

黄沙坪多金属矿强磁选抛废-强化锡石富集试验研究^①

陈鹏飞¹, 孙文娟², 杨勇祥¹, 王康¹, 韩海生^{2,3,4}, 纪道河¹, 张永忠¹

(1.湖南有色黄沙坪矿业有限公司, 湖南 郴州 424421; 2.中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083; 3.湖南省伴生萤石综合利用氟化学工程技术研究中心, 湖南 郴州 423000; 4.金属资源开发利用碳减排教育部工程研究中心, 湖南 长沙 410083)

摘要: 为了实现黄沙坪多金属矿中低品位伴生锡石的资源化利用, 开展了高梯度磁选抛废试验和浮选试验, 开发了高梯度强磁选抛废-强化钨锡浮选富集的选矿新工艺。通过高梯度磁选预先抛废, 钼、钨、萤石抛废损失率均低于10%, 锡石显著富集于强磁选粗精矿中; 使用Pb-BHA-SPA多配体金属基捕收剂对强磁选粗精矿进行再磨后精选, 可得到WO₃和SnO₂品位分别为0.627%和0.78%、对应回收率分别为26.56%和18.03%的钨锡混合精矿。该工艺为低品位伴生锡石的强化富集和高效利用提供了新思路和新方法。

关键词: 强磁选; 预选; 抛废; 锡石; 浮选; 工业试验; 钨; 锡

中图分类号: TD921

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.05.015

文章编号: 0253-6099(2024)05-0075-04

Experimental Study on Tailings Discard by High-Intensity Magnetic Separation and Cassiterite Enrichment for Huangshaping Polymetallic Ores

CHEN Pengfei¹, SUN Wenjuan², YANG Yongxiang¹, WANG Kang¹, HAN Haisheng^{2,3,4}, JI Daohe¹, ZHANG Yongzhong¹

(1. Hunan Nonferrous Metals Huangshaping Mining Co., Ltd., Chenzhou 424421, Hunan, China; 2. School of Resource Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3. Hunan Provincial Engineering Technology Center for Comprehensive Utilization and Fluorine Chemistry of Associated Fluorite, Chenzhou 423000, Hunan, China; 4. Engineering Research Center of Ministry of Education for Carbon Emission Reduction in Exploitation and Utilization of Metallic Resource, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: In order to utilize low-grade associated cassiterite resource from Huangshaping polymetallic ores, a new beneficiation process consisting of high-gradient magnetic separation (HGMS) for tailings discarding and tungsten-tin flotation for enhanced enrichment was developed based on the performed HGMS and flotation tests. After HGMS to pre-discard tailings, the loss rates of molybdenum, tungsten and fluorite were all less than 10%, while cassiterite was greatly enriched in the HGMS rough concentrates. Then, a flotation of reground HGMS rough concentrate was conducted by using Pb-BHA-SPA multiple ligand metal-based collector, producing a mixed tungsten-tin concentrate grading 0.627% WO₃ and 0.78% SnO₂, at corresponding recovery of 26.56% and 18.03%, respectively. This process provides a new idea and method for enhanced enrichment and effective utilization of low-grade associated cassiterite.

Key words: high-intensity magnetic separation; pre-enrichment; pre-discarding; cassiterite; flotation; commercial test; tungsten; tin

黄沙坪多金属矿是南岭成矿带典型的矽卡岩型多金属复杂伴生矿, 含有铁、钼、铋、钨、锡等多种有价金属以及非金属矿萤石。其中钨锡金属储量丰富, 具有

较高的回收价值, 但因为品位较低, 且组成复杂, 嵌布粒度细, 依靠传统浮选难以实现高效利用^[1-3]。预选抛废可以在磨矿和浮选前预先抛弃部分脉石或低品位矿

① 收稿日期: 2024-03-26

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年项目(52122406); 国家重点研发计划(2022YFC2905105, 2022YFC2905104); 湖南省高新技术产业科技创新引领计划(2022GK4056); 湖南省研究生科研创新项目(CX20220200); 黄沙坪矿业多金属矿强磁抛石榴子石除杂提质增效新工艺技术研究项目

