

# 鞍千预选混磁精矿搅拌磨细磨—磁选—反浮选工艺研究

范喜杰<sup>1</sup>, 韦文杰<sup>1</sup>, 徐冬林<sup>1</sup>, 李慧<sup>2</sup>, 张淑敏<sup>2</sup>, 刘杰<sup>2</sup>, 李艳军<sup>2</sup>

1. 鞍钢集团 鞍千矿业责任有限公司, 辽宁 鞍山 114043;  
2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819

中图分类号: TD951.1; TD923 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)02-0144-08  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.02.020

**摘要** 随着鞍千入选矿石性质的变化,原有的工艺流程暴露出一些问题,如重选精矿品位低、浮选尾矿损失大等。针对鞍千半自磨—湿式预选的混磁铁精矿,进行了详细的工艺矿物学研究,并确定了搅拌磨细磨—磁选—反浮选短流程工艺。研究表明,混磁精矿中铁品位为42.91%,主要含铁矿物为磁铁矿和赤铁矿,其他金属矿物为少量黄铁矿,赤铁矿和磁铁矿与脉石矿物结合形成的连生体含量较多,且在细粒级中分布率均较高;在此基础上确定了搅拌磨细磨—弱磁选—弱磁尾矿强磁选—强磁精矿一次粗选一次精选三次扫选的工艺流程,弱磁精矿和反浮选精矿合并得到的综合精矿 TFe 品位 67.68%、回收率 91.88%,综合尾矿 TFe 品位为 8.83%。本研究对于鞍山式赤铁矿石流程的优化具有重要的指导意义。

**关键词** 工艺矿物学;鞍千混磁精矿;搅拌磨;磁选;反浮选

## 引言

铁矿石作为生产钢铁的主要原材料,对我国基础设施建设、国防安全具有重要支撑作用<sup>[1-3]</sup>。我国铁矿资源分布广、储量大、品位低的特点,决定了我国矿产资源开发利用的难度和提高开发利用水平的重要性<sup>[4-6]</sup>。鞍千铁矿石是我国重要的铁矿资源,但随着近年来开采深度的逐渐加大,矿石性质已经发生较大变化,目前选厂的工艺流程并不能很好地适应现在新开采的矿石性质,现有工艺值得关注以下几点:(1)重选精矿品位低,波动大,为了保证综合精矿品位满足生产指标要求,浮选作业提质降杂困难;(2)选别工艺包含重选、磁选、浮选三种主要工艺,流程长而复杂,不易控制;(3)入选矿石中磁性矿含量增加,应进一步强化磁选分选效率。磨矿作业作为选前准备的重要一环,不仅直接影响着后续选别指标,还很大程度上左右选别成本。与传统球磨机相比,陶瓷球搅拌磨具有效率高、能耗低、产品粒度窄、产品污染少等特点,且在同类选厂已有应用<sup>[7]</sup>,因此有必要引入新的磨矿设备陶瓷球搅拌磨,进行短流程优化试验,这对鞍千矿业及齐大山地区铁矿选矿工艺指标改善具有重要意义<sup>[8-9]</sup>。

近年来,随着新技术与理念的不断应用,推动了工艺矿物学的快速发展。尤其在低品位、共生、复杂难选冶等矿产资源的开发利用中,工艺矿物学的作用更为明显<sup>[10-13]</sup>。本次以鞍千选矿厂半自磨—湿式预选的混磁精矿为研究目标,运用化学分析、光学显微镜观察、X射线衍射等手段进行全面的工艺矿物学特性分析,在此基础上进行搅拌磨—短流程优化试验,旨在为提升选别指标及改进现场工艺流程奠定基础。

## 1 矿样的工艺矿物学特性

### 1.1 矿样的化学组成

本研究所采用的矿样为鞍千矿业公司的半自磨—湿式预选的混磁铁精矿。为确定样品主要化学组成,对矿样进行化学成分分析,结果见表1。

表1 预选混磁精矿化学成分分析 /%

Table 1 Analysis of chemical composition of pre separation mixed magnetic concentrate

成分	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P	烧失
含量	42.91	8.95	36.40	0.34	0.26	0.31	0.009	0.015	0.91

收稿日期: 2022-03-31

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52074067); 辽宁省“兴辽人才计划”项目(XLYC1908017)

作者简介: 范喜杰(1983-),男,辽宁省丹东市人,工程师,主要从事矿物综合利用研究, E-mail: 278536482@qq.com。

通信作者: 李慧(1984-),女,博士后, E-mail: 276728309@qq.com。

由表 1 可知,预选混磁精矿 TFe 品位 42.91%,矿石中硫和磷等有害元素含量不高。

### 1.2 矿样的铁物相组成

矿样中铁物相分析结果如表 2 所示。

表 2 铁物相分析 /%

铁物相	含量	分布率
磁铁矿中铁	21.77	50.73
赤(褐)铁矿中铁	20.51	47.80
碳酸铁中铁	0.28	0.65
硅酸铁中铁	0.24	0.55
硫化铁中铁	0.11	0.27
总铁	42.91	100.00

