

采矿与选矿

高硫磁铁矿预脱磁降硫提质试验研究

黄渝芝¹, 谢 贤^{2*}, 兰希雄¹, 刘代才¹, 张自江¹, 甘云霄¹

(1. 云南华联锌铜股份有限公司, 云南 文山 663700; 2. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650000)

摘 要: 针对都龙矿区的高硫磁铁矿, 采用 MLA 等手段对其进行了分析, 结果表明: 高硫磁铁矿所含有价元素主要为铁、硫和锡, 铁主要以磁铁矿形式存在, 硫化物主要存在于磁黄铁矿和黄铁矿中, 锡以锡石形式存在。脉石矿物主要为滑石、铁滑石和黑云母等。基于矿石性质研究, 拟定了“预脱磁+浮选脱硫+弱磁选”选别工艺, 闭路试验结果表明: 采用预脱磁处理、磨矿细度-0.074 mm 89%、活化剂 AS-106 3 500 g/t、捕收剂 B30-2 150 g/t、弱磁选磁场强度 0.1 T 的条件下, 可获得硫品位为 23.49%、铁品位 60.16%、硫回收率 97.70% 的高铁硫精矿; 含硫 0.43%、铁品位和回收率分别为 66.79% 和 57.08% 的优质铁精矿。

关键词: 高硫磁铁矿; 预脱磁; 浮选脱硫; 弱磁选

中图分类号: TD952; TD923.14 文献标志码: A

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2026.03.021

文章编号: 1004-7638(2026)03-0181-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



与作者
互动
听语音
聊科研

Experimental study and application of pre-demagnetization for desulfurization and quality improvement of high-sulfur magnetite ore

HUANG Yuzhi¹, XIE Xian^{2*}, LAN Xixiong¹, LIU Daicai¹, ZHANG Zijiang¹, GAN Yunxiao¹

(1. Yunnan Hualian Zinc & Indium Co., Ltd., Wenshan 663700, Yunnan, China; 2. Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, Yunnan, China)

Abstract: In this paper component analysis was conducted on the high-sulfur magnetite ore from the Dulong mining area, by means of MLA. Analysis results indicate that the valuable elements in the high-sulfur magnetite ore are mainly iron, sulfur, and tin. Iron mainly exists in the form of magnetite, while sulfides are primarily present in pyrite and pyrrhotite, and tin exists in the form of cassiterite. The gangue minerals mainly consist of talc, iron talc, and biotite. Based on the analysis on the ore components, a separation process of 'pre-demagnetization, flotation desulfurization, and weak magnetic separation' had been proposed. Closed circuit separation test results indicated that under the conditions of pre-demagnetization treatment, grinding fineness of -0.074 mm at 89%, activator AS-106 at 3 500 g/t, collector B30-2 at 150 g/t, and weak magnetic separation field strength of 0.1 T, a high iron sulfur concentrate with a sulfur grade of 23.94%, iron grade of 60.16%, and sulfur recovery rate of 97.70% could be obtained. Besides, a high-quality iron concentrate with sulfur content of 0.43%, iron grade of 66.79%, and recovery rate of 57.08% was also achieved.

Key words: high-sulfur magnetite; pre-demagnetization; flotation desulfurization; weak magnetic separation

收稿日期: 2025-09-01; 修回日期: 2025-09-21; 接受日期: 2025-10-02

基金项目: 省部共建“复杂含锡多金属矿产资源高效利用综合技术研究”科技专项(202302AB080015)。

作者简介: 黄渝芝, 1992 年出生, 女, 云南昆明人, 本科, 选矿工程师, 主要从事有色金属选矿工艺研究及生产实践工作,

E-mail: 1465233500@qq.com; *通信作者: 谢贤, 1981 年出生, 男, 湖南沅陵人, 教授, 研究方向为浮选理论与工艺、尾矿资源二次利用、矿产资源综合利用等, E-mail: 89235376@qq.com。

0 引言

我国铁矿资源非常丰富, 总体呈现出品位低、贫矿多、中小型矿多、矿石类型多、矿石性质复杂和难开采等特点, 需要经过预先富集后才能使用^[1-3]。且我国拥有大量的矽卡岩型铁矿床, 有用矿物大多为磁铁矿, 并成为铁矿石的主要组成矿物, 该类矿床多含硫化矿, 主要为黄铁矿和磁黄铁矿, 为得到优质铁精矿通常需对高硫磁铁矿进行选矿处理; 磁选过程就能将大部分黄铁矿脱除, 但磁黄铁矿因具有强磁性易混入磁选铁精矿中并产生“富集”效应, 反浮选是脱除磁黄铁矿的有效方法^[4]。国内外对磁铁矿与磁黄铁矿分离研究较多, 主要方法为反浮选、弱磁选+反浮选^[5]、焙烧法+浸出、浮选+焙烧^[6]相结合等手段来降低高硫磁铁矿中硫含量, 王英资等^[7]对硫主要以磁黄铁矿形式存在的江西某磁铁矿用 HS-106 作为活化剂, 并用丁基黄药为捕收剂进行反浮选脱硫, 较好地解决了矿山生产的实际问题。常宝乾等^[8]用新型活化剂 TZ-12 对硫化矿以磁黄铁矿为主的青海某高硫铁精矿进行了反浮选脱硫, 为磁选高硫铁精矿提供了新的有效途径。

