

# 某低品位难选铜铅锌硫化矿浮选分离试验研究<sup>①</sup>

魏宗武<sup>1</sup>, 杨谦<sup>1</sup>, 黄涛<sup>1</sup>, 高瑒<sup>1,2</sup>, 张旭哲<sup>1</sup>, 杨一豪<sup>1</sup>

(1.广西大学资源环境与材料学院, 广西 南宁 530004; 2.南丹县自然资源局, 广西 南丹 547200)

**摘要:** 针对某铜铅锌多金属硫化矿主要矿物嵌布关系较复杂、有价矿物与脉石共生关系密切的特点, 在原矿铜品位 0.21%、铅品位 2.37%、锌品位 3.01% 条件下, 采用铜铅混合浮选-铜铅分离-锌浮选的弱碱工艺流程, 以 A22 为铜铅混合浮选捕收剂, TZ01+硫酸锌为锌、硫矿物抑制剂, CZ08 为锌浮选捕收剂, 亚硫酸钠+CMC 为铜铅分离抑制剂, 最终获得了 Cu 品位 22.09%、回收率 70.48% 的铜精矿, Pb 品位 59.48%、回收率 89.35% 的铅精矿和 Zn 品位 45.00%、回收率 86.96% 的锌精矿。

**关键词:** 铜铅锌硫化矿; 浮选; 低碱性; 清洁浮选; 捕收剂; 抑制剂; 混合浮选; 铜铅分离

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.013

文章编号: 0253-6099(2023)05-0058-04

## Flotation of Low-Grade Refractory Copper-Lead-Zinc Sulfide Ore for Mineral Separation

WEI Zongwu<sup>1</sup>, YANG Qian<sup>1</sup>, HUANG Tao<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuzhe<sup>1</sup>, YANG Yihao<sup>1</sup>

(1.School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; 2.Nandan County Natural Resources Bureau, Nandan 547200, Guangxi, China)

**Abstract:** A copper-lead-zinc polymetallic sulfide ore, being characterized by complex dissemination of main minerals and intimate intergrowth of valuable minerals and gangue, was taken for study. In an experiment, the raw ore grading 0.21% Cu, 2.37% Pb and 3.01% Zn was treated with a weak-alkali process, consisting of Cu-Pb bulk flotation, Cu/Pb separation and Zn flotation. With A22 as a copper-lead bulk flotation collector, TZ01 and zinc sulphate as depressants of zinc and sulfur minerals, CZ08 as a zinc flotation collector, sodium sulfite and CMC as depressants for Cu/Pb separation, a copper concentrate grading 22.09% Cu at 70.48% recovery, a lead concentrate grading 59.48% Pb at 89.35% recovery, and a zinc concentrate grading 45.00% Zn at 86.96% recovery were yielded.

**Key words:** copper-lead-zinc sulfide ore; flotation; low basicity; clean flotation; collector; depressant; bulk flotation; Cu/Pb separation

铜、铅、锌等有色金属是重要矿产资源,对经济发展有着重要意义<sup>[1]</sup>。铜铅锌需求量呈现持续增加的态势,但自然资源有限,常年对富矿的过度开发,国内外目前值得开采的铜铅锌矿大多有着贫、细、杂的特点<sup>[2-3]</sup>。当前,我国环境保护力度不断加强,对矿山药剂、生产废水提出了更严格的要求,因此需要以更高效、更环保的选矿技术开发现有低品位难选铜铅锌有色金属资源<sup>[4-5]</sup>。

广西某铜铅锌多金属硫化矿矿物种类较多,本文

使用新型环保药剂对其进行选矿试验研究,以确定合适的药剂制度,为该矿石的清洁开发提供参考。

### 1 矿石性质

试验所用矿样主要化学成分分析结果见表1。由表1可知,矿石中主要可回收元素为铅和锌,伴生有益元素为铜、银。铜、铅、锌是具有回收价值的元素,银可附带回收于铅精矿或铜精矿、锌精矿中。主要杂质成分为SiO<sub>2</sub>,其次为Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和CaO。

① 收稿日期: 2023-04-08

基金项目: 崇左市科技计划项目(崇科 20220605)

作者简介: 魏宗武(1974—),男,贵州思南人,副教授,主要从事复杂难选矿物资源的选冶研究及教学工作。

通信作者: 杨谦(1999—),男,陕西延安人,硕士研究生,主要从事金属矿的选矿技术研究。

表1 原矿主要化学成分分析结果(质量分数) %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu	Pb	Zn	Fe
43.13	8.94	0.21	2.37	3.01	13.1
S	CaO	Cd	As	Au <sup>1)</sup>	Ag <sup>1)</sup>
3.6	8.11	0.03	0.07	0.06	31

1) 单位为 g/t。

取磨机给矿,经混合缩分后进行岩矿鉴定,发现矿石大部分呈灰色、灰黑绿色块状。原矿矿物组成如表2所示。从表2可知,原矿中金属矿物主要为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿等,脉石矿物主要为辉石、方解石、透闪石、阳起石、绿泥石、石英等。

表2 原矿矿物组成(质量分数) %

黄铜矿	磁黄铁矿	闪锌矿	方铅矿	白铅矿	黄铁矿
0.85	6.00	5.00	3.80	0.40	2.50
磁铁矿	白铁矿	菱锌矿	辉石	阳起石	方解石
0.70	0.50	0.25	33.00	15.00	10.00
透闪石	绿泥石	石英	白云母	绢云母	其他
9.00	8.00	3.00	1.00	1.00	<0.5

注:其他包括褐铁矿、赤铁矿、绿帘石、辉银矿等微量矿物。

矿石中主要矿物共生关系复杂,铜-锌、铅-锌以及一部分铜、铅矿物与脉石矿物共生关系密切,部分方铅矿嵌布粒度极细;部分闪锌矿与黄铜矿呈毗邻共生关系,边界较平直,容易解离,而另一部分闪锌矿中包含固溶体分离结构的乳滴状黄铜矿、叶片状黄铜矿。

黄铜矿呈细微他形粒状,粒度0.004~0.2 mm。方铅矿呈他形粒状,部分聚集成不规则斑点,粒度0.004~0.5 mm,以0.04~0.2 mm居多。闪锌矿呈他形粒状,常聚集成不规则斑团、斑点、团状,粒度0.004~0.2 mm。目前磨矿条件下解离难度大,铜损失于锌精矿中是铜回收率不高的主要原因。

## 2 试验方法

试验于选矿厂实验室中进行。浮选试验所用矿样来自现场水力旋流器溢流矿浆,磨矿细度-0.074 mm 粒级含量约73%。粗选、扫选试验使用1.5 L浮选机,精选试验使用0.5 L浮选机。拟采用铜铅混合浮选-铜铅分离-锌浮选方案进行试验,于浮选槽中依次加入各类药剂进行充气浮选,试验结束后,将产品称量制样后送往检验科化验,并进行相关计算,取得最佳工艺流程及药剂制度。试验流程见图1。

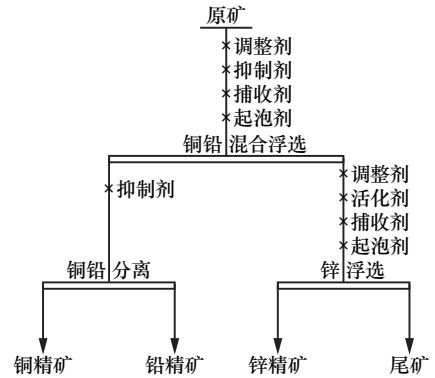


图1 试验原则流程

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 铜铅混合浮选试验

#### 3.1.1 调整剂石灰用量试验

石灰是常规硫铁矿抑制剂,也是目前国内应用较广泛的pH值调整剂<sup>[6]</sup>。在磨矿细度-0.074 mm 粒级占73%,抑制剂硫酸锌用量1 000 g/t、捕收剂A22用量20 g/t时,采用一粗一扫混合浮选流程,进行了石灰用量条件试验,结果见图2。结果表明,随着石灰用量增加,混合精矿中铜、铅回收率逐渐降低,铜、铅品位变化不大,混合精矿中锌回收率先降低后升高,说明添加石灰有利于抑制闪锌矿和黄铁矿,但过量的石灰会影响铅的回收率。综合考虑,石灰用量1 000 g/t为宜,此时矿浆pH值约为8。

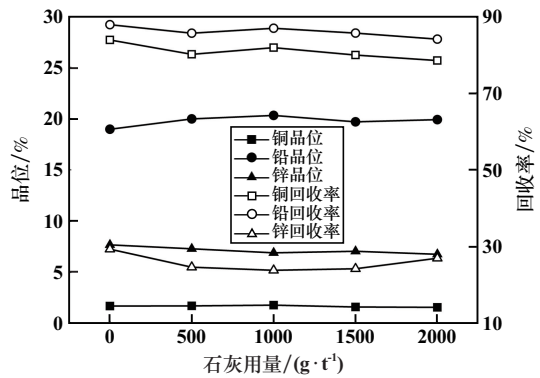


图2 石灰用量试验结果

#### 3.1.2 抑制剂TZ01用量试验

TZ01是广西大学自主研发的新型环保锌抑制剂,为硫代氨基甲酸盐,它与硫酸锌联合使用能有效抑制闪锌矿。石灰用量1 000 g/t,其他条件不变,进行了TZ01用量试验,结果见图3。结果表明,随着TZ01用量增加,混合精矿中锌品位和回收率有所下降,说明闪锌矿受到了抑制;混合精矿中铅、铜回收率变化不大,考虑到该矿石在此磨矿细度下部分铜锌共生,无法完

全解离,抑制剂 TZ01 适宜用量为 300 g/t。

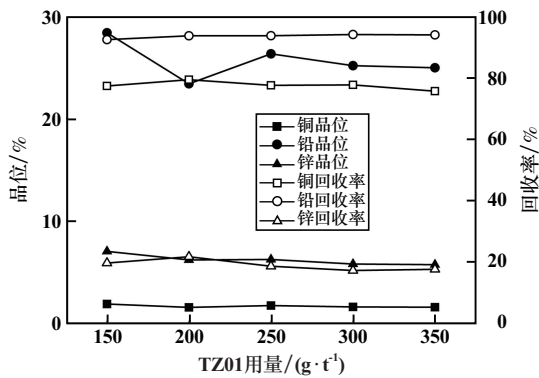


图3 TZ01 用量试验结果

### 3.1.3 捕收剂 A22 用量试验

A22 是广西大学自主研发的环保型捕收剂,主要官能团为甲基、氨基和羰基,它具有用量少、成本低、可生物降解等特点<sup>[7]</sup>。TZ01 用量 300 g/t,其他条件不变,进行了 A22 用量试验,结果见图 4。结果表明,随着 A22 用量增加,混合精矿铜、铅回收率呈逐渐升高趋势;A22 用量超过 20 g/t 后,铜、铅回收率增加不明显,但混合精矿中锌含量上升。综合考虑,捕收剂 A22 适宜用量为 20 g/t。

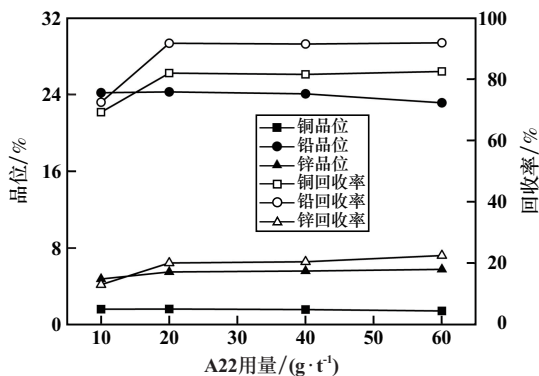


图4 A22 用量试验结果

## 3.2 铜铅分离浮选试验

铜铅分离一般分为抑铜浮铅法和抑铅浮铜法。抑铜浮铅法应用较多的是氰化物以及与其相关的组合药剂,由于氰化物毒性较大,污染环境,难以达到环保要求,限制了其在工业生产中的应用<sup>[8-9]</sup>。本文选择抑铅浮铜工艺,使用组合抑制剂进行铜铅分离,两组抑制剂的分离效果见表 3。结果表明,两组抑制剂分离效果

表3 铜铅分离抑制剂种类试验结果

抑制剂种类及用量/(g·t <sup>-1</sup> )	铜回收率/%	铅回收率/%
重铬酸钾+CMC 350+25	93.05	95.37
亚硫酸钠+CMC 350+25	93.15	95.93

相近。重铬酸钾含重金属铬离子,会对周边及下游环境造成严重污染<sup>[10-11]</sup>,不符合环保要求,本文选用亚硫酸钠+CMC 组合进行铜铅分离。

## 3.3 锌浮选试验

### 3.3.1 石灰用量试验

石灰是常规硫铁矿抑制剂和 pH 值调整剂,成本低廉,在选锌作业中应用广泛。但过量的石灰会产生粉尘,影响车间环境,同时也会导致矿浆、水管道堵塞等问题。

以铜铅浮选尾矿进行选锌试验,在活化剂硫酸铜用量 300 g/t、捕收剂 CZ08 用量 60 g/t 条件下,采用一粗两扫浮选流程,进行了石灰用量条件试验,结果见图 5。结果表明,石灰用量对锌粗精矿指标影响较大。综合考虑,锌浮选石灰用量 1 000 g/t 为宜,此时矿浆 pH 值约为 8.5。

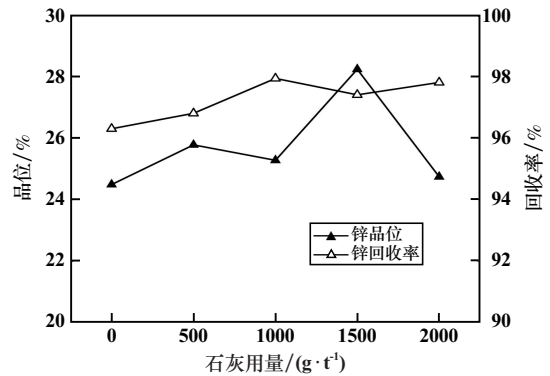


图5 锌浮选石灰用量试验结果

### 3.3.2 CZ08 用量试验

CZ08 是广西大学自主研发的新型高效环保捕收剂,由硫氨酯类捕收剂与黑药复配而成,适用于低碱度条件下选锌。石灰用量 1 000 g/t、硫酸铜用量 300 g/t 条件下,进行了 CZ08 用量试验,结果见图 6。结果表明,随着 CZ08 用量增加,锌粗精矿锌品位和回收率不断增加,CZ08 用量 60 g/t 时达到峰值。综合考虑,CZ08 用量 60 g/t 为宜。

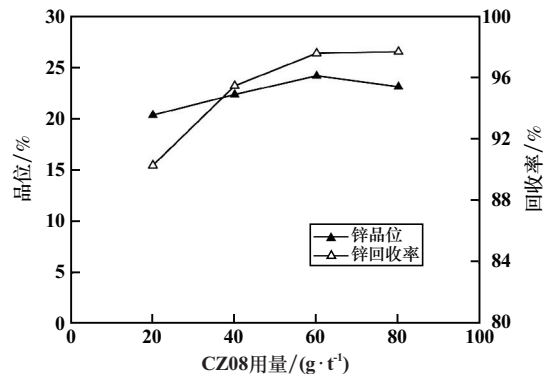


图6 CZ08 用量试验结果

### 3.4 闭路浮选试验

在条件试验基础上确定了合适的药剂制度,并进行了小型闭路试验,试验流程如图7所示,结果见表4。在矿浆pH值8、A22(20 g/t)为捕收剂、ZnSO<sub>4</sub>+TZ01(300 g/t+1 000 g/t)为抑制剂,进行一粗二扫二精铜铅混合浮选,混合精矿再在亚硫酸钠+CMC(350 g/t+25 g/t)为铅抑制剂条件下进行一粗一扫二精铜铅分离,铜铅浮选尾矿在矿浆pH值8.5、CZ08(60 g/t)为捕收剂、CuSO<sub>4</sub>(300 g/t)为活化剂条件下一粗二扫二精浮选锌,获

得了Cu品位22.09%、回收率70.48%的铜精矿,Pb品位59.48%、回收率89.35%的铅精矿和Zn品位45.00%、回收率86.96%的锌精矿。整个浮选流程实现了在低碱度条件下的铜铅锌分离。选矿尾水pH值在中性范围,尾水中两性物质铅、锌、镉等重金属离子含量低,简单处理后可直接返回循环使用或外排,净化处理成本低;减少了石灰用量,可减少烧制石灰的二氧化碳排放量,为国家实现碳达峰碳中和做出一定贡献;利用环保药剂在保证铜、铅、锌充分回收的前提下实现了清洁浮选。

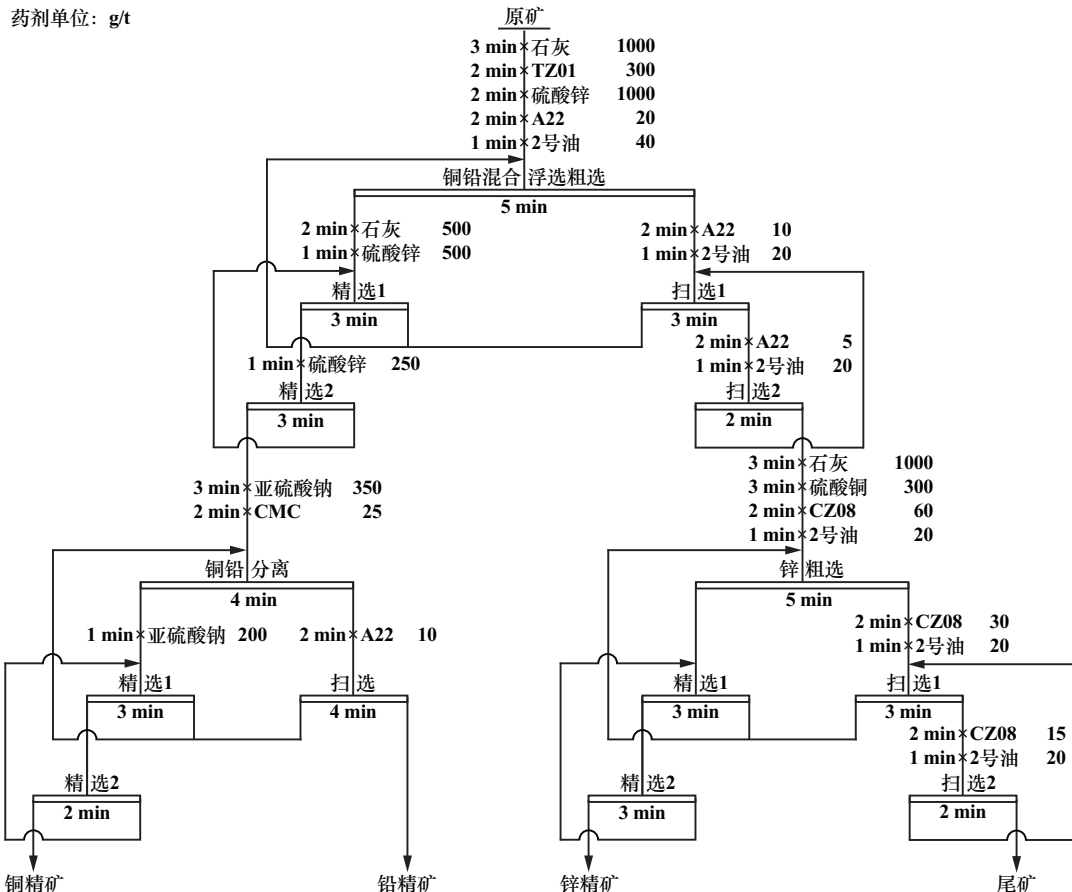


图7 闭路试验流程

表4 闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
铜精矿	0.67	22.09	3.86	10.06	70.48	1.09	2.24
铅精矿	3.56	0.22	59.48	6.06	3.67	89.35	7.17
锌精矿	5.82	0.75	1.84	45.00	20.21	3.71	86.96
尾矿	89.95	0.01	0.15	0.12	5.64	5.85	3.63
给矿	100.00	0.21	2.37	3.01	100.00	100.00	100.00

## 4 结 论

广西某铜铅锌多金属硫化矿主要矿物嵌布关系较复杂,有价矿物与脉石共生关系密切,不易解离,属难

选铜铅锌矿。根据原矿性质研究结果,采用铜铅混合浮选-铜铅分离-锌浮选流程,最终得到了Cu品位22.09%、回收率70.48%的铜精矿,Pb品位59.48%、回收率89.35%的铅精矿和Zn品位45.00%、回收率86.96%的锌精矿。

### 参考文献:

- [1] 王 丞,朱恩领,李 敏,等. 青海某复杂多金属矿新型药剂浮选试验研究[J]. 云南冶金, 2022,51(2):38-43.
- [2] 荆念文,刘润清,王长涛,等. 低碱混合浮选提高某铅矿中金浮选指标的工艺研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):46-50.
- [3] 杨荣林. 浅析我国铅锌矿资源开发现状及可持续发展建议[J]. 世界有色金属, 2018(1):148.

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。

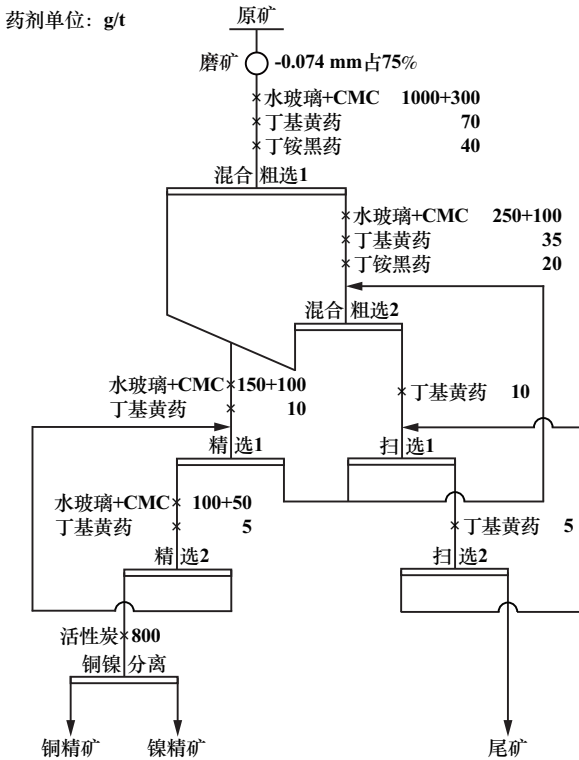


图6 闭路试验流程

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.