由表 2 可知,预选混磁精矿中的铁主要分布在磁性铁及赤(褐)铁矿中,其含量分别为 21.77%、20.51%,分布率分别为 50.73%、47.80%。碳酸铁、硅酸铁和硫化铁中的铁含量较少。因此,磁铁矿和赤褐铁矿是主要的回收目标。

### 1.3 矿样的矿物组成

借助光学显微镜对矿样的矿物组成进行探究,如图 1 所示。

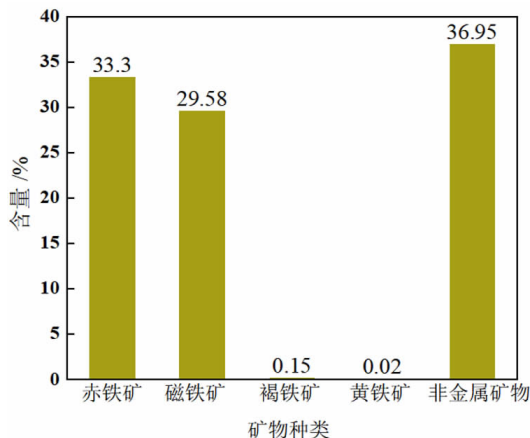


图 1 矿样中主要矿物及其含量  
Fig. 1 Main minerals composition and contents of the ore

由图 1 可知,该矿样中金属矿物主要为磁铁矿及赤铁矿,含量分别为 33.30%、29.58%,其次为少量的褐铁矿和黄铁矿,含量分别为 0.15% 和 0.02%,其余为非金属矿物,含量为 36.95%,非金属矿物主要为石英。

### 1.4 主要矿物解离情况及连生体特征

矿样中铁矿物主要为赤铁矿和磁铁矿,是主要回

收矿物,其单体解离度和连生情况的考察结果对下一步的提纯除杂工作具有指导意义。矿样解离情况见图 2。

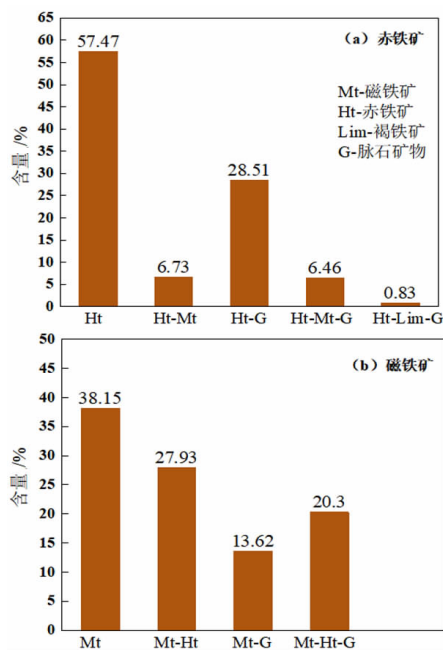


图 2 矿样中赤铁矿、磁铁矿解离情况  
Fig. 2 Dissociation of magnetite and hematite in the ore

由图 2(a)可见,单体赤铁矿含量为 57.47%,赤铁矿的连生体主要为赤铁矿与脉石矿物形成的连生体,含量为 28.51%,其次为赤铁矿与磁铁矿形成的连生体,赤铁矿与磁铁矿、脉石矿物形成的连生体,含量分别为 6.73% 和 6.46%,还有少量赤铁矿与褐铁矿形成的连生体,含量为 0.83%。由图 2(b)可知,单体磁铁矿含量为 38.15%,连生体较多,依次为磁铁矿与赤铁矿形成的连生体,磁铁矿与赤铁矿、脉石矿物形成的连生体,及磁铁矿与脉石矿物形成的连生体,含量分别为 27.93%、20.30% 和 13.62%。

样品中赤铁矿、磁铁矿与脉石矿物形成的连生体含量较多,这部分连生体对铁矿物回收影响最大。因此,对赤铁矿与脉石矿物的结合类型,及磁铁矿与脉石矿物的结合类型分别进行统计,结果见图 3。

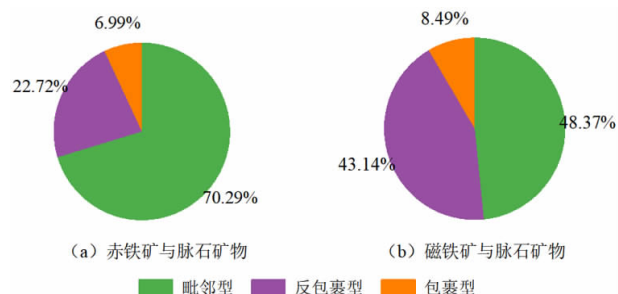
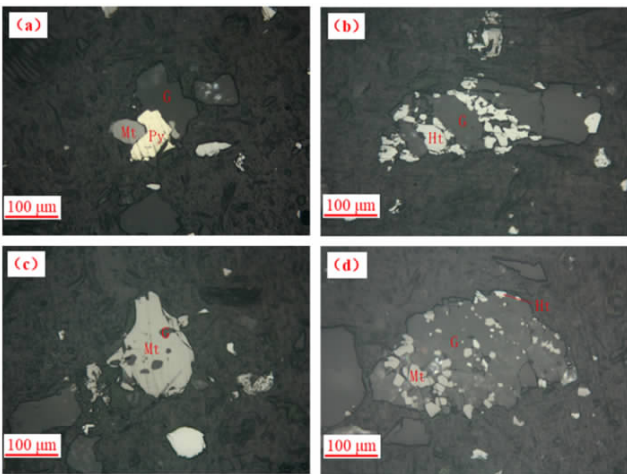


