

云南盈江某低品位菱锰矿选矿工艺研究^①

谢美芳¹, 熊涛^{1,2}, 黄会春^{1,2}, 任祥君^{1,2}

(1. 赣州金环磁选科技装备股份有限公司, 江西 赣州 341001; 2. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 针对云南盈江某低品位菱锰矿-0.019 mm 粒级含量超过 50%、碳酸锰分布率达 84.97% 的特点, 采用脉动高梯度磁选机分选该锰矿。在 SLon-100 周期式脉动高梯度磁选机探索试验基础上, 使用 SLon-500 立环脉动高梯度磁选机进行半工业试验, 采用“一粗一扫、扫选精矿精选”的优化工艺流程, 在原矿 TMn 含量 6.72% 时, 可获得 TMn 精矿品位 16.77%、回收率 87.61% 的锰精矿。

关键词: 菱锰矿; 碳酸锰; 锰精矿; 高梯度磁选; SLon-100; SLon-500

中图分类号: TD924

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.017

文章编号: 0253-6099(2023)05-0074-03

Beneficiation Process of Low-Grade Manganese Rhodochrosite Ore from Yingjiang County of Yunnan Province

XIE Meifang¹, XIONG Tao^{1,2}, HUANG Huichun^{1,2}, REN Xiangjun^{1,2}

(1. SLon Magnetic Separator Co Ltd, Ganzhou 341001, Jiangxi, China; 2. Faculty of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: Magnetic separation tests were carried out by adopting a pulsating high gradient magnetic separators (HGMS) for low-grade manganese rhodochrosite ores from Yingjiang County of Yunnan Province, with more than 50% passing size of the raw ore finer than -0.019 mm, TMn grade of 6.72% and manganese carbonate content of 84.97%. Based on the laboratory test applying a SLon-100 type cyclic pulsating HGMS, a pilot test was conducted with a SLon-500 type vertical ring pulsating HGMS, by adopting an optimized processing flowsheet consisting of one roughing, one scavenging and a cleaning process of the scavenging concentrate, a manganese concentrate was produced with TMn grade and recovery of 16.77% and 87.61%, respectively.

Key words: manganese rhodochrosite; manganese carbonate; manganese concentrate; high gradient magnetic separators (HGMS); SLon-100; SLon-500

锰被广泛用于金属冶炼行业、电子工业、航天工业及医药农业领域, 是国民经济发展必不可少的金属之一^[1-2]。具有开采价值的锰矿主要是菱锰矿 ($MnCO_3$)、软锰矿 (MnO_2)、褐锰矿 (Mn_2O_3)、黑锰矿 (Mn_3O_4) 等^[3-4]。锰矿伴生矿石性质复杂, 存在类质同象、容易泥化等现象, 锰矿高效开发利用一直是个难题^[5-7]。

云南盈江地区锰矿性脆、易泥化, 含锰品位低且含铁、磷高, 属于难选锰矿石, 一直未能开发利用。本文在对其进行原矿性质研究后, 开展了选矿工艺研究, 包括实验室 SLon-100 周期式脉动高梯度磁选机小型探

索试验以及 SLon-500 立环脉动高梯度磁选机半工业试验, 以期获得理想的选矿指标, 为大规模开发此类型的锰矿石提供科学依据。

1 矿石性质

云南盈江某锰矿石肉眼观察主要呈黑色、褐黑色、灰白色, 粒度小于 1 mm。原矿化学多元素分析结果如表 1 所示。从表 1 可知, 该矿中具有回收价值的元素为锰、铜、铅含量均小于 0.005%, 有害元素 Fe、P 含量较高, 对提高锰精矿产品质量有较大影响。其他有价金属含量不高, 综合利用价值不大。

