

# 低品位高滑石型钼矿高效分离工艺研究<sup>①</sup>

吴奕彤, 焦芬, 魏茜, 蒋素芳

(中南大学资源加工与生物工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:** 针对河南某高滑石型难选辉钼矿脱泥流程中钼损失量大、钼和滑石分离困难的问题, 在脱泥工艺中添加一定的 ZN-J1 有效降低了辉钼矿在脱泥工段中的损失, 以水玻璃+ZN-P1 作为分离工艺的组合抑制剂, 在原矿 Mo 品位 0.116%、硫化钼占比 83.53%、滑石相对含量 14.0% 条件下, 采用“脱泥-钼预浮选-再磨-钼与滑石分离”的工艺流程, 全流程闭路试验得到了钼精矿品位 47.68%、钼回收率 75.41% 的优良指标。

**关键词:** 辉钼矿; 滑石; 脱泥; 抑制剂

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.02.011

文章编号: 0253-6099(2024)02-0043-04

## Efficient Separation Process for Low-Grade High-Talc Molybdenum Ore

WU Yitong, JIAO Fen, WEI Qian, JIANG Sufang

(School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

**Abstract:** In response to the problems of high molybdenum loss and difficulty in molybdenum/talc separation existing in the desliming process of a high talc-type molybdenite ore from Henan, ZN-J1, a molybdenum depressant, was introduced in the desliming section to minimize efficiently the molybdenum loss. The feed ore with Mo grade of 0.116%, molybdenum sulfide percentage of 83.53% and talc content of 14.0% was processed by adopting a flowsheet, consisting of desliming, pre-flotation of molybdenum, regrinding, and molybdenum/talc separation, with a combination of sodium silicate and ZN-P1 as depressant. A closed-circuit test with the whole process produced a molybdenum concentrate with Mo grade of 47.68% and Mo recovery of 75.41%, respectively.

**Key words:** molybdenite; talc; desliming; depressant

我国钼金属储量居世界之首, 但钼矿资源禀赋差异大, 品位小于 0.1% 的储量占总储量的 75% 以上<sup>[1]</sup>。河南上房沟滑石型辉钼矿矿石储量高达 5.2 亿吨<sup>[2]</sup>, 基于辉钼矿与滑石天然可浮性相近、辉钼矿嵌布粒度细及滑石磨矿过程易泥化等原因, 该类矿选别过程中存在浮选环境差、微细粒辉钼矿难以回收等问题, 致使该类钼资源回收利用率低。

滑石型钼矿往往需要预先脱泥以减少泥化脉石对浮选环境的干扰<sup>[3-5]</sup>, 而现有脱泥流程中钼损失率高达 5%, 且相关的浮选药剂对两者的分选效果并不理想, 难以获得高品位的钼精矿<sup>[6-10]</sup>。

本文针对河南上房沟某低品位高滑石型钼矿脱泥工艺中钼损失大、分选工艺中滑石与钼分离难的问题,

通过优化工艺流程和药剂制度, 采用“脱泥-钼预选-再磨-钼与滑石分离”高效回收钼, 研究结果可为其他滑石型钼矿选别提供技术参考。

## 1 原矿性质及试验方法

### 1.1 原矿性质

试验原料来源于河南某高滑石型钼矿, 原矿化学多元素分析结果见表 1, 钼物相分析结果见表 2, 矿物组成及相对含量结果见表 3。

由表 1 可知, 原矿中 Mo 品位仅 0.116%, 除可综合回收的元素 Fe 外, 其他元素不具备回收价值。由表 2 可知, 原矿中钼主要以硫化钼形式存在。由表 3 可知, 硫化钼矿物为辉钼矿, 氧化钼矿物主要为钼华和钼钙

① 收稿日期: 2023-10-15

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51974364)

作者简介: 吴奕彤(1999—), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 主要研究方向为滑石型钼矿浮选分离。E-mail: 1072071491@qq.com

矿,影响浮选的脉石矿物主要为透闪石、滑石等。

表1 矿石化学多元素分析结果(质量分数) %

Mo	WO <sub>3</sub>	Fe	S	Cu	MgO
0.116	0.048	10.56	1.27	0.018	16.11
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	C	
11.42	46.82	5.54	0.31	1.48	

表2 原矿钼物相分析结果

钼物相	含量/%	分布率/%
氧化相钼	0.018 1	16.47
硫化相钼	0.091 9	83.53
合计	0.116	100.00

表3 主要矿物组成及其相对含量(质量分数)

