

国外某铁矿氢基矿相转化—弱磁选—反浮选实验研究

宁国栋, 刘鸿, 刘应志, 李文明

上海逢石科技有限公司, 上海 201600

中图分类号: TD951.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2025)01-0053-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.08.025

摘要 某铁矿铁品位为 52.11%, 铁主要以赤/褐铁矿的形式存在, 占全铁的 85.54%, 主要脉石矿物为石英, 含量为 20.87%。为确定该矿石的合理利用工艺, 进行了氢基矿相转化—弱磁选—反浮选实验研究。结果表明, 在还原温度为 540 °C、还原时间为 20 min、还原气体体积浓度为 25%, 还原气氛 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$, 磨矿细度-0.074 mm 含量占 72%、磁场强度为 1 600 Gs 的条件下, 可以得到磁选精矿铁品位 65.55%、铁回收率 98.14% 的指标; 磁选精矿中铁主要存在于磁性铁中, 赤/褐铁矿的含量降为 0.20%, 说明原矿经氢基矿相转化后, 弱磁性的赤/褐铁矿物被还原为强磁性的磁铁矿, 在弱磁选过程中铁矿物得到有效回收。将磁选精矿磨细至-0.074 mm 含量为 88%, 经一次粗选一次精选一次扫选反浮选实验可以获得铁品位 68.47%、回收率 97.48%(对原矿 95.61%)的最终精矿, SiO_2 含量为 3.06%, 比原矿降低约 18 个百分点。“氢基矿相转化—弱磁选—反浮选”工艺是处理该矿石的适宜工艺, 具有巨大的经济、社会和环境效益, 提升了矿产资源高质量利用能力、资源持续保障能力和市场风险防范能力。

关键词 赤/褐铁矿; 氢基矿相转化; 反浮选; 提铁降杂

引言

钢铁行业是我国国民经济的支柱^[1], 我国铁矿石储量丰富, 但难以满足经济发展需求, 导致我国铁矿石进口量逐年递增, 2009—2012 年铁矿石对外依存度最高达 71%, 2013—2019 年铁矿石对外依存度最高达 82%, 2020 年后最高达 90% 左右^[2-3]。为解决我国铁矿石问题, 各企业都在积极寻找可以利用的铁矿资源, 研发创新铁矿利用技术。

传统磁化焙烧技术处理弱磁性铁矿石可以得到较好的技术指标, 但存在物料受热不均、碳排放量大、能耗大、效率低等问题。针对以上问题, 东北大学韩跃新教授团队提出了氢基矿相转化新技术, 该技术以氢气或富氢气体作为还原剂, 将矿石在悬浮态和一定温度下进行化学反应, 使矿石中弱磁性铁矿物转变为强磁性的磁铁矿或磁赤铁矿, 再利用矿物之间磁性差异进行磁选分离^[4-7]。韩文杰等^[8]对海南石碌铁矿氢基矿相转化实验研究表明, 在 550~625 °C 的还原温度范围内, 赤铁矿转变为磁铁矿 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$), 反应速率

随着温度的升高而增加。张淑敏等^[9]对铁锰矿进行氢基矿相转化—弱磁分离技术研究表明, 在还原温度 660 °C、还原时间 30 min、 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$ 、还原气浓度 60%、弱磁场强条件下, 得到铁品位 55.24%、回收率 91.07% 的铁精矿及全锰品位 34.80%、回收率 77.11%、二价锰转化率 88.79% 的锰精矿。韩跃新等^[10]将氢基矿相转化技术应用在海南石碌铁矿半工业实验上, 所获铁精矿较现有工艺品位提高了 3 个百分点, 铁回收率增加了 20 个百分点。氢基矿相转化技术, 开辟了矿产资源高效利用新途径, 提升了矿产资源高质量利用能力、资源持续保障能力和市场风险防范能力。该技术在复杂难处理矿产资源开发过程中的推广及应用, 具有较大的经济、社会和环境效益。

本文以巴基斯坦某铁矿为研究对象, 主要研究了“氢基矿相转化—弱磁选—反浮选”工艺的应用, 考察还原温度、还原时间、还原气体体积浓度、还原气氛和磨矿细度对提铁降杂实验指标的影响, 及反浮选实验对磁选精矿进一步降低杂质含量的效果。本文通过“氢基矿相转化—弱磁选—反浮选”工艺处理

