

哥伦比亚某氰化渣银矿物浮选回收实验

陈水波, 王乾坤, 孙忠梅, 苏妤芸, 徐其红

(低品位难处理黄金资源综合利用国家重点实验室, 紫金矿业集团厦门紫金矿冶技术有限公司, 福建 厦门 361101)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。哥伦比亚某金矿采用 SABC 磨矿—重选—重选尾矿氰化浸出—氰化渣 INCO 法破氰工艺, 磨矿细度-74 μm 80%, 氰化浸出过程银浸出率约 40%, 氰化渣含银 17.6 g/t, 含铜 0.099%。为进一步提高银回收率, 实现资源高效利用, 开展了氰化渣回收银矿物浮选实验研究。结果表明: ①氰化渣中主要硫化矿物为黄铁矿, 主要银矿物为含银黝铜矿、砷黝铜矿, 主要铜矿物为黄铜矿。②银铜矿物共生关系密切, 主要采用浮选回收铜矿物方法回收伴生银矿物; ③采用一粗两扫两精闭路浮选工艺, 可获得银精矿含银 2 150.79 g/t, 含铜 9.63%, 银回收率 74.02%, 铜回收率 58.74%。④氰化渣破氰后进行浮选回收银矿物, 极大提高了整体工艺银回收率并回收了部分铜矿物, 提高了资源利用效率和经济效益。

关键词: 氰化渣; 银矿物; 浮选回收; 银回收率; 矿物加工工程

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.06.012

中图分类号: TD953 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 06-0074-05

引用格式: 陈水波, 王乾坤, 孙忠梅, 等. 哥伦比亚某氰化渣银矿物浮选回收实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(6): 74-78.

CHEN Shuibao, WANG Qiankun, SUN Zhongmei, et al. Flotation recovery tests of silver minerals from a cyanide slag in colombia[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(6): 74-78.

世界上约 18% 的金来自金矿资源的直接氰化浸出, 银与金的关系密切, 常与金共生于金矿石之中, 当采用氰化法回收金时, 银也随之浸出^[1]。但银的氧化还原电位高于金, 银的浸出率一般低于金^[2]。同时, 由于矿石中含有少量铜、铁、硫、砷、锑、碲等矿物, 易消化氰化过程的氧, 或与氰化钠反应, 或在金银表面生成阻碍浸出的薄膜, 进一步恶化了银的浸出^[3]。鉴于此, 为充分回收有用矿物, 提高资源利用率, 本研究拟采用浮选工艺对某氰化渣进行有用矿物回收实验研究, 浮选所得精矿销售至冶炼厂进行火法处理。

1 矿石性质

1.1 主要成分分析

本实验氰化渣来自哥伦比亚某金矿破氰后过滤所得固体, 主要元素分析结果见表 1。

由表 1 可知, 氰化渣中可回收有价元素银、铜其含量分别为 17.60 g/t 和 0.099%。

表 1 氰化渣主要元素分析结果/%

Table 1 Analysis results of the main elements of the ores									
Ag*	Cu	Fe	S	Zn	Pb	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
17.60	0.099	4.26	5.72	0.10	0.06	4.52	3.96	16.18	57.27

*单位为g/t。

1.2 矿物组成及有价元素物相分析

对氰化渣中矿物组成进行分析, 结果表明: 氰化渣中主要硫化矿物为黄铁矿, 少量黄铜矿、闪锌矿、黝铜矿, 微量毒砂、车轮矿; 硅酸盐矿物主要为石英、长石、云母、绿泥石、闪石等; 碳酸盐矿物主要为白云石、铁白云石、方解石、菱铁矿等。

对氰化渣中银、铜的存在形式进行分析, 结果表明:

收稿日期: 2022-02-21

作者简介: 陈水波 (1986-), 男, 工程师, 研究方向为贵金属冶炼与提取。

(1) 氰化渣中银矿物种类较多，分布较为分散，主要以含银锑黝铜矿、砷黝铜矿形式存在，少量的碲金银矿、碲银矿、辉银矿，还有少部分银以不可见银的形式分布在黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等硫化物中。