作者简介: 陈鹏飞(1990—), 男, 山东文登人, 工程师, 主要研究方向为矿物浮选药剂与工艺。E-mail: libra_cpfly@qq.com

通信作者: 孙文娟(1994—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 主要研究方向为氧化矿浮选药剂与工艺。E-mail: sunwenjuan2022@126.com

石,提高入选品位,提高选矿效率与经济效益,近年来广泛应用于低品位和复杂难选矿产资源的开发^[4-6]。磁选抛废工艺简单,且能进行干式或湿式选别,环境污染小,在含磁性矿物的预选抛废中具有独特的优势^[7-8],如大冶有色金属集团针对枣阳原生金红石资源开展强磁预选抛尾实验,金红石精矿回收率由过去的30%~40%提升到68.28%,实现了选矿工艺、技术指标的重大突破^[9]。云南某钛砂矿采用高梯度磁选机抛废脱泥,抛废率高达48.46%,TiO₂回收率仅损失7.12%,大幅减少了入磨矿量,显著降低了后续重选、精选的生产成本^[10]。

本文对黄沙坪多金属矿进行了强磁选抛废-强化锡石富集试验。采用高梯度磁选机,通过磁选抛废抛去大量辉石、石榴石磁性脉石矿物,提高后续入选品位、降低浮选处理量、提高选矿效率和经济效率;使用新型多配体金属基捕收剂 Pb-BHA-SPA 开展钨锡浮选试验,实现了强磁选抛废精矿中钨锡矿物的浮选富集。

1 试验材料与方法

1.1 试验矿样

黄沙坪多金属矿原矿化学成分和矿物组成分析结果分别如表1和表2所示。由表1~2可以看出,原矿中主要元素为O、Ca、Si、F、Fe。矿石中可回收的有价矿物有白钨矿、萤石、磁铁矿和辉钼矿,主要脉石矿物为钙铁榴石,其次为透辉石、方解石、石英等。

表1 原矿化学成分分析结果(质量分数) %

O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K
28.60	8.91	0.155	0.869	3.54	12.26	0.01	0.28	0.072	8.0464
Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Rb	Sr
24.80	0.032	0.007	0.736	8.807	0.008	0.043	5.0135	0.006	7.0002
Y	Zr	Nb	Mo	Sn	W	Pb	Bi		
0.003	0.005	0.002	0.150	4.0245	8.0244	0.006	0.011		

表2 原矿主要矿物及其相对含量(质量分数) %

白钨矿	黑钨矿	辉钼矿	闪锌矿	锡石	毒砂	黄铁矿	磁黄铁矿
0.224	0.006	0.136	0.032	0.100	0.186	0.392	0.022
石英	长石	磁铁矿	萤石	方解石	透辉石	透闪石	钙铁榴石
3.550	7.522	1.879	12.91	6.460	8.869	1.310	51.954

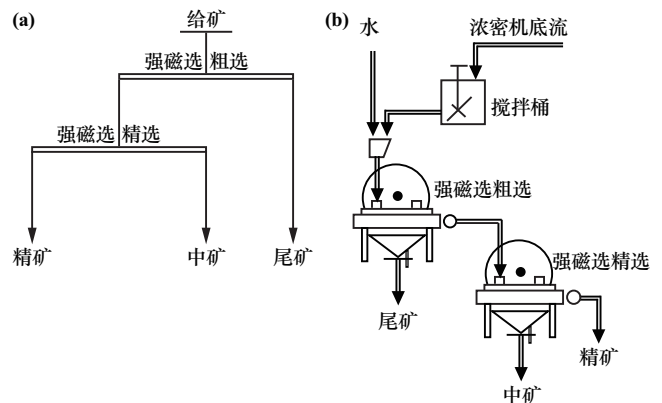
1.2 试验设备与药剂

强磁选抛废试验所用设备为 $\Phi 1\ 250$ mm高梯度磁选机。锡石浮选试验所用设备为XRD型挂槽浮选机和球磨机。试验所用主要药剂包括黄药、硫酸铜、硝酸铅、苯甲羟肟酸(BHA)、BK205、碳酸钠、硫酸铝和水