收稿日期: 2024-04-01

作者简介: 宁国栋(1990—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事难选矿石的选矿及资源综合利用等方面的研究工作, E-mail: 1207735548@qq.com。

通信作者: 刘鸿(1997—), 女, 辽宁绥中人, 硕士研究生, 主要从事难选矿石的选矿及资源综合利用等方面的研究工作, E-mail: 2575689177@qq.com。

褐铁矿石, 获得了高品位精矿, 可以为同类铁矿资源的高效分选与利用提供一定指导。

1 矿石性质

1.1 矿石性质分析

实验所用矿样取自巴基斯坦某矿山, 对原矿进行化学多元素分析, 查清原矿中的主要组成元素, 分析见表 1。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%

Table 1 Results of chemical multi-element analysis of raw ore

元素	TFe	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S
含量	52.11	1.13	0.86	20.87	0.077	0.041
元素	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	烧失	
含量	0.019	0.010	<0.01	0.003	5.61	

从表 1 可以看出, 试样 TFe 含量为 52.11%, FeO 含量为 1.13%; 主要杂质 SiO₂ 含量为 20.87%; 有害元素 P、S 含量分别为 0.077%、0.041%; 矿石属于低硫低磷铁矿, 烧失为 5.61%, 主要回收元素为铁元素。

为进一步查明铁元素赋存状态, 对其进行了铁化学物相分析, 分析结果见表 2。

表 2 原矿铁物相分析结果 /%

Table 2 Iron phase analysis results of raw ore

铁物相	磁性铁 中铁	碳酸铁 中铁	赤/褐铁 中铁	硫化铁 中铁	硅酸铁 中铁	合计
含量	6.61	0.23	44.57	0.21	0.49	52.11
分布率	12.68	0.44	85.54	0.40	0.94	100.00

由表 2 分析可知, 试样中铁主要以赤/褐铁矿的形式存在, 含量为 44.57%, 占全铁的 85.54%, 其次铁以磁性铁矿物的形式存在, 含量为 6.61%, 占全铁的 12.68%。

通过对-1 mm 矿样砂光片、薄片的镜下检测和 MLA(矿物自动分析仪)分析查明, 该铁矿石金属矿物主要为磁/赤铁矿和褐铁矿, 含量分别为 33.35%、52.32%。非金属矿物组成相对简单, 主要为石英, 含量为 13.45%。矿石的各矿物相对含量见表 3, 原矿 XRD 衍射分析结果见图 1。

1.2 实验方法

本研究采用卧式焙烧炉进行氢基矿相转化焙烧实验。首先称取 30 g 样品缓慢倒入石英炉管内, 向石英管内通入 N₂ 排除炉管内的空气。将焙烧炉升到指定焙烧温度后, 将石英炉管放入卧式焙烧炉内, 按照实验要求, 通入还原气体, 按照还原时间进行氢基矿相转化实验。当样品完成焙烧后, 将石英炉管从焙烧炉中取出冷却, 持续通入 N₂, 待样品冷却至室温后得

表 3 原矿中矿物组成及含量统计结果 /%
Table 3 Statistical results of mineral composition and content in raw ore

矿物类型	矿物名称	含量	合计
金属氧化物	钛铁矿	0.06	85.73
	磁/赤铁矿	33.35	
	褐铁矿	52.32	
脉石矿物	石英	13.45	14.27
	白云母	0.01	
	绿泥石	0.01	
	高岭石	0.72	
	铝土矿	0.08	
合计		100.00	100.00

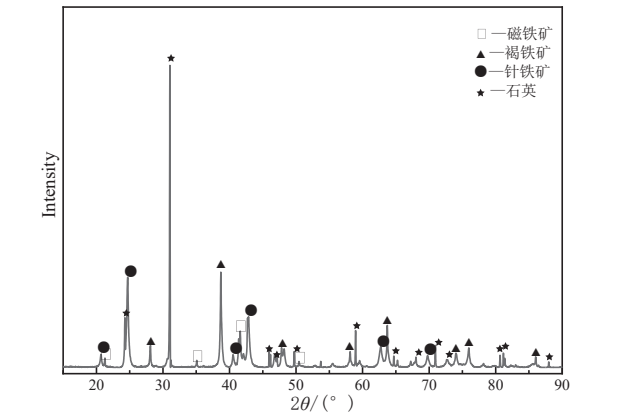


图 1 原矿 XRD 图谱
Fig. 1 Raw ore XRD pattern

到焙烧产品。将焙烧产品磨至-0.074 mm 含量占 72%, 然后进行 1 600 Gs 的弱磁选实验, 得到磁选精矿和磁选尾矿。磁选精矿磨细至-0.074 mm 含量占 88%, 磨矿产品给入单槽浮选机进行浮选实验, 将矿浆质量浓度调整为 40%, 叶轮转速为 1 860 r/min, 选用 NaOH 调节矿浆 pH 值为 10.00, 抑制剂选用苛化淀粉溶液, 捕收剂选用阳离子捕收剂 DZ-12, 按照实验流程和药剂制度开展一次粗选一次精选一次扫选闭路实验。