图 3 赤铁矿、磁铁矿与脉石矿物结合类型  
Fig. 3 Statistics of binding types of hematite, magnetite and gangue minerals

由图 3(a) 可知,赤铁矿与脉石矿物的连生体中,毗连型连生体最多,含量为 70.29%;其次为反包裹型连生体,含量为 22.72%;包裹型连生体相对含量最少,含量为 6.99%。由图 3(b) 可知,磁铁矿与脉石矿物的连生体主要为毗连型和反包裹型连生体,含量分别为 48.37% 和 43.14%,包裹型连生体含量为 8.49%。

赤铁矿和磁铁矿与脉石矿物形成的连生体中,反包裹型连生体相对含量均较高,这部分铁矿物中包含的脉石矿物往往颗粒细小,难以从铁矿物中解离出来,是影响铁精矿品位的主要因素之一。

图 4 为试样中主要铁矿物的产出特性。铁矿物与脉石矿物多呈毗邻型连生(见图 4(a)、(b));铁矿物包裹微细粒脉石矿物呈反包裹型(见图 4(c));赤铁矿以细粒或微细粒镶嵌于脉石矿物中呈包裹型(见图 4(d))。包裹连生体中铁矿物往往颗粒细小,需细磨才能将其与脉石矿物解离。



Ht—赤铁矿; Mt—磁铁矿; Py—黄铁矿; G—脉石矿物

图 4 主要铁矿物产出特征

Fig. 4 Occurrence characteristics of main minerals

### 1.5 主要矿物浸染粒度

矿石中赤铁矿和磁铁矿为主要回收矿物,粒度测定结果见图 5(a) 和 5(b)。

由图 5(a) 可知,赤铁矿中 +75 μm 粒级中含量为 34.54%,在 -38 μm 粒级含量为 25.32%,可见赤铁矿粒度不均匀,在各粒级中分布较平均,总体以中细粒为主。

由图 5(b) 所示数据可知,磁铁矿粒度分布特征与赤铁矿相似,磁铁矿 +75 μm 粒级含量为 28.83%, -38 μm 粒级含量为 29.30%,可见磁铁矿粒度不均匀,在各粒级中分布较平均,较赤铁矿略细一些。

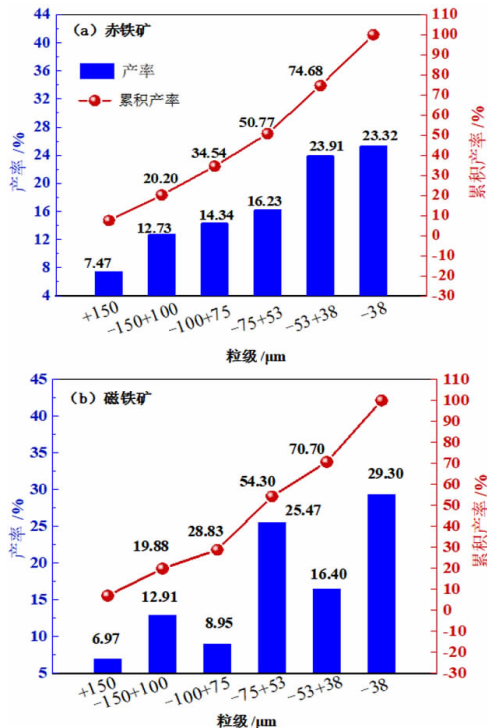


图 5 赤铁矿和磁铁矿粒度统计结果

Fig. 5 Statistics of hematite and magnetite particle size

通过对预先混磁精矿的工艺矿物学研究,该矿样主要有以下几个特点:

(1)混磁精矿的金属矿物主要为赤铁矿和磁铁矿,其他金属矿物为少量黄铁矿,磁铁矿和赤铁矿为主要回收矿物。

(2)赤铁矿和磁铁矿的单体解离度均较低,赤铁矿与脉石矿物的连生体含量较高;磁铁矿与赤铁矿、脉石矿物结合形成的连生体,及磁铁矿与脉石矿物结合形成的连生体含量均较高。

