

四川某铁矿铁精矿制备超级铁精矿实验

陈宏凯¹, 杜新², 周政³

(1. 四川锦宁矿业有限公司, 四川 凉山 615000; 2. 四川西冶检测科技有限公司, 四川 成都 611743; 3. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 对四川某铁矿铁精矿进行超级铁精矿选别实验研究, 原料中 TFe 品位 65.50%, 主要的脉石成分为 SiO₂, 品位为 4.82%, 有害元素 S、P 含量较低, 磁性铁占有率 98.74%, 其他物相的铁元素含量很低, 且基本不具有磁性, 通过继续磨矿-磁选, 可提升磁性铁占有率, 进而提升铁精矿纯度。实验采用“预先筛分-磨矿分级-磁选-反浮选”的选别工艺制备超级铁精矿, 在筛分尺寸 0.074 mm, 以纳米陶瓷球为磨矿介质, 磨矿粒度 -0.038 mm 90%, 反浮选阳离子捕收剂分段添加量 (100+50+50) g/t, 玉米淀粉 600 g/t 的条件下可获得产率 24.23%, 可获得铁品位 71.71%, SiO₂ 含量 0.16%, 酸不溶物 0.16% 的超级铁精矿。该工艺磨矿能耗低, 药剂制度简单, 药剂绿色高效, 流程合理, 可行性高, 同时全流程实验生产的副产品铁精矿产率 72.25%, 品位 65.47%, 可作为优质铁精矿销售。

关键词: 超级铁精矿; 预先筛分; 磁选; 反浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.06.025

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 06-0150-05

超级铁精矿是指铁品位高于 71.5%, 二氧化硅及其他杂质 (酸不溶物) 含量小于 0.2% 的磁铁精矿, 主要应用于粉末冶金、磁性材料等领域, 原矿中铁矿物的结晶粒度、脉石矿物种类、铁矿物和脉石矿物的共生和镶嵌关系等矿物学基因特性, 决定原矿是否具有制备超级铁精矿的可能性^[1-3]。随着粉末冶金产品在工业生产中的广泛应用, 优质超级铁精矿的需求量不断增加, 故需加强、加快超级铁精矿制备技术的研究与开发, 提高超级铁矿的产品性能和生产规模, 以满足粉末冶金领域需求。

1 实验原料

1.1 原矿多元素分析

对其进行化学多元素分析, 分析结果见表 1, 铁物相分析结果见表 2。

从表 1、2 可以看出, 原料中 TFe 品位 65.50%, 主要的脉石成分为 SiO₂, 品位为 4.82%。有害元素 S、P 含量较低, 分别为 0.03% 和 0.10%。该实验原料为阶段磨矿-阶段弱磁选所得的磁铁精矿, 铁物相分析结果表明, 磁性铁占有率 98.74%,

其他物相的铁元素含量很低, 且基本不具有磁性, 通过继续磨矿-磁选, 可提升磁性铁占有率, 进而提升铁精矿纯度。

表 1 原矿多元素分析结果/%

TFe	P	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃
65.50	0.10	0.03	4.82	0.45

表 2 铁物相分析结果/%

名称	磁性铁	赤、褐铁矿	硅酸铁	碳酸铁	硫化铁	合计
含量/%	64.43	0.35	0.36	0.05	0.06	65.25
占有率/%	98.74	0.54	0.55	0.08	0.09	100.00

1.2 粒度特性分析

为考查原料中目的矿物在各粒级中的组成及含量分布情况, 对原料进行了粒度组成分析, 结果见表 3。从表中数据可以看出, 随着粒度的变细, 有用矿物的含量也逐渐变高, 其中+0.074 mm 粒级 TFe 品位为 62.32%, -0.038 mm TFe 粒级品位为 69.41%, 均未达到超级铁精矿对 TFe 品位的要求。铁矿物主要分布在+0.074 mm 粒级和

