



广西某氧化锰矿选矿试验研究

李勇，罗星，夏瑜

(中国有色桂林矿产地质研究院有限公司，广西 桂林 541004)

摘要：广西某氧化锰矿锰品位 20.69%，含锰矿物主要为软锰矿、硬锰矿，脉石矿物主要为石英，为确定矿石选矿工艺流程，进行了选矿试验。试验结果表明：原矿洗矿分级后，将 +0.9 mm 粒级净矿直接作为精矿，-0.9 mm 粒级磨矿至 -0.074 mm 30.46% 后，进行一次粗选和一次扫选的强磁选，最后将洗矿精矿和磁选精矿合并，获得了锰品位 28.90%、锰回收率 90.71% 的合并锰精矿。选矿工艺流程较简单，选矿指标较好。

关键词：氧化锰矿；洗矿；磁选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.002

中图分类号：TD923; TD94 文献标志码：A 文章编号：1000-6532 (2020) 05-0058-05

锰矿石及其深加工产品已经广泛应用于国民经济各个领域，是冶金及许多工业部门不可缺少的重要原料^[1]。我国锰矿主要分布在广西、湖南、福建、贵州、四川、云南等省区^[2]，锰矿石的类型以碳酸锰矿为主，约占总储量的 73%^[3]，经过多年开发，碳酸锰矿资源尤其是优质碳酸锰矿资源已严重短缺，因此，研究如何利用我国丰富的氧化

锰矿资源，其战略意义十分重要^[4]。广西某氧化锰矿风化严重，含泥量大，锰品位平均为 21.4%，磷、铁、硅等杂质含量较高，虽然探明的锰矿资源相对较多，但资源质量缺陷明显^[5]。

1 矿石性质

1.1 原矿多元素分析

矿石的化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%

Table 1 Chemical multi-element analysis results of the raw ore

Mn	Fe	Ba	Zn	Ni	Cr	Co	S	As	P	Pb	Cu	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Au [*]
20.69	4.76	0.56	0.31	0.12	0.07	0.04	0.18	0.008	0.048	0.005	0.015	0.87	1.31	1.51	35.41	0.52	0.022

* 单位为 g/t。

由表 1 可知，原矿 Mn 含量 20.69%，Fe 含量 4.76，Mn/Fe=4.35>1，根据锰铁含量比，确定该矿石为锰矿石，主要有价元素为 Mn。

1.2 原矿锰物相分析

原矿锰的化学物相分析结果见表 2。

由表 2 可知，原矿锰物相主要为氧化锰中锰，占 93.04%，其余为碳酸锰和硅酸锰中锰。

表 2 原矿锰物相分析结果

Table 2 Manganese phase analysis results of the raw ore

物相名称	氧化锰中锰	碳酸锰中锰	硅酸锰中锰	总锰
含量 /%	19.25	1.23	0.21	20.69
分布率 /%	93.04	5.94	1.01	100.00

1.3 矿石的矿物组成

选取一些有代表性的块矿样品磨制多个光 /

收稿日期：2020-04-13；改回日期：2020-5-15
作者简介：李勇(1986-)，男，工程师，硕士，

薄片，在显微镜下鉴定。显微镜下可见矿石为不等粒变晶结构，脉石矿物主要为石英，少量粘土矿物；矿石矿物主要为软锰矿、硬锰矿，微量褐铁矿。矿石以锰矿化为主，光学显微镜透射单偏光下见锰矿化为黄褐色 - 黑色，反射单偏光下锰矿化则为黄白色、灰蓝色。矿石主要为网脉状构造，也可见微细脉状、不规则尖角状、浸染状、纤维状构造。矿石矿物以细粒结晶结构为主，接触关系以侵蚀交代、充填交代、交代残余结构为主。

软锰矿：光学显微镜反射光下显较高反射率，中等硬度，不易磨光。淡黄色，见黄白 - 灰白多色性，无内反射色，强非均质性（蓝绿色 - 棕红色）。晶体以自形针柱状为主，集合体可呈束状、放射状产出。矿石中主要以脉状、网脉状产出，也见浸染状构造。粒径 0.01 ~ 0.05 mm。含量约占金属矿物 65%。

硬锰矿：光学显微镜反射光下显中低反射率，低硬度，易磨光。反射色为灰蓝色，强非均质性（灰白 - 深灰色）。他形粒状 ~ 胶状产出，纤维状、放射状集合体。与软锰矿密切共生，常不完全交代软锰矿呈交代残余结构。纤维状、脉状产出，局部呈团粒状与自形软锰矿密切共生，内部普遍发育裂纹。粒径：隐晶质 ~0.01 mm。含量约占金属矿物 35%。

