鞍山某铁矿石磁选—反浮选试验研究

王建雄[1,2], 张淑敏[1,2], 李艳军[1,2], 刘杰[1,2]

1. 东北大学 资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110819;
2. 难采选铁矿资源高效开发利用技术国家地方联合工程研究中心,辽宁 沈阳 110819

中图分类号:TD951.1　**文献标识码**:A　**文章编号**:1001 - 0076(2021)03 - 0150 - 05
DOI:10.13779/j.cnki.issn1001 - 0076.2021.03.022

摘要　鞍山某铁矿石铁品位为 32.19%,铁主要以磁铁矿及赤铁矿形式存在,主要脉石矿物为石英。针对该矿石采用磁选—反浮选原则流程进行试验研究,以期确定合理的工艺参数,为该类矿石资源的高效开发利用提供技术支撑。结果表明:原料在磨矿细度 - 0.045 mm 含量为 85%,弱磁选磁场磁感应强度为 0.1 T,强磁选背景磁感应强度为 0.5 T 的条件下得到混合磁选精矿;再采用 1 次粗选 1 次精选 3 次扫选反浮选工艺,反浮选中抑制剂淀粉用量为 320 g/t、活化剂氧化钙用量为 500 g/t、油酸类捕收剂总用量为 135 g/t(粗选为 90 g/t 和精选为 45 g/t);获得了铁品位为 69.97%、回收率 80.64% 的铁精矿。

关键词　铁矿石;磨矿;磁选;反浮选

中国铁矿资源储量丰富,截至 2020 年,已查明铁矿资源储量为 867.39 亿 t,但国产铁矿石一直处于严重的短缺状态[1-2]。2020 年我国进口铁矿石 11.70 亿 t,对外依存度高居不下,不仅严重影响我国钢铁产业健康可持续发展,而且不利于国民经济的安全运行[3]。因此,对国内各类铁矿资源的开发利用迫在眉睫。

20 世纪 90 年代,我国逐渐形成了以“磁选—阴离子反浮选”为核心的铁矿石选矿技术,至今在铁矿石的开发利用中起重要作用[4]。王强[5]等人以河南某低硅高杂质中品位褐铁矿为研究对象,进行了阶段磨矿—高梯度磁选—十二胺反浮选流程试验,最终获得铁精矿铁品位为 52.74%、回收率为 58.45% 的技术指标,为该矿的工业开发提供了技术支持和选矿方案。崔宝玉[6]等人以齐大山铁矿石为研究对象,进行了阶段磨矿—粗细分级—阶段重选—磁选—阴离子反浮流程试验。获得了铁精矿铁品位为 66.80%、回收率为 82.90% 的技术指标,该项研究对实现鞍山式铁矿石的高效分选具有一定指导意义。夏夕雯[7]等人以司家营铁矿品位 40.05% 的混合磁选精矿为研究对象,进行了反浮选试验研究,在适宜的工艺参数下,获得了铁品位为 65.23%、回收率为 83.55% 的优质铁精矿。

磨矿—磁选—反浮选工艺流程结构紧凑合理,对矿石性质变化适应性强,工业生产稳定[8-11]。故本工作采用磨矿—磁选—反浮选原则流程对鞍山某铁矿石进行选别工艺优化,开展了磨矿细度、抑制剂用量、活化剂用量以及捕收剂用量条件试验研究,以期确定合理的选矿工艺参数,为该类矿石的开发利用提供依据。

1　试验原料

以鞍山某铁矿石为试验原料,其化学多元素分析结果如表 1 所示,XRD 分析结果如图 1 所示,铁物相分析结果如表 2 所示。由表 1 和图 1 可知,该矿石中主要含铁矿物为磁铁矿及赤铁矿,矿石铁品位为32.19%,FeO 品位为 14.83%;主要脉石矿物为石英,SiO_2 的含量为 47.84%。矿石中其他杂质以 CaO、MgO 和 Al_2O_3 计的含量分别为 2.34%、2.60% 和 0.15%;有害元素 S 和 P 有害元素含量较低,分别为 0.035% 和 0.002%。由表 2 可知,矿石中主要含铁矿物为磁铁矿及赤铁矿,铁元素在二者中的分布率分别为 75.77% 及 20.00%。矿石中还有少量碳酸铁和硅酸铁,总占有率为 4.23%。