收稿日期: 2020-06-17

作者简介: 陈宏凯 (1972-), 男, 工程师, 研究方向为矿物加工工程。

-0.038 mm 粒级，粒度差别较大，分布率分别为 34.93% 和 30.16%。

表3 原料粒度组成分析结果

粒级/mm	产率/%	TFe品位/%	金属分布率/%
+0.074	36.72	62.32	34.93
-0.074+0.043	24.86	64.68	24.55
-0.043+0.038	9.96	68.12	10.36
-0.038	28.46	69.41	30.16
原料	100.00	65.50	100.00

2 选矿实验

原料中粗粒级 TFe 品位较低，表明粗粒级中连生体含量多。若精矿进行全粒级磨矿选别，粗粒级磨矿选别将会增设备投资、提升磨矿和精选成本。现场建议对铁精矿进行高频细筛或旋流器进行分级，粗粒级产品作为铁精矿销售，细粒级产品作为制备超级铁精矿的原料，实验室采用 0.074 mm 筛分分级，筛上粗粒级 TFe 品位为 62.32%，回收率 34.94%，作为铁精矿销售；筛下细粒级 TFe 品位为 67.34%，回收率 65.06%，采用磨矿-磁选-反浮选工艺制备超级铁精矿生产的原料。这样可以减少超级铁精矿生产过程中的磨机处理量，提高了超级铁精矿原料的 TFe 品位，有利于获得高品质的超级铁精矿。

2.1 磨矿-弱磁选实验

使用“陶瓷球塔磨-磁滚筒粗选-磁选柱精选”进行实验。陶瓷球塔磨是东北大学朝阳东大矿冶研究院针对磨矿能耗高、介质消耗大的问题创造性的研究开发了非铁介质（纳米陶瓷球）与新型专用搅拌磨机的优化组合技术，该新型绿色磨矿技术具有大幅度节能，磨机电耗比普通塔磨机（研磨介质为钢球）节约 30% 以上，球耗大幅节约，补加球球耗成本可节约 50% 以上，延长磨机使用寿命，提高磨机的作业率，磨机轴瓦等部件的使用寿命可提高 50% 以上，避免铁离子对选矿的影响等优点^[4]。磁选柱为重力与磁力复合力的分选设施，在磁选柱内矿物颗粒可以分散充分，打破“磁团聚”，上升水流可冲散并携带低品位的脉石颗粒从溢流口排出，对于高品位的铁精矿获得效果极为显著。实验流程见图 1，实验结果见表 4。

从表 4 可知，随着磨矿细度的提升，精矿的

品位随之提升，回收率随之降低，但是磨矿细度超过 -0.038 mm 80% 以后，尾矿 1 品位和产率大幅提升，精矿的产率和回收率较大幅度下降。考虑到细磨能耗高、微细颗粒磁选尾矿高、回收率低、后续反浮选不宜过细等问题，确定磨矿细度为 -0.038 mm 90%。

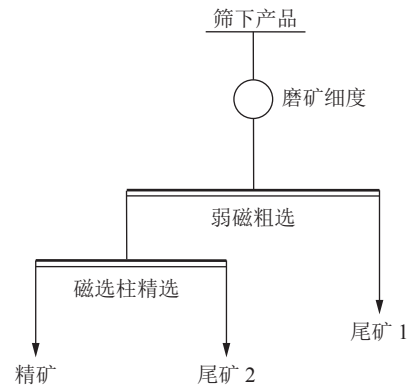


图 1 “磨矿-磁选”实验流程
Fig.1 “Grinding-magnetic separation” test flow

表 4 “磨矿-磁选”实验结果/%
Table 4 Test result of “grinding-magnetic separation”

磨矿细度	名称	产率/%	品位/%	回收率/%
-0.043 mm 90%	精矿	96.43	68.84	98.58
	尾矿 1	2.62	20.65	0.80
	尾矿 2	0.95	44.24	0.62
-0.038 mm 90%	给矿	100.00	67.34	100.00
	精矿	92.32	70.36	96.34
	尾矿 1	5.56	23.43	1.93
-0.0308 mm 80%	尾矿 2	2.12	55.03	1.73
	给矿	100.00	67.43	100.00
	精矿	90.01	71.02	94.81
-0.0308 mm 95%	尾矿 1	7.32	25.72	2.79
	尾矿 2	2.67	60.65	2.40
	给矿	100.00	67.43	100.00
-0.0308 mm 95%	精矿	88.63	71.09	93.51
	尾矿 1	8.11	29.42	3.54
	尾矿 2	3.26	61.03	2.95
	给矿	100.00	67.38	100.00