2 氢基矿相转化实验

2.1 还原温度的影响

还原温度是影响化学反应的重要因素之一, 还原温度高低影响氢基矿相转化效果, 温度过高会导致焙烧产品中出现弱磁性富土体(Fe₃O₄-FeO 固溶体); 温度过低弱磁性矿物不能完全被还原成强磁性矿物, 影响分选指标, 因此, 对矿样开展还原温度条件实验, 考察还原温度对氢基矿相转化的影响规律。实验条件为: 还原时间 30 min, 总气体流速 600 mL/min, 还原气体体积浓度 50%, 还原气氛 V(CO): V(H₂)=1:3, 还原温度分别为 500 ℃、520 ℃、540 ℃、560 ℃、580 ℃。实验结果见图 2。

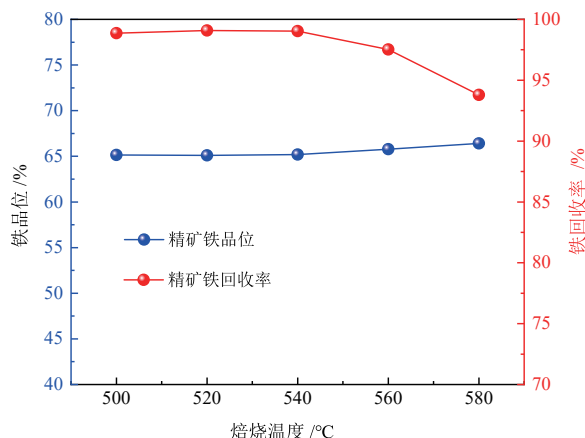


图 2 还原温度对磁选指标的影响

Fig. 2 Effect of reduction temperature on magnetic separation index

由图 2 可知, 当还原温度从 500 °C 增加至 580 °C, 磁选精矿铁品位整体呈现上升的趋势, 铁品位由 65.14% 增加至 66.42%, 随着温度的升高, 铁矿物更多被还原为强磁性的磁铁矿, 在弱磁选过程中得到回收; 当还原温度大于 540 °C 时, 磁选精矿铁回收率下降显著。综合考虑, 确定适宜的还原温度为 540 °C。此时, 磁选精矿铁品位为 65.19%, 铁回收率为 99.04%, 磁选尾矿铁品位为 3.41%。

2.2 还原时间的影响

还原时间是影响化学反应程度的重要因素, 是影响氢基矿相转化程度的因素之一, 还原时间过长会导致焙烧产品过还原, 还原时间过短可能导致只有表面被还原, 还原不充分, 间接影响精矿指标, 因此, 对矿样开展还原时间条件实验, 考察还原时间对氢基矿相转化的影响规律。实验条件: 还原温度为 540 °C, 总气体流速 600 mL/min, 还原气体体积浓度 50%, 还原气氛 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$, 还原时间分别为 10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、35 min。实验结果见图 3。

