

湖北某复杂低品位铜矿浮选试验研究^①

苟浩然^{1,2}, 曾海鹏^{1,2}, 黄红军^{1,2}, 于俊杰^{1,2}, 李石晗^{1,2}

(1.中南大学资源加工与生物工程学院,湖南长沙410083; 2.战略含钙矿物资源清洁高效利用湖南省重点实验室,湖南长沙410083)

摘要:对湖北某低品位复杂铜矿进行了浮选试验研究,探索了磨矿细度、药剂种类、药剂用量等条件对浮选指标的影响。结果表明,磨矿细度-0.074 mm 粒级占75.2%,采用一粗三精三扫闭路浮选流程,选择丁基黄药、Z-200、乙硫氮作为组合捕收剂,次氯酸钙与石灰复配作为调整剂,在原矿铜品位0.42%条件下,获得了铜精矿铜品位12.15%、回收率85.05%的技术指标。

关键词:低品位; 铜矿; 浮选; 组合捕收剂

中图分类号: TD952

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.04.019

文章编号: 0253-6099(2023)04-0085-04

Experimental Study on Flotation Separation of Low-Grade Copper Ore from Hubei

GOU Haoran^{1,2}, ZENG Haipeng^{1,2}, HUANG Hongjun^{1,2}, YU Junjie^{1,2}, LI Shihan^{1,2}

(1.School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2.Key Laboratory of Hunan Province for Clean and Efficient Utilization of Strategic Calcium-Containing Mineral Resources, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: Flotation tests were carried out for a low-grade complex copper ore from Hubei province. The influences of grinding fineness, reagent type and dosage on flotation indices were investigated. A closed-circuit flotation flowsheet consisting of one stage of roughing, three stages of cleaning and three stages of scavenging was adopted to process this kind of ore with Cu grade of feed ore of 0.42%, grinding fineness of -0.074 mm 75.2%, butyl xanthate combined with Z-200 and sodium diethyldithiocarbamate as collectors, calcium hypochlorite combined with lime as regulator. As a result, a copper concentrate with Cu grade of 12.15% and recovery of 85.05% was recovered.

Key words: low grade; copper ore; flotation; combined collector

我国铜资源储备丰富,但我国多数铜矿资源品位较低,伴生脉石矿物较多,矿石成分复杂,导致我国铜矿开采面临生产成本低、开发难度大等系列问题,相关铜矿选矿技术仍有待提高^[1-2]。

湖北某矿区铜矿原生矿石品位低,有价金属成分多,嵌布方式复杂,与脉石矿物分离困难。为了进一步提高选矿效率、提升精矿品位与回收率,对该矿区矿石进行了试验设计与研究。在工艺矿物学研究基础上,结合已有铜矿浮选经验,改善工艺流程,提升铜矿的有效回收利用,获得了良好的试验指标。

1 原矿性质

湖北某低品位铜矿原矿主要化学元素分析结果见

表1。由表1可知,原矿中钙、硅元素含量较高,且伴有较多的镁、铁、铝、硫元素,初步推断原矿中脉石主要以石英以及硫酸盐等形式存在。同时认为在原生矿石中,可提取利用的铜矿物可能以黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿形式存在。判定有微量金、银和极少量钼赋存在原矿中。

表1 原矿主要化学元素分析结果(质量分数) %

Al	Ca	Fe	Mg	Pb	Si
0.91	30.89	7.94	7.60	0.009 2	10.91
Zn	Cu	Mo	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾
0.027	0.44	0.058	1.52	0.31	3.32

1) 单位为 g/t。

① 收稿日期: 2023-02-19

作者简介: 苟浩然(1998—)男,四川广元人,硕士研究生,主要研究方向为矿物加工工程。

通信作者: 黄红军(1980—)男,湖南永州人,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为复杂难处理矿石高效处理及加工、非金属矿产资源及城市矿产资源综合利用。