2.2 反浮选实验

目前我国铁矿反浮选多用阴离子捕收剂进行分选，近几年我国的选矿工作者主要对脂肪酸、石油磺酸盐类进行改性和混合用药，使其选择性明显提高，捕收能力增强^[5]。阳离子反浮选药剂制度简单，捕收剂主要是胺类捕收剂，主要以十二碳脂肪胺和混合胺为主，但十二胺泡沫量大、粘，影响后续处理且选择性差较差^[6]。本实验采用东北大学研制的新型阳离子捕收剂，泡沫清爽且捕收性能优越，采用廉价的玉米淀粉为抑制剂对磁选精

矿使用浮选，进一步脱除磁选未脱除的脉石矿物，采用一粗两精的开路实验流程，经过条件实验研究，开路浮选实验流程见图 2，实验结果见表 5。

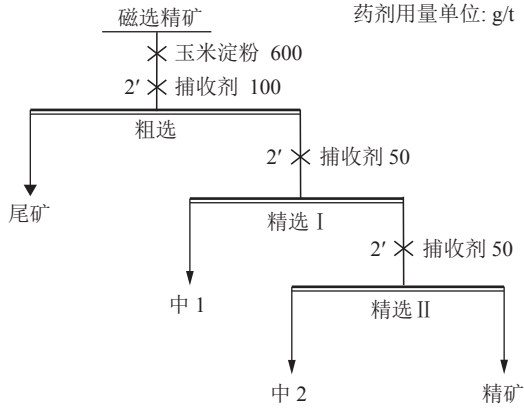


图 2 反浮选开路实验流程
Fig.2 Reverse flotation test open-circuit flow

由实验结果可知，采用阳离子反浮选工艺对磁选铁精矿进一步提铁降硅，可获得精矿产率 41.48%，精矿品位 71.71% 的超级铁精矿产品，铁精矿品位

提高到 71.5% 以上，达到超级铁精矿对于 TFe 的要求。浮选尾矿品位较高，可作为铁精矿销售。

表 5 反浮选开路实验实验结果

产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
铁精矿	41.48	71.71	42.31
中 2	14.40	70.08	14.35
中 1	16.34	69.95	16.25
尾矿	27.78	68.58	27.09
原矿	100.00	70.32	100.00

2.3 全流程实验

根据反浮选开路实验和磨矿磁选实验结果，对原矿进行预先分级，筛孔尺寸 0.074 mm，筛下产品进入陶瓷球塔磨机进行闭路磨矿分级，磨矿细度为 -0.038 mm 90% 以上，磨矿产品进入磁辊筒粗选和磁选柱精选后，精矿进入连续浮选机进行一粗两精开路浮选，扩大连选实验数质量流程见图 3，超级铁精矿多元素分解结果见表 6。