收稿日期:2021 - 04 - 25
基金项目:国家自然科学基金项目(51974067;51774069)
作者简介:王建雄(1994 -),男,硕士研究生。
通信作者:张淑敏(1965 -),女,高级工程师。E - mail:1148390009@qq.com。

表 1　矿石化学多元素分析结果

Table 1　Chemicalmulti – elementcompositionanalysisresultsof raw ore

成分	TFe	FeO	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	P	S
含量/%	32.19	14.83	47.84	2.34	2.6	0.15	0.035	0.002

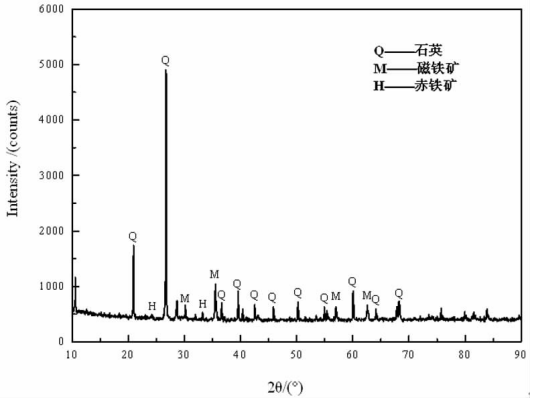

图 1　矿石的 XRD 图谱

Fig. 1　XRD pattern of raw ore

表 2　矿石铁物相分析

Table 2

铁物相	磁性铁矿物中的铁	碳酸铁矿物中的铁	赤褐铁矿中的铁	硅酸铁矿物中的铁	TFe
含量/%	24.36	0.44	6.43	0.92	32.15
分布率/%	75.77	1.37	20.00	2.86	100.00

2　试验方法

原矿经破碎得到 –2 mm 粒级试验样品。在磨矿质量浓度为 70%、给矿量为 500 g 条件下,选用 XMQ – Φ240 × 90 型锥形球磨机将试验样品磨至一定细度后;选用 RK/CRS 400 × 300 型弱磁选机,磁场磁感应强度为 0.1 T 进行弱磁选;弱磁选尾矿用 SLon500 立环脉动高梯度磁选机磁选,其背景磁感应强度为 0.5 T 进行强磁选;得到的尾矿为磁选尾矿,强磁选精矿与弱磁选精矿混合均匀作为混合磁选精矿,再进行浮选。浮选药剂为齐大山选矿厂浮选工艺所用药剂。抑制剂为淀粉,活化剂为 CaO,捕收剂为油酸类捕收剂,粗选与精选时捕收剂用量比为 2∶1,矿浆 pH 值为 11.5,矿浆温度为 35 ℃,浮选粗选时间为 5 min,精选时间为 5 min,浮选每次混合磁选精矿用量为 200 g,选用 XFD 0.75 L 单槽浮选机进行浮选试验。

3　试验结果与讨论

3.1　磨矿细度条件试验

磨矿是矿石进入选别前的重要环节,其目的是使有用矿物与脉石单体解离,对选别指标有很大影响。根据图 2 所示流程进行磨矿细度条件试验,探究磨矿细度对混合磁选精矿指标的影响。磨矿细度条件试验结果见图 3。

