

某含钼低品位硫化铜矿综合回收钼的选矿研究^①

张曙光^{1,2}, 简胜^{1,2}, 唐鑫^{1,2}, 王少东^{1,2}, 张晶^{1,2}, 刘政华^{1,2}, 李腾飞¹

(1.昆明冶金研究院有限公司, 云南昆明 650031; 2.云南省选冶新技术重点实验室, 云南昆明 650031)

摘要: 针对南美某含钼 0.027%、含铜 0.45% 的低品位铜矿进行了选矿试验研究。应用适宜的浮选药剂, 采用铜钼混合浮选-铜钼分离流程, 闭路试验获得了铜品位 26.93%、铜回收率 81.96% 的铜精矿和钼品位 25.32%、钼回收率 76.24% 的钼精矿, 铜、钼资源得到有效回收。

关键词: 铜矿; 钼矿; 浮选; 滑石; 低品位

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.01.011

文章编号: 0253-6099(2024)01-0048-04

Comprehensive Recovery of Molybdenum Resource from Low-Grade Molybdenum-Bearing Copper Sulfide Ore

ZHANG Shuguang^{1,2}, JIAN Sheng^{1,2}, TANG Xin^{1,2}, WANG Shaodong^{1,2}, ZHANG Jing^{1,2}, LIU Meihua^{1,2}, LI Tengfei¹
(1. Kunming Metallurgy Institute Co Ltd, Kunming 650031, Yunnan, China; 2. Yunnan Key Laboratory for New Technologies of Beneficiation and Metallurgy, Kunming 650031, Yunnan, China)

Abstract: Mineral processing tests were carried out for a low-grade copper ore from South America containing 0.027% Mo and 0.45% Cu. After optimization of the reagent regime, a close-circuit test by adopting a flowsheet of Cu-Mo bulk flotation plus Cu/Mo separation resulted in a copper concentrate grading 26.93% Cu at 81.96% recovery, and a molybdenum concentrate grading 25.32% Mo at 76.24% recovery. Therewith, copper and molybdenum resources in the lean ore can be effectively recovered.

Key words: copper ore; molybdenum ore; flotation; talc; low-grade

南美某大型低品位铜矿山钼品位 0.02%~0.03%, 因技术原因, 选厂未对钼进行回收。本文对该矿石进行了选矿试验研究, 采用适宜的浮选药剂, 先让钼富集到铜精矿中, 再进行铜钼分离, 最终获得铜精矿及可用于湿法冶金的低品位钼精矿。

1 原矿性质

原矿化学多元素分析结果见表 1, 矿石中矿物成分及嵌布粒度见表 2, 铜在各主要含铜矿物中的分配情况见表 3。矿石中主要有价元素为铜和钼。铜主要以独立矿物(占铜分配率的 93.44%)形式赋存于黄铜矿、硫砷铜矿、斑铜矿中, 少量以类质同象或机械混入(铜矿物的次显微、超显微包裹体, 占铜分配率的 6.56%)形式赋存于辉钼矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、普通角闪石、黑云母、绿泥石、滑石、蛇纹石、透闪石中。

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Cu	Mo	S	Fe	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	SiO ₂
0.45	0.027	5.14	7.66	<0.10	5.8	55.04
Al ₂ O ₃	CaO	MgO	As	P	Na ₂ O	K ₂ O
10.18	3.36	8.58	<0.10	0.13	0.65	3.92

1) 单位为 g/t。

矿石中钼主要以独立矿物形式赋存于辉钼矿中。辉钼矿主要与黄铜矿、黄铁矿及脉石矿物连生, 粒度多在 0.02~0.2 mm 之间。辉钼矿的嵌布特征主要分为两类: 第一类为分布于脉石矿物中的辉钼矿, 该部分辉钼矿多呈自形片状、粒状分布于脉石矿物粒间或与脉石矿物连生, 粒度多在 0.05~0.2 mm 之间, 该部分辉钼矿嵌布粒度对选矿回收较为有利; 第二类为与黄铜矿关系密切的辉钼矿, 该部分辉钼矿与黄铜矿连生或

① 收稿日期: 2023-08-18

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC2904603); 云南省基础研究专项(202201AS070054); 云南省重大科技专项(202202AB080012)

