

贵州铜仁地区某低品位碳酸锰矿高梯度磁选试验研究^①

李帅¹, 唐云^{1,2}, 吴波¹, 朴海善¹, 聂光华^{1,2}, 杨勇^{1,2}, 邓政斌^{1,2}

(1. 贵州大学矿业学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省非金属矿产资源综合利用重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 贵州铜仁地区某低品位碳酸锰矿矿物组成复杂, 黏土矿物伊利石含量较高(19.30%), 为了更好地提高该类型锰矿资源的选矿指标, 对其开展了磁选试验研究。结果表明, 预先脱泥后通过球磨机磨矿, 在磨矿细度-75 μm 粒级占69.62%条件下, 采用一次粗选、两次扫选磁选流程, 最终可获得产率52.81%、锰品位和回收率分别为19.39%和83.66%的碳酸锰精矿。试验结果对实现铜仁地区电解锰渣源头减量排放具有重要意义。

关键词: 碳酸锰矿; 高梯度磁选; 矿泥; 预先脱泥; 锰精矿

中图分类号: TD924

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.015

文章编号: 0253-6099(2023)05-0066-04

Experimental Research on High Gradient Magnetic Separation of Low-Grade Manganese Carbonate Ore in Tongren of Guizhou

LI Shuai¹, TANG Yun^{1,2}, WU Bo¹, PIAO Haishan¹, NIE Guanghua^{1,2}, YANG Yong^{1,2}, DENG Zhengbin^{1,2}

(1. Mining College, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. Guizhou Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Non-Metallic Mineral Resources, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: A low-grade manganese carbonate ore in Tongren of Guizhou Province has complicated mineral compositions, with a higher content of clay mineral illite (19.30%). In order to improve the mineral dressing index of this type of manganese ore resources, magnetic separation experiments was performed for it by using a high gradient magnetic separator. In the experiment, the mineral after pre-desliming was ground by a ball mill to a grinding fineness of -75 μm 69.62%. Then, it was subjected to a magnetic separation process consisting of one roughing and two scavenging, resulting in the final manganese carbonate concentrate grading 19.39% Mn at 83.66% recovery, with yield of 52.81%. The experiment results are of great significance for reducing the discharge of electrolytic manganese slag in Tongren.

Key words: manganese carbonate; high gradient magnetic separation; slime; pre-desliming; manganese concentrate

随着锰用途多元化, 锰已成为高端装备制造、新能源电池、新材料等新兴战略产业的关键矿产资源, 锰的需求愈来愈大^[1-2]。贵州铜仁地区已探明碳酸锰矿资源储量高达7.08亿吨^[3], 大部分矿石锰品位在10%~20%之间, 属难选矿石^[4]。碳酸锰矿是电解锰行业的优质原料, 但碳酸锰矿中含有大量脉石矿物, 中低品位锰矿石直接电解会产生一定数量的锰渣, 给有限容量的渣库和环境造成很大压力^[5-7]。如果通过选矿抛除一部分脉石矿物, 可以为后端锰渣减量化排放奠定良好的基础^[8]。

为了锰资源的可持续发展, 加强低品位碳酸锰矿的选矿技术研发尤为重要。本文针对贵州铜仁地区某低品位矿石, 研究了原矿脱泥的可行性; 采用不同的磨矿方式考察了矿石泥化情况, 并在此基础上通过高梯度磁选机开展了磁选工艺流程试验研究。

1 矿石性质和试验方法

1.1 矿石性质

试样来源于贵州铜仁地区某低品位碳酸锰矿, 破碎筛分至-2 mm, 锥堆、混匀装袋, 供分析和磁选试验

① 收稿日期: 2023-03-11

基金项目: 贵州省省级科技计划(黔科合支撑[2022]一般047); 铜仁市科技计划(铜市科研[2021]14号); 贵州大学实验室开放项目(SYSKF2022-068)

作者简介: 李帅(1997—), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要研究方向为难选矿选矿技术及资源综合利用。

通信作者: 唐云(1971—), 女, 贵州大方人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为难选矿选矿技术及资源综合利用。