云南都龙矿区是以锌铜锡为主, 伴生铜、银、铁、硫等金属的大型多金属矿床, 矿石性质复杂难选, 矿石中含有磁铁矿、磁黄铁矿及黄铁矿等硫化矿物, 含量分别为 7.78%、11.60%、2.49%, 并含有少量的毒砂。采用优先浮选有价金属, 磁选-浮选回收铁和硫的选别流程。因磁黄铁矿内部结构的差异, 导致磁性强弱不一, 磁选除铁时, 磁性较强的磁黄铁矿与磁铁矿一并进入磁选产品, 而磁性较弱的磁黄铁矿与不具磁性的黄铁矿和毒砂则在脱硫时进入浮选产品。长期以来生产的铁精矿品质较差, 铁品位 54%~56%, 硫品位在 8%~20%, 脉石含量高达 15%~20%, 高硫磁铁矿售价仅为铁精粉的 40% 左右。为了提升铁精矿品质, 充分挖掘经济价值, 减少资源浪费, 有必要开展高硫磁铁矿分离选别工艺试验研究, 与常规磁铁矿脱硫工艺相比新增预脱磁和弱磁选工艺, 对复杂难选多金属矿而言, 进一步提高铁精矿品位的同时可回收铁精矿中夹带的锡金属, 有助于实现矿产资源的综合可持续利用, 为类似复杂难选多金属矿床的铁精矿选别提供了重要的借鉴意义。

1 高硫磁铁矿试样性质

生产现场铜锌选别后的尾矿采用 ZCB-1 200×3 600 mm 型湿式永磁筒式磁选机进行弱磁选得到高硫磁铁矿精矿产品, 采取生产现场稳定生产 10 个

班的班样组成试验样品。试验采用 AMICS 自动矿物分析仪、Aeris X 射线衍射仪、LH-3BA(V12) 多参数水质测定仪、XMBØ240×300 型棒磨机、STB-50 型脱磁器等设备进行工艺矿物学和选矿试验研究。

1.1 高硫磁铁矿主要化学成分和铁物相分析

为查明高硫磁铁矿中的含铁矿物种类和主要元素, 对高硫磁铁矿进行了化学多元素分析和铁物相分析。分析结果分别见表 1 和表 2。由表 1 可知: 铁、硫和锡是可回收的主要有价元素, 含量分别为 56.66%、10.67% 和 0.18%, 并含有少量 Si、Ca、Mg、Al、K、F、Mn、Zn、Cu、As 等元素。表 2 的铁物相分析结果表明, 磁铁矿中的铁含量占比 18.55%, 黄铁矿等硫化矿中的铁含量占比为 52.70%, 属于典型的高硫磁铁矿。

表 1 试样化学成分分析结果

Table 1 Multi-element analysis results of sample													%
Fe	S	Si	Ca	Mg	Al	K	F	Mn	Zn	Sn	Cu	As	
56.66	10.67	1.23	0.45	0.72	0.25	0.19	0.13	0.07	0.16	0.18	0.02	0.06	

表 2 试样铁物相分析结果

Table 2 Analysis results of iron phase of sample							%
Phases	Magnetite	Limestone and other carbonates	Silicate	Pyrite and other sulfide minerals	Hematite and others	Total iron	
Contents	3.17	0.52	3.82	9	0.56	17.07	
Distribution rates	18.55	3.06	22.4	52.7	3.29	100	

1.2 高硫磁铁矿矿物组成及主要矿物嵌布特征分析

采用 MLA 测定了磁铁矿的矿物组成和主要矿物的粒度特性, 分析结果分别见表 3 和表 4。MLA 分析总图如图 1 所示, 矿石矿物组成及含量如图 2 所示。由表 3 可知, 试样由 30 种矿物组成, 金属硫化矿物主要为磁黄铁矿, 另有少量黄铁矿、铁闪锌矿、毒砂和黄铜矿, 偶见方铅矿; 金属氧化矿物主要为磁铁矿, 另有少量锡石和金红石等; 脉石矿物主要为滑石、铁滑石、黑云母、绿泥石、透闪石和白云石等。由表 4 可以看出, 磁铁矿、磁黄铁矿和黄铁矿在磁选精矿中的嵌布粒度特征相近, 主要集中于 -0.074~+0.009 mm 粒级。

1.3 高硫磁铁矿主要矿物单体解离度分析

为查明高硫磁铁矿中主要矿物的单体解离度, 分别对高硫磁铁矿中的磁铁矿、磁黄铁矿和黄铁矿进行单体解离度分析。分析结果见表 5, 磁铁矿、磁黄铁矿 MLA 分析颗粒图见图 3、4。结果表明: 高硫磁铁矿中磁铁矿、磁黄铁矿和黄铁矿解离度分别为 67.34%、63.34% 和 65.34%, 解离度不高。

表 3 试样矿物组成及相对含量
Table 3 Mineral compositions and relative content of individual compositions %

Minerals	Relative content	Minerals	Relative content	Minerals	Relative content
Magnetite	61.79	Minnesotaite	0.87	Epidote	0.11
Magmatic pyrite	28.79	Muscovite	0.02	Sphene	0.02
Pyrite	1.03	Phlogopite	0.25	Zircon	Rare
Marmatite	0.75	Biotite	1.36	Calcite	0.14
Arsenopyrite	0.14	Chlorite	0.5	Dolomite	0.8
Chalcopyrite	0.17	Tremolite	0.84	Fluorite	0.19
Galena	Rare	Serpentine	0.14	Rhodochrosite	0.1
Cassiterite	0.23	Actinolite	0.15	Ilvaite	0.17
Quartz	0.22	Potash feldspar	0.03	Rutile	0.04
Talc	0.96	Diopside	0.21	Apatite	0.01