样品铜物相分析结果见表2。铜主要以原生硫化铜与次生硫化铜形式存在,两者累计含量达到98.41%,其中原生硫化铜占据绝大多数。

表2 样品铜化学物相分析结果

铜相态	含量/%	分布率/%
自由氧化铜	<0.1	0.91
结合氧化铜	<0.1	0.68
原生硫化铜	0.375	85.23
次生硫化铜	<0.1	13.18
合计	0.44	100.00

X射线及扫描电镜分析结果显示,该低品位铜矿中,含量最多的脉石矿物为生石灰,其次是方解石,还有一部分云母与石榴石等。考虑到脉石矿物与目的矿物的结合状态,需将原矿破磨至合适的粒度^[3]。铜主要以黄铜矿(CuFeS_2)、斑铜矿(Cu_5FeS_4)和辉铜矿(Cu_2S)形式存在。多数黄铜矿呈团块状、短脉形集合体,或以不规则颗粒形状贯穿于脉石中,或部分表现为不规则状黄铁矿残余包裹在团块状黄铜矿中。少量黄铜矿呈不规则状或断续脉状存在于黄铁矿边缘、裂隙、孔隙中,以极其复杂的方式与黄铁矿共生相连。

2 试验研究

2.1 磨矿细度试验

先将原矿石粗碎至粒径小于5 cm,再经过中碎机、对辊破碎机破碎至粒径小于5 mm进行磨矿试验。调整剂石灰用量8 000 g/t,捕收剂丁基黄药用量80 g/t、丁铵黑药用量10 g/t,起泡剂2[#]油用量30 g/t条件下,探究了磨矿细度对浮选指标的影响,试验流程见图1,结果见表3。随着-0.074 mm 粒级含量由63.9%增至83.2%,铜精矿品位从3.17%降至1.62%,回收率由76.30%增至80.83%。综合考虑磨矿能耗、品位、回收率等因素,确定磨矿时间6 min为宜,此时-0.074 mm 粒级含量为75.2%,铜精矿品位2.56%、回收率78.84%。

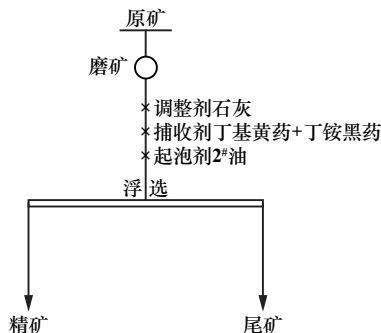


图1 浮选试验流程

表3 磨矿细度试验结果

磨矿时间/min	-0.074 mm 粒级含量/%	铜精矿品位/%	回收率/%
4	63.9	3.17	76.30
5	71.9	2.92	77.90
6	75.2	2.56	78.84
7	78.5	1.81	81.25
8	83.2	1.62	80.83

2.2 捕收剂条件试验

磨矿细度-0.074 mm 粒级占75.2%、石灰用量8 000 g/t、2[#]油用量10 g/t,选择丁基黄药、乙硫氮和Z-200,单独或复配^[4-5]作为捕收剂,进行了捕收剂种类条件试验,结果见表4。结果显示,药剂复配使用能提高铜精矿品位和回收率。药剂单独使用时,Z-200 捕收效果较好;两两复配使用时,丁基黄药与Z-200 组合效果较好;丁基黄药、Z-200、乙硫氮三者组合使用时精矿品位最高。综合考虑,后续选择3种药剂组合作为该铜矿的捕收剂。

表4 铜捕收剂种类试验结果

捕收剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	精矿产率/%	铜品位/%	回收率/%
丁基黄药,80	2.6	3.49	29.27
乙硫氮,80	4.22	4.48	55.67
Z-200,80	4.30	4.79	62.51
丁基黄药+Z-200,40+40	4.21	5.81	71.94
丁基黄药+乙硫氮,40+40	4.04	4.99	62.99
Z-200+乙硫氮,40+40	4.15	4.98	62.69
丁基黄药+Z-200+乙硫氮,60+60+40	3.96	5.87	70.51