使用。原矿化学多元素分析结果见表1, 矿物组成见表2。矿石中主要有用元素为 Mn, 品位为 12.25%, 其中 Mn/Fe 比为 5.06, P/Mn 比为 0.013, (CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃) 比为 0.14, 根据《矿产地质勘查规范铁、锰、铬》(DZ/T 0200—2020) 中冶金用锰矿石的要求, 该矿石属于低品位中铁高磷酸性锰矿石。原矿中锰元素主要赋存于菱锰矿、锰白云石中, 铁主要以黄铁矿形式存在, 石英含量 26.40%、钠长石含量 9.60%, 影响选矿效果的黏土矿物主要是伊利石(19.30%)。菱锰矿属于弱磁性矿物^[9], 而脉石矿物中石英、伊利石分别属于抗磁性矿物^[10]和顺磁性矿物^[11]。因此, 通过强磁选工艺有望实现该低品位碳酸锰矿的富锰降杂抛尾。

表1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Mn	TFe	CaO	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃
12.25	2.42	4.03	2.60	4.69	8.94
SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI
39.30	2.06	0.97	0.36	0.34	19.49

表2 原矿矿物组成及含量分析结果(质量分数) %

菱锰矿	锰白云石	白云石	黄铁矿	石英	伊利石	钠长石	石膏
20.10	6.00	14.30	2.80	26.40	19.30	9.60	1.50

1.2 试验方法

取-2 mm 混合矿样 200 g 进行磨矿、筛析, 对比各个磨矿条件下-15 μm 粒级产品含量并测定 Mn 品位, 计算分布率, 用以表征矿石的泥化程度。矿浆浓度 20% 时采用 SLon-100 高梯度磁选机进行磁选, 试验完毕后, 对磁选产品抽滤、低温烘干、称量制样, 测定锰品位, 计算回收率。采用 Smart Lab 型 X 射线衍射仪(XRD) 进行定性及半定量分析。采用国标 GB/T 3714—2017《硫酸亚铁铵滴定法》分析碳酸锰矿中全锰含量。

2 试验结果与讨论

2.1 筛析试验

2.1.1 原矿筛析试验

通过筛析试验考察原矿(-2 mm) 粒度组成, 结果如表3所示。原矿各粒级中 Mn 品位和分布率差异明显, 锰主要分布在+125 μm 粒级(83.00%) 中, -38 μm 粒级中 Mn 品位小于 5.00%, 而+38 μm 粒级中 Mn 分布率高达 94.88%。表明锰矿石中含锰矿物主要分布在粗粒级中, -38 μm 粒级试样可以预先脱泥除去, 以避免原矿中矿泥对选矿的影响, 也可避免菱锰矿的泥化。

表3 -2 mm 原矿筛析试验结果

粒级/μm	产率/%	Mn 品位/%	分布率/%
+125	73.82	13.77	83.00
-125+75	8.04	11.77	7.72
-75+38	5.24	9.74	4.16
-38+15	4.20	4.86	1.67
-15	8.71	4.85	3.45

2.1.2 原矿磨矿-筛析试验

棒磨-筛析与球磨-筛析试验结果如表4所示。试样经过磨矿后各粒级中锰品位均在 9.79%~14.6% 之间, 随着磨矿时间增加, 各粒级中锰品位趋同, 说明菱锰矿性脆, 磨矿之后不能通过分级实现锰的富集; 而且随着磨矿时间增加, 矿石泥化程度也增加, 但是在粗磨条件下, 采用球磨磨矿方式能减轻矿石的泥化程度。综合考虑高梯度磁选机入料粒度和矿石泥化情况, 后续试验采用球磨方式磨矿。

表4 原矿磨矿-筛析试验结果

磨矿方式	磨矿时间/min	粒级/μm	产率/%	Mn 品位/%	分布率/%
棒磨	3	+75	35.80	14.26	41.67
		-75+38	15.91	12.42	16.13
		-38+15	14.29	10.52	12.28
		-15	34.00	10.78	29.92
	4	+75	29.19	13.33	31.78
		-75+38	16.43	13.45	18.04
		-38+15	17.67	11.64	16.79
		-15	36.71	11.14	33.39
	5	+75	12.08	12.52	12.34
		-75+38	18.52	12.49	18.87
		-38+15	27.22	12.73	28.29
		-15	42.18	11.76	40.50
球磨	3	+75	38.12	13.35	41.45
		-75+38	18.87	12.56	19.30
		-38+15	20.42	12.77	21.23
		-15	22.60	9.79	18.02
	4	+75	30.40	13.81	34.33
		-75+38	14.94	12.68	15.49
		-38+15	23.82	11.56	22.52
		-15	30.83	10.97	27.66
	5	+75	13.90	13.46	15.27
		-75+38	18.72	12.77	19.51
		-38+15	29.20	11.98	28.55
		-15	38.17	11.77	36.67