玻璃(SBL),均取自选矿厂配药车间。新型捕收剂CSC、SHA、SPA均为中南大学自主研发的药剂。Al-SBL抑制剂使用硫酸铝与水玻璃按照质量比1:2配制而成。Pb-BHA-SPA多配体捕收剂由硝酸铅、BHA和SPA配制而成。

1.3 试验方法

强磁选抛废工业试验在现选矿厂以在线分流的方式进行。原矿浓密机底流矿浆细度为-0.074 mm粒级占80%,控制分流矿量为5 t/h,水流量3 t/h,调整不同的粗选和精选磁场强度,开展一粗一精强磁选抛废试验,试验流程和设备配置简图如图1所示。



(a) 强磁选抛废工业试验流程; (b) 设备配置简图

图1 强磁选抛废工业试验流程及设备配置简图

以强磁选抛废所得压滤精矿为原矿,在实验室开展钨锡强化浮选试验,试验流程如图2所示。强磁选精矿先经一粗一扫脱硫,脱硫尾矿再经一粗一扫钨锡浮选,得到钨锡混合精矿、扫选精矿和尾矿。

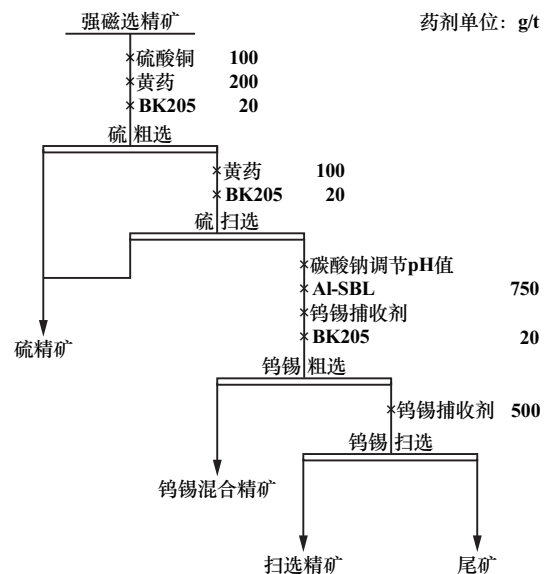


图2 钨锡强化浮选工艺流程

2 试验结果与讨论

2.1 强磁选抛废工业试验

2.1.1 磁场强度对抛废效果的影响

精选磁场强度 0.60 T 时,不同粗选磁场强度条件下精矿产品指标如表 3 所示。随着粗选磁场强度逐渐升高,精矿产率升高,精矿中钼、钨、萤石品位和回收率逐渐升高,锡石品位略有下降。粗选磁场强度 0.70 T 时,钼、钨、萤石损失率分别为4.910%、8.68%、12.17%,锡石在精矿中明显富集,回收率达到 55.90%。这说明在较低的粗选磁场强度下抛废,可以在钼、钨、萤石损失较少的情况下实现锡石在精矿中的富集。

粗选磁场强度 0.70 T,不同精选磁场强度条件下精矿产品指标如表 4 所示。随着精选磁场强度逐渐升高,精矿产率先升高后降低,精矿中钼品位和回收

率基本不变,钨品位和回收率在高磁场强度下明显降低。精矿中锡石品位和萤石品位随磁场强度增大而逐渐降低,回收率则先升后降。这说明增大精选磁场强度可以显著降低钼、钨和萤石的损失,但锡石品位和回收率降低。精选场强 0.50 T 时,精矿中钼、钨、萤石损失率均低于 10%,精矿锡石回收率高于 41%。

