

青海某低品位难选铁矿选矿试验研究

罗云波^{1,2,3}, 肖金雄⁴, 石云良⁴, 谢宝华^{1,2,3*}

(1. 广州粤有研矿物资源科技有限公司, 广东 广州 510651; 2. 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东 广州 510651; 3. 广东省科学院资源利用与稀土开发研究所, 广东 广州 510651; 4. 长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

摘要: 针对青海某难选铁矿石铁品位较低, 磁铁矿嵌布粒度细, 与脉石矿物关系复杂的特点, 采用干抛—阶段磨矿—阶段磁选的工艺流程进行试验研究, 该工艺流程的主要特点是在干抛和一段磨矿作业时可以抛掉大量的尾矿, 大幅度降低后续磨矿作业的入磨量。结果表明, 经过四段磨矿, 在最终磨矿细度 -0.025 mm 占95.15%时, 可以获得含TFe 64.10%, TFe回收率为70.45%的铁精矿, 较好地实现了该低品位难选铁矿的回收。同时, 分析了四段铁精矿中的磁铁矿仍有少部分呈铁的贫连生体产出, 其组成是影响铁精矿品位难以进一步提高的主要原因。

关键词: 低品位铁矿石; 嵌布粒度; 干抛; 阶段磨矿—阶段磁选; 反浮选

中图分类号: TD951

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2023)05-0028-08

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2023.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者
聊科研

Experimental study on beneficiation of a low-grade refractory iron ore in Qinghai province

Luo Yunbo^{1,2,3}, Xiao Jinxiong⁴, Shi Yunliang⁴, Xie Baohua^{1,2,3*}

(1. Guangzhou Yueyouyan Mineral Resources Technology Co., Ltd., Guangzhou 510651, Guangdong, China; 2. State Key Laboratory of Separation and Comprehensive Utilization of Rare Metal, Guangzhou 510651, Guangdong, China; 3. Institute of Resource Utilization and Rare Earth Development, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510651, Guangdong, China; 4. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd, Changsha 410012, Hunan, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of low iron grade, fine distribution size of magnetite and complex relationship with gangue minerals of a refractory iron ore in Qinghai province, the technological process of dry throw-stage grinding and stage magnetic separation was adopted for experimental study. The main feature of this technological process is that a large amount of tailings can be discarded during dry throw-stage grinding and the subsequent grinding operation can greatly reduce the grinding amount. The results show that after four stages of grinding, iron concentrate containing TFe grade of 64.10% and TFe recovery rate of 70.45% can be obtained when the final grinding fineness of -0.025 mm is 95.15%. The recovery of the low-grade refractory iron ore is better realized. At the same time, it is analyzed that a small part of magnetite in the iron concentrate of the fourth section is mainly produced as iron-poor auxiliaries, and its composition is the main reason that it is difficult to further improve the grade of iron concentrate.

Key words: low-grade iron ore, embedding granularity, dry discarding tailings, stage grinding and stage magnetic separation, reverse flotation

收稿日期: 2023-07-14

作者简介: 罗云波, 1987年出生, 男, 湖南东安人, 工程师, 主要从事选矿工艺及药剂研发, E-mail: 635921756@qq.com;

*通讯作者: 谢宝华, 1989年出生, 男, 江西瑞金人, 工程师, 主要从事矿物加工工程及资源综合利用方面的研究, E-mail: xie19890411@qq.com。

0 引言

铁矿资源是社会发展的重要资源,也是钢铁行业的基本材料。随着钢铁工业的不断发展,优质铁矿石逐渐枯竭,低品位难选铁矿石资源逐渐被关注和重视,如何更合理、低成本地开发利用低品位难选铁矿石是一个迫切的研究课题。目前,铁矿石主要采用磁选、磁选—重选、磁选—浮选、磁化焙烧—磁选等选矿方法处理。对于磁铁矿通常采用单一磁选工艺,赤/褐铁矿一般采用磁选—浮选、磁选—重选、磁化焙烧—磁选等联合工艺^[1-7]。

采用预先抛废和阶段磨矿—阶段选别的方法,其优势主要体现在:①可提高入选品位,提高选矿厂处理能力;②进入后续选别阶段矿量减少,可降低人力、物力和能源的消耗^[8-9]。针对青海某铁矿石铁品位低,磁铁矿嵌布粒度细,与脉石矿物关系复杂的特点,笔者在严格的选矿试验研究基础上,确定采用干抛—阶段磨矿—阶段磁选的工艺流程回收铁矿物,以获取良好的选矿技术指标,为该矿石的可选性提