2.1.3 原矿脱泥-球磨-筛析试验

-2 mm 原矿筛析结果表明, -38 μm 粒级产率为 12.91%、锰含量小于 5% 且锰损失率仅为 5.12%, 因此后续作业预先脱泥(-38 μm), 以期减轻矿泥对磁选的影响。称取脱泥后的矿样 200 g, 在磨矿时间 5 min、磨矿浓度 66.7% 条件下进行球磨-筛析试验, 结果如表5

所示。磨矿产品中的-15 μm 粒级产率仅为 9.02%，锰在-15 μm 粒级中的分布率为 7.79%，表明通过预先脱泥-磨矿可有效控制次生矿泥的产生，可将磨矿产品中-15 μm 粒级矿泥含量控制在 10% 以下。预先脱泥不仅预先分离了部分黏土矿物，还降低了黏土矿物对碳酸锰矿泥化的影响，提高了矿石入选品位，减轻矿石泥化，有利于目的矿物的分离富集。

表 5 原矿脱泥-球磨-筛析试验结果

粒级/μm	产率/%	Mn 品位/%	分布率/%
+75	30.38	13.74	31.26
-75+38	43.86	13.64	44.82
-38+15	16.74	12.86	16.12
-15	9.02	11.53	7.79

2.2 磁选流程对比试验

采用“原矿脱泥-球磨-磁选”开展试验，预先脱泥(-38 μm)后的试样经球磨，在磨矿细度-75 μm 粒级占 69.62%、矿浆浓度 20%、水流脉动冲次 150 r/min 条件下，采用不同磁选流程优化锰精矿的选矿指标。

2.2.1 一粗一扫磁选

粗选和扫选磁场强度分别为 1.0 T 和 1.3 T 条件下的磁选试验流程如图 1 所示，结果见表 6。通过一粗一扫磁选，最终可获得锰品位和回收率分别为 19.95% 和 76.29% 的综合锰精矿(粗选精矿+扫选精矿)。为了提高综合回收率，可以通过提高扫选磁场强度或增设二段扫选作业回收矿泥和尾矿中的含锰矿物。

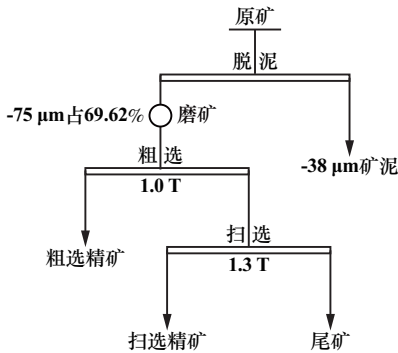


图 1 一粗一扫磁选试验流程

表 6 一粗一扫磁选试验结果

产品名称	产率/%	Mn 品位/%	Mn 回收率/%
粗选精矿	38.43	20.40	63.97
扫选精矿	8.45	17.87	12.32
综合锰精矿	46.88	19.95	76.29
-38 μm 矿泥	14.16	4.86	5.61
尾矿	38.96	5.69	18.10
原矿	100.00	12.26	100.00

2.2.2 一粗一精两扫磁选

一粗一精两扫磁选试验流程如图 2 所示，结果见表 7。其中-38 μm 粒级矿泥和一次扫选尾矿合并进行二次扫选，通过一粗一精两扫磁选，可获得品位 19.64%、回收率 80.76% 的综合锰精矿，证明增加扫选作业或提高扫选磁场强度能提高锰精矿中锰回收率。

