

某难选金矿石选矿试验研究^①

牛芳银^{1,2}, 郭彩莲^{1,2}, 宁新霞^{1,2}, 王重阳^{1,2}, 翟旭东^{1,2}

(1.西安西北有色地质研究院有限公司, 陕西 西安 710054; 2.陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 对某难选金矿石进行了详细工艺矿物学研究,并在此基础上开展提金试验研究。结果表明,矿石中金矿物粒度细且分散分布于载金矿物中。采用强化浮选工艺回收该难选金矿石,浮选时添加调整剂 XPT511 能有效提高金的浮选指标,闭路浮选试验获得了金品位 22.91 g/t、回收率 62.85%的金精矿。

关键词: 难选金矿石; 赋存状态; 微粒金; 浮选; 金

中图分类号: TD923

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2024.05.016

文章编号: 0253-6099(2024)05-0079-05

Beneficiation Experiment of Refractory Gold Ore

NIU Fangyin^{1,2}, GUO Cailian^{1,2}, NING Xinxia^{1,2}, WANG Chongyang^{1,2}, ZHAI Xudong^{1,2}

(1. Xi'an Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals Co., Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Provincial Engineering Technology Center for Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the detailed process mineralogy study of a kind of refractory gold ore, an experimental research was carried out for gold extraction. It is found that the gold mineral in such ore are fine-grained and dispersed in gold-carrying minerals. It is proposed that such refractory gold ore be processed with the technique of enhanced flotation, and an addition of regulator XPT511 can effectively improve the index of gold flotation. It is shown that a close-circuit flotation test results in a gold concentrate grading 22.91 g/t Au at 62.85% recovery.

Key words: refractory gold ore; occurrence state; ultrafine particle; flotation; gold

随着金矿资源不断开发利用,禀赋较好的金矿资源已被开采殆尽,“贫、细、杂”成为我国金矿资源的基本特征^[1-2]。我国已探明的黄金储量中约 30%为难处理金矿^[3]。难处理金矿主要包括微细粒嵌布金矿、高硫金矿、高砷金矿、含碳金矿以及含金多金属硫化物^[4-6]等。为解决黄金矿山资源保障程度不足的问题,从充分利用资源、提高资源开发效益的角度考虑,亟须开展低品位难处理金矿资源开发利用研究^[7-9]。

某难选金矿石中金品位 2.19 g/t,金矿物主要为自然金,个别以银金矿形式存在,金矿物粒度普遍微细,被包裹的金占总金的 91.86%。现场生产采用细磨-全泥氰化浸出工艺,金浸出率仅 20%左右,属于典型的微细粒难选金矿石。为最大化提高该金矿石的选矿技术指标,本文在工艺矿物学研究基础上,从回收工艺流程和整体药剂制度协同优化着手,采用强化浮选

有效解决了该微细粒金的回收问题,实现了该金矿资源的高效回收,可为微细粒难选金矿资源的开发利用提供基础数据及技术依据。

1 原矿性质

1.1 原矿化学组成

采用 X 射线荧光光谱仪对金矿石进行了化学多元素分析,结果见表 1。由表 1 可知:矿石中主要贵金属元素为 Au 和 Ag;SiO₂ 质量分数较高,可考虑综合回收;矿石中含有少量的 Fe 和 S;对金回收不利的 C 和 As 含量相对较低。

1.2 金的赋存状态

采用化学物相分析法测定了金的物相分布情况,结果见表 2。由表 2 可知,矿石中裸露-半裸露金占比相对较低;59.28%和 21.72%的金分别被硫化物和硅酸

① 收稿日期: 2024-06-13

作者简介: 牛芳银(1981—),女,宁夏固原人,硕士,主要从事难选矿石选矿及资源综合利用研究。E-mail:85042847@qq.com

表1 金矿石化学多元素分析结果(质量分数) %

Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Cu	Zn	TFe	SiO ₂
2.19	1.70	0.009 1	0.001 6	0.019	2.75	84.76
TiO ₂	Co	Ni	Sb	Mn	S	Mo
0.13	0.001 3	0.002 3	0.011	0.046	2.46	0.008 8
CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P	TC
0.24	0.055	2.30	0.33	0.08	0.057	0.20
V ₂ O ₅	Cd	As	LOI			
0.023	0.000 5	0.056	3.23			

