某混合型铁矿高效选铁技术研究①

王斌[1]，刘晓慧[1]，李天霞[2]
（1.太钢集团岚县矿业有限公司，山西 吕梁 033504；2.长沙矿冶研究院有限责任公司，湖南 长沙 410012）

摘　要：对某磁铁矿-赤铁矿混合型中低品位铁矿进行了选矿试验研究，开发了高压辊磨、弱磁选预选、预选精矿阶磨阶选-淘洗磁选、预选尾矿强磁选-重选的联合流程。结果表明：预选精矿经阶磨阶选-淘洗磁选，获得了 TFe 品位 70.57%、SiO_2和 Al_2O_3合计含量低于 3%、TFe 回收率 67.25%的磁铁矿精矿；预选尾矿经平环强磁选-重选，获得了 TFe 品位 63.52%、回收率 16.61%的赤铁矿精矿；全流程铁回收率合计达 83.86%。

关键词：混合型铁矿；高压辊磨；弱磁选；预选；阶磨阶选；淘洗磁选；强磁选；重选；磁铁矿；赤铁矿
中图分类号：TD951　　**文献标志码**：A　　doi：10.3969/j.issn.0253-6099.2025.06.016
文章编号：0253-6099(2025)06-0091-05

Efficient Beneficiation Technology for Mixed Iron Ores

WANG Bin[1], LIU Xiaohui[1], LI Tianxia[2]
(1.*Lanxian Mining Company, Taiyuan Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Lyuliang* 033504, *Shanxi, China*; 2.*Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha* 410012, *Hunan, China*)

Abstract: Based on beneficiation tests of a low-to-medium grade magnetite-hematite ore, a combined processing technique was developed, consisting of high-pressure roller grinding, preconcentration with low-intensity magnetic separator, staged grinding - staged separation and magnetic elutriation of preliminary concentrate, and high-intensity magnetic separation and gravity separation of preconcentration tailings. It is shown that the preliminary concentrate from preconcentration process is subjected to staged grinding and staged separation, followed by magnetic elutriation, resulting in a magnetite concentrate grading 70.57% TFe at 67.25% recovery, with total content of SiO_2 and Al_2O_3 less than 3%. The tailings from preconcentration then go to flat-ring high-intensity magnetic separator followed by gravity separator, generating hematite grading 63.52% TFe at 16.61% recovery. The recovery from the whole process is totally 83.86%.

Key words: mixed iron ore; high-pressure roller grinding; low-intensity magnetic separation; preconcentration; staged grinding and staged separation; magnetic elutriation; high-intensity magnetic separation; gravity separation; magnetite; hematite

铁矿资源是钢铁工业的重要基础，随着高品位铁矿日渐枯竭，混合型铁矿的高效开发利用成为国内外研究的热点[1]。混合型铁矿通常包含磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等多种铁矿物，且嵌布粒度细、矿物共生关系密切，导致选矿难度大、回收率低[2]。通过合理的选矿工艺实现这类资源的高效回收[3-4]是选矿领域的重要课题。

某铁矿属于典型的磁铁矿-赤铁矿混合型矿石，矿物嵌布粒度较细，且含有一定量的硅酸盐脉石，传统单一磁选或重选工艺难以实现高效分选。为此，本文在工艺矿物学研究基础上，通过试验寻求合理的工艺流程，获得了 TFe 品位不低于 69.60%、SiO_2 与 Al_2O_3 合计品位不超过 3%、TFe 回收率不小于 60%的磁铁矿精矿以及 TFe 品位不低于 63%、回收率不小于 10%的赤(褐)铁矿精矿，研究结果可为该类难选铁矿的资源化利用提供技术支撑，同时为国内外类似矿石的选矿工艺优化提供参考。

1　原矿性质

某磁铁矿-赤铁矿混合型矿石的岩心样共 4 种，分

① **收稿日期**：2025-07-02
作者简介：王斌(1988—)，男，宁夏固原人，高级工程师，主要从事铁矿采选工艺技术管理工作。E-mail：wangb_ts@163.com
通信作者：李天霞(1986—)，女(瑶族)，湖南永州人，硕士，高级工程师，主要从事矿物加工工艺及药剂研究。E-mail：309314286@qq.com