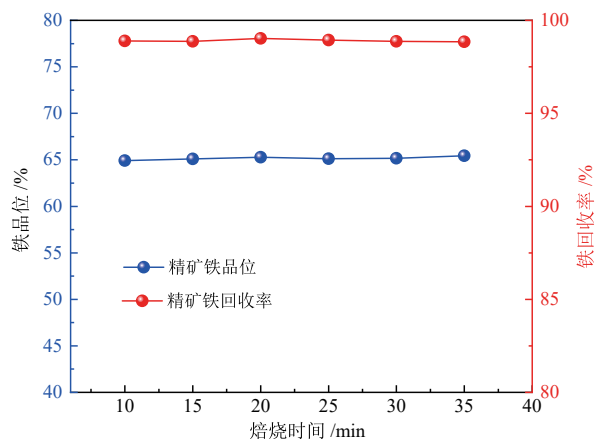


图 3 还原时间对磁选指标的影响

Fig. 3 Effect of reduction time on magnetic separation index

由图 3 可知, 随着还原时间由 10 min 增加至 35 min, 磁选精矿铁品位呈现微弱上升的趋势, 基本在 64.92%~65.44% 范围内波动, 磁选精矿铁回收率整体呈现先增加后降低的趋势, 波动幅度相对较小, 当还原时间不足 20 min 时, 铁矿物没有全部被还原为强磁性的磁铁矿, 在弱磁选过程中不能充分回收; 当还原时间超过 20 min 时还原效果较明显, 但回收率略有降低, 是因为出现部分弱磁性富士体 ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FeO}$ 固溶体) 损失在尾矿中。综合考虑, 适宜的还原时间为 20 min。此时, 磁选精矿铁品位为 65.28%, 铁回收率为 99.03%, 磁选尾矿铁品位为 3.45%。

2.3 还原气体体积浓度的影响

还原气体体积浓度影响气体分子与矿物孔隙的接触概率, 进而影响氢基矿相转化速率。以氢气、一氧化碳混合气 [$V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$] 为还原气体, 考察还原气体体积浓度对氢基矿相转化的影响规律, 对矿样开展还原气体体积浓度条件实验。实验条件为: 还原温度为 540 °C, 还原时间为 20 min, 总气体流速 600 mL/min, 还原气氛 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$, 还原气体体积浓度分别为 15%、20%、25%、30%、35%、40%、50%。实验结果见图 4。

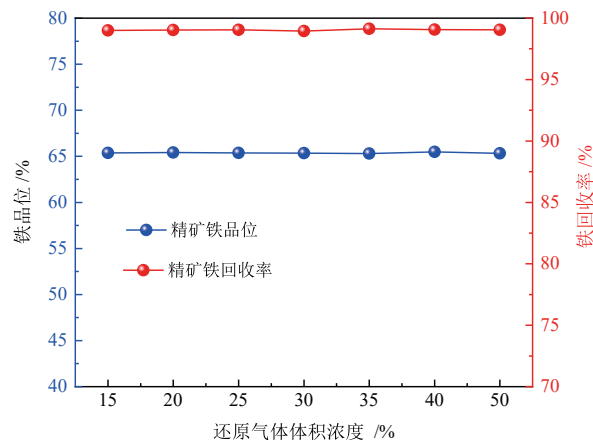


图 4 还原气体体积浓度对磁选指标的影响

Fig. 4 Effect of volume concentration of reducing gas on magnetic separation index

由图 4 可知, 随着还原气体体积浓度从 15% 增加至 50%, 磁选精矿铁品位整体较为稳定, 在 65.30%~65.48% 范围内波动; 磁选精矿铁回收率整体呈现先上升后下降的趋势。还原气体体积浓度增加可以使气体分子和矿物表面孔隙接触更加充分完全, 使更多的弱磁性矿物被转化为强磁性的磁铁矿, 考虑到还原气体浓度过高会导致气耗增加且精矿铁品位、回收率有所下降。综合考虑, 适宜的还原气体浓度为 25%。此时, 磁选精矿铁品位为 65.38%, 铁回收率为 99.04%, 磁选尾矿铁品位为 3.43%。

2.4 还原气氛的影响

为考察单一氢气、单一一氧化碳、 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$ 、 $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 2 : 1$ 四种还原气氛对该铁矿氢基矿相转化效果的影响,对矿样开展还原气氛实验。实验条件为:还原温度为 $540\text{ }^{\circ}\text{C}$,还原时间为 20 min ,总气体流速 600 mL/min ,还原气体体积浓度为 25% 。实验结果见图 5。

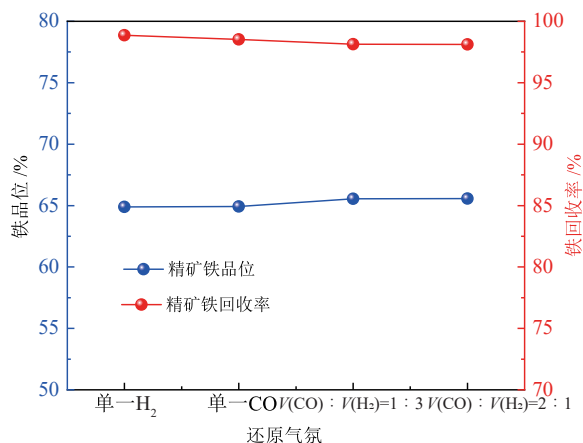


图 5 不同还原气氛对分选指标的影响规律
Fig. 5 Effect of different reducing atmosphere on the separation index

