

刚果金某含碳硫氧混合铜矿石浮选试验

张书超,代 定

(浙江华友钴业股份有限公司)

摘要:刚果金某含碳硫氧混合铜矿铜品位 1.27 %,矿石氧化率 25.98 %,选别过程中存在药剂消耗量高、易泥化、选别指标低等问题。为实现该混合铜矿资源的高效利用,对其开展浮选试验研究。研究表明:在硫化钠用量为 460 g/t、丁基黄药用量为 190 g/t、Z200 用量为 120 g/t、2 号油用量为 180 g/t 的条件下,采用两粗两扫三精的混合浮选工艺流程,可获得铜品位 17.10 %、铜回收率 80.76 % 的铜精矿。

关键词:硫氧混合铜矿;含碳;氧化铜矿;含硫;混合浮选

中图分类号:TD952

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)03-0046-04

doi:10.11792/hj20240311

引 言

世界铜矿资源主要包括硫化铜矿、氧化铜矿及硫氧混合铜矿。硫氧混合铜矿通常采用黄药类捕收剂优先回收硫化铜矿,再以硫化钠或硫化氢钠为硫化剂通过混合浮选或先硫后氧工艺流程实现氧化铜矿的回收^[1-2]。随着优质硫化铜矿资源的减少及社会对铜资源需求的增加,氧化铜矿资源的开发利用变得更加重要。

尽管氧化铜矿具有开发潜力,但其矿石性质复杂,不同类型铜矿的表面性质差异大、与脉石矿物共生关系复杂,同时存在含泥量较高等缺点。特别是对于亲水性高且硫化困难的氧化铜矿,如硅孔雀石和蓝铜矿等,通常需要添加大量硫化钠。然而,过高的硫化钠用量可能抑制硫化铜矿的回收,导致硫化铜矿金属后移和金属流失。此外,含碳物质存在微细粒嵌布特征,这也严重影响目的矿物的可浮性和选别指标,从而导致药剂消耗量增加、成本上升及选别指标下降^[3-4]。

针对氧化率较低的含碳硫氧混合铜矿,常见的选矿工艺为混合浮选或先硫后氧工艺流程^[5]。为了探索刚果金某含碳硫氧混合铜矿(下称“混合铜矿”)的可选性,为该类矿石资源的开发利用提供指导,本文创新性地采用了“混合浮选+先硫后氧”的浮选工艺流程,考察了磨矿细度、捕收剂用量、调整剂用量及起泡剂用量对该混合铜矿浮选效果的影响。

1 矿石性质

对该混合铜矿进行化学成分分析,结果见表 1。

表 1 矿石化学成分分析结果

Table 1 Analysis results of ore chemical composition

成分	Cu	Co	S	Fe	C	Ca	Mg	氧化率
w/%	1.27	0.042	1.12	2.67	12	2.85	1.93	25.98

由表 1 可知:矿石中主要有价回收元素为铜,含铜 1.27 %,含硫 1.12 %,含碳 12 %,矿石氧化率 25.98 %。

2 浮选实验室试验

针对氧化铜矿及其混合铜矿,通常采用混合浮选或先硫后氧工艺流程进行选别。考虑矿石氧化率为 25.98 %,结合实际生产情况,采用混合浮选工艺流程,并结合先硫后氧浮选理念,考察磨矿细度、捕收剂用量及硫化氢钠用量等因素对选别指标的影响。

2.1 磨矿细度

矿物充分单体解离是实现目的矿物与脉石矿物有效分离的先决条件。连生体的存在不仅影响精矿选别指标,同时也会导致金属流失。另外,磨矿细度过细会加剧矿石泥化,增加能耗并影响产能,恶化选别指标^[6]。因此,适宜磨矿细度是保证后续选别指标的关键。本次试验考察不同磨矿细度对选别指标的影响。试验流程见图 1,试验结果见图 2。

由图 2 可知:随着磨矿细度增加,粗精矿 1+粗精矿 2(下称“混合粗精矿”)中铜回收率呈上升趋势,铜品位呈先上升后下降趋势。由于该混合铜矿含碳较高,且碳物质嵌布粒度微细,随着磨矿细度增加,矿浆中碳物质含量增加,严重影响精矿品位。故最佳