(3)铁矿物与脉石矿物的连生体中,赤铁矿与脉石矿物的结合类型多为毗邻型,其余依次为反包裹型和包裹型连生体,而磁铁矿与脉石矿物的结合类型主要为毗邻型和反包裹型,包裹型连生体次之。赤铁矿和磁铁矿反包裹型连生体含量较高,反包裹型连生体中因脉石矿物粒度细小,难以从铁矿物中解离出来,将影响铁精矿品位。

(4)赤铁矿和磁铁矿的粒度分布不均匀,粒度均以中细粒为主,在细粒级中分布率均较高。

## 2 试验研究

### 2.1 试验方案的确定

鉴于矿石中主要目的矿物是磁铁矿和赤铁矿,由

于磁铁矿和赤铁矿的单体解离度均较低,且与脉石矿物结合形成的连生体较多,在细粒级中分布较多,因此选别前需细磨,达到有用矿物和脉石矿物的单体解离。与传统球磨机相比,陶瓷球搅拌磨具有效率高、能耗低、产品粒度范围窄、产品污染少等特点,且在同类选矿厂已有应用,故本试验采用陶瓷球搅拌磨对混磁精矿进行细磨,通过弱磁精矿指标确定最佳磨矿细度。磁选段采用弱磁选直接选出合格的铁精矿,弱磁尾矿进行强磁选,强磁选的精矿通过反浮选进行提铁除杂。因此确定的试验流程是预先混磁精矿搅拌磨机细磨—弱磁选—强磁选—反浮选流程。

### 2.2 试验方法与设备

磨矿作业采用实验室自制设备立式陶瓷球搅拌磨机,型号 SLJM-1.5L。弱磁选采用武汉洛克粉磨设备制造有限公司生产的弱磁选机,型号 RK/CRS-Φ400×300,强磁选采用沈阳隆基电磁科技有限公司生产的立式感应湿式强磁选机,型号 LGS-100。

## 3 选矿试验结果

### 3.1 磨矿—磁选

本节考察了使用搅拌磨对磨矿效果的影响。在弱磁选磁场强度为 0.1 T,强磁选磁场强度为 0.7 T 的条件下,考察磨矿细度 -38 μm 含量分别为 50%、60%、70%、80%、90% 和 95% 对弱磁精矿指标的影响。试验流程见图 6,试验结果见图 7。

由图 7 可知,随着磨矿细度的提高,铁矿物与脉石解离程度提高,弱磁精矿的铁品位提高,但带有少量铁矿物颗粒的连生体,受到的磁力作用减小,连生体进入尾矿,导致弱磁精矿铁回收率有所下降。试验结果表明,磨矿细度对弱磁精矿指标有非常大的影响。综合考虑选别指标,为了得到合格的弱磁精矿,选定磨矿细度为 -38 μm 含量占 80%,此时可获得 TFe 品位 68.11%、回收率 53.16% 的弱磁精矿产品。

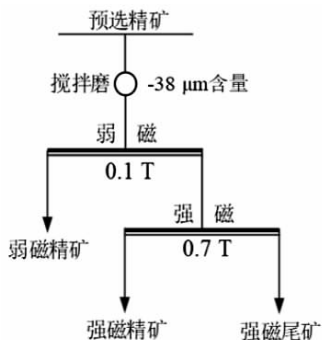


图 6 磨矿—磁选试验流程  
Fig. 6 Flowsheet of grinding—magnetic separation tests

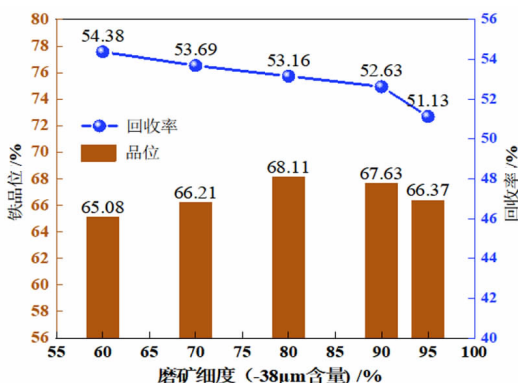


图 7 磨矿细度对弱磁选铁精矿指标的影响  
Fig. 7 Effect of grinding fineness on iron concentrate index in low intensity magnetic separation

然后在磨矿细度为 -38 μm 含量占 80% 时,考察强磁场磁感应强度分别为 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 和 0.8 T 对强磁精矿指标的影响,试验结果见图 8。

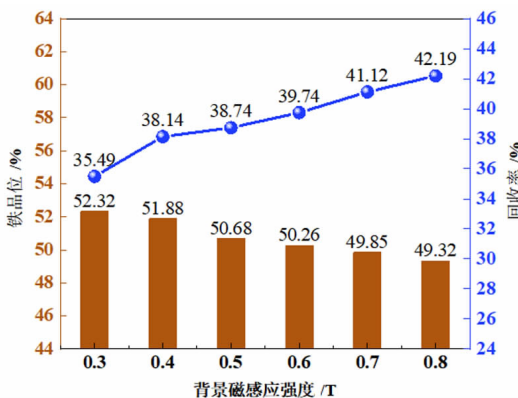


图 8 磁场强度对强磁选铁精矿指标的影响  
Fig. 8 Effect of magnetic field intensity on iron concentrate index in high intensity magnetic separation