矿物名称	相对含量/%	矿物名称	相对含量/%
辉钼矿	0.18	石英	8.0
钼钙矿,钼华	0.03	透闪石	38.0
白钨矿	0.04	长石	13.0
磁铁矿	12.00	云母	2.5
赤铁矿褐铁矿	0.50	白云石,方解石	5.0
黄铁矿	2.10	滑石	14.0
磁黄铁矿	微量	蛇纹石	1.0
黄铜矿	0.05	绿泥石	1.2
金红石	0.10	萤石	0.8
楣石	0.50	其他	1.0

1.2 试验方法

将原矿破碎至-3 mm,破碎完后堆锥混合4遍,采用环割法缩取装入自封袋,每袋严格按1 000 g 称重封装;采用球磨机磨矿,每次试样1 000 g,磨矿浓度65%。浮选在XFD系列浮选机中进行,浮选产品经烘干、称重、制样后化验品位,计算浮选回收率。试验原则流程见图1。

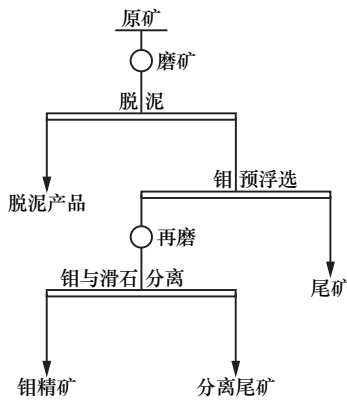


图1 试验原则流程

试验用药剂起泡剂 MIBC,捕收剂柴油,抑制剂水

玻璃、糊精、木质素磺酸钠、葡聚糖、酵母粉、淀粉均为工业级药剂,抑制剂 ZN-P1、ZN-J1 均为中南大学自主研发的药剂,其中 ZN-P1 由多种磷酸类无机药剂复配而成,ZN-J1 是一种改性的有机药剂。

试验设备包括 XMQ 系列球磨机(Φ240×90、Φ150×50)、XFD 系列浮选机(8 L、3 L、1.5 L、1 L、0.5 L)。

2 试验结果与讨论

2.1 磨矿细度试验

合适的磨矿细度是浮选获得优良指标的重要前提,入浮目的矿物是否充分单体解离直接影响浮选精矿的品位及回收率。参考前人试验经验<sup>[3]</sup>,选用两段脱泥流程,进行了磨矿细度条件试验,试验流程见图2,结果见图3。

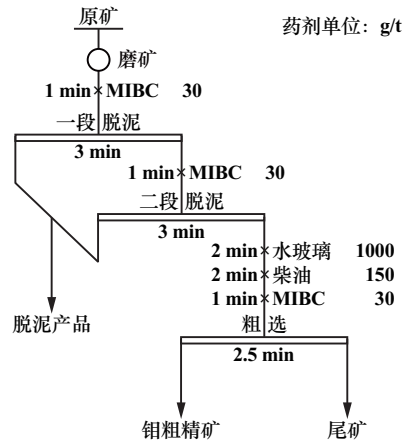


图2 磨矿细度试验流程

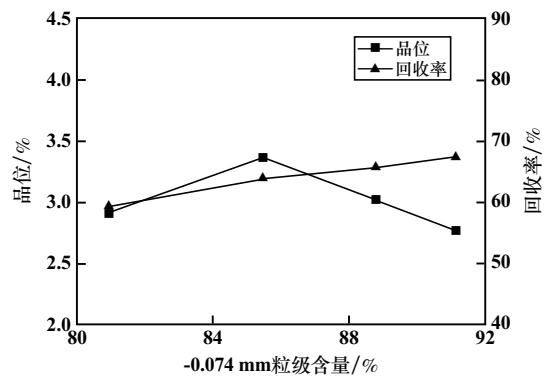


图3 磨矿细度试验结果

由图3可知,钼粗精矿中 Mo 回收率随磨矿细度增加不断增加,钼粗精矿中 Mo 品位在磨矿细度为-0.074 mm 粒级含量 80.95%~85.47%时随磨矿细度增加而增加,当磨矿细度超过-0.074 mm 粒级含量 85.47%后,品位反而随磨矿细度增加而降低。综合考虑,选择原矿磨矿细度为-0.074 mm 粒级占 85.47%。

2.2 脱泥作业钼抑制剂种类及用量试验

2.2.1 脱泥作业钼抑制剂种类试验

在试验过程中发现,部分解离情况较好、可浮性高的辉钼矿会在脱泥阶段被脱除,造成钼损失。为了减少这部分钼的流失,尝试在脱泥流程中添加辉钼矿抑制剂,探究钼抑制剂对脱泥产品指标的影响。以MIBC为起泡剂,用量30 g/t,采用两段脱泥作业,对比脱泥作业中不添加抑制剂与添加葡聚糖(200 g/t)、糊精(200 g/t)、酵母粉(200 g/t)、木质素磺酸钠(200 g/t)及ZN-J1(200 g/t)作为抑制剂情况下的脱泥指标,试验流程见图4,结果如表4所示。

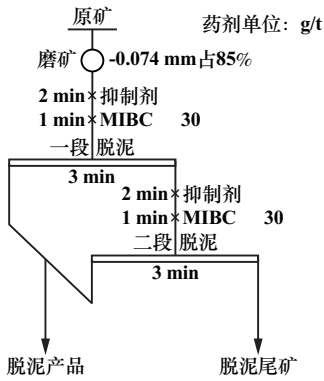


图4 脱泥作业钼抑制剂种类试验流程

表4 脱泥作业钼抑制剂种类试验结果

抑制剂种类	脱泥产品 Mo 品位/%	Mo 损失率/%
无	0.124	6.92
糊精	0.083	4.74
木质素磺酸钠	0.076	4.41
葡聚糖	0.075	4.45
酵母粉	0.072	4.14
ZN-J1	0.069	4.05

从表4可知,添加脱泥抑制剂后,脱泥产品中Mo品位明显减少,Mo损失率也明显下降,说明在脱泥作业中添加钼抑制剂能在有效提高脱泥效率的同时减少钼损失率。对比5组抑制剂试验结果,以ZN-J1为抑制剂进行脱泥时钼损失率最低,为4.05%。

2.2.2 脱泥作业钼抑制剂用量试验

以ZN-J1为脱泥作业辉钼矿抑制剂,按图4所示流程,探究ZN-J1总用量(一段+二段)对脱泥作业中钼损失率的影响,结果如图5所示。

从图5可知,随着ZN-J1用量增加,脱泥产品中Mo品位及回收率均先快速降低后趋于平稳。综合考虑抑制效果及药剂成本,选用ZN-J1药剂用量200 g/t(一段和二段用量均为100 g/t),此时脱泥产品Mo品位降至0.069%、Mo损失率降至4.05%。

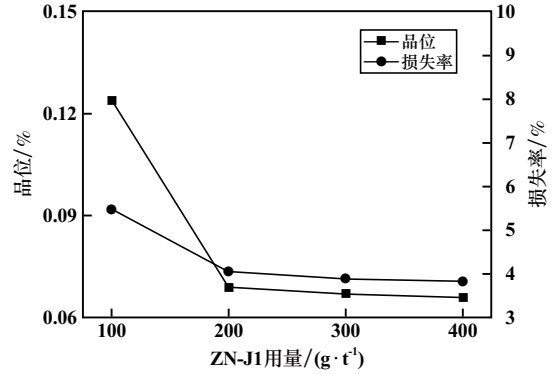


图5 ZN-J1用量试验结果

2.3 分选流程抑制剂种类及用量试验

2.3.1 分选流程抑制剂种类试验

原矿中脉石主要为硅酸盐类矿物,针对矿物组成,在分选段抑制剂种类试验选用水玻璃作为主要抑制剂,对比了水玻璃+CMC、水玻璃+淀粉、水玻璃+腐殖酸以及水玻璃+ZN-P1的不同抑制剂组合试验,试验流程见图6,结果如表5所示。

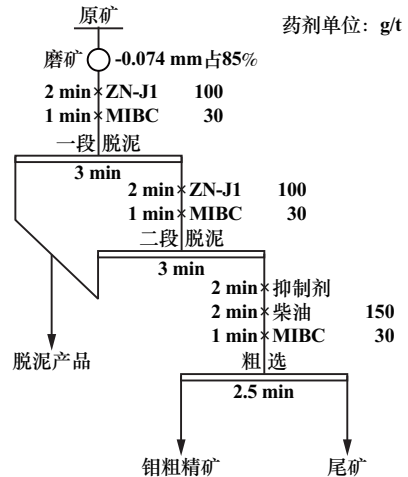


图6 分选流程抑制剂种类试验流程

表5 分选流程抑制剂种类试验结果

抑制剂种类及用量/(g·t <sup>-1</sup> )	钼粗精矿 Mo 品位/%	回收率/%
水玻璃(2000)	4.313	60.83
水玻璃+CMC(1500+500)	5.574	78.39
水玻璃+ZN-P1(1500+500)	6.397	80.03
水玻璃+淀粉(1500+500)	5.930	72.30
水玻璃+木质素磺酸钠(1500+500)	5.240	67.67