供依据,同时可为类似铁矿石的回收提供参考。

1 矿石性质

1.1 矿石化学成分

原矿化学多元素分析结果见表 1,铁化学物相分析结果见表 2。

由表 1~2 可知,矿石中可供选矿回收的主要有价元素是铁,品位为 13.44%。需要选矿排除的脉石组分主要是 SiO₂ 和 MgO,二者合计含量达 66.71%。矿石中铁主要以磁铁矿的形式存在,占总铁的 72.54%。此矿石属低磷低硫的含镍低品位原生磁铁矿矿石。

1.2 矿物组成及含量

经镜下鉴定和 X 射线衍射分析,矿石组成矿物种类较为简单,金属矿物以磁铁矿为主,次为磁赤铁矿(γ-赤铁矿)和铬尖晶石,偶见针镍矿零星分布;脉石矿物主要为蛇纹石,其次是橄榄石、辉石、角闪石和滑石及少量绿泥石。矿石主要矿物含量见表 3。

表 1 原矿化学多元素分析结果
Table 1 Results of chemical multi-element analysis of run-of-mine

TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	Ni	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	烧失	TFe/FeO	碱性系数
13.44	4.94	13.41	0.26	0.70	33.35	0.55	0.62	33.36	0.005	0.024	12.67	2.72	1.00

表 2 铁化学物相分析结果
Table 2 Results of iron chemical phase analysis

铁相	磁铁矿中铁	假象赤铁矿中铁	赤(褐)铁矿中铁	碳酸盐中铁	硫化物中铁	硅酸盐中铁	合计
含量	9.75	1.22	1.06	0.31	0.02	1.08	13.44
分布率	72.54	9.08	7.89	2.31	0.15	8.04	100.00

表 3 矿石主要矿物的含量
Table 3 Main mineral content of ore

磁铁矿	磁赤铁矿	镍黄铁矿	铬尖晶石	蛇纹石	辉石、角闪石、橄榄石	滑石、绿泥石	其它
14.6	1.7	微量	1.4	61.4	16.1	4.6	0.2

1.3 主要矿物的产出形式

1.3.1 磁铁矿

磁铁矿大致以如下三种形式存在:①呈内部较为洁净、结构致密的不规则团块状集合体嵌布在脉石中,局部可被晚期形成的细脉状脉石穿插交代,团块粒度通常大于 0.5 mm,个别甚至达 2.5 mm 左右。

②呈局部较为富集的浸染状与脉石交生,其特征是形态变化大、粒度粗细不一、分布不均匀、排列杂乱、与脉石之间的接触界线多为不平直的锯齿状或港湾状,浸染的密集程度可由稠密浸染状过渡为稀疏—星散浸染状,而且随着浸染密度的降低,磁铁矿不仅分散程度增高,而且粒度亦有变细的趋势。

在稀疏浸染状发育的部位,磁铁矿的体积含量通常在 30% 以下,局部甚至小于 5% 而过渡为星散浸染状。③呈浸染条带状或细脉状沿脉石粒间及解理充填,其中部分与脉石构成微细的网脉状镶嵌关系,部分则呈局部较为富集的浸染团块状嵌布在脉石中,少数粒度粗者可至 0.2 mm 左右,大多在 0.01 ~ 0.05 mm。上述三种产出形式的磁铁矿矿物含量比大致为 25 : 65 : 10。归纳起来,矿石中磁铁矿的嵌布特征是粒度大多较为细小、形态极不规则、分散程度高,与脉石之间的交生关系十分复杂。因此欲从矿石中获得较高品位的铁精矿难度较大。

1.3.2 铬尖晶石

矿石中所有的铬尖晶石都与磁铁矿紧密镶嵌,

主要表现在磁铁矿常呈微细的网脉状或不规则状沿铬尖晶石裂隙、边缘充填交代,以致使其粒度发生细化,随着交代程度的增强,铬尖晶石可呈细小的残余分布在磁铁矿中。由于与铬尖晶石交生的磁铁矿粒度十分细小,加之二者之间的嵌连关系极为复杂,因此即使通过细磨也不可能使它们获得较充分的解离,结果是弱磁选过程中与磁铁矿连生的铬尖晶石也将进入铁精矿,这也是可能导致弱磁选铁精矿铁品位偏低、 Cr_2O_3 含量偏高的原因之一。

1.4 磁铁矿的嵌布粒度

在显微镜下对矿石中磁铁矿的嵌布粒度进行了统计,结果见表 4。

表 4 磁铁矿的嵌布粒度结果
Table 4 The distribution size of magnetite

粒 级/mm	分布率/%	累计分布率/%	粒 级/mm	分布率/%	累计分布率/%
$\geq +0.59$	12.88	12.88	$-0.074 \sim +0.052$	7.48	78.58
$-0.59 \sim +0.42$	6.11	18.99	$-0.052 \sim +0.037$	7.66	86.24
$-0.42 \sim +0.30$	7.32	26.31	$-0.037 \sim +0.026$	5.86	92.10
$-0.30 \sim +0.21$	9.66	35.97	$-0.026 \sim +0.019$	3.35	95.45
$-0.21 \sim +0.15$	11.64	47.61	$-0.019 \sim +0.013$	1.69	97.14
$-0.15 \sim +0.105$	12.41	60.02	$-0.013 \sim +0.010$	1.48	98.62
$-0.105 \sim +0.074$	11.08	71.10	≤ -0.010	1.38	100.00

