

攀西红格橄辉岩型钒钛磁铁矿选矿试验

陈 桃¹ 胡志波^{1,2} 陈 程¹ 郑 禹¹ 应宏伟¹ 邓 皓¹

(1.西南科技大学环境与资源学院 四川 绵阳 621010; 2.固体废物处理与资源化教育部重点实验室 四川 绵阳 621010)

摘 要: 通过对攀西红格橄辉岩型钒钛磁铁矿原矿进行 X 射线荧光光谱分析、X 射线衍射光谱分析、原矿矿物组成分析等工艺矿物学研究,可知原矿中主要有价金属元素为铁和钛,可考虑将铁和钛综合利用。原矿中主要有价组分为磁铁矿和钛铁矿,主要脉石矿物为绿泥石(由橄榄石、长石蚀变而成)、角闪石和榍石,另含有少量辉石、石英和云母。原矿中的铁组分主要为磁性铁,富集于钛磁铁矿中,而钛则富集于钛铁矿中。从原矿筛析结果可知,其各粒级铁、钛分布比较均匀,但细粒级(-0.038 mm)的 TiO_2 、TFe、MFe 品位较低。根据原矿性质,采用阶段磨选的选铁流程进行试验,结果表明,使用磁选柱进行精选后,获得铁精矿 TFe 品位可达 55.62%,回收率可达 50.12%,实现红格低品位橄辉岩型钒钛磁铁矿中铁的有效回收利用。将两段弱磁选尾矿作为选钛给矿,回收其中的钛组分,实现综合利用。

关键词: 橄辉岩型钒钛磁铁矿; 选矿; 磁选柱; 阶段磨选; 钛磁铁矿; 钛铁矿

中图分类号: TF041, TD92 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2020)06-0074-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2020.06.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
聊科研
与作者互动

Mineral Processing Test on Olivine Type of Vanadium-titanium Magnetite in Panxi Hongge Area

Chen Tao¹, Hu Zhibo^{1,2}, Chen Cheng¹, Zheng Yu¹, Ying Hongwei¹, Deng Hao¹

(1.College of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China;

2.Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Resource Recycle, Ministry of Education, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: In this paper the olivine type of vanadium-titanium magnetite had been analyzed by X-ray fluorescence spectrum and X-ray diffraction spectrum to identify the raw ore mineral compositions. The main valuable metal elements in raw ore are iron and titanium, thus comprehensive utilization of iron and titanium can be considered. The main useful minerals are chlorite (from olivine and feldspar to chlorite), amphibole and sphene, and a small amount of pyroxene, quartz and mica present. The iron component in raw ore is mainly magnetic iron, which is concentrated in titanomagnetite, while titanium is concentrated in ilmenite. Crushing results of raw ore show that the distribution of iron and titanium of each grain grade is relatively uniform, but the TiO_2 , TFe and MFe of fine grain grade (-0.038 mm) are relatively low. Based on raw ore nature, the step grinding experiment to separate iron was carried out. The results show that after using the magnetic separation column for selection, the iron concentrate TFe grade can reach to 55.62%, the recovery rate can reach to 50.12%. The effective recycling of iron in Olivine type of Vanadium-Titanium magnetite in Hongge can be achieved. The two-stage weak magnetic separation tailings are fed as titanium separation, and the titanium concentrate is recovered, which achieve comprehensive utilization of raw ore.

Key words: olivine type of vanadium-titanium magnetite, ore dressing, magnetic separation column, stage grinding-stage magnetic separation, titanomagnetite, ilmenite

收稿日期: 2020-06-20

基金项目: 西南科技大学大学生创新训练计划资助项目(18ycx044)。

作者简介: 陈 桃(1996—)男, 硕士研究生, 主要从事矿石分选理论与工艺研究工作, E-mail: 469118050@qq.com; 通讯

作者: 胡志波, 博士, E-mail: zhibohu@swust.edu.cn。

0 引言

我国的钒钛磁铁矿探明储量近 100 亿 t 约占全球 1/4^[1-2],其中 90% 以上的钒钛磁铁矿资源分布于四川省攀西地区^[3]。攀西地区拥有全国 74% 的铁矿石资源储量,钒、钛储量均位居全国第一^[4-5]。

