

陕西镇安某高磷混合型铁锰矿选矿实验研究

贾宝亮, 孙亚峰, 王小钊, 王虎, 白新悦

(陕西省地质矿产试验研究所有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 该锰矿样品中含 Mn 14.26%, TFe 11.90%, P 0.52%, $P/Mn(0.036) > 0.006\%$, $Mn / Fe < 3$ 。物质成分研究结果表明该锰矿石属于高磷混合型铁锰矿石, 矿石成分、矿石结构复杂。对该试样进行了粗粒抛尾、弱磁选、磁化焙烧锰铁分离等探索实验和原矿筛析、磨矿细度、强磁选等实验研究。最终采用原矿-磨矿-强磁选别的工艺流程, 获得了产率 59.66%, 精矿 Mn 品位 21.51%, 回收率 Mn 90.01% 的锰精矿。

关键词: 高磷; 混合型铁锰矿; 磁选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.013

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 01-0083-05

锰矿是一种钢铁工业常用的基本原料, 95% 以上用于冶金工业, 特别是钢铁冶金工业^[1]。我国的锰矿石资源储量不大, 居世界第六位^[2]。与国外相比, 中国锰矿床主要以中、小型为主, 锰矿资源平均品位相对较低, 品质较差。通常表现为“粒度细、结构复杂、常含有硫、磷等有害杂质, 另外还有一些锰矿石含铁过高, 选矿难度较大”^[2], 很难得到合格的锰精矿。以陕西镇安县某地难处理高磷混合型铁锰矿石为研究对象, 结合该锰矿石特点, 进行了相应的实验研究, 确定了适宜的选矿工艺流程, 并取得了良好的工艺指标。

1 实验样品

实验样品来自陕西镇安县某地, 对该锰矿进

行了原矿化学多项分析、铁锰物相分析、原矿粒度组成分析及工艺矿物学研究。工艺矿物学物质成分研究鉴定结果表明, 该锰矿矿石成分复杂, 主要矿石矿物有含铁菱锰矿、菱铁锰矿、褐锰矿, 次要矿物有硬锰矿、软锰矿、偏锰酸矿, 方铁锰矿、针铁矿、赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿等; 脉石矿物以石英、绢云母、白云母、石榴子石为主, 次为黑云母、绿泥石、磷灰石等。其中, 矿石中少量黄铁矿、黄铜矿和磷灰石为该锰矿中硫、磷超标的主要因素。该锰矿石中主要含锰矿物均受到硬锰矿、软锰矿、针铁矿的不同程度交代, 甚至形成微细粒“交生”的状态, 以致于无法测量粒径。该锰矿化学多项分析、锰铁物相分析及粒度组成结果分别见表 1~4。

表 1 化学多项分析结果 /%
Table 1 Chemical analysis results of multi-elements

TFe	Mn	Cu	Pb	Zn	S	P	Ti	Co	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
11.90	14.26	0.09	0.01	0.03	0.44	0.52	0.56	0.016	0.066	2.95	0.19	5.47	40.34

收稿日期: 2019-11-11; 改回日期: 2020-03-04

作者简介: 贾宝亮 (1987-) 男, 硕士, 主要从事选矿研究工作

表 2 锰物相分析结果

Table 2 Results of manganese phase analysis

相名	碳酸锰 中锰	软锰矿 中锰	赤铁 矿中锰	硅酸盐 中锰	总锰
含量 /%	7.17	2.38	0.94	4.25	14.74
占有率 /%	48.64	16.15	6.38	28.83	100.00

表 3 铁物相分析结果

Table 2 Results of iron phase analysis

相名	磁铁 矿中铁	赤、褐铁 矿中铁	菱铁 矿中铁	硫化矿 中铁	硅酸 铁中铁	总铁
含量 /%	0.10	6.50	1.34	0.18	3.45	11.57
占有率 /%	0.86	56.18	11.58	1.56	29.82	100.00

表 4 粒度组成结果

Table 4 Particle size composition results

粒 级 /mm	产 率 /%	品位 /%		分布率 /%	
		Mn	Fe	Mn	Fe
+1.00	24.16	10.81	9.69	18.29	19.64
-1.00+0.40	7.64	14.23	12.28	7.61	7.87
-0.40+0.154	16.42	15.42	11.54	17.73	15.90
-0.154+0.074	36.88	16.04	13.48	41.43	41.72
-0.074	14.90	14.31	11.89	14.93	14.87
原 矿	100.00	14.28	11.92	100.00	100.00