由表 4 可知,矿石中磁铁矿具有典型不均匀微细粒嵌布的特点。单纯从嵌布粒度来看,欲使矿石中 90% 以上的磁铁矿呈单体产出,需要选择 -0.030 mm 的磨矿细度,此时 -0.025 mm 约占 95%。

2 试验材料与方法

2.1 试验原料

试验矿样取自青海某低品位铁矿。

2.2 试验设备和药剂

试验使用的主要设备及型号为:干式弱磁选机(型号 DPM500,磁场强度为 120 kA/m),弱磁选机($\text{O}500 \times 500$,磁场强度为 0 ~ 200 kA/m),脱磁器(DQ-11 型谐波波脱磁器),锥形球磨机(XMQ- $\text{O}350 \times 160$ 、XMQ- $\text{O}240 \times 90$ 、XMQ- $\text{O}150 \times 50$),立式超细搅拌磨(9 L),单槽式浮选机(XFD IV0.5 L、0.75 L、1.5 L、3.0 L)等。

试验使用的主要药剂:氢氧化钠(分析纯),石灰(工业品),淀粉(工业品),RA-715(工业品,铁矿阴

离子反浮选捕收剂),十二胺(工业品,铁矿阳离子反浮选捕收剂)等。

2.3 试验方法

根据矿石工艺矿物学研究,矿石中的铁品位较低,主要铁矿物是磁铁矿,磁铁矿的嵌布粒度极细,需要细磨才能获得较高品位的铁精矿。笔者拟采用干抛—阶段磨矿—阶段磁选或者干抛—阶段磨矿—阶段磁选与反浮选组合工艺处理该矿样。破碎至一定粒径的矿样首先进行干抛预富集,干抛精矿经阶段磨矿—阶段磁选或经阶段磨矿—阶段磁选与反浮选获得铁精矿和各阶段尾矿。试验原则流程见图 1。

3 试验结果与讨论

3.1 干抛试验

探索粗粒预先抛废的可行性,可减少入磨量,降低生产成本。采用干抛弱磁选机对破碎至不同粒级(-6 mm 和 -12 mm)的原矿进行干抛试验,试验流程见图 2,试验结果见表 5。对比不同粒级(-6 mm 和

-12 mm)的原矿干抛试验结果可知,-6 mm 粒级的干抛尾矿产率相对较高,干抛尾矿磁性铁损失率较低,干抛精矿中全铁和磁性铁品位相对较高,回收率相对较高。说明破碎至-6 mm 粒级的预先富集效果较好,适宜的干抛粒级是-6 mm,可抛掉产率 21.74% 的干抛尾矿。

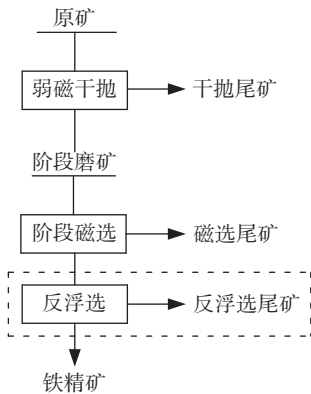


图 1 试验原则流程
Fig. 1 Test principle flow-chart

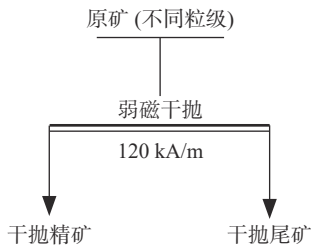


图 2 干抛试验流程
Fig. 2 The flow-chart of dry throw separation test

表 5 干抛试验结果
Table 5 Results of dry throw separation test

粒级/mm	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	MFe	TFe	MFe
-6	干抛精矿	78.26	15.90	12.08	92.59	97.01
	干抛尾矿	21.74	4.58	1.34	7.41	2.99
	原矿	100.00	13.44	9.75	100.00	100.00
-12	干抛精矿	84.32	14.50	11.10	90.96	96.04
	干抛尾矿	15.68	7.75	2.46	9.04	3.96
	原矿	100.00	13.44	9.75	100.00	100.00