由图 5 可知,单一 H_2 以及单一 CO 作还原气时,磁选精矿铁品位均小于 65.00% , $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$ 时对该矿样氢基矿相转化的效果较好。磁选精矿铁品位为 65.55% ,铁回收率为 98.14% ,尾矿精矿铁品位为 3.14% 。

2.5 磨矿细度的影响

磨矿细度决定目的矿物与脉石矿物的解离,对弱磁选的分选效果有着重要的影响。对焙烧产品开展磨矿细度条件实验,磨矿产品在磁场强度 $1\,600\text{ Gs}$ 条件下开展分选。实验结果见图 6。

由图 6 可知,随着磨矿细度 -0.074 mm 含量由

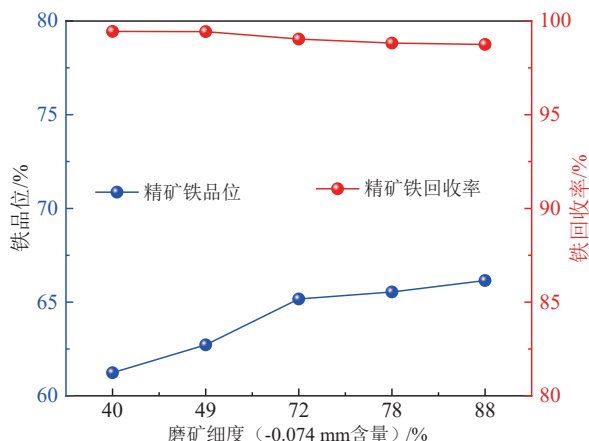


图 6 磨矿细度对分选指标的影响规律
Fig. 6 Effect of grinding fineness on separation index

40% 增加至 88% ,磁选精矿铁品位升高明显,由 61.23% 提高至 66.15% ,同时,铁回收率有所降低。实验结果表明,磨矿粒度越细,铁矿物解离效果越好,磁选精矿铁品位越高,但会损失部分铁。因此,选取 -0.074 mm 含量 72% 为最终细度。此时,磁选精矿铁品位为 65.17% ,铁回收率为 99.04% ,尾矿铁品位为 3.42% 。

3 产品性质分析

3.1 化学多元素分析

对氢基矿相转化实验阶段的主要产品进行元素分析,磁选精矿主要元素分析结果见表 4,磁选尾矿主要元素分析结果见表 5。

表 4 磁选精矿主要元素分析结果 /%
Table 4 Analysis results of main elements in magnetic concentrate

元素	TFe	FeO	SiO ₂	烧失
含量	65.55	30.22	6.76	1.96

表 5 磁选尾矿主要元素分析结果 /%
Table 5 Main element analysis results of magnetic separation tailings

元素	TFe	FeO	SiO ₂	烧失
含量	2.15	0.49	89.50	0.65

由表 4、表 5 可知,磁选精矿铁品位为 65.55% , FeO 含量为 30.22% ,磁选尾矿铁品位为 2.15% , FeO 含量为 0.49% ,表明焙烧产品通过磁化焙烧将强磁性的磁铁矿或磁赤铁矿铁矿物有效富集于精矿中。磁选精矿 SiO_2 含量为 6.76% ,磁选尾矿 SiO_2 含量为 89.50% ,表明在磁选过程中仍然有小部分 SiO_2 随着强磁性铁矿物进入精矿,但大部分 SiO_2 富集在尾矿中。

3.2 磁选精矿铁物相分析

对氢基矿相转化后的磁选精矿进行铁物相分析,结果见表 6。

表 6 磁选精矿铁物相分析结果 /%
Table 6 Iron phase analysis results of magnetic concentrate

铁物相	磁性铁 中铁	碳酸铁 中铁	赤/褐铁 中铁	硫化铁 中铁	硅酸铁 中铁	合计
含量	64.41	0.57	0.20	0.09	0.28	65.55
分布率	98.26	0.87	0.31	0.14	0.42	100.00