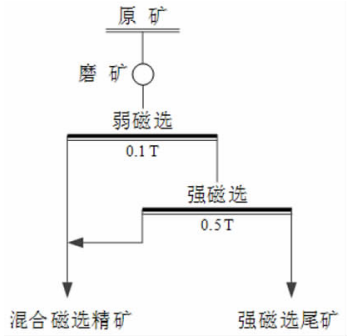

图 2　磨矿—磁选工艺流程

Fig. 2　Flowsheet of grinding – magneticseparation for raw ore

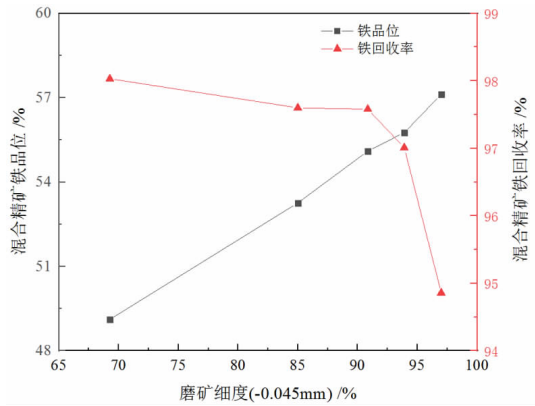

图 3　磨矿细度对混合磁选精矿指标的影响

Fig. 3　Effect of grinding size on magnetic separation

由图 3 可知,随着磨矿细度的增加,混合磁选精矿的铁品位显著增加;当磨矿细度从 –0.045 mm 含量 69.27% 增加到 97.0% 时,混合磁选精矿铁品位从 49.12% 增加到 57.12%。这是因为随着磨矿细度的增加,铁矿物的单体解离度增加,磁选过程中可以有效抛除脉石矿物,故混合磁选精矿铁品位增加。同时,随着磨矿细度的增加,混合磁选精矿的铁回收率逐渐降低;当磨矿细度从 –0.045 mm 为 69.27% 增加到 97.0% 时,混合磁选精矿铁回收率从 98.03% 降低至 94.86%。这是由于随着磨矿细度的增加,微细粒铁矿物含量增加,在磁选过程中无法有效回收,导致混合磁选精矿回收率降低。当磨矿细度为 –0.045 mm 含量占 85% 时,混合磁选精矿铁品位及回收率较高,同时考虑磨矿能耗及浮选夹带问题,确定适宜的磨矿细度为 –0.045 mm 含量为 85%,此时混合磁选精矿的铁品位为 53.26%、回收率为 97.60%。

3.2 反浮选药剂用量条件试验

采用 1 段粗选 1 段精选的反浮选工艺对混合磁选精矿进行浮选试验,探究淀粉用量、CaO 用量和捕收剂用量对选别指标的影响,试验流程如图 4 所示。

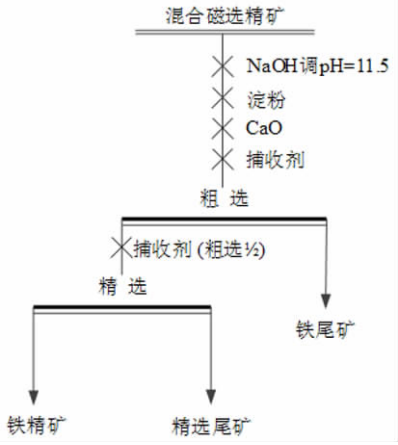

图 4 反浮选条件试验流程
Fig. 4 Test flowsheet of reverseflotation

3.2.1 淀粉用量条件试验

淀粉吸附于铁矿物表面,使铁矿物表面亲水,是铁矿物反浮选脱硅常用的抑制剂[11]。试验固定氧化钙用量为 200 g/t、粗选捕收剂用量为 90 g/t、精选捕收剂用量为 45 g/t,探究淀粉用量为 220、270、320、400 及 500 g/t 时对浮选结果的影响。结果见图 5。

