

# 袁家村铁矿难选闪石型原生矿选矿试验研究<sup>①</sup>

魏宇峰

(太钢集团岚县矿业有限公司, 山西 岚县 033500)

**摘要:** 针对袁家村铁矿闪石型原生矿存在的磁性铁占比低、嵌布粒度微细、硅酸铁含量高等问题,进行了选矿试验研究。预选采用细碎-磁滑轮干选和辊磨-湿式磁选,预选精矿经三段磨矿、三段弱磁选、反浮选流程,获得了产率 21.45%、TFe 品位 65.66%、回收率 49.31%的铁精矿,实现了资源高效利用。

**关键词:** 袁家村铁矿; 闪石型原生矿; 磁滑轮干选; 辊磨; 湿式磁选; 磁铁矿; 磁选; 反浮选

中图分类号: TD951

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2024.06.016

文章编号: 0253-6099(2024)06-0073-04

## Beneficiation of Refractory Amphibolite-Type Primary Ore from Yuanjiacun Iron Mine

WEI Yufeng

(LAN County Mining Co., Ltd., of TISCO Group, Lan County 033500, Shanxi, China)

**Abstract:** Aiming at problems including low content of magnetic iron, fine dissemination size and high content of ferrous silicate in processing of the amphibole-type primary ore in Yuanjiacun Iron Mine, an experimental study was carried out by adopting a pre-concentration process consisting of fine crushing plus dry magnetic pulley separation and a roll grinding plus wet magnetic separation. The pre-enriched concentrate was then processed with a flowsheet including a three-stage grinding, a three-stage low-intensity magnetic separation and a reverse flotation, resulting in an iron concentrate grading 65.66% TFe at 49.31% recovery, with the yield of 21.45%. It is shown that iron resource can be utilized efficiently.

**Key words:** Yuanjiacun Iron Mine; amphibole-type primary ore; dry magnetic pulley separation; roll grinding; wet magnetic separation; magnetite; magnetic separation; reverse flotation

太钢袁家村铁矿为一大型沉积变质铁矿床,储量约 12.62 亿吨。该矿矿石性质较为复杂,有用矿物嵌布粒度细,主要矿物为磁铁矿、赤(镜)铁矿和褐铁矿。现有选矿厂是国内一次性建成的、规模最大的铁矿选矿厂,年处理赤、磁铁混合矿石 2 200 万吨,于 2013 年 3 月建成投产。磨选主厂房由三个系列组成,采用大型半自磨+两段球磨的磨矿工艺和弱磁选-强磁选-再磨-阴离子反浮选选别工艺。近年来,随着采矿台阶下降,矿石氧化程度逐渐降低,闪石型原生矿石日渐增多。闪石型原生矿石与目前选矿厂使用的石英型氧化矿石性质差异明显,主要表现为可利用的铁矿物大部分为磁铁矿、有用矿物嵌布粒度比石英型氧化矿更细、矿物中硅酸铁质量分数普遍较高,导致选矿加工选比大、成本高,被列为暂不可利用矿石。本

文对该闪石型原生铁矿进行了选矿试验研究,以期实现资源高效利用。

### 1 原矿性质

袁家村铁矿原矿化学多元素分析结果见表 1,铁化学物相分析结果见表 2。由表 1~2 可以看出:原矿中 TFe 品位 28.56%,TFe/FeO 比 2.07,碱性系数 0.08,矿样为原生酸性铁样品<sup>[1]</sup>;为了富集回收铁矿物,需从原矿中排除或降低的脉石矿物分别是 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 和 MgO;有害杂质 P 质量分数相对较低,但 S 质量分数达到了 0.12%,需要在选矿过程中密切关注硫的富集趋势;原矿中磁铁矿中铁分布率为 58.33%,铁元素主要赋存在磁铁矿中,少量铁元素分布在假象赤铁矿中,两者合计分布率占 61.55%;赤(褐)铁矿和硅

① 收稿日期: 2024-05-30

作者简介: 魏宇峰(1988—),男,内蒙古凉城人,工程师,主要从事微细粒难选铁矿选矿技术工作。E-mail:tisco724@foxmail.com

酸盐矿物中铁元素分布率分别为 21.29% 和 15.79%。综合以上矿石特点可知,该样品属于低磷含硫低品位原生酸性磁铁矿矿石。

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

TFe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
28.56	13.81	25.46	0.09	49.65	1.25	1.99	2.21
MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P	S	C	烧失	
0.11	0.19	0.1	0.05	0.12	0.67	1.87	

