



某铜铁矿选矿实验

任琳珠¹, 王李鹏¹, 刘宝山²

(1. 厦门紫金矿冶技术有限公司, 福建 厦门 361101; 2. 西北矿冶研究院, 矿物工程研究所, 甘肃 白银 730900)

摘要: 针对某铜铁矿矿石性质特点, 采用先浮-后磁工艺流程, 配合使用选择性好的捕收剂酯-112, 实现了矿石的综合回收。采用“先浮-后磁”工艺, 即将原矿磨至-74 μm 70%, 铜回路采用一次粗选、三次精选产出铜精矿; 铜扫选尾矿经过一次磁选产出铁精矿。闭路实验获得铜精矿中铜的品位为 20.72%, 铜回收率为 80.76%; 铜精矿中金品位 43.91 g/t, 回收率 86.29%, 铁精矿品位为 66.38%, 铁回收率为 94.20%, 铁精矿中有害元素硫含量仅为 0.16%。

关键词: 矿物加工工程; 铜铁矿; 先浮-后磁; 捕收剂酯-112

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.02.019

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)02-0141-07

引用格式: 任琳珠, 王李鹏, 刘宝山. 某铜铁矿选矿实验[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(2): 141-147.

REN Linzhu, WANG Lipeng, LIU Baoshan. Test on mineral processing technology for the copper-iron ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(2): 141-147.

铜铁矿作为我国重要的战略矿产资源, 是铜、铁金属的主要来源之一。随着优质铜铁矿资源的逐渐枯竭, 矿石性质日趋复杂, 低品位、嵌布粒度细、共伴生关系密切的难选铜铁矿逐渐成为开发主体^[1]。传统的单一浮选或磁选工艺在处理此类矿石时存在分选效率低、金属回收率不足、资源综合利用率低等问题。在此背景下, 浮选-磁选联合工艺因其互补性强、适应性广的特点, 成为实现铜铁矿高效分选与综合利用的重要技术方向^[1-3]。

浮选工艺通过利用矿物表面物理化学性质的差异实现铜矿物的选择性分离, 尤其对硫化铜矿物具有显著优势; 而磁选工艺则基于矿物磁性强弱差异, 可高效回收弱磁性或强磁性铁矿物。两者的联合应用既能克服单一工艺的局限性, 又能实现铜、铁矿物的梯级回收, 显著提升资源利用率。近年来, 国内学者针对不同类型铜铁矿资源, 围绕浮选-磁选联合工艺的流程设计、药剂制

度优化及设备协同匹配等开展了大量研究^[4-6]。然而, 目前联合工艺在复杂矿石分选过程中仍面临流程结构复杂、药剂成本高、细粒级矿物回收困难等技术瓶颈, 亟需系统性研究工艺参数优化与协同机制。

本文针对该铜铁矿矿石特性, 在工艺矿物学研究的基础上, 采用先浮-后磁工艺流程, 使用选择性好的捕收剂酯-112, 实现矿石的综合回收^[7-9]。

1 矿石性质

矿石主要有价金属为铁、铜和金, 铁主要为磁铁矿和磁赤铁矿, 铜以硫化物为主, 主要有黄铜矿、铜蓝、斑铜矿、墨铜矿等, 脉石矿物主要为云母、辉石、橄榄石等。该矿石主金属矿物间嵌布关系较复杂, 分布不均匀, 粒度粗细不等, 矿物间多呈交错嵌镶, 很难完全解离; 铜矿种类较多, 含有部分对铜选矿指标有一定影响的氧化铜和墨铜矿; 金分布极不均匀, 主要赋存在黄铜

收稿日期: 2022-04-12

作者简介: 任琳珠(1988-), 女, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事矿物加工工程研究。

矿和黄铁矿粒内或粒间隙中。矿石化学多元素分析结果见表 1，矿石铜、铁物相分析分别见表 2、

3。由表 1~3 可知，该矿石属于原生硫化矿，其中可回收的有价金属为铜、铁和金。

表 1 矿石化学多元素分析结果/%
Table 1 Chemical analysis results of the ore

Cu	Pb	Zn	S	Fe	SiO ₂	Au*	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	As	Co*	P*
0.30	微量	微量	0.72	59.30	8.89	0.60	1.85	0.86	5.54	0.06	85.00	58.00