攀西钒钛磁铁矿资源主要分布在攀枝花矿区、白马矿区、太和矿区及红格矿区^[6]。四大矿区中,攀枝花矿区的 TFe 品位最高,红格矿区的 TFe 品位最低^[7-8]。红格矿区的钒钛磁铁矿储量居四大矿区之首,与其它三个矿区相比,红格矿区的矿石含铁量低、嵌布粒度细^[9],且以浸染状结构为主,因此较其它矿区矿石更难选别。同时,红格矿区现已开采到矿床中深部,矿石性质也在随开采深度的增加而发生变化,出现辉长岩、辉石岩在矿石中含量逐渐减少,而橄辉岩含量增多的现象,导致选矿难度进一步增加^[10-12]。

红格矿区钒钛磁铁矿的有效利用率低,造成了资源的巨大浪费。惠博和杨耀辉等人对攀西红格矿区橄辉岩型钒钛磁铁矿矿石性质及对选矿工艺的影响进行了研究,指出该矿区橄辉岩型钒钛磁铁矿中非磁性矿物斜长石含量大大降低,导致各矿物间磁性差异缩小,使选铁过程中进入精矿的杂质增加,进而影响铁精矿品位;辉石和橄榄石易蚀变泥化,内部普遍含有磁性包裹体,如赤铁矿和磁铁矿,磁性增强,导致选铁作业时,磁性较强的辉石和橄榄石颗粒会进入铁精矿^[13]。另外,丁大富对红格表内矿分别进行了各种选铁工艺流程研究,指出使用球磨连磨磁选为综合利用的最优流程^[14],但其只对红格地区表内矿进行了探究,并未对中、深部的矿石进行相关研究。

笔者将以红格地区中深部橄辉岩型钒钛磁铁矿为研究对象,结合磁选条件试验,对比了磁选柱与传统磁选机的选别效果,对红格橄辉岩型钒钛磁铁矿选铁的磁选工艺条件进行研究,并将两段弱磁选尾矿作为选钛给矿,回收其中的钛组分,实现综合利用。

1 原矿性质

1.1 原矿化学成分分析

表 1 为原矿 X 射线荧光光谱分析结果。可知,原矿中主要有价金属元素为铁和钛,其余元素难以利用,因此主要考虑铁和钛的综合利用,在选铁的同时,选铁尾矿可用于选钛。

表 1 原矿 X 射线荧光光谱半定量分析结果
Table 1 Results of semi-quantitative analysis by X-ray fluorescence spectrum %

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Others
31.54	29.03	14.72	10.45	7.96	4.82	0.02~0.50

1.2 原矿 X 射线衍射光谱分析

原矿 XRD 衍射图谱如图 1 所示。可见原矿中主要有价组分为磁铁矿和钛铁矿,主要脉石矿物为绿泥石、角闪石和楣石,另含有少量辉石、石英和云母。

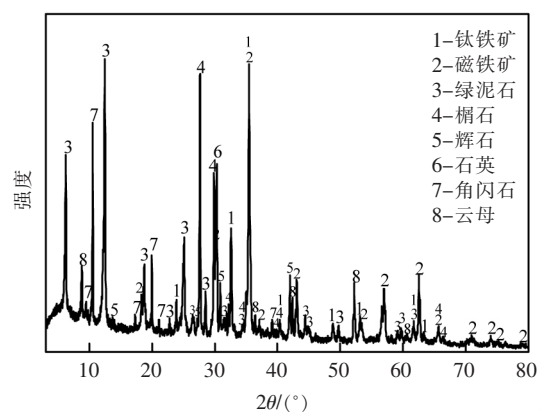


图 1 原矿 XRD 衍射谱

Fig.1 XRD patterns of raw ore

1.3 原矿矿物组成分析

将样品砂光片(图 2)、砂薄片(图 3)置于镜下观察,可知样品中主要有价矿物为磁铁矿、钛铁矿,脉石矿物主要为辉石及少量橄榄石、斜长石。主要矿物显微特征如下:

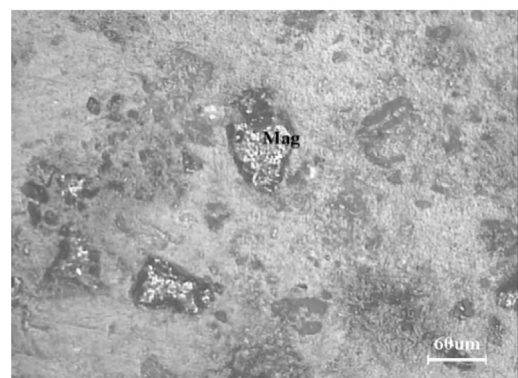


图 2 磁铁矿及主要脉石矿物(砂光片)