褐铁矿：光学显微镜反射光下显低反射率，较高硬度，易磨光。反射色为灰蓝色，弱非均质性（灰白 - 深灰色）。他形粒状，显示中分散分布，粒径 0.01 ~ 0.05 mm，微量。

石英：矿石中主要脉石矿物。光学显微镜透射光下为无色，晶面浑浊，晶体发育大量包裹体；正低突起，I 级白色干涉色，不均匀消光为主；他形粒状，颗粒边界弯曲模糊，颗粒之间紧密镶嵌分布，粒径集中于 0.01 ~ 0.03 mm。在矿化脉壁可见垂直脉壁发育的自形柱状石英，粒径可达 0.08 mm。

含量约占脉石矿物 97%。

粘土矿物：无色，隐晶质 ~ 微晶结构。正交偏光下为 I 级暗灰干涉色。不均匀分散分布。含量占脉石矿物土 3%。

1.4 影响锰回收的矿物学因素

矿石中锰品位相对较高，主要为软锰矿和硬锰矿，为氧化锰矿石，虽然矿物成分较为简单，但是嵌布粒度较细，嵌布关系较复杂，碎矿和磨矿过程中容易泥化，不利于选矿的回收，需要严格控制选矿过程的矿石粒度。

2 结果与讨论

风化型氧化锰矿含大量矿泥和粉矿，生产上多采用洗矿 - 重选工艺，洗矿溢流有时需要采用重选或强磁选等方法进一步回收锰^[6]。

2.1 洗矿试验

洗矿是传统的选矿方法之一，洗矿作业常与筛分相伴，常见方法有在振动筛上直接冲水清洗原矿，或洗矿后的矿砂（净矿）送振动筛筛分等^[4]。洗矿的目的是通过抛弃锰矿的矿泥，从而达到富集锰的目的，也是考查粗颗粒净矿需不需要进行重选或磁选的技术依据，如果通过洗矿能实现富集部分锰精矿，则可以降低其他选矿作业需要处理的矿石量，从而降低选矿成本。

2.1.1 原矿粒度筛析试验

在洗矿前，对原矿进行筛析（干筛），确定锰在各粒级分布情况，筛析结果见表 3。

表 3 原矿粒度筛析结果

Table 3 Particle size sieve analysis results of the raw ore

粒级 /mm	产率 /%	Mn 含量 /%	Mn 分布率 /%
+2	11.91	24.44	14.07
-2+0.9	26.00	24.10	30.28
-0.9+0.6	12.35	19.01	11.34
-0.6+0.38	14.04	19.42	13.18
-0.38+0.12	12.06	18.08	10.54
-0.12+0.074	12.84	18.55	11.51
-0.074	10.80	17.42	9.09
合计	100.00	20.69	100.00

由表 3 可知，+0.9 mm 粒级锰有一定的富集，品位相对较高，达到 24.21%，分布率为 44.35%。

2.1.2 原矿洗矿分级试验

将原矿在筛孔尺寸 0.9 mm 的滚筒筛中进行冲洗。通过洗矿分级可以获得产率 32.10%、锰品位 26.79%、锰回收率 41.56% 的 +0.9 mm 粒级净矿。-0.9 mm 粒级物料锰回收率 58.43%，需进行下一步的选矿回收。

2.2 重选试验

该矿石从矿物组成及主要目的矿物与脉石矿物的密度差异分析，属重选较易选矿石，但是根据岩矿鉴定结果，可知目的矿物嵌布粒度较细，影响重选分选效果。为验证重选效果，进行摇床选矿试验，试验流程见图 1，试验结果见表 4。