2.1.2 连续选别试验

固定强磁选抛废工艺参数为粗选磁场强度 0.70 T、精选磁场强度 0.50 T,进行连续选别试验,结果如图 3 所示。连续作业 21 个班次,精矿产率保持在 26%左右,精矿中钼、钨、萤石平均品位分别为 0.017%、0.13%、7.00%,平均回收率分别为 6.69%、9.97%、9.69%。锡石在强磁选抛废精矿中富集,平均回收率达 46.22%。

表 3 粗选磁场强度对精矿产品指标的影响

粗选 磁场强度/T	精矿 产率/%	精矿品位/%					回收率/%				
		Mo	WO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	SnO ₂	Mo	WO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	SnO ₂
0.60	38.94	0.017 8	0.051 2	4.58	4.32	0.345	5.072	7.056	11.18	11.91	52.38
0.70	40.70	0.017 6	0.057 9	5.16	2.05	0.324	4.910	8.68	12.17	9.19	55.90
0.80	52.86	0.019 2	0.088 0	6.09	1.99	0.326	8.430	18.17	21.24	12.23	71.79
0.90	55.81	0.026 0	0.211 0	7.74	3.16	0.318	16.33	33.89	23.31	19.60	77.36

表 4 精选磁场强度对精矿产品指标的影响

精选 磁场强度/T	精矿 产率/%	精矿品位/%					回收率/%				
		Mo	WO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	SnO ₂	Mo	WO ₃	CaF ₂	CaCO ₃	SnO ₂
0.45	23.97	0.015	0.094	8.31	2.13	0.449	5.18	9.01	9.76	9.24	38.64
0.50	25.82	0.014	0.091	8.25	2.08	0.403	5.22	8.77	9.28	8.29	41.41
0.55	45.50	0.016	0.096	5.90	2.05	0.334	7.41	14.92	13.41	10.39	63.30
0.60	40.70	0.018	0.058	5.16	2.05	0.324	4.91	8.68	11.17	9.19	55.90

