攀西某钒钛磁铁矿选铁试验研究①

姜克冰
(四川省钒钛产业投资发展有限公司, 四川 攀枝花 617000)

摘 要: 为实现攀西某典型矿区钒钛磁铁矿资源中铁元素的经济高效回收,针对该矿区具有代表性的综合矿样开展了系统工艺矿物学分析,并在此基础上进行了粗粒预先抛尾、阶段磨矿-弱磁选等试验研究。结果表明,矿石中的铁主要赋存于钛磁铁矿中,但其与钛铁矿、脉石矿物嵌布关系复杂,且钛磁铁矿中普遍发育微细粒钛铁矿片晶等固溶体分离结构,是影响铁精矿品位提升的关键因素。采用湿式抛尾、三段磨矿-三段弱磁选工艺处理该矿区综合样,获得了 TFe 回收率 61.99%、TFe 品位 57.98%的铁精矿。

关键词: 钒钛磁铁矿; 阶磨阶选; 弱磁选; 铁精矿; 钛铁矿; 钛磁铁矿
中图分类号: TD92;TD981 **文献标志码**: A doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2026.03.024
文章编号: 0253-6099(2026)03-0170-05

Experimental Study on Iron Beneficiation of a Vanadium-Titanium Magnetite Ore in Panxi Region

JIANG Kebing
(*Sichuan Vanadium and Titanium Industry Investment and Development Co., Ltd., Panzhihua* 617000, *Sichuan*, *China*)

Abstract: To achieve economical and efficient recovery of iron from the vanadium-titanium magnetite ore resources in a typical mining area of Panxi, a systematical process mineralogy analysis was conducted for representative and comprehensive ore samples from this area. On this basis, experimental studies were carried out, including pretreatment of coarse ore for tailings discarding, staged grinding and low-intensity magnetic separation (LIMS) processes. The results show that iron in the ore mainly occurs in titanomagnetite, which has a complex dissemination with ilmenite and gangue minerals. Moreover, exsolution textures such as fine-grained ilmenite lamellae are widely developed in titanomagnetite, which is the key factor restricting the improvement of iron concentrate grade. The comprehensive ore sample was processed by adopting a process of wet pre-discarding, three-stage staged grinding and three-stage LIMS, and an iron concentrate grading 57.98% TFe was obtained with a TFe recovery of 61.99%.

Key words: vanadium-titanium magnetite; staged grinding and staged separation; low-intensity magnetic separation; iron concentrate; ilmenite; titanomagnetite

四川攀西地区是中国重要的钒钛磁铁矿资源基地,其矿石资源储量大,共伴生有价元素多(如钛、钒、铬等)[1-2]。其中,铁是钒钛磁铁矿中的主要有价元素,其回收效果不仅直接关系到经济效益,也影响钛、钒等共伴生元素的后续回收与整体资源利用率[3-4]。

攀西某钒钛磁铁矿矿石类型复杂,为高效回收其中的铁元素,本文通过系统的工艺矿物学研究,厘清铁元素的赋存状态与关键矿物学特征;进而开展粗粒抛尾、磨矿、弱磁选等系列试验,优化选铁工艺参数,以确定最佳的选铁技术参数。

1 试验原料

攀西某钒钛磁铁矿矿床矿石类型以辉长岩、辉石岩和橄辉岩为主。通过将不同岩性的矿石按比例混合,配制出在化学组成、矿物共生关系及可选性上能够综合反映整个矿床资源特征的综合矿样,从而使后续的选矿工艺试验结果更具代表性和工程指导价值。综合矿样配比情况见表 1。

综合矿样经破碎加工后测定其主要化学成分,结果如表 2 所示。由表 2 可知,矿样中主要有价成分为

① **收稿日期**: 2025-12-02
作者简介: 姜克冰(1994—),男,辽宁辽阳人,硕士,工程师,主要从事钒钛磁铁矿选矿领域科研相关工作。E-mail:924244201@qq.com