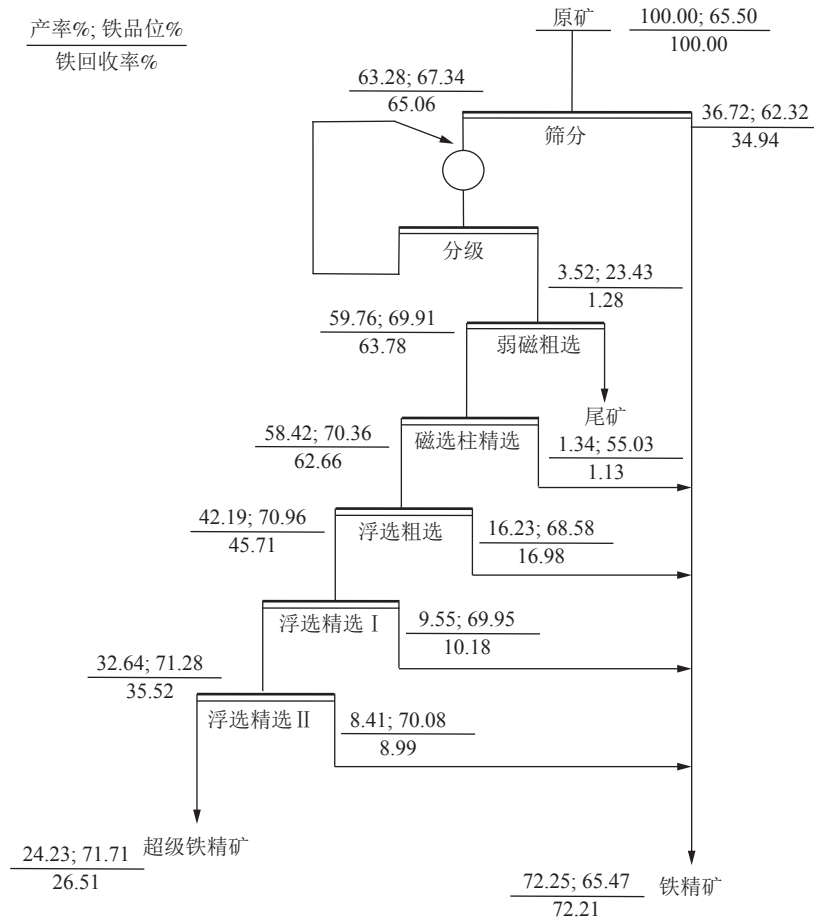


图 3 扩大连选实验数质量流程
Fig.3 Quantity and quality process of expanded selection test

表6 超级铁精矿多元素分析结果/%
Table 6 Chemical analysis results of super-grade iron concentrate

Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
71.71	0.16	0.15	0.036	0.057	0.002	0.001
S	P	MnO	ZnO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	酸不溶物
0.012	0.003	0.09	0.02	0.008	0.019	0.16

由实验结果可知，“预先筛分-磨矿分级-磁选-浮选”的超级铁精矿选别工艺，可以获得产率24.23%，铁品位71.71%，SiO₂含量0.16%，酸不溶物0.16%的超级铁精矿。同时，铁精矿产品品位为65.47%，可作为铁精矿销售。

3 结论

(1) 原料中TFe品位65.50%，主要的脉石成分为SiO₂，品位为4.82%。有害元素S、P含量较低，分别为0.03%和0.10%。磁性铁占有率98.74%。

(2) 采用“预先筛分-磨矿分级-磁选-反浮选”的铁精矿分选流程，在筛分尺寸0.074 mm，磨矿粒度-0.038 mm 90%，反浮选阳离子捕收剂分段添加量(100+50+50) g/t，玉米淀粉600 g/t的条件下获得产率24.23%，铁品位71.71%，SiO₂含量0.16%，酸不溶物0.16%的超级铁精矿。

(3) 该工艺药剂制度简单，可行性高，全流程实验生产的副产品铁精矿产率72.25%，品位65.47%，可作为优质铁精矿销售。

参考文献：

[1] 李凤久, 尚新月, 李国峰, 等. 河北某铁矿铁精矿制备超级

铁精矿试验[J]. *矿产综合利用*, 2019(6):33-36.

LI F J, SHANG X Y, LI G F, et al. Experimental study on preparation of the super iron concentrate from an iron concentrate of an iron mine in Hebei Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(6):33-36.

[2] 李艳军, 袁志涛, 韩跃新. 高品位铁精矿的制备技术及其应用[J]. *金属矿山*, 2006(8):270-273.

LI Y J, YUAN Z T, HAN Y X. Preparation technology and application of high-grade iron concentrate[J]. *Metal Mine*, 2006(8):270-273.

[3] 孙永升, 曹越, 韩跃新, 等. 基于原料矿物学基因特性的超级铁精矿制备评价体系[J]. *金属矿山*, 2018(2):76-79.

SUN Y S, CAO Y, HAN Y X, et al. Super iron concentrate preparation evaluation system based on the genetic characteristics of raw material mineralogy[J]. *Metal Mine*, 2018(2):76-79.