别为A样、B样、围岩样1和围岩样2。根据4种矿样在矿床资源量中的占比,按质量比62∶33∶3∶2混合配制出本次选矿试验的样品(以下简称原矿)。原矿化学多元素分析结果见表1,铁物相分析结果见表2,主要矿物组成见表3,主要铁矿物粒度分析结果见表4。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数)

Table 1 Multi-elemental analysis of raw ore %

TFe	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
35.20	12.83	36.03	41.54	2.21	0.98	1.98
MnO	Na_2O	K_2O	P	S	C	烧失
0.062	0.16	0.38	0.048	0.069	0.053	0.36

表2 原矿铁物相分析结果

Table 2 Analysis of iron phase in raw ore

铁物相	含量(质量分数)/%	分布率/%
磁铁矿中铁	23.15	65.76
赤(褐)铁矿中铁	9.79	27.81
碳酸盐中铁	0.05	0.14
硫化物中铁	0.05	0.15
硅酸盐中铁	2.16	6.14
合计	35.20	100.00

表3 原矿主要矿物组成(质量分数)

Table 3 Main mineral compositions of raw ore %

磁铁矿	赤(褐)铁矿	黄铁矿	石英	长石	云母	辉石	闪石
32.85	14.82	0.12	34.93	1.68	3.46	0.80	4.92
绿泥石	石榴石	绿帘石	方解石	滑石	磷灰石	红柱石	其他
3.62	1.05	0.60	0.27	0.45	0.26	0.07	0.10

表4 原矿中主要铁矿物粒度分析结果

Table 4 Particle size analysis of main iron minerals in raw ore

粒径/mm	产率/%	
	磁铁矿	赤铁矿
+1.17	1.82	2.76
−1.17+0.83	3.56	4.23
−0.83+0.59	7.82	8.32
−0.59+0.42	13.38	12.60
−0.42+0.30	14.36	14.08
−0.30+0.21	16.89	16.42
−0.21+0.15	12.78	13.15
−0.15+0.105	9.56	9.85
−0.105+0.075	6.72	5.72
−0.075+0.052	4.01	3.68
−0.052+0.037	3.08	3.12
−0.037+0.026	2.17	2.25
−0.026+0.019	1.59	1.98
−0.019+0.013	1.07	0.91
−0.013+0.010	0.62	0.52
−0.010	0.57	0.41
合计	100.00	100.00

由表1知,原矿中可供选矿回收的组分是铁,其他有用组分含量较低;脉石组分以SiO_2为主,其次是Al_2O_3、CaO和MgO,有害杂质P和S含量均较低;TFe/FeO比值为2.74,具有混合矿的特征;碱性系数为0.07,属酸性矿石。由表2可知,矿石中的铁矿物以磁铁矿为主,其次为赤(褐)铁矿,其他铁矿物含量较低。由表3可知,矿石中铁矿物主要为磁铁矿,次为赤铁矿(大多为镜铁矿),少量褐铁矿;金属硫化物以黄铁矿为主;脉石矿物以石英居多,其次是闪石、绿泥石和云母,少量长石、辉石、石榴石、绿帘石、滑石、方解石和磷灰石等。由表4可知,矿石中磁铁矿和赤铁矿均属较典型不均匀细粒~中细粒嵌布的范畴,整体赤铁矿比磁铁矿粒度粗。单纯从粒度来看,磁铁矿和赤铁矿主要分布在0.052~0.83 mm粒级。

2 试验方法

原矿中磁铁矿中铁占65.76%、赤(褐)铁矿中铁占27.81%,为了提高回收率,两种类型铁矿物均需回收。但采用强磁选工艺对弱磁性铁回收时会受原矿中云母、闪石、绿泥石和石榴石的影响。根据工艺矿物学研究结果,考虑现场工业基础条件,结合工业实践经验,拟采用高压辊磨-弱磁选预选-预选精矿阶磨阶选-弱磁选尾矿强磁选-重选的原则流程对矿石中的铁矿物进行回收。试验原则流程见图1。