(2) 氰化渣中铜矿物主要是黄铜矿，少量的锑（砷）黝铜矿，微量铜蓝、辉铜矿。黄铜矿主要有两种嵌布特征：一是呈碎屑状、不规则粒状的解离单体或连生体，第二种呈微细固溶体被闪锌矿包裹，其粒度基本小于 10 μm。

2 实验方案

因氰化渣中银矿物已经过氰化浸出，可浸银已基本浸出完全。且主要银矿物为含银锑黝铜矿、砷黝铜矿，银与铜共生关系密切。因此，实验最终确定方案为采用浮选法回收铜矿物，顺带回收银矿物；然后将浮选所得精矿销售至冶炼厂进行火法处理，充分回收有用矿物

资源。

3 结果与讨论

3.1 捕收剂种类实验

基于工艺矿物学研究结果，主要含银矿物为含银锑（砷）黝铜矿，主要铜矿物为黄铜矿。因此，采用丁基黄药、丁铵黑药、Z-200、丁基黄药+丁铵黑药等作为捕收剂^[4]，固定其用量为 30 g/t，固定起泡剂 2[#]油用量为 20 g/t。实验流程见图 1，实验结果见表 2。

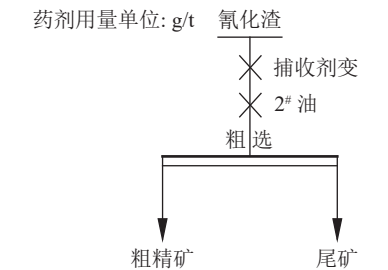


图 1 捕收剂种类实验工艺流程
Fig.1 Flowsheet of flotation collectors

表 2 捕收剂种类实验结果
Table 2 Test results of flotation collectors

实验条件	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			Ag*	Cu	Ag	Cu
Z-200	粗精矿	1.90	620.8	2.68	67.57	49.46
	尾矿	98.10	5.77	0.053	32.43	50.54
	合计	100.00	17.45	0.10	100.00	100.00
丁基黄药	粗精矿	1.79	602.6	2.32	64.16	43.11
	尾矿	98.21	6.14	0.056	35.84	56.89
	合计	100.00	16.83	0.096	100.00	100.00
丁铵黑药	粗精矿	1.11	929.7	4.27	56.79	45.61
	尾矿	98.89	7.94	0.057	43.21	54.39
	合计	100.00	18.17	0.10	100.00	100.00
丁基黄药+ 丁铵黑药	粗精矿	2.00	576.6	2.46	65.56	48.23
	尾矿	98.00	6.19	0.054	34.44	51.77
	合计	100.00	17.62	0.10	100.00	100.00

*单位为g/t。

由表 2 可知，采用 Z-200 作为捕收剂，可获得较高银、铜回收率的粗精矿，且粗精矿银、铜品位较好。因此，确定合适的捕收剂为 Z-200。

3.2 捕收剂用量实验

以 Z-200 作为捕收剂，固定 2[#]油用量为 20 g/t。实验流程参照图 1，实验结果见图 2。

由图 2 可知，当捕收剂 Z-200 用量逐渐提高，粗精矿银、铜品位随之降低，银、铜回收率随之提高。当 Z-200 用量为 40 g/t 时，银、铜回收率提高幅度趋缓。因此，确定合适的捕收剂 Z-200 用量为 40 g/t。

