

# 湖南某白钨矿分级-重选联合预抛及浮选试验研究<sup>①</sup>

石志中<sup>1</sup>, 罗云波<sup>2</sup>, 何军<sup>1</sup>, 张发明<sup>2</sup>, 刘国清<sup>1</sup>, 韩雷<sup>2</sup>

(1.湖南有色新田岭钨业有限公司,湖南郴州 423000; 2.广州粤有研矿物资源科技有限公司,广东广州 510651)

**摘要:** 为验证湖南某白钨矿分级-重选联合预抛废在工业上的可行性,进行了工业分流试验和浮选对比小型试验。结果表明,在适宜条件下,采用筛分-螺旋溜槽预抛工艺,可抛掉产率 25.50%、钨品位 0.034%、钨损失率 2.99%的抛废产品;抛废后再进行浮选,精矿产品品位和回收率均高于分级溢流直接浮选所得精矿产品。

**关键词:** 白钨矿; 分级; 重选; 预抛废; 筛分; 螺旋溜槽; 工业分流; 浮选; 钨

中图分类号: TD954

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.02.017

文章编号: 0253-6099(2024)02-0066-05

## Pre-discarding Practice Using Screening Classification Combined with Gravity Separation Before Flotation of Scheelite Ore from Hunan Province

SHI Zhizhong<sup>1</sup>, LUO Yunbo<sup>2</sup>, HE Jun<sup>1</sup>, ZHANG Faming<sup>2</sup>, LIU Guoqing<sup>1</sup>, HAN Lei<sup>2</sup>

(1. Hunan Nonferrous Xintianling Tungsten Industry Co Ltd, Chenzhou 423000, Hunan, China; 2. Guangzhou Yueyouyan Mineral Resources Technology Co Ltd, Guangzhou 510651, Guangdong, China)

**Abstract:** To examine the industrial feasibility of pre-discarding by using screening classification combined with gravity separation in processing of a scheelite ore from Hunan Province, industrial distributary and flotation trial tests were carried out. The results show that a process consisting of screening and spiral chute discarding under optimized conditions can discard tailings grading 0.034% WO<sub>3</sub> with a yield of 25.50% in mass, leading to tungsten loss of only 2.99%. With this pre-discarding before flotation process, both the grade and recovery of the final flotation concentrate are improved, compared to the concentrate obtained from direct flotation of overflow product.

**Key words:** scheelite; classification; gravity separation; pre-discarding; screening; spiral chute; industrial distributary; flotation; tungsten

钨是一种稀有金属,也是重要的战略金属,广泛应用于冶金机械、石油化工、航空航天和国防等多个领域。随着优质钨矿石逐步开采利用,目前开采的白钨矿石钨品位逐渐下降,针对低品位白钨矿石一般需进行预先抛废。预先抛废优势主要体现在:①可提高入选原矿品位,提高选厂处理能力;②进入浮选工序的废石量减少,降低人力、物力和能源的消耗;③抛出的废石,不含浮选药剂,更有利于综合利用<sup>[1-2]</sup>。

目前,针对白钨矿石的预先抛废通常有重介质选矿、X射线智能分选和磁选等方法<sup>[3-7]</sup>。湖南某白钨矿企业尾矿库库容紧张,现浮选尾矿难以综合利用。为了企业的可持续发展,该白钨矿企业采用上述常用预先抛废方法进行预先抛废研究,但抛废效果均较差。

对白钨矿石进行工艺矿物学研究发现,矿石中白钨矿嵌布粒度相对较粗,这为采用预先分级-粗粒级重选抛废提供了可能性<sup>[8]</sup>。小型探索试验结果表明,选厂旋流器分级溢流产品在实验室筛分后,对筛上产品进行螺旋溜槽重选,抛废产品产率 20%左右,钨品位 0.030%左右,实验室抛废效果较好。为进一步验证旋流器分级溢流产品筛分-螺旋溜槽抛废方案在工业上的可行性,本文进行了详细的工业分流试验和浮选对比小型试验研究。