表 4 主要矿物的粒度特征分布表
Table 4 Particle size distribution of main minerals

Particle size/mm	Magnetite/%		Magmatic pyrite/%		Pyrite/%	
	Content	Accumulation	Content	Accumulation	Content	Accumulation
0.074	0.59	0.59	1.08	1.08		
-0.037	15.92	16.51	18.93	20.01	33.71	33.71
-0.019	39.63	56.14	38.52	58.52	43.49	76.2
-0.009	30.45	86.59	30.72	89.24	19.39	95.58
-0.004	12.87	99.46	10.34	99.58	4.37	99.95
-0.005	0.54	100	0.41	100	0.05	100

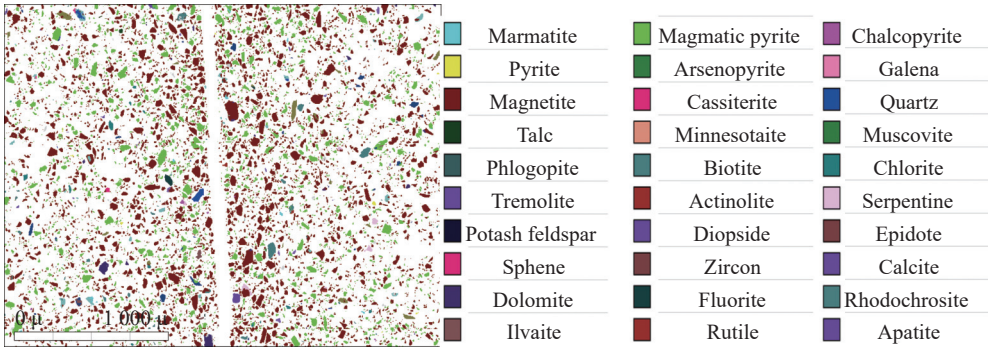


图 1 矿石 MLA 分析
Fig. 1 General map of ore MLA analysis

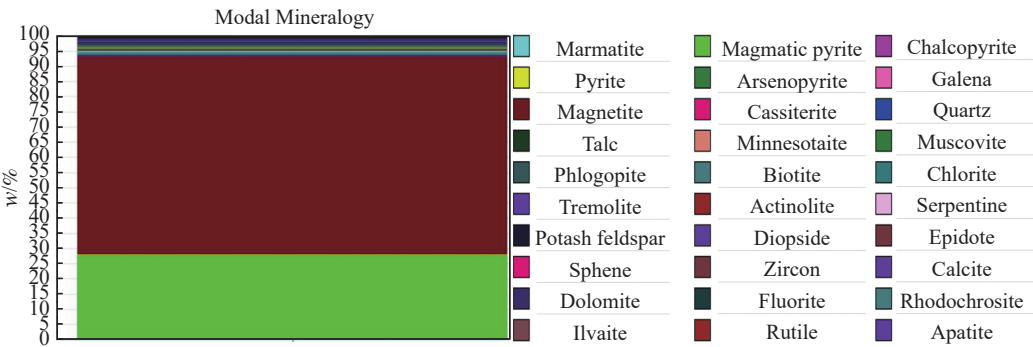


图 2 矿石矿物组成及含量
Fig. 2 Mineral compositions and their contents of ore

2 选矿试验研究

2.1 脱磁对提铁降硫的影响

高硫磁铁矿性质研究表明, 硫矿物主要赋存于磁黄铁矿和黄铁矿中。磁铁矿与黄铁矿利用磁性差异即可分离, 磁铁矿与单斜磁黄铁矿均具有较

高的比磁化系数^[9], 磁选过程中单斜磁黄铁矿富集于磁铁矿精矿中, 导致二者难以通过磁选分离。在磨矿和选别过程中, 磁铁矿和磁黄铁矿易发生同相和异相磁团聚, 磁铁矿与磁黄铁矿解离度不够连生体夹带, 难以有效分离, 强化矿物之间的单体解离出现过磨又易造成磁黄铁矿性脆泥化, 微细粒磁黄铁

矿会罩盖于磁铁矿表面,进一步增加了浮选分离难度,尤其是粒度较细时,磁罩盖现象更为严重^[10]。
为考察磁团聚对磁铁矿弱磁选的影响,在磁场

强度为 0.1 T 的条件下,采用 STB 系列脱磁器 STB-50 对磁铁矿进行了“脱磁+弱磁选”和“不脱磁+弱磁选”的对比试验,试验结果见表 6。

表 5 高硫磁铁矿主要矿物解离度分析结果
Table 5 Analysis results of the liberation degree of high-sulfur magnetite

Liberation degree (hereafter referred to as L.D.)	Magnetite		Magmatic pyrite		Pyrite	
	Interval L.D.	Accumulative L.D.	Interval L.D.	Accumulative L.D.	Interval L.D.	Accumulative L.D.
100.00	67.34	67.34	63.34	63.34	65.34	65.34
75% < x < 100.00	12.09	79.43	13.09	76.43	10.09	75.43
50 < x ≤ 75	3.54	82.97	5.54	81.97	4.54	79.97
25 < x ≤ 50	4.23	87.2	7.23	89.2	7.23	87.2
0 ≤ x ≤ 25	12.8	100	10.8	100	12.8	100

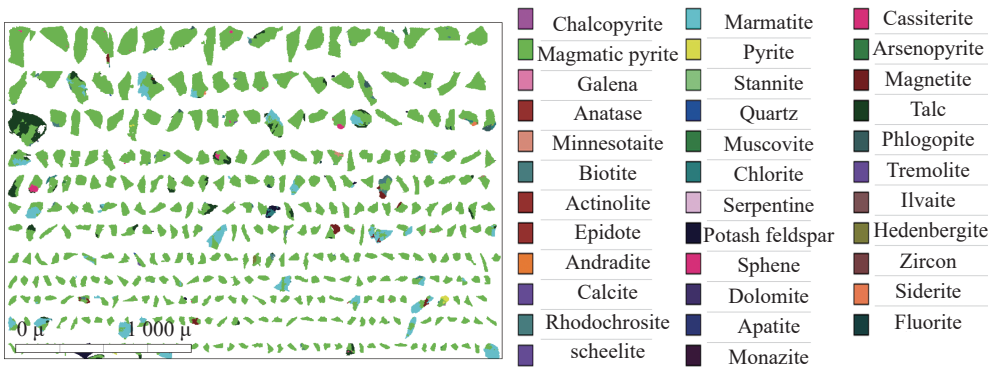


图 3 磁黄铁矿的 MLA 分析颗粒图
Fig. 3 Particle diagram of pyrrhotite by means of MLA

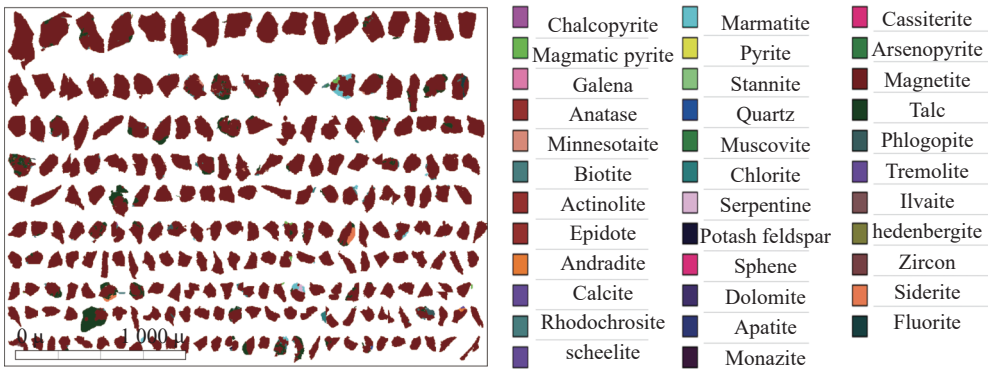


图 4 磁铁矿的 MLA 分析颗粒图
Fig. 4 Particle diagram of magnetite by means of MLA

表 6 高硫磁铁矿预先脱磁-弱磁选试验结果
Table 6 Results of pre-demagnetization and weak magnetic separation tests on high-sulfur magnetite

Groups	Products	Yields	Grade			Recovery		
			Sn	Fe	S	Sn	Fe	S
①Undemagnetizing	Concentrate	89.16	0.11	61.36	11.61	73.10	96.59	95.96
	Tailing	10.84	0.34	17.82	4.02	26.90	3.41	4.04
	Feed	100.00	0.14	56.64	10.79	100.00	100.00	100.00
②Demagnetizing	Concentrate	88.90	0.11	62.11	10.89	70.55	97.41	90.24
	Tailing	11.10	0.35	13.23	9.43	29.45	2.59	9.76
	Feed	100.00	0.13	56.68	10.73	100.00	100.00	100.00
Difference(②-①)	Concentrate	-0.26	0	0.75	-0.72	-2.55	0.82	-5.72
	Tailing	0.26	0.01	-4.59	5.41	2.55	-0.82	5.72

经过 STB 系列脱磁器处理与不脱磁比较,脱磁后弱磁选的精矿铁品位和回收率分别提升了 0.75%

和 0.82%、含硫品位降低了 0.72%。结果表明增加脱磁器后能有效降低磁团聚现象,可提升精矿品位

和回收率,并降低精矿中的锡石损失,为消除磁团聚现象对后续选别作业的影响,确定在高硫磁铁矿分级再磨后需进行脱磁处理。

2.2 弱磁精矿分级再磨反浮选脱硫及药剂优化试验

2.2.1 弱磁精矿磨矿细度试验

适宜的磨矿细度不仅能够确保目的矿物有效单体解离,同时可降低磁黄铁矿的易泥化、过粉碎现象^[11-13],试验先行确定磁铁矿与磁黄铁矿分离的最佳粒度,采用“预先筛分+再磨+筛分”的闭路磨矿流程进行高硫磁铁矿的粒度控制,浮选脱硫采用代号AS-106有机酸作为活化剂,捕收剂选择丁基黄药,起泡剂添加2#油的固定药剂条件下,开展弱磁精矿不同磨矿细度对硫铁矿物有效分离的试验。工艺流程见图5、试验结果见图6。

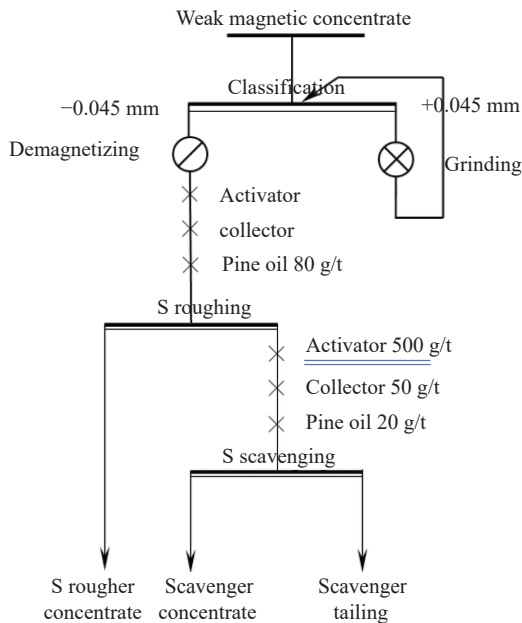


图5 弱磁精矿预先分级-再磨-脱磁-反浮选脱硫工艺流程
Fig. 5 Flowsheet of pre-classification-regrinding-demagnetizing-reverse flotation desulphurization process