由表 6 可知,磁选精矿中铁主要存在于磁性铁中,含量为 64.41% ,占全铁的 98.26% ,相比于表 2 原矿铁物相分析结果,磁性铁中的铁含量增加了约 58 百分点,赤/褐铁的含量降为 0.20% ,说明原矿经氢基矿相转化后,弱磁性的赤/褐铁矿物被还原为强磁性的磁铁

矿;此外,磁选精矿中有少量铁存在于碳酸铁、氧化铁、硫化铁、硅酸铁中,含量分别为 0.57%、0.20%、0.09%、0.28%,分别占全铁的 0.87%、0.31%、0.14%、0.42%。

3.3 主要产品 XRD 分析

对氢基矿相转化实验阶段的主要产品进行 XRD 分析,结果见图 7。

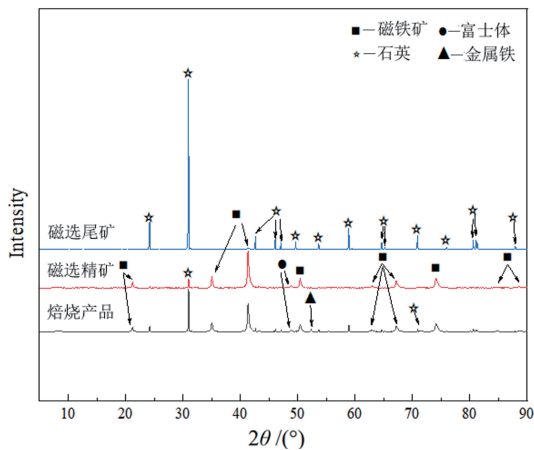


图 7 主要产品 XRD 分析结果
Fig. 7 XRD analysis results of main products

由图 7 可知,焙烧产品主要以磁铁矿、石英为主,存在富士体、金属铁的微弱衍射峰,说明矿样经过氢基矿相转化处理后,褐铁矿、针铁矿等弱磁选矿物还原为强磁性的磁铁矿。磁选精矿以磁铁矿为主,并存在富氏体的衍射峰,杂质以石英为主;磁选尾矿存在明显的石英衍射峰。表明矿样氢基矿相转化后,焙烧产品经弱磁选分选将铁矿物富集在精矿中。

3.4 矿物组成及含量

通过对矿样砂光片和薄片的 MLA(矿物自动分析仪)分析,查明矿物组成及含量,磁选精矿分析统计结果见表 7。经磁化焙烧后,原试样中赤/褐铁矿转化为磁铁矿和磁赤铁矿。

由表 7 可知,磁选精矿矿物组成简单,金属矿物

表 7 磁选精矿矿物组成及含量 /%
Table 7 Results of mineral composition and content of magnetic concentrate

矿物类型	矿物名称	含量	小计
金属氧化物	钛铁矿	0.01	95.52
	磁铁矿	66.83	
	磁赤铁矿	28.69	
脉石矿物	石英	4.38	4.48
	方解石	0.01	
	高岭石	0.08	
	铝土矿	0.02	
合计		100.00	100.00

主要由磁铁矿和磁赤铁矿组成,含量分别为 66.83%、28.69%;脉石矿物主要为石英,含量为 4.38%,矿石中有少量的高岭石、铝土矿等脉石矿物,脉石矿物总含量为 4.48%。

4 磁选精矿反浮选闭路实验

磁选精矿铁品位为 65.55%, SiO₂ 含量为 6.76%, 为了进一步提高精矿铁品位,降低杂质 SiO₂ 含量,对上述实验所得磁选精矿开展一次粗选一次精选一次扫选反浮选闭路实验,实验流程见图 8,实验结果见表 8。

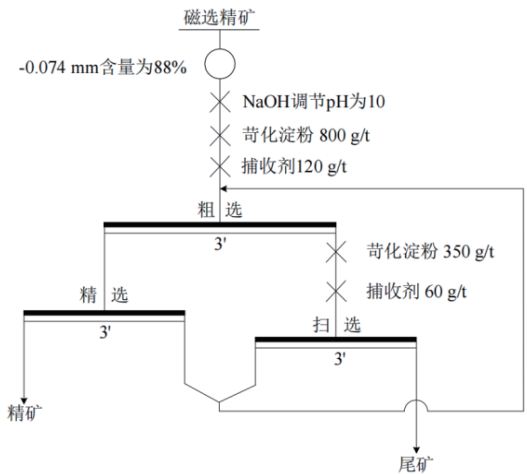


图 8 反浮选实验流程
Fig. 8 Reverse flotation flow chart

表 8 磁选精矿反浮选闭路实验结果 /%
Table 8 Magnetic concentrate reverse flotation closed-circuit test results