### 1 原料性质

湖南某白钨矿原矿化学多元素分析结果见表 1,矿石主要矿物含量见表 2。由表 1 和 2 可知,矿石中

① 收稿日期: 2023-10-14

作者简介: 石志中(1974—),男,湖南涟源人,高级工程师,主要从事矿产资源利用技术及管理工作。E-mail: 675934493@qq.com

可供选矿富集回收的主要组分是  $WO_3$ ; 矿石中钨矿物主要为白钨矿, 金属硫化矿含量不高; 脉石矿物主要为石榴石, 其他脉石矿物有石英、方解石、辉石、闪石、绿泥石、萤石、长石、云母等。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

$WO_3$	Fe	S	$K_2O$	MgO	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$TiO_2$
0.31	8.95	0.39	0.75	2.00	6.08	38.06	0.12
$CaCO_3$	CaO	$CaF_2$	Zn	Mn	Sn	P	As
11.78	26.95	0.88	0.032	1.39	0.012	0.068	0.021

表2 矿石主要矿物含量(质量分数) %

白钨矿	金属硫化矿	磁铁矿	石榴石	石英	长石
0.40	0.89	0.40	57.22	14.01	1.79
辉石	闪石	绿泥石	萤石	方解石	云母
6.18	2.78	2.16	1.83	10.94	0.68

本文所用给矿原料为旋流器分级溢流产品(矿浆浓度48%左右)。旋流器分级溢流产品的粒度筛析结果见表3。旋流器分级溢流产品粗粒级钨品位较低, +0.15 mm 粒级产率30.18%, 钨品位0.032%, 金属分布率3.33%; -0.074 mm 粒级产率48.46%。

表3 旋流器分级溢流产品粒度筛析结果

粒级/mm	产率/%		$WO_3$ 品位/%		$WO_3$ 分布率/%	
	个别	累计	个别	累计	个别	累计
+0.28	12.02	12.02	0.026	0.026	1.08	1.08
-0.28+0.15	18.16	30.18	0.036	0.032	2.26	3.33
-0.15+0.074	21.36	51.54	0.182	0.094	13.41	16.74
-0.074+0.045	13.14	64.68	0.372	0.151	16.86	33.61
-0.045+0.025	10.84	75.52	0.495	0.200	18.51	52.12
-0.025+0.010	8.60	84.12	0.748	0.256	22.19	74.31
-0.010	15.88	100.00	0.469	0.290	25.69	100.00
合计	100.00		0.290		100.00	

## 2 试验药剂与设备

工业分流试验和浮选试验主要设备及型号为: 高频振动筛(型号2SG48-60W-5STK, 为五层筛, 工业分流试验只采用一层筛进行试验研究), 螺旋溜槽(型号F8, 8层、 $\Phi 670$  mm), 单槽式浮选机(XFD IV0.5L、0.75L、1.5L、3.0L)等。

试验主要浮选药剂碳酸钠、水玻璃、捕收剂ZL均为工业品试剂, 均来自选厂。

## 3 工业分流试验

工业分流试验分为高频振动筛筛分和螺旋溜槽重

选, 主要进行了高频振动筛筛分试验、螺旋溜槽重选试验和稳定生产试验。工业分流试验流程见图1, 其中溜槽中矿为抛废产品。

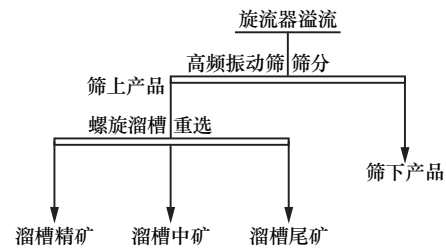


图1 工业分流试验流程

### 3.1 高频振动筛筛分试验

#### 3.1.1 筛孔尺寸条件试验

处理量6 t/h、筛分给矿浓度46%、筛面倾角 $20^\circ$ 条件下进行了筛孔尺寸试验, 结果如图2所示。由图2可知, 随着筛孔尺寸增大, 筛上产品产率逐渐降低, 溜槽中矿钨品位逐渐降低; 当筛孔尺寸达到0.18 mm后, 继续增大筛孔尺寸, 溜槽中矿钨品位不再降低。综合考虑, 选择筛孔尺寸0.18 mm进行后续试验。