从表 1 ~ 3 分析结果可以看出该锰矿主要金属元素为锰和铁，有害元素为磷、硫。锰主要赋存在碳酸锰、硅酸锰矿及部分软锰矿中，铁主要赋存于赤褐铁矿、硅酸铁和菱铁矿中。按照锰矿自然类型划分，该锰矿中碳酸锰矿物与氧化锰矿物含量均未超过 85%，为混合型铁锰矿。

从表 4 看出，该锰矿试验样 -1 mm 粒级中锰、铁品位基本接近于原矿，且分布率与产率基本成正比相关，锰、铁元素在该锰矿中分布较均匀。

2 结果与分析

2.1 探索实验

针对该锰矿石，在实验室进行了弱磁选铁、粗粒抛尾富集锰元素和原矿磁化焙烧锰铁分离等探索实验。其中弱磁选铁探索实验，由于原矿中所含磁性铁矿物极少，在实验室实验中磁性产品产率为 0%；粗粒抛尾富集锰元素探索实验，所得精矿产品与尾矿产品的锰品位与原矿锰品位相差不大，且抛尾时矿石锰元素损失量较大，粗粒抛

尾不适宜该矿石；磁化焙烧锰铁分离探索实验，所得铁精矿铁品位为 22.70% 未达到铁精矿相应要求的指标且含锰较高，锰品位达 24.19%，锰精矿锰品位为 21.76%，含铁 14.20%，锰精矿指标也不理想、焙烧成本也较高。从探索实验结果结合原矿工艺矿物学研究、原矿分析、锰铁物相分析及原矿筛析结果可看出磁化焙烧锰铁分离不适合该锰矿石。磁化焙烧锰铁分离探索实验流程见图 1，实验结果见表 5。

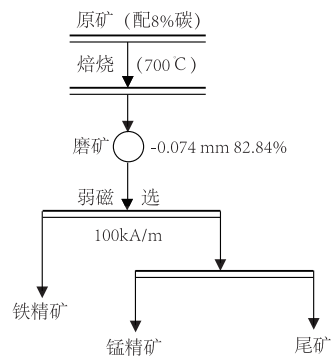


图 1 磁化焙烧锰铁分离实验流程

Fig. 1 Test flow chart of separation of ferromanganese by magnetization roasting

表 5 磁化焙烧锰铁分离实验结果

Table 5 Test results of separation of ferromanganese by magnetization roasting

粒 级 /mm	产 率 /%	品位 /%		分布率 /%	
		Mn	Fe	Mn	Fe
铁精矿	23.74	24.19	22.70	34.71	38.89
锰精矿	36.52	21.76	17.80	48.02	46.91
尾矿	39.74	7.19	4.95	17.27	14.20
焙烧产品	100.00	16.55	13.86	100.00	100.00

2.2 实验室条件实验

锰矿选矿工艺方法通常有重选、磁选、浮选、火法富集、化学选矿及多种方法联合选矿工艺^[3]。通过探索实验结合工艺矿物学研究、原矿分析、锰铁物相分析及原矿筛析结果可以印证该铁锰矿石主要特点为高磷高铁，锰、铁矿物交织嵌布均匀，且磁性铁矿物极少。根据物质成分鉴定结果中锰矿物、铁矿物成分显示这些矿物均属于弱磁性矿物，通常采用湿式强磁选机进行选别可得到较理想选矿指标^[4]。实验室设备选用 SLON-100 型

强磁选机，通过磨矿细度、磁场强度、冲洗水流量、磁介质、脉冲次数等实验，最终采用原矿 - 磨矿 - 强磁场粗选工艺流程获得较满意的锰精矿。实验工艺流程见图 2。

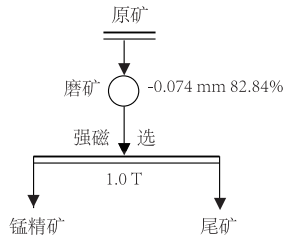


图 2 磁选实验流程

Fig. 2 Magnetic separation test flow chart

2.3 磨矿细度实验

磨矿细度对目的矿物与脉石矿物分离有较大影响。在磁场强度：1.0 T，脉冲次数：200 次/min，磁场介质：2 mm 钢棒，冲洗水流量 5.0 L/min 的条件下，考查了磨矿细度对锰矿磁选的影响。