Fig.2 Magnetite and main gangue minerals (Sanding sheet)

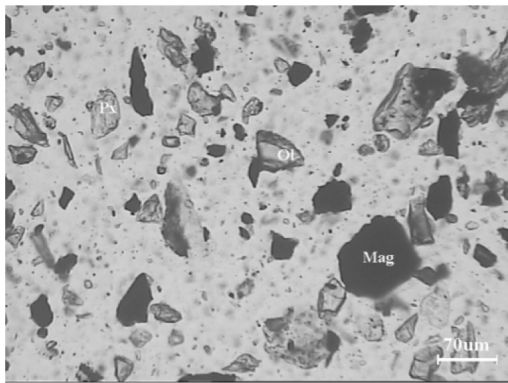


图3 磁铁矿及主要脉石矿物(砂薄片)

Fig.3 Magnetite and main gangue minerals
(Sanding flake)

磁铁矿:呈自形四边形、半自形粒状及少量不规则团块状,主要呈单体或嵌布在辉石、橄榄石颗粒表面呈包体构,大小约0.01~0.10 mm,另有少量尘状

或细粒磁铁矿分布在辉石、橄榄石的解理、裂纹及边缘,大小约0.01~0.05 mm,系铁镁矿物蚀变后析出的铁质矿物或辉石在结晶过程中熔离出的细小磁铁矿颗粒,含量约7%。

钛铁矿:呈粒状,嵌布在磁铁矿及脉石矿物中,局部与磁铁矿呈镶嵌结构,另有少量尘状或细钛铁矿分布在辉石、橄榄石解理、裂纹处,大小约0.01~0.05 mm,系辉石蚀变后析出或辉石在结晶过程中熔离出的细小钛铁矿,含量约3%。

1.4 原矿筛析结果分析

原矿筛析结果见表2,采用滴定法检测,可知原矿中TiO₂品位为8.42%,TFe品位为22.54%,MFe品位为17.85%,原矿各粒级的钛、铁分布比较均匀,但细粒级(-0.038 mm)的TiO₂、TFe、MFe品位较低,这是因为原矿中含有绿泥石等脉石矿物,其硬度低,易碎,于是在原矿破碎后主要富集于细粒级中,导致细粒级品位的降低。

表2 原矿筛析结果
Table 2 Crushing analysis results of raw ore

粒级/mm	产率/%	品位/%			分布率/%		
		TiO ₂	TFe	MFe	TiO ₂	TFe	MFe
+0.63	18.75	8.60	21.56	20.27	19.15	17.93	21.29
+0.30-0.63	35.71	8.54	22.75	17.61	36.20	36.04	35.23
+0.20-0.30	10.06	9.32	24.43	18.45	11.13	10.90	10.40
+0.15-0.20	4.76	8.90	24.71	19.03	5.02	5.22	5.07
+0.10-0.15	8.77	9.20	24.49	18.84	9.57	9.53	9.26
+0.074-0.10	3.04	10.08	24.31	20.03	3.63	3.28	3.41
+0.045-0.075	5.45	9.67	23.85	19.04	6.25	5.77	5.81
+0.038-0.045	1.15	9.14	22.67	16.36	1.25	1.16	1.05
-0.038	12.31	5.34	18.62	12.30	7.80	10.17	8.48
小计	100.00	8.42	22.54	17.85	100.00	100.00	100.00

2 选铁试验

2.1 选铁原则流程

本次试验原矿为红格矿区橄辉岩型钒钛磁铁矿,先将原矿破碎至-1 mm,然后进行预先抛尾,将原矿中低品位的脉石抛除,提高一段入磨原料的品位。因红格矿区铁矿物的平均嵌布粒度较细且粗细粒度相对不均匀,适合选用阶磨阶选的试验流程^[15-17]。本研究采用的原则流程见图4。

本次试验在西南科技大学的固体废物处理与资源化教育部重点实验室进行,试验所使用设备见表3。

2.2 干式抛尾磁选试验

基于攀西地区选矿实践,使用干式磁选抛尾预先去除原矿中的非磁性矿物。将原矿破碎至-1 mm,于CGD11-60-2型永磁辊式磁选机中,在不同的磁场强度下进行干式磁选,结果见表4。