1) 单位为 g/t。

盐包裹,而碳酸盐、赤褐铁矿中金分布率较低。结合矿物组成和化学组成分析结果可知,该矿石中超过90%的金被包裹,主要载金矿物为黄铁矿,其次为石英。

表2 金在各物相中的分布

金物相	金品位/(g·t ⁻¹)	金分布率/%
裸露-半裸露金	0.18	8.14
碳酸盐中包裹金	0.11	4.98
赤褐铁矿中包裹金	0.13	5.88
硫化物中包裹金	1.31	59.28
硅酸盐中包裹金	0.48	21.72
合计	2.21	100.00

针对金矿石原矿及浮选精矿所制大量光片,经高倍显微镜详细观察,未发现独立金矿物,说明该矿石中独立金矿物量少、粒度细、嵌布特征复杂。为进一步研究该矿石中独立金矿物的存在形式,对原矿经尼尔森选矿机选出金品位约20 g/t的金精矿,并将其制成砂光片,使用高倍显微镜并结合MLA的SPL模式查金,仅发现38粒金矿物。针对金矿物,依次进行了化学成分及成色、结晶形态、嵌布特征等分析。

自然金能谱分析结果如图1所示,金矿物X射线能谱分析结果见表3。由表3可知,根据《岩金矿地质勘查规范》,该矿石中金矿物主要为自然金,个别为银金矿。自然金中Au原子分数82.77%~99.80%,成色827.7‰~999.4‰、平均898.3‰。银金矿中Au原子分数79.52%,成色795.2‰。

为进一步了解金矿石中自然金的粒度特征,采用面积法对矿石中所见38粒金矿物进行粒度和分布分析,金矿物粒度统计结果如图2所示,金矿物分布统计结果见表4。由图2可知,矿石中金以微粒金(0.001~0.010 mm)为主,占总颗粒数的68.42%,其次为细粒明金

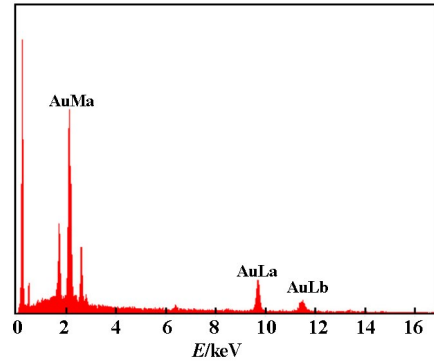


图1 自然金能谱分析结果

表3 金矿物X射线能谱分析结果

矿物名称	序号	Au 原子分数/%	Ag 原子分数/%	成色/‰
自然金	1	99.80	0.20	999.2
	2	99.40	0.60	999.4
	3	83.21	16.79	832.1
	4	84.52	15.48	845.2
	5	85.93	14.07	859.3
	6	83.89	16.11	838.9
	7	83.74	16.26	837.4
	8	82.77	17.23	827.7
	9	98.66	1.34	986.6
	10	95.72	4.28	957.2
平均		89.76	10.17	898.3
银金矿	11	79.52	20.48	795.2

(0.010~0.030 mm)和显微-超显微金(0.1~0.9 μm),分别占13.16%和18.42%。微粒金及显微-超显微金在实际选矿生产中选矿难度较大^[10-12],即使细磨也难以呈单体或毗连型连生体状态,在选别过程中主要跟随脉石矿物进入尾矿,难以回收^[13-14]。由表4可知,金矿物与硫化物关系密切。

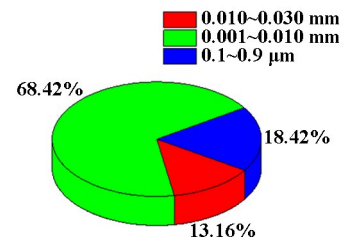


图2 金矿物粒度统计结果

表4 金矿物分布统计结果

存在形式	颗粒数	所占比例/%
单体金	3	7.89
黄铁矿包裹金	22	57.89
黄铁矿裂隙金	6	15.79
黄铁矿粒间金	5	13.16
黄铁矿-石英粒间金	2	5.27
合计	38	100.00