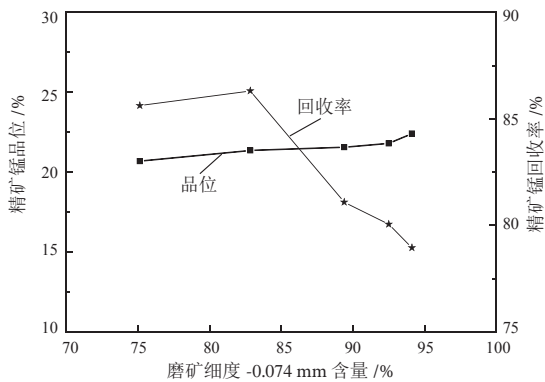


图 3 磨矿细度实验结果

Fig. 3 Test results of grinding fineness

从图 3 看出，随着磨矿细度增加，锰精矿品位缓慢上升，锰回收率随着磨矿细度增加先缓慢增加随后下降，当磨矿细度为 -0.074 mm 82.84% 时，选矿指标较好，确定磨矿细度为 -0.074 mm 82.84%。

2.4 磁场强度实验

磁场强度影响锰、铁矿物的磁选选别效果，磁场过大会导致机械夹杂严重影响精矿质量，磁场过小会导致目的矿物损失过大。在磨矿细度，-0.074 mm 82.84%，脉冲次数 200 次/min，

磁场介质 2 mm 钢棒，冲洗水流量 5.0 L/min 的条件下，考查了磁场强度对锰矿磁选的影响。

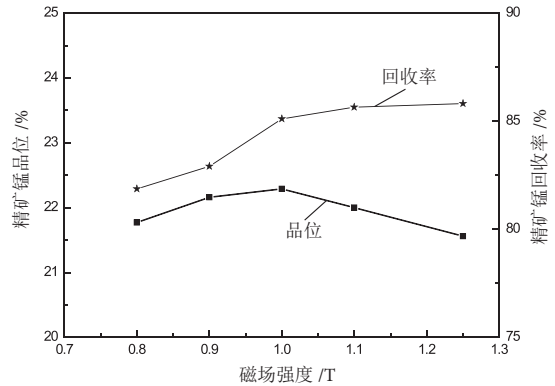


图 4 磁选强度条件试验结果

Fig. 4 Test results of intensity of magnetic separation

从图 4 看出，随着磁场强度增加，锰回收率逐渐增加，锰品位先缓慢增加，随后开始下降。当磁场强度为 1.0 T 时，磁选精矿品质回收率指标相对较好，确定磁场强度为 1.0 T。

2.5 强磁选机冲洗水流量实验

强磁选机冲洗水流量对精矿质量、处理量、回收率、水循环用量等有影响，在磨矿细度 -0.074 mm 82.84%，磁场强度 1.0 T，磁场介质 2 mm 钢棒，脉冲次数 200 次/min 的条件下，考查了强磁选机冲洗水流量对锰矿磁选的影响。