作者简介: 张曙光(1970—), 男, 云南昆明人, 高级工程师, 主要从事选矿技术研究。E-mail: 1160574859@qq.com

通信作者: 唐鑫(1989—), 男, 云南昭通人, 高级工程师, 主要研究方向为选矿工艺、设备及药剂。E-mail: Kmritang@163.com

包裹于黄铜矿中,粒度多在 0.02~0.2 mm 之间,该部分辉钼矿嵌布粒度对选矿回收较为有利,但有可能在铜精矿中有部分损失。

表 2 矿物成分及嵌布粒度

矿物名称	粒径/mm	含量/%	矿物名称	粒径/mm	含量/%
黄铜矿	0.003~0.8	1.023	透辉石	0.01~0.2	0.49
硫砷铜矿	0.05~0.6	0.17	绿泥石	0.05~0.2	2.64
斑铜矿	0.004~0.05	0.000 1	滑石	0.005~0.1	1.18
辉钼矿	0.02~0.2	0.045	蛇纹石	0.01~0.05	0.56
方铅矿	0.01~0.1	0.05	镁橄榄石	0.01~0.5	0.32
闪锌矿	0.03~0.5	0.14	黑云母	0.02~1.0	19.95
黄铁矿	0.005~3.0	8.71	白云母	0.004~0.3	3.51
金红石	0.01~0.1	0.14	钾长石	0.2~2.0	9.04
磁铁矿	0.005~0.5	0.70	斜长石	0.2~4.0	18.23
褐铁矿	0.01~0.1	0.02	高岭石	0.005~0.05	0.15
石英	0.04~0.5	20.67	锆石	0.02~0.05	0.02
透闪石	0.01~0.1	5.45	石膏	0.01~0.05	0.02
阳起石	0.1~1.0	3.34	磷灰石	0.05~0.2	0.52
普通角闪石	0.05~0.5	2.58	白云石	0.01~0.8	0.33

表 3 铜在各含铜矿物中的分配率

矿物名称	铜分配率/%	矿物名称	铜分配率/%
黄铜矿	79.40	普通角闪石	0.22
斑铜矿	0.01	黑云母	1.28
硫砷铜矿	14.03	绿泥石	0.13
辉钼矿	0.01	滑石	0.10
闪锌矿	0.02	蛇纹石	0.06
黄铁矿	4.35	透闪石	0.16
磁铁矿	0.22		

2 选矿试验

2.1 试验方案选择

选厂目前的生产工艺为铜优先浮选,未使用兼顾辉钼矿的捕收剂,同时为了降低滑石对铜精矿品质的影响,添加了羧甲基纤维素作为滑石抑制剂,该抑制剂对辉钼矿也存在抑制作用。本文采用铜钼混合浮选-铜钼分离的方案^[1-5]开展选矿试验研究。首先抑制矿石中的黄铁矿和脉石(主要针对天然可浮性较好的滑石),将硫化铜矿物及辉钼矿同时浮出,得到铜钼混合粗精矿;粗精矿再磨后进一步抑制黄铁矿和脉石,得到铜钼粗精矿;对铜钼粗精矿进行抑铜浮钼的铜钼分离浮选,获得最终铜精矿和钼精矿。试验原则流程见图 1。

2.2 铜钼混合浮选

2.2.1 捕收剂种类试验

按照图 2 所示流程,在磨矿细度-0.074 mm 粒级占 65%,黄铁矿抑制剂石灰 CaO 用量 3 000 g/t(加入磨机中,矿浆 pH 值约 8)、脉石抑制剂 HD-3(自主研发

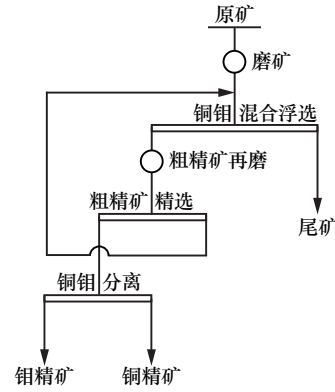


图 1 试验原则流程

的药剂,主要成分为糖类小分子有机物混合物)用量 400 g/t、起泡剂 24K(常规硫化矿起泡剂,主要成分为甲基异丁基甲醇)用量(30+10) g/t 条件下,进行了捕收剂种类对比试验,捕收剂用量均为(30+15) g/t,结果见表 4。其中铜钼捕收剂 SG-1 为自主研发的新药剂,是几种酯类捕收剂与柴油的乳化产物;KMY-1 为自主研发的新药剂,由几种酯类捕收剂复配而成;MCO 为某些铜选厂使用的进口药剂,成分不明;PA-F 为目前选厂正在使用的药剂,成分不明。结果表明,在用量相同的情况下,捕收剂 SG-1、KMY-1 兼顾了铜、钼的回收,选厂使用的 PA-F 对钼的捕收能力差。后续选择 SG-1 为捕收剂进行试验。