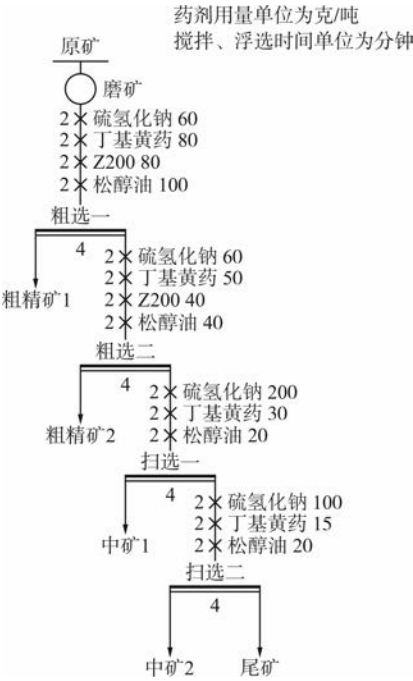


图 1 磨矿细度试验流程

Fig. 1 Grinding fineness test flow chart

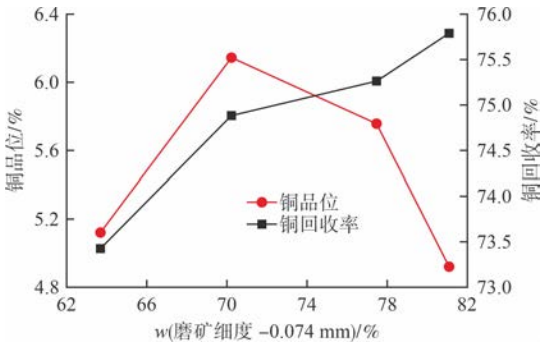


图 2 磨矿细度试验结果

Fig. 2 Grinding fineness test results

磨矿细度为 -0.074 mm 占 70 %。

2.2 捕收剂用量

混合铜矿通常以黄药或黑药类药剂为捕收剂,采用混合浮选工艺流程进行选别。因此,本次试验以丁基黄药为捕收剂,考察捕收剂用量对粗精矿 1 和混合粗精矿选别指标的影响。试验流程见图 1,试验结果分别见图 3、图 4。

由图 3、图 4 可知:随着捕收剂用量增加,粗精矿 1 铜品位逐渐降低,而铜回收率逐渐增加。另外,混合粗精矿铜品位逐渐降低,铜回收率小幅增加后降低。随着捕收剂用量增加到 100 g/t,粗精矿 1 铜回收率上升,混合粗精矿铜回收率上升,混合粗精矿铜品位下降严重。继续增加捕收剂用量到 120 g/t,混合粗精矿铜回收率与铜品位均下降,综合考虑混合粗精矿铜品位与铜回收率指标,确定粗选一捕收剂丁基黄药用量为 80 g/t。

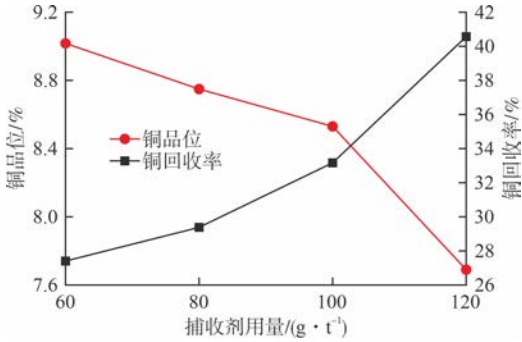


图 3 捕收剂用量对粗精矿 1 指标影响

Fig. 3 Effect of collector dosage on Roughing Concentrate 1 index

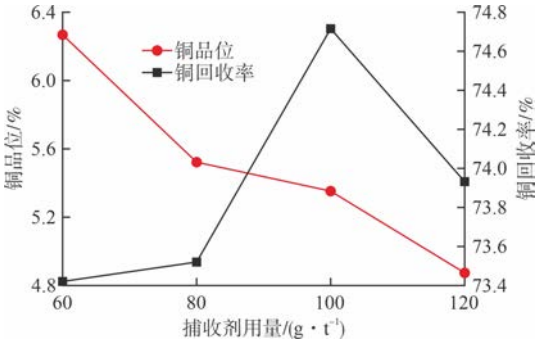


图 4 捕收剂用量对混合粗精矿指标影响

Fig. 4 Effect of collector dosage on mixed roughing concentrate index

2.3 粗选一硫化剂用量

氧化铜矿常用硫化剂为硫氢化钠。硫氢化钠用量不足会降低氧化铜矿硫化效率,用量过高会抑制硫化铜矿的回收^[7]。因此,本次试验以硫氢化钠为硫化剂,考察硫化剂用量对粗精矿 1 和混合粗精矿选别指标的影响。试验流程见图 1,试验结果分别见图 5、图 6。