表4表明,随着磁场强度的增加,预选铁精矿品位逐渐提高,回收率逐渐降低,在场强为0.96 T时,仅能抛除1.10%的尾矿;减低场强至0.31 T时,尾矿产率为4.20%,TFe品位为6.55%,磁性铁含量仅为0.6%,相对于其它场强条件尾矿产率与精矿品位也最高,故将其精矿作为一段磁选给矿。

2.3 一段磁选试验

固定每次给矿量500.0 g、矿浆浓度为50%,根据精确化装补球方法得出,钢球级配为Ø3 cm:Ø4 cm:Ø5

cm=3.5 kg : 7.0 kg : 3.5 kg ,于 XMQ-Ø240×90 型锥形球磨机中进行磨矿 磨矿曲线见图 5。

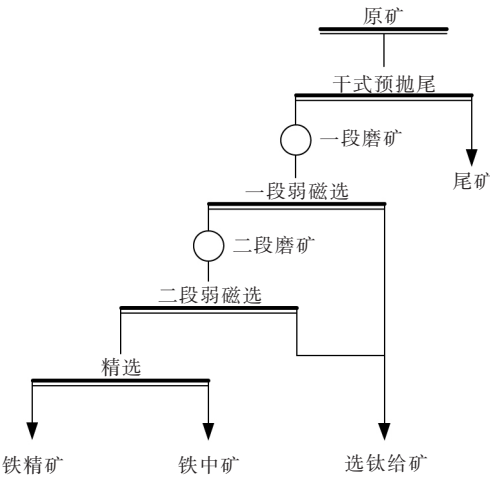


图 4 选铁原则流程
Fig.4 Flow chart of iron selection principle

表 3 试验仪器
Table 3 Test instruments used in this work

设备名称	型号	生产厂家
X 射线荧光光谱仪	Axios	荷兰帕纳科公司
X 射线衍射仪	D/MAX-III B	日本理学株式会社
透反射光学显微镜	BK-POLR	重庆奥特光学仪器有限公司
磁选柱	TCXJ-1	山东华特磁电公司
电磁湿法多用鼓形磁选机	XCRS-Ø400×240	武汉探矿机械厂
锥形球磨机	XMQ-Ø240×90	武汉探矿机械厂

表 4 干式抛尾试验结果
Table 4 Experimental results of dry tail tossing

磁场强度/T	产品	产率/%	TFe 品位/%	TFe 回收率/%
0.96	精矿	98.90	22.51	99.69
	尾矿	1.10	6.31	0.31
	原矿	100.00	22.33	100.00
0.64	精矿	97.50	22.74	99.28
	尾矿	2.50	6.39	0.72
	原矿	100.00	22.33	100.00
0.51	精矿	96.90	22.84	99.11
	尾矿	3.10	6.43	0.89
	原矿	100.00	22.33	100.00
0.31	精矿	95.80	23.02	98.77
	尾矿	4.20	6.55	1.23
	原矿	100.00	22.33	100.00

设定磁场强度为 0.24 T ,将不同磨矿细度的样品于 XCGS74-Ø50 型磁选管中进行磁选试验 ,试验结果见图 6。由图 6 可知 随细度增加 精矿 TFe 品位逐渐增加 ,回收率降低。综合考虑 选择一段磨矿细度为-200 目(74 μm) 含量为 49% ,此时精矿 TFe 品位为 43.13% ,回收率为 78.63%。