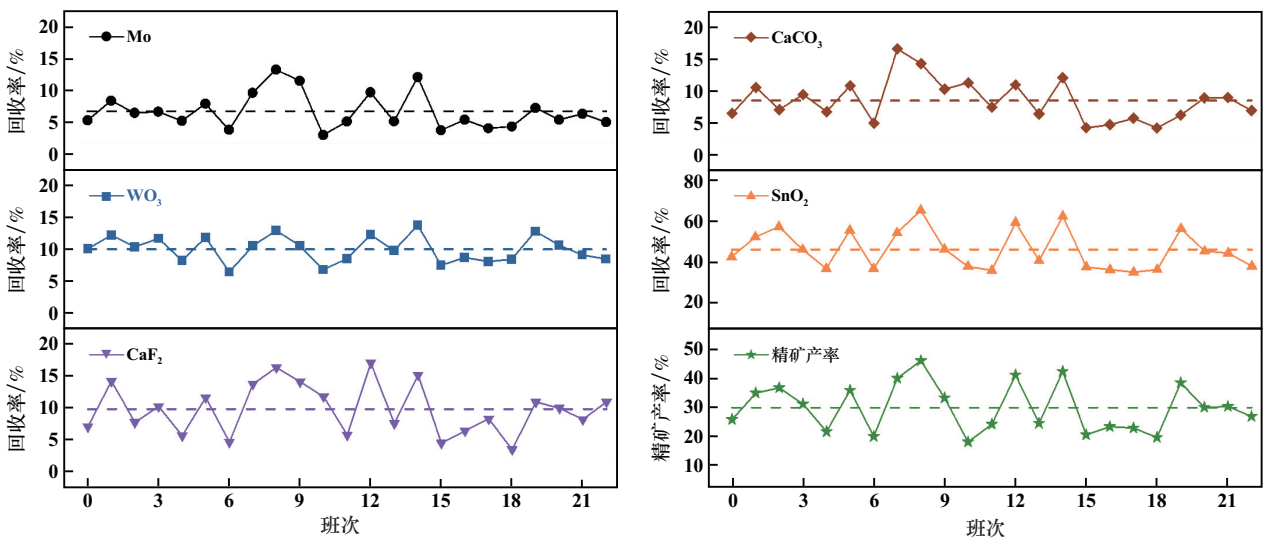


图 3 强磁选精矿连续浮选试验结果

2.2 强磁选抛废精矿伴生钨锡回收

2.2.1 不同捕收剂作用下的钨锡浮选行为

以强磁选抛废试验所得精矿为原矿,按照图2所示流程进行一粗一扫钨锡浮选试验。捕收剂用量均为1000 g/t,不同捕收剂的浮选结果如图4所示。同等药剂用量下,单一配体铅离子配合物捕收剂 Pb-SPA 浮选所得钨锡粗精矿 WO₃ 和 SnO₂ 回收率最高,其次是 Pb-BHA 捕收剂。这说明 Pb-BHA 和 Pb-SPA 配合物捕收剂对钨锡矿物的捕收能力较强。使用 Pb-BHA-SPA 多配体捕收剂浮选钨锡回收率明显高于单一配体捕收剂 Pb-BHA 和 Pb-SPA。

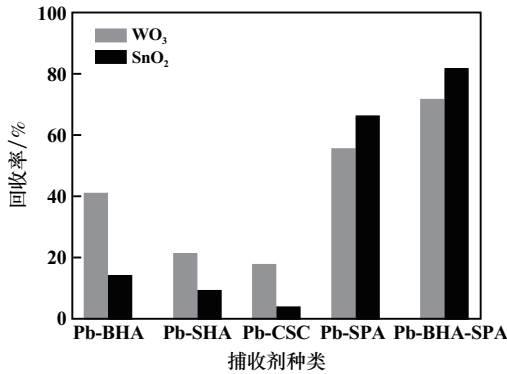


图4 不同捕收剂作用下的钨锡浮选结果

2.2.2 粗选 pH 值对钨锡浮选的影响

以 Pb-BHA-SPA 为捕收剂,用量 600 g/t,不同粗选 pH 值下的钨锡浮选结果如图5所示。粗选矿浆 pH 值升高,精矿 WO₃ 和 SnO₂ 品位均明显下降,WO₃ 和 SnO₂ 回收率均先升后降,在 pH = 10 时达到峰值。说明碱性条件有利于强磁选抛废精矿回收钨锡,适宜的粗选矿浆 pH 值为 10。

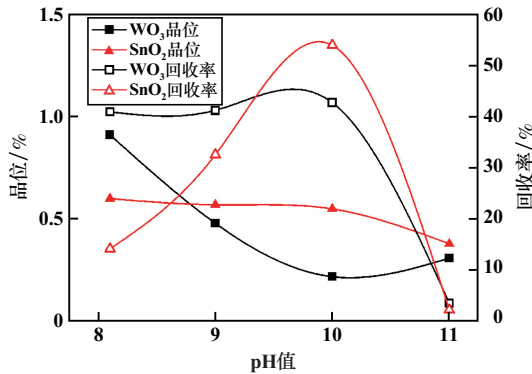


图5 粗选 pH 值对钨锡浮选的影响

2.2.3 浮选开路试验

粗选矿浆 pH = 10.0,以 Al-SBL 为抑制剂、Pb-BHA-SPA 为捕收剂,按照图6所示流程进行了浮选开路试验,结果如表5所示。钨锡粗选后使用球磨机对

粗精矿进行磨矿,进一步促进锡石解离;粗精矿再磨后进行4次精选,可得到 WO₃ 和 SnO₂ 品位分别为 0.627% 和 0.78%、对应的回收率分别为 26.56% 和 18.03% 的钨锡混合精矿。