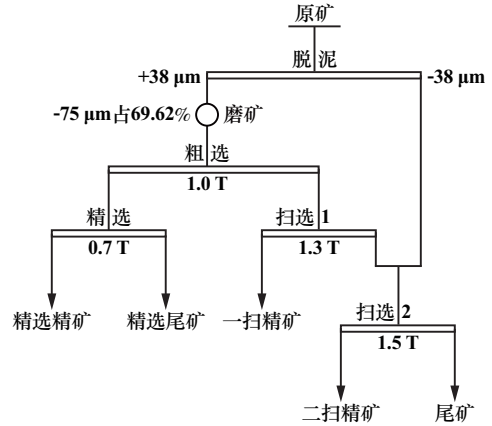


图 2 一粗一精两扫磁选试验流程

表 7 一粗一精两扫磁选试验结果

产品名称	产率/%	Mn 品位/%	Mn 回收率/%
精选精矿	20.66	23.58	39.56
精选尾矿	13.75	19.51	21.79
一扫精矿	7.67	17.01	10.59
二扫精矿	8.56	12.68	8.82
综合锰精矿	50.64	19.64	80.76
尾矿	49.36	4.80	19.24
原矿	100.00	12.32	100.00

2.2.3 一粗-(矿泥)扫选磁选

在一粗一精两扫磁选流程基础上，通过增加扫选磁场强度，以期提高扫选锰的回收率，将-38 μm 粒级矿泥和粗选尾矿合并进入扫选，粗选和扫选磁场强度分别为 1.0 T、1.5 T，磁选试验流程和结果分别如图 3 和表 8 所示。综合锰精矿中锰品位 19.92%、回收率 78.58%，由于取消了二次扫选，锰精矿中锰品位在 19.64%~19.95%

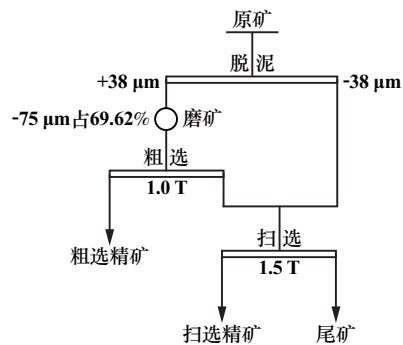


图 3 一粗-(矿泥)扫选磁选试验流程

表 8 一粗矿泥合并一扫磁选试验结果

产品名称	产率/%	Mn 品位/%	Mn 回收率/%
粗选精矿	33.94	22.21	60.09
扫选精矿	15.53	14.93	18.49
尾矿	50.53	5.32	21.42
原矿	100.00	12.55	100.00

之间,但回收率有所波动,矿泥(-38 μm)进入二次扫选回收率至少提升了 2.29 个百分点。

2.3 推荐流程

为了提高锰回收率,将矿泥(-38 μm)和一次扫选尾矿合并进行二次扫选,推荐流程如图 4 所示,一粗两扫磁场强度分别为 1.0 T、1.2 T 和 1.6 T,结果如表 9 所示。在保持锰精矿中锰品位前提下,推荐流程能将锰回收率提高至 83.66%。原矿预先脱泥不仅能有效减少磨矿作业的泥化,也能降低磨矿能耗及菱锰矿的泥化,有利于磁选作业中矿浆的分散。该流程能灵活获得不同品级的产品,经过原矿脱泥后进行一粗一扫磁选能够获得产率、锰品位和回收率分别为 43.14%、20.83% 和 73.40% 的锰精矿;通过原矿脱泥、一粗一扫、矿泥和一次扫选尾矿合并进行二次扫选,最终获得产率、锰品位和回收率分别为 52.81%、19.39% 和 83.66% 的锰精矿。通过合理配矿可得到质量符合 GB/T 3714—2017 碳酸锰矿一级品或二级品标准的锰精矿。

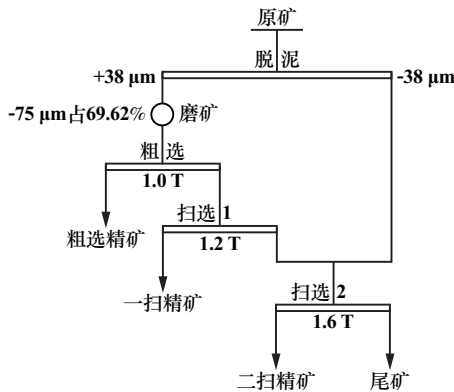


图 4 推荐流程

表 9 推荐流程试验结果

产品名称	产率/%	Mn 品位/%	Mn 回收率/%
粗选精矿	33.90	21.79	60.33
一次扫选精矿	9.24	17.32	13.07
二次扫选精矿	9.68	12.98	10.26
综合锰精矿	52.81	19.39	83.66
尾矿	47.19	4.24	16.34
原矿	100.00	12.24	100.00