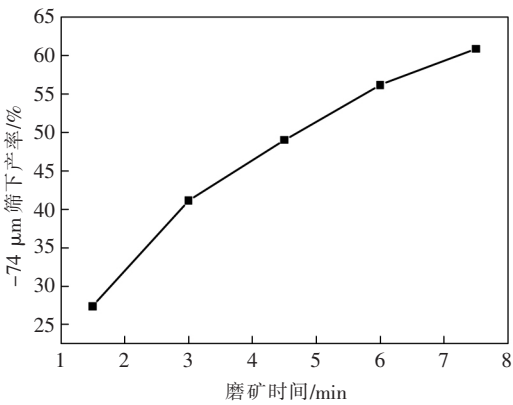


图 5 一段选前磨矿曲线
Fig.5 Grinding curve before the first stage of dressing

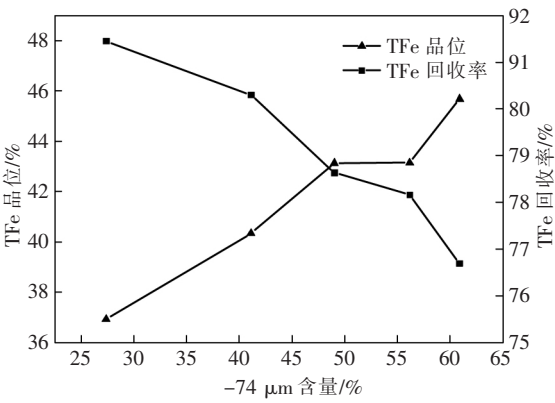


图 6 一段球磨时间条件试验结果
Fig.6 Test results of the first stage of ball grinding time

固定磨矿细度为-200 目(74 μm) 49% ,每次入料 40.0 g ,于磁选管中进行磁场强度条件试验 ,试验结果见图 7。由图 7 可知 ,随磁场强度增加 ,精矿 TFe 品位逐渐降低 ,回收率增加。综合考虑 确定一段磁选磁场强度为 0.26 T ,此时精矿 TFe 品位为 42.77% ,回收率为 79.18%。

综上所述 ,确定一段磨矿细度为 -200 目(74 μm) 含量 49% ,一段磁场强度为 0.26 T ,使用 XCRS-Ø400×300 电磁湿法鼓型弱磁选机批量制样 ,其精矿作为二段磁选试验给矿。

2.4 二段磁选试验

固定每次给矿量 500.0 g 、矿浆浓度为 50% ,根据精确化装补球方法得出 配球为 Ø3 cm : Ø4 cm = 10 kg : 4 kg ,于 XMQ-Ø240×90 型锥形球磨机中进行磨矿 ,不同磨矿时间下产物的-200 目(74 μm) 含量见图 8。

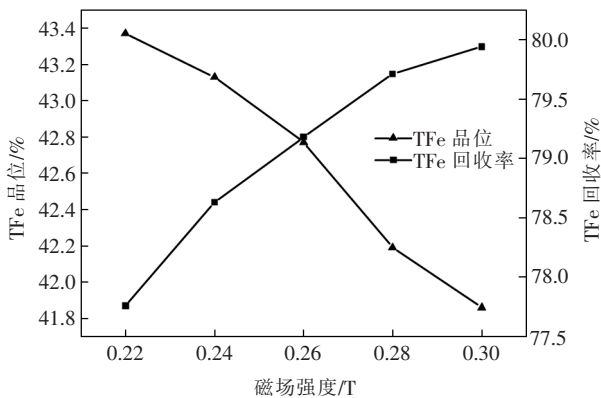


图7 一段磁场强度试验结果(精矿)

Fig.7 Test results of magnetic field intensity in the first stage (concentrate)

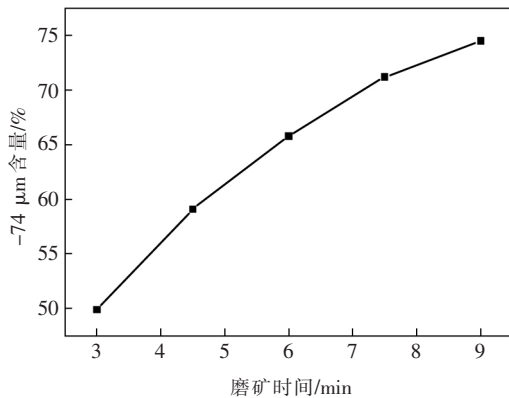


图8 二段选前磨矿曲线

Fig.8 Grinding curve before the secondary separation

设定磁场强度为 0.22 T, 将不同磨矿细度的样品缩分取样 40 g, 于 XCGS74-Ø50 型磁选管中进行磁选试验, 试验结果见图 9。由图 9 可知, 随细度增加, 精矿 TFe 品位逐渐增加, 回收率呈下降趋势, 但变化并不明显。综合考虑, 选择磨矿细度为 -200 目 (74 μm) 含量为 90% 此时精矿 TFe 品位为 51.94%, 回收率为 87.45%。

固定磨矿细度为 -200 目 (74 μm) 90%, 将其缩分取样, 每次入料 40 g, 于磁选管中进行磁场强度条件试验, 试验结果见图 10。可知, 随磁场强度增加, 精矿 TFe 品位逐渐降低, 回收率增加。综合考虑, 选择磁场强度为 0.16 T, 此时精矿 TFe 品位为 52.70%, 回收率为 85.38%。