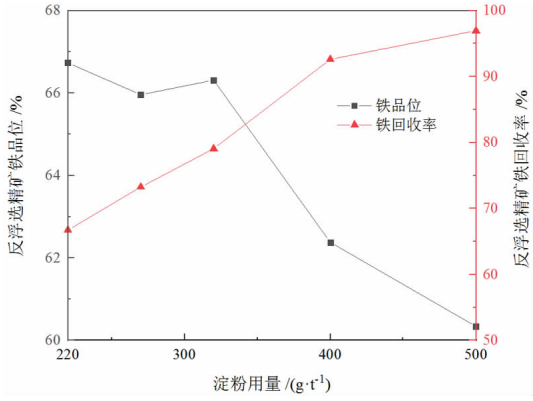

图 5 淀粉用量试验结果
Fig. 5 Test results of starch dosage

由图 5 可知,随着淀粉用量的增加,精矿铁品位呈现降低趋势,而回收率持续升高。淀粉用量由 220 g/t 增加到 320 g/t 时,反浮选精矿铁品位由 66.73% 降低为 66.31%,铁品位基本稳定,在 65.96% ~66.73% 之间波动;淀粉用量继续增加至 500 g/t 时,精矿铁品位迅速降低至 60.34%;随着淀粉用量的增大,反浮选精矿铁回收率提高。综合考虑,确定适宜的淀粉用量为 320 g/t,此时精矿铁品位为 66.31%、铁回收率为 79.06%。

3.2.2 CaO 用量试验

氧化钙是石英的优良活化剂,其在矿浆中生成的 Ca^{2+} 能够促进捕收剂在石英表面上的吸附[12]。试验固定淀粉用量为 320 g/t、粗选捕收剂用量为 90 g/t、精选捕收剂用量为 45 g/t,探究氧化钙用量为 200、300、400、500 和 600 g/t 时对浮选结果影响。结果见图 6。

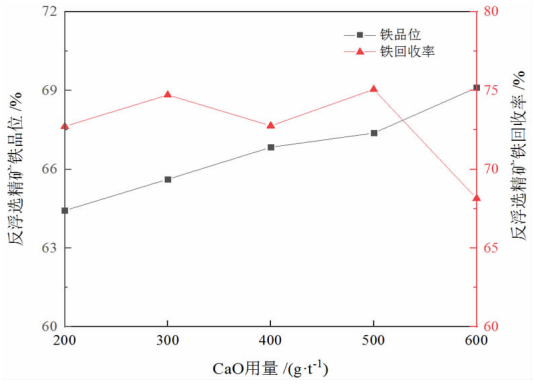

图 6 氧化钙用量试验结果
Fig. 6 Test results of CaO dosage

由图 6 可知,随着氧化钙用量增加,浮选精矿铁品位逐渐提高。氧化钙用量由 200 g/t 增至 500 g/t 时,精铁品位由 64.43% 提升至 67.38%,而精矿铁回收率变化较小。继续增加氧化钙用量时,精矿铁回收率显著降低至 68.15%。综合考虑,确定适宜的氧化钙用量为 500 g/t。此时精矿铁品位为 67.38%、铁回收率为 75.07%。

3.2.3 捕收剂用量试验

油酸类捕收剂虽然溶解性低,浮选时需要加温,但

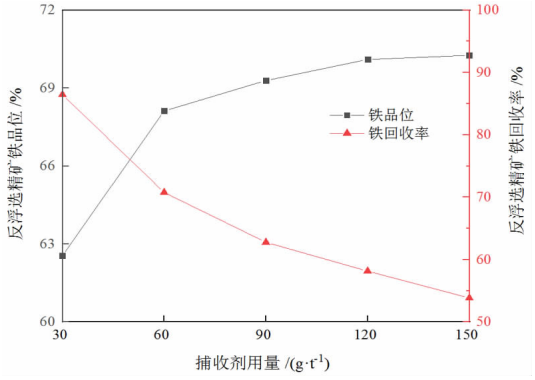

图 7 捕收剂用量试验结果
Fig. 7 Test results of collector dosage

其优良的捕收性能使其成为铁矿反浮选脱硅常用捕收剂。试验固定淀粉用量为 320 g/t 及氧化钙用量为 500 g/t,探究粗选捕收剂用量为 30、60、90、120 和 150 g/t、精选捕收剂用量为粗选用量 50% 时对浮选结果影响。结果见图 7。

