

攀西某低品位钛铁矿预选试验研究

曹玉川, 安登极, 李辉跃, 杨柳毅, 郭锐

(长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南长沙 410012)

摘要:攀西某低品位钛铁矿含 TFe 17.14%、含 TiO_2 6.32%, 由于原矿铁、钛品位低, 目前处于待开发状态, 为铁钛并重、高效开发该资源, 采用预选工艺, 提前抛除部分尾矿, 降低入磨量, 提高入选品位, 达到降低成本的目的, 进行了不同粒级的预选试验研究, 确定了最佳的预选流程, 在 -3 mm 粒级进行湿式预选, 抛尾产率 29.51%, 预选精矿含 TFe 20.74%、 TiO_2 7.97%, 铁、钛回收率分别为 86.34%、86.58%。

关键词:低品位钛铁矿; 选矿; 回收率

中图分类号: TF041, TD924

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2023)01-0106-05

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2023.01.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Research on pre-concentration of a low grade ilmenite ore in Panxi region

Cao Yuchuan, An Dengji, Li Huiyue, Yang Liuyi, Guo Rui

(Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China)

Abstract: A low-grade ilmenite in Panxi region contains TFe 17.14% and TiO_2 6.32%, which is currently in the undeveloped state. For the equal and efficient exploitation and utilization of Fe and Ti in the ore, research on pre-concentration to remove part of tailings, reduce grinding amount and increase feed grade was conducted. For the sake of reducing cost, pre-concentration experiments with different grain sizes were conducted and the following optimized flowsheet with optimum parameters were obtained. Wet pre-concentration of raw ore with particle size of -3 mm was processed to realize the yield of tailing discharge 29.51%. The concentrate was obtained with Fe grade of 20.74% and TiO_2 grade of 7.97%, Fe and TiO_2 recovery rate of 86.34% and 86.58% respectively.

Key words: low grade ilmenite, mineral separation, recovery rate

0 引言

金属钛及其合金具有强度高、密度小、耐高温、耐腐蚀等诸多优点, 广泛应用于航天航空工业、海洋工程、热能工程、化工和石化工业、冶金工业、汽车工业、建筑业、医疗及日常生活等领域, 此外, 钛的重要化合物二氧化钛(钛白粉)也用途广泛。我国正处于国民经济高速发展的阶段, 对钛资源的需求急剧增长^[1-3]。

我国钛矿(TiO_2)储量 22 383.35 万 t, 绝大部分为原生钛(磁)铁矿, 占比为 95.06%, 其余为钛铁砂矿和金红石矿; 钛矿储量大部分分布于四川, 储量占全国 84.71%, 其次是云南、湖北、山东、河北等地^[4]。

我国钛铁矿资源虽然储量丰富, 但是大部分呈现出贫、细、杂的特点, 选别效率较低, 随着开采力度的加大, 矿石的嵌布粒度明显变细, 使得有用矿物难以回收, 并且钛铁矿与脉石矿物的伴生也愈加复杂, 导致有用矿物的品位越来越低, 因此, 研究开发

收稿日期: 2022-09-23

作者简介: 曹玉川, 1987 年出生, 男, 江西余干人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为微细粒浮选工艺技术与设备, E-mail: caoyuchuan@126.com。

钛铁矿资源的回收利用技术,特别是发展低品位钛铁矿资源的选矿和开发利用技术,对促进我国钛工业的发展具有重要战略意义^[2]。

攀西某低品位钛铁矿由于铁、钛品位较低,生产成本低,目前一直处于待开发状态,造成了资源的极大浪费。为了降低磨矿成本,提高生产效益,更好地服务于该资源的开发,有必要考查预选抛尾的可行性,不仅可以降低入磨量,抛出尾矿中的粗颗粒矿石,还可以作为建材原料,形成新的利润增长点,同时减少尾矿排放,缓解尾矿库环保压力。

目前钒钛磁铁矿选矿思路主要是以铁为主,兼顾选钛,在预选阶段追求铁的指标而忽视了钛的损失,笔者预选思路为铁钛并重,预选试验中充分考虑铁钛的损失,在此指导思想下对该低品位钛铁矿进行了预选试验研究,获得了较好的指标,为该类型低品位资源的开发提供了技术支撑。

1 矿样性质

1.1 矿样多元素分析及物相分析

试验矿样为攀西某地低品位钛铁矿,多元素分析结果见表 1,铁、钛物相分析结果见表 2 和表 3。

表 1 矿石的化学多元素分析结果
Table 1 Chemical components of ore

TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	%
17.14	12.00	11.26	6.32	34.45	5.91	11.61	
MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P	As	S	烧失	
14.04	0.24	0.26	0.04	0.004 8	0.14	4.01	

表 2 矿石中铁的化学物相分析结果
Table 2 Iron contents in various minerals

铁 相	含 量	分布率
钛磁铁矿中铁	9.93	57.93
赤/褐铁矿中铁	0.98	5.72
钛铁矿中铁	1.93	11.26
硫化物中铁	0.11	0.64
硅酸盐中铁	4.19	24.45
合 计	17.14	100.00

表 3 矿石中钛的化学物相分析结果
Table 3 TiO₂ contents in various minerals

钛 相	含 量	分布率
钛磁铁矿中TiO ₂	1.89	29.91
钛铁矿中TiO ₂	3.12	49.37
脉石中TiO ₂	1.31	20.73
合 计	6.32	100.00

可以看出,矿石中可供选矿富集回收的主要元素或组分是 Fe 和 TiO₂,含量分别为 17.14% 和 6.32%。为达到富集铁矿物和钛矿物的目的,需要选矿排除的脉石组分主要是 SiO₂,含量高达 34.45%,次为 CaO、MgO 和 Al₂O₃,四者含量合计为 66.01%。

矿石中 Fe 的赋存形式较为复杂,分布于钛磁铁矿中的铁占 57.93%,这即为采用单一弱磁选工艺分选矿石中铁矿物时铁的理论回收率;其余部分除 5.72% 呈赤、褐铁矿产出以外,主要以钛铁矿和含铁硅酸盐的形式存在,分布率分别为 11.26% 和 24.45%。

矿石中 TiO₂ 的赋存形式较为分散,一是呈钛铁矿产出,分布率仅占 49.37%,这即为分选矿石中钛矿物时钛的理论回收率;二是呈类质同像存在于钛磁铁矿中,所占比例高达 29.91%,以该种形式产出的 TiO₂ 选矿过程中将随同钛磁铁矿一起进入铁精矿;三是赋存于脉石矿物中,分布率 20.73%。

1.2 矿物含量

样品中铁矿物主要是钛磁铁矿,偶见褐铁矿、赤铁矿和磁铁矿;钛矿物主要是钛铁矿,次为榍石,此外还可见极少量的钙钛矿;金属硫(砷)化物含量较低,但种类较为繁多,出现频率略高的有黄铁矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿,偶见白铁矿、闪锌矿、硫砷钴矿和方铅矿;脉石矿物较常见的有辉石,次为闪石、绿泥石和蛇纹石;其他微量矿物尚见石英、斜长石、正长石、石榴石、方解石、菱铁矿、白云石、铁白云石、黑云母、白云母、金云母、黝帘石、滑石、尖晶石和磷灰石等。矿石中主要矿物的质量分数列于表 4。

表 4 矿石中主要矿物的含量
Table 4 Main mineral contents in ore

钛磁铁矿	磁铁矿	钛铁矿	钙钛矿	榍石	金属硫化物	辉石	%
16.64	0.27	5.09	0.04	1.16	0.24	47.95	
闪石	蛇纹石	绿泥石	石英	斜长石	石榴石	黝帘石	
8.12	5.47	8.35	2.01	0.65	1.34	0.72	
方解石	白云石	云母	滑石	磷灰石	尖晶石	其他	
0.41	0.29	0.58	0.24	0.20	0.09	0.14	

2 预选试验

预选进行了不同粒级原矿的实验室对比试验,以及干式和湿式预选试验,以期获得最合理的预选工艺。

2.1 干式预选试验

干式预选设备采用永磁滚筒皮带轮, 磁场强度为 0.3 T, 为了最大限度降低生产成本, 实现能抛早抛的效果, 预选首先进行-70 mm 粒级试验, 探索在该粒度条件下抛尾的可行性。

2.1.1 -70 mm 粒级预选试验

为了考查-70 mm 粒级抛尾效果, 进行了一组皮带转速试验, 结果见表 5。

表 5 -70 mm 粒级抛尾试验结果
Table 5 Test results of dry magnetic pre-concentration for -70 mm fine crushed products

皮带转速/ (m·s ⁻¹)	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
1.34	精矿	94.66	18.38	6.72	97.49	97.60
	尾矿	5.34	8.39	2.93	2.51	2.40
	原矿	100.00	17.85	6.52	100.00	100.00
1.51	精矿	85.82	19.24	7.09	92.11	92.76
	尾矿	14.18	9.97	3.35	7.89	7.24
	原矿	100.00	17.93	6.56	100.00	100.00
1.68	精矿	71.06	19.94	7.43	82.52	81.80
	尾矿	28.94	10.37	4.06	17.48	18.20
	原矿	100.00	17.17	6.45	100.00	100.00
1.84	精矿	70.44	20.52	7.58	82.03	81.46
	尾矿	29.56	10.71	4.11	17.97	18.54
	原矿	100.00	17.62	6.55	100.00	100.00
2.01	精矿	62.78	21.24	7.68	75.94	74.86
	尾矿	37.22	11.35	4.35	24.06	25.14
	原矿	100.00	17.56	6.44	100.00	100.00

由表 5 可知, 随着皮带转速升高, 抛尾产率逐渐增加, 尾矿中 TFe、TiO₂ 品位随之升高, 精矿 TFe、TiO₂ 品位逐渐升高, 但铁、钛回收率随之下降。

在低速 1.34 m/s 条件下, 抛尾产率仅 5.34%, 在 1.84 m/s 和 2.01 m/s 条件下, 抛尾产率分别为 29.56% 和 37.22%, 尾矿 TFe 品位分别为 10.71% 和 11.35%, TiO₂ 品位分别为 4.11% 和 4.35%, 预选精矿钛回收率分别为 81.46% 和 74.86%, 虽然抛尾产率较高, 但钛金属损失较大。

2.1.2 -12 mm 粒级预选试验

-70 mm 粒级抛尾试验中钛金属损失较大, 因此将抛尾粒级调整至-12 mm, 进行了一组皮带转速试验, 结果见表 6。

表 6 -12 mm 粒级抛尾试验结果
Table 6 Test results of dry magnetic pre-concentration for -12 mm fine crushed products

皮带转速/(m·s ⁻¹)	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
1.51	精矿	91.63	17.80	6.56	96.05	95.99
	尾矿	8.37	8.02	3.00	3.95	4.01
	原矿	100.00	16.98	6.26	100.00	100.00
1.68	精矿	81.33	18.78	6.93	89.91	89.06
	尾矿	18.67	9.18	3.71	10.09	10.94
	原矿	100.00	16.99	6.33	100.00	100.00
1.84	精矿	74.65	19.65	7.32	85.67	85.18
	尾矿	25.35	9.68	3.75	14.33	14.82
	原矿	100.00	17.12	6.42	100.00	100.00
2.01	精矿	65.97	20.01	7.32	78.70	77.12
	尾矿	34.03	10.50	4.21	21.30	22.88
	原矿	100.00	16.77	6.26	100.00	100.00
2.18	精矿	59.09	21.11	7.59	73.67	71.92
	尾矿	40.91	10.90	4.28	26.33	28.08
	原矿	100.00	16.93	6.24	100.00	100.00
2.35	精矿	51.05	22.64	8.17	67.40	64.89
	尾矿	48.95	11.42	4.61	32.60	35.11
	原矿	100.00	17.15	6.43	100.00	100.00

由表 6 可知, 随着皮带转速升高, 抛尾产率逐渐增加, 尾矿中 TFe、TiO₂ 品位随之升高, 精矿 TFe、TiO₂ 品位逐渐升高, 但铁、钛回收率随之下降。

在低速 1.51 m/s 条件下, 抛尾产率只有 8.37%, 在 2.18 m/s 和 2.35 m/s 条件下, 抛尾产率分别为 40.91% 和 48.95%, 尾矿 TFe 品位分别为 10.90% 和 11.42%, TiO₂ 品位分别为 4.28% 和 4.61%, 预选精矿钛回收率分别为 71.92% 和 64.89%, 虽然抛尾产率较高, 但钛金属同样损失较大。