由图6可知,随着磨矿细度的增加,铁回收率呈逐渐降低趋势,硫品位呈先降低后升高趋势,铁品位与之相反。在磨矿细度-0.074 mm、粒级含量89%时,获得含硫品位1.565%、含铁品位64.38%,回收率54.29%的扫选尾矿。综合扫选尾矿含铁、硫品位及回收率考虑,适宜的磨矿细度-0.074 mm粒级含量为89%。

2.2.2 活化剂种类试验

晶体中缺铁结构导致磁黄铁矿易被氧化,在其表面生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 和 CaSO_4 等亲水性薄膜,降低磁黄铁矿的疏水性,抑制了磁黄铁矿的浮选^[14]。

为提高磁黄铁矿的浮选效果,需添加活化剂,破坏磁黄铁矿表面的亲水膜并阻碍磁黄铁矿表面亲水膜的产生,以提高磁黄铁矿的疏水性^[15]。

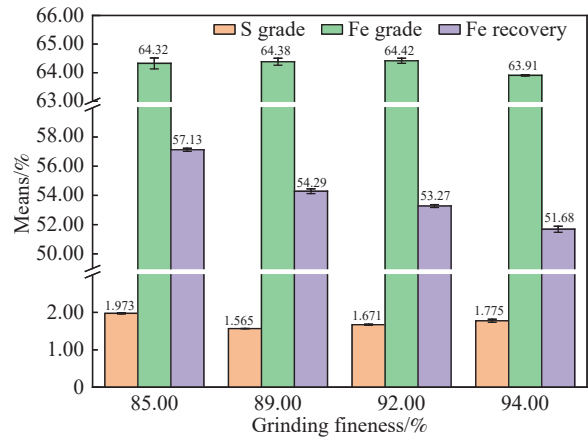


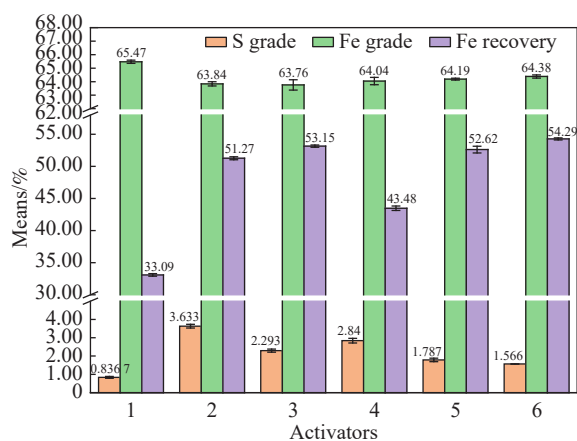
图6 磨矿细度对硫铁分离的影响
Fig. 6 Effects of grinding fineness on the separation of sulphur and iron

活化硫铁矿物活化剂主要有无机酸、有机酸和盐(氟硅酸盐、硫酸铜、硫酸亚铁、碳酸盐、硫化钠)等3大类^[16]。硫酸为传统的活化剂,因其耗酸量大、腐蚀设备、环境不友好和安全管理问题等因素的影响,制约着工业应用的选择。因此,研发或选用高效、绿色安全的脱硫活化剂是试验及工业化硫铁高效分离的关键。

固定磨矿细度-0.074 mm 89%及图5的流程结构与药剂条件,对比甲苯磺酸、碳酸氢铵、草酸、柠檬酸、组合活化剂($n(\text{草酸}):n(\text{柠檬酸})=3:1$)和有机酸AS-106活化剂种类对硫铁矿物分离的影响,试验结果见图7。图7结果表明,甲苯磺酸可将弱磁精矿中的硫降至0.84%,但扫选尾矿铁回收率较低,为33.09%,草酸、柠檬酸组合活化剂与有机酸AS-106获得的铁品位相近,但扫选尾矿中硫含量偏高。结合扫选尾矿含硫、铁品位及铁回收率因素综合考虑,适宜的硫铁分离活化剂选用AS-106。

2.2.3 活化剂AS-106用量试验

固定磨矿细度-0.074 mm 89%及图5的流程结构与药剂条件(粗选活化剂用量为变量),考察粗选活化剂AS-106用量对硫铁分离的影响。试验结果见图8。由图8可知,随着AS-106用量的增加,扫选尾矿中硫含量呈下降趋势,铁含量呈上升趋势。在用量增至3 500 g/t后,扫选尾矿中硫和铁含量变化趋势变缓,铁品位相近。综合考虑扫选尾矿硫、铁品位和回收率及药剂用量,适宜的活化剂AS-106用量为3 500 g/t。



1-对甲苯肿酸; 2-碳酸氢钠; 3-草酸; 4-柠檬酸; 5-*n*(草酸); *n*(柠檬酸)=3:1; 6-有机酸 (AS-106)