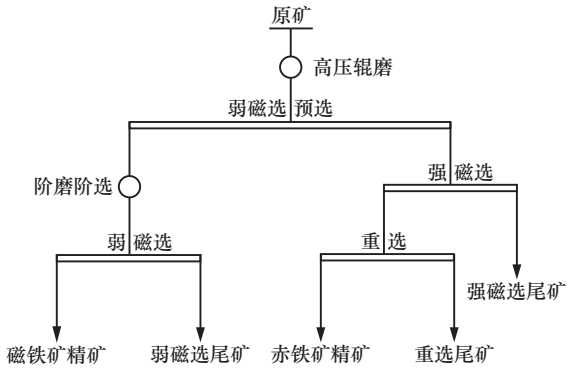


图1 试验原则流程

Fig. 1 Basic flowchart of test

试验主要仪器设备包括高压辊磨机、颚式破碎机、棒磨机、立式搅拌磨机、干式筒式磁选机、湿式筒式磁选机、鼓形弱磁选机、平环强磁选机、立环强磁选机、脱磁器、金垦淘洗磁选机和螺旋溜槽等。

3 结果与讨论

3.1 高压辊磨产品预选试验

采用Φ500 mm滚筒式磁选机对高压辊磨−3 mm产品进行湿式弱磁选预选抛尾,弱磁选磁场强度对预

选抛尾效果的影响见表 5。由表 5 可以看出,随着磁场强度增加,抛尾产率、尾矿 TFe 和 mFe 品位、TFe 和 mFe 损失率均降低。综合考虑,预选抛尾磁场强度 0.20 T 为宜。

表 5　弱磁选磁场强度对预选抛尾效果的影响

Table 5　Effect of magnetic field strength of LIMS on preconcentration

磁场强度/T	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	mFe	TFe	mFe
0.15	精矿	62.06	46.10	38.03	79.99	98.97
	尾矿	37.94	18.86	0.65	20.01	1.03
	给矿	100.00	35.77	23.85	100.00	100.00
0.20	精矿	62.70	46.01	38.00	80.85	99.63
	尾矿	37.30	18.32	0.24	19.15	0.37
	给矿	100.00	35.68	23.92	100.00	100.00
0.30	精矿	80.82	41.56	29.42	94.07	99.90
	尾矿	19.18	11.04	0.12	5.93	0.10
	给矿	100.00	35.70	23.80	100.00	100.00
0.40	精矿	81.50	40.98	28.89	94.44	99.91
	尾矿	18.50	10.62	0.11	5.56	0.09
	给矿	100.00	35.36	23.56	100.00	100.00
0.50	精矿	82.87	40.79	28.49	95.35	99.93
	尾矿	17.13	9.63	0.10	4.65	0.07
	给矿	100.00	35.45	23.63	100.00	100.00

3.2　预选粗精矿阶磨阶选试验

3.2.1　一段磨矿细度试验

采用 CRIMMΦ400 mm×300 mm 筒式弱磁选机对预选粗精矿进行弱磁选,磁场强度为 0.20 T,一段磨矿细度对弱磁选指标的影响见图 2。由图 2 可以看出,随着一段磨矿细度增加,精矿 TFe 品位上升,TFe 作业回收率下降。综合考虑精矿品位及磨矿成本,确定一段磨矿细度-0.075 mm 粒级占 55%为宜,此时 TFe 品位和作业回收率分别为 63.49%和 85.79%。