3.2 阶段磨矿—阶段弱磁选试验

阶段磨矿—阶段弱磁选可减少下一段作业的入磨量,降低生产成本,同时可减少易磨脉石矿物的过粉碎,从而避免影响有用矿物的选别。

3.2.1 一段磨矿—弱磁选

一段/二段磨矿—弱磁选条件试验流程见图 3。

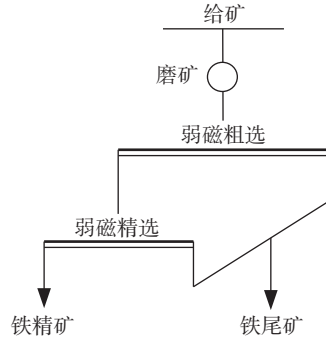


图 3 一段/二段磨矿—弱磁选条件试验流程
Fig. 3 The condition test flow-chart of the first/second stage grinding and low intensity magnetic separation

1) 磨矿细度试验

在弱磁选粗选和精选磁场强度为 96 kA/m 的条件下进行一段磨矿细度条件试验,试验结果见图 4。由图 4 可知,随着磨矿细度的增加,铁品位逐渐增加,铁回收率先升高后降低,综合考虑铁品位和回收率,适宜的一段磨矿细度为-0.074 mm 占 50.14%。

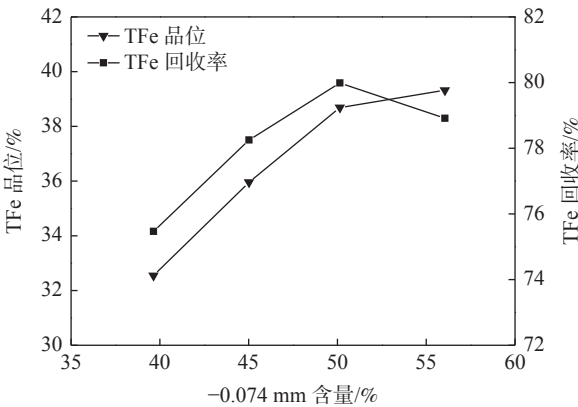


图 4 一段磨矿细度试验结果
Fig. 4 Fineness test results of the first stage grinding

2) 磁场强度试验

在一段磨矿细度-0.074 mm 占 50.14% 的条件下进行弱磁选磁场强度条件试验,试验结果见图 5。由图 5 可知,随着磁场强度的增加,铁品位逐渐降低,铁回收率逐渐增加;当磁场强度高于 128 kA/m 时,铁品位下降幅度较大,铁回收率增加幅度较小。综合考虑铁品位和回收率,适宜的一段弱磁选磁场强度为 128 kA/m。在一段磨矿—弱磁选适宜的条件下可获得铁品位 37.94%,对原矿回收率 76.95% 的铁粗精矿,一段弱磁尾矿作业产率 67.13%(对原矿产率 51.01%)。通过一段磨矿—弱磁选可大幅度减少二段磨矿的入磨量。

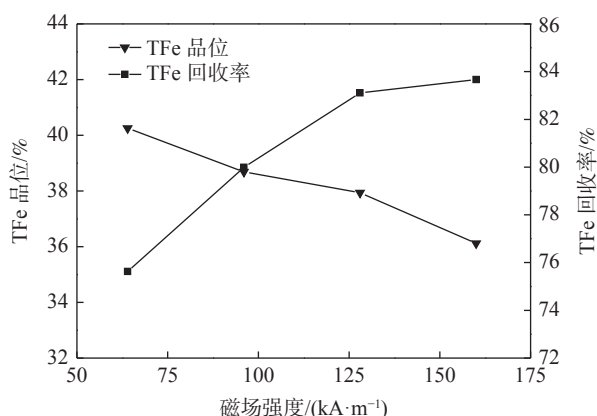


图5 一段磁场强度试验结果

Fig. 5 Results of the first stage magnetic field strength test

3.2.2 二段磨矿—弱磁选

二段磨矿—弱磁选条件试验流程见图3。

1) 磨矿细度试验

在弱磁选粗选和精选磁场强度为 96 kA/m 的条件下进行二段磨矿细度条件试验, 试验结果见图6。由图6可知, 随着磨矿细度的增加, 铁品位逐渐增加, 铁回收率逐渐降低; 当二段磨矿细度-0.074 mm 含量高于 89.62% 时, 铁品位增加幅度较小, 铁回收率降低幅度较大。综合考虑铁品位和回收率, 适宜的二段磨矿细度为-0.074 mm 占 89.62%。