*单位是 g/t。

表 2 矿石铜物相分析结果
Table 2 Phase analysis results of copper

名称	原生硫化铜	次生硫化铜	自由氧化铜	结合氧化铜	总铜
含量/%	0.186	0.080	0.009	0.025	0.300
占有率/%	62.00	26.67	3.00	8.33	100.00

表 3 矿石铁物相分析结果
Table 3 Phase analysis results of iron

名称	磁铁矿	赤铁矿及褐铁矿	菱铁矿	黄铁矿	其他	总铁
含量/%	56.06	0.62	0.35	0.46	1.81	59.30
占有率/%	94.53	1.05	0.59	0.78	3.05	100.00

2 结果及讨论

根据矿石性质特点，该矿石的可选原则流程有“先磁-后浮”和“先浮-后磁”两种。对两种工艺进行实验研究，“先磁-后浮”工艺流程铜、金在铁精矿中损失较多，且铁精矿中含硫易超标；“先浮-后磁”工艺流程能够较好的回收铜、金等有价元素，且能得到含硫很低的合格铁精矿。综合考虑，选择“先浮-后磁”工艺为原则工艺流程。工艺应用对金、铜矿物具有较强捕收能力的酯-112 作为捕收起泡剂，强化铜、金有价组分的回收。

2.1 药剂种类探索实验

根据原矿铜品位较低，38.00% 为次生硫化铜和氧化铜，金品位为 0.60 g/t，且基于铜可能是金的主要载体矿物的特点，进行调整剂、捕收剂种类探索实验。本实验设定的磨矿细度为-0.074 mm 70%，从石灰和碳酸钠中筛选调整剂，以丁基黄药、丁铵黑药、酯-112、A₂（黄原酸盐类与硫氮类组合捕收剂）进行不同组合筛选捕收剂。实验流程见图 1，实验结果见表 4，实验结果表明，石灰

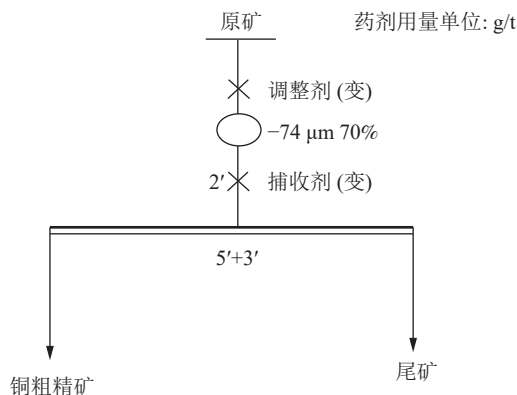


图 1 药剂种类筛选实验流程
Fig.1 Flowsheet of flotation reagent type screening tests

表 4 药剂种类筛选实验结果
Table 4 Screening test results of flotation reagent types

药剂及用量/(g/t)	产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
			Cu	S	Fe	Au*	Cu	S	Fe	Au
石灰: 1000	铜粗精矿	2.44	9.25	22.13	27.65	18.80	74.31	75.46	1.13	78.34
丁基黄药: 60	尾矿	97.56	0.08	0.18	60.53	0.13	25.69	24.54	98.87	21.66
松醇油: 30	原矿	100.00	0.30	0.72	59.73	0.59	100.00	100.00	100.00	100.00
	铜粗精矿	2.69	8.95	19.94	28.50	18.90	77.95	74.37	1.29	82.61
丁铵黑药: 40	尾矿	97.31	0.07	0.19	60.47	0.11	22.05	25.63	98.71	17.39
丁基黄药: 50	原矿	100.00	0.31	0.72	59.61	0.62	100.00	100.00	100.00	100.00
	铜粗精矿	2.52	9.87	20.17	27.58	20.20	80.96	72.28	1.16	85.30
碳酸钠: 1000	尾矿	97.48	0.06	0.20	60.65	0.09	19.04	27.72	98.84	14.70
酯-112: 40	原矿	100.00	0.31	0.70	59.82	0.60	100.00	100.00	100.00	100.00
丁基黄药: 50										
	铜粗精矿	2.53	9.75	22.56	27.82	21.30	83.50	78.54	1.18	88.76
石灰: 1000	尾矿	97.47	0.05	0.16	60.60	0.07	16.50	21.46	98.82	11.24
酯-112: 40	原矿	100.00	0.30	0.73	59.77	0.61	100.00	100.00	100.00	100.00
丁基黄药: 50										
	铜粗精矿	2.52	9.56	21.42	27.00	20.80	80.46	75.47	1.14	87.05
石灰: 1000	尾矿	97.48	0.06	0.18	60.45	0.08	19.54	24.53	98.86	12.95
A ₂ : 40	原矿	100.00	0.30	0.72	59.61	0.60	100.00	100.00	100.00	100.00
丁基黄药: 50										