1.3 主要载金矿物的嵌布特征

由金的赋存状态可知,黄铁矿和石英是主要的载金矿物。

黄铁矿多呈它形粒状,少见半自形粒状,以星散状-稀疏浸染状存在,部分呈它形-半自形粒状,以浸染状分布,局部破碎裂隙发育。黄铁矿粒度较细,76.61%分布于-0.08 mm 粒级,29.24%分布于 0.04~0.08 mm 粒级,21.26%分布于 0.02~0.04 mm 粒级。其中-0.04 mm 粒级的黄铁矿占 47.37%,这部分黄铁矿磨矿解离难度较大,易出现细粒黄铁矿未充分解离的情况^[15]。

石英是矿石中主要的非金属矿物,与金矿物关系密切,金矿物位于黄铁矿与石英粒间,这部分金粒度较细,因此完全单体解离和回收是极其困难的^[16]。石英呈石英砂屑,硅质岩、石英岩角砾及岩屑,以及以充填物形式存在,粒径 0.01~0.30 mm 不等。

2 金矿石选矿试验研究

该金矿石选矿的难点首先是“细”,金的载体矿物黄铁矿粒度细,金的粒度更细;其次是金的分布不集中。针对这两点,经过大量流程探索试验,最终确定采用“强化浮选工艺”回收该矿石中金。

2.1 磨矿细度对金浮选的影响

以 XPT511(一种含硫酸根离子的酸性无机物)为调整剂、硫酸铜为活化剂、丁基黄药为捕收剂、2#油为起泡剂,按图 3 所示流程,进行了磨矿细度条件试验,结果见图 4。由图 4 可知,随着磨矿细度增加,粗精矿金品位和回收率均先增加后减少,在磨矿细度-0.074 mm 粒级占 90%时达到峰值。说明一定范围内提高磨矿细度可提高 Au 回收率,但同时泥化的脉石矿物量也增加,

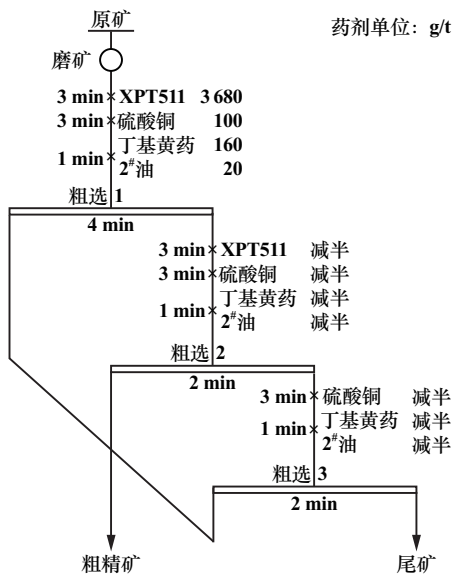


图3 磨矿细度试验流程

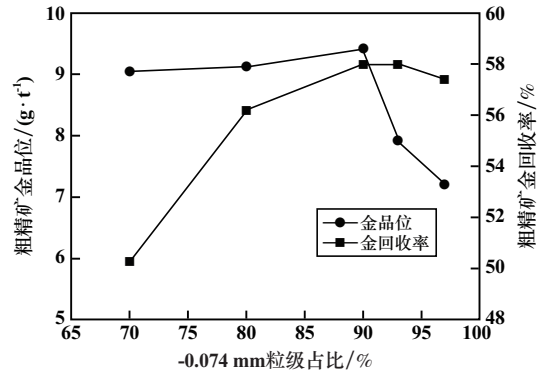


图4 磨矿细度对浮选指标的影响

恶化浮选环境。综合考虑,磨矿细度-0.074 mm 粒级占 90%为宜。

2.2 调整剂种类及用量对金浮选的影响

磨矿细度-0.074 mm 粒级占 90%,按图 3 所示流程进行了调整剂种类条件试验,结果见图 5。由图 5 可知,不添加调整剂时,粗精矿中金品位 5.55 g/t、金回收率 28.15%;添加常规选金调整剂硫酸或碳酸钠,粗精矿中金品位和回收率略有提高;以 XPT511 为调整剂时,粗精矿中金品位和回收率均明显提高。确定 XPT511 为该金矿石适宜的调整剂。

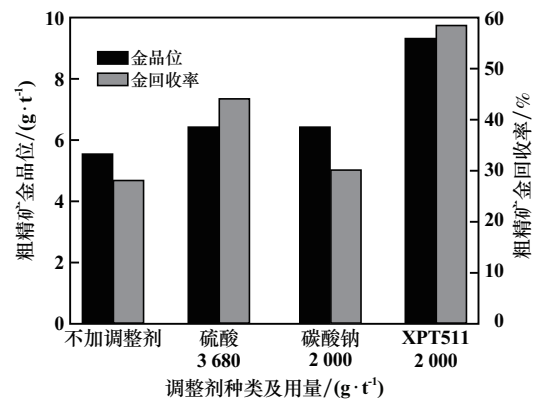


图5 调整剂种类对浮选指标的影响

相同条件下进行了粗选 1 时 XPT511 用量条件试验,结果见图 6。由图 6 可见:随着 XPT511 用量增加,粗精矿金品位和回收率逐渐增加;XPT511 用量大于 2 000 g/t 后,粗精矿金品位和回收率趋于平稳。确定粗选 1 适宜的 XPT511 用量为 2 000 g/t。

2.3 活化剂种类及用量对金浮选的影响

磨矿细度-0.074 mm 粒级占 90%,XPT511 用量 2 000 g/t,按照图 3 所示流程进行了活化剂种类条件试验,结果见图 7。由图 7 可知,以硫酸铜为活化剂能获得较高的粗精矿金品位和回收率。确定硫酸铜为适宜的活化剂。

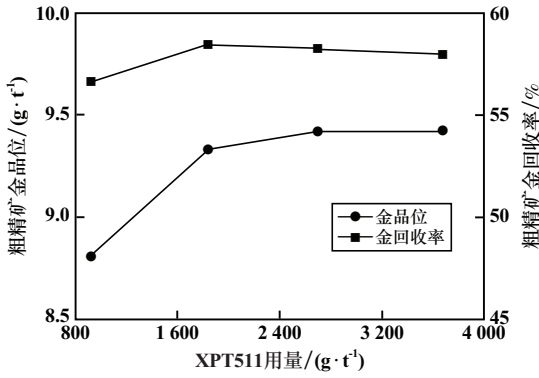


图6 XPT511用量对浮选指标的影响

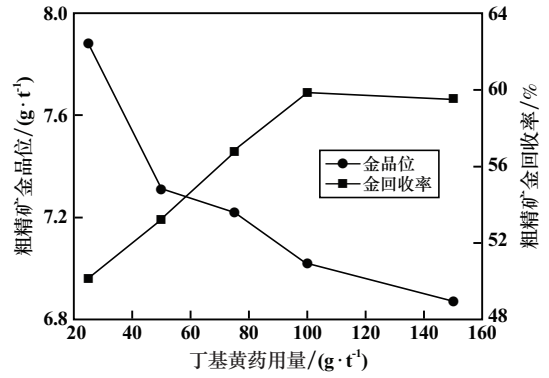


图9 丁基黄药用量对金浮选指标的影响

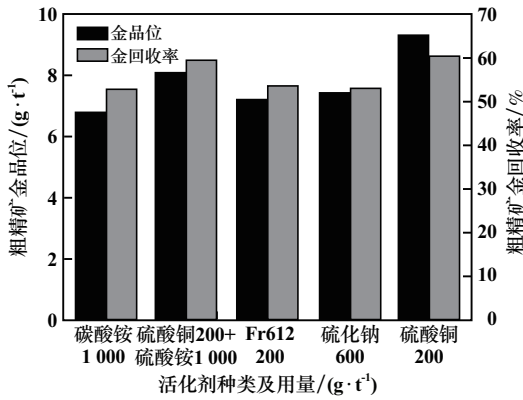


图7 活化剂种类对浮选指标的影响

相同条件下,进行了粗选1硫酸铜用量条件试验,结果见图8。由图8可见,随着硫酸铜用量增加,粗精矿金品位下降,金回收率先增加后趋于平稳。粗选1硫酸铜用量100 g/t为宜。

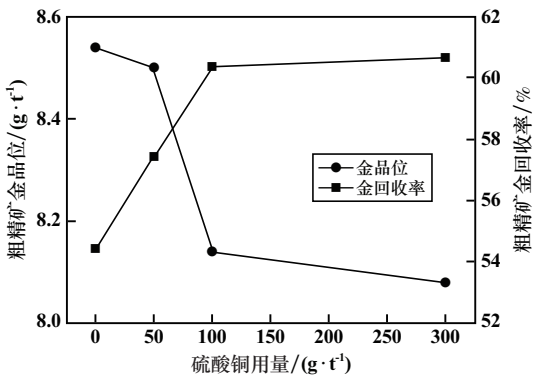


图8 硫酸铜用量对浮选指标的影响

2.4 丁基黄药用量对金浮选的影响

磨矿细度-0.074 mm 粒级占90%,XPT511用量2000 g/t,按图3所示流程,进行了粗选1丁基黄药用量条件试验,结果见图9。由图9可知,随着丁基黄药用量增加,粗精矿金品位逐渐下降,金回收率持续上升。综合考虑,确定粗选1适宜的丁基黄药用量为100 g/t。

2.5 闭路浮选试验

在条件试验基础上,进行了强化浮选闭路试验,试验流程见图10,结果见表5。

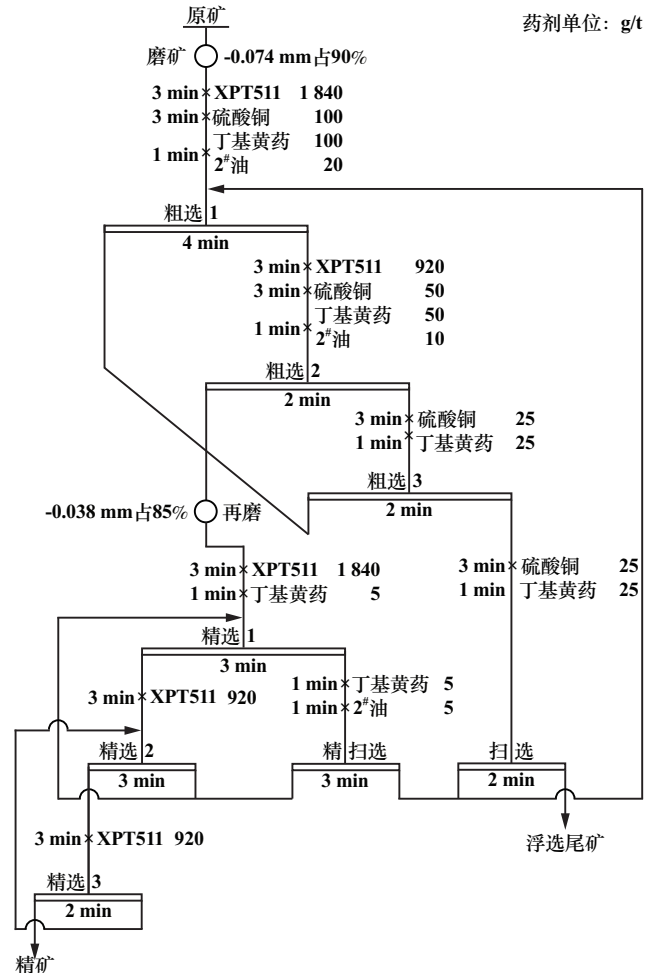


图10 闭路浮选试验流程

表5 闭路浮选试验结果

产品名称	产率/%	Au品位/(g·t ⁻¹)	Au回收率/%
精矿	6.49	22.91	62.85
尾矿	93.51	0.94	37.15
原矿	100.00	2.36	100.00

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.