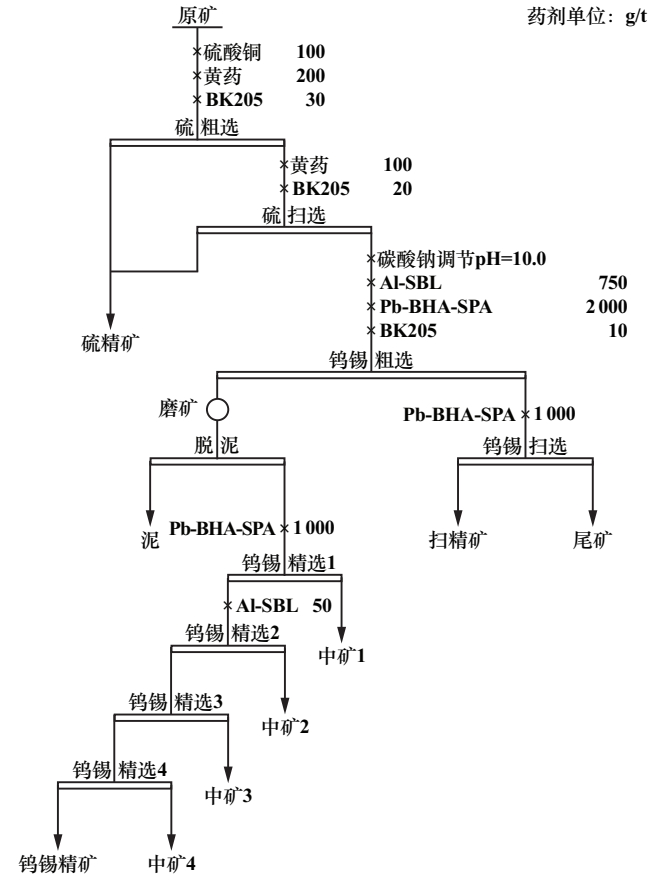


图6 浮选开路试验流程

表5 浮选开路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		WO ₃	SnO ₂	WO ₃	SnO ₂
钨锡精矿	10.19	0.627	0.780	26.56	18.03
硫精矿	3.38	0.933	0.278	13.11	2.13
中矿1	3.83	0.370	0.289	5.89	2.52
中矿2	5.20	0.273	0.413	5.89	4.87
中矿3	22.50	0.160	0.475	14.96	24.24
中矿4	26.93	0.130	0.599	14.55	36.62
泥	0.52	0.168	0.143	0.36	0.17
扫精矿	12.28	0.203	0.223	10.33	6.22
尾矿	15.16	0.133	0.151	8.35	5.20
原矿	100.00	0.241	0.441	100.00	100.00

3 结 论

对黄沙坪多金属矿进行高梯度磁选抛废-强化钨锡富集试验。连续作业下,高梯度磁选机预先抛废精矿产率约26%,精矿中钨、钨、萤石平均品位分别为 (下转第83页)

闭路浮选试验获得了产率 6.49%、金品位 22.91 g/t、金回收率 62.85% 的金精矿。

3 结 论

1) 某金矿石中主要回收元素为 Au, 品位 2.19 g/t。金矿物为自然金、银金矿, 其中金主要为粒径小于 0.01 mm 的微粒金, 其次为粒径 0.01~0.03 mm 的细粒明金及粒径 0.1~0.9 μm 的显微-超显微金。金矿物主要被黄铁矿和石英包裹, 矿石中黄铁矿粒度较细, 76.61% 分布于 -0.08 mm 粒级中; 碳酸盐和硅酸盐包裹金占 26.74%, 这部分金难以回收, 可能是影响金回收率的主要原因。

2) 根据该金矿石粒度“细”和分散分布的特点, 采用“强化浮选”工艺, 浮选时添加调整剂 XPT511 能有效提高该矿石浮选指标, 闭路浮选试验可获得产率 6.49%、金品位 22.91 g/t、回收率 62.85% 的金精矿。

参考文献:

- [1] 贾先兵, 谢磊. 陕西某难选金矿浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2016(1):37-40.
- [2] 刘慧, 王福祥, 王路平, 等. 某金矿深部矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2022, 43(4):74-78.
- [3] 明平田, 陈自强, 任琪, 等. 青海某难选半氧化金矿选矿试验研究[J]. 黄金科学技术, 2016, 24(4):107-111.
- [4] 王刚强, 叶正国, 孙业友. 安徽某高硫含砷硫金矿砷分离试验[J].