由图 8 可知,随着磁场磁感应强度的提高,强磁精矿铁品位总体呈现下降趋势,铁回收率逐渐提高;同时,强磁精矿作为浮选给矿,精矿品位对浮选影响较大。综合考虑,确定最佳的强磁选磁场强度场强为 0.7 T。

因此,在磨矿—磁选条件试验中,确定弱磁选磁场磁感应强度为 0.1 T、磨矿细度为 -38 μm 含量占 80%,强磁背景磁场强度为 0.7 T。在此条件下,进行了验证试验并得到反浮选的给料(强磁精矿)。试验所获得的弱磁精矿 TFe 品位为 68.08%、铁回收率 52.24%,强磁精矿 TFe 品位 50.84%、铁作业回收率 42.35%,强磁选尾矿 TFe 品位 7.96%。

### 3.2 强磁精矿反浮选

为了进一步提高强磁精矿产品品位,获得合格铁精矿,针对 TFe 品位 50.84% 的强磁精矿产品进行反浮

选提铁除杂试验研究。试验选用铁矿抑制剂为淀粉,捕收剂为新研发的复配捕收剂,代号为 TF-3,能选择性吸附于石英等硅酸盐脉石矿物表面,提高硅酸盐脉石矿物的疏水性能,其选择性能和捕收性能优异。

在矿浆 pH 为 11.5、CaO 用量 1 000 g/t、粗选捕收剂用量 1 000 g/t 和精选捕收剂用量 500 g/t 条件下,分别进行了 800、900、1 000、1 100 和 1 200 g/t 的淀粉用量试验研究。试验流程见图 9,试验结果见图 10。

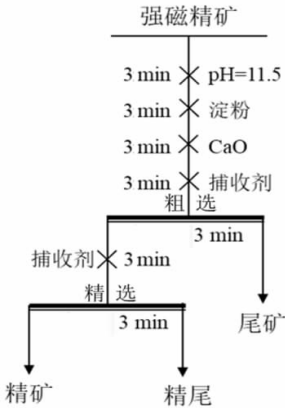


图 9 强磁精矿反浮选流程  
Fig. 9 Flowsheet of reverse flotation of high-intensity magnetic concentrate

在抑制剂淀粉用量为 1 000 g/t、矿浆 pH 为 11.5 和 CaO 1 000 g/t 的条件下,选取不同的捕收剂用量 800、900、1 000、1 100 和 1 200 g/t 进行捕收剂 TF-3 用量试验研究。试验流程见图 9,试验结果见图 11。

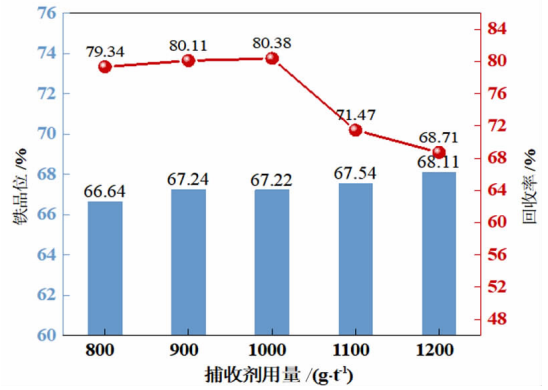


图 11 捕收剂用量对反浮选铁精矿指标的影响  
Fig. 11 Effect of collector dosage on iron concentrate index in reverse flotation

由图 11 可知,随着浮选捕收剂用量增加,脉石矿物石英和连生体获得有效捕收,铁精矿中脉石矿物的含量减少,铁精矿 TFe 品位逐渐增加。由于捕收剂的用量增加,部分未解离充分的铁矿物随脉石和连生体进入尾矿,使精矿铁回收率逐渐降低。综合考虑精矿铁品位和铁回收率指标,确定合理的粗选捕收剂用量为 1 000 g/t。

根据浮选条件试验,确定了强磁精矿最佳的浮选药剂制度,其中浮选药剂制度为:矿浆 pH 为 11.5,淀粉用量 1 000 g/t,CaO 用量 1 000 g/t,粗选捕收剂 TF-3 用量 1 000 g/t,精选捕收剂用量 500 g/t。在该药剂制度下,进行一次粗选一次精选三次扫选的反浮选闭路试验,中矿顺序返回,浮选试验结果见表 3。

表 3 强磁精矿反浮选闭路试验结果 /%  
Table 3 Close circuit test results of reverse flotation for concentrate in the high intensity magnetic separation

产品名称	作业产率	TFe 品位	回收率
浮选精矿	70.86	67.15	93.59
浮选尾矿	29.14	11.19	6.41
合计	100.00	50.84	100.00

