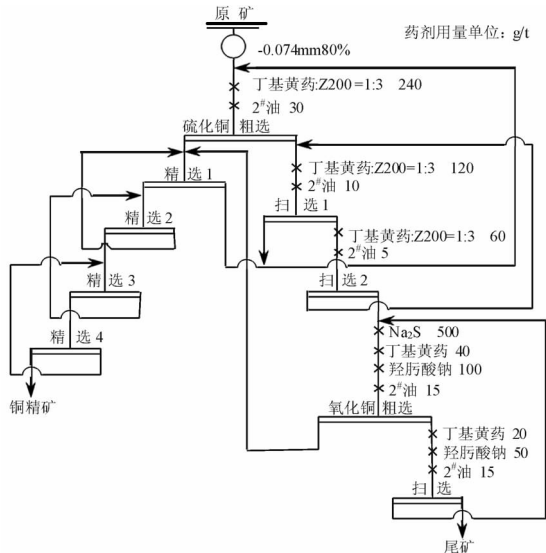


图6 闭路试验流程

Fig. 6 Closed circuit test flow sheet

### 3 结论

(1) 试验矿样中的主要金属矿物为黄铜矿、孔雀石、自然铜、蓝铜矿、褐铁矿等;主要脉石矿物为石英,其次有碳酸盐矿物和绿泥石、绢云母等。含银矿物包括银黝铜矿、辉银矿、深红银矿及少量自然银,银大部分产于铜矿物中,而脉石矿物中含银较少。

(2) 硫化铜浮选时采用 Z200 和丁基黄药为组合捕收剂,氧化铜浮选时采用  $\text{Na}_2\text{S}$  为调整剂、羟胺

酸钠与丁基黄药为组合捕收剂,可使铜矿物得到有效回收。

(3) 该铜矿石在磨矿细度为  $-0.074 \text{ mm}$  占 80% 条件下,采用 1 粗 2 扫浮选硫化铜、采用 1 粗 1 扫浮选氧化铜、合并粗精矿采用 4 次精选闭路试验流程,可以获得铜品位为 19.18%、铜回收率为 95.78%、银品位为 2308 g/t、银回收率为 81.03% 的铜精矿产品,浮选技术指标令人满意。

### 参考文献:

- [1] 胡为柏. 浮选[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.
- [2] 马龙秋,周世杰. 内蒙古某高硫铜铅锌多金属矿浮选试验[J]. 金属矿山,2012(7):71-75.
- [3] 王晓慧,刘厚明,陈晓青. 某多金属矿石选矿试验及新药剂作用机理研究[J]. 金属矿山,2011(10):99-100.
- [4] 杨君臣,费涌出. 我国锡矿资源利用情况及问题[J]. 金属矿山,2004(8):41-46.
- [5] 选矿设计手册编委会. 选矿设计手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2007:81-84.
- [6] 魏德洲. 固体物料分选学:第3版[M]. 北京:冶金工业出版社,2015:428-431.
- [7] 见百熙. 浮选药剂[M]. 北京:冶金工业出版社,1985.
- [8] 邵伟华,杨波,戈保梁. 某铜铁矿厂降低铁精矿含硫的试验研究[J]. 矿冶工程,2006(2):48-49.
- [9] 张文彬. 氧化铜矿浮选研究与实践[M]. 长沙:中南大学出版社,1992.
- [10] 杨秀媛,姜广大. 氧化铜矿的浮选[J]. 有色矿冶,1992(1):15-17.

引用格式:周月锁,周世杰,高淑玲,等. 内蒙古某含银混合铜矿石选矿试验研究[J]. 矿产保护与利用,2018(6):73-76.

ZHOU Yuesuo, ZHOU Shijie, GAO Shuling, et al. Experimental research on processing of a silver-bearing copper ore in Inner Mongolia[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(6):73-76.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)

(上接第 72 页)

### 参考文献:

- [1] 江富建,赵树林. 独山玉文化概论[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2008.
- [2] 北京大学地质学系岩矿教研室编. 光性矿物学[M]. 北京:地质出版社,1979.
- [3] 中国科学院贵阳地球化学研究所编. 矿物 X 射线粉晶鉴定手册[M]. 北京:科学出版社,1978.
- [4] 周剑雄,毛水和. 电子探针分析[M]. 北京:地质出版社,1988.

- [5] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱分析:第2版[M]. 北京:化学工业出版社,2010.5.
- [6] 王小莉. 河南省玉石资源调查与评价报告[R]. 郑州:中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,2015.
- [7] 徐莉,刘长秀,张兴辽,等. 中华人民共和国国家标准 独山玉命名与分类 GB/T 31432—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [8] 郭立韩,韩景仪,罗红宇. 宝石的红外反射光谱及红外光谱鉴定系统[J]. 岩石矿物学杂志,2006(4):349-356.

引用格式:王小莉,郭俊刚,马驰,等. 一种伊利石仿独山玉的宝石学研究[J]. 矿产保护与利用,2018(6):70-72,76.

WANG Xiaoli, GUO Jungang, MA Chi, et al. Study on the gemological characteristics of an illite-imitated Dushan jade[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(6):70-72,76.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)