[4] 胡国辉, 张廷龙, 宋现洲, 等. 新型陶瓷球在大型立式搅拌磨上的应用初探[J]. *矿山机械*, 2018(10):30-32.

HU G H, ZHANG T L, SONG X Z, et al. Preliminary study on the application of new ceramic balls in large-scale vertical stirring mill[J]. *Mining Machinery*, 2018(10):30-32.

[5] 张泾生, 邓克, 李维兵. 磁选-阴离子反浮选工艺应用现状及展望[J]. *金属矿山*, 2004(5):24-28.

ZHANG J S, DENG K, LI W B. Application status and prospect of magnetic separation-anion reverse flotation process[J]. *Metal Mine*, 2004(5):24-28.

[6] 邱廷省, 张卫星, 方夕辉, 等. 铁矿石阳离子反浮选技术研究进展及应用现状[J]. *金属矿山*, 2012(2):89-93.

QIU T S, ZHANG W X, FANG X H, et al. Research progress and application status of iron ore cationic reverse flotation technology[J]. *Metal Mine*, 2012(2):89-93.

Super-Grade Iron Concentrate Experimental Study on an Iron Concentrate from Sichuan

Chen Hongkai¹, Du Xin², Zhou Zheng³

(1.Sichuan JinNing Mining Co., Ltd., Liangshan, Sichuan, China; 2.Sichuan Xiye Testing Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, China; 3.Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: In terms of the iron concentrate, the TFe grade is 65.50% and mainly gangue is quartz with the content of 4.82%. Additionally, the content of harmful impurity, sulphur and phosphor, is low. Following grinding-magnetic separation is able to enhance the mFe content and grade of concentrate for the reason that the content of mFe is 98.74% and other iron phase is nonmagnetic. The process of prescreening-grinding-

classification-magnetic separation-reverse flotation is adopted to the super-grade iron concentrate experimental study of an iron concentrate from Sichuan. When the screen size is 0.074 mm and grinding fitness is -0.038 mm 90%, using the thenanoceramic balls as milling medium, super-grade iron concentrate with yield 24.23%, TFe grade 71.71%, quartz content of 0.16%, acid insoluble content of 0.16% could be obtained. In the process, the usage of corn starch is 600 g/t and the usage of collector is 100+50+50 g/t. The process is reasonable and significantly feasibility with low energy consumption and simple reagent system. Additionally, the process could obtain normal iron concentrate with the yield of 72.25% and TFe grade of 65.47% which could be considered as good iron concentrate product to sell.

Keywords: Super-grade iron concentrate; Pre-screen; Magnetic separation; Reverse flotation

////////////////////////////////////
(上接第 141 页)

Industrial Application of New Environmentally friendly Tungsten Collector

Liu Jin, Zhang Hongying

(Institute of Resource Utilization and Rare Earth Development, Guangdong Academy of Sciences, State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization, Guangzhou, Guangdong Provincial Key Laboratory Development and Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Guangzhou, Guangdong, China)

Abstract: In order to solve the problem of high COD value of tailings wastewater caused by tungsten collector during production, a new environmental friendly floating tungsten collector was developed and an industrial test was carried out in a concentrator in Hunan. The tungsten concentrate obtained from the industrial test contains 40.10% WO_3 , the actual recovery rate of WO_3 is 71.73%, and the WO_3 recovery rate is 3.41% higher than the annual cumulative production index of tungsten in 2016 and 2017; The tailings wastewater COD of industrial experiment is 28.39 mg/L, which is 14.53% lower than the average COD of GY as collector in 2016 and 2017. The results show that the new collector presents excellent separation performance, stable production process and green environmental protection. The industrial test can ensuring the grade and recovery rate of tungsten concentrate, at the same time, the cost of comprehensive reagent and the COD value of tailings wastewater in industrial test has been reduced. It is concluded that the application of new environmental protection collector has obvious economic benefits, will bring great significance in terms of energy-saving and emission-reduction, as well as environmental protection and clean production.

Keywords: Collector; New functional; Environmental protection; Industrial test; Environmental protection and clean production