图7 活化剂种类对硫铁分离的影响

Fig. 7 Effects of activator types on the separation of sulphur and iron

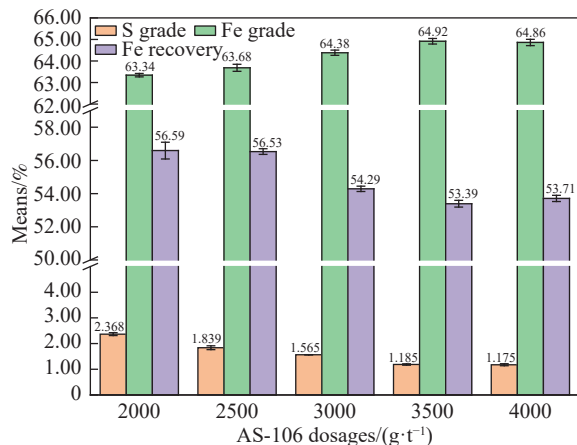


图8 AS-106 用量对硫铁分离的影响

Fig. 8 Effects of AS-106 dosages on the separation of sulphur and iron

2.2.4 捕收剂种类试验

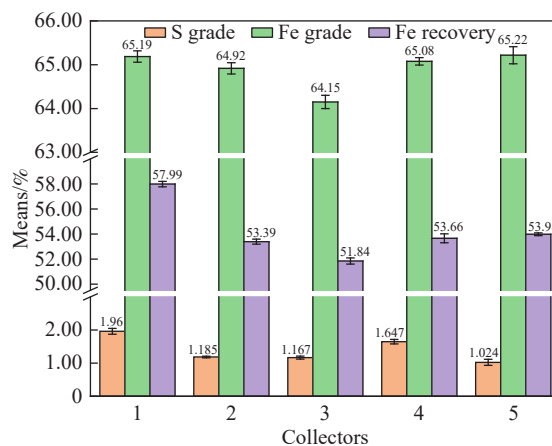
适宜捕收剂是实现目的矿物有效分离,提升选矿技术指标的关键,浮选脱除磁黄铁矿常规捕收剂为乙基黄药、丁基黄药、戊基黄药和 Y89 等。固定磨矿细度-0.074 mm 89% 及图 5 的流程结构与药剂条件(粗扫选捕收剂种类为变量),考察乙基黄药、丁基黄药、戊基黄药、DF-336 和 B30-2 等捕收剂对硫铁分离的影响,试验结果见图 9。

由图 9 可知,使用捕收剂 B30-2 获得浮选尾矿含硫品位 1.02%、含铁品位 65.22%、回收率 53.98% 的技术指标,相对其他捕收剂的指标较优,因此选择 B30-2 作为硫铁分离的捕收剂。

2.2.5 捕收剂 B30-2 用量试验

捕收剂用量过高会导致大量磁铁矿夹带进入硫精矿,降低铁精矿的产率,捕收剂用量过少则会导致脱硫不彻底,影响铁精矿品质。为进一步确定捕收

剂用量对磁选铁精矿浮选脱硫的影响,在上述活化剂种类及用量、捕收剂种类最佳试验条件的基础上进行捕收剂用量条件试验。试验结果如图 10 所示。由图 10 可知,粗选作业随着捕收剂 B30-2 用量由 100 g/t 增加至 300 g/t,铁回收率呈逐渐下降趋势,铁品位呈先上升后缓慢下降的趋势,扫选尾矿硫品位呈缓慢降低趋势。结合铁精矿脱硫效果及铁品位和回收率情况分析,最佳 B30-2 用量为 150 g/t。



1-乙基黄药; 2-相基黄药; 3-戊基黄药; 4-DF-306; 5-B30-2

图9 捕收剂种类对硫铁分离的影响

Fig. 9 Effects of collector types on the separation of sulphur and iron

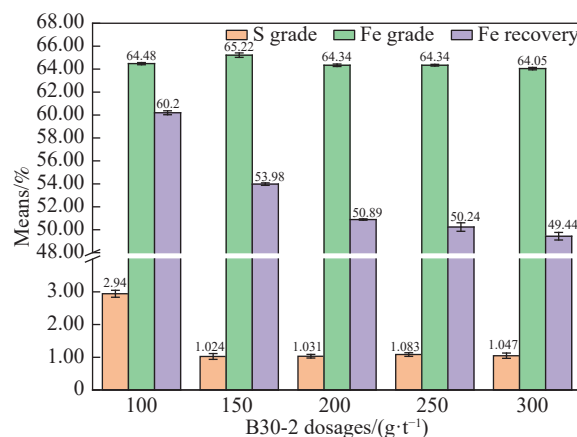


图10 B30-2 用量对硫铁分离的影响

Fig. 10 Effects of B30-2 dosages on the separation of sulphur and iron

2.2.6 脱硫尾矿弱磁选精选试验

高硫磁铁矿经过分级再磨+浮选脱硫后,脱硫尾矿含 Fe 品位在 63%~65%、含 S 品位基本控制在 2.0% 以下,试验过程中反映出 Fe 品位不能稳定达到 65% 以上,且再磨过程产生的部分细粒级物料影响过滤脱水效率,对脱硫尾矿采用磁场强度 0.1 T 的弱磁磁选机再进行一次精选作业,精选精矿含 Fe 品位可提升 2%,达到 65% 以上时含 S 品位可

下降 0.3% 左右, 进一步提升铁精矿品质, 磁选尾矿含 Fe 品位 12%、S 品位 0.7% 左右、Sn 品位 0.25% 以上, 可并入选锡流程进一步回收锡石。

2.2.7 高硫磁铁矿分级再磨-脱磁-浮选-磁选全流程闭路试验

在高硫磁铁矿磨矿细度-0.074 mm 89%、粗选和扫一 AS-106 活化剂用量分别为 3 500 g/t 和 500 g/t, 捕收剂 B30-2 用量分别为 150 g/t 和 50 g/t 及脱硫扫选尾矿磁选磁场强度为 0.1 T 的条件下开展闭路试验, 同步对浮选脱硫的尾矿采取水样检测,