相同条件下,进行了丁基黄药、Z-200、乙硫氮配比及用量试验。固定乙硫氮用量40 g/t,丁基黄药和Z-200按1:1配比,捕收剂用量试验结果如图2所示。结果显示,当丁基黄药和Z-200用量均为60 g/t时,精矿铜品位达到峰值,为5.87%;回收率随着捕收剂用量增加逐渐增大后保持稳定,丁基黄药和Z-200用量均达到80 g/t后,回收率稳定在79%左右。综合考虑品位、

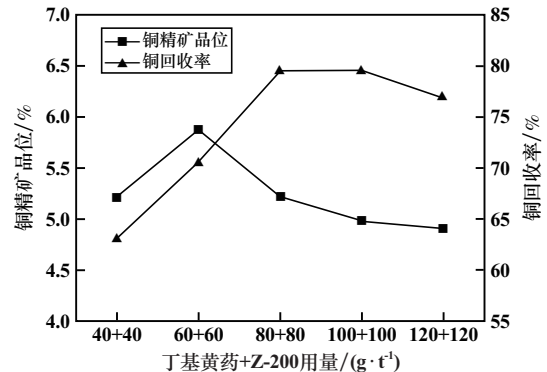


图2 捕收剂用量试验结果

回收率与经济成本,确定丁基黄药和 Z-200 用量均为 80 g/t、乙硫氮用量 40 g/t 进行后续试验。

2.3 抑制剂条件试验

2.3.1 石灰用量试验

铜浮选时加入石灰,具有节约药剂用量、抑制脉石矿物、消除环境中有害离子影响的特点。磨矿细度 -0.074 mm 粒级占 75.2%,捕收剂丁基黄药、乙硫氮和 Z-200 用量分别为 80、80 和 40 g/t、2[#]油用量 10 g/t 条件下,采用石灰作为 pH 值调整剂和抑制剂,进行了石灰用量条件试验,结果见图 3。由图 3 可知,石灰用量增加,精矿铜品位和回收率均先增加后降低。石灰用量 2 000 g/t 时品位达到峰值,为 6.02%。过量的石灰对精矿品位及回收率都有不良影响。综合考虑回收率与品位,确定石灰用量为 4 000 g/t。

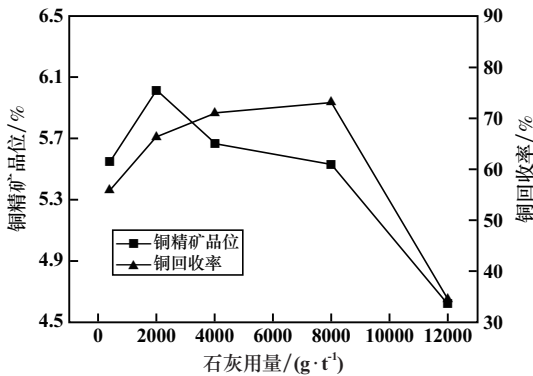


图 3 石灰用量对浮选指标的影响

2.3.2 石灰与次氯酸钙复配使用

石灰用量 4 000 g/t,其他条件不变,将次氯酸钙与石灰复配使用,用以调整矿浆 pH 值和电极电位。次氯酸钙用量对浮选指标的影响如图 4 所示。随着次氯酸钙用量增加,铜精矿品位和回收率均升高,次氯酸钙用量 1 000 g/t 时,铜精矿品位与回收率仍具有继续上升的趋势。在实际生产中,可以考虑完全使用次氯酸钙替代石灰。本试验采用石灰+次氯酸钙作为组合调整剂,用量分别为 4 000 g/t 与 1 000 g/t。