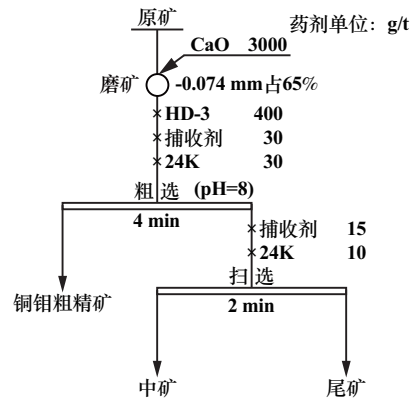


图 2 捕收剂种类试验流程

表 4 捕收剂种类试验结果

捕收剂种类	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			Cu	Mo	Cu	Mo
SG-1	铜钼粗精矿	10.28	3.78	0.216 0	82.17	82.54
	中矿	3.44	0.47	0.018 6	3.42	2.38
	尾矿	86.28	0.079	0.004 7	14.41	15.08
	原矿	100.00	0.47	0.026 9	100.00	100.00
KMY-1	铜钼粗精矿	9.27	4.19	0.231 0	80.40	82.48
	中矿	2.36	0.53	0.016 8	2.59	1.52
	尾矿	88.37	0.093	0.004 7	17.01	16.00
	原矿	100.00	0.48	0.026 0	100.00	100.00

续表 4

捕收剂种类	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			Cu	Mo	Cu	Mo
MCO	铜钼粗精矿	8.40	4.13	0.194 0	75.28	63.37
	中矿	2.58	0.62	0.026 9	3.47	2.70
	尾矿	89.02	0.11	0.009 8	21.25	33.93
	原矿	100.00	0.46	0.025 7	100.00	100.00
Z-200	铜钼粗精矿	13.36	3.02	0.157 0	82.93	78.36
	中矿	8.14	0.22	0.010 4	3.68	3.16
	尾矿	78.50	0.083	0.006 3	13.39	18.48
	原矿	100.00	0.49	0.026 8	100.00	100.00
PA-F	铜钼粗精矿	12.00	3.15	0.143 0	83.31	65.80
	中矿	9.26	0.18	0.021 5	3.67	7.63
	尾矿	78.74	0.075	0.008 8	13.02	26.57
	原矿	100.00	0.45	0.026 1	100.00	100.00

2.2.2 捕收剂用量试验

按图 2 所示流程,进行了捕收剂 SG-1 用量试验,其中扫选捕收剂用量为粗选捕收剂用量的一半,结果见图 3。结果表明,随着 SG-1 用量增加,铜回收率增加,铜品位降低。选择 SG-1 用量粗选 30 g/t、扫选 15 g/t。

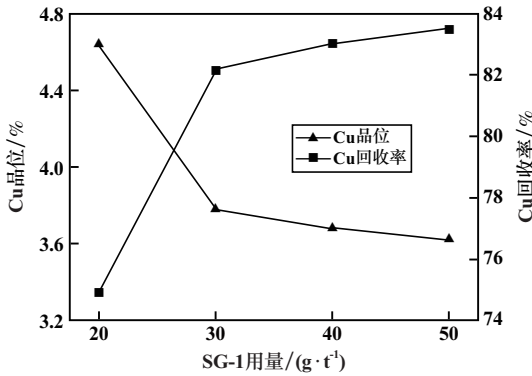


图 3 捕收剂用量试验结果

2.2.3 铜钼粗精矿精选 CaO 用量试验

为了实现铜钼矿物与黄铁矿及其他矿物的单体解离及浮选分离,对铜钼粗精矿再磨后精选,在磨矿细度 -0.074 mm 粒级占 85%,脉石抑制剂 HD-3 用量 200 g/t、捕收剂 SG-1 用量 10 g/t 条件下,进行了黄铁矿抑制剂 CaO 用量试验,试验流程见图 4,结果见图 5。结果表明,随着 CaO 用量增加,铜回收率降低,铜品位先增加后降低再增加。选择 CaO 用量 300 g/t,此时 pH 值约 9.5。