评价药剂制度对环保水质的影响。试验流程结构见图 11, 试验结果见表 7, 尾矿水检测结果见表 8。由表 7 可知, 高硫磁铁矿采用分级再磨-预脱磁-浮选脱硫-弱磁选选别工艺流程, 可获得硫品位为 23.49%、铁品位 60.16%、硫回收率 97.70% 的高铁硫精矿; 含硫 0.43%、铁品位和回收率分别为 66.79% 和 57.08% 的优质铁精矿, 实现了高硫磁铁矿与磁黄铁矿的有效分离, 提升了铁精矿品质。将表 8 的数据与废水排污许可证控制标准进行对比, 可知闭路试验使用药剂满足水质环保控制要求。

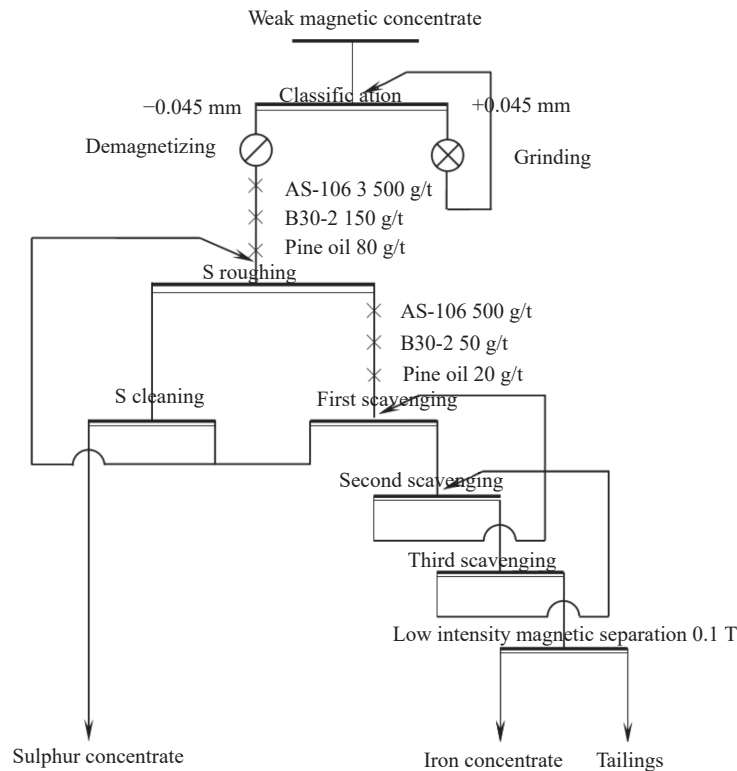


图 11 弱磁精矿预先分级-再磨-脱磁-反浮选脱硫闭路工艺流程
Fig. 11 Flowsheet of preclassification-regrinding-demagnetizing-the closed-circuit reverse flotation desulfurization process

表 7 闭路试验结果

Products	Yields	Grade			Recovery		
		Fe	S	Sn	Fe	S	Sn
Sulphur concentrate	43.01	60.16	23.49	0.12	42.64	97.7	33.2
Iron concentrate	55.76	66.79	0.43	0.19	57.08	2.24	63.89
Tailings	1.23	14.45	0.53	0.39	0.28	0.06	2.91
Feed	100.00	61.61	10.50	0.16	100.00	100.00	100.00

采用分级再磨工艺先行解决硫铁共生的问题, 提高硫、铁和锡矿物解离度, 预脱磁主要为解决在浮选脱硫过程中磁团聚的问题, 通过脱硫+磁选精选实现硫铁矿物有效分离, 提升铁精矿品质, 突破了铁精矿含硫高、销售价格低的难题, 摸索出适宜我公司铁精矿精选的工艺流程、技术参数。

表 8 闭路试验尾矿水分析结果

Water sample	content/(mg·L ⁻¹)							pH
	As	Pb	Cr	Ammonia	COD	F	Total P	
Wastewater discharge permit emission control standards	0.1	0.2	1.5	8	60	5	1	6~9
Sulfurous iron concentrate water	0.008	0.000 3	0.013 4	7.790	54.22	3.89	0.459	7.34
Iron concentrate water	0.007	0.000 4	0.018 9	6.234	45.45	3.47	0.378	8.99

3 结论

1) 都龙矿区高硫磁铁矿所含有价元素主要为铁、硫和锡, 铁主要以磁铁矿形式存在, 硫化物主要存在于磁黄铁矿和黄铁矿中, 未解离的磁黄铁矿主要与磁铁矿共生, 是造成铁精矿含硫较高的原因。

2) 磁黄铁矿具有性脆、易泥化、易氧化、可浮性较差等性质, 在前端磨矿过程中与磁铁矿产生磁团聚, 预脱磁处理解决了磁黄铁矿与磁铁矿浮选分离受磁团聚现象干扰的难点。

3) 采用“预脱磁+浮选脱硫+弱磁选”选别工

艺流程, 在磨矿细度-0.074 mm 89%、活化剂 AS-106 3 500 g/t、捕收剂 B30-2 150 g/t、弱磁选磁场强度 0.1 T 的条件参数下, 可获得硫品位为 23.49%、铁品位 60.16%、硫回收率 97.70% 的高铁硫精矿; 含硫 0.43%、铁品位和回收率分别为 66.79% 和 57.08% 的优质铁精矿, 实现了磁铁矿和磁黄铁矿的高效分离。