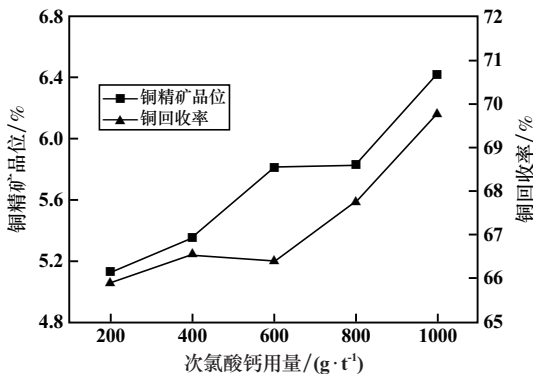


图 4 次氯酸钙用量对浮选指标的影响

2.4 全流程闭路试验

在前期探索试验基础上,进行了全流程闭路试验。磨矿时间 6 min,将入选粒度控制在 -0.074 mm 粒级含量 75%左右;使用丁基黄药、Z-200、乙硫氮为组合捕收剂,粗选用量 200 g/t(3 种捕收剂用量分别为 80 g/t、80 g/t 和 40g/t);使用石灰和次氯酸钠为组合调整剂,粗选用量分别为 4 000 g/t 和 1 000 g/t;选择 2[#]油作为起泡剂。闭路浮选试验获得了铜品位 12.15%、铜回收率 85.05%的铜精矿。试验流程见图 5,结果见表 5。

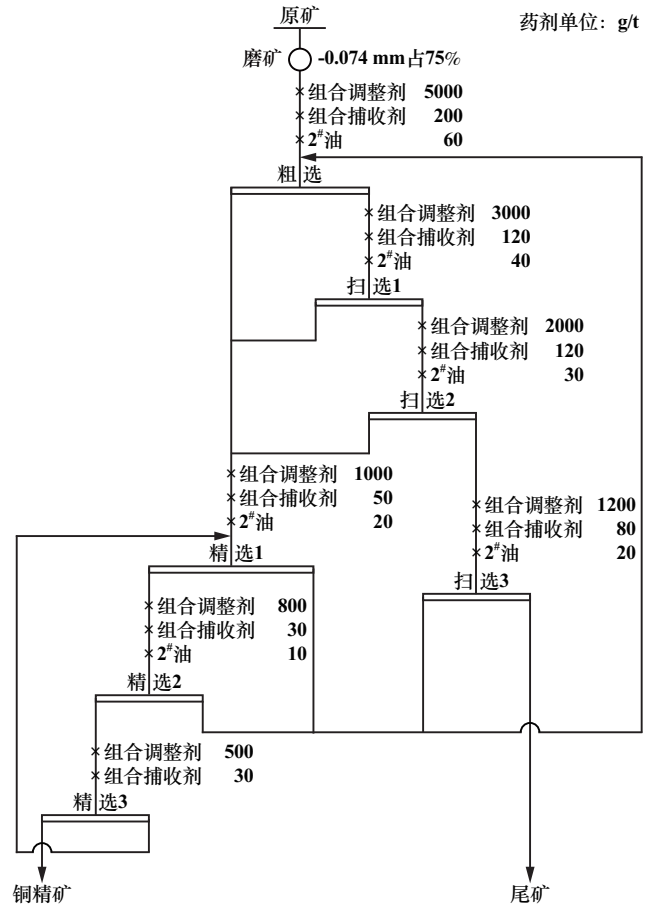


图 5 全流程闭路试验流程

表 5 全流程闭路试验结果

产品名称	产率/%	铜品位/%	回收率/%
铜精矿	2.94	12.15	85.05
尾矿	97.06	0.065	14.95
原矿	100.00	0.42	100.00

3 结 语

1) 湖北某复杂低品位铜矿含有铜、钼、金、银等多种金属组分,矿物成分多,且嵌布结构复杂,有价金属分离提取困难。根据多种金属赋存状态和嵌布连生方式,综合考虑选矿成本与经济价值,最终选择提取回收

原矿中的硫化铜矿物。

2) 磨矿细度-0.074 mm 粒级占 75.2%, 丁基黄药、Z-200、乙硫氮组合作为捕收剂, 石灰与次氯酸钙复配作为调整剂, 采用一粗三精三扫浮选闭路流程, 在原矿铜品位 0.42% 条件下, 获得了铜品位 12.15%、铜回收率 85.05% 的铜精矿产品, 有效改善了生产指标。

参考文献:

[1] 任彦瑛. 中国铜矿资源的现状及潜力分析[J]. 中国金属通报, 2021(1):5-6.