从表5可以看出,使用组合抑制剂能得到更好的Mo品位和Mo回收率,尤以水玻璃+ZN-P1组合使用为佳。选用水玻璃+ZN-P1组合作为分选段抑制剂。

2.3.2 分选流程抑制剂用量试验

按图6所示流程,以水玻璃+ZN-P1作为分选流程

的抑制剂,固定配比为3:1,探索水玻璃+ZN-P1用量对浮选粗精矿钼品位及回收率的影响,结果如图7所示。

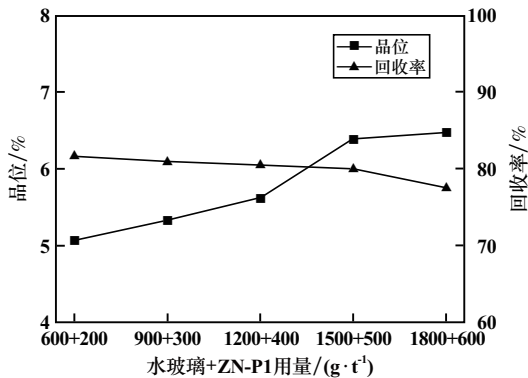


图7 分选流程抑制剂用量试验结果

由图7可知,随着组合抑制剂用量增加,粗精矿中Mo品位有所提高,回收率有所下降。综合考虑抑制效果及药剂成本,选定水玻璃+ZN-P1组合用量为(1500+500) g/t。

2.4 闭路试验

粗磨细度为-0.074 mm 粒级占85%时在兼顾粗精矿中Mo回收率的同时有效保证了粗精矿中的Mo品位,试验时对其进一步分离发现产品指标难以提升,分析原因,发现粗精矿中仍有一定的辉钼矿与脉石共生。为进一步提高指标,需要再磨以提高精矿解离度。故此采用“脱泥-钼预选-再磨-钼与滑石分离”的工艺流程进行了闭路试验,结果见表6,试验流程如图8所示。

表6 浮选闭路试验结果

产品名称	产率/%	钼品位/%	回收率/%
脱泥产品	6.46	0.07	4.11
钼精矿	0.17	47.68	75.41
分离尾矿	1.81	0.26	4.27
尾矿	91.56	0.019	16.21
原矿	100.00	0.116	100.00

从表6可知,原矿钼品位0.116%,采用“脱泥-钼预选-再磨-钼与滑石分离”的工艺流程,全流程闭路试验获得了钼精矿品位47.68%、钼回收率75.41%的产品指标。