2.2 湿式预选试验

干式预选试验结果显示抛尾中 TiO₂ 品位较高, 钛金属损失较大, 因此进行了湿式预选试验, 湿式预选设备采用重磁拉, 背景磁场强度为 0.6 T, 该设备适用于弱磁性矿物预选, 对入选矿物粒度适应性较强。

2.2.1 -12 mm 粒级预选试验

首先进行了-12 mm 粒级预选试验, 重磁拉预选重要参数为坡度, 为了考查坡度对-12 mm 粒级预选抛尾指标的影响, 进行了预选坡度对比试验, 结果见表 7。

表 7 -12 mm 粒级预选坡度试验结果
Table 7 Test results of wet magnetic pre-concentration under different slopes for -12 mm fine crushed products

坡度/(°)	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
8	精矿	85.55	18.77	6.91	93.69	93.96
	尾矿	14.45	7.48	2.63	6.31	6.04
	原矿	100.00	17.14	6.29	100.00	100.00
10	精矿	84.78	18.76	6.98	93.30	93.64
	尾矿	15.22	7.51	2.64	6.70	6.36
	原矿	100.00	17.05	6.32	100.00	100.00
12	精矿	81.24	19.01	7.13	91.55	92.10
	尾矿	18.76	7.60	2.65	8.45	7.90
	原矿	100.00	16.87	6.29	100.00	100.00
14	精矿	79.05	19.45	7.18	89.86	91.06
	尾矿	20.95	8.28	2.66	10.14	8.94
	原矿	100.00	17.11	6.23	100.00	100.00

由表 7 可知,随着坡度的升高,抛尾产率逐渐增加,尾矿 TFe、TiO₂ 品位随之升高,精矿 TFe、TiO₂ 品位也逐渐升高,但铁、钛回收率随之下降。

当坡度从 8°增大到 14°,抛尾产率从 14.45% 提高到 20.95%,尾矿 TFe 品位从 7.48% 增加至 8.28%,TiO₂ 品位从 2.63% 增大到 2.66%,湿式抛尾指标与表 6 干式抛尾指标对比,前者抛尾中 TFe、TiO₂ 品位均降低明显,但抛尾产率较低。

为了进一步提高抛尾指标,结合目前最新的高压辊磨技术,高压辊磨产品粒度可达-6 mm 和-3 mm,因此将预选粒度降低至-6 mm 和-3 mm。

2.2.2 -6 mm 粒级预选试验

为了考查-6 mm 原矿预选抛尾效果,进行了坡度对比试验,结果见表 8。由表 8 可知,随着坡度从 8°增大到 14°,抛尾产率从 15.37% 提高到 21.58%,尾矿 TFe 品位从 7.58%增加至 7.83%,TiO₂ 品位从 2.75% 增大到 2.89%,尾矿中 TFe、TiO₂ 品位均较低,但抛尾产率仍然较低。

2.2.3 -3 mm 粒级预选试验

为了考查-3 mm 原矿预选抛尾效果,进行了坡度对比试验,结果见表 9。由表 9 可知,随着坡度从 8°增大到 14°,抛尾产率从 26.10% 提高到 29.51%,尾矿 TFe 品位从 7.36% 增加至 7.84%,TiO₂ 品位从 2.67% 增大到 2.95%,综合抛尾产率及回收率指标,

选择-3 mm 粒级原矿预选抛尾,而预选坡度适宜选择 14°。

表 8 -6 mm 粒级预选坡度试验结果
Table 8 Test results of wet magnetic pre-concentration under different slopes for -6 mm fine crushed products

坡度/(°)	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
8	精矿	84.63	18.53	6.92	93.08	93.27
	尾矿	15.37	7.58	2.75	6.92	6.73
	给矿	100.00	16.85	6.28	100.00	100.00
10	精矿	82.20	18.84	6.85	91.81	91.84
	尾矿	17.80	7.76	2.81	8.19	8.16
	给矿	100.00	16.88	6.13	100.00	100.00
12	精矿	78.89	19.28	7.02	90.23	90.20
	尾矿	21.11	7.80	2.85	9.77	9.80
	给矿	100.00	16.86	6.14	100.00	100.00
14	精矿	78.42	19.33	7.21	89.97	90.07
	尾矿	21.58	7.83	2.89	10.03	9.93
	给矿	100.00	16.85	6.28	100.00	100.00

表 9 -3 mm 粒级预选坡度试验结果
Table 9 Test results of wet magnetic pre-concentration under different slopes for -3 mm fine crushed products

坡度/(°)	产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO ₂	TFe	TiO ₂
8	精矿	73.90	20.29	7.58	88.64	88.94
	尾矿	26.10	7.36	2.67	11.36	11.06
	给矿	100.00	16.92	6.30	100.00	100.00
10	精矿	73.49	20.31	7.64	87.98	88.66
	尾矿	26.51	7.69	2.71	12.02	11.34
	给矿	100.00	16.96	6.33	100.00	100.00
12	精矿	72.44	20.58	7.85	87.45	87.98
	尾矿	27.56	7.76	2.82	12.55	12.02
	给矿	100.00	17.05	6.46	100.00	100.00
14	精矿	70.49	20.74	7.97	86.34	86.58
	尾矿	29.51	7.84	2.95	13.66	13.42
	给矿	100.00	16.94	6.49	100.00	100.00

3 结论

1)原矿为贫铁钛矿石,Fe 和 TiO₂ 含量分别为

17.14%、6.32%，铁矿物主要是钛磁铁矿，钛矿物主要是钛铁矿，次为榍石，脉石矿物较常见的有辉石，次为闪石、绿泥石和蛇纹石等。

2)干式抛尾与湿式抛尾指标对比，前者抛尾产率较大，后者抛尾中 Fe 和 TiO_2 品位较低。

3)综合考虑抛尾产率及钛金属损失，在-3 mm 粒度进行湿式抛尾指标最优，抛尾产率 29.51%，预选精矿含 TFe 20.74%、 TiO_2 7.97%，铁、钛回收率分别为 86.34%、86.58%。

参考文献

- [1] Dong Wenchao. Study on comprehensive recycling and mechanism of low grade refractory ilmenite[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.
(董文超. 低品位难选钛铁矿综合回收利用及机理研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.)
- [2] Zhong Senlin, Xie Baohua, Wang Fengyu, *et al.* Experimental study on beneficiation of a foreign primary ilmenite ore[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2022, 43(3): 98–103.
(钟森林, 谢宝华, 王丰雨, 等. 国外某原生钛铁矿选矿工艺试验研究[J]. 钢铁钒钛, 2022, 43(3): 98–103.)
- [3] Wu Yitong, Zhang Xiaolin. Study on mineral processing technology of a low-grade ilmenite in Sichuan[J]. *Mining and Metallurgy*, 2020, 29(3): 40–44.
(吴奕彤, 章晓林. 四川某低品位钛铁矿选矿工艺研究[J]. 矿冶, 2020, 29(3): 40–44.)
- [4] Ministry of Natural Resources, People's Republic of China. China mineral resources report[M]. Beijing: Geology Press, 2022.
(中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告[M]. 北京: 地质出版社, 2022.)

编辑 杨冬梅

《钢铁钒钛》连续三年入选《科技期刊世界影响力指数 (WJCI) 报告》

2022 年 12 月，《科技期刊世界影响力指数 (WJCI) 报告 (2022)》(简称《WJCI 报告》)正式发布，《钢铁钒钛》期刊再度入选。这是自 2020 年 (WJCI) 报告首次公布以来，《钢铁钒钛》连续第三年入选，既是对《钢铁钒钛》办刊质量、学术水平和价值的充分肯定，也为期刊的宣传和发展提供了更广阔的舞台。

《WJCI 报告》是由中国科学技术信息研究所、《中国学术期刊 (光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆、万方数据有限公司、中国高校科技期刊研究会、中国科学技术期刊编辑学会联合研制，是一份体现世界期刊同台竞技结果的期刊评价报告，于 2020 年首次公布。旨在建立新的期刊评价系统，更加全面评价科技期刊在当今社会对全球科技创新活动提供的出版传播服务及其学术影响力，客观反映以中国为代表的新兴科技大国的真实贡献，有利于推动世界科技期刊公平评价、同质等效使用。

经严格遴选，WJCI2022 版最终从全球正在出版的 6 万余种科技学术期刊中精选了最具地区代表性、学科代表性、行业代表性的优秀期刊 15022 种为《世界引文库》来源刊，其中中国期刊 1634 种，中文期刊 1262 种。

本刊讯