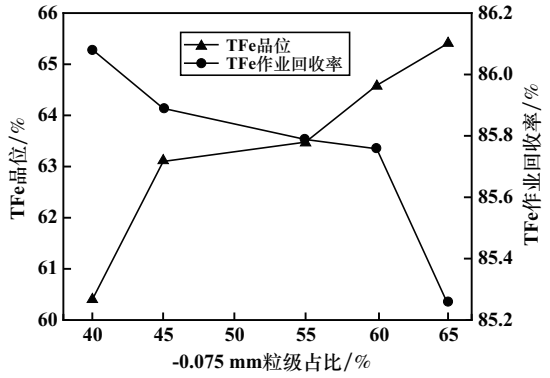


图 2　一段磨矿细度对弱磁选指标的影响

Fig. 2　Effect of one-stage grinding fineness on LIMS

3.2.2　弱磁选磁场强度试验

在一段磨矿细度为-0.075 mm 粒级占 55%条件下,考察了磁场强度对弱磁选指标的影响,结果见图 3。由图 3 可以看出,磁场强度从 0.10 T 增至 0.20 T,铁精矿 TFe 品位由 66.16%降至 64.88%,TFe 作业回收率由 83.89%增至 86.00%,磁场强度 0.20 T 时,铁精矿 TFe 品位和作业回收率分别为 64.88%和 86.00%。综合考虑,确定适宜的一段磁选磁场强度为 0.20 T。

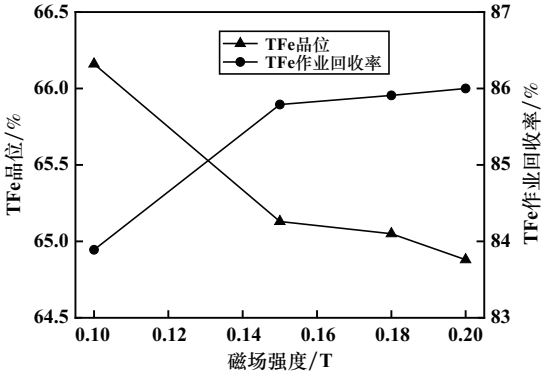


图 3　磁场强度对弱磁选指标的影响

Fig. 3　Effect of magnetic field strength on LIMS

3.2.3　二段磨矿细度试验

采用 CRIMMΦ400 mm×300 mm 筒式弱磁选机对一段弱磁选精矿进行二段弱磁选,磁场强度 0.20 T,二段磨矿细度对弱磁选指标的影响见图 4。由图 4 可以看出,随着磨矿细度增加,TFe 品位逐渐上升,TFe 作业回收率基本不变。增加磨矿细度能有效提高精矿 TFe 品位,降低精矿中 SiO_2 和 Al_2O_3 杂质含量。二段弱磁选如欲获得 TFe 品位不低于 69.60%、SiO_2 和 Al_2O_3 总品位不高于 3.0%的精矿,二段磨矿细度需达到-0.075 mm 粒级占 95%以上。为降低磨矿成本,后续在二段磨矿细度-0.075 mm 粒级占 90%条件下进行弱磁选精矿提铁降杂试验。

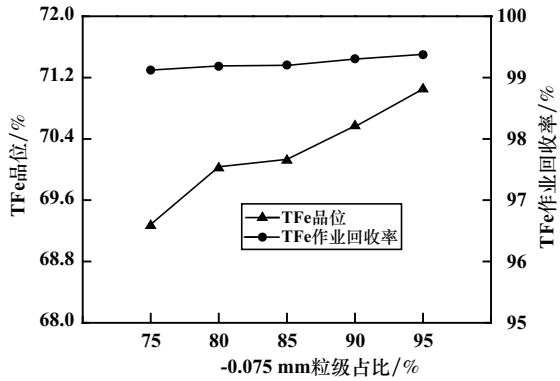


图 4　二段磨矿细度对弱磁选指标的影响

Fig. 4　Effect of two-stage grinding fineness on LIMS

3.2.4　二段弱磁选精矿提铁降杂试验

二段弱磁选在磨矿细度-0.075 mm 粒级占 90%条

件下获得的弱磁选精矿 TFe 品位 69.87%、SiO_2 品位 2.72%、Al_2O_3 品位 0.29%，SiO_2 和 Al_2O_3 含量之和为 3.01%，略有超标。故需对弱磁选精矿提铁降杂，以获得合格的精矿产品。弱磁选精矿提铁降杂方法主要为反浮选和淘洗磁选。反浮选提铁降杂效果好，但反浮选使用了浮选药剂，增加了精矿加工成本及环保问题[5-6]；淘洗磁选利用磁场、重力场分选，是纯物理过程[7-8]，加工成本相对较低，但用水量较大。综合考虑加工成本和环保问题，采用淘洗磁选对二段弱磁选精矿进行提铁降杂。固定上升水速为 2.48 cm/s、淘洗磁选机表显磁场 12 000 单位、循环表显磁场 10 000 单位条件下进行淘洗磁选试验，结果见表 6。磨矿细度-0.075 mm 粒级占 90%，对二段弱磁选粗精矿进行淘洗磁选，可以获得 TFe 品位 70.57%、作业回收率 99.30%的精矿，其中 SiO_2 含量 2.35%、Al_2O_3 含量 0.27%，达到了铁精矿提质降杂的目的。

表 6 二段弱磁选粗精矿淘洗磁选试验结果

Table 6 Test results of magnetic elutriation of roughing concentrate from two-stage LIMS

产品名称	产率/%	TFe 品位/%	TFe 作业回收率/%
精矿	98.31	70.57	99.30
尾矿	1.69	28.98	0.70
给矿	100.00	69.87	100.00

3.3 预选尾矿回收赤(褐)铁矿试验

高压辊磨-3 mm 产品经 0.20 T 弱磁选预选后的弱磁选尾矿粒度分析结果见表 7。由表 7 可以看出，中间粒级的 TFe 品位明显高于两端粒级，主要原因是难磨的石英分布于粗粒级中，一些易磨脉石矿物分布于细粒级中。

表 7 预选尾矿粒度分析结果

Table 7 Particle size analysis of preconcentration tailings

粒级/mm	产率/%	TFe 品位/%	分布率/%
+2	7.93	19.10	7.77
-2+1	9.20	19.16	9.04
-1+0.5	8.68	19.35	8.61
-0.5+0.3	8.52	22.57	9.86
-0.3+0.15	18.08	21.89	20.30
-0.15+0.075	20.58	20.75	21.91
-0.075	27.01	16.24	22.51
合计	100.00	19.49	100.00

经镜下观察，预选尾矿中粗粒级解离度较低，如果直接进入强磁选或筛分抛尾都会导致金属的损失，因此对预选尾矿进行了隔筛粒度、筛上产品磨矿细度、强磁选设备及强磁选磁场强度等条件试验。经过试验指标对比，最终确定采用 0.3 mm 隔筛进行预先筛分，筛上产品单独磨矿至-0.075 mm 粒级占 40%后与筛下产品及一段弱磁选尾矿合并进行强磁选，强磁选精矿经螺旋溜槽精选，获得精矿产品。预选尾矿回收赤(褐)铁矿工艺流程见图 5，试验结果见表 8。

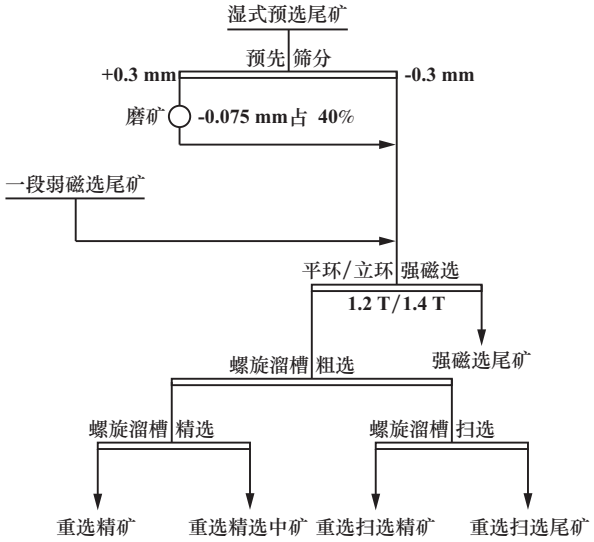


图 5 预选尾矿回收赤(褐)铁矿工艺流程

Fig. 5 Flowchart for recovering hematite (limonite) from preconcentration tailings

表 8 预选尾矿回收赤(褐)铁矿试验结果

Table 8 Test results of recovering hematite (limonite) from preconcentration tailings

工艺流程	产品名称	作业产率/%	TFe 品位/%	作业回收率/%
平环强磁选 1.2 T	重选精矿	15.04	63.52	55.37
	重选精选中矿	10.12	33.38	19.58
	重选扫选精矿	8.40	21.31	10.38
	重选扫选尾矿	16.75	10.16	9.86
	强磁选尾矿	49.69	1.67	4.81
	给矿	100.00	7.25	100.00
立环强磁选 1.4 T	重选精矿	13.55	63.86	50.16
	重选精选中矿	7.47	34.38	14.89
	重选扫选精矿	7.06	19.79	8.10
	重选扫选尾矿	12.16	9.01	6.34
	强磁选尾矿	59.76	5.92	20.51
	给矿	100.00	17.25	100.00

采用平环强磁选-螺旋溜槽一粗一精一扫重选，可获得作业产率 15.04%、TFe 品位 63.52%、作业回收率 55.37%的赤(褐)铁精矿；采用立环强磁选-螺旋溜槽一粗一精一扫重选，可获得作业产率 13.55%、TFe 品位 63.86%、作业回收率 50.16%的赤(褐)铁精矿。平环强磁选比立环强磁选获得的 TFe 作业回收率高 5.21 百分点，推荐采用平环强磁选机进行强磁选。

3.4　推荐工艺流程

在条件试验、流程结构试验及开路试验基础上,对比流程试验指标后,推荐采用高压辊磨、湿式预选、预选精矿阶磨阶选-淘洗磁选、预选尾矿平环强磁选-重选工艺流程回收原矿中的磁铁矿和赤(褐)铁矿。由于原矿以磁铁矿为主,赤(褐)铁矿占比不到 30%,强磁选回收赤(褐)铁矿精矿量少,螺旋溜槽重选循环闭路所需矿量较大,流程试验中赤(褐)铁矿重选回收为开路试验。在后续的扩大试验中将进行赤(褐)铁矿回收的闭路试验,预计其回收率会略高于开路试验指标。

推荐工艺流程见图 6,试验结果见表 9。高压辊磨、湿式预选、预选精矿阶磨阶选-淘洗磁选、预选尾矿平环强磁选-重选工艺流程可获得产率 33.55%、TFe 品位 70.57%、回收率 67.25%的磁铁矿精矿以及产率 9.20%、TFe 品位 63.52%、回收率 16.61%的赤铁矿精矿。

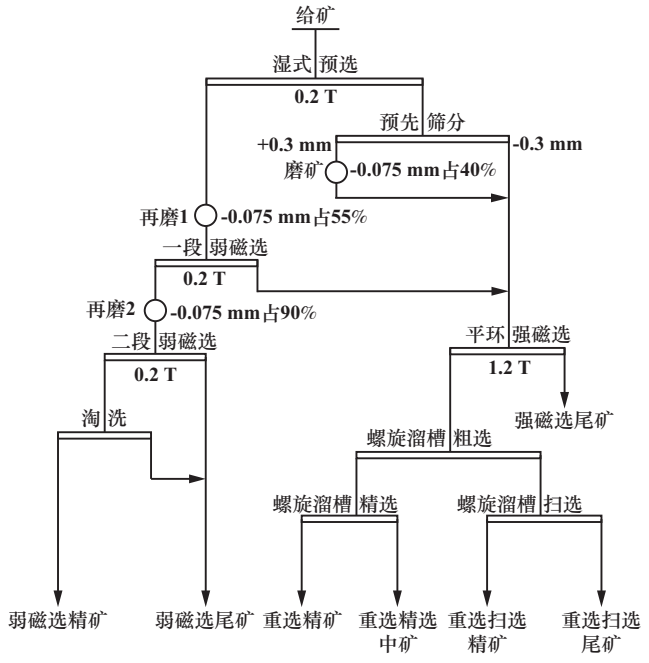


图 6　推荐工艺流程图

Fig. 6　Recommended process flowchart

表 9　推荐工艺流程试验结果

Table 9　Test results of recommended process

产品名称	产率/%	TFe 品位/%	回收率/%
弱磁选精矿	33.55	70.57	67.25
重选精矿	9.20	63.52	16.61
重选精选中矿	6.19	33.38	5.87
重选扫选精矿	5.14	21.31	3.11
重选扫选尾矿	10.25	10.16	2.96
弱磁选尾矿	5.27	18.36	2.75
强磁选尾矿	30.40	1.67	1.45
给矿	100.00	35.20	100.00

4　结论

对某混合型中低品位铁矿进行了系统的选矿试验研究,确定了高效回收铁矿物的工艺流程和技术参数,取得以下主要结论。

1) 矿石性质分析结果表明,原矿为低磷低硫的酸性中低品位磁铁矿-赤铁矿混合型铁矿石,TFe 品位为 35.20%,主要铁矿物为磁铁矿(65.76%)和赤(褐)铁矿(27.81%)。脉石矿物以石英为主,有害杂质含量较低,但铁矿物嵌布粒度较细,需通过细磨实现充分解离。

2) 推荐流程为高压辊磨、湿式预选、预选精矿阶磨阶选-淘洗磁选、预选尾矿平环强磁选-重选。预选精矿经一段磨矿细度-0.075 mm 粒级占 55%、二段磨矿细度-0.075 mm 粒级占 90%,两段弱磁选磁场强度均为 0.20 T 的阶磨阶选,再结合淘洗磁选技术,获得了 TFe 品位 70.57%、SiO_2 和 Al_2O_3 含量分别为 2.35%和 0.27%的磁铁矿精矿,TFe 回收率为 67.25%。预选尾矿经平环强磁选-螺旋溜槽重选,获得了产率 9.20%、TFe 品位 63.52%、回收率 16.61%的赤铁矿精矿。合计铁回收率达 83.86%,实现了铁矿资源的高效回收。

参考文献(References):

[1] 韩跃新,张小龙,高鹏,等. 中国铁矿石选矿技术发展与展望[J]. 金属矿山, 2024(2):1-24.
HAN Yuexin, ZHANG Xiaolong, GAO Peng, et al. Development and prospect of iron ore processing technologies in China[J]. Metal Mine, 2024(2):1-24.

[2] 严小虎,杨计军. 李楼镜铁矿采用强磁选-螺旋溜槽重选早收铁精矿的研究与实践[J]. 矿冶工程, 2022,42(4):51-54.
YAN Xiaohu, YANG Jijun. Application of high intensity magnetic separation and spiral chute gravity separation for pre-recovering iron concentrate from Lilou specularite ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2022,42(4):51-54.

[3] 张铃,路永森,薛晨,等. 中国贫细杂难选铁矿分选技术研究进展[J]. 现代矿业, 2024,40(3):13-17.
ZHANG Ling, LU Yongsen, XUE Chen, et al. Research progress on separation technology of lean and fine refractory iron ore in China[J]. Modern Mining, 2024,40(3):13-17.

[4] 肖金雄. 某难选磁铁矿与镜铁矿混合矿选矿试验[J].现代矿业, 2017,33(12):97-101.
XIAO Jinxiong. Beneficiation experiment on a refractory mixed ore of magnetite and specularite[J]. Modern Mining, 2017,33(12):97-101.

[5] 郑业超,赵通林,依爽,等. 新型耐低温捕收剂对齐大山铁矿石的反浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(3):99-103.
ZHENG Yechao, ZHAO Tonglin, YI Shuang, et al. Experimental study on reverse flotation of Qidashan iron ore with novel low-temperature collector[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(3):99-103.

(下转第 101 页)

face sulfidization in flotation of oxidized copper ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2020(5):122-129.

[8] 王璐瑶,刘胜,刘广义,等. 铜矿浮选捕收剂研究进展与展望[J]. 铜业工程, 2024(3):69-84.
WANG Luyao, LIU Sheng, LIU Guangyi, et al. A crucial review on research progress for copper ore flotation collectors[J]. Copper Engineering, 2024(3):69-84.

[9] 蔺月萌,韩百岁,姜丽帅,等. 氧化铜矿浮选方法及药剂的研究现状及展望[J]. 矿产综合利用, 2024(3):112-120.
LIN Yuemeng, HAN Baisui, JIANG Lishuai, et al. Research status and prospects of flotation methods and reagents for oxidized copper ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024(3):112-120.

[10] 王纪镇,荆茂晨,刘睿华,等. 浮选药剂性能理论分析[J]. 矿产保护与利用, 2023,43(3):10-16.
WANG Jizhen, JING Maochen, LIU Ruihua, et al. Theoretical analysis of flotation reagent performance[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023,43(3):10-16.

[11] 黄凌云,孙鑫,杨思原,等. 氧化铜矿浮选捕收剂研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2020,40(2):88-92.
HUANG Lingyun, SUN Xin, YANG Siyuan, et al. Application and research progress of flotation collectors for copper oxide ore[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2020,40(2):88-92.

[12] 杨绵延,马英强,于岩,等. 孔雀石分段硫化的浮选行为及机理研究[J]. 矿产保护与利用, 2021,41(2):80-88.
YANG Mianyan, MA Yingqiang, YU Yan, et al. Staged sulfuartion-flotation of malachite and its mechanism[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021,41(2):80-88.

引用本文:李勇,汤川,陈兴海,等. 辅助捕收剂 MC-07 应用于刚果(金)某氧化铜钴矿的浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(6):96-101.
LI Yong,TANG Chuan,CHEN Xinghai, et al. Experimental study on using auxiliary collector MC-07 in flotation of copper-cobalt oxide ore from Democratic Republic of Congo[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(6):96-101.

(上接第 90 页)

[11] 陈超,张裕书,张少翔,等. 川西九龙地区低品位锂辉石浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(4):55-58.
CHEN Chao, ZHANG Yushu, ZHANG Shaoxiang, et al. Flotation test of low-grade spodumene in the Jiulong area of West Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):55-58.

[12] 荆正强,金凯,张政军,等. 阴阳离子捕收剂高效浮选锂辉石的选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(1):80-85.
JING Zhengqiang, JIN Kai, ZHANG Zhengjun, et al. High-efficiency flotation of spodumene with anionic-cationic collectors[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(1):80-85.

[13] 王星. 新疆某锂钽铌铍多金属矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(4):198-202.
WANG Xing. Beneficiation of Lithium-tantalum-niobium-beryllium polymetallic ore from Xinjiang[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(4):198-202.

引用本文:刘星,李成秀,程仁举,等. 川西某锂铌钽铍多金属矿浮选共富集回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(6):87-90.
LIU Xing, LI Chengxiu, CHENG Renju, et al. Experimental study on flotation co-enrichment recovery of lithium-niobium-tantalum-beryllium polymetallic ore in Western Sichuan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(6):87-90.

(上接第 95 页)

[6] 韩文杰. 新型高分子铁矿抑制剂的抑制机理研究[D]. 沈阳:东北大学, 2023.
HAN Wenjie. Study on depression mechanism of new polymer iron ore depressants[D]. Shenyang: Northeast University, 2023.

[7] 王维民,殷平. 金垦淘洗机在本溪矿业公司提质增效中的应用[J]. 现代矿业, 2020,36(12):153-155.
WANG Weimin, YIN Ping. Application of Jinken wachine in improving quality and increasing efficiency in Benxi Mining Company[J]. Modern Mining, 2020,36(12):153-155.

[8] 张汉泉,高王杰,蔡祥,等. 淘洗磁选机在鲕状赤铁矿提铁降杂中的应用[J]. 矿冶工程, 2019,39(3):37-39.
ZHANG Hanquan, GAO Wangjie, CAI Xiang, et al. Application of elutriation magnetic separator in upgrading iron concentrate of oolitic hematite by reducing impurities[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2019,39(3):37-39.

引用本文:王斌,刘晓慧,李天霞. 某混合型铁矿高效选铁技术研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(6):91-95.
WANG Bin, LIU Xiaohui, LI Tianxia. Efficient beneficiation technology for mixed iron ores[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(6):91-95.