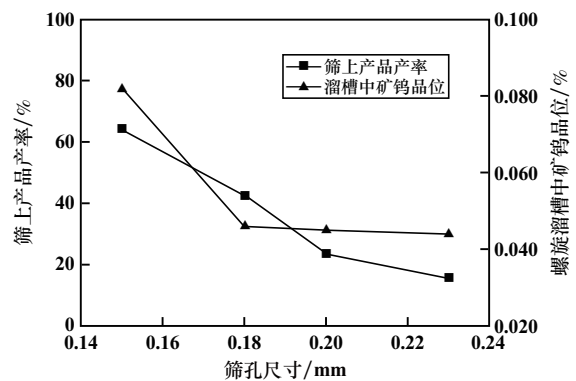


图2 筛孔尺寸试验结果

#### 3.1.2 筛面倾角条件试验

筛孔尺寸0.18 mm, 其他条件不变, 进行了筛面倾角试验, 结果如图3所示。由图3可知, 随着筛面倾角增加, 溜槽中矿钨品位逐渐升高, 筛面倾角 $14^\circ$ 和 $17^\circ$

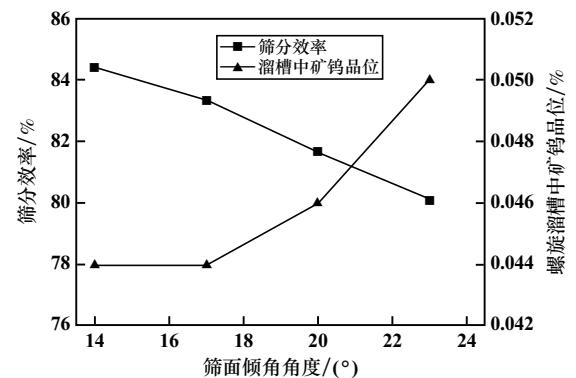
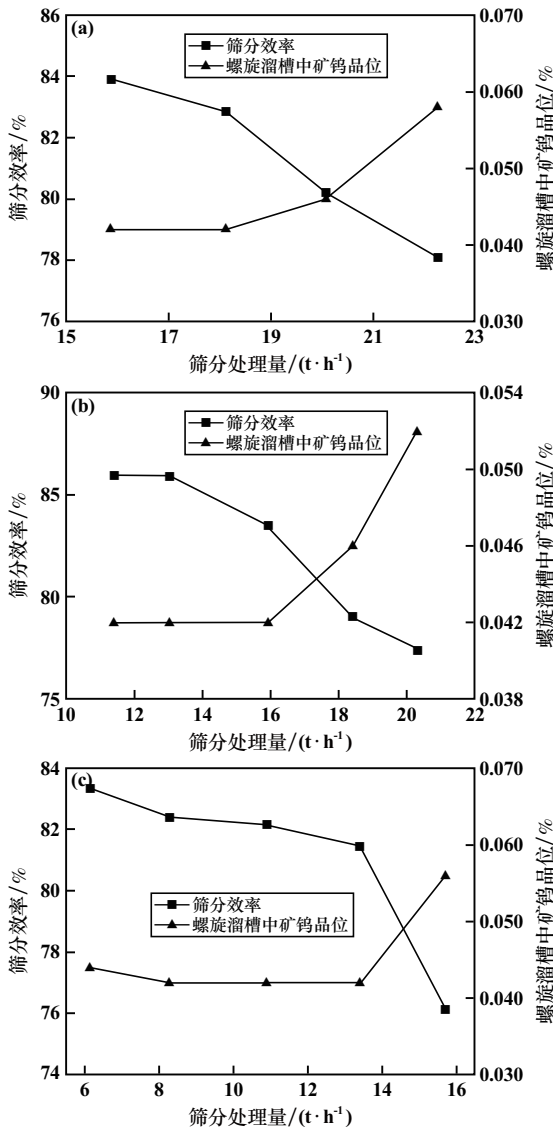