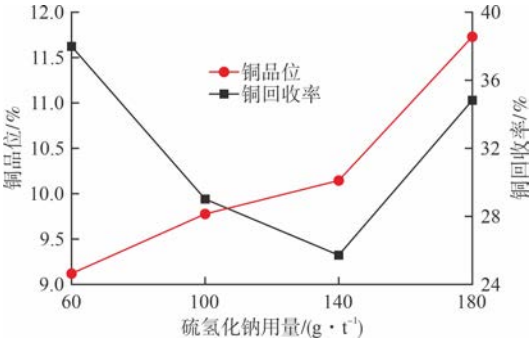


图 5 硫氢化钠用量对粗精矿 1 指标影响

Fig. 5 Effect of sodium hydrosulfide dosage on Roughing Concentrate 1 index

由图 5、图 6 可知:随着硫氢化钠用量增加,粗精矿 1 铜品位逐渐增加,铜回收率呈先降低后升高趋势;混合粗精矿铜品位逐渐增加,铜回收率略微增加后下降。随着硫氢化钠用量增加到 140 g/t,粗精矿 1 铜回收率降低,可能是由于硫氢化钠对硫化铜矿产生抑制作用。随着硫氢化钠用量进一步增加,粗精矿 1 铜回收率升高,这可能是细粒级易浮高品位氧化铜矿

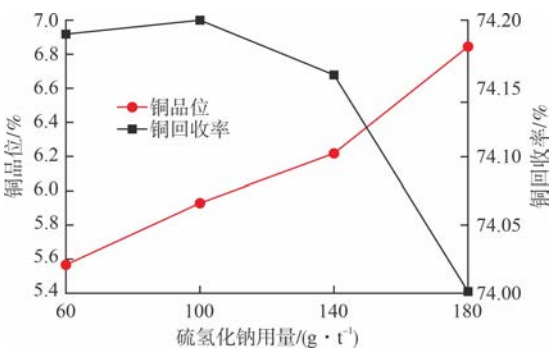


图6 硫氢化钠用量对混合粗精矿指标影响

Fig.6 Effect of sodium hydrosulfide dosage on mixed roughing concentrate index

被回收,综合考虑混合粗精矿品位与回收率,确定粗选一硫氢化钠用量为 100 g/t。

2.4 粗选二硫化剂用量

本次试验以硫氢化钠为硫化剂,考察硫化剂用量对混合粗精矿选别指标的影响,试验结果见表 2。

表 2 硫氢化钠用量对混合粗精矿指标影响

Table 2 Effect of sodium hydrosulfide dosage on mixed roughing concentrate index

硫氢化钠用量/ (g · t ⁻¹)	铜品位/%	铜回收率/%
60	5.32	75.41
200	5.44	74.62
300	5.18	69.41

由表 2 可知:随着硫氢化钠用量不断增加,混合粗精矿铜回收率大幅降低,这表明硫氢化钠过量对硫化铜矿存在抑制作用,导致部分硫化铜矿金属流失。由试验结果确定粗选二硫氢化钠用量为 60 g/t。

3 浮选综合试验

通过对捕收剂用量、硫化剂用量与混合粗精矿铜品位和回收率关系的探索研究,明确了该矿石可浮性。后续进一步对粗选和扫选的起泡剂用量、硫化剂用量、捕收剂用量等进行条件试验,最终确定硫氢化钠用量为 460 g/t、丁基黄药用量为 190 g/t、Z200 用量为 120 g/t、2 号油用量为 180 g/t,在此药剂制度下进行两粗两扫三精开路试验。

3.1 开路试验

鉴于混合铜矿的矿石氧化率为 25.98 %,设计 2 种开路浮选工艺流程。第 1 种采用混合粗精矿同步精选工艺流程,混合粗精矿经过三次精选可获得铜品位 20.19 %、铜回收率为 47.90 % 的铜精矿,工艺流程见图 7。第 2 种采用异步精选工艺流程,粗精矿 1 和粗精矿 2 分别进行三次精选,粗精矿 1 经过三次精选可获得铜品位 23.01 %、铜回收率 15.36 % 的

铜精矿 1,粗精矿 2 经过三次精选可获得铜品位 12.65 %、铜回收率 27.28 % 的铜精矿 2,工艺流程见图 8。上述试验结果表明,混合粗精矿同步精选浮选指标要优于异步精选。