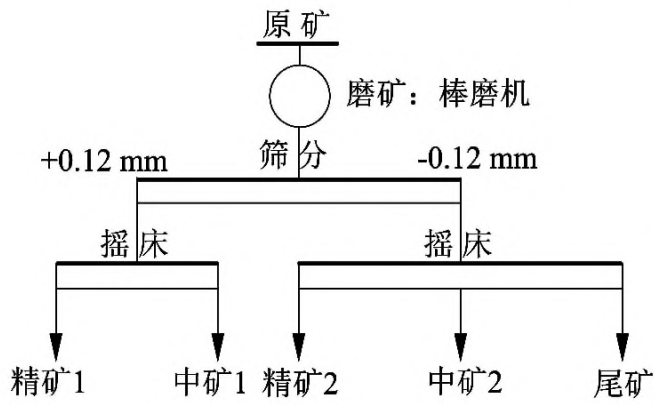


图 1 重选试验工艺流程

Fig. 1 Process chart of gravity separation test

表 4 重选试验结果

Table 4 Results of gravity separation test

产品名称	产率 /%	Mn 含量 /%	Mn 回收率 /%
精矿 1	25.66	25.68	36.99
中矿 1	28.11	14.21	22.43
精矿 2	10.23	24.54	14.10
中矿 2	13.93	13.79	10.79
尾矿	22.08	12.65	15.69
合计	100.00	17.81	100.00
摇床精矿	35.88	25.35	51.09
摇床中矿	42.04	14.07	33.22
摇床尾矿	22.08	12.65	15.69

由表 4 可知，摇床选矿有一定的效果，+0.12 mm 粒级摇床精矿锰品位可达 25.68%，-0.12 mm 粒级摇床精矿锰品位可达 24.54%，合并的重选精矿锰品位 25.35%，锰回收率 51.09%。

重选虽然有一定的效果，但是效果不理想，

虽然使原矿得到一定的富集，获得部分精矿，但是因为中矿和尾矿的锰回收率合计达将近 50%，直接丢弃将导致整体回收率低。

2.3 磁选试验

主要目的矿物软锰矿和硬锰矿为弱磁性矿物，主要脉石矿物石英和粘土矿物为非磁性矿物，可通过强磁选将目的矿物与脉石矿物分离。

将原矿洗矿分级后 -0.9 mm 粒级物料经棒磨机磨矿后，进行一次磁选粗选和磁选扫选作业，磁选试验工艺流程见图 2。

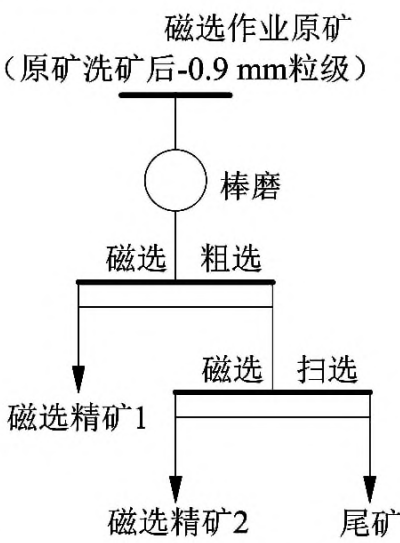


图 2 磁选试验工艺流程

Fig. 2 Process chart of magnetic separation test

2.3.1 磨矿细度试验

磁选作业原矿在不同磨矿细度下，进行一次磁选粗选，磁感应强度 0.7 T，获得精矿和尾矿，根据精矿指标确定较佳磨矿细度，试验结果见表 5。

表 5 磨矿细度试验结果

Table 5 Results of grinding fineness test

磨矿细度 -0.074 mm /%	产品 名称	产率 /%	Mn 品位 /%	Mn 回收率 /%
18.50	精矿	33.11	28.54	53.08
	尾矿	66.89	12.49	46.92
	原矿	100.00	17.80	100.00
30.46	精矿	33.16	31.80	59.21
	尾矿	66.84	10.87	40.79
	原矿	100.00	17.81	100.00
50.79	精矿	31.85	28.27	50.54
	尾矿	68.15	12.93	49.46
	原矿	100.00	17.82	100.00
80.14	精矿	32.76	24.50	45.12
	尾矿	67.24	14.52	54.88
	原矿	100.00	17.79	100.00

由表 5 可知，磨矿细度 -0.074 mm 30.46% 时，精矿锰品位 31.80%，锰回收率 59.21%，因此，确定较佳磨矿细度为 -0.074 mm 30.46%。

2.3.2 粗选磁感应强度试验

在较佳磨矿细度 -0.074 mm 30.46% 的条件下，在不同磁感应强度下，进行一次磁选粗选，获得精矿和尾矿，根据精矿指标确定较佳粗选磁感应强度，试验结果见表 6。

表 6 粗选磁感应强度试验结果
Table 6 Results of roughing magnetic induction test

磁感应强度 /T	产品名称	产率 /%	Mn 品位 /%	Mn 回收率 /%
0.5	精矿	35.35	21.70	43.09
	尾矿	64.65	15.67	56.91
	原矿	100.00	17.80	100.00
0.7	精矿	33.16	31.80	59.21
	尾矿	66.84	10.87	40.79
	原矿	100.00	17.81	100.00
0.9	精矿	39.01	32.20	70.66
	尾矿	60.99	8.55	29.34
	原矿	100.00	17.78	100.00
1.1	精矿	38.89	31.67	69.18
	尾矿	61.11	8.98	30.82
	原矿	100.00	17.80	100.00

由表 6 可知，随着磁感应强度增加，精矿锰品位和回收率均增加，在磁感应强度 0.9 T 的条件下可以获得较佳的结果：精矿锰品位 32.20%，锰回收率 70.66%。继续增加磁感应强度至 1.1 T，精矿指标变化不大。因此，确定较佳粗选磁感应场强度为 0.9 T。

2.3.3 扫选试验

在磨矿细度 -0.074 mm 30.46% 和粗选磁感应强度条件 0.9 T 条件下，进行一次磁选扫选试验，磁选扫选磁感应强度 0.9 T，试验结果见表 7。

表 7 磁选扫选试验结果
Table 7 Results of scavenging magnetic separation test

产品名称	产率 /%	Mn 品位 /%	Mn 回收率 /%
磁选精矿 1	39.02	32.24	70.62
磁选精矿 2	9.27	25.77	13.41
尾矿	51.71	5.50	15.97
原矿	100.00	17.81	100.00
合并精矿	48.29	31.00	84.03

由表 7 可知，磁选扫选精矿锰品位 25.77%，锰回收率 13.41%，磁选扫选尾矿锰品位 5.50%，锰回收率 15.97%，扫选效果较好。

2.4 全流程验证试验

根据前述各作业的试验结果，确定该锰矿较佳选矿工艺流程为：原矿洗矿分级后，将洗矿后 +0.9 mm 粒级净矿直接作为精矿，-0.9 mm 粒级物料采用棒磨机磨矿至 -0.074 mm 30.46%，进行一次粗选和一次扫选的强磁选，磁感应强度均为 0.9 T，分别获得磁选精矿 1、磁选精矿 2 和尾矿，最后将洗矿精矿和磁选粗选和扫选的精矿合并，作为最终的精矿产品。

根据上述较佳工艺流程进行全流程验证试验，试验工艺流程见图 3，试验结果见表 8。

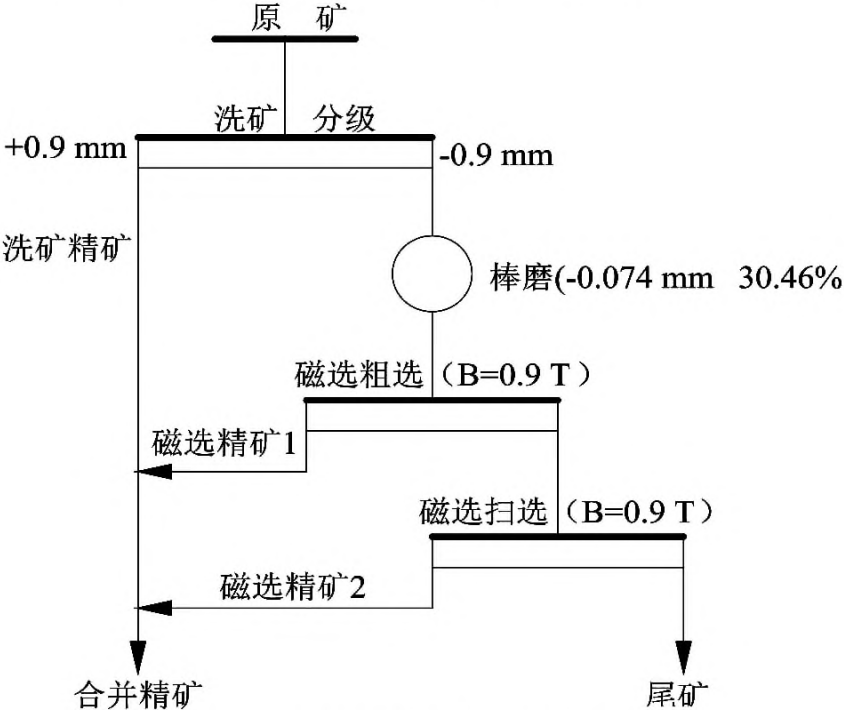


图 3 全流程验证试验工艺流程
Fig. 3 Process chart of full flow verification test

表 8 全流程验证试验结果
Table 8 Results of full flow verification test

产品名称	产率 /%	Mn 品位 /%	Mn 回收率 /%
洗矿精矿	32.15	26.76	41.59
磁选精矿 1	26.48	32.25	41.28
磁选精矿 2	6.29	25.78	7.84
尾矿	35.09	5.48	9.29
合并精矿	64.91	28.90	90.71
原矿	100.00	20.69	100.00