由图 7 可知,随着捕收剂用量增加,反浮选精矿铁品位呈上升趋势,铁回收率呈下降趋势。当捕收剂用量由 30 g/t 提升至 90 g/t 时,精矿铁品位由 62.55% 提升至 69.29%,铁回收率由 86.45% 降低至 62.77%。当捕收剂用量由 90 g/t 增加至 150 g/t 时,铁品位基本保持不变,而铁回收率由 62.77% 降低至 53.83%。综合考虑,确定适宜的捕收剂总用量为 135g/t,即粗选和精选捕收剂用量分别为 90g/t 和 45g/t,此时精矿铁品位为 69.29%,铁回收率为 62.77%。

3.3　磨矿—磁选—反浮选全流程试验

在磨矿细度为 -0.045 mm 粒级占 85%、弱磁选磁场磁感应强度为 0.1 T、强磁选背景磁感应强度为 0.5 T 的条件下进行磨矿—磁选试验。将弱磁选精矿与强磁选精矿混合均匀后,在 pH 值为 11.5、温度为 35 ℃、淀粉用量为 320 g/t、氧化钙用量为 500 g/t、油酸类捕收剂用量为 90 g/t 的条件下进行 1 次粗选 1 次精选和 3 次扫选反浮选试验。试验全流程如图 8 所示。结果见表 3。由表 3 可知,原料采用图 8 所示的全流程处理,可获得铁品位为 69.97%、铁回收率为 80.64% 的铁精矿;铁品位为 1.90%、铁回收率为 2.45% 的强磁选尾矿;铁品位为 24.28%、铁回收率为 16.91% 的反浮选尾矿。其中反浮选铁尾矿铁品位较高可能由于磨矿粒度较细,导致部分微细粒铁铁矿物被石英夹带,进入反浮选铁尾矿。

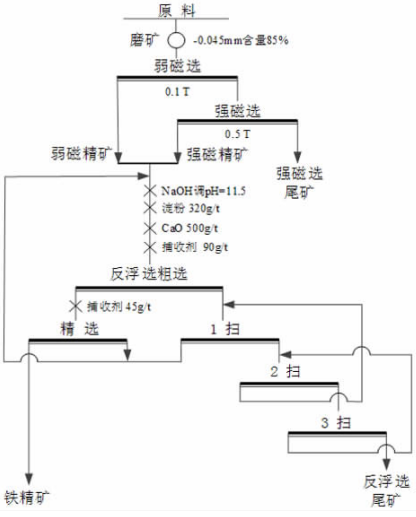

图 8　试验全流程

Fig. 8　Flowsheet of whole closed circuit operation

表 3　全流程试验结果

Table 3　Results of closed circuit test

产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
铁精矿	36.74	69.97	80.64
反浮选铁尾矿	22.20	24.28	16.91
强磁选尾矿	41.06	1.90	2.45
原矿	100.00	31.88	100.00

4　结论

(1)鞍山某铁矿石的铁矿物主要为磁铁矿及赤铁矿,矿石中 TFe 品位为 32.19%,脉石矿物主要为石英,杂质成分 CaO 和 MgO 含量不高,有害元素 S 和 P 含量较低。

(2)该矿石磨至 -0.045 mm 占 85% 的条件下,经过一次弱磁选(磁场磁感应强度为 0.1 T)及一次强磁选(背景磁感应强度为 0.5 T),可获得铁品位为 53.26%、回收率为 97.60% 的混合磁选精矿。

(3)混合磁选精矿反浮选最佳药剂用量为淀粉用量 320 g/t、氧化钙用量 500 g/t 和捕收剂总用量 135 g/t(粗选为 90 g/t 和精选为 45 g/t)。

(4)该矿石经过 1 段磨矿、1 段弱磁选、1 段强磁选、1 次粗选 1 次精选 3 次扫选反浮选流程处理,获得了铁品位为 69.97%、铁回收率 80.64% 的铁精矿。

参考文献:

[1] 韩跃新,高鹏,李艳军,等. 我国铁矿资源"劣质能用、优质优用"发展战略研究[J]. 金属矿山,2016(12):2-8.