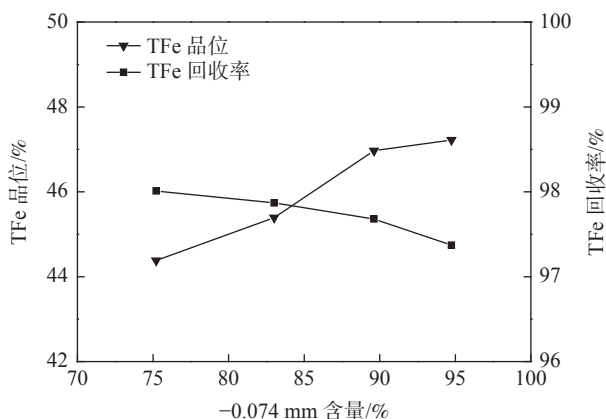


图6 二段磨矿细度试验结果

Fig. 6 Fineness test results of the second stage grinding

2) 磁场强度试验

在二段磨矿细度-0.074 mm 占 89.62% 的条件下进行弱磁选磁场强度条件试验, 试验结果见图7。由图7可知, 随着磁场强度的增加, 铁品位逐渐降低, 铁回收率逐渐增加; 当磁场强度高于 96 kA/m 时, 铁回收率增加缓慢。综合考虑铁品位和回收率, 适宜的二段弱磁选磁场强度为 96 kA/m。

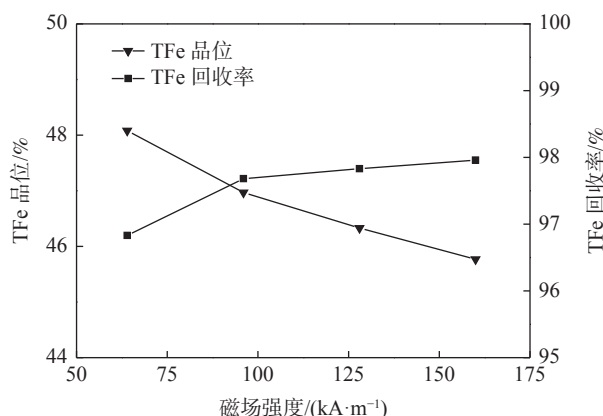


图7 二段磁场强度试验结果

Fig. 7 Results of the second stage magnetic field strength test

3.2.3 三段磨矿—弱磁选

随着磨矿产品粒度变细, 磁选过程中的机械夹杂和磁团聚现象比较严重, 因此, 在后续的磁选过程中, 磁选精矿产品均经过脱磁后再进行下一步作业^[10]。三段/四段磨矿—弱磁选条件试验流程见图8。

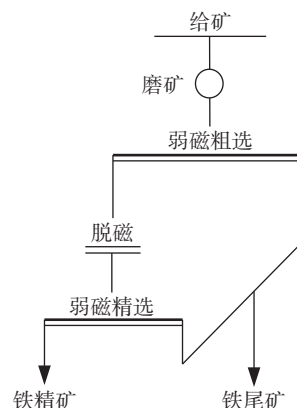


图8 三段/四段磨矿—弱磁选条件试验流程

Fig. 8 The condition test flow-chart of the third/fourth stage grinding-low intensity magnetic separation

1) 磨矿细度试验

在弱磁选粗选和精选磁场强度为 96 kA/m 的条件下进行三段磨矿细度条件试验, 试验结果见图9。由图9可知, 随着磨矿细度的增加, 铁品位逐渐增加, 铁回收率逐渐降低; 当三段磨矿细度-0.038 mm 含量高于 92.46% 时, 铁回收率降低幅度较大。综合考虑铁品位和回收率, 适宜的三段磨矿细度为-0.038 mm 占 92.46%。

