纳米比亚某含银硫化铜矿选矿试验研究

张益玮,周喜军,阮 娟,刘援军 (江苏省有色金属华东地质勘查局,南京 210007)

摘 要: 纳米比亚 Karas 矿区罗雷铜矿区的原生矿铜主要以黄铜矿、斑铜矿等硫化铜矿物形式存在,银分别以银黝铜矿为主的独立银矿物和以黄铜矿为载体的载体银矿物形式存在,铜、银品位分别为0.60%和3.03 g/t。浮选试验结果表明,矿样适当细磨至-0.074 mm 占80%,以石灰做调整剂,Z200做捕收剂,在矿浆 pH 值为8的条件下,可获得铜品位22.3%,银品位61.8 g/t 的含银铜精矿,铜、银回收率分别为90.6%和51.8%。

关键词:有色金属冶金;浮选;硫化铜矿;银;回收率

中图分类号: TD925.7 文献标识码: A 文章编号: 1004-0676(2022)03-0035-05

Experimental study on beneficiation of a silver-bearing copper sulfide ore in Namibia

ZHANG Yi-wei, ZHOU Xi-jun, RUAN Juan, LIU Yuan-jun (East China Mineral Exploration and Development Bureau, Nanjing 210007, China)

Abstract: The primary copper ore in Roray copper mine area of Karas mining area in Namibia mainly exists in the form of copper sulfide minerals such as chalcopyrite and bornite. Silver exists in the form of independent silver minerals dominated by silver tetrahedrite and carrier silver minerals supported by chalcopyrite. The grades of copper and silver are 0.60% and 3.03 g/t, respectively. The flotation test results show that the silver-containing copper concentrate contains 22.3% of copper and 61.8 g/t of silver when the ore sample is properly ground to -0.074mm, accounting for 80%, using lime as the regulator and Z200 as a collector, under the condition of pulp pH 8, and that the recovery rates of copper and silver are 90.6% and 51.8%, respectively.

Key words: nonferrous metallurgy; flotation; copper sulphide ore; silver; recovery rate

纳米比亚罗什皮纳地区成矿地质条件优越,已 发现罗雷铜矿、斯克皮铅锌矿、罗什皮纳铅铜矿及 海伯超大型铜矿床等多处矿点,是纳米比亚重要的 铜矿产地之一。其中的罗雷铜矿和海伯铜矿具有明 显的斑岩型成矿特征,适合于大规模、机械化开采 利用^[1]。

以罗雷铜矿为例,矿区矿石类型有两种:一种为氧化矿石,矿石矿物以孔雀石、蓝铜矿为主,含有少量的黄铁矿、针铁矿、褐铁矿,局部含有辉钼矿,呈薄膜状、微细脉状产在花岗闪长岩体及少量石英脉的裂隙内,主要分布于近地表 0~1 m 范围内;

另一种为原生矿石,分布于所有钻孔及地表局部地段,矿石矿物主要为黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、黄铁矿、辉钼矿及少量的磁铁矿,呈微细粒状、浸染状、团块状、细脉浸染状存在于花岗闪长岩体及花岗岩体内^[2]。

对于伴生银的硫化铜矿,由于硫化矿的天然可浮性较好,因此普遍采用浮选法回收。在浮选流程结构选择上包括混合浮选^[3]和优先浮选^[4]两种。罗雷铜矿的原生矿石具有更高的工业利用价值,考虑到矿石中铜是最主要的有价元素,各工艺参数应尽可能满足铜的回收条件。

收稿日期: 2022-01-22

基金项目: 财政部、国土资源部国外矿产资源风险勘查专项"纳米比亚 KARAS 地区 EPL4234 矿权区铜矿详查"(201211BO1000115)

第一作者: 张益玮, 男, 硕士, 工程师。研究方向: 境外矿权管理与开发可行性研究。E-mail: zzdzyw@foxmail.com

本研究采用更有利于获得合格铜精矿的优先浮选流程。在浮选过程中,各工艺参数在保证铜高效回收的同时,也需密切关注伴生银矿物的富集趋势,尽可能实现银资源的综合利用[5-6],为开发相关矿产资源提供借鉴。

1 实验

1.1 矿石性质

试验用矿石取自纳米比亚 Karas 矿区罗雷铜矿,主要元素分析结果见表 1,铜物相分析结果列于表 2,银元素进行了赋存状态查定结果见表 3。

表 1 矿石主要元素分析结果

Tab.1 Analysis results of main elements of ore

元素	Cu	Ag	S	TFe
含量	0.6%	3.03 g/t	0.9%	10.6%
元素	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO
含量	17.5%	55.1%	3.6%	2.7%