TFe(20.32%)、TiO_2(8.54%),脉石以 SiO_2(30.67%)、MgO(9.17%)为主。对比表 2 和表 1 数据可知,TFe、TiO_2、V_2O_5 的配样计算理论品位与矿样实际品位的绝对误差分别为 0.05 百分点、-0.35 百分点、-0.01 百分点,在误差允许范围内,试验样品具有代表性。

表 1　综合矿样配比情况

Table 1　Blending ratio of comprehensive sample

岩性	配比/%	计算平均品位/%		
		TFe	TiO_2	V_2O_5
辉长岩	32.70	16.77	7.46	0.14
辉石岩	38.47	22.70	8.61	0.19
橄辉岩	28.83	21.34	8.44	0.19
合计	100.00	20.37	8.19	0.17

表 2　综合矿样主要化学成分分析结果(质量分数)

Table 2　Multi-elemental analysis of comprehensive sample　%

TiO_2	TFe	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	S
8.54	20.32	10.27	9.17	7.19	30.67	0.36
P_2O_5	Cr_2O_3	V_2O_5	Cu	Co	Ni	
0.68	0.19	0.18	0.02	0.012	0.03	

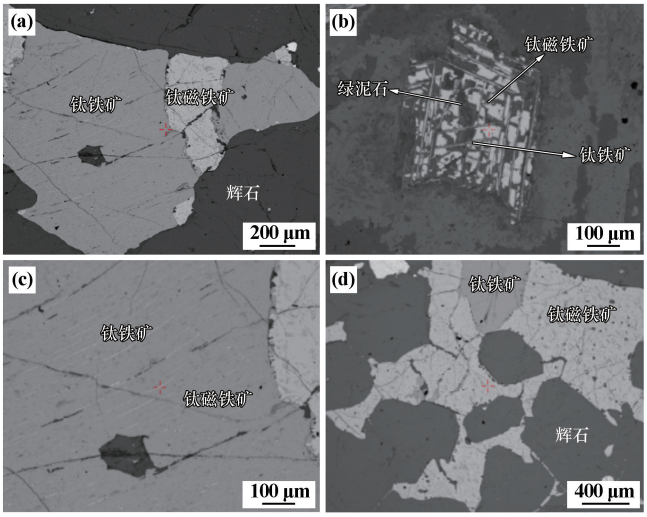
综合矿样中 Fe 元素赋存状态如表 3 所示。由表 3 可知,综合矿样中的铁主要分布于钛磁铁矿中,其次分布于钛铁矿中,少量的铁分布在辉石、绿泥石、角闪石及橄榄石中,剩余微量的铁分散分布在黄铁矿、黑云母、绿帘石、斜长石等其他矿物中。

表 3　综合矿样中 Fe 元素赋存状态分析结果

Table 3　Occurrence state of Fe in comprehensive sample

矿物名称	含量(质量分数)/%	Fe 分布率/%
钛磁铁矿	24.65	70.821
钛铁矿	8.02	12.772
金红石	0.20	0.008
黄铁矿	0.57	1.225
辉石	30.36	7.109
斜长石	9.85	0.142
橄榄石	4.05	1.485
绿泥石	6.50	3.207
角闪石	7.00	2.583
黑云母	1.00	0.466
磷灰石	1.49	0.014
榍石	1.50	0.014
绿帘石	3.50	0.152
其他	1.31	0.002
合计	100.00	100.000

钛磁铁矿嵌布关系如图 1 所示,钛磁铁矿原生粒度统计如表 4 所示。由图 1 和表 4 分析可知,该试验矿样具有以下关键特征:① 嵌布复杂,钛磁铁矿与钛铁矿连生,钛磁铁矿普遍发育网格状、串珠状、星点状固溶体分离结构,出溶物以微细粒钛铁矿片晶及尖晶石为主,且粒度微细,磨矿时解离难度较大,难以通过选矿有效剔除,易随钛磁铁矿混入铁精矿;② 蚀变影响,部分自形、半自形钛磁铁矿发生强烈蚀变,绿泥石与钛磁铁矿紧密共生,绿泥石在磨矿时易过磨,导致矿浆泥质含量增加;③ 粒度粗大,+0.074 mm 粒级占比达 82.5%,但微细粒钛铁矿片晶粒径较小,选矿回收难度较大。