① 收稿日期: 2023-04-20

作者简介: 谢美芳 (1984—), 女, 江西修水人, 硕士, 工程师, 主要从事磁选试验、设备及工艺设计工作。

通信作者: 熊涛 (1982—), 男, 江西东乡人, 博士, 高级工程师, 主要从事磁选试验、设备及工艺设计工作。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Mn	Fe	Si	Al	Ca	Ni	Cu	Pb
6.72	5.63	23.13	5.32	3.24	<0.005	<0.005	<0.005
Mg	Na	K	P	Cl	As	Cd	Co
1.21	0.70	0.81	1.03	<0.05	0.01	<0.005	<0.005

原矿锰化学物相分析结果如表2所示。从表2可知,该矿石中锰主要以碳酸锰形式存在,是锰矿石的主要回收对象,其次以硅酸锰形式存在,碳酸锰和硅酸锰两者占总锰的97.32%。

表2 锰化学物相分析结果

锰物相	含量/%	分布率/%
碳酸锰中锰	5.71	84.97
硅酸锰中锰	0.83	12.35
高价氧化锰中锰	0.03	0.45
氧化铁中锰	0.15	2.23
合计	6.72	100.00

对原矿进行了粒度分析,结果如表3所示。从表3可知,该矿中-0.019 mm 粒级含量超过了50%,该粒级TMn分布率也达到了46.17%,主要原因是该锰矿性脆、易泥化;+0.074 mm 粒级含量仅21.71%,而占锰物相84.97%的碳酸锰易泥化,所以后续的选别作业中必须避免原矿过磨现象,这对提高该锰矿回收率、降低生产成本至关重要。

表3 原矿粒度分析结果

粒度/mm	产率/%	TMn 品位/%	TMn 分布率/%
+0.15	7.94	5.21	6.15
-0.15+0.074	13.77	8.55	17.51
-0.074+0.045	11.08	8.15	13.43
-0.045+0.019	14.87	7.56	16.72
-0.019	52.34	5.93	46.17
合计	100.00	6.72	100.00

2 研究方法

该矿石中锰主要以碳酸锰和硅酸锰形式存在。碳酸锰比磁化系数约 $(50\sim 250) \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{g}$,硅酸锰比磁化系数小于 $15 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{g}$ 。基于此,拟采用脉动高梯度磁选机对碳酸锰和硅酸锰进行回收。实验室试验使用SLon-100周期式脉动高梯度磁选机,半工业试验使用SLon-500立环脉动高梯度磁选机。为了防止较大颗粒在分选过程中对SLon型脉动高梯度磁选机磁介质造成堵塞,对原矿进行了1.2 mm 预先筛分。

3 结果与讨论

3.1 SLon-100 磁选机实验室试验

该锰矿粒度较细,为提高锰精矿回收率,研究了一粗一扫磁选过程中背景磁感应强度、磁介质尺寸、给矿流速、脉动冲程和冲次等条件对锰精矿指标的影响,得到SLon-100周期式脉动高梯度磁选机分选该锰矿的适宜参数为:粗选背景磁感应强度1.5 T,磁介质 $\Phi 2 \text{ mm}$,给矿流速5 cm/s,脉动冲程8 mm,脉动冲次150次/min;扫选背景磁感应强度1.5 T,磁介质 $\Phi 1.5 \text{ mm}$,给矿流速6 cm/s,脉动冲程8 mm,脉动冲次175次/min。该锰矿经SLon-100周期式脉动高梯度磁选机一次粗选一次扫选,可以获得产率39.69%、TMn品位15.25%、回收率89.25%的锰精矿。

SLon-100磁选机实验室试验结果为后续SLon-500立环脉动高梯度磁选机半工业试验奠定了基础。

3.2 SLon-500 磁选机半工业试验

3.2.1 粗选磁感应强度试验

磁感应强度是SLon-500立环脉动高梯度磁选机的关键参数,也是影响锰精矿品位及回收率的关键因素。磁感应强度高,励磁线圈消耗的功率大,单位处理成本增加。转环转速2 r/min,磁介质 $\Phi 2 \text{ mm}$,给矿流速5.5 cm/s,脉动冲程18 mm,脉动冲次150次/min,进行了粗选磁感应强度试验,结果见表4。从表4可以看出,随着粗选磁感应强度增加,锰精矿产率不断增加,精矿品位呈现下降趋势,锰精矿回收率先大幅度提升后逐渐趋缓。粗选磁感应强度超过1.5 T后,锰精矿产率增加很少,而锰连生体及其他非磁性矿被夹带进锰精矿,造成锰精矿品位大幅度下降。磁感应强度1.5 T时,可获得回收率65.08%、品位17.02%的锰精矿。

表4 粗选磁感应强度试验结果

磁感应强度/T	产品名称	产率/%	TMn 品位/%	回收率/%
1.0	粗精矿	19.23	18.52	51.76
	尾矿	80.77	4.11	48.24
	给矿	100.00	6.88	100.00
1.2	粗精矿	22.90	17.84	60.79
	尾矿	77.10	3.42	39.21
	给矿	100.00	6.72	100.00
1.5	粗精矿	25.20	17.02	65.08
	尾矿	74.80	3.08	34.92
	给矿	100.00	6.59	100.00
1.7	粗精矿	30.50	14.09	65.81
	尾矿	69.50	3.21	34.19
	给矿	100.00	6.53	100.00

3.2.2 粗选转环转速试验

转环转速一方面直接影响设备处理能力,另一方面影响矿物在分选区停留的时间。磁感应强度 1.5 T,其他条件不变,进行了粗选转环转速试验,结果见表 5。从表 5 可以看出,随着转环转速提高,锰精矿产率及回收率都增加,锰精矿品位降低。转环转速小于 2.0 r/min 时,磁介质在分选区停留时间太长,在矿浆脉动作用下,微细粒级锰矿物大量损失在尾矿中。转环转速 2.5 r/min 时,可获得回收率 66.64%、TMn 品位 17.12%的锰精矿。

表 5 粗选转环转速试验结果

转环转速/ (r·min ⁻¹)	产品名称	产率/%	TMn 品位/%	回收率/%
1.5	粗精矿	15.32	18.88	42.04
	尾矿	84.68	4.71	57.96
	给矿	100.00	6.88	100.00
2.0	粗精矿	23.90	17.44	62.03
	尾矿	76.10	3.35	37.97
	给矿	100.00	6.72	100.00
2.5	粗精矿	25.65	17.12	66.64
	尾矿	74.35	2.96	33.36
	给矿	100.00	6.59	100.00
3.0	粗精矿	28.34	15.45	67.05
	尾矿	71.66	3.00	32.95
	给矿	100.00	6.53	100.00

3.2.3 粗选脉动冲次试验

锰矿性脆,易泥化,脉动机构对锰精矿品位及回收率影响很大。转环转速 2.5 r/min,其他条件不变,进行了粗选脉动冲次条件试验,结果见表 6。从表 6 可以看出,随着脉动冲次提高,锰精矿产率降低,锰精矿品位单调上升,锰精矿回收率先提高后降低。提高脉动冲次,增大了作用在弱磁性锰矿物上的竞争力,也增

表 6 粗选脉动冲次试验结果

脉动冲次/ (次·min ⁻¹)	产品名称	产率/%	TMn 品位/%	回收率/%
100	粗精矿	28.65	14.78	61.55
	尾矿	71.35	3.32	34.38
	给矿	100.00	6.60	95.93
150	粗精矿	25.38	17.08	64.51
	尾矿	74.62	3.04	33.71
	给矿	100.00	6.60	98.21
200	粗精矿	20.68	17.86	56.05
	尾矿	79.32	3.66	44.11
	给矿	100.00	6.60	100.15
250	粗精矿	13.56	18.65	38.73
	尾矿	86.44	4.71	62.34
	给矿	100.00	6.60	101.07

加了矿粒与磁介质碰撞的次数,精矿产率降低,在一定范围内精矿回收率提高。分选该锰矿适宜的脉动冲次为 150 次/min,此时可获得 TMn 品位 17.08%、回收率 64.51%的锰精矿。

3.2.4 半工业全流程试验

从条件试验结果来看,SLon-500 半工业试验与 SLon-100 实验室试验精矿品位还有一定差距,可能是因为 SLon-100 磁选机分选试验是在相对理想条件下进行的,特别是 SLon-100 磁选机分选时间要比 SLon-500 磁选机分选时间更长,能获得更高的精矿品位及回收率。半工业试验可采用一粗一扫、扫选精矿精选作业以保证锰精矿品位及回收率。

半工业全流程试验中,原矿先进行隔渣以防大颗粒矿物堵塞磁介质。主要技术参数为:粗选磁感应强度 1.5 T、磁介质 Φ2 mm、冲次 150 次/min、冲程 18 mm、转环转速 2.5 r/min;扫选磁感应强度 1.5 T、磁介质 Φ1.5 mm、冲次 150 次/min、冲程 18 mm、转环转速 3.0 r/min;扫选精矿再精选磁感应强度 1.5 T、磁介质 Φ2 mm、冲次 175 次/min、冲程 18 mm、转环转速 2.0 r/min。试验流程见图 1,结果见表 7。在原矿 TMn 品位 6.55%时,经 SLon-500 立环脉动高梯度磁选机一粗一扫、扫选精矿一次精选,获得了产率 34.21%、TMn 品位 16.77%、回收率 87.61%的锰精矿。

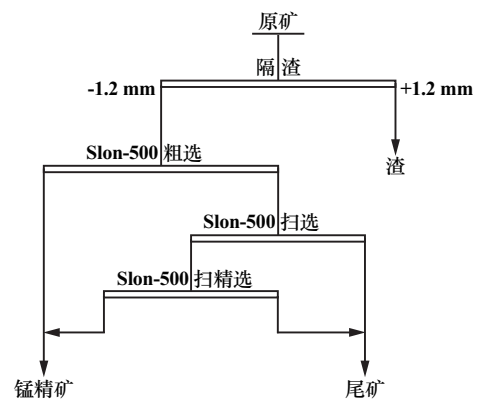


图 1 半工业全流程试验流程

表 7 SLon-500 半工业全流程试验结果

产品名称	产率/%	TMn 品位/%	回收率/%
锰精矿	34.21	16.77	87.61
尾矿	65.79	1.23	12.39
原矿	100.00	6.55	100.00

4 结 论

- 1) 云南盈江某低品位菱锰矿 Mn 含量为 6.72%, 锰 (下转第 84 页)

4 结 论

1) 通过沉降试验和浮选评价试验,筛选出絮凝剂 AX868 作为该选铅尾矿的絮凝剂,可显著提升矿浆沉降速率、降低溢流水浊度,对浮选指标影响较小。

2) 在 AX868 用量 20 g/t 情况下,矿浆的沉降效果可满足现场 36 m 浓密机的选型要求,该用量条件下所得溢流水回用于铅锌硫浮选系统,所得浮选指标与使用清水时指标相当。

参考文献:

- [1] 张去非. 絮凝剂的种类及其在尾矿沉降中的应用[J]. 金属矿山, 2008(6):69-72.
[2] 董艳红,陈代雄,周玉才,等. 复合絮凝剂在氧化铜矿选矿废水回

(上接第 76 页)

是具有回收价值的主要元素,有害元素 Fe、P 含量较高,对提高锰精矿产品质量有较大影响。原矿-0.019 mm 粒级含量超过了 50%,有效回收该粒级锰矿物是分选的关键。

2) SLon-500 立环脉动高梯度磁选机半工业试验结果表明,采用“一粗一扫、扫选精矿一次精选”的磁选流程,可以获得 TMn 品位 16.77%、回收率 87.61% 的综合锰精矿。高梯度磁选具有成本低、无污染等优势,是有效利用该锰矿石的适宜方法。

参考文献:

- [1] 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.