表 2 铜物相分析结果

Tab.2 Copper phase analysis results

相别	原生 硫化铜	次生 硫化铜	自由 氧化铜	结合 氧化铜	总计
品位/%	0.4	0.1	0.03	0.04	0.57
分布率/%	70.0	18.3	5.7	6.0	100

表 3 银赋存状态查定结果

Tab.3 Determination results of occurrence state of silver

矿物	独立银矿物	黄铜矿	黄铁矿	其它脉石矿物
分配率/%	32.1	18.1	5.7	44.1

由表 1 可见,原矿含铜 0.60%,按照国内铜矿床的最低开采品位要求,已经达到了铜矿床的开采标准。此外含银 3.03 g/t,也达到了铜矿床共伴生元素的综合利用要求,是典型的伴生银的铜矿床。

由表 2 可见,罗雷铜矿中的铜主要以硫化铜形式存在,占有率达到了 88%。经镜下鉴定发现,铜矿物主要为黄铜矿,其次为斑铜矿,两者的回收优劣直接决定了铜回收效率。

表 3 数据显示,矿石中存在以银黝铜矿为主的独立银矿物,分配率占 32%;此外以黄铜矿为载体的银分配率为 18%,两者将是本矿石中银的主要回收对象。

1.2 实验设备和方法

实际矿石矿样取自纳米比亚 Karas 矿区罗雷铜矿。用 XMQ-240 X 90 锥型球磨机磨矿, XFD 系列单槽和 XFG 系列挂槽浮选机浮选。试验用水为自来水。单元试样重 500 g, 磨矿浓度 50%, 粗选浮选槽 1.5 L。浮选泡沫产品和槽内产品分别过滤、烘干后称重,送化验分析,根据分析结果计算回收率。

2 结果与讨论

2.1 磨矿细度的选择

首先考察了磨矿细度对铜、银回收的影响,采用一粗、一扫流程,粗扫选精矿合并化验,药剂制度为调整剂石灰用量为 4000 g/t,捕收剂丁基黄药用量为 100 g/t,起泡剂 2 号油用量为 40 g/t,结果如图 1 所示。

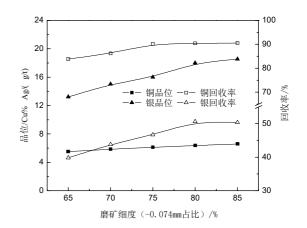


图 1 磨矿细度的选择试验结果

Fig.1 Selection test results of grinding fineness

结果表明,随着磨矿细度的增加,铜、银回收率均增加明显。在磨矿细度为-0.074 mm 占 75%时,铜回收率已经达到了稳定值;但对于银矿物,当磨矿细度进一步提高至-0.074 mm 占 80%时,银收率才达到稳定值。这主要是由于部分独立银矿物在适当加大磨矿细度后,可以进一步与脉石解离,显示出自身的浮选行为特征。综合考虑铜、银的回收,选择磨矿细度为-0.074 mm 占 80%^[7-8]。

2.2 调整剂种类的选择及用量

在浮选前,通常需要加入调整剂调节矿浆 pH 值,常用的矿浆 pH 值调整剂包括石灰和碳酸钠两种^[9]。为了对比两种调整剂,进行了石灰和碳酸钠的用量对比试验,试验流程采用一粗一扫的流程结构,粗扫选精矿合并化验,药剂制度如下:磨矿细

度为-0.074 mm 占 80%,加入调整剂,捕收剂选择丁基黄药,用量为 $100 \, \text{g/t}$,起泡剂选择 $2 \, \text{号油}$,用量为 $40 \, \text{g/t}$,结果如图 $2 \, \text{所示}$ 。

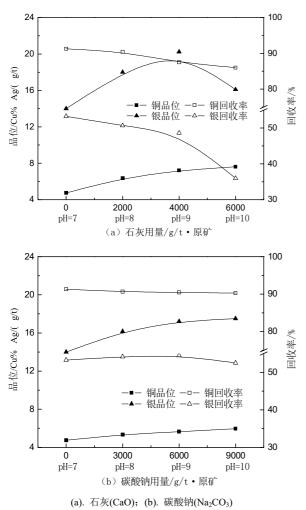


图 2 调整剂种类及用量试验结果

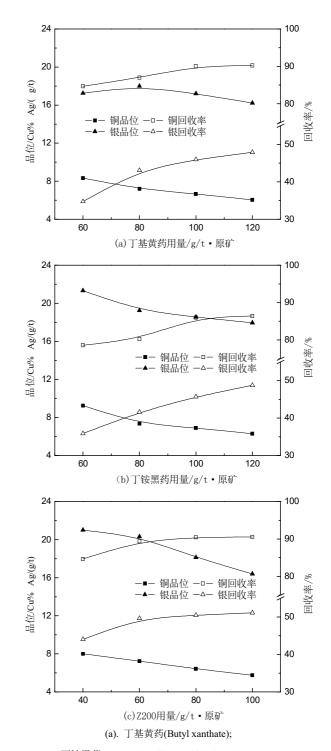
Fig.2 Selection of regulator type and dosage test results

图 2 结果表明,无论采用何种调整剂,在矿浆 pH 值为 8 左右时,铜和银回收率分别可以达到 90% 和 50%左右;采用石灰做调整剂时,铜、银品位均明显高于碳酸钠捕收剂。这主要是由于石灰不仅有可以调节矿浆 pH 值的作用,而且可以有效抑制以黄铁矿为主的硫矿物,更有利于获得品质较好的铜精矿。但随着石灰用量增加,银回收率明显降低,这主要是由于石灰过量会抑制含银矿物[10]。综合考虑,石灰用量为 2000 g/t。

2.3 捕收剂种类的选择及用量

对于硫化铜矿物,常用的浮选捕收剂包括黄药类、黑药类和酯类。为了便于对比,分别选择丁基黄药、丁铵黑药和 Z200 做捕收剂[11],考察对铜浮

选回收的影响。采用一粗、一扫,粗扫选精矿合并化验,药剂制度为磨矿细度-0.074 mm 占 80%,石灰用量为 2000 g/t; 进行丁基黄药用量试验时,起泡剂 2 号油用量为 40 g/t; 进行丁铵黑药和 Z200 用量试验时,不加入起泡剂。浮选试验结果如图 3 所示。



(b). 丁铵黑药(Ammonium dibutyl dithiophosphate); (c). Z200

图 3 捕收剂种类及用量试验结果

Fig.3 Selection of collector types and dosage test results

图 3 结果表明,对于铜,采用丁基黄药和 Z200 做捕收剂时,铜回收率均可达到 90%左右,明显高于丁铵黑药;对于银,采用 Z200 做捕收剂时,银回收率可以达到 50%以上,明显高于丁基黄药[12]。综合考虑,选择对铜、银回收均较好的 Z200 做捕收剂,用量为 80 g/t。

2.4 全流程闭路试验

在上述条件试验基础上,确定的全工艺闭路流程如图 4 所示,试验结果列于表 4。结果表明,可以获得铜品位 22.3%、银品位 61.8 g/t 的含银铜精矿,铜、银回收率分别为 90.6%、51.8%,实现了矿石中铜、银资源的综合利用。

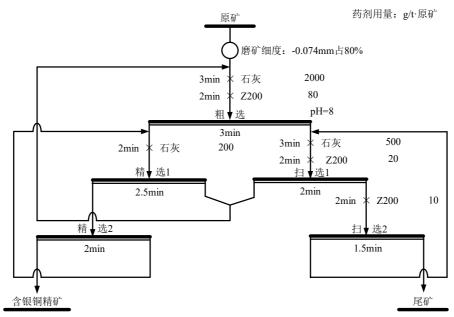


图 4 全工艺流程闭路试验

Fig.4 Closed circuit test of the whole process flow

表 4 全工艺流程闭路试验结果

Tab.4 Closed circuit test results of the whole process

立旦夕む	产率/%-	品位		回收率/%	
)吅石你		Cu/%	Ag/(g/t)	Cu	Ag
含银铜精矿	2.5	22.3	61.8	90.6	51.8
尾矿	97.5	0.06	1.5	9.4	48.2
原矿	100	0.6	3.0	100	100

3 结论

- 1) 纳米比亚 Karas 矿区罗雷铜矿的原生矿石铜品位为 0.60%,银品位为 3.03 g/t,其中铜主要以黄铜矿、斑铜矿等硫化铜矿物形式存在,银分别以银黝铜矿为主的独立银矿物和以黄铜矿为载体的载体银矿物形式存在。
- 2) 适当增加磨矿细度至-0.074 mm 占 80%,可以使部分微细粒嵌布的独立银矿物进一步解离并加以回收。
- 3) 调整剂石灰不仅可以调节矿浆 pH 值,还可以有效抑制黄铁矿,但石灰添加过量后抑制含银矿

- 物;与丁基黄药和丁铵黑药相比,Z200不仅铜回收率可以达到90%,而且银回收率也最高,可以达到50%,捕收效果最佳。
- 4) 采用优化条件进行全工艺流程闭路试验,获得了铜品位 22.3%、银品位 61.8 g/t 的含银铜精矿,铜、银回收率分别为 90.6%、51.8%,实现了纳米比亚 karas 矿区罗雷铜矿原生矿石中铜银资源的综合利用。

参考文献:

- [1] 刘晓阳, 龚鹏辉, 刘宇, 等. 纳米比亚西南部斑岩型铜矿地质特征[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(S1): 104-111. LIU X Y, GONG P H, LIU Y, et al. Geological characteristics of porphyry copper deposits in southwestern Namibia[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2015, 30(S1): 104-111.
- [2] 黄映聪, 刘静, 付怀林, 等. 初论纳米比亚罗什皮纳地 区斑岩型铜矿地质特征-以罗雷铜矿为例[J]. 山东国土资源, 2013, 29(6): 10-14.