(上接第 81 页)

- [3] 李强, 常永强, 王荣生. 某微细粒含碳高硫铅锌矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(2):108-113.
- [4] 宋振国, 崔强, 周兵仔, 等. 某块状硫化物型铜铅锌多金属矿选别工艺优化研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(1):89-95.
- [5] 巩明辉, 李国栋, 王婷霞. 某高氧化率铅锌矿选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2022(5):117-122.
- [6] 汤优优, 陈雄. 西南某低品位硫化铅锌矿选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2021(3):103-109.
- [7] 毛志丹, 谢克强, 孔德全, 等. 云南某复杂硫、氧混合铅锌矿浮选实验研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6):34-37.
- [8] 郭灵敏. 缅甸某铅锌银多金属氧硫混合矿选矿技术开发研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(5):81-85.

(上接第 84 页)

获得 Cu 品位 23.01%、S 含量 23.83%、铜回收率 95.47% 的铜精矿和 S 品位 35.72%、Cu 含量 0.084%、硫回收率 58.48% 的硫精矿, 尾矿 Cu、S 含量分别为 0.035%、0.24%, 尾矿铜、硫损失率分别为 4.11%、9.20%。

参考文献:

- [1] 杨卉芑, 王威, 柳林, 等. 全球铜矿开发利用技术发展趋势[J]. 矿产保护与利用, 2021(5):134-139.
- [2] 陈艳平, 毛益林, 陈晓青, 等. 四川某铜矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2):87-90.

- [2] 简胜, 孙伟, 胡岳华. 内蒙古某复杂多金属硫化矿选矿技术研究[J]. 矿冶工程, 2019(4):50-53.
- [3] 贾木欣, 应平, 付强. 从工艺矿物学角度探讨某些难处理资源开发利用中的问题[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(2):1-4.
- [4] 曲思思, 刘新聪, 范耀芬, 等. 某难选氧化铜矿的浮选药剂试验[J]. 世界有色金属, 2021(15):116-117.
- [5] 袁铭泽, 周兴龙, 王兰华, 等. 四川某硫化铜矿浮选新药剂试验研究[J]. 矿冶工程, 2017(1):46-48.

引用本文: 苟浩然, 曾海鹏, 黄红军, 等. 湖北某复杂低品位铜矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4):85-88.

- [9] 罗斌, 刘全军, 余力, 等. 高氧化率铅锌矿浮选试验[J]. 有色金属工程, 2019(3):69-75.
- [10] CHEN J, LI Y, CHEN Y. Cu-S flotation separation via the combination of sodium humate and lime in a low pH medium[J]. Minerals Engineering, 2011, 24(1):58-63.
- [11] 王妍, 王旭, 薛凯, 等. 内蒙古某含银多金属硫化矿强化选别试验研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(5):49-52.
- [12] 朱玉霜, 朱建光. 浮选药剂的化学原理[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1996.

引用本文: 周艳飞, 王建安, 沈发明, 等. 某高氧化率硫化铅锌矿混合浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4):78-81.

- [3] 张立刚, 欧阳崇钟, 李文凤. 新型捕收剂浮选山东某伴生铜矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(2):70-72.
- [4] 黄春海, 胡新红, 段瑶, 等. 湖南某高硫低品位铜矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(3):72-74.
- [5] 于俊杰, 曾海鹏, 舒有顺, 等. 湖北某铜矿低碱度浮选工艺研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(1):112-117.
- [6] 周利华. 某复杂铜硫矿浮选分离与综合回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(1):77-80.

引用本文: 曹玉川. 某硫化铜矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4):82-84.