*单位为 g/t。

作为调整剂，酯-112和丁基黄药联合作为捕收剂回收金银矿物效果做好。

2.2 磨矿细度实验

适宜的细度为浮选的关键，磨矿粒度过粗，造成矿物单体解离度差，无法实现有用矿物与脉石矿物的充分解离，影响浮选指标；过磨不但造成能源功耗大，还会造成浮选环境变差，影响实验结果。磨矿细度实验流程见图2，实验结果见表5。由表5可知，铜品位随磨矿细度的增加而增加，回收率随磨矿细度的增加呈先增高后降低的趋势，较适宜的磨矿细度为-0.074 mm 70%。

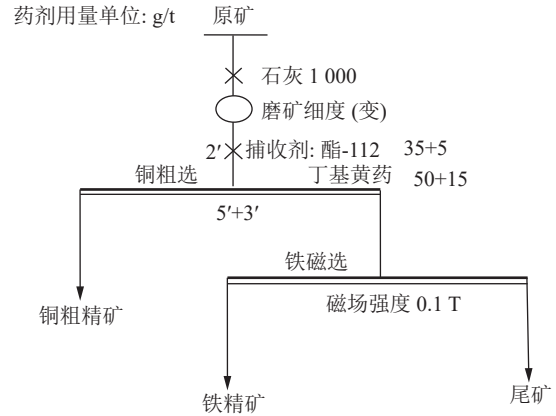


图2 磨矿细度实验流程
Fig.2 Flowsheet of grinding fineness tests

表5 磨矿细度对浮选指标影响
Table 5 Effect of grinding fineness on barite flotation

磨矿细度-0.074 mm/%	产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
			Cu	S	Fe	Au*	Cu	S	Fe	Au
60	铜粗精矿	2.55	9.51	22.18	27.05	19.60	80.11	75.61	1.16	83.91
	铁精矿	84.68	0.05	0.14	65.90	0.08	13.99	15.85	93.87	11.37
	尾矿	12.77	0.14	0.50	23.12	0.22	5.90	8.54	4.97	4.72
	原矿	100.00	0.30	0.75	59.45	0.60	100.00	100.00	100.00	100.00
65	铜粗精矿	2.55	9.55	21.59	26.90	20.60	82.25	75.76	1.15	86.18
	铁精矿	85.11	0.04	0.12	66.21	0.07	11.50	14.05	94.18	9.77
	尾矿	12.34	0.15	0.60	22.65	0.20	6.25	10.19	4.67	4.05
	原矿	100.00	0.30	0.73	59.83	0.61	100.00	100.00	100.00	100.00
70	铜粗精矿	2.58	9.71	21.36	27.15	21.20	82.93	76.75	1.17	88.14
	铁精矿	84.81	0.04	0.13	66.45	0.06	11.23	15.35	94.10	8.20
	尾矿	12.61	0.14	0.45	22.48	0.18	5.84	7.90	4.73	3.66
	原矿	100.00	0.30	0.72	59.89	0.62	100.00	100.00	100.00	100.00
75	铜粗精矿	2.51	9.85	22.05	26.38	21.50	82.59	75.79	1.10	86.24
	铁精矿	85.57	0.04	0.13	66.48	0.07	11.44	15.23	94.30	9.57
	尾矿	11.92	0.15	0.55	23.28	0.22	5.97	8.98	4.60	4.19
	原矿	100.00	0.30	0.73	60.32	0.63	100.00	100.00	100.00	100.00
80	铜粗精矿	2.49	10.01	22.37	26.74	21.60	82.42	77.04	1.11	86.35
	铁精矿	84.62	0.04	0.12	66.57	0.07	11.19	14.04	93.99	9.51
	尾矿	12.89	0.15	0.50	22.78	0.20	6.39	8.92	4.90	4.14
	原矿	100.00	0.30	0.72	59.93	0.62	100.00	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

2.3 石灰用量实验

石灰在硫化铜矿选矿中可以调节浮选作业环境，抑制脉石矿物，提高目的矿物的富集比，石灰用量实验在磨矿细度为-0.074 mm 70%，酯-112用量为40 g/t，丁基黄药用量为65 g/t条件下进行，实验结果见表6。可以看出铜、金品位随着

石灰用量的增加而升高，回收率在石灰用量1500 g/t时达到顶峰，此时对应的游离氧化钙浓度为112.00 g/m³。

2.4 酯-112用量实验

酯-112为西北矿冶研究院研制的丙烯酸酯组合类硫化矿捕收剂。具有选择性好，用量少，兼

表 6 石灰用量对浮选指标影响
Table 6 Effect of lime dosage on barite flotation

石灰用量/ (g/t)	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	S	Au*	Cu	S	Au
0 (pH=6.5)	铜粗精矿	2.61	8.80	19.99	20.90	77.11	69.06	87.50
	尾矿	97.39	0.07	0.24	0.08	22.89	30.94	12.50
	原矿	100.00	0.30	0.76	0.62	100.00	100.00	100.00
500 (pH=7)	铜粗精矿	2.66	9.11	19.77	20.70	80.58	72.01	87.61
	尾矿	97.34	0.06	0.21	0.08	19.42	27.99	12.39
	原矿	100.00	0.30	0.73	0.63	100.00	100.00	100.00
1 000 (CaO: 67.20 g/m ³)	铜粗精矿	2.58	9.71	21.36	21.20	83.72	76.89	87.53
	尾矿	97.42	0.05	0.17	0.08	16.28	23.11	12.47
	原矿	100.00	0.30	0.72	0.62	100.00	100.00	100.00
1 500 (CaO: 112.00 g/m ³)	铜粗精矿	2.53	9.80	21.54	22.10	83.57	77.75	90.53
	尾矿	97.47	0.05	0.16	0.06	16.43	22.25	9.47
	原矿	100.00	0.30	0.70	0.62	100.00	100.00	100.00
2 000 (CaO: 173.60 g/m ³)	铜粗精矿	2.45	9.85	22.43	22.30	83.19	77.88	88.89
	尾矿	97.55	0.05	0.16	0.07	16.81	22.12	11.11
	原矿	100.00	0.29	0.71	0.61	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

具起泡功能，实验流程见图 3，实验结果见图 4。从图 4 可以看出，随着酯-112 用量的增加，铜、金回收率先增加后基本平缓，适宜的酯-112 用量

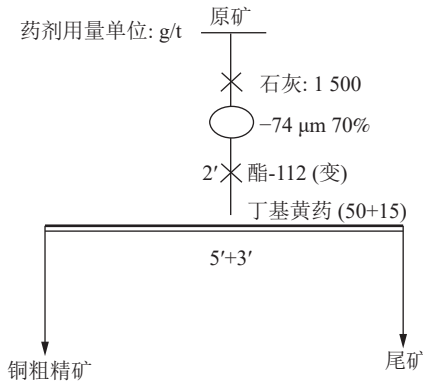


图 3 酯-112 用量实验流程

Fig.3 Flowsheet of ester-112 dosage tests

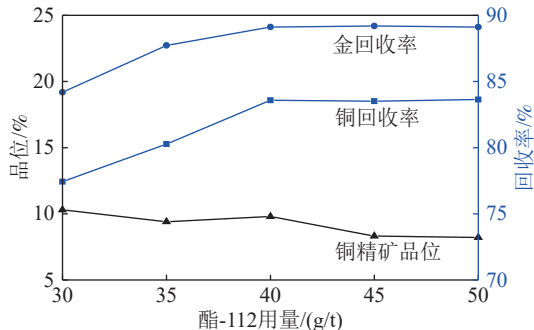


图 4 酯-112 用量实验结果

Fig.4 Results of ester-112 dosage tests

为 (35+5) g/t。

2.5 磁场强度实验

以铜扫选尾矿作为磁选给矿进行铁磁选磁场强度实验，磁选固定条件为：采用永磁滚筒磁选机，筒体转速 20 r/min，给矿矿浆浓度 20%，实验矿浆量 25 L。实验结果 (表 7) 表明，随着磁场强度的大，铁回收率增加，铁品位降低，铁精矿中硫的含量在 0.12 T 时，显著增加，适宜的磁场强度为 0.10 T。

表 7 磁场强度实验结果
Table 7 Results of magnetic field intensity

磁场强度/T	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			Fe	S	Fe	S
0.06	铁精矿	84.49	66.81	0.10	92.76	54.22
	尾矿	15.51	28.41	0.46	7.24	45.78
	给矿	100.00	60.85	0.16	100.00	100.00
0.08	铁精矿	87.07	66.19	0.10	94.71	53.73
	尾矿	12.93	24.90	0.58	5.29	46.27
	给矿	100.00	60.85	0.16	100.00	100.00
0.10	铁精矿	87.57	66.13	0.10	95.24	55.28
	尾矿	12.43	23.28	0.57	4.76	44.72
	给矿	100.00	60.80	0.16	100.00	100.00
0.12	铁精矿	88.07	65.69	0.12	95.61	64.86
	尾矿	11.93	22.28	0.48	4.39	35.14
	给矿	100.00	60.51	0.16	100.00	100.00

2.6 开路实验

在较佳条件实验基础上，进行开路实验，实验流程见图 5，实验结果见表 8。从开路实验结果

可知，一次扫选铜回收提仅提高 0.65%，增加扫选次数对铜回收率提高意义不大。

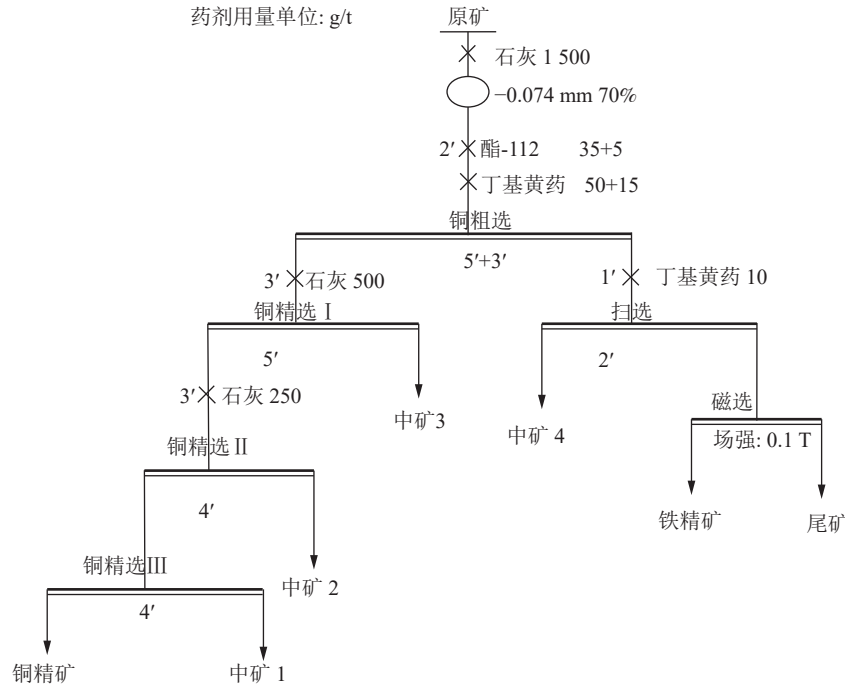


图 5 开路实验流程

Fig.5 Flowsheet of the open-circuit tests

表 8 开路实验结果

Table 8 Results of the open-circuit tests

产品名称	产率 /%	品位/%			回收率/%		
		Cu	S	Fe	Cu	S	Fe
铜精矿	0.92	22.80	21.41	26.26	66.86	31.37	0.41
中矿 1	0.21	13.05	22.48	27.56	8.73	7.52	0.10
中矿 2	0.42	3.59	18.34	28.71	4.81	12.27	0.20
中矿 3	1.00	0.85	11.23	28.87	2.71	17.88	0.48
中矿 4	0.25	0.82	10.25	27.36	0.65	4.08	0.11
铁精矿	83.81	0.04	0.12	66.93	10.69	16.01	93.98
尾矿	13.39	0.13	0.51	21.05	5.55	10.87	4.72
原矿	100.00	0.31	0.63	59.69	100.00	100.00	100.00

2.7 闭路实验

在条件实验及全开路实验的基础上，进行闭路实验，闭路实验流程为浮选作业经过一次粗选、三次精选的得到合格铜精矿；铜扫选尾矿进行一次磁选得到合格铁精矿。闭路实验工艺流程见图 6，实验结果见表 9。从表 9 可见，闭路实验获得铜精矿中铜、金品位分别为 20.72%、43.91 g/t，回收率分别为 80.76%、86.29%，实现铜、金有价

组分的综合回收。铁精矿品位为 66.38%，回收率为 94.20%，铁精矿中有害元素硫含量仅为 0.16%，满足销售要求。

3 结 论

(1) 该矿石中矿物以铁的氧化物为主，其次为铁的硫化物，氧化物主要有磁铁矿、磁赤铁矿；硫化物主要有黄铜矿、墨铜矿、斑铜矿、方黄铜矿；金以银金矿的形式存在于黄铜矿和黄铁矿中；脉石矿物主要为云母、辉石、橄榄石。

(2) 针对该矿石性质特点，采用“先浮-后磁”工艺，即将原矿磨至-74 μm 70%，铜回路采用一次粗选、三次精选产出铜精矿；铜扫选尾矿经过一次磁选产出铁精矿。铜精矿品位为 20.72%，铜回收率为 80.76%；铜精矿中金品位 43.91 g/t，回收率 86.29%，铁精矿品位为 66.38%，铁回收率为 94.20%。

(3) 该矿石采用酯-112 作为捕收起泡剂，添加少量丁基黄药就可实现铜和金有价组分的高效回收；改药剂呈油状，环保无毒、易于现场添加。

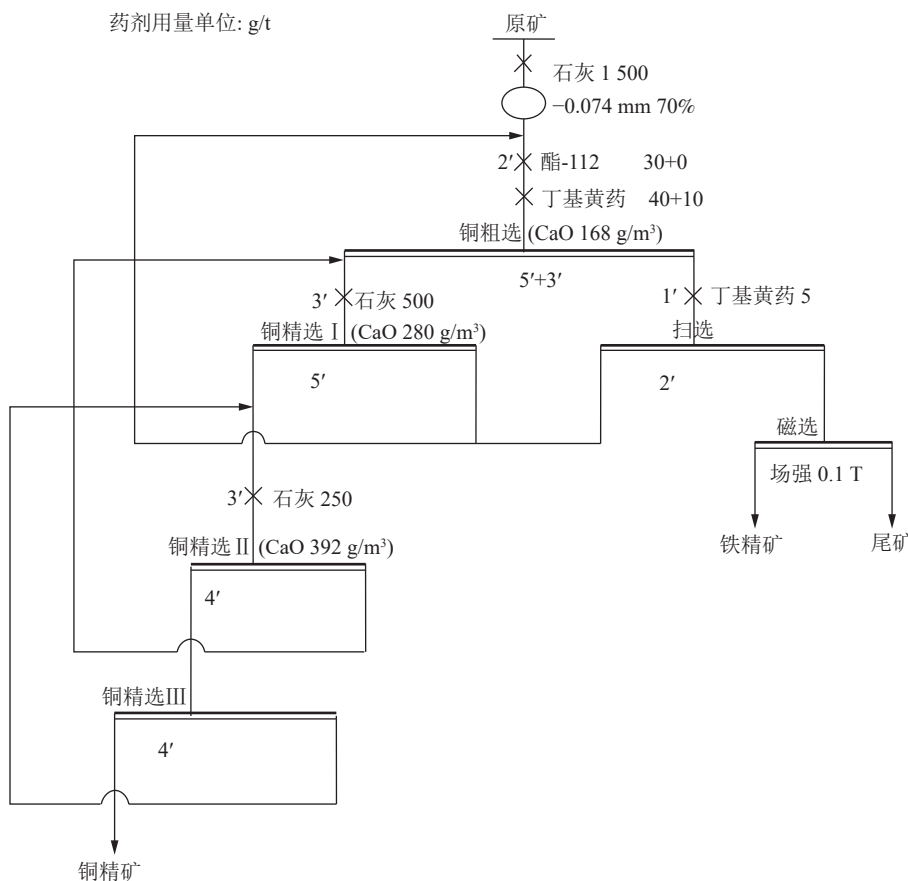


图 6 闭路实验流程

Fig.6 Flowsheet of the closed-circuit tests

表 9 闭路实验结果

Table 9 Results of the closed-circuit tests

产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
		Cu	S	Fe	Au*	Cu	S	Fe	Au
铜精矿	1.18	20.72	34.81	26.19	43.91	80.76	59.80	0.52	86.29
铁精矿	84.39	0.04	0.16	66.38	0.06	11.14	19.64	94.20	8.43
尾矿	14.43	0.17	0.98	21.77	0.22	8.10	20.56	5.28	5.28
原矿	100.00	0.30	0.70	59.47	0.60	100.00	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

参考文献:

[1] 杨凯志, 李汉文, 胡真, 等. 云南某低品位硫氧混合铜矿浮选实验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(1):47-52.
 YANG K Z, LI H W, HU Z, et al. Experimental study on flotation of a low-grade sulfur-oxygen mixed copper ore in Yunnan[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2022(1):47-52.
 [2] 赵天平. 难选铜铁矿选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2016(1):45-48.
 ZHAO T P. Experimental Research on mineral processing

technology for refractory delafossite ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2016(1):45-48.
 [3] 吴玉元, 何东升, 胡洋, 等. 某铜铁矿尾矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2019(2):75-78.
 WU Y Y, HE D S, HU Y, et al. Mineralogical study on a copper - iron ore tailings process[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(2):75-78.
 [4] 王磊, 刘洋, 陈明. 高硫型铜铁矿浮选-磁选联合工艺优化研究[J]. 有色金属工程, 2021, 71(5):45-52.
 WANG L, LIU Y, CHEN M. Optimization of combined flotation-magnetic separation process for high-sulfur copper-

iron ore[J]. *Nonferrous Metal Engineering*, 2021, 71(5):45-52.

[5] 张强, 周涛, 吴峰. 磁选预处理对铜铁矿浮选指标的影响[J]. *金属矿山*, 2020, 49(8):102-107.

ZHANG Q, ZHOU T, WU F. Influence of magnetic separation pretreatment on the flotation index of copper and iron ore[J]. *Metal Mine*, 2020, 49(8):102-107.

[6] 李华, 赵伟, 马宁. 新型组合药剂在铜铁矿浮选中的应用研究[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(3):67-72.

LI H, ZHAO W, MA N. Research on the application of new combined chemicals in copper and iron ore flotation[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 2019, 39(3):67-72.

[7] 万丽, 周少珍, 曾克文, 等. 安徽某铜硫矿选矿工艺优化实验[J]. *矿产综合利用*, 2019(6):41-44.

WAN L, ZHOU S Z, ZENG K W, et al. Experimental research

on beneficiation technology of a copper-sulfur ore from Anhui[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(6):41-44.

[8] 陈艳平, 毛益林, 陈晓青, 等. 四川某铜矿选矿实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(2):87-90.

CHEN Y P, MAO Y L, CHEN X Q, et al. Experimental study on mineral processing of a copper ore in Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(2):87-90.

[9] 逢军武, 张玲, 达娃卓玛, 等. 某选矿厂处理角岩型铜硫矿选铜浮选实验[J]. *矿产综合利用*, 2021(4):139-143.

PANG J W, ZHANG L, DAWA Z M, et al. Treatment of breccia in a concentrator copper sulphur ore flotation test of copper separation[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4):139-143.

Test on Mineral Processing Technology for the Copper-iron Ore

REN Linzhu¹, WANG Lipeng¹, LIU Baoshan²

(1.Xiamen Zijin Mining and Metallurgy Technology Co., Ltd., Xiamen 361101, Fujian, China; 2.Mineral Engineering Research Institute of Northwest Research Institute of Mining and Metallurgy, Baiyin 730900, Gansu, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of a copper-iron ore, we adopt the process of first flotation and then magnetic process, together with the use of ester-112, which is a good selective collector, to realize the comprehensive recovery of the ore. Using the “first flotation - then magnetic” process, the original ore is ground to $-74\ \mu\text{m}$ 70%, copper circuit using one roughing, three cleaning for the output of copper concentrate.copper sweeping tailings after a magnetic separation output of iron ore concentrate. Closed-circuit tests obtained copper grade of 20.72% and recovery rate of 80.76% in the copper concentrate, gold grade of 43.91 g/t and recovery rate of 86.29% in the copper concentrate, iron grade of 66.38% recovery rate of 94.20% in the iron concentrate, among which the content of the harmful elements of the sulfur is only 0.16%.

Keywords: Mineral processing engineering; Copper-iron ore; Flotation-postmagnetization; Collector ester-112