2.3 铜钼分离浮选

2.3.1 铜钼分离铜抑制剂种类试验

对铜钼精矿进行抑铜浮钼浮选分离,分离前先经过搅拌脱水脱药。可用于铜钼分离的铜抑制剂种类较多,目前常用的有硫化钠、硫化氢、硫化铵、磷诺克斯、巯基乙酸钠等。本文选择硫化钠、硫化氢、硫化铵及巯基乙酸钠进行对比,铜抑制剂用量均为 100 g/t (对原矿),试验流程见图 6,结果见图 7。在同等用量

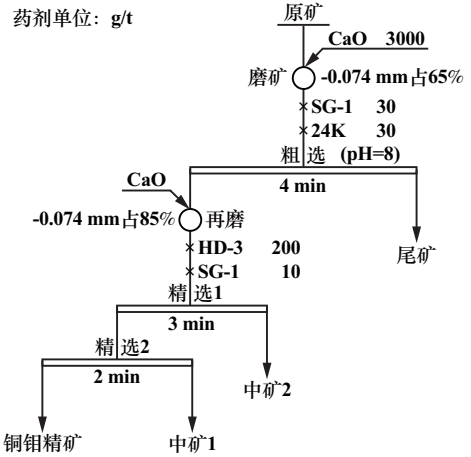


图 4 精选 CaO 用量试验流程

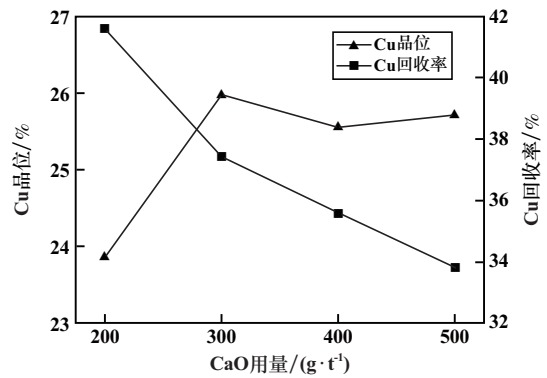


图 5 精选 CaO 用量试验结果

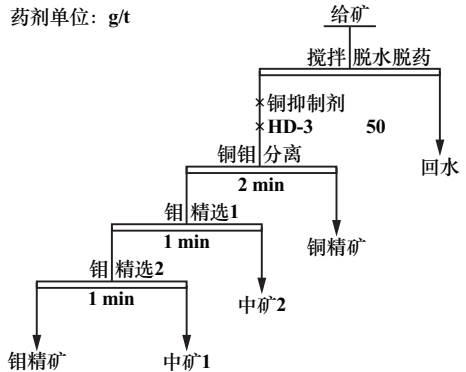


图 6 铜抑制剂试验流程

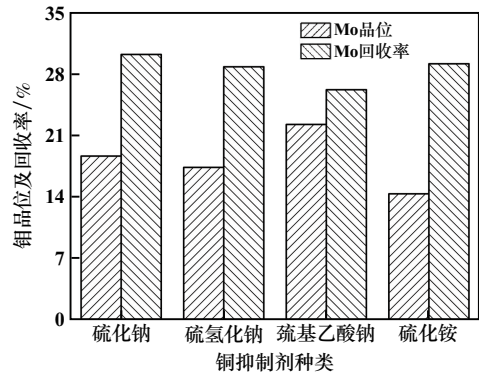


图 7 铜抑制剂试验结果

条件下, 巯基乙酸钠对铜矿物抑制作用强, 获得的钼精矿 Mo 品位高, 但 Mo 回收率相对不高; 硫化钠来源广泛且获得的钼精矿综合钼品位及回收率较好, 选择硫化钠为铜钼分离的铜抑制剂。

2.3.2 铜钼分离抑制剂用量试验

采用硫化钠作为铜钼分离抑制剂, 进行了抑制剂用量试验, 试验流程同图 6, 结果见图 8。结果表明, 随着硫化钠用量增加, 钼品位增加、回收率降低。选择硫化钠用量 150 g/t, 此时 pH 值约 12。