然后由图 6 得到的弱磁精矿和图 9 得到的反浮选精矿合并为综合精矿,强磁尾矿和反浮选尾矿合并为综合尾矿,结果见表 4。

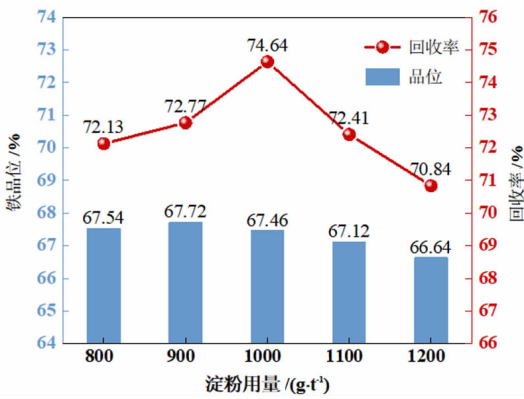


图 10 抑制剂用量对反浮选铁精矿指标的影响  
Fig. 10 Effect of depressant dosage on iron concentrate index in reverse flotation

由图 10 可知,当淀粉用量由 800 g/t 增加到 1 200 g/t 时,淀粉对预选混磁精矿中铁矿物的抑制作用逐渐增强,浮选精矿铁品位呈现先提高后下降趋势,当淀粉用量达到 900 g/t 时,精矿铁品位最高,为 67.72%;精矿铁回收率同样呈现先逐渐升高后逐渐降低趋势。综合考虑精矿铁品位及铁回收率,选择淀粉用量为 1 000 g/t,此时精矿铁品位为 67.46%、铁回收率为 74.64%。

表 4 选矿综合指标

/%

Table 4 Comprehensive index of beneficiation

产品名称	产率(对原矿)	TFe 品位	回收率(对原矿)
弱磁精矿	34.62	68.08	52.24
综合精矿	60.55	67.68	91.88
浮选精矿	70.86(对作业) × 36.59/100	67.15	93.59(对作业) × 42.35/100
浮选尾矿	29.14(对作业) × 36.59/100	11.19	6.41(对作业) × 42.35/100
综合尾矿	39.45	8.83	8.12
强磁尾矿	28.79	7.96	5.41

由表 4 可知,综合精矿铁品位 TFe 品位 67.68%、回收率 91.88%,综合尾矿 TFe 品位为 8.83%。

### 3.3 产品性质分析

浮选精矿、浮选尾矿、强磁选尾矿化学成分分析结果分别见表 5、表 6 和表 7,强磁选尾矿铁物相分析结果见表 8,浮选产品 XRD 分析结果如图 12 所示。

表 5 浮选精矿化学成分分析结果

/%

Table 5 Analysis results of chemical composition of flotation concentrate

成分	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P	烧失
含量	67.15	0.94	2.87	0.26	0.21	0.24	0.015	0.009	0.66

表 5 结果表明,浮选精矿铁品位 67.15%,硫和磷等有害元素含量不高。

表 6 浮选尾矿化学成分分析结果

/%

Table 6 Analysis of chemical composition of flotation tails

成分	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P	烧失
含量	11.19	1.91	67.04	0.76	0.58	1.09	0.005	0.011	1.64

表 6 结果表明,浮选尾矿铁品位 11.38%,其中 FeO 占 1.92%,SiO<sub>2</sub> 含量为 67.05%。

表 7 强磁选尾矿化学成分分析结果

/%

Table 7 Chemical composition analysis for tailings in the high intensity magnetic separation

成分	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P	烧失
含量	8.07	3.20	81.57	0.60	0.05	0.41	0.030	0.045	0.34

表 7 结果表明,强磁尾矿 TFe 品位 8.07%,其中 FeO 占 3.20%,SiO<sub>2</sub> 含量达 81.57%。

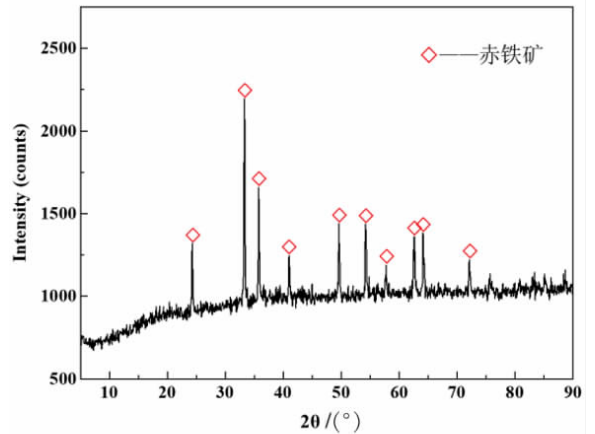
表 8 强磁选尾矿铁物相分析结果

/%

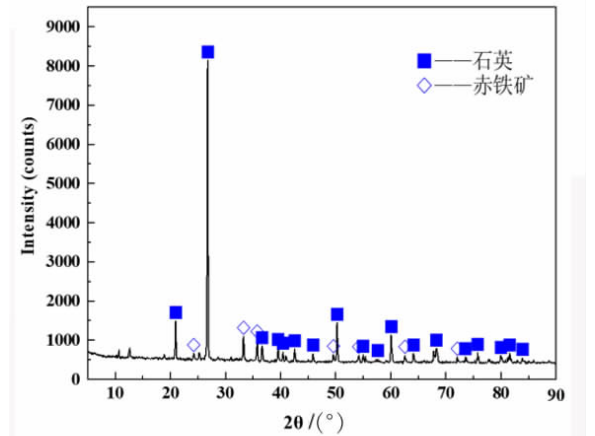
Table 8 Iron chemical phase analysis of tailings in the high intensity magnetic separation