(a) 它形粒状钛磁铁矿与自形晶粒状钛铁矿紧密共生;
(b) 钛磁铁矿发生强烈的绿泥石蚀变;
(c) 钛铁矿中可见纤细的钛磁铁矿条脉;
(d) 钛磁铁矿中网格状、串珠状、星点状固溶体分离结构

图 1　钛磁铁矿嵌布关系

Fig. 1　Disemination characteristics of titanomagnetite

表 4　钛磁铁矿原生粒度统计结果

Table 4　Statistics of primary particle size of titanomagnetite

粒径/mm	粒级产率/%
+0.5	35.2
-0.5+0.15	26.7
-0.15+0.074	20.6
-0.074+0.043	12.3
-0.043	5.2
合计	100.0

2　粗粒预先抛尾试验

2.1　弱磁选磁场强度试验

根据前期探索试验结果,采用弱磁选对-3 mm 综合样进行湿式抛尾,弱磁选磁场强度对湿式抛尾效果的影响见表 5。由表 5 可知,随着磁场强度增大,湿式抛尾弱磁选精矿产率增大,TFe 品位减小,TFe 回收率增大;磁场强度大于 199.00 kA/m 后,TFe 回收率增加

不明显。综合考虑能耗与回收率,适宜的磁场强度为199.00 kA/m。

表5 弱磁选磁场强度对湿式抛尾效果的影响

Table 5 Effect of magnetic field intensity of LIMS on wet pre-discarding

磁场强度/(kA·m^{-1})	产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
159.20	弱磁选精矿	57.35	29.88	11.38	81.04	79.32
	弱磁选尾矿	42.65	9.40	3.99	18.96	20.68
	给矿	100.00	21.15	8.23	100.00	100.00
199.00	弱磁选精矿	60.64	28.56	11.04	82.40	79.78
	弱磁选尾矿	39.36	9.40	4.31	17.60	20.22
	给矿	100.00	21.02	8.39	100.00	100.00
238.80	弱磁选精矿	60.71	28.01	11.07	82.56	81.09
	弱磁选尾矿	39.29	9.14	3.99	17.44	18.91
	给矿	100.00	20.60	8.29	100.00	100.00

2.2 湿式抛尾尾矿再选磁场强度试验

对磁场强度199.00 kA/m条件下的湿式抛尾尾矿(弱磁选尾矿)进行强磁选以进一步回收其中的钛,强磁选磁场强度对钛回收效果的影响见表6。由表6可知,磁场强度增大,TiO_2回收率逐渐增大;磁场强度超过796.00 kA/m后,TiO_2回收率基本不再增加。综合考虑,适宜的强磁选磁场强度为796.00 kA/m。

表6 强磁选磁场强度对钛回收效果的影响

Table 6 Influence of magnetic field intensity of HIMS on titanium recovery

磁场强度/(kA·m^{-1})	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
477.60	强磁选精矿	33.79	12.58	6.94	44.34	52.46
	强磁选尾矿	66.21	8.06	3.21	55.66	47.54
	弱磁选尾矿	100.00	9.59	4.47	100.00	100.00
636.80	强磁选精矿	36.46	12.33	6.83	47.92	59.30
	强磁选尾矿	63.54	7.69	2.69	52.08	40.70
	弱磁选尾矿	100.00	9.38	4.20	100.00	100.00
796.00	强磁选精矿	42.05	12.22	6.83	54.68	66.65
	强磁选尾矿	57.95	7.35	2.48	45.32	33.35
	弱磁选尾矿	100.00	9.40	4.31	100.00	100.00
955.20	强磁选精矿	43.08	12.17	6.81	55.09	66.64
	强磁选尾矿	56.92	7.51	2.58	44.91	33.36
	弱磁选尾矿	100.00	9.52	4.40	100.00	100.00

2.3 湿式抛尾全流程试验

根据条件试验结果,确定了湿式抛尾试验流程,如图2所示,结果见表7。由表7可知,经过湿式弱磁选+强磁选再选,可获得TFe品位28.56%、TiO_2品位11.04%,TFe回收率83.30%、TiO_2回收率79.79%的弱磁选精矿以及TFe品位12.22%、TiO_2品位6.83%,TFe回收率9.72%、TiO_2回收率13.47%的强磁选精矿,最终尾矿抛尾产率22.81%,TFe品位6.36%、TiO_2品位2.48%,TFe损失率6.98%、TiO_2损失率6.74%,获得了较好的抛尾效果。湿式抛尾精矿(弱磁选精矿+强磁选精矿)产率77.19%,TFe品位25.06%、TiO_2品位10.14%,TFe回收率93.02%、TiO_2回收率93.26%。

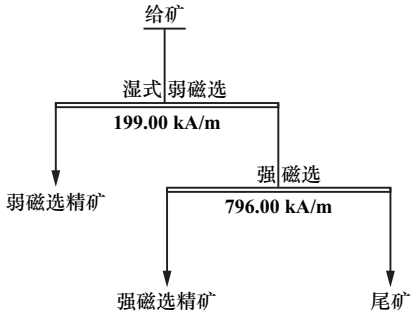


图2 湿式抛尾试验流程

Fig. 2 Flowchart of wet pre-discarding test

表7 湿式抛尾试验结果

Table 7 Wet pre-discarding test results

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
弱磁选精矿	60.64	28.56	11.04	83.30	79.79
强磁选精矿	16.55	12.22	6.83	9.72	13.47
湿式抛尾精矿	77.19	25.06	10.14	93.02	93.26
尾矿	22.81	6.36	2.48	6.98	6.74
给矿	100.00	20.79	8.39	100.00	100.00

3 选铁试验研究

磨矿细度是决定钛磁铁矿单体解离度的关键。磨矿不足,连生体多,精矿品位低;过磨则易产生泥化,增加磁团聚夹杂,同样影响品位,并导致金属流失[5]。本文采用阶段磨矿-阶段磁选的方法进行选铁试验研究。

3.1 一段选铁试验

3.1.1 一段磨矿细度试验

对湿式抛尾精矿进行一段磨矿-磁选试验,磁场强度为143.28 kA/m,一段磨矿细度试验结果见表8。由表8可知,随着磨矿细度增加,一段铁精矿TFe品位升高,TFe作业回收率先升高后降低,一段铁精矿中TiO_2品位上升。综合考虑各项指标,确定一段磨矿细度为-0.074 mm粒级占50.87%。

3.1.2 一段磁选磁场强度试验

磨矿细度-0.074 mm粒级占50.87%条件下,进行了一段磁场强度试验,结果见表9。由表9可知,随着磁场强度增大,一段铁精矿TFe品位逐渐降低,作业回收率逐渐升高。综合各项指标考虑,确定一段磁选磁场强度143.28 kA/m为宜。

表 8　一段磨矿细度试验结果

Table 8　1st-stage grinding fineness test results

-0.074 mm 粒级占比/%	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
35.87	一段铁精矿	47.04	40.43	12.78	75.60	58.96
	一段选铁尾矿	52.96	11.59	7.90	24.40	41.04
	给矿	100.00	25.16	10.20	100.00	100.00
41.26	一段铁精矿	45.61	41.59	12.96	75.66	58.28
	一段选铁尾矿	54.39	11.22	7.78	24.34	41.72
	给矿	100.00	25.07	10.14	100.00	100.00
45.09	一段铁精矿	45.23	42.52	13.06	76.63	58.38
	一段选铁尾矿	54.77	10.71	7.69	23.37	41.62
	给矿	100.00	25.10	10.12	100.00	100.00
50.87	一段铁精矿	44.80	43.59	13.18	77.64	58.53
	一段选铁尾矿	55.20	10.19	7.58	22.36	41.47
	给矿	100.00	25.15	10.09	100.00	100.00
56.48	一段铁精矿	44.36	43.82	13.25	77.16	58.45
	一段选铁尾矿	55.64	10.34	7.51	22.84	41.55
	给矿	100.00	25.19	10.06	100.00	100.00

表 9　一段磁场强度试验结果

Table 9　1st-stage magnetic field intensity test results

磁场强度/($kA \cdot m^{-1}$)	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
95.52	一段铁精矿	44.38	43.92	13.40	77.28	58.68
	一段选铁尾矿	55.62	10.30	7.53	22.72	41.32
	给矿	100.00	25.22	10.14	100.00	100.00
111.44	一段铁精矿	44.62	43.74	13.31	77.49	58.81
	一段选铁尾矿	55.38	10.24	7.51	22.51	41.19
	给矿	100.00	25.19	10.10	100.00	100.00
143.28	一段铁精矿	44.80	43.59	13.18	77.64	58.53
	一段选铁尾矿	55.20	10.19	7.58	22.36	41.47
	给矿	100.00	25.15	10.09	100.00	100.00
175.12	一段铁精矿	44.97	43.26	13.08	77.76	58.38
	一段选铁尾矿	55.03	10.11	7.62	22.24	41.62
	给矿	100.00	25.02	10.08	100.00	100.00

3.2　二段选铁试验

3.2.1　二段磨矿细度试验

对一段磨矿-磁选获得的一段铁精矿进行二段磨矿-磁选试验。磁场强度为 111.44 kA/m,二段磨矿细度试验结果见表 10。由表 10 可知,随着二段磨矿细度增加,铁精矿 TFe 品位和作业回收率均呈增大趋势。综合考虑各项指标,二段磨矿细度-0.074 mm 粒级占比 85.62%为宜。

3.2.2　二段磁选磁场强度试验

二段磨矿细度-0.074 mm 粒级占 85.62%条件下,进行了二段磁选磁场强度试验,结果见表 11。由表 11 可知,随着磁场强度增大,二段铁精矿品位逐渐降低,作业回收率逐渐升高。综合考虑各项指标,确定二段磁选磁场强度 111.44 kA/m 为宜。

表 10　二段磨矿细度试验结果

Table 10　2nd-stage grinding fineness test results

-0.074 mm 粒级占比/%	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
75.93	二段铁精矿	74.39	51.61	12.62	90.26	70.09
	二段选铁尾矿	25.61	16.18	15.64	9.74	29.91
	一段铁精矿	100.00	42.54	13.39	100.00	100.00
81.26	二段铁精矿	74.03	52.46	12.54	90.48	69.74
	二段选铁尾矿	25.97	15.74	15.51	9.52	30.26
	一段铁精矿	100.00	42.92	13.31	100.00	100.00
85.62	二段铁精矿	73.66	53.23	12.48	90.70	69.33
	二段选铁尾矿	26.34	15.27	15.44	9.30	30.67
	一段铁精矿	100.00	43.23	13.26	100.00	100.00
91.49	二段铁精矿	73.28	53.47	12.44	90.69	68.87
	二段选铁尾矿	26.72	15.06	15.42	9.31	31.13
	一段铁精矿	100.00	43.21	13.24	100.00	100.00

表 11　二段磁场强度试验结果

Table 11　2nd-stage magnetic field intensity test results

磁场强度/($kA \cdot m^{-1}$)	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
79.60	二段铁精矿	73.23	53.73	12.70	90.50	69.37
	二段选铁尾矿	26.77	15.42	15.34	9.50	30.63
	一段铁精矿	100.00	43.47	13.41	100.00	100.00
95.52	二段铁精矿	73.48	53.47	12.59	90.62	69.39
	二段选铁尾矿	26.52	15.34	15.39	9.38	30.61
	一段铁精矿	100.00	43.36	13.33	100.00	100.00
111.44	二段铁精矿	73.66	53.23	12.48	90.70	69.33
	二段选铁尾矿	26.34	15.27	15.44	9.30	30.67
	一段铁精矿	100.00	43.23	13.26	100.00	100.00
143.28	二段铁精矿	73.84	53.07	12.51	90.78	69.52
	二段选铁尾矿	26.16	15.22	15.48	9.22	30.48
	一段铁精矿	100.00	43.17	13.29	100.00	100.00

3.3　三段选铁试验

3.3.1　三段选铁磨矿细度试验

对二段磨矿-磁选获得的二段铁精矿进行了三段磨矿-磁选试验。磁场强度为 95.52 kA/m,三段磨矿细度试验结果见表 12。由表 12 可知,随着三段磨矿细度增加,铁精矿 TFe 品位呈增大趋势,作业回收率小幅波动。综合考虑各项指标,三段磨矿细度-0.038 mm 粒级占 90.13%为宜。

3.3.2　三段磁选磁场强度试验

三段磨矿细度-0.038 mm 粒级占 90.13%条件下,进行了三段磁选磁场强度试验,结果见表 13。由表 13 可知,随着磁场强度增强,铁精矿品位先增大后减小,作业回收率逐渐增大。综合考虑各项指标,确定三段磁选磁场强度 95.52 kA/m 为宜。

4　全流程选铁试验

在条件试验基础上,采用湿式抛尾、三段磨矿-三

表 12 三段磨矿细度试验结果

Table 12 3rd-stage grinding fineness test results

-0.038 mm 粒级占比/%	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
80.05	铁精矿	89.54	56.02	11.48	95.61	81.76
	三段选铁尾矿	10.46	22.04	21.93	4.39	18.24
	二段铁精矿	100.00	52.47	12.57	100.00	100.00
86.28	铁精矿	88.27	56.87	11.41	95.13	79.52
	三段选铁尾矿	11.73	21.89	22.12	4.87	20.48
	二段铁精矿	100.00	52.77	12.67	100.00	100.00
90.13	铁精矿	86.80	57.98	11.36	94.62	77.25
	三段选铁尾矿	13.20	21.66	22.00	5.38	22.75
	二段铁精矿	100.00	53.19	12.76	100.00	100.00
94.62	铁精矿	86.75	57.95	11.33	94.59	77.08
	三段选铁尾矿	13.25	21.68	22.06	5.41	22.92
	二段铁精矿	100.00	53.14	12.75	100.00	100.00

表 13 三段磁场强度试验结果

Table 13 3rd-stage magnetic field intensity test results

磁场强度/(kA·m^{-1})	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
79.60	铁精矿	86.57	57.95	11.33	94.52	76.90
	三段选铁尾矿	13.43	21.66	21.94	5.48	23.10
	二段铁精矿	100.00	53.08	12.75	100.00	100.00
95.52	铁精矿	86.80	57.98	11.49	94.62	77.45
	三段选铁尾矿	13.20	21.66	22.00	5.38	22.55
	二段铁精矿	100.00	53.19	12.88	100.00	100.00
111.44	铁精矿	86.98	57.75	11.36	94.68	77.49
	三段选铁尾矿	13.02	21.66	22.05	5.32	22.51
	二段铁精矿	100.00	53.05	12.75	100.00	100.00
143.28	铁精矿	87.25	57.58	11.42	94.79	77.94
	三段选铁尾矿	12.75	21.66	22.12	5.21	22.06
	二段铁精矿	100.00	53.00	12.78	100.00	100.00

段弱磁选工艺流程进行选铁,试验结果见表 14,试验流程如图 3 所示。针对 TFe 品位 20.74%、TiO_2 品位 8.29%的原矿,通过湿式抛尾+三段阶磨阶选,可获得产率 22.18%,TFe 品位 57.98%、TiO_2 品位 11.06%,TFe 回收率 61.99%、TiO_2 回收率 29.58%的铁精矿。

表 14 全流程选铁试验结果

Table 14 Whole-process iron beneficiation test results

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		TFe	TiO_2	TFe	TiO_2
铁精矿	22.18	57.98	11.06	61.99	29.58
一段选铁尾矿	42.54	10.19	7.58	20.81	38.75
二段选铁尾矿	9.11	15.27	15.44	6.71	16.45
三段选铁尾矿	3.36	21.66	22.00	3.51	8.48
湿抛尾矿	22.81	6.36	2.48	6.98	6.74
原矿	100.00	20.74	8.29	100.00	100.00

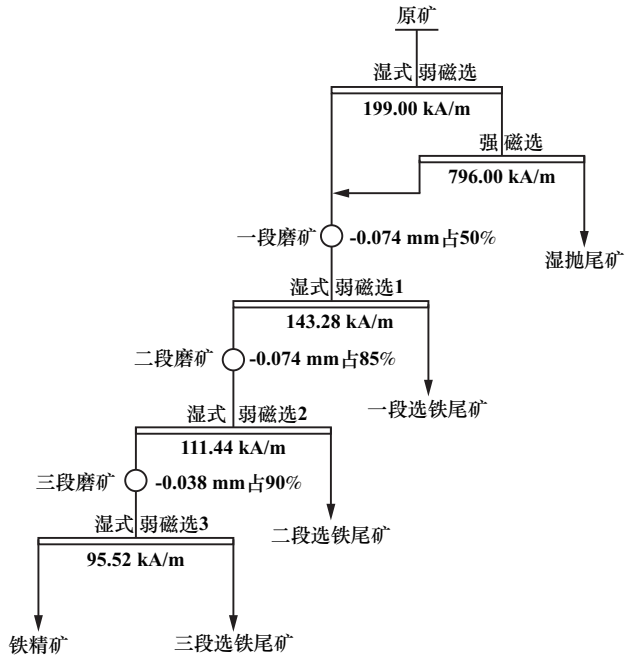


图 3 全流程选铁试验流程

Fig. 3 Whole-process flowchart of iron beneficiation

5 结论

1) 攀西某钒钛磁铁矿中的铁主要赋存于钛磁铁矿中,分布率达 70.821%,其次赋存于钛铁矿中;脉石矿物以辉石、斜长石、角闪石为主。矿石属典型高钛型钒钛磁铁矿贫矿。

2) 钛磁铁矿是选铁核心目标矿物,但普遍发育网格状、串珠状固溶体分离结构,伴生微细粒钛铁矿片晶及尖晶石,且部分发生绿泥石蚀变,这些因素共同制约铁精矿品位提升。

3) 采用湿式抛尾、三段磨矿-三段弱磁选工艺流程处理该综合矿样,最终可获得产率 22.18%,TFe 品位 57.98%、TiO_2 品位 11.06%,TFe 回收率 61.99%、TiO_2 回收率 29.58%的铁精矿。

参考文献(References):

[1] 王利珍,姜楚灵,朱家祥,等. 攀西某钒钛磁铁矿中钛的赋存状态研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(5):84-88.
WANG Lizhen, JIANG Chuling, ZHU Jiaxiang, et al. Occurrence state of titanium in vanadium-titanium magnetite ore from Panxi region[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(5):84-88.

[2] 杨耀辉,惠博,颜世强,等. 全球钒钛磁铁矿资源概况与综合利用研究进展[J]. 矿产综合利用, 2023(4):1-11.
YANG Yaohui, HUI Bo, YAN Shiqiang, et al. Overview of global vanadium-titanium magnetite resources and comprehensive utilization[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023,44(4):1-11.

(下转第 179 页)

[6] 陈晓东. 艾砂磨机在细磨中的应用[J]. 黄金, 2023,44(1):58-62.
CHEN Xiaodong. Application of ALC mill to fine grinding[J]. Gold, 2023,44(1):58-62.

[7] 杨宁,黄宇林,徐启云,等. 精锐微泡浮选机在上宫金矿的试验应用[J]. 黄金, 2021,42(4):67-70.
YANG Ning, HUANG Yulin, XU Qiyun, et al. Experimental application of Jingrui micro-foam flotation concentrator in Shanggong Gold Mine[J]. Gold, 2021,42(4):67-70.

[8] 陈晓东. 精锐微泡浮选机强化微细粒浮选的机理与实践[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(1):112-116.
CHEN Xiaodong. Principle and practice of enhanced flotation performance of fine particles by JRF micro-bubble flotation machine[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2021(1):112-116.

[9] CHEN J H, LAN L H, LIAO X J. Depression effect of pseudo glycolythiourea acid in flotation separation of copper-molybdenum[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013,23(3):824-831.

[10] 张曙光,简胜,唐鑫,等. 某含钼低品位硫化铜矿综合回收钼的选矿研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(1):48-51.
ZHANG Shuguang, JIAN Sheng, TANG Xin, et al. Comprehensive recovery of molybdenum resource from low-grade molybdenum-bearing copper sulfide ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(1):48-51.

[11] 田小松,褚力新,梁泽跃,等. 云南某铜钼混合精矿选别工艺流程设计改造与生产实践[J]. 矿冶工程, 2025,45(2):76-79.
TIAN Xiaosong, CHU Lixin, LIANG Zeyue, et al. Improvement and production practice of Co/Mo separation process for Co-Mo bulk concentrate in Yunnan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(2):76-79.

引用本文:陈炫德,董明. 基于艾砂磨机和微泡浮选机协同的某斑岩型铜矿铜钼分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2026,46(3):175-179.
CHEN Xuande, DONG Ming. Experimental study on Cu/Mo separation of a porphyry copper ore by ALC mill combined with micro-bubble flotation machine[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(3):175-179.

(上接第 174 页)

[3] 惠博,杨耀辉. 攀西红格矿区橄辉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.
HUI Bo, YANG Yaohui. Properties of olive-pyroxene vanadium-titanium magnetite ore in Hongge mining area of Panxi research and influence on mineral processing technology[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020,41(4):126-129.

[4] 陈福林,文永才,王志杰,等. 攀西某钒钛铁精矿提质技术研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(5):77-79.
CHEN Fulin, WEN Yongcai, WANG Zhijie, et al. Improving quality of vanadium-titanium iron concentrate in Panzhihua-Xichang region[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(5):77-79.

[5] 曹玉川. 攀西某低品位钒钛磁铁矿选铁工艺研究[J]. 钢铁钒钛, 2023,44(3):114-117.
CAO Yuchuan. Experimental study on iron concentrate separation from a low-grade vanadium-titanium magnetite in Panxi area[J]. Iron Steel Vanadium Titanium,2023,44(3):114-117.

引用本文:姜克冰. 攀西某钒钛磁铁矿选铁试验研究[J]. 矿冶工程, 2026,46(3):170-174.
JIANG Kebing. Experimental study on iron beneficiation of a vanadium-titanium magnetite ore in Panxi region[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(3):170-174.

关于检测学术不端的公告

为弘扬良好学术风气,保护知识产权,防止抄袭、伪造、篡改、不当署名、一稿多投、一个学术成果多篇发表等学术不端行为,本刊与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社合作,由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社学术不端文献检测中心对本刊网络版刊登的文章进行系统检测,并按照“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”,对出现以上学术不端行为的文章作出严肃处理。

特此公告!

矿冶工程杂志编辑部

2026 年 6 月