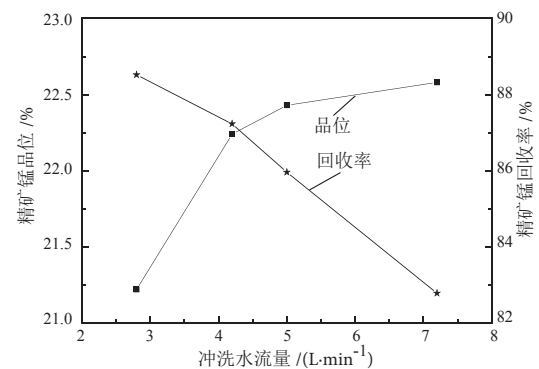


图 5 强磁选机冲洗水流量实验结果

Fig. 5 Test results of flushing water flow of high-intensity magnetic separator

从图 5 看出，当冲洗水流量 4.2 L/min 时，磁选精矿品质回收率指标相对较好，确定冲洗水流量 4.2 L/min。

2.6 强磁选机磁介质实验

磁介质对磁选机磁场及矿浆过流有影响, 间接影响到精矿质量、处理量。适当增大介质直径有利于磁性物的回收, 但介质直径过大时反而会降低对磁性物的捕捉能力, 针对不同物料应考虑确定适宜的磁介质直径、充填率^[5]。在磨矿细度 -0.074 mm 82.84%, 磁场强度 1.0 T, 冲洗水流量 4.2 L/min, 脉冲 200 次 /min 的条件下, 考察了强磁选机磁介质对锰矿磁选的影响。

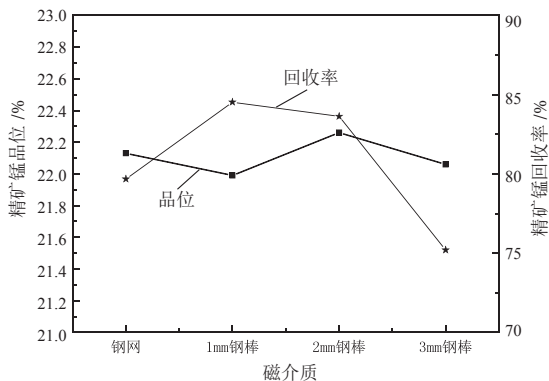


图 6 强磁选机磁介质实验结果

Fig. 6 Test results of magnetic medium of strong magnetic separator

从图 6 看出, 使用 2 mm 钢棒磁介质时选矿指标相对较好, 确定磁介质为 2 mm 钢棒。

2.7 强磁选机脉冲次数实验

脉冲次数同样也影响锰矿磁选选别效果, 脉冲次数过高, 冲刷力度大, 导致虽然精矿质量较高, 但锰金属量损失较大, 脉冲次数过低导致机械夹杂严重影响精矿品质。在磨矿细度 -0.074 mm 82.84%, 磁场强度 1.0 T, 冲洗水流量 4.2 L/min, 磁选介质 2 mm 钢棒的条件下, 考察了强磁选机脉冲次数对锰矿磁选的影响。

从图 7 看出, 随着脉冲次数的增加锰精矿品位缓慢提高, 但锰精矿锰回收率随着脉冲次数增加而降低, 当脉冲 100 次 /min 时, 磁选精矿品质回收率指标相对较好, 确定脉冲次数 100 次 /min。

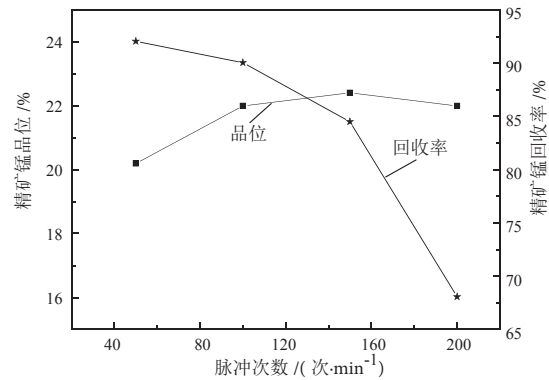


图 7 强磁选机脉冲次数实验结果

Fig. 7 Test results of pulse times of high-intensity magnetic separator

2.8 最终流程验证实验

在上述实验的基础上, 选择较佳工艺条件进行验证实验。试验条件为: 磨矿细度 -0.074 mm 82.84%, 磁场强度 1.0 T, 磁选冲水量 4.2 L/min, 2 mm 钢棒介质, 磁选脉冲 100 次 /min。实验工艺流程见图 2, 验证实验结果见表 6, 最终锰精矿质量分析结果见表 7。

表 6 最终流程验证实验结果

Table 6 Test results of final process validation

产品名称	产率 /%	锰品位 /%	锰回收率 /%
精矿	59.66	21.51	90.01
尾矿	40.34	3.53	9.99
原矿	100.00	14.26	100.00

表 7 锰精矿质量分析结果 /%

Table 7 Quality analysis results of manganese concentrate

Mn	TFe	S	P
21.51	15.05	0.13	0.18

从表 7 看出, 该锰精矿 Mn+Fe 为 36.56, 精矿中 P/Mn 为 0.008, S/Mn 为 0.006, 根据行业标准 YB/T 319-2005, 可达到冶金用锰矿石品质要求中 B 类 BMn22 III 的要求, 试验指标较为理想。

3 结论

(1) 陕西镇安某锰矿含锰 14.26%, 铁 11.90%, 磷 0.52%, P/Mn 远大于 0.006%, Mn / Fe <3, 属于高磷混合型铁锰矿石。

(2) 物质成分研究结果表明该锰矿矿石成分较为复杂，主要含锰矿物含铁菱锰矿、菱铁锰矿凝胶体多呈球状、鲕状，且与其他锰、铁矿物均紧密相交。锰铁难以实现分离，只能以含铁锰精矿形式生产铁锰精矿粉。

(3) 该锰矿石中含有少量黄铁矿、黄铜矿、磷灰石，硫、磷属于有害元素，通过磨矿-磁选流程在适宜的工艺条件下锰精矿中硫、磷可以降至合格范围。

(4) 通过预先粗粒抛尾富集锰元素、弱磁选铁、磁化焙烧锰铁分离探索实验，表明该锰矿铁锰难以分离。

(5) 通过磨矿细度、强磁选机磁场强度、冲洗水流量、磁介质和脉冲次数等条件实验，最终采用原矿-磨矿-强磁场粗选的工艺流程，获得了产率 59.66%，精矿 Mn 品位 21.51%，Mn 回收率 90.01% 的锰精矿，工艺流程简单，选矿指标较好。

参考文献：

[1] 邵厥年,陶维屏. 矿产资源工业要求手册 [M]. 北京: 地

质出版社, 2014:95-103.

SHAO J N, TAO W P. Handbook of Requirements for mineral Resources Industry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014:95-103.

[2] 王运敏, 田嘉印, 王化军, 等. 中国黑色金属矿选矿实践 [M]. 北京: 地质出版社, 2008:458-462.

WANG Y M, TIAN J Y, WANG H J, et al. Mineral processing practice of Ferrous metal ore in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008:458-462.

[3] 谢丹丹, 童雄, 张洪花, 等. 铁锰矿的选矿工艺及其研究进展 [J]. 中国锰业, 2016 (5):4-6.

XIE D D, TONG X, ZHANG H H, et al. Mineral processing technology of ferro manganese ore and its Research Progress [J]. China Manganese Industry, 2016 (5):4-6.

[4] 王宇斌, 卫亚儒, 王肖飞, 等. 甘肃某铁锰矿选矿试验研究 [J]. 矿产保护与利用, 2019 (5):31-34.

WANG Y B, WEI Y R, WANG X F, et al. Experimental Study on dressing of a certain iron and manganese ore in Gansu [J]. Mineral Protection and Utilization, 2019 (5):31-34.

[5] 李文博, 汤玉和, 韩跃新, 等. 聚磁介质对高梯度磁选效果的影响 [J]. 金属矿山, 2013 (12):105-107.

LI W B, TANG Y H, HAN Y X, et al. Effect of polymagnetic media on high gradient magnetic separation [J]. Metal Mines, 2013 (12):105-107.

Experimental study on Beneficiation of a High Phosphorus Mixed Ferromanganese Ore in Zhenan, Shaanxi Province

Jia Baoliang, Sun Yafeng, Wang Xiaozhao, Wang Hu, Bai Xingyue

(Shaanxi Geological and Mineral Experimental Research Institute Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi, China)

Abstract: The manganese ore sample contains Mn 14.26%, TFe 11.90%, P 0.52%, $P / Mn (0.036) > 0.006\%$, $Mn / Fe < 3$. The study results of material composition show that the manganese ore belongs to high phosphorus mixed ferromanganese ore with complex ore composition and structure. The exploration tests of coarse-grained tailing, weak magnetic separation, magnetic roasting manganese iron separation and the tests of raw ore screening, grinding fineness and strong magnetic separation were carried out. Through the test flow of raw ore grinding and strong magnetic separation, a manganese concentrate with the yield of 59.66%, concentrate Mn grade of 21.51% and recovery of 90.01% was obtained.

Keywords: High phosphorus; Mixed ferromanganese; Magnetic separation