图3 筛面倾角试验结果

时升高幅度不大,继续增加筛面倾角,筛分效率降低,溜槽中矿钨品位升高明显。综合考虑,适宜的筛面倾角角度为 $17^{\circ}$ 。

### 3.1.3 筛分给矿浓度和筛分处理量条件试验

筛孔尺寸 $0.18\text{ mm}$ 、筛面倾角角度 $17^{\circ}$ 条件下,进行了筛分给矿浓度和筛分处理量试验,结果如图4所示。由图4可以看出,随着筛分处理量逐渐增加,筛分效率逐渐降低,溜槽中矿钨品位均逐渐升高。给矿浓度 $46\%$ 时,筛分处理量超过 $14\text{ t/h}$ 后,筛分效率大幅度降低,溜槽中矿钨品位大幅度升高,说明给矿浓度 $46\%$ 条件下,筛分处理量不宜超过 $14\text{ t/h}$ 。同理,给矿浓度 $43\%$ 条件下,筛分处理量不宜超过 $16\text{ t/h}$ ;给矿浓度 $40\%$ 条件下,筛分处理量不宜超过 $18\text{ t/h}$ 。



(a) 40%; (b) 43%; (c) 46%

图4 给矿浓度及筛分处理量试验结果

以上结果表明,在保证筛分效率和溜槽中矿产率

与钨品位情况下,给矿浓度与筛分处理量成反比。综合考虑,适宜的筛分给矿浓度为 $40\% \sim 46\%$ ,工业分流试验的德瑞克筛单层筛适宜的处理量为 $10 \sim 18\text{ t/h}$ 。

## 3.2 螺旋溜槽试验

### 3.2.1 螺旋溜槽给矿浓度条件试验

螺旋溜槽处理量 $0.85\text{ t}/(\text{h}\cdot\text{头})$ 条件下,进行了螺旋溜槽给矿浓度条件试验,结果见图5。由图5可以看出,随着溜槽给矿浓度增加,溜槽中矿钨品位和钨损失率增加;溜槽给矿浓度高于 $35\%$ 时,溜槽中矿钨品位和钨损失率大幅度增加。以上结果表明,适宜的螺旋溜槽给矿浓度为 $25\% \sim 35\%$ 。

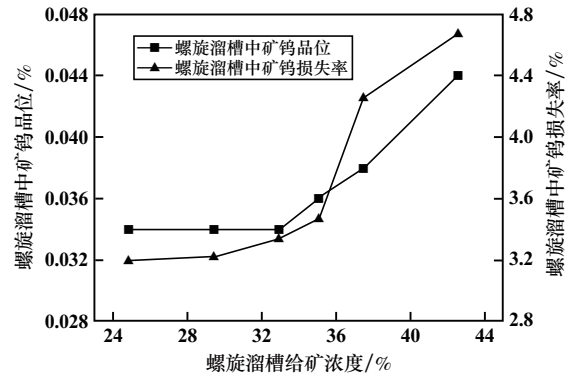


图5 螺旋溜槽给矿浓度试验结果

### 3.2.2 螺旋溜槽处理量试验

螺旋溜槽给矿浓度 $25\% \sim 35\%$ 条件下,进行了螺旋溜槽处理量试验,结果见图6。由图6可以看出,随着溜槽处理量增大,溜槽中矿钨品位和钨损失率有上升趋势,当溜槽处理量大于 $1.20\text{ t}/(\text{h}\cdot\text{头})$ 后,溜槽中矿钨品位和钨损失率大幅度增加。适宜的螺旋溜槽处理量为 $0.60 \sim 1.20\text{ t}/(\text{h}\cdot\text{头})$ 。