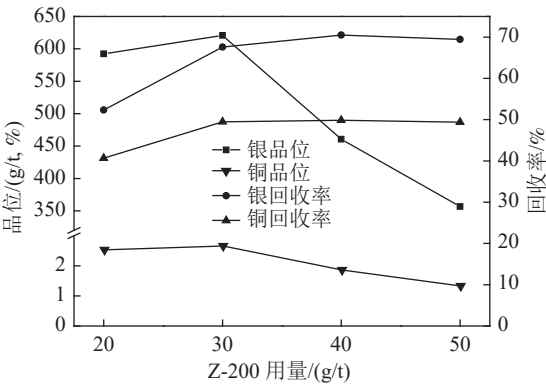


图 2 捕收剂用量实验结果
Fig.2 Test results of flotation collector dosage

3.3 起泡剂实验

油类)、MIBC 浮选实验研究。实验流程参照图 1, 实验结果见表 3。

固定捕收剂 Z-200 用量 40 g/t, 起泡剂用量 20 g/t, 分别开展不同起泡剂 2[#]油、MP10931 (松

表 3 起泡剂实验结果						
Table 3 Test results of flotation frother						
实验条件	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			Ag*	Cu	Ag	Cu
2 [#] 油	粗精矿	2.63	460.6	1.89	70.47	49.85
	尾矿	97.37	5.22	0.051	29.53	50.15
	合计	100.00	17.21	0.10	100.00	100.00
MP10931	粗精矿	3.00	376.8	1.54	67.05	49.85
	尾矿	97.00	5.73	0.048	32.95	50.15
	合计	100.00	16.87	0.093	100.00	100.00
MIBC	粗精矿	2.20	529.8	2.14	68.54	50.06
	尾矿	97.80	5.46	0.048	31.46	49.94
	合计	100.00	16.97	0.094	100.00	100.00

*单位为g/t。

由表 3 可知, 采用 2[#]油作为起泡剂, 获得的银回收率较高, 铜回收率相近, 且粗精矿银、铜品位也较合理。因此, 确定合适的起泡剂为 2[#]油。

3.4 调整剂实验

20 g/t, 分别开展不同调整剂 Na₂CO₃、CuSO₄ 浮选实验研究, 其中 Na₂CO₃ 用量 600 g/t, CuSO₄ 用量 200 g/t。实验流程参照图 1, 实验结果见表 4。

固定捕收剂 Z-200 用量 40 g/t, 起泡剂用量

表 4 调整剂实验结果						
Table 4 Test results of flotation regulators						
实验条件	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			Ag*	Cu	Ag	Cu
空白	粗精矿	2.63	460.6	1.89	70.47	49.85
	尾矿	97.37	5.22	0.051	29.53	50.15
	合计	100.00	17.21	0.10	100.00	100.00
Na ₂ CO ₃	粗精矿	2.82	446.3	1.86	73.43	52.79
	尾矿	97.18	4.68	0.48	26.57	47.21
	合计	100.00	17.12	0.099	100.00	100.00
CuSO ₄	粗精矿	8.96	141.9	0.60	74.10	55.21
	尾矿	91.04	4.88	0.48	25.90	44.79
	合计	100.00	17.15	0.098	100.00	100.00

*单位为g/t。

由表 4 可知, 采用 Na₂CO₃ 作为调整剂, 获得的粗精矿银、铜回收率较高, 主要是因为 Na₂CO₃ 具有分散矿泥, 活化银矿物特性, 从而提高了银、铜回收率^[5]; 采用 CuSO₄ 作为调整剂, 获得的粗精矿银、铜回收率最高, 但是银、铜品位较低, 主要原因是 CuSO₄ 活化了部分黄铁矿, 使得黄铁矿进入粗精矿中, 导致粗精矿产率增大, 品位降低^[6]。

3.5 放置时间实验

固定调整剂 Na₂CO₃ 用量 600 g/t, 捕收剂 Z-200 用量 40 g/t, 起泡剂用量 20 g/t, 氰化渣分别放置 1、3、7 和 12 d, 然后再开展浮选实验, 考查其可浮选。实验流程见图 1, 实验结果见图 3。