[2] 罗勇军,罗麟. 国产铁矿和进口铁矿价差扩大的原因探讨[J]. 现代矿业,2019,35(5):5-8.

[3] 刘长正,曹志成,彭程,崔慧君. 低品位难选铁矿转底炉直接还原中试研究[J]. 矿产保护与利用,2020,40(4):58-63.

[4] 唐复平. 全球铁矿行业技术发展指南[M]. 北京:冶金工业出版社,2015.

[5] 王强,苏德生,薛嘉. 河南某褐铁矿选矿工艺试验[J]. 现代矿业,2020,36(11):125-128.

[6] 崔宝玉,魏德洲,李天舒,刘凯凯,丁士瑞. 齐大山铁矿选矿工艺优化研究[J]. 金属矿山,2016(8):75-80.

[7] 夏夕雯,梁广泉,朱一民. 新型常温捕收剂 DX-1 浮选司家营铁矿混磁精矿试验研究[J]. 矿产保护与利用,2018(3):140-144.

[8] ZHONG HC. An experimental research on cationic reverse flotation of Anshan-type iron ores[J]. Materials Science Forum, 2020, 6038 : 359-367.

[9] 宫贵臣,刘杰,韩跃新,等. 超级铁精矿高效制备试验研究[J]. 矿产综合利用,2018(4):42-45.

[10] 张淑敏,袁帅,陈国岩,等. 关宝山铁矿石搅拌磨细磨—磁选—反浮选试验[J]. 金属矿山,2018,503(5):82-85.

[11] 李明阳,陈泽,胡义明,张颖异,皇甫明柱,王俊祥,刘军. 组合高分子抑制剂对霓石和镜铁矿可浮性的影响[J]. 矿产保护与利用,2019,39(1):5-9.

[12] 石云良,邱冠周,胡岳华,等. 石英浮选中的表面化学反应[J]. 矿冶工程,2001(3):43-45,48.

Study on Magnetic Separation – Reverse Flotation Tests of the Iron Ore from Anshan

WANG Jianxiong[1,2], ZHANG Shumin[1,2], LI Yanjun[1,2], LIU Jie[1,2]

1. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
2. National – local Joint Engineering Research Center of High – efficient exploitation technology for Refractory Iron Ore Resources, Shenyang 110819, China

Abstract: The iron content of an iron ore from Anshan is 32.19%. The iron minerals are mainly magnetite and hematite. The gangue minerals mainly include quartz. For this ore, the magnetic separation – reverse flotation tests were conducted for determining process parameters reasonably and guiding development and utilization of such ore. The test results indicated that the mixed magnetic concentrate was obtained with the grinding fineness under 0.045 mm of 85%, weak magnetic separation magnetic field magnetic induction intensity of 0.1 T, strong magnetic separation background magnetic induction intensity of 0.5 T. Then the process of one roughing, one cleaning and three scavenging flotation was adopted. The final iron concentrate with the grade of 69.97% and the recovery of 80.64% could be obtained under the conditions of the starch dosage of 320 g/t, the calcium oxide dosage of 500 g/t and the total oleate collector dosage of 135 g/t (90 g/t in roughing, 45 g/t in cleaning) in the reverse flotation.

Key words: ironore; grind; magnetic separation; reverse flotation

引用格式:王建雄,张淑敏,李艳军,刘杰. 鞍山某铁矿石磁选—反浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2021,41(3):150 – 154.
Wang JX, Zhang SM, Li YJ, and Liu J. Study on magnetic separation – reverse flotation tests of theIron ore from Anshan[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(3): 150 – 154.

投稿网址:http://kcbh.cbpt.cnki.net E – mail:kcbh@chinajournal.net.cn