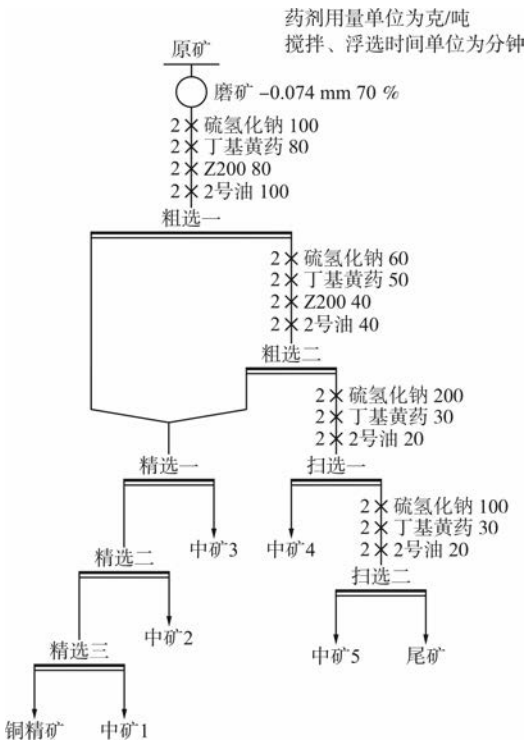


图 7 混合粗精矿同步精选开路试验流程

Fig.7 Simultaneous mixed roughing cocentrate open-circuit test flow chart

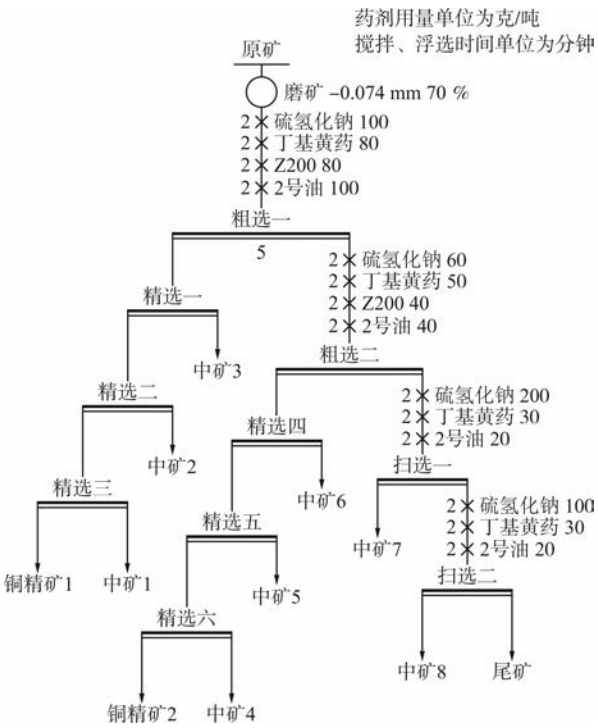


图 8 混合粗精矿异步开路试验流程

Fig.8 Asynchronous mixed roughing cocentrate open-circuit test flow chart

3.2 闭路试验

闭路试验流程及结果分别见图9、表3。由表3可知:闭路试验可获得铜品位17.10 %、铜回收率80.76 %的铜精矿。后续对该铜精矿进行焙烧—浸出试验,可获得铜浸出率95.02 %,钼浸出率85.14 %的良好选别指标。

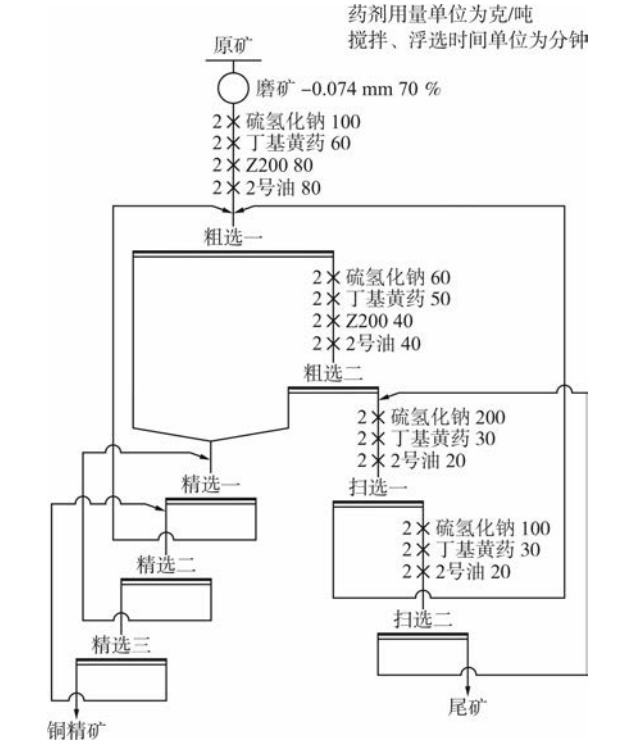


图9 闭路试验流程

Fig.9 Closed-circuit test flow chart

表3 闭路试验结果

Table 3 Closed-circuit test results

产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
		铜	钼	铜	钼
铜精矿	6.00	17.10	0.34	80.76	55.70
尾矿	94.00	0.26	0.02	19.24	44.30
原矿	100.00	1.27	0.04	100.00	100.00