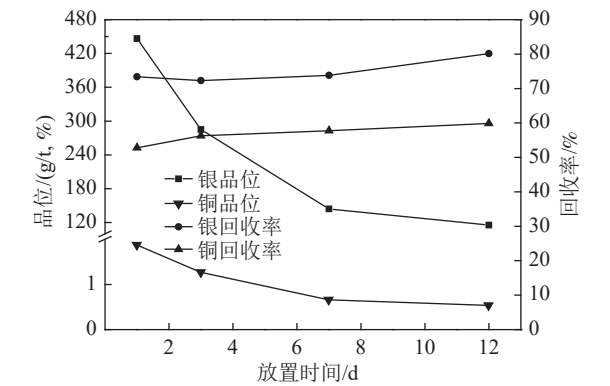


图 3 放置时间实验结果
Fig.3 Test results of residence time

由图 3 可知，随着氰化渣放置时间越长，浮选粗精矿银、铜品位随之降低，银回收率随之提高，铜回收率基本保持不变。主要原因是氰化渣放置时间越长，硫化物表面的金属氰络合物逐渐分解，导致黄铁矿等硫化物表面活性增大，浮选过程进入到粗精矿中，提高了黄铁矿等硫化物包裹银的回收^[7]。综合考虑精矿品位及运输成本，合适的浮选对象为新鲜氰化渣。

3.6 闭路实验

取新鲜氰化渣，采用一粗两精两扫闭路浮选工艺开展全流程闭路实验，实验流程见图 4，实验结果见表 5。

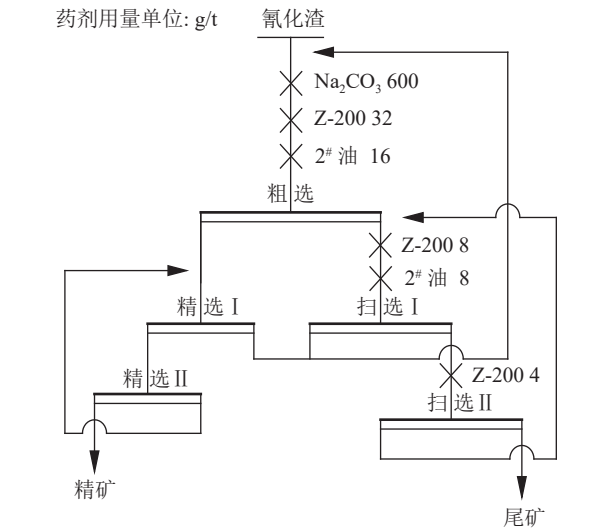


图 4 闭路浮选实验工艺流程
Fig.4 Flowsheet of the closed-circuit flotation test

表 5 闭路实验结果
Table 5 Test results of closed-circuit flotation

产品	产率	品位/%			回收率/%		
		Ag*	Cu	S	Ag	Cu	S
精矿	0.61	2 150.79	9.63	12.46	74.02	58.74	1.07
尾矿	99.39	4.60	0.041	6.99	25.98	41.26	98.93
合计	100.00	17.60	0.099	7.03	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

由表 5 可知，采用一粗两精两扫闭路浮选工艺，可获得精矿含银 2 150.79 g/t，含铜 9.63%，含硫 12.46%，银回收率 74.02%，铜回收率 58.74%，硫回收率 1.07%。氰化渣通过浮选回收银矿物，有效提高了整体银回收率和资源利用率。

4 结 论

(1) 哥伦比亚某氰化渣可回收有价元素银、铜含量分别为 17.6 g/t 和 0.099%。氰化渣中主要硫化矿物为黄铁矿，少量黄铜矿、闪锌矿、黝铜矿，微量毒砂、车轮矿；脉石矿物主要为石英、长石、白云石、铁白云石、方解石等。银矿物种类较多，分布较为分散，主要以含银锑黝铜矿、锑黝铜矿形式存在，少量的碲金银矿、碲银矿、辉银矿，还有少部分银以不可见银的形式分布在

黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等硫化物中。铜矿物主要是黄铜矿，少量的锑（砷）黝铜矿，微量铜蓝、辉铜矿。

(2) 浮选实验条件结果表明，合适的调整剂 Na_2CO_3 用量 600 g/t，捕收剂 Z-200 用量 40 g/t，2#油用量 20 g/t，新鲜的氰化渣有利于提高精矿银、铜品位。

(3) 采用一粗两精两扫闭路浮选工艺，可获得精矿含银 2 150.79 g/t，含铜 9.63%，含硫 12.46%，银回收率 74.02%，铜回收率 58.74%，硫回收率 1.07%。氰化渣通过浮选回收有用矿物，不仅提高了银综合回收率，也极大提高了资源利用效率。

参考文献：

[1] 迈克 D. 亚当斯. 金矿处理技术-项目开发与运营[M].