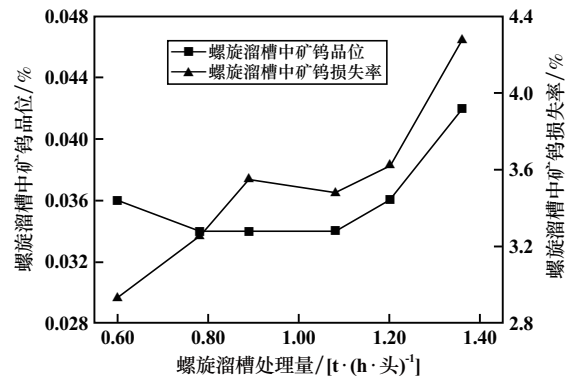


图6 螺旋溜槽处理量试验结果

## 3.3 稳定生产试验

在高频振动筛筛孔尺寸 $0.18\text{ mm}$ 、筛面倾角角度 $17^{\circ}$ 、筛分给矿浓度 $43\%$ 、筛分处理量 $13\text{ t/h}$ 、螺旋溜槽给矿浓度 $25\% \sim 35\%$ 、溜槽处理量 $0.60 \sim 1.20\text{ t}/(\text{h}\cdot\text{头})$ 条

件下,进行了连续稳定生产试验,考查了 3 d 共 9 个班的指标,结果见表 4。

表 4 稳定生产期间平均试验结果

产品名称	产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	WO <sub>3</sub> 回收率/%	筛分效率/%
溜槽精矿	7.09	0.282	6.89	
溜槽中矿	25.50	0.034	2.99	
溜槽尾矿	4.82	0.197	3.28	
筛上产品	37.41	0.102	13.16	84.56
筛下产品	62.59	0.402	86.84	
筛分给矿	100.00	0.290	100.00	

稳定生产期间高频振动筛平均处理量 12.99 t/h,筛分效率 84.56%。在较佳的工业分流试验条件下,连续稳定生产期间,溜槽中矿产率 25.50%、钨品位 0.034%,钨回收率 2.99%,筛分效率 80% 以上,筛上产品中仍夹杂部分细粒级白钨矿,这部分细粒级白钨矿在螺旋溜槽重选过程中随水进入溜槽尾矿中,导致溜槽尾矿钨品位较高。因此溜槽尾矿不能作为抛废产品,溜槽中矿才能作为抛废产品。

### 3.4 抛废产品性质分析

抛废产品筛分试验结果见表 5。由表 5 可以看出,抛废产品主要集中在+0.15 mm 粒级,产率 88.49%,钨品位 0.023%;-0.074 mm 粒级产率较低,但钨品位较高,尤其是-0.045 mm 粒级,钨品位高达 0.347%。因此对抛废产品增加一次筛分脱除细粒级,可以进一步降低抛废产品的钨品位,减少钨金属损失。抛废产品不含浮选药剂,可作为细砂的级配料销售。

表 5 抛废产品筛分试验结果

粒级/mm	产率/%		WO <sub>3</sub> 品位/%		WO <sub>3</sub> 分布率/%	
	个别	累计	个别	累计	个别	累计
+0.28	39.13	39.13	0.025	0.025	29.15	29.15
-0.28+0.15	49.36	88.49	0.022	0.023	32.36	61.51
-0.15+0.074	7.42	95.91	0.024	0.023	5.31	66.82
-0.074+0.045	1.28	97.19	0.108	0.024	4.12	70.94
-0.045	2.81	100.00	0.347	0.034	29.06	100.00
合计	100.00		0.034		100.00	

## 4 浮选对比试验

为考察旋流器分级溢流产品经预先抛废后粒度和矿物组成变化对浮选的影响,对抛废精矿(预先抛废抛出抛废产品,其他产品合并后作为抛废精矿)和分级溢流分别进行了钨粗选段闭路对比试验研究。