物相	磁性铁中的铁	碳酸铁中的铁	赤褐铁中的铁	硫化铁中的铁	硅酸铁中的铁	总铁
含量/%	0.00	0.22	6.85	0.20	0.86	8.07
分布率/%	0.00	2.71	84.26	2.46	10.58	100.00

表 8 分析结果可知,强磁尾矿中的铁元素主要分布在赤褐铁矿物中,其含量为 6.85%,分布率达到了 84.26%,硅酸铁矿物中的铁次之,含量为 0.86%,分布率为 10.58%。



(a) 浮选精矿



(b) 浮选尾矿

图 12 浮选产品 XRD 分析结果

Fig. 12 XRD patterns of flotation products

由图 12(a) 所示,浮选精矿主要由赤铁矿组成。由图 12(b) 所示,浮选尾矿主要由石英及赤铁矿组成,说明部分未解离充分的铁矿物随脉石和连生体进入尾矿,导致尾矿中铁损失较高。

## 4 结论

(1) 鞍千预选混磁精矿中铁含量为 42.91%、FeO

含量为 8.95%。金属矿物主要为磁铁矿和赤铁矿,为主要回收矿物,其次为少量的褐铁矿和黄铁矿,非金属矿物主要为石英。赤铁矿和磁铁矿的单体解离度均较低,赤铁矿和磁铁矿与脉石矿物连生体含量较多,主要为毗连型和反包裹型连生体,包裹连生体中铁矿物颗粒细小,赤铁矿和磁铁矿的粒度分布不均匀,粒度均以中细粒为主。

(2)依据工艺矿物学研究的结果,样品需细磨才能将铁矿物与脉石矿物解离,确定了预先混磁精矿搅拌磨机磨矿—弱磁选—强磁选—反浮选流程;磨矿—磁选试验结果表明,在磨矿细度  $-38\ \mu\text{m}$  占 80%、弱磁选磁场磁感应强度 0.1 T、强磁选磁场磁感应强度 0.7 T 的条件下,获得弱磁精矿 TFe 品位为 68.08%、铁回收率 52.24%,强磁精矿 TFe 品位 50.84%、铁回收率 42.35% 和强磁选尾矿 TFe 品位 7.96% 的选别指标。

(3)TFe 品位 50.84% 的强磁精矿产品在矿浆 pH 值为 11.5、淀粉用量 1 000 g/t、CaO 用量 1 000 g/t、粗选捕收剂 TF-3 用量 1 000 g/t、精选捕收剂用量 500 g/t 条件下进行反浮选提铁除杂试验,闭路试验一次粗选一次精选三次扫选可获得 TFe 品位 67.15%、回收率 93.59% 的浮选精矿,尾矿 TFe 品位 11.19%;弱磁精矿和反浮选精矿合并为综合精矿,强磁尾矿和反浮选尾矿合并为综合尾矿,最终得到 TFe 品位 67.68%、回收率 91.88% 的综合精矿,综合尾矿 TFe 品位为 8.83%。

#### 参考文献:

- [1] 韩跃新,孙永升,李艳军,等.我国铁矿选矿技术最新进展[J].金属矿山,2015(2):1-11.  
HAN Y X, SUN Y S, LI Y J, et al. New development on mineral processing technology of iron ore resources in China[J]. Metal Mine, 2015(2): 1-11.
- [2] 唐雪峰.难处理赤铁矿选矿技术研究现状和发展趋势[J].现代矿业,2014(3):14-19.  
TANG X F. Research status and development trend of beneficiation technology on complex hematite[J]. Modern Mining, 2014(3): 14-19.
- [3] 张翔.浅谈我国铁矿资源安全的现状和对策[J].福建冶金,2021,50(3):56-58.  
ZHANG X. The present situation and countermeasures of iron ore resource safety in China[J]. Fujian Metallurgy, 2021, 50(3): 56-58.
- [4] 武秋杰,吕振福,曹进成.我国铁矿大型资源基地开发利用现状研究[J].现代矿业,2020,36(8):113-115+138.