综上所述, 确定二段磨矿细度为 -200 目 (74 μm) 含量 90%, 磁场强度为 0.16 T, 使用 XCRS-Ø400×300 电磁湿法鼓型弱磁选机批量制样, 其精矿作为磁选柱磁选试验给矿。

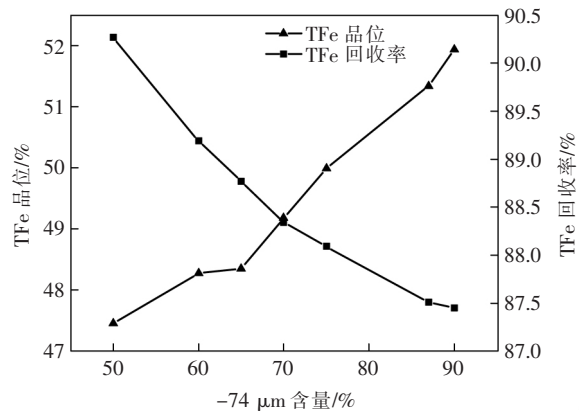


图9 二段球磨时间条件试验结果

Fig.9 Test results of the secondary ball grinding time conditions

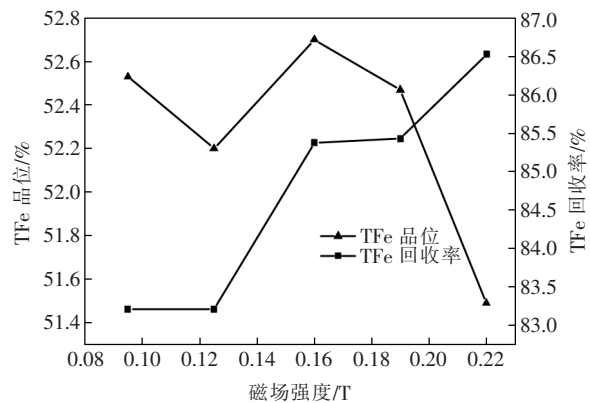


图10 二段磁场强度试验结果(精矿)

Fig.10 Test results of magnetic field intensity in the secondary stage (concentrate)

2.5 磁选柱场强试验

首先用磁选管、鼓型弱磁机进行探索试验, 即使场强低至 0.07 T 时, 获得的精矿 TFe 品位仅为 53.5%, 难以达到 TFe 品位 54% 的生产要求。

由于矿物粒度较细且磁选后产生磁团聚现象, 导致用传统的磁选方法很难有效分离磁铁矿与脉石矿物, 无法提高精矿品位。本次试验将采用磁选柱进行精选, 相对于传统的选矿方法, 磁选柱可以同时实现磁选与重选, 利用磁选加快磁性物质的下降速度, 同时上升水流可以使脉石矿物上逸, 从而实现分离, 能有效提高精矿品位。

固定磁选柱每次试验给矿量为 300.0 g, 于 TCXJ-1 型磁选柱中在不同磁场强度下进行磁选, 试验结果见表 5。

表 5 磁选柱磁场强度试验结果
Table 5 Magnetic field strength test results of magnetic separation column

循环磁场强度 /T	产品	产率 /%	TFe 品位 /%	TFe 回收率 /%
1.2	精矿	70.04	55.88	74.20
	尾矿	29.96	45.42	25.80
	原矿	100.00	52.75	100.00
1.4	铁精矿	71.15	55.62	75.07
	尾矿	28.85	45.57	24.93
	原矿	100.00	52.72	100.00
1.6	铁精矿	72.22	54.73	75.01
	尾矿	27.78	47.42	24.99
	原矿	100.00	52.70	100.00

由表 5 可知 ,随着磁场强度的增加 ,铁精矿品位逐渐降低 ,产率逐渐增高。
当磁场强度为 1.4 T 时 ,铁精矿品位为 55.62% ,产率为 20.07% ,综合考虑选择磁选柱磁场强度为 1.4 T 最为合适。

2.6 选铁数质量流程
由图 11 可知 ,采用阶磨阶选—磁选柱精选的试验流程 ,可获得 TFe 品位为 55.62% ,回收率为 50.12% 的铁精矿 ,并且尾矿中钛品位较高 ,可进行选钛试验 ,实现资源的综合利用。