在碳酸钠用量 1 000 g/t、水玻璃用量 3 000 g/t、捕收剂 ZL 用量(320+120) g/t 条件下,对抛废精矿和分

级溢流分别进行钨粗选段闭路试验,闭路试验流程见图 7,结果见表 6。

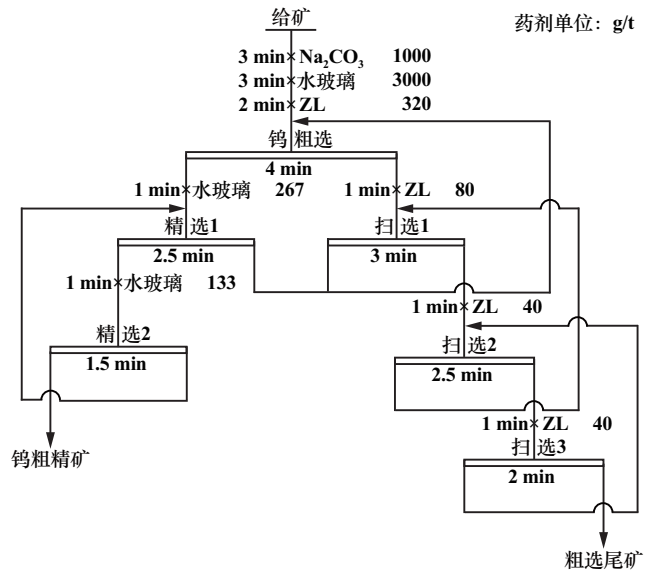


图 7 钨粗选段闭路试验流程

表 6 钨粗选段闭路试验结果

给矿种类	产品名称	产率/%	WO <sub>3</sub> 品位/%	WO <sub>3</sub> 回收率/%
抛废精矿	钨粗精矿	9.08	3.55	90.78
	粗选尾矿	90.92	0.036	9.22
给矿		100.00	0.355	100.00
分级溢流	钨粗精矿	8.44	3.02	89.12
	粗选尾矿	91.56	0.034	10.88
给矿		100.00	0.286	100.00

由表 6 可知,抛废精矿和分级溢流都能获得较好的浮选指标,抛废精矿的浮选钨粗精矿品位和回收率比分级溢流稍高,说明旋流器分级溢流产品通过筛分-螺旋溜槽抛废,抛出部分粗粒脉石对浮选基本没有影响。

采用筛分-螺旋溜槽预先抛废方案,具有以下优势:① 抛废产品与浮选尾矿相比不含药剂,更有利于综合利用,具有更高的经济价值;② 抛废产品未进入浮选系统,可降低浮选药剂成本;③ 抛废产品未进入尾矿库,可节约尾矿输砂及堆放成本,同时还能延长尾矿库使用年限。说明采用筛分-螺旋溜槽预先抛废方案不但经济效益更高,且具有较大的现实意义。

## 5 结 论

1) 通过工业分流试验和浮选对比试验,验证了旋流器分级溢流产品筛分-螺旋溜槽抛废方案在工业上是可行的。

2) 通过试验得到了适宜的筛分条件为:筛面筛孔尺寸 0.18 mm,筛面倾角 17°,筛分给矿浓度 43%,筛分

处理量 13 t/h。适宜的螺旋溜槽工艺条件为:给矿浓度 25%~35%,处理量 0.60~1.20 t/(h·头)。所得工业分流试验工艺条件和试验数据可作为选厂工艺设计和生产调试依据。

3) 旋流器分级溢流产品采用筛分-螺旋溜槽抛废,在适宜的条件下,可抛掉产率 25.50%、钨品位 0.034%、钨损失率 2.99%的抛废产品。对抛废产品增加一次筛分脱除细粒级,可进一步降低抛废产品的钨品位,减少钨金属损失。

4) 筛分-螺旋溜槽抛废对后续浮选基本无影响,抛废精矿闭路浮选可得到产率 9.08%、 $WO_3$  品位 3.55%、 $WO_3$  回收率 90.78%的钨粗精矿。

#### 参考文献:

[1] 邱显扬,董天颂. 现代钨矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 2012.

(上接第 62 页)

## 4 结 语

采用 X 射线衍射、镜下鉴定、扫描电镜、矿物参数自动分析系统、化学成分分析等对辽宁翁泉沟钨铁矿进行了详细的工艺矿物学研究,结果表明,该矿组成矿物繁多,赋存状态较为复杂,可供选矿回收的主要矿物为磁铁矿、硼镁石、硼铁矿、晶质铀矿、蛇纹石和金云母等,有害元素硫主要以磁黄铁矿和黄铁矿形式存在。对综合回收硼、铁、铀、镁等提出了相应的选矿建议。

#### 参考文献:

[1] 代英秋,周弘强. 复杂共生硼镁铁矿矿化联产综合利用工艺研究[J]. 现代矿业, 2020(9):159-161.