HUANG Y C, LIU J, FU H L, et al. Geological

characteristics of porphyry type copper deposits in Rosh Pinah in Namibia-setting Lorlei copper deposit as an example[J]. Shandong Land and Resources, 2013, 29(6): 10-14.

[3] 陈杜娟, 郭海宁, 苗梁, 等. 某铜金银硫多金属矿综合 回收选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(3): 83-87.

CHEN D J, GUO H Y, MIAO L, et al. Experimental study on comprehensive recovery of a copper-gold-silver-sulfur polymetallic ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2021(3): 83-87.

- [4] 王志丰, 李国栋, 彭贵雄, 等. 安徽某铁硫铜多金属矿石综合回收试验研究[J]. 金属矿山, 2021(7): 115-118. WANG Z F, LI G D, PENG G X, et al. Experimental research on comprehensive recovery of iron-sulfur-copper polymetallic ore in Anhui[J]. Metal Mine, 2021(7): 115-118.
- [5] 王成行, 胡真, 时晗, 等. 复杂含银砷硫化铜矿浮选试验对比研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(3): 34-40. WANG C H, HU Z, SHI H, et al. Comparative study on flotation test of complex copper sulfide ore containing silver and arsenic[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2021(3): 34-40.
- [6] 宋宝旭, 陈明波, 崔波, 等. 铜铅矿共生银矿物浮选强 化回收试验[J]. 辽宁科技大学学报, 2020, 43(2): 154-160.
 - SONG B X, CHEN M B, CUI B, et al. Experimental study on improving associated silver flotation recovery of a

- copper-lead ore[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2020, 43(2): 154-160.
- [7] 叶富兴, 宋宝旭, 胡真, 等. 硫化铅锌矿中共伴生银的强化综合回收技术研究现状和发展概况[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(S1): 15-18.
- [8] 童雄, 闫森. 强化有色金属矿石选矿回收伴生银的国内外研究[J]. 国外金属矿选矿, 1999(12): 13-18.
- [9] 冉金城, 邱显扬. 铜硫分离中银的选择性导向回收[J]. 矿冶工程, 2020, 40(5): 33-38.
 - RAN J C, QIU X Y. Selective recovery of silver in Cu-S flotation separation[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2020, 40(5): 33-38.
- [10] 宋宝旭, 邱显扬, 冉金城, 等. 硫化矿浮选体系中辉银矿的浮选行为研究[J]. 贵金属, 2018, 39(2): 24-28. SONG B X, QIU X Y, RAN J C, et al. Behavior of argentite in the sulphide flotation system[J]. Precious Metals, 2018, 39(2): 24-28.
- [11] 吴海祥, 邵延海, 张铂华, 等. 低碱度铜硫分离浮选药剂的研究进展[J]. 矿治, 2021, 30(4): 33-40.

 WU H X, SHAO Y H, ZHANG B H, et al. Research progress of flotation reagents for low alkalinity coppersulfur separation[J]. Mining and Metallurgy, 2021, 30(4): 33-40.
- [12] 敖顺福, 王正奇, 胡红喜, 等. 某含银高硫铜矿的综合 回收试验[J]. 贵金属, 2020, 41(4): 37-43.

 AO S F, WANG Z Q, HU H X, et al. Comprehensive recovery study on a high-sulfur copper ore containing

silver[J]. Precious Metals, 2020, 41(4): 37-43.

《贵金属》征订启事

发行方式:由《贵金属》编辑部自办发行。若需订阅,请将需求发至编辑部邮箱。

价 格:《贵金属》期刊全年 4 期,定价¥25.00/期(含邮政普通印刷品邮寄费用)。 全年订阅¥100.00/4 期。邮寄发票另需快递费¥20.00。

地 址:云南省昆明市高新技术开发区科技路 988 号 《贵金属》编辑部(邮编: 650106)

网 站: http://www.j-preciousmetals.com (可免费下载 2013 年以来的论文全文)

邮 箱: bjba@ipm.com.cn

电 话: 0871-68328632