表 2 原矿铁化学物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
磁铁矿中铁	16.66	58.33
假象赤铁矿中铁	0.92	3.22
赤(褐)铁矿中铁	6.08	21.29
碳酸盐中铁	0.29	1.02
硫化物中铁	0.10	0.35
硅酸盐中铁	4.51	15.79
合计	28.56	100.00

原矿肉眼观察显灰色、灰绿色和灰黑色,少量带有红褐色调,矿石较坚硬,为条带浸染状构造,结构较为致密。镜下鉴定、MLA 测定和扫描电镜综合分析结果表明,铁矿物类型主要为磁铁矿,其次为赤铁矿,还含有少量褐铁矿和菱铁矿;脉石矿物主要为石英和铁闪石,其次为方解石及白云石、绿泥石、长石,还存在少量云母、辉石、磷灰石和滑石等矿物,金属硫化物多为黄铁矿且含量较低。原矿主要矿物组成及含量列于表 3<sup>[2]</sup>。

表 3 原矿主要矿物组成及含量(质量分数) %

磁铁矿	赤(褐)铁矿	菱铁矿	黄铁矿	石英	长石	云母
23.57	9.85	0.34	0.22	43.54	0.57	0.41
铁闪石	方解石及白云石	绿泥石	辉石	磷灰石	滑石	其他
17.42	2.08	2.01	0.35	0.11	0.13	0.2

为了制定合理的选矿工艺流程,采用 MLA 对原矿嵌布粒度进行了测定和统计,结果见表 4。由统计结果可知,该矿样+0.074 mm 粒级占比 59.51%、+0.037 mm 粒级占比 82.35%,属细粒~微细粒嵌布范畴,且粒度分布不均匀。若要 90%左右的磁铁矿获得解离,样品磨矿细度以-0.026 mm 为宜,但样品中脉石矿物主要为条带构造以及针柱状,极易在磨矿过程中产生过磨现象,因此在选矿过程中宜适当放粗磨矿细度,有利于减少过磨现象,提高有用矿物回收率。

表 4 原矿嵌布粒度

粒径/mm	产率/%	
	粒级	正累计
+0.42	2.74	2.74
-0.42+0.30	5.92	8.66
-0.30+0.21	8.84	17.50
-0.21+0.15	12.44	29.94
-0.15+0.105	15.76	45.70
-0.105+0.074	13.81	59.51
-0.074+0.052	12.69	72.20
-0.052+0.037	10.15	82.35
-0.037+0.026	8.03	90.38
-0.026+0.019	5.79	96.17
-0.019+0.013	2.41	98.58
-0.013+0.010	0.75	99.33
-0.010+0.005	0.47	99.80
-0.005	0.20	100.00

## 2 试验方法

### 2.1 原则流程

试样中的铁主要赋存在磁铁矿中,部分磁铁矿与脉石形成富连生体,磨矿后可采用弱磁选作业进行预富集。为得到合格铁精矿,对弱磁选精矿进行反浮选试验研究。根据反浮选效果,拟采用粗粒干选和细粒湿式预选、三段磨矿-三段弱磁选、反浮选流程<sup>[3]</sup>,试验原则流程如图 1 所示。

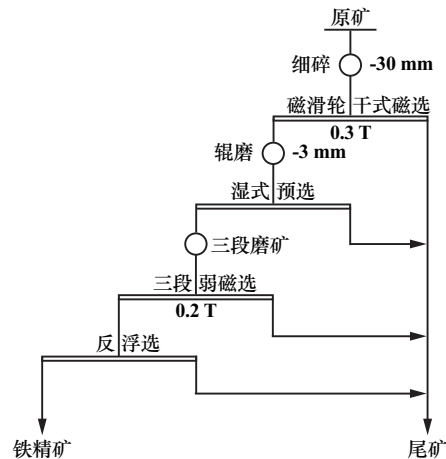


图 1 原则流程

### 2.2 粗粒干选和细粒湿式预选、三段磨矿-三段弱磁选试验

对细碎后(-30 mm)产品进行磁场强度 0.3 T 的磁滑轮粗粒干式抛尾;将干式抛尾得到的粗精矿细碎并辊磨至-3 mm,在磁场强度 0.2 T 下进行湿式预选抛尾;湿式抛尾粗精矿进行三段磨矿-三段弱磁选,三段磨矿的磨矿细度分别为-0.075 mm 粒级占 75%、-0.045 mm 粒级占 80%、-0.045 mm 粒级占 92%,三段