产品名称	产率	TFe品位	TFe回收率	SiO ₂ 品位
精矿	93.33	68.47	97.48	3.06
尾矿	6.67	24.69	2.52	58.53
给矿	100.00	65.55	100.00	6.76

由表 8 实验结果可知,磁选精矿经过一次粗选一次精选一次扫选反浮选闭路实验,可以获得精矿铁品位为 68.47%,比磁选精矿铁品位提高了约 3 个百分点,精矿产率 93.33%,精矿铁回收率 97.48%、精矿 SiO₂ 含量为 3.06%,比磁选精矿降低了 3.6 个百分点,比原矿降低约 18 百分点;尾矿铁品位为 24.69%。

5 结论

(1)原矿 TFe 含量为 52.11%,铁主要以赤/褐铁矿的形式存在,含量为 44.57%,占全铁的 85.54%,FeO 含量为 1.13%;主要脉石矿物为石英,杂质 SiO₂ 含量为 20.87%。

(2)在还原温度为 540 ℃、还原时间为 20 min、还原气体体积浓度为 25%、还原气氛为 V(CO) : V(H₂)=

1:3、磨矿细度-0.074 mm 含量占 72%、磁场强度为 1 600 Gs 的条件下,可以获得磁选精矿铁品位 65.55%、铁回收率 98.14% 的指标。磁选精矿中铁主要存在于磁性铁中,相比于原矿铁物相分析结果,磁性铁中的铁含量增加了约 58 百分点,赤/褐铁的含量降为 0.20%,说明原矿经氢基矿相转化后,弱磁性的赤/褐铁矿物被还原为强磁性的磁铁矿,在弱磁选过程中铁矿物得到有效回收。

(3)对磁选精矿开展一次粗选一次精选一次扫选反浮选闭路实验,获得的精矿铁品位为 68.47%,比原矿提高 16 百分点, SiO_2 含量为 3.06%,比原矿降低约 18 百分点。本文通过“氢基矿相转化—弱磁选—反浮选”工艺实现了提铁降杂,为同类铁矿资源的高效分选与利用开辟了新的途径。

参考文献:

- [1] 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):635-642.
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, 2022, 42(2): 67-73.
- [2] 张玉成.中国铁矿石进口布局多元化研究—基于分散依赖性风险视角[D].昆明:云南财经大学,2023:11-16.
ZHANG Y C. The diversification of China's iron ore import layout study—based on the perspective of dispersed dependence risk[D]. Kun Ming: Yunnan University of Finance and Economics, 2023: 11-16.
- [3] 温子龙.2019 年中国铁矿供需现状及未来发展建议[J].矿产资源研究,2020(1):28-30.
WEN Z L. China's iron ore supply and demand status and future development suggestions in 2019[J]. Research on Mineral Resources, 2020(1): 28-30.
- [4] 周廷波,魏晓彤,孙永升,等.菱铁矿微波磁化焙烧磁选工艺及机理研究[J].金属矿山,2023(6):107-111.
ZHOU T B, WEI X T, SUN Y S, et al. Research on process and mechanism of microwave magnetization roasting and magnetic separation for siderite[J]. Metal Mine, 2023(6): 107-111.
- [5] 韩跃新,张强,孙永升,等.难选铁矿石矿相转化清洁高效利用技术新进展[J].钢铁研究学报,2022,34(12):1303-1313.
HAN Y X, ZHANG Q, SUN Y S, et al. Progress in phase transformation technology for clean and efficient utilization of refractory iron ore[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2022, 34(12): 1303-1313.
- [6] 郭磊,陈宏超,高鹏,等.白云鄂博中贫氧化矿预富集—氢基矿相转化试验研究[J].金属矿山,2023(6):96-100.
GUO L, CHEN H C, GAO P, et al. Study on pre-concentration and hydrogen-based phase transformation technology for medium-low grade oxidized ore of Baya Obo[J]. Metal Mine, 2023(6): 96-100.
- [7] 曾永杰,王星.白云鄂博中贫氧化矿氢基矿相转化—磁选试验研究[J].包钢科技,2023,49(1):12-16.
ZENG Y J, WANG X. Experimental Study on hydrogen-based mineral phase transformation—magnetic separation of medium-lean oxidized ore in Bayan Obo[J]. Science and Technology of Baotou Steel, 2023, 49(1): 12-16.
- [8] 韩文杰,朱一民,李文博,等.海南石碌铁矿氢基矿相转化过程中的氢还原动力学和微观结构演变[J].钢铁研究学报,2022,34(12):1352-1360.
HAN W J, ZHU Y M, LI W B, et al. Hydrogen reduction kinetics and microstructure evolution of Hainan Shilu iron ore during hydrogen-based ore phase transformation[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2022, 34(12): 1352-1360.
- [9] 张淑敏,董再蒸,袁帅,等.高铁低锰矿石氢基矿相转化分选试验研究[J].工程科学学报,2023,45(12):1997-2004.
ZHANG S M, DONG Z Z, YUAN S, et al. Hydrogen-based phase transformation and separation of high iron and low manganese ores[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(12): 1997-2004.
- [10] 韩跃新,张琦,李艳军,等.海南石碌铁矿石氢基矿相转化新技术研究及应用[J].中国矿业大学学报,2022,51(3):538-548.
HAN Y X, ZHANG Q, LI Y J, et al. Research and application of a new hydrogen-based phase transformation technology for Hainan-Shilu iron ore[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(3): 538-548.