3.3 生产实践及损失分析

生产实践及损失分析结果分别见表4、表5。

表4 生产数据指标统计

Table 4 Statistics of production performance indicators

产品	产率/%	铜品位/%	铜回收率/%	氧化率/%
铜精矿	5.55	16.59	84.27	
尾矿	94.45	0.18	15.73	
原矿	100.00	1.09	100.00	19.08

由表4、表5可知:浮选尾矿铜品位0.18 %。其中, -0.038 mm 粒级铜金属分布率最高,占72.47 %,铜氧化率为63.16 %。这表明细粒级氧化铜矿金属

表5 尾矿各粒级金属分布率及氧化率分析

Table 5 Analysis of metal distribution and oxidation rate of each grain size in tailings

粒级/mm	产率/%	铜品位/%	铜金属分布率/%	铜氧化率/%
+0.150	1.98	0.43	4.44	34.88
-0.150 ~ +0.074	10.14	0.22	11.62	26.36
-0.074 ~ +0.038	14.68	0.15	11.47	40.00
-0.038	73.20	0.19	72.47	63.16
合计	100.00	0.18	100.00	65.00

流失是造成跑尾的主要原因,应尝试探索添加胺类活化剂或离子型活化剂以提高细粒级氧化铜矿可浮性。

4 结 论

1)该混合铜矿为碳质板岩型矿床结构。磨矿细度对其选别指标影响显著,磨矿细度不足会导致连生体进入精矿降低品位,磨矿过细则使含碳物质进入产品,消耗捕收剂和起泡剂,影响选别指标。

2)该混合铜矿铜品位1.27 %,矿石氧化率为25.98 %,在硫氢化钠用量为460 g/t、丁基黄药用量为190 g/t、Z200 用量为120 g/t、2 号油用量为180 g/t 的条件下,采用两粗两扫三精的混合浮选闭路试验流程,可获得铜品位17.10 %、铜回收率80.76 %的铜精矿。

[参考文献]

[1] FENG Q C, YANG W H, WEN S M, et al. Flotation of copper oxide minerals: A review [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 32(6): 1 351 - 1 364.

[2] SHENG Q Y, YIN W, YANG B, et al. Promotion of oxidation pre-treatment on sulfidation of cuprite surface and its contribution to flotation [J]. Minerals Engineering, 2021, 174: 107256.

[3] 胡俊, 刚果(金)某氧化铜矿石浮选试验研究 [J]. 黄金, 2021, 42(1): 71 - 74.

[4] 欧乐明, 尹冰一, 冯其明, 等. 某硫化-氧化混合型铜钴矿浮选工艺研究 [J]. 金属矿山, 2009(2): 75 - 78.

[5] SHENG Q Y, YIN W, YANG B, et al. Improving surface sulfidization of azurite with ammonium bisulfate and its contribution to sulfidization flotation [J]. Minerals Engineering, 2021, 171: 107072.

[6] 黄刚, 杜延雷, 齐越超. 刚果(金)某难选含碳硫化铜矿浮选探索试验研究 [J]. 矿冶工程, 2021, 41(6): 109 - 111.

[7] 胡俊, 姚尧, 赖胜, 等. 四川甘洛某氧化铜矿石浮选试验 [J]. 现代矿业, 2019, 35(4): 100 - 104.

[8] 王国标. 某铜矿山硫化铜浮选段技改工业化应用 [J]. 现代矿业, 2023, 39(9): 211 - 213, 217.

[9] 杨凯志, 李汉文, 胡真, 等. 云南某低品位硫氧混合铜矿浮选试验研究 [J]. 有色金属(选矿部分), 2022(1): 47 - 53.

[10] 陈登辉, 杨凤翔, 金正聰. 提高某高海拔复杂硫氧混合铜矿浸出率的试验研究 [J]. 云南冶金, 2021, 50(4): 43 - 46.