2) 磁场强度试验

在三段磨矿细度-0.038 mm 占 92.46% 的条件下进行弱磁选磁场强度条件试验, 试验结果见图10。由图10可知, 随着磁场强度的增加, 铁品位逐渐降

低,铁回收率逐渐增加;当磁场强度高于 96 kA/m 时,铁回收率增加缓慢。综合考虑铁品位和回收率,适宜的三段弱磁选磁场强度为 96 kA/m。

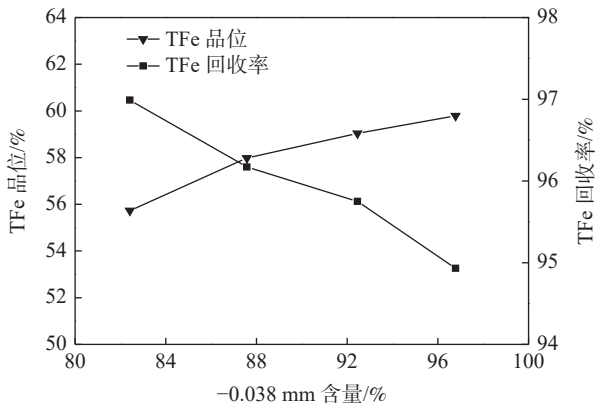


图9 三段磨矿细度试验结果

Fig. 9 Fineness test results of the third stage grinding

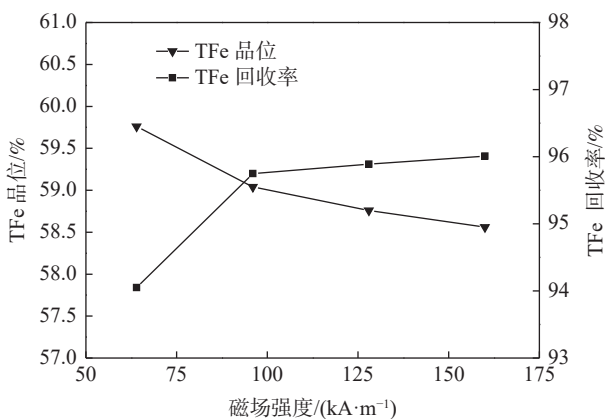


图10 三段磁场强度试验结果

Fig. 10 Results of the third magnetic field strength test

3.2.4 四段磨矿—弱磁选

四段磨矿—弱磁选条件试验流程见图8。

1) 磨矿细度试验

在弱磁选粗选和精选磁场强度为 96 kA/m 的条件下进行四段磨矿细度条件试验,试验结果见图11。由图11可知,随着磨矿细度的增加,铁品位逐渐增加,铁回收率逐渐降低;当四段磨矿细度-0.025 mm 含量高于 95.15% 时,铁回收率降低幅度较大。综合考虑铁品位和回收率,适宜的四段磨矿细度为-0.025 mm 占 95.15%。当四段磨矿细度达到-0.025 mm 占 98.49% 时,铁精矿品位只有 64.61%,说明通过磨矿—弱磁选很难获得铁品位 $\geq 65\%$ 的铁精矿。

2) 磁场强度试验

在四段磨矿细度-0.025 mm 占 95.15% 的条件下进行弱磁选磁场强度条件试验,试验结果见图12。

由图12可知,随着磁场强度的增加,铁品位逐渐降低,铁回收率逐渐增加;当磁场强度高于 96 kA/m 时,铁回收率增加缓慢。综合考虑铁品位和回收率,适宜的四段弱磁选磁场强度为 96 kA/m。

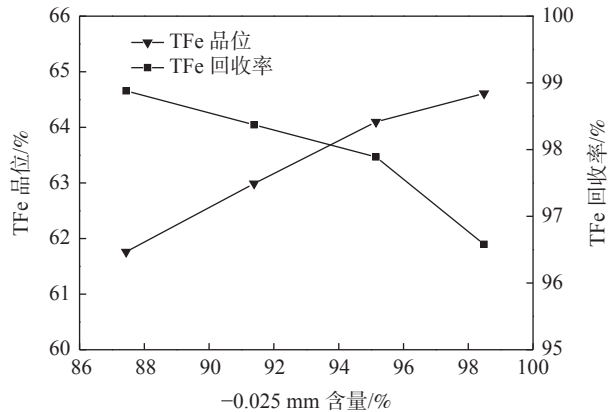


图11 四段磨矿细度试验结果

Fig. 11 Fineness test results of the fourth stage grinding

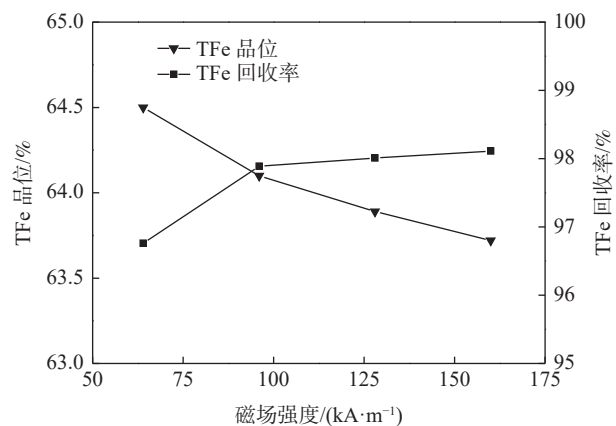


图12 四段磁场强度试验结果

Fig. 12 Results of the fourth magnetic field strength test

3.3 反浮选试验

为了探索获得铁品位 $\geq 65\%$ 的铁精矿的可行性,对四段磨矿—弱磁选获得的铁精矿进行反浮选探索试验研究。分别采用阴离子和阳离子捕收剂进行反浮选探索试验。在氢氧化钠 500 g/t,石灰 300 g/t,淀粉 600 g/t 的条件下,进行阴离子捕收剂 RA-715 用量反浮选探索试验;在氢氧化钠 500 g/t 的条件下,进行阳离子捕收剂十二胺用量反浮选探索试验。反浮选探索试验结果见表6。由表6可知,通过反浮选流程浮选精矿的铁品位有所提高,但无论是采用阴离子还是阳离子反浮选试验流程,都未能获得铁品位 $\geq 65\%$ 的铁精矿。在捕收剂用量较大时,浮选精矿品位相对较高,但回收率较低,说明反浮选的分选效果不佳,因此不采用反浮选作业。