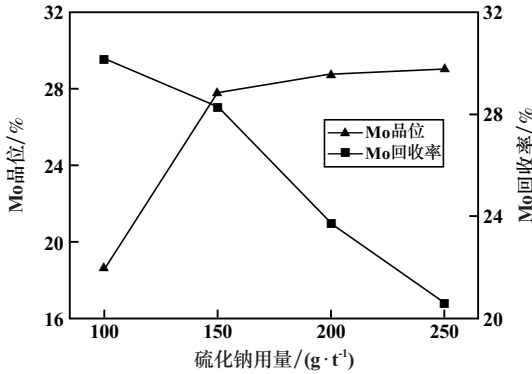


图 8 硫化钠用量试验结果

2.4 小型闭路试验

条件试验确定较佳的工艺参数后, 模拟连续生产过程进行了闭路试验, 结果见表 5, 试验流程见图 9。结果表明, 铜精矿铜品位 26.93%、回收率 81.96%, 钼精矿钼品位 25.32%、回收率 76.24%。铜在尾矿中的损失情况与原矿工艺矿物学研究结果显示的部分铜矿物细粒、微细粒包裹在黄铁矿及脉石中一致; 钼在铜精矿中的损失情况与部分辉钼矿细粒、微细粒包裹在铜矿物或与铜矿物连生有关。部分特别易浮的滑石难以被抑制而进入钼精矿, 导致只能获得用于湿法冶金钼的钼精矿。

表 5 闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Cu	Mo	Cu	Mo
铜精矿	1.36	26.93	0.37	81.96	18.94
钼精矿	0.08	1.03	25.32	0.18	76.24
尾矿	98.56	0.081	0.001 3	17.86	4.82
原矿	100.00	0.45	0.026 6	100.00	100.00

3 结 语

1) 南美某铜矿石样品含铜 0.45%、含钼 0.027%, 铜主要赋存于黄铜矿、硫砷铜矿、斑铜矿中; 钼主要以独立矿物形式赋存于辉钼矿中。

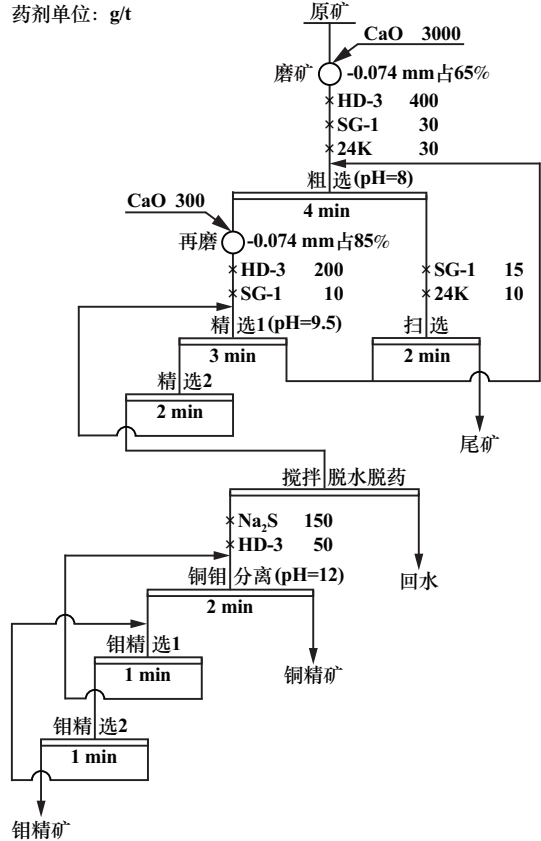


图 9 闭路试验流程

2) 根据该矿石中铜、钼矿物及黄铁矿的可浮性差异和嵌布特征, 选择铜钼混合浮选-粗精矿再磨精选-铜钼分离方案开展试验研究, 闭路试验获得了铜品位 26.93%、回收率 81.96% 的铜精矿和钼品位 25.32%、回收率 76.24% 的钼精矿。

3) 部分特别易浮的滑石难以被抑制, 最终导致只能获得能用于湿法冶金的低品位钼精矿。

参考文献:

[1] 简胜, 胡岳华, 孙伟. 西藏某低品位铜钼矿选矿工艺[J]. 矿产综合利用, 2019(5): 32-36.

[2] 曹杨, 孙磊, 孙伟, 等. 低品位高泥高镁硫化铜镍矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(5): 62-65.

[3] 段胜红, 姜亚雄, 周光浪. 某铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(1): 72-76.

[4] 杨文寿. 某含铜金银多金属硫化矿尾矿资源综合利用试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(3): 84-87.

[5] 林清泉, 戴智飞, 曾令明, 等. 江西某难选铜钼矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(2): 73-76.

引用本文: 张曙光, 简胜, 唐鑫, 等. 某含钼低品位硫化铜矿综合回收钼的选矿研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(1): 48-51.