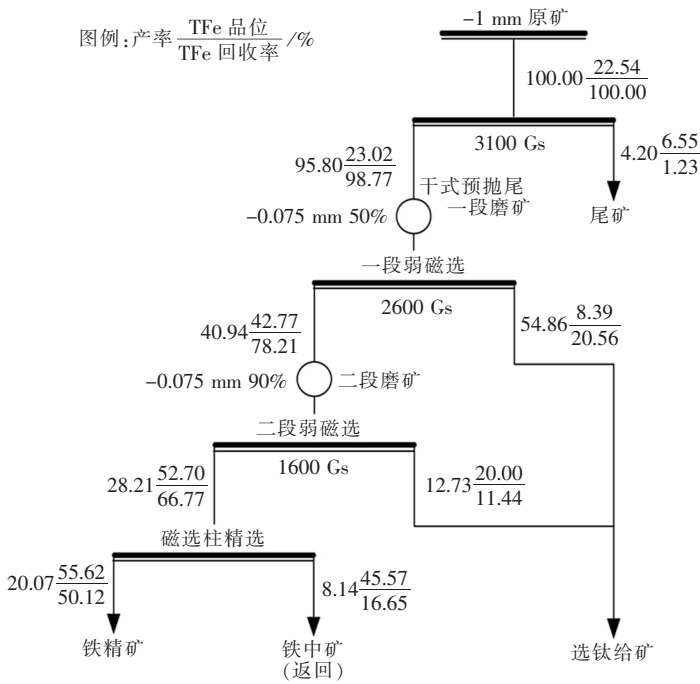


图 11 选铁数质量流程
Fig.11 Flow chart of selecting iron number and quality

3 结论

本次试验原矿为攀西红格矿区中深部低品位橄辉岩型钒钛磁铁矿 ,原矿 TFe 品位为 22.54% ,按照“多破少磨”的原则 ,先将原矿破碎至 -1 mm ,然后进行预先抛尾 ,可获得 TFe 品位为 23.02% ,回收率为 98.77% 的预选精矿 ,抛除 TFe 品位为 6.55% 且产

率为 4.20% 的脉石矿物 ,提高入磨原料的品位且降低入磨原料的粒度。因红格矿区的铁矿物的平均嵌布粒度较细且粗细粒度相对不均匀 ,所以采用阶磨阶选的选铁流程进行试验 ,结果表明 ,使用磁选柱进行精选后 ,获得铁精矿 TFe 品位可达 55.62% ,回收率可达 50.12% ,可实现红格低品位橄辉岩型钒钛磁铁矿中铁的有效回收利用。

参考文献

- [1] Han Guihong, Jiang Tao, Zhang Yuanbo *et al.* High-temperature oxidation behavior of vanadium titanium-bearing magnetite pellet [J]. Journal of Iron and Steel Research (International) 2011, 18(8): 14-19.
- [2] Luo Jinhua. Distribution of main elements of Hongge vanadium titanium magnetite in beneficiation [J]. Mineral Resources Utilization 2015(3): 55-58.
(罗金华. 红格钒钛磁铁矿主要元素在选矿中的分布 [J]. 矿产综合利用 2015(3): 55-58.)
- [3] Tan Qiyou, Chen Bo, Zhang Yushu *et al.* Characteristics and comprehensive recycling status of vanadium-titanium magnetite resources in Panxi area [J]. Mineral Resources Utilization 2011(6): 6-10.
(谭其尤, 陈波, 张裕书, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿资源特点与综合回收利用现状 [J]. 矿产综合利用 2011(6): 6-10.)
- [4] Li Liang, Luo Jianlin. Technological mineralogy of a vanadium-titanium magnetite in Panzhihua area [J]. Metal Mine 2010(4): 89-92.
(李亮, 罗建林. 攀枝花地区某钒钛磁铁矿工艺矿物学研究 [J]. 金属矿山 2010(4): 89-92.)
- [5] Qiu Kehui, Gong Yingchun, Zhang Peichong *et al.* Sustainable development of Panzhihua vanadium and titanium industry [J]. Iron Steel Vanadium Titanium 2009, 30(3): 17-20.
(邱克辉, 恭迎春, 张佩聪, 等. 科学可持续发展攀枝花钒钛产业 [J]. 钢铁钒钛 2009, 30(3): 17-20.)
- [6] Xu Lijun, Li Liang, Chen Liuxian *et al.* Present situation and development direction of comprehensive recovery and utilization of vanadium-titanium magnetite in Panxi area [J]. Sichuan Nonferrous Metals 2011(1): 1-5.
(徐丽君, 李亮, 陈六限, 等. 攀西地区钒钛磁铁矿综合回收利用现状及发展方向 [J]. 四川有色金属 2011(1): 1-5.)
- [7] Chen Lulu. Present situation of utilization of vanadium-titanium magnetite resources in China [J]. Comprehensive Utilization of Resources in China 2015(10): 31-33.
(陈露露. 我国钒钛磁铁矿资源利用现状 [J]. 中国资源综合利用 2015(10): 31-33.)
- [8] Liao Xiangwen, Zhang Yushu, Chen Da *et al.* Experimental study on iron separation of a low-grade vanadium-titanium magnetite from Panxi [J]. Comprehensive Utilization of Minerals 2006(3): 3-6.
(廖祥文, 张裕书, 陈达, 等. 攀西某低品位钒钛磁铁矿选铁试验研究 [J]. 矿产综合利用 2006(3): 3-6.)
- [9] Chen Jinhua, Guan Changping, Wang Yun *et al.* Technological study on improving the recovery rate of vanadium titanomagnetite in Panzhihua Hongge mining area [J]. Sichuan Nonferrous Metals 2011(2): 17-20.
(陈金花, 官长平, 王云, 等. 提高攀枝花红格矿区钒钛磁铁矿回收率的工艺研究 [J]. 四川有色金属 2011(2): 17-20.)
- [10] Yang Yaohui, Hui Bo, Liao Xiangwen *et al.* Beneficiation test of low-grade refractory olivine-pyroxene-type vanadium-titanium magnetite [J]. Metal Mine 2016(10): 77-82.
(杨耀辉, 惠博, 廖祥文, 等. 红格低品位难选橄榄岩型钒钛磁铁矿石选矿试验 [J]. 金属矿山 2016(10): 77-82.)
- [11] Han Qisheng. Semi-industrial test study on beneficiation of Hongge vanadium-titanium magnetite [J]. Iron Steel Vanadium Titanium 1994, 15(3): 34-38.
(韩启盛. 红格钒钛磁铁矿选矿半工业试验研究 [J]. 钢铁钒钛 1994, 15(3): 34-38.)
- [12] Deng Bing, Zhang Yuan, Xu Ming *et al.* Beneficiation test of a vanadium titanomagnetite deep ore in Panxi [J]. Modern Mining, 2013(12): 23-26.
(邓冰, 张渊, 徐明, 等. 攀西某钒钛磁铁矿深部矿石选铁试验 [J]. 现代矿业 2013(12): 23-26.)
- [13] Hui Bo, Yang Yaohui. Study on the properties of the olivine-type vanadium-titanium magnetite ore in the Hongge mining area of Panxi and its influence on the beneficiation process [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources 2020(4): 126-129.
(惠博, 杨耀辉. 攀西红格矿区橄榄岩型钒钛磁铁矿矿石性质研究及对选矿工艺的影响 [J]. 矿产综合利用 2020(4): 126-129.)
- [14] Ding Dafu. Study on iron separation process of Hongge vanadium titanomagnetite [J]. Metal Mine 1996(3): 24-26.
(丁大富. 红格钒钛磁铁矿选铁工艺流程的研究 [J]. 金属矿山 1996(3): 24-26.)
- [15] Liu Xing, Li Chengxiu, Liu Feiyan *et al.* Beneficiation test of a low-grade ilmenite ore in Datun, Gansu [J]. Metal Mine 2014(12): 75-78.
(刘星, 李成秀, 刘飞燕, 等. 甘肃大滩某低品位钛铁矿选矿试验 [J]. 金属矿山 2014(12): 75-78.)
- [16] Wu Xuehong. Beneficiation test of an ultrafine ilmenite ore in Panxi [J]. Metal Mine 2015(7): 56-59.
(吴雪红. 攀西某超细粒级钛铁矿选矿试验 [J]. 金属矿山 2015(7): 56-59.)
- [17] Deng Chenxiong, Yin Wanzhong, Yin Linlin *et al.* Indonesia Wanzhong, Yin Linlin *et al.* Beneficiation test of a Vietnamese titanium-iron placer [J]. Metal Mine 2015(3): 84-87.
(邓陈雄, 印万忠, 殷琳琳, 等. 越南某钛铁砂矿选矿试验 [J]. 金属矿山 2015(3): 84-87.)

编辑 杨冬梅