表 6 反浮选探索试验结果
Table 6 Reverse flotation test results

药剂种类及 用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	TFe作业 产率/%	TFe品位/%	TFe作业 回收率/%
RA-715	100 浮选精矿	74.25	64.57	74.79
	100 浮选尾矿	25.75	62.74	25.21
	给矿	100.00	64.10	100.00
	200 浮选精矿	50.64	64.73	51.14
	200 浮选尾矿	49.36	63.45	48.86
	给矿	100.00	64.10	100.00
	400 浮选精矿	33.22	64.84	33.60
	400 浮选尾矿	66.78	63.73	66.40
	给矿	100.00	64.10	100.00
十二胺	100 浮选精矿	68.48	64.61	69.02
	100 浮选尾矿	31.52	62.99	30.98
	给矿	100.00	64.10	100.00
	200 浮选精矿	48.58	64.79	49.10
	200 浮选尾矿	51.42	63.45	50.90
	给矿	100.00	64.10	100.00
	400 浮选精矿	29.68	64.92	30.06
	400 浮选尾矿	70.32	63.75	69.94
	给矿	100.00	64.10	100.00

3.4 四段铁精矿产品检查分析

为了查明铁精矿很难提高到 65% 的原因,对四段铁精矿产品进行多元素、解离度及镜下检查分析。四段铁精矿的化学多元素分析结果见表 7。四段铁精矿中磁铁矿的解离度见表 8。四段铁精矿镜下照片见图 13。

表 7 四段铁精矿的化学多元素分析结果
Table 7 Results of chemical multielement analysis of iron concentrate of the fourth stage %

Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	P	Cr	Mn	Ni
64.10	0.061	3.23	3.50	0.14	0.006 6	0.005 6	1.02	0.10	0.78

表 8 四段铁精矿中磁铁矿的解离度
Table 8 Dissociation degree of magnetite in the fourth stage iron concentrate %

单体	连生体			
	>3/4	3/4 ~ 1/2	1/2 ~ 1/4	<1/4
94.5	0.6	1.5	2.1	1.3

由表 7~8 结果可知,四段铁精矿中铁含量为 64.10%,Cr、Ni 含量分别为 1.02% 和 0.78%,MgO、SiO₂

含量分别为 3.23%、3.50%,其他元素含量较低。四段铁精矿中磁铁矿的单体解离度为 94.5%。

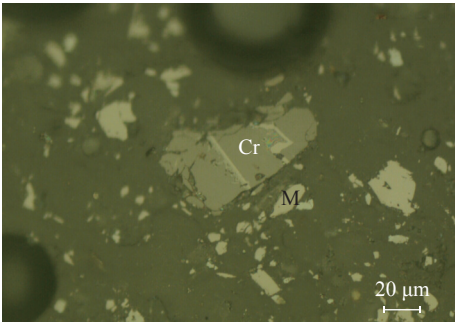


图 13 微脉状磁铁矿(M,棕灰白色)与铬尖晶石嵌连构成铁的极贫连生体

Fig. 13 Microvein magnetite (M, brown gray white) intercalated with chromium spinel to form an extremely poor synthetical body of iron

由图 13 镜下检查表明,四段铁精矿中铁矿物为磁铁矿,其粒度多在 0.02 mm 以下,大部分呈单体产出者,其余部分主要呈铁的贫连生体产出,连生矿物以脉石居多,次为铬尖晶石。这是影响铁精矿品位难以进一步提高的主要原因。

3.5 全流程试验结果

采用干抛—阶段磨矿—阶段磁选工艺流程处理该矿石,在最佳工艺参数下最终获得的选矿指标见表 9。全流程获得产率 14.77%,含 TFe 64.10%,TFe 回收率为 70.45% 的铁精矿,较好地实现了该低品位难选铁矿的回收。

表 9 全流程试验结果
Table 9 Test results of the whole process %

产品名称	产率	TFe品位	TFe回收率
铁精矿	14.77	64.10	70.45
四段尾矿	1.61	12.69	1.52
三段尾矿	5.12	8.38	3.19
二段尾矿	5.75	4.18	1.79
一段尾矿	51.01	4.12	15.64
干抛尾矿	21.74	4.58	7.41
原矿	100.00	13.44	100.00

4 结论

1)矿石属低磷低硫的含镍低品位原生磁铁矿矿石。矿石的组成矿物较为简单,金属矿物主要为磁铁矿,其次是磁赤铁矿和铬尖晶石;脉石矿物以蛇纹石为主,其次为橄榄石、角闪石、辉石和滑石等。

2) 矿石中磁铁矿的粒度极不均匀、形态不规则且嵌布粒度细,与脉石矿物关系复杂,常呈浸染状与脉石及铬尖晶石构成十分复杂的嵌布关系,因此必需通过细磨才能获得较高品位的铁精矿。