3 结 论

1) 针对河南某高滑石型难选辉钼矿脱泥流程中钼损失量大的问题,添加抑制剂ZN-J1进行两段脱泥,有效将脱泥产品中钼损失率降至4.05%。

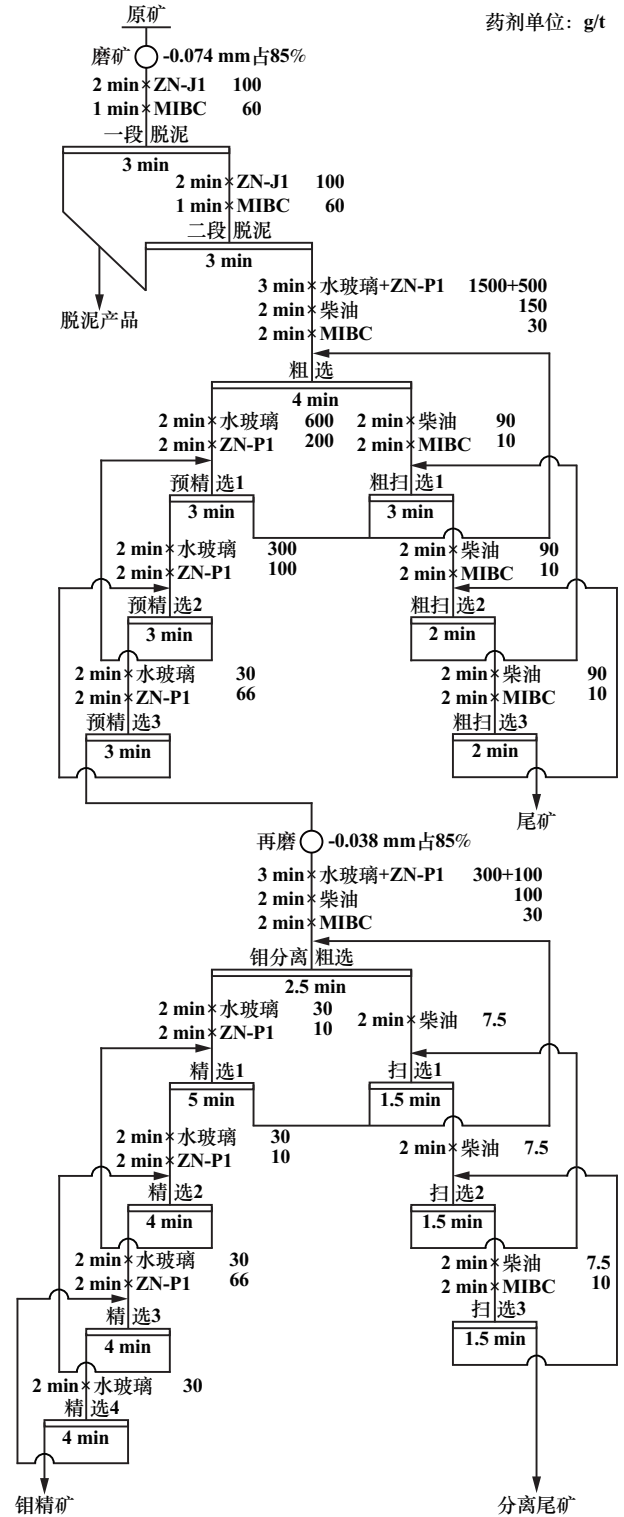


图8 浮选闭路试验流程

2) 在原矿钼品位0.116%、滑石含量14.0%条件下,以ZN-J1为脱泥作业钼抑制剂、MIBC为起泡剂、水玻璃+ZN-P1为分离作业抑制剂、柴油为捕收剂,采用“脱泥-钼预选-再磨-钼与滑石分离”工艺流程,可获得钼品位47.68%、钼回收率75.41%的优良指标。

(下转第51页)

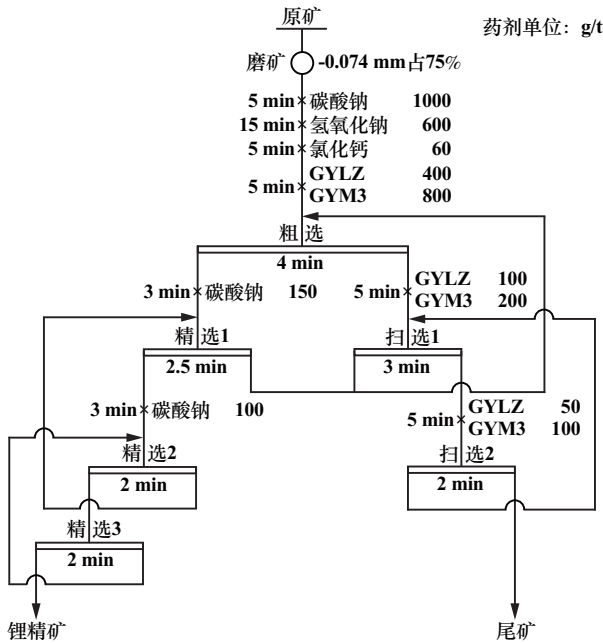


图 9 锂浮选闭路试验流程

表 3 锂浮选闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Li <sub>2</sub> O	BeO	Li <sub>2</sub> O	BeO
锂精矿	27.84	6.10	0.12	94.01	88.53
尾矿	72.16	0.15	0.006	5.99	11.47
原矿	100.00	1.81	0.038	100.00	100.00

### 3 结 语

1) 新疆某锂多金属矿石矿物组成复杂,主要回收的有价组分为 Li<sub>2</sub>O,大部分以锂辉石形式赋存,BeO 主要以绿柱石形式赋存,脉石矿物是以石英和长石为代表的硅酸盐矿物,还含有一定量的易泥化的黏土矿物。

2) 采用锂铍混合浮选工艺,以碳酸钠和氢氧化钠为调整剂、氯化钙为活化剂、GYLZ 和 GYM3 为组合捕收剂,最终获得了 Li<sub>2</sub>O 品位 6.10%、回收率 94.01%的

锂精矿。锂精矿中 BeO 品位达到 0.12%,回收率为 88.53%,后续可进一步研究锂与铍资源的高效分离,提升我国锂精矿与铍精矿的资源储量。

### 参考文献:

[1] 李成秀,程仁举,刘 星. 我国锂辉石矿选矿技术研究现状及展望[J]. 矿产综合利用, 2021(5):1-8.