(上接第 78 页)

0.017%、0.13% 和 7.00%, 钼、钨、萤石抛废损失率均低于 10%, 锡石在精矿中富集, 回收率达 40% 以上。强磁选精矿使用 Pb-BHA-SPA 高效多配体钨锡捕收剂, 采用“粗选-再磨-精选”工艺, 可得到 WO₃ 和 SnO₂ 品位分别为 0.627% 和 0.780%、对应回收率分别为 26.56% 和 18.03% 的钨锡混合精矿。

参考文献:

- [1] 纪道河, 亢建华, 孙伟, 等. 黄沙坪多金属矿伴生萤石高值化利用试验研究[J]. 金属矿山, 2021(6):80-85.
- [2] 付广钦, 周晓彤, 邓丽红, 等. 湖南某多金属矿钨锡同步浮选回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(2):66-69.
- [3] 纪道河, 王若林, 杨勇祥, 等. 湖南某含钨多金属矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(6):65-67.
- [4] 罗良烽, 张勇, 何荣权. 预先抛废技术在低品位磁铁矿中的工业应

现代矿业, 2019(12):127-129.

- [5] 黄长峰, 曹玉川. 湖南某金矿浮选工艺研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(5):65-67.
- [6] 杜淑华, 潘邦龙, 夏亮, 等. 某高硫含砷碳低品位难处理金矿选矿试验研究[J]. 金属矿山, 2020(11):90-94.
- [7] 姜文杰, 童雄, 谢贤, 等. 某低品位金矿综合回收试验研究[J]. 矿冶, 2020, 29(6):32-39.
- [8] 高起方, 罗思岗, 赵志强. 某低品位金矿的氰化浸出试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(3):48-51.
- [9] 白成庆, 姚凯, 潘仁球, 等. 提高金矿选矿技术指标研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6):101-103.
- [10] 熊馨, 霸慧文, 寇保德, 等. 青海某低品位金矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2022, 34(5):68-71.
- [11] 元传铎. 某金矿氧化矿石可选性试验研究[J]. 黄金, 2022, 42(9):90-94.
- [12] 吴凯, 马英强, 窦源东, 等. 新疆某金矿选-冶联合流程试验研究[J]. 矿山机械, 2021, 49(10):41-44.
- [13] 王勇, 祁志旭, 李杰, 等. 提高哈图含泥难选金矿金回收率选矿试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(10):121-126.
- [14] 朱泊翰, 张鹏羽, 欧乐明, 等. 高压辊磨对低品位金矿浮选的影响研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(3):80-83.
- [15] 王灿荣. 贵州某难选卡林型金矿浮选试验[J]. 现代矿业, 2018, 34(5):78-83.
- [16] 孙志梅. 提高载金黄铁矿浮选效果的研究与应用[D]. 北京:北京科技大学, 2015.

引用本文: 牛芳银, 郭彩莲, 宁新霞, 等. 某难选金矿石选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(5):79-83.

用[J]. 有色设备, 2021, 35(4):57-60.

- [5] 袁代军, 郭江旭, 曾志飞, 等. 湖南某钨矿山中部采集样重介质预抛及白钨常温浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(1):59-62.
- [6] 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.
- [7] 袁晨光, 黄自力, 肖硕, 等. 某铁矿强磁尾矿反浮选回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(6):71-73.
- [8] 王英姿, 罗良飞, 宋鑫, 等. 袁家村铁矿再磨-强磁选脱泥-反浮选新工艺研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(4):78-81.
- [9] 曾祥龙. 预选抛尾技术在大冶有色资源开发中的应用探讨[J]. 中国金属通报, 2020(10):83-84.
- [10] 成磊, 尚红亮, 朱道瑶. 外磁式磁选机应用于铁矿预选抛尾工艺的试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(3):78-80.

引用本文: 陈鹏飞, 孙文娟, 杨勇祥, 等. 黄沙坪多金属矿强磁选抛废-强化锡石富集试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(5):75-78.