3) 原矿全铁品位为 13.44%, 对该矿样进行了干抛—阶段磨矿—阶段弱磁选工艺试验研究,在粗粒干抛条件下,可以抛掉占原矿总产率 21.74% 的尾矿;在一段粗磨条件下,可以抛掉占原矿总产率 51.01% 的尾矿,大大降低了后续磨矿作业的人磨量。在最

终磨矿细度-0.025 mm 占 95.15%, 获得含 TFe 64.10%, TFe 回收率为 70.45% 的铁精矿,较好地实现了该低品位难选铁矿的回收。

4) 在磨矿细度-0.025 mm 占 95.15% 时,铁精矿中仍有部分呈铁的贫连生体产出的磁铁矿,连生矿物以脉石居多,其次为铬尖晶石。在保证铁回收率不大幅度降低的情况下,采用进一步细磨或反浮选作业,铁精矿品位仍很难进一步提高。

参考文献

- [1] Zhao Liqun, Wang Chunnv, Zhang Min, *et al.* Current exploration status and supply-demand situation of iron ore resources in China mainland[J]. *Geology and Exploration*, 2020, 56(3): 635–643.
(赵立群, 王春女, 张敏, 等. 中国铁矿资源勘查开发现状及供需形势分析[J]. *地质与勘探*, 2020, 56(3): 635–643.)
- [2] Ke Jiayan, Shi Yunliang, Xiao Jinxiong *et al.* Mineral processing technique for an iron ore from Russia[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2019, 39(6): 50–53.
(柯佳焱, 石云良, 肖金雄, 等. 俄罗斯某铁矿选矿工艺研究[J]. *矿冶工程*, 2019, 39(6): 50–53.)
- [3] Yang Zhaojun, Xie Baohua, Zhong Senlin, *et al.* Experimental study on mineralogy and beneficiation of an iron ore from Australia[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2022, 43(6): 115–120, 137.
(杨招君, 谢宝华, 钟森林, 等. 澳大利亚某铁矿工艺矿物学及选矿试验研究[J]. *钢铁钒钛*, 2022, 43(6): 115–120, 137.)
- [4] Ouyang Linli. Mineral processing test of a low-grade fine-graine iron ore in Shandong[J]. *Sintering and Pelletizing*, 2022, 47(2): 81–87, 95.
(欧阳林莉. 山东某低品位微细粒铁矿选矿试验[J]. *烧结球团*, 2022, 47(2): 81–87, 95.)
- [5] Huang Wusheng, Yuan Qidong, Lin Xiaofeng, *et al.* Experimental study on beneficiation of a foreign hematite ore[J]. *Modern Mining*, 2021, 37(11): 125–129.
(黄武胜, 袁启东, 林小凤, 等. 国外某赤褐铁矿选矿试验研究[J]. *现代矿业*, 2021, 37(11): 125–129.)
- [6] Xiao Wanqin, Zhu Yangge, Hu Xiaoxing, *et al.* Experimental study on beneficiation of a refractory iron ore with high alumina and silicon[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2022, (1): 109–114.
(肖婉琴, 朱阳戈, 胡晓星, 等. 某高铝高硅难选铁矿选矿试验研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 2022, (1): 109–114.)
- [7] Jiao Kecheng. Beneficiation process for an overseas high phosphorus-silicon oolitic iron ore[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2018, 38(4): 65–68.
(焦科诚. 国外某高磷硅鲕状铁矿选矿工艺研究[J]. *矿冶工程*, 2018, 38(4): 65–68.)
- [8] Wu Peng, Guo Shunlei, Li Teng. Exploratory test of beneficiation of an iron ore in Hami, Xinjiang[J]. *Modern Mining*, 2020, 36(7): 139–141.
(吴鹏, 郭顺磊, 李腾. 新疆哈密某铁矿石选矿探索试验[J]. *现代矿业*, 2020, 36(7): 139–141.)
- [9] Xiao Qifei, Shi Yunliang, Liu Jun. Study on new technology and process of ore dressing in Beishan site of Nanfen open pit iron mine[J]. *Modern Mining*, 2019, 35(9): 121–125.
(肖启飞, 石云良, 刘军. 南芬露天铁矿北山部位矿石选矿新技术及工艺试验[J]. *现代矿业*, 2019, 35(9): 121–125.)
- [10] Yang Xuanxing. Interference of magnetic coagulation in magnetic separation of Miaogou iron mine and its emeasures for its elimination[J]. *Metal Mine*, 1995, (9): 46–48.
(杨宣兴. 庙沟铁矿磁选过程中磁团聚干扰及消除措施[J]. *金属矿山*, 1995, (9): 46–48.)