由表 8 可知，全流程验证试验结果为：合并精矿产率 64.91%、锰品位 28.90%、Mn 回收率

90.71%；尾矿产率 35.09%、锰品位 5.48%、锰回收率 9.29%。

经过对合并精矿进行质量分析，合并精矿 Fe 含量 5.52%、P 含量 0.036%、S 含量 0.06%，即合并精矿 $Mn/Fe=5.24$ ， $P/Mn=0.00125$ ， $S/Mn=0.0021$ ，达到 AMn30 II 类锰精矿要求。

3 结 论

(1) 该锰矿石中，Mn 含量 20.69%，氧化锰占 93.04%，其余为碳酸锰及硅酸锰中锰；矿石目的矿物主要为软锰矿、硬锰矿，微量褐铁矿；脉石矿物主要为石英，少量粘土矿物；虽然矿物成分较简单，但是嵌布粒度较细，嵌布关系较复杂，碎矿和磨矿过程中容易泥化，不利于选矿的回收。

(2) 原矿洗矿分级后，将洗矿后 +0.9 mm 粒级净矿直接作为精矿，-0.9 mm 粒级物料采用棒磨机磨矿至 -0.074 mm 30.46%，进行一次粗选和一次扫选的强磁选，磁感应强度均为 0.9 T，分别获得磁选精矿 1、磁选精矿 2 和尾矿，最后将洗矿精矿和磁选精矿合并，作为最终的精矿产品，合并精矿产率 64.91%、锰品位 28.90%、锰回收率 90.71%。

参考文献：

[1] 张涇生, 周光华. 我国锰矿资源及选矿进展评述 [J]. 中国锰业, 2006(1):1-5.

Zhang J S, Zhou G H. Review of manganese ore resources and mineral processing progress in China [J]. China Manganese Industry, 2006(1):1-5.

[2] 张去非. 国内外锰矿选矿工艺概述 [J]. 中国矿山工程, 2004(6):16-18.

Zhang Q F. Overview of manganese ore processing technology at home and abroad [J]. China Mining Engineering, 2004(6):16-18.

[3] 朱昌洛, 沈明伟. 低品位碳酸锰矿的选矿技术现状及进展 [J]. 矿产综合利用, 2010(5):30-33.

Zhu C L, Shen M W. Status and Progress of mineral processing technology for low-grade manganese carbonate [J]. Mineral Comprehensive Utilization, 2010(5):30-33.

[4] 张风平, 徐本军. 我国氧化锰矿石选矿工艺研究现状 [J]. 湿法冶金, 2014, 33(2):79-81.

Zhang F P, Xu B J. Research status of manganese oxide ore dressing process in China [J]. Hydrometallurgy, 2014, 33(2):79-81.

[5] 万维华, 贾艳桦, 农韦健, 等. 浅析广西区锰矿资源的综合利用 [J]. 大众科技, 2013, 15(2):46-48.

Wan W H, Jia Y H, Nong W J, et al. A brief analysis on the comprehensive utilization of manganese ore resources in guangxi region [J]. Dazhong science and technology, 2013, 15(2):46-48.

[6] 陈铮, 刘夏明, 曹健, 等. 某低品位氧化锰矿选矿试验 [J]. 现代矿业, 2015, 31(2):51-53+57.

Chen Z, Liu X M, Cao J, et al. Ore dressing test of a low-grade manganese oxide mine [J]. Modern mining, 2015, 31(2):51-53 + 57.

Experimental Research on Mineral Processing of a Manganese oxide Ore in Guangxi

Li Yong, Luo Xing, Xia Yu

(China Nonferrous Guilin Mineral Geology Research Institute Co., Ltd., Guilin, Guangxi, China)

Abstract: The manganese grade of a manganese oxide ore in Guangxi is 20.69%, the manganese-bearing minerals are mainly pyrolusite and psilomelane, and the gangue minerals are mainly quartz. In order to determine the mineral process flowsheet of the ore, a mineral processing test was performed. The test results show that after ore washing and classification of the raw ore, the net ore of +0.9 mm grain size was directly used as concentrate, the ore of -0.9 mm grinding to -0.074 mm accounted for 30.46%, high intensity magnetic separation of once roughing and once scavenging are made, at last, the washing concentrate and the magnetic separation concentrate are combined. The combined manganese concentrate with a manganese grade of 28.90% and a manganese recovery rate of 90.71% can be obtained. The mineral processing flowsheet is simple, and the mineral processing index is good.

Keywords: Manganese oxide Ore; Ore washing; Magnetic separation