3 结 论

1) 贵州铜仁地区某低品位碳酸锰矿含锰矿物主

要为菱锰矿(20.10%)、锰白云石(6.00%),含镁矿物主要为白云石(14.30%),含硅矿物为石英(26.40%)、伊利石(19.30%)和钠长石(9.60%),含铁矿物主要为黄铁矿(2.80%)。黏土矿物含量高,极易影响菱锰矿与杂质含镁矿物、含铁矿物的分离,同时也限制了碳酸锰精矿品位的提升空间。

2) 粒度组成分析结果表明,原矿预先脱泥有助于改善选矿指标,同时,含锰矿物主要赋存于+125 μm 粒级中,在粗磨条件下,大部分含锰矿物能够单体解离,采用强磁选能较好地分离弱磁性菱锰矿和非磁性脉石矿物。

3) 原矿脱泥(-38 μm)后采用球磨机磨矿,磨矿细度-75 μm 粒级占 69.62%,采用一粗两扫(一扫尾矿与-38 μm 粒级矿泥合并进入二次扫选)磁选,磁场强度分别为 1.0 T、1.2 T 和 1.6 T,最终可获得产率 52.81%、锰品位 19.39%、回收率 83.66% 的锰精矿。

参考文献:

- [1] TU Zhongbing, LIANG Xiaoping, WANG Yu, et al. Removal of phosphorus from high-phosphorus manganese ores by ammonia-ammonium carbonate leaching method[J]. Metals, 2019,9(12):1354-1364.
- [2] 李超群,田宗平,曹 健,等. 锰矿石在非冶金工业领域的应用[J]. 中国锰业, 2016,34(6):91-95.
- [3] 杨瑞东,高军波,徐 海,等. 贵州新元古代大塘坡期巨量锰矿成矿物质来源分析[J]. 地质学报, 2022,96(5):1815-1826.
- [4] 胡 平,谭中坚. 黔东南地区锰矿选冶方法进展及对我国锰资源安全供给的意义[J]. 贵州地质, 2018,35(4):389-392.
- [5] Maryam Sadeghi S, Carlos M H Ferreira, Helena M V M Soares. Evaluation of two-step processes for the selective recovery of Mn from a rich Mn residue[J]. Minerals Engineering, 2019,130:148-155.
- [6] 韩桂梅,周长波,王 璠,等. 电解锰行业清洁生产审核绩效评价分析[J]. 环境工程技术学报, 2018,8(6):686-694.
- [7] 何德军,舒建成,陈梦君,等. 电解锰渣建材资源化研究现状与展望[J]. 化工进展, 2020,39(10):4227-4237.
- [8] 任 辉,刘 敏,王自国,等. 我国锰矿资源及产业链安全保障问题研究[J]. 中国工程科学, 2022,24(3):20-28.
- [9] YUAN Shuai, WANG Ruofeng, GAO Peng, et al. Suspension magnetization roasting on waste ferromanganese ore: A semi-industrial test for efficient recycling of value minerals [J]. Powder Technology, 2022,396(PA):80-91.
- [10] Renjith A R, Manish A Mamtani, Janos L Urai. Fabric analysis of quartzites with negative magnetic susceptibility does AMS provide information of SPO or CPO of quartz[J]. Journal of Structural Geology, 2016,82:48-59.
- [11] Rolf H C Bruijn, Bjarne S G Almqvist, Ann M Hirt, et al. Decoupling of paramagnetic and ferrimagnetic AMS development during the experimental chemical compaction of illite shale powder[J]. Geophysical Journal International, 2012,192(3):975-985.

引用本文: 李 帅,唐 云,吴 波,等. 贵州铜仁地区某低品位碳酸锰矿高梯度磁选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):66-69.