(上接第 79 页)

2) 采用脱磁-预先筛分分级-粗粒级再磨-磁选-细粒级磁选的分磨分选工艺,可使精矿 TFe 品位提高 3.19 个百分点、 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 含量降低 3.91 个百分点。

3) 钛铁矿(客晶)及镁铝尖晶石(客晶)以格片状、细脉状、条带状、网格状及针状镶嵌于钛磁铁矿基底,形成钛磁铁矿特有结构,造成了矿样中 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 难以深度脱除。

参考文献:

- [1] 黑色金属矿产资源强国战略研究专题组. 黑色金属矿产资源强国战略研究[M]. 北京:科学出版社, 2019.
[2] 《现代铁矿石选矿》编委会. 现代铁矿石选矿(上册)[M]. 北京:中国科学技术大学出版社, 2009.
[3] 陈福林,杨晓军,杨道广,等. 甘肃某低品位钒钛磁铁矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):64-68.

用中的应用[J]. 矿产综合利用, 2017(1):85-88.

- [3] 韩 瑞,吕宪俊,李 琳,等. 非离子絮凝剂对微细粒尾矿絮凝沉降的影响[J]. 中国矿业, 2016,25(5):97-101.
[4] 李巧双,程国柱,周明华,等. 某铜铁矿尾矿絮凝剂沉降试验研究及应用[J]. 铜业工程, 2022(2):39-41.
[5] 孙 浩,李茂林,崔 瑞,等. 无机-有机复合絮凝剂对某铅锌尾矿沉降效果的影响[J]. 矿冶工程, 2021,41(5):41-44.
[6] 党建东,陈 刚,阚忠辉,等. 沙溪铜矿全尾砂沉降性能及絮凝剂选型试验研究[J]. 中国矿业, 2021,30(S2):271-275.
[7] 陈建平,白 杨,张铁英,等. 加絮凝剂循环水对选矿指标影响试验研究[J]. 硅酸盐通报, 2014,33(4):806-810.
[8] 梁 效,王勇海,吴天骄,等. 无机和有机絮凝剂复配对铁尾矿沉降特性研究[J]. 金属矿山, 2020(11):129-133.

引用本文: 缪亚兵,薛 珂,赵文坡,等. 某铅锌矿选铅尾矿絮凝沉降及溢流水回用于浮选评价试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):80-84.

- [2] 杨永斌,吕 鹏,李 骞,等. 某高铁菱锰矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2017,37(2):68-70.
[3] 罗 娜,张国范,冯其明,等. 菱锰矿与方解石浮选行为及其机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(4):41-45.
[4] 杨 创,张 覃,李龙江,等. 贵州某低品位碳酸锰矿选矿提锰研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(3):58-66.
[5] 王 杨,伍成波,岳 林,等. 高磷菱锰矿焙烧-氨浸实验研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(5):100-103.
[6] 汤振宏,阚绍娟. 广西某高硫低品位碳酸锰矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(5):51-54.
[7] 陈文祥,邓 强,张周位,等. 贵州菱锰矿高梯度磁选过程中矿物结构及其磁性变化[J]. 矿冶工程, 2018,38(4):57-60.

引用本文: 谢美芳,熊 涛,黄会春,等. 云南盈江某低品位菱锰矿选矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):74-76.

- [4] 陈福林,杨晓军,蔡先炎,等. 攀西地区白马辉长岩型超低品位钒钛磁铁矿选铁试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):26-30.
[5] 朱骏士. 钒钛磁铁矿选矿及综合利用[J]. 金属矿山, 2000(1):1-11.
[6] 陈 超,张裕书,张少祥,等. 攀枝花铁精矿特性及提铁降杂试验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(3):57-60.
[7] 周 政,赵华伦,李兵荣,等. 红格某钒钛磁铁矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2018(1):32-35.
[8] 杜鹤桂. 高炉冶炼钒钛磁铁矿原理[M]. 北京:科学出版社, 1996.
[9] 马家源,孙希文,盛世雄. 钒钛磁铁矿高炉冶炼的强化[J]. 钢铁钒钛, 2000,35(1):1-12.
[10] 吕亚男. 钒钛磁铁矿固态还原剂高效利用研究[D]. 长沙:中南大学, 2009.

引用本文: 陈福林,文永才,王志杰,等. 攀西某钒钛铁精矿提质技术研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):77-79.