[2] 汪 泰,胡 真,王 威. 锂铍稀有金属选矿及综合利用研究现状和展望[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(6):24-29.

[3] 戴艳萍,王全亮,赵建湘,等. 某伟晶岩型锂辉石矿石中锂的高效回收试验[J]. 金属矿山, 2021(9):107-112.

[4] 钱志博,于 洋,周少珍. 基于强化预处理工艺的某锂矿浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(1):59-62.

[5] ZHU Guangli, ZHAO Yuehao, ZHENG Xiayu, et al. Surface features and flotation behaviors of spodumene as influenced by acid and alkali treatments[J]. Applied Surface Science, 2020,507:145058.

[6] 汪 泰,邹坚坚,王 威,等. 伟晶岩型锂辉石矿碱溶蚀-浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(1):57-60.

[7] XIE Ruiqi, ZHU Yimin, LIU Jie, et al. Effects of metal ions on the flotation separation of spodumene from feldspar and quartz[J]. Minerals Engineering, 2021,168:106931.

[8] 曾维伟,刘 旭. 钙镁离子对长石和绿帘石浮选的影响及其作用机理[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):59-63.

[9] WANG Ruping, LI Yuanlong, ZHU Guangli, et al. Effects of dissolution by alkali treatment on anisotropic surface properties and flotation behavior of spodumene[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2023,675:132088.

[10] MENG Jinping, XU Longhua, WANG Donghui, et al. The activation mechanism of metal ions on spodumene flotation from the perspective of in situ ATR-FTIR and ToF-SIMS[J]. Minerals Engineering, 2022, 182:107567.

[11] 陈胜虎,罗仙平,杨 备,等. 锂辉石的选矿工艺研究现状及展望[J]. 现代矿业, 2010,26(7):5-7.

[12] 《矿产资源工业要求手册》编委会. 矿产资源工业要求手册[M]. 北京:地质出版社, 2010.

引用本文: 崔振坤,汪 泰,李汉文,等. 新型高效浮选捕收剂在伟晶岩锂矿浮选中的应用[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):47-51.

(上接第 46 页)

### 参考文献:

[1] 林清泉,吴启明,戴智飞,等. 微细粒辉钼矿浮选机理研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(3):37-41.

[2] 孙大勇,祁忠旭,肖舜元,等. 高滑石型难选钼矿选矿进展[J]. 现代矿业, 2019,35(3):114-117.

[3] 牛南南,常富强,宋水祥. 河南某低品位难选滑石型钼矿选矿试验研究[J]. 中国矿业, 2022,31(增刊1):401-405.

[4] 郑灿辉,卜显忠,王 朝,等. 快速浮选技术在某高滑石型辉钼矿浮选中应用研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(2):70-72.

[5] 翟旭东,李 杰,祁忠旭,等. 滑石型钼矿脱泥产品回收滑石的试验研究[J]. 非金属矿, 2021,44(6):59-61.

[6] 张其东. 辉钼矿与滑石可浮性差异调控基础研究[D]. 沈阳:东北

大学, 2016.

[7] 欧乐明,齐 超. 非极性表面矿物滑石与辉钼矿浮选分离中的多糖抑制[J]. 金属矿山, 2015(5):85-89.

[8] 陈丽娟,李治杭,姚 辉,等. 辉钼矿浮选药剂研究进展[J]. 现代矿业, 2022,38(2):19-23.

[9] 宋 鑫,刘润清,陈 臣,等. 某低品位钼矿浮选回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(2):59-62.

[10] 钟春晖,冯 博,严华山,等. 三种有机抑制剂在辉钼矿与滑石浮选分离中的作用[J]. 中国有色金属学报, 2022,32(12):3843-3852.

引用本文: 吴奕彤,焦 芬,魏 茜,等. 低品位高滑石型钼矿高效分离工艺研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):43-46.