Hydrogen-based Mineral Phase Transformation—low Intensity Magnetic Separation—reverse Flotation of an Iron Ore Abroad

NING Guodong, LIU Hong, LIU Yingzhi, LI Wenming

Shanghai Milestone Technology Co., LTD, Shanghai 200100, China

Abstract: China's iron ore is heavily dependent on imports. In order to solve the problem of import dependence, enterprises are actively searching for available iron ore resources and developing independent innovation technologies. The hydrogen-based mineral phase conversion technology uses hydrogen or hydrogen-rich gas as a reducing agent to chemically react the ore in a suspended state and at a certain temperature, so that the weakly magnetic iron minerals in the ore are converted into strong magnetic magnetite or maghemite, and then magnetic separation is performed using magnetic differences between minerals. The iron grade of an iron ore is 52.11%. Iron mainly exists in the form of hematite/limonite, accounting for 85.54% of total iron. The main gangue mineral is quartz, with a content of 20.87%. In order to determine the reasonable utilization process of the ore, the experimental study of hydrogen-based mineral phase transformation—low intensity magnetic separation—reverse flotation was carried out. The results show that when the reduction temperature is 540 °C, the reduction time is 20 min, the reduction gas volume concentration is 25%, the reduction atmosphere $V(\text{CO}) : V(\text{H}_2) = 1 : 3$, the grinding fineness -0.074 mm content accounts for 72%, and the magnetic field strength is 1 600 Gs, the magnetic concentrate iron grade is 65.55%, and the iron recovery rate is 98.14%. The iron in the magnetic separation concentrate mainly exists in the magnetic iron. Compared with the iron content in the magnetic iron of the raw ore, the iron content in the magnetic iron increases by about 58%, and the content of hematite/limonite decreases to 0.20%, indicating that the weak magnetic hematite/limonite minerals are reduced to strong magnetic magnetite after the conversion of the raw ore by the hydrogen-based mineral phase, and the iron minerals are effectively recovered during the weak magnetic separation process. The magnetic separation concentrate was ground to -0.074 mm content of 88%. After one roughing, one cleaning and one scavenging reverse flotation test, the final concentrate with iron grade of 68.47% and recovery rate of 97.48% was obtained. The SiO_2 content was 3.06%, which was about 18 percentage points lower than that of the raw ore. In this paper, through the process of 'hydrogen-based mineral phase transformation—low intensity magnetic separation—reverse flotation', the experimental research on iron extraction and impurity reduction is completed. It is a suitable process for treating the ore. The process has great economic, social and environmental benefits, and improves the high-quality utilization of mineral resources. Ability, resource sustainability and market risk prevention capabilities.

Keywords: hematite/limonite; hydrogen-based mineral phase transformation; reverse flotation; raise iron and reduce impurities

引用格式: 宁国栋, 刘鸿, 刘应志, 李文明. 国外某铁矿氢基矿相转化—弱磁选—反浮选实验研究[J]. 矿产保护与利用, 2025, 45(1): 53–59.

NING Guodong, LIU Hong, LIU Yingzhi, LI Wenming. Hydrogen-based mineral phase transformation—low intensity magnetic separation—reverse flotation of an iron ore abroad[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2025, 45(1): 53–59.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn