

低品位高泥高镁硫化铜镍矿浮选试验研究^①

曹杨^{1,2}, 孙磊¹, 孙伟¹, 汪清清¹, 王成文¹, 彭再华^{1,3}, 高志勇¹, 曹学锋¹

(1.中南大学资源加工与生物工程学院,湖南长沙410083; 2.镍钴资源综合利用国家重点实验室,甘肃金昌737100; 3.西部矿业集团有限公司,青海西宁810003)

摘要: 对新疆某铜镍矿山低品位高泥高镁硫化铜镍矿进行了浮选试验研究。以羧甲基纤维素钠和水玻璃为组合抑制剂、以丁基黄药和丁铵黑药为组合捕收剂,采用铜镍混合浮选-铜镍分离工艺流程,闭路试验可获得铜品位25.11%、铜回收率79.90%、含氧化镁2.02%的铜精矿以及镍品位6.98%、镍回收率75.01%、含氧化镁5.32%的镍精矿,实现了铜、镍的高效回收和有效分离。

关键词: 硫化铜镍矿; 高泥高镁; 铜镍分离; 浮选; 铜精矿; 镍精矿; 抑制剂; 捕收剂

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.014

文章编号: 0253-6099(2023)05-0062-04

Flotation of Low-Grade Copper-Nickel Sulfide Ore with High Content of Mud and Magnesium Oxide

CAO Yang^{1,2}, SUN Lei¹, SUN Wei¹, WANG Qingqing¹, WANG Chengwen¹, PENG Zaihua^{1,3}, GAO Zhiyong¹, CAO Xuefeng¹
(1.School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2.State Key Laboratory of Nickel and Cobalt Resources Comprehensive Utilization, Jinchang 737100, Gansu, China; 3.Western Mining Group Co Ltd, Xining 810003, Qinghai, China)

Abstract: Flotation tests were conducted for a low-grade copper-nickel sulfide ore with high content of mud and magnesium oxide from Xinjiang. Using sodium carboxymethyl cellulose and sodium silicate as a combined inhibitor, butyl xanthanthate and butyl ammonium black as a combined collector, a closed-circuit test with a flowsheet consisting of a Cu-Ni bulk flotation and a Cu/Ni separation produced a copper concentrate grading 25.11% Cu at 79.90% recovery, with MgO content of 2.02%, as well as a nickel concentrate grading 6.98% Ni at 75.01% recovery, with MgO content of 5.32%. It is concluded that effective recovery and separation of copper and nickel can be actualized.

Key words: copper-nickel sulfide ore; high content of mud and magnesium oxide; Cu/Ni separation; flotation; copper concentrate; nickel concentrate; inhibitor; collector

镍是重要的战略性矿产资源,被广泛用于飞机、雷达等各种军工制造业以及民用机械制造业和电镀工业等^[1-4]。我国镍资源丰富,总储量约占世界储量的25%,年产镍约占世界总产量的68%^[5]。我国的原生镍资源主要来源于多金属硫化铜镍资源,具有嵌布粒度微细、共伴生关系复杂等特点^[6-10]。新疆某铜镍矿是难选高泥高镁硫化铜镍矿,相较于国内其他硫化铜镍矿,该矿含镁脉石矿物以滑石为主,在磨矿阶段极易泥化,浮选过程中通过机械夹带作用进入精矿,导致精矿氧化镁含量超标,选别难度加大^[11-12]。针对该矿石

性质,采用二元混合抑制剂和捕收剂的铜镍混合浮选-铜镍分离工艺流程,实现了铜、镍的高效回收和有效分离,可为同类型资源的综合利用提供参考。

1 矿石性质

1.1 矿石元素组成及矿物组成

矿样取自新疆某矿山,其化学多元素分析结果见表1,主要矿物组成见表2。

表1结果表明,原矿铜、镍品位分别为0.09%和0.38%,是需要回收的主要有价元素;氧化镁含量为

① 收稿日期: 2023-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(51904338); 湖南省自然科学基金(2020JJ5746); 国家重点研发计划(2020YFC1909202)

作者简介: 曹杨(1991—),男,湖南常德人,博士研究生,主要研究方向为硫化矿浮选理论与技术。

通信作者: 孙磊(1984—),男,山东五莲人,博士,副教授,主要研究方向为复杂矿产资源高效利用基础理论与应用。

19.15%,是需要脱除的成分。表2结果表明,原矿中金属矿物主要有镍黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和黄铁矿,其他金属矿物含量较少;铜主要以黄铜矿形式存在,镍主要以镍黄铁矿形式存在;脉石矿物主要由滑石、黑云母、辉石等极易泥化的含镁硅酸盐类矿物组成。该矿石属于高泥高镁硫化铜镍矿石。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Cu	Ni	Co	S	MgO	Au ¹⁾	Ag
0.09	0.38	0.013	1.22	19.15	<0.1	微量

1) 单位为 g/t。

表2 原矿主要矿物组成(质量分数) %

镍黄铁矿	黄铜矿	磁黄铁矿	黄铁矿	滑石	蛇纹石	长石	镁闪石
0.82	0.43	0.91	0.47	15.87	0.64	21.1	11.62
辉石	透闪石	绿泥石	黑云母	石英	方解石	白云石	其他
10.35	3.03	6.53	12.93	8.51	0.71	0.61	5.47

1.2 主要矿物嵌布特征

经显微镜下观察,原矿金属矿物与硅酸盐脉石矿物之间主要具有以下嵌布特征:镍黄铁矿主要呈半自形、他形产出,呈块状、不规则状、粒状、细脉状嵌布,部分呈细脉状嵌布在磁黄铁矿中,大部分与辉石、橄榄石等脉石矿物连生。黄铜矿主要呈半自形、他形晶产出,呈不规则块状、粒状、细脉状、浸染状嵌布,绝大部分与绿泥石、辉石、云母等脉石矿物连生,少量呈粒状、细脉状嵌布于镍黄铁矿和磁黄铁矿中。脉石矿物主要由滑石、闪石、辉石、云母、长石、绿泥石、橄榄石等组成,另有少量或微量的石英、方解石、蛇纹石等矿物,嵌布粒度较粗,一般在0.043 mm以上。

2 试验结果与讨论

2.1 试验方法

采用“铜镍混合浮选-铜镍分离”工艺流程进行试验,经磨矿试验确定磨矿细度为-0.074 mm 粒级占75%左右,试验原则流程见图1。

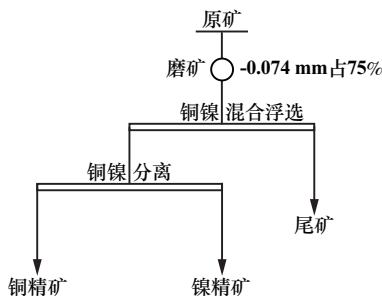


图1 试验原则流程

2.2 粗选抑制剂试验

2.2.1 抑制剂组合试验

由矿石性质可知,该铜镍矿中易浮易泥化的含镁硅酸盐类脉石矿物较多,需通过多种抑制剂组合来进行有效抑制。在丁基黄药用量 70 g/t、丁铵黑药用量 40 g/t 条件下,考察了羧甲基纤维素钠(CMC)、水玻璃、六偏磷酸钠和碳酸钠抑制剂组合对铜、镍浮选回收效果的影响,结果见表3。

表3 抑制剂组合试验结果

抑制剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	精矿产率/%	精矿品位/%		回收率/%	
		Cu	Ni	Cu	Ni
六偏磷酸钠+碳酸钠+CMC 200+400+300	18.5	0.45	1.32	83.73	64.06
六偏磷酸钠+水玻璃+CMC 200+1 000+300	15.7	0.47	1.51	85.80	62.07
六偏磷酸钠+CMC 200+300	20.5	0.43	0.99	88.41	54.08
水玻璃+CMC 200+300	18.4	0.48	1.45	85.46	69.85

表3结果表明,不同抑制剂组合条件下,铜品位和回收率变化不明显,镍品位和回收率有较大差异。当水玻璃和 CMC 组合使用时,获得了铜品位 0.48%、铜回收率 85.46%,镍品位 1.45%、镍回收率 69.85%的混合精矿,综合指标较优。后续试验中确定使用水玻璃和 CMC 组合作为含镁硅酸盐类脉石矿物抑制剂。

2.2.2 抑制剂用量试验

为进一步确定组合抑制剂的适宜配比,在丁基黄药用量 70 g/t、丁铵黑药用量 40 g/t、CMC 用量 300 g/t 条件下,考察了水玻璃用量对铜、镍浮选指标的影响,结果见图2。水玻璃用量小于 1 000 g/t 时,随着水玻璃用量增加,铜、镍品位和回收率均呈上升趋势;之后继续增大水玻璃用量,铜、镍回收率开始下降,品位变化不显著。确定水玻璃适宜用量为 1 000 g/t。

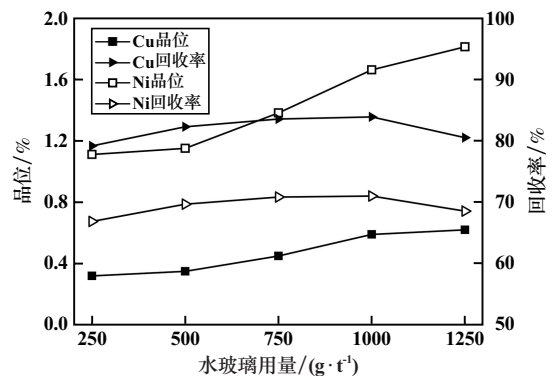


图2 水玻璃用量对粗选铜、镍指标的影响

水玻璃用量 1 000 g/t,其他条件不变,考察了

CMC用量对铜、镍浮选指标的影响,结果见图3。

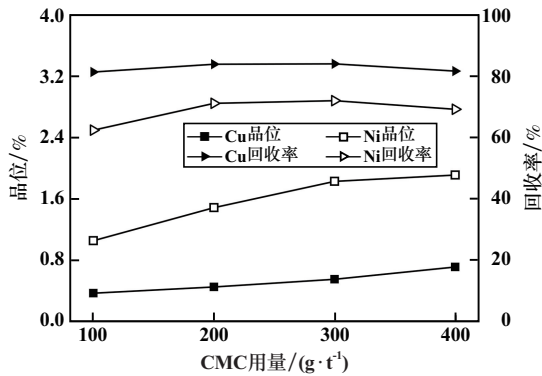


图3 CMC用量对粗选铜、镍指标的影响

图3结果表明,CMC用量低于300 g/t时,随着CMC用量增加,铜、镍品位和回收率均呈增长趋势;之后继续增大CMC用量,铜、镍回收率开始下降,品位变化不显著。确定CMC适宜用量为300 g/t。

2.3 粗选捕收剂试验

2.3.1 捕收剂组合试验

原矿中铜、镍品位较低,脉石矿物含量较高,使用单一捕收剂难以实现有价金属的应收尽收。在水玻璃用量1000 g/t、CMC用量300 g/t条件下,考察了丁基黄药、戊基黄药、丁铵黑药和Z-200捕收剂组合对铜、镍浮选回收效果的影响,结果见表4。

表4 捕收剂组合试验结果

捕收剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	精矿产率/%	精矿品位/%		回收率/%	
		Cu	Ni	Cu	Ni
戊基黄药+丁铵黑药+Z200 70+40+30	16.5	0.64	1.69	84.61	73.92
戊基黄药+丁铵黑药 70+40	10.9	0.72	1.79	79.74	51.06
丁基黄药+丁铵黑药 70+40	21.9	0.49	1.34	91.57	76.95
丁铵黑药 40	15.6	0.46	1.88	90.06	76.81
戊基黄药 70	13.5	0.46	1.51	75.31	53.19
丁基黄药 70	14.2	0.55	1.57	87.16	58.26

表4结果表明,丁基黄药和丁铵黑药组合使用时,可获得铜品位0.49%、铜回收率91.57%、镍品位1.34%、镍回收率76.95%的混合精矿,综合指标较好。后续试验使用了丁基黄药和丁铵黑药组合作为铜镍混合浮选捕收剂。

2.3.2 捕收剂用量试验

为了进一步确定组合捕收剂的适宜配比,在水玻璃

用量1000 g/t、CMC用量300 g/t、丁铵黑药用量40 g/t条件下,考察了丁基黄药用量对铜、镍浮选指标的影响,结果见图4。

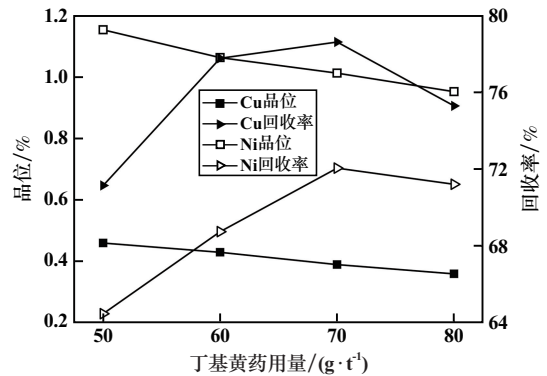


图4 丁基黄药用量对粗选铜、镍指标的影响

由图4可见,丁基黄药用量从50 g/t增加到70 g/t,铜、镍回收率逐渐升高,之后继续增大丁基黄药用量,铜、镍回收率开始下降;在整个丁基黄药用量范围内,随着丁基黄药用量增加,铜、镍品位均呈下降趋势。综合考虑,确定丁基黄药适宜用量为70 g/t。

丁基黄药用量70 g/t,其他条件不变,考察了丁铵黑药用量对铜、镍浮选指标的影响,结果见图5。

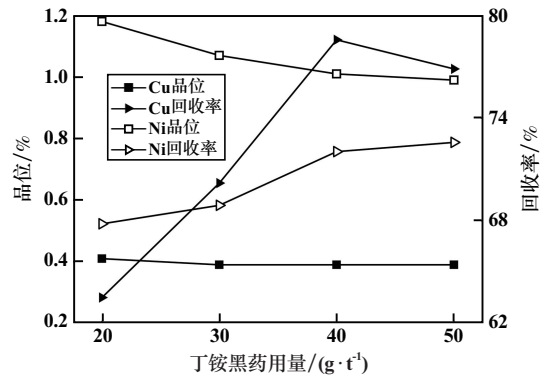


图5 丁铵黑药用量对粗选铜、镍指标的影响

图5结果表明,随着丁铵黑药用量增大,铜、镍品位下降,铜回收率先上升后降低,镍回收率一直处于上升趋势。综合考虑,确定丁铵黑药适宜用量为40 g/t。

2.4 闭路试验

在单因素条件试验和开路试验基础上,开展了闭路试验,并对药剂制度及工艺流程进行了优化,在铜镍分离过程中,以活性炭作为药剂吸附剂来脱除残余的浮选药剂,以此降低残余浮选药剂对铜、镍分离指标的影响。闭路试验流程和药剂制度见图6,结果见表5。

表5结果表明,闭路流程可获得铜品位25.11%、回收率79.90%的铜精矿和镍品位6.98%、回收率75.01%的镍精矿。浮选精矿中铜、镍互含较低,铜、镍得到了

较好地回收与分离。同时,铜、镍精矿中氧化镁含量分别为2.02%和5.32%,满足氧化镁含量小于6.5%的冶炼要求。

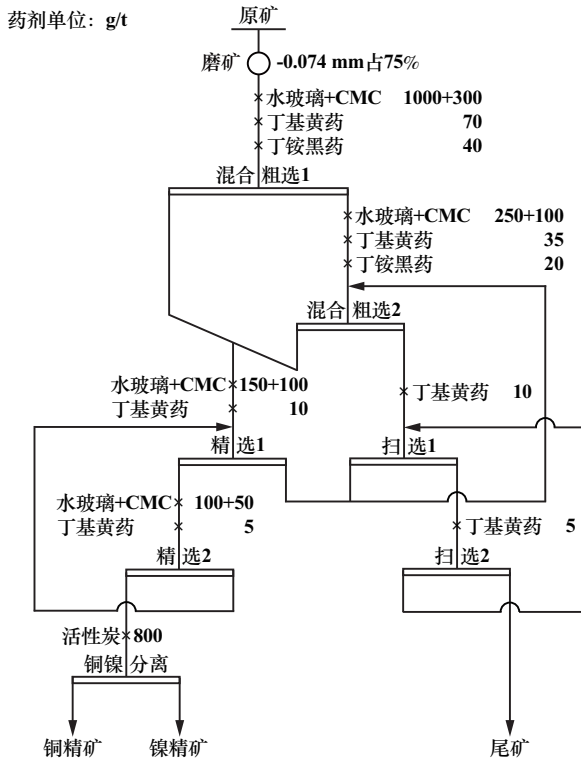


图6 闭路试验流程

表5 闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%	
		Cu	Ni	MgO	Cu	Ni
铜精矿	0.32	25.11	0.11	2.02	79.90	0.09
镍精矿	4.22	0.14	6.98	5.32	5.87	75.01
尾矿	81.96	0.015	0.10		14.23	24.90
原矿	100.00	0.10	0.39		100.00	100.00

3 结 论

1) 矿石中铜主要以黄铜矿形式赋存,镍主要以镍黄铁矿形式赋存,脉石主要为以滑石为代表的含镁硅

酸盐类矿物;矿样中铜、镍品位分别为0.09%和0.38%,含氧化镁19.15%。

2) 以水玻璃和CMC为组合抑制剂,以丁基黄药和丁铵黑药为组合捕收剂,采用铜镍混合浮选-铜镍分离工艺流程,闭路试验可获得铜品位25.11%、铜回收率79.90%、含氧化镁2.02%的铜精矿以及镍品位6.98%、镍回收率75.01%、含氧化镁5.32%的镍精矿,实现了铜、镍高效回收和有效分离。

参考文献:

- [1] 杨 超. 低品质红土镍矿选择性还原-磁选制备镍铁合金[J]. 矿冶工程, 2021,41(2):99-101.
- [2] 谢堂锋,陈若葵,王 明,等. 废旧动力电池回收废料中镍含量的测定研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(1):121-124.
- [3] 何 浩,邵延海,吴海祥,等. 我国硫化铜镍矿浮选工艺及药剂研究现状[J]. 矿产保护与利用, 2020,40(2):100-104.
- [4] 王志坚,卢冀伟,袁致涛,等. 钨酸钠对镍黄铁矿与蛇纹石浮选分离的影响及作用机理[J]. 中国有色金属学报, 2022,32(11):3470-3478.
- [5] 魏 国. 我国镍产业发展现状及市场分析[J]. 中国有色金属, 2020(14):44-45.
- [6] 娄德波,孙 艳,山成栋,等. 中国镍矿床地质特征与矿产预测[J]. 地学前缘, 2018,25(3):67-81.
- [7] 刘贵清,张邦胜,张 帆,等. 中国镍矿资源与市场分析[J]. 中国资源综合利用, 2020,38(7):102-105.
- [8] 余海军,谢英豪,李爱霞. 红土镍矿冶炼技术的全球专利信息分析[J]. 矿冶工程, 2022,42(2):96-101.
- [9] 马鹏飞,韩统坤,翁存建. 铜镍硫化矿浮选分离研究现状[J]. 矿产保护与利用, 2015(5):68-73.
- [10] 柏 帆,童 雄,谢 贤,等. 我国硫化铜镍矿选矿工艺研究进展[J]. 矿产综合利用, 2018(3):11-17.
- [11] 耿志强,刘润清,孙 伟. 河北某泥化黄铜矿浮选脱泥-微泡浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2017,37(5):56-59.
- [12] 王 丽,谢 杰,胡春梅,等. 某高镁低品位硫化镍矿石的选矿工艺研究[J]. 现代矿业, 2020,36(9):120-123.

引用本文: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.

(上接第61页)

- [4] 张 晶,王少东,乔吉波,等. 某铜铅锌矿清洁浮选技术研究[J]. 矿冶工程, 2016,36(6):49-52.
- [5] 胡志凯,于 洋,陈经华. 西藏某铜铅锌多金属矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2016,36(6):46-48.
- [6] 李奇勇,李 强,吴婷婷. 福建某低品位难选铅锌矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2017(3):23-27.
- [7] 杨成方,高 鹏,党梦婷,等. 选矿废水中黄药的处理技术及工艺研究进展[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2022,37(2):62-70.
- [8] 李希掌,曾 娜,向 平,等. 湖南某铅锌矿无碱浮选试验研究[J].

矿冶工程, 2021,41(3):75-78.

- [9] 马明辉,苏 超,贾晓东,等. 铜铅混合精矿浮选分离抑制剂研究进展[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(4):94-98.
- [10] 肖军辉,吴 强,王进明,等. 低品位铜铅多金属硫化矿浮选分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2017,37(6):45-50.
- [11] 陈建华,童 雄,甘 恒,等. 多金属硫化矿混合浮选高效活化剂试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(3):97-100.

引用本文:魏宗武,杨 谦,黄 涛,等. 某低品位难选铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):58-61.