(上接第 65 页)

- [3] 王忠红,李育彪,韩厚胜,等. 湖北某磷石膏工艺矿物学分析及提纯试验研究[J]. 非金属矿, 2023,46(6):57-60.
- [4] 卢维宏,王要芳,刘 娟,等. 磷石膏无害化改性及其在农田土壤改良中的应用研究进展[J]. 土壤, 2023,55(4):699-707.
- [5] 刘榴燕,凌 静,杨冬升,等. 磷石膏资源化利用研究进展及未来趋势的可视化分析[J]. 现代化工,2023,43(增刊2):6-11.
- [6] 白 平,胡峻崧,梁傲岚,等. 磷石膏综合利用及预处理方法综述[J]. 现代化工, 2023,43(增刊2):76-79.
- [7] 罗栋源,吴海霞,杨子杰,等. 磷石膏水洗液中磷、氟、有机物的去除[J]. 有色金属(冶炼部分), 2023(5):129-137.
- [8] 吴泳霖,张 伟,莫 波,等. 磷石膏热分解研究现状[J]. 硅酸盐

- [2] 李晓宇,叶蕴琪,张福良,等. 新时期我国钨矿资源现状及管理政策建议[J]. 现代矿业, 2018(12):17-20.
- [3] 周 峰,余 浔. 哈萨克斯坦某钨矿预选抛尾工艺设计研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6):43-49.
- [4] 伍 琨,戚光荣. 江西某钨矿智能抛废工艺探索试验与生产应用[J]. 中国钨业, 2022,37(4):67-72.
- [5] 徐凤平,郭灵敏,王晴红,等. 新田岭钨矿 X 射线预选抛废研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(4):64-67.
- [6] 袁代军,郭江旭,曾志飞,等. 湖南某钨矿山中部采集样重介质抛废及白钨常温浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):59-62.
- [7] 刘 进,张发明,张红英,等. 某钨钼多金属矿高梯度磁选抛废新工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(1):21-25.
- [8] 徐晓萍,王国生,高玉德,等. 江西某大型低品位白钨矿选矿试验研究[J]. 中国钨业, 2015,30(6):10-13.

引用本文:石志中,罗云波,何 军,等. 湖南某白钨矿分级-重选联合预抛及浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):66-70.

- [2] 王雅蓉,周乐光. 辽宁凤城翁泉沟东台子硼铁矿的工艺矿物学研究[J]. 有色矿冶, 1997(1):1-4.
- [3] 李治杭,韩跃新,高 鹏,等. 硼铁矿工艺矿物学研究[J]. 东北大学学报, 2016,37(2):258-262.
- [4] 张建良,蔡海涛. 低品位硼铁矿中硼的富集[J]. 北京科技大学学报, 2009,31(1):36-40.
- [5] 夏学惠,阎 飞,赵玉海,等. 辽东裂谷硼铁矿床地质及成矿作用[J]. 矿床地质, 2006,25(1):83-88.
- [6] 赵宇霆,李子颖,郭春影. 辽宁翁泉沟铁-硼-铀矿床成矿年代学研究[J]. 铀矿地质, 2021,37(3):434-445.
- [7] 张 晶,唐 鑫,吕向文,等. 基于 MLA 分析的某铜矿石选矿工艺初步研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(1):63-66.

引用本文:瞿思恩,鄂继涛,朱家祥,等. 辽宁翁泉沟硼铁矿的选矿工艺矿物学研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):60-62.

通报, 2022,41(9):3129-3137.

- [9] 郭永杰,李江丽,范培强,等. 云南某磷石膏分级浮选脱硅新工艺试验研究[J]. 非金属矿, 2022,45(4):53-56.
- [10] 梁洪超,谭明洋,李成琦. 磷石膏脱色增白技术研究进展[J]. 信息记录材料, 2022,23(4):43-45.
- [11] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. 磷石膏: GB/T 23456—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.

引用本文:张革利,葛英勇,陆泽通,等. 湖北某磷石膏浮选提纯试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(2):63-65.