4) 新型除硫活化剂 AS-106 对都龙矿区磁黄铁矿具有较好的活化效果, 不腐蚀设备、不产生有毒有害气体, 是绿色高效的环保型药剂。

参考文献

- [1] SUO X. Investigation on main ore types and processing and smelting technology of iron ore found in China[J]. Huabei land and Resources, 2018(2): 17-19.
(索希. 我国已发现铁矿主要矿石类型及加工选冶工艺调查[J]. 华北国土资源, 2018(2): 17-19.)
- [2] JIANG X W. Development status and prospect analysis of iron ore industry in China[J]. China Metal Bulletin, 2017(7): 162-163.
(姜雪薇. 中国铁矿行业发展现状及前景分析[J]. 中国金属通报, 2017(7): 162-163.)
- [3] LIU X H, LI S F, YUAN Z T, *et al.* Flotation desulfurization of iron concentrate in Chaoyang Xinhua molybdenum Mine[J]. Non-ferrous metals, 2011, 27(4): 23-26.
(刘兴华, 李淑菲, 袁致涛, 等. 朝阳新华钼矿铁精矿脱硫试验研究[J]. 有色矿冶, 2011, 27(4): 23-26.)
- [4] WANG L M, BAI C X, SUI Y T, *et al.* Experimental study on desulphurization of iron concentrate from a concentrator in inner mongolia[J]. Modern mining, 2023, 39(3): 122-125.
(王丽明, 白春霞, 睢月婷, 等. 内蒙古某选厂铁精矿脱硫试验研究[J]. 现代矿业, 2023, 39(3): 122-125.)
- [5] LI B Q, XIE X, JU C C, *et al.* Experimental research on desulfurization of iron concentrate in a concentrator of Jilin[J]. Nonferrous metal works, 2021, 11(4): 88-95.
(李博琦, 谢贤, 纪翠翠, 等. 吉林某选厂铁精矿脱硫试验研究[J]. 有色金属工程, 2021, 11(4): 88-95.)
- [6] LIU G K, ZHENG Y X, YANG C J, *et al.* Stage grinding-magnetic separation-flotation combined beneficiation processing technology for a complex refractory iron ore[J]. Mining and metallurgy, 2024, 33(4): 525-533.
(刘国凯, 郑永兴, 杨春杰, 等. 复杂难选铁矿阶段磨矿-磁选-浮选联合选矿工艺[J]. 矿冶, 2024, 33(4): 525-533.)
- [7] WANG Y Z, HU Y M, ZHOU Y C. Experimental research on flotation desulfurization of a magnetic separation iron concentrate in shanxi[J]. Metal Mine, 2019, 48(7): 70-74.
(王英姿, 胡义明, 周永诚. 山西某磁选铁精矿浮选脱硫试验[J]. 金属矿山, 2019, 48(7): 70-74.)
- [8] HAN B Q, ZHANG S Y. Technical study on desulfurization process of a sulfur-rich magnetite ore[J]. Modern Mining, 2010, 26(8): 123-124.
(常宝乾, 张世银. 某富硫磁铁矿脱硫工艺技术研究[J]. 现代矿业, 2010, 26(8): 123-124.)
- [9] LIU G R, LIU W F, LIU C S. Quality improvement and impurity reduction technology of a magnetite[J]. Mining and Metallurgy, 2018, 27(6): 10-16.
(刘国蓉, 刘万峰, 刘承帅. 某磁铁矿提质降杂技术[J]. 矿冶, 2018, 27(6): 10-16.)
- [10] ZHANG S A, WANG X B, WANG Y S. Impurity reduction and quality upgrading for iron concentrate from mines of Jiusteel[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2016, 36(6): 53-56.
(张双爱, 王晓斌, 王友胜. 某低品位铁精矿提质降杂试验研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(6): 53-56.)
- [11] JIA W, WANG Z Q, YAO D L, *et al.* study on process mineralogy of a high sulfur iron ore in Anhui province[J]. Metal Mine, 2020(12): 130-135.
(郑威, 王忠强, 姚灯磊, 等. 安徽某高硫铁矿石工艺矿物学研究[J]. 金属矿山, 2020(12): 130-135.)
- [12] FU H T, TONG X, XIE X, *et al.* Research status of reverse flotation desulphurization of high sulfur magnet concentrate[J]. China Metal Bulletin, 2023(9): 7-9.
(符海桃, 童雄, 谢贤, 等. 高硫磁铁矿反浮选脱硫工艺研究现状[J]. 中国金属通报, 2023(9): 7-9.)
- [13] ZHANG C, LI J, LI B W, *et al.* Effect of collector on flotation desulphurization of iron concentrate[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1): 44-47.
(张超, 李解, 李保卫, 等. 捕收剂对铁精矿浮选脱硫的影响[J]. 矿产综合利用, 2019(1): 44-47.)
- [14] ZHAO L, GE Y Y, YU J, *et al.* Flotation for desulfurization of iron concentrate from magnetic separation operation of a concentrator in inner mongolia[J]. Mining and metallurgical engineering, 2018, 38(2): 58-60.
(赵璐, 葛英勇, 余俊, 等. 内蒙古某磁选铁精矿浮选脱硫试验研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(2): 58-60.)
- [15] LIAO J P, HUANG Z L, CUI J, *et al.* Desulfurization experiment of a high iron concentrate by magnetic separation-demagnetization-composite activation reverse flotation[J]. Protection and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(4): 125-130.
(廖军平, 黄自力, 崔军, 等. 某高硫磁铁矿磁选-脱磁-复合活化反浮选脱硫试验[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(4): 125-130.)
- [16] RAO F, TONG X, HUANG Y L, *et al.* Research and practice on removing sulfur from iron ore[J]. Yunnan metallurgy, 2007, 36(5): 13-16, 28.
(饶峰, 童雄, 黄宇林, 等. 云南文山某铁精矿脱硫的试验研究[J]. 云南冶金, 2007, 36(5): 13-16, 28.)