- WU Q J, LV Z F, CAO J C. Research on the development and utilization of iron ore large resource bases in China[J]. Modern Mining, 2020, 36(8): 113-115+138.
- [5] 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.  
ZHAO L Q, WANG C N, ZHANG M, 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.
- [6] 罗小利.我国铁矿资源勘查开发现状及对策建议[J].现代矿业,2019,35(12):28-32.  
LUO X L. Exploration and development status and policy recommendations of iron ore resources in China[J]. Modern Mining, 2019, 35(12): 28-32.
- [7] 胡国辉,张廷龙,宋现洲,等.新型陶瓷球在大型立式搅拌磨上的应用初探[J].矿山机械,2018,46(10):30-32.  
HU G H, ZHANG T L, SONG X Z, et al. Research on application of new-type ceramic ball in large vertical stirring mill[J]. Mining & Processing Equipment, 2018, 46(10):30-32.
- [8] 史达,刘杰,侯鹏程,等.鞍千预选铁精矿陶瓷球搅拌磨再选试验研究[J].中国矿业,2021,30(7):140-145.  
SHI D, LIU J, HOU P C, et al. Experimental study on ceramic ball stirred mill in anqian pre-selected concentrate re-election[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(7): 140-145.
- [9] 苏兴国,杨光,陈国荣,等.东鞍山混磁精矿搅拌磨与球磨对比试验[J].矿产保护与利用,2021,41(1):113-121.  
SU X G, YANG G, CHEN G R, et al. Optimization test of stirred mill for mixed magnetic concentrate from Donganshan[J]. Conservation and Utilization of Mineral, 2021, 41(1): 113-121.
- [10] 鲁荣林.东鞍山铁矿矿石工艺矿物学特征研究[J].金属矿山,2004(9):40-41.  
LU R L. Study on characteristics of technological mineralogy of Donganshan Iron Mine's ore[J]. Metal Mine, 2004(9): 40-41.
- [11] 宫贵臣,韩跃新,李艳军.辽宁某铁矿石工艺矿物学研究[J].矿产综合利用,2018(2):77-80.  
GONG G C, HAN Y X, LI Y J. Study on process mineralogy for an iron ore from Liaoning Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(2):77-80.
- [12] 王彦,李艳军.某菱锰矿石工艺矿物学研究[J].金属矿山,2019(2):188-191.  
WANG Y, LI Y J. Research on process mineralogy of a carbonaceous rhodochrosite Ore[J]. Metal Mine, 2019(2): 188-191.
- [13] 赵玉卿,应永朋,熊艳,等.BPMA在某低品位铌钽矿工艺矿物学研究中的应用[J].矿产综合利用,2021(5):129-134.  
ZHAO Y Q, YING Y P, XIONG Y, et al. Application of BPMA in process mineralogy of a low-grade Nb-Ta ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5): 129-134.

# Research on Stirring Grinding – Magnetic Separation – Reverse Flotation Process of Preconcentration Mixed Magnetic Concentrate in Anqian

FAN Xijie<sup>1</sup>, WEI Wenjie<sup>1</sup>, XU Donglin<sup>1</sup>, LI Hui<sup>2</sup>, ZHANG Shumin<sup>2</sup>, LIU Jie<sup>2</sup>, LI Yanjun<sup>2</sup>

1. Anqian Mining Co., Ltd, Anshan Iron and Steel Group, Anshan 114043, Liaoning, China;

2. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China

**Abstract:** With the change of ore properties in Anqian, the old process has exposed some problems, such as low grade of gravity concentrate, large loss of iron in flotation tailings and so on. A detailed process mineralogy study was carried out on the mixed magnetic concentrate of semi self – grinding – wet preconcentration in Anqian, and a short process of stirred mill – magnetic separation – reverse flotation was determined. The Fe grade of mixed magnetic concentrate was 42.91%, and the main useful minerals were hematite and magnetite, which were mainly in the form of medium and fine particles. The content of the intergrowths formed by the combination of hematite, magnetite and gangue minerals was high. On this basis, the technological process of stirring fine grinding – low – intensity magnetic separation – high – intensity magnetic separation for tailings in low – intensity magnetic separation – reverse flotation (one roughing, one cleaning and three scavenging) for concentrate in high – intensity magnetic separation was determined. The TFe grade and recovery of comprehensive concentrate obtained by combining weak magnetic concentrate and reverse flotation concentrate was 67.68%, 91.88%, respectively. The TFe grade of comprehensive tailings was 8.83%. This study has important guiding significance for the optimization of Anshan hematite ore process.

**Keywords:** process mineralogy; mixed magnetic concentrate in Anqian; stirring mill; magnetic separation; reverse flotation

引用格式: 范喜杰, 韦文杰, 徐冬林, 李慧, 张淑敏, 刘杰, 李艳军. 鞍千预选混磁精矿搅拌磨细磨—磁选—反浮选工艺研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(2): 144 – 151.

FAN Xijie, WEI Wenjie, XU Donglin, LI Hui, ZHANG Shumin, LIU Jie, LI Yanjun. Research on stirring grinding – magnetic separation – reverse flotation process of preconcentration mixed magnetic concentrate in Anqian[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(2): 144 – 151.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E – mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)