Elsevier, 2016(1): 25-30.

ADAMS M D. Gold ore processing-project development and operations[M]. Elsevier, 2016(1): 25-30.

[2] 丘世澄, 邱显扬, 胡真, 等. 某金银矿石浮选—氰化联合流程选矿实验[J]. 金属矿山, 2019(11):98-103.

QIU S C, QIU X Y, HU Z, et al. Tests of flotation and cyanidation united process for one gold and silver ore[J]. Metal Mine, 2019(11):98-103.

[3] 刘静宇. 某金矿重选尾矿回收金、铜的工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2020(1):112-115.

LIU J Y. Recovery of gold and copper from tailings of gravity separation in a gold ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):112-115.

[4] 祁磊, 席欣月, 蔡鑫, 等. 北衙硫化矿选厂尾矿中金银铁综合回收实验研究[J]. 矿产综合利用, 2021(4):182-187.

QI L, XI X Y, CAI X, et al. Experimental research on comprehensive recovery of gold, silver and iron intailings of beiya sulfide ore concentrator[J]. Multipurpose Utilization of

Mineral Resources, 2021(4):182-187.

[5] 刘建兵. 新疆某银矿选矿实验[J]. 矿产综合利用, 2016(2):22-25.

LIU J B. Experimental research on mineral processing technology for a silver ore in Xinjiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2016(2):22-25.

[6] 杨俊龙, 郭艳华, 郭海宁, 等. 冶炼废弃渣综合回收金银新工艺实验研究[J]. 矿产综合利用, 2021(5):172-176.

YANG J L, GUO Y H, GUO H N, et al. Experimental study on new comprehensive recovery technology of gold and silver from smelting waste residue[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):172-176.

[7] 袁嘉声, 畅永锋, 郑春龙, 等. 氰化尾渣脱氰技术综述[J]. 中国有色金属学报, 2021(6):1568-1581.

YAN J S, CHANG Y F, ZHENG C L, et al. Review on cyanide removal technology of cyanide tailings[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021(6):1568-1581.

Flotation Recovery Tests of Silver Minerals from a Cyanide Slag in Colombia

CHEN Shuibo, WANG Qiankun, SUN Zhongmei, SU Yuyun, XU Qihong

(State Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Low-grade Refractory Cold Ores, Zijin Mining Group Xiamen Zijin Mining and Metallurgy Technology Co., Ltd., Xiamen 361101, Fujian, China)

Abstract: This is an article in the field of mineral processing engineering. The process of “SABC grinding – gravity separation – cyanidation leaching – INCO detoxification” were conducted on the gold ore in Colombia. The grinding fineness was 80% passing 74 μm . However, the leaching rate of silver is about 40% with silver and copper grades of 17.6 g/t and 0.099% in leaching tailings, respectively. Flotation tests were performed on the leaching tailings to recover the silver and copper to improve the total recovery, and improve the utilization efficiency of metal resources. It is revealed from the tests results that ①The sulfide minerals in the leaching tailings are mainly pyrite, the silver-bearing minerals are mainly antimony tetrahedrite and arsenite tetrahedrite. And the copper minerals are mainly chalcopyrite. ②The silver and copper were in a intimated correlation, which means that it can be used the copper flotation process to recover the associated silver minerals. ③ It is revealed that a flotation concentrate containing 2 150.79 g/t silver and 9.63% copper which corresponded to a recovery of 74.02% for silver and 58.74% for copper can be obtained by using the closed-circuit flotation process of one-stage roughing, two-stage cleaning and two-stage scavenging. ④ It is beneficial to use flotation process to recover silver and copper in leaching tailings of Colombia ores, which improves the total recovery of silver and the resource utilization efficiency.

Keywords: Leaching tailings; Silver minerals; Flotation process; Silver recovery; Mining processing engineering