弱磁选的磁场强度均为 0.2 T,可获得产率 25.49%、TFe 品位 59.56%、回收率 53.16%的铁精矿。试验流程如图 2 所示。

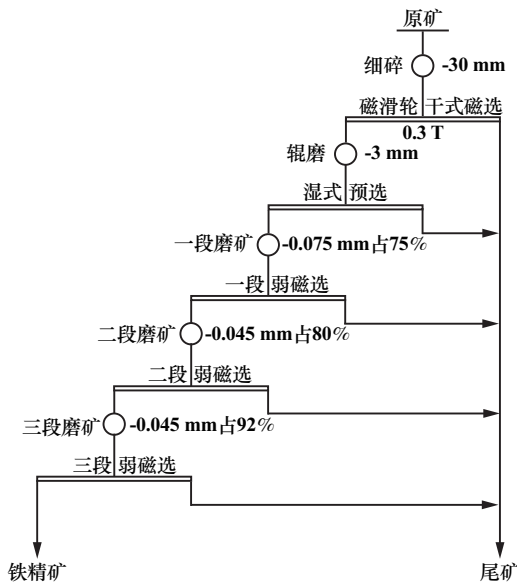


图 2 粗粒干选和细粒湿式预选、三段磨矿-三段弱磁选流程

### 2.3 弱磁选精矿反浮选提铁降杂试验

原矿经过三段磨矿和弱磁选选别后,不能得到 TFe 品位高于 65%的合格精矿。考虑生产成本和反浮选对脱硅选择性较强、可以适当放粗磨矿细度的原因,采用反浮选工艺对弱磁选精矿进行进一步提铁降杂<sup>[4-5]</sup>试验。

反浮选主要进行了药剂用量优化试验,包括粗选 NaOH、淀粉(SD)、CaO 和捕收剂 RA 用量试验。条件试验在 0.5 L 挂槽式浮选机中进行,浮选温度为常温(30 ℃),浮选矿浆质量分数约 32%;CaO 以粉末方式添加,其他药剂以溶液形式添加。反浮选试验原则流程见图 3。

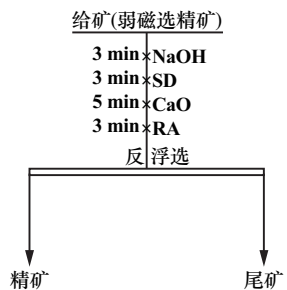


图 3 反浮选试验原则流程

#### 2.3.1 NaOH 用量试验

在 SD 用量 800 g/t、CaO 用量 200 g/t、RA 用量 100 g/t 条件下,开展了 NaOH 用量条件试验,结果见表 5。由表 5 可以看出,NaOH 用量 300~600 g/t 范围

内都可以实现正常反浮选,NaOH 用量达到 500 g/t 以后精矿品位和回收率出现下降。适宜的 NaOH 用量为 500 g/t。

表 5 NaOH 用量试验结果

NaOH 用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	TFe 品位/%	作业 回收率/%
300	精矿	74.90	65.18	81.96
	尾矿	25.10	42.82	18.04
	给矿	100.00	59.57	100.00
400	精矿	74.97	66.14	83.60
	尾矿	25.03	38.88	16.40
	给矿	100.00	59.32	100.00
500	精矿	74.90	66.52	83.64
	尾矿	25.10	38.84	16.36
	给矿	100.00	59.57	100.00
600	精矿	75.16	66.06	83.00
	尾矿	24.84	40.95	17.00
	给矿	100.00	59.82	100.00

#### 2.3.2 SD 用量试验

NaOH 用量 500 g/t、CaO 用量 200 g/t、RA 用量 100 g/t 条件下,开展了 SD 用量条件试验,结果见表 6。由表 6 可以看出,随着 SD 用量增加,精矿品位出现先增加后下降的趋势,精矿作业回收率逐渐升高,说明增加 SD 用量可以获得较高的作业回收率,但增加了浮选药剂成本和精矿过滤难度。综合考虑,适宜的 SD 用量为 800 g/t。

表 6 SD 用量试验结果

SD 用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	TFe 品位/%	作业 回收率/%
600	精矿	72.71	65.62	79.60
	尾矿	27.29	44.82	20.40
	给矿	100.00	59.94	100.00
800	精矿	74.90	66.52	83.64
	尾矿	25.10	38.84	16.36
	给矿	100.00	59.57	100.00
1 000	精矿	76.83	66.02	85.00
	尾矿	23.17	38.63	15.00
	给矿	100.00	59.67	100.00
1 200	精矿	77.74	65.46	85.60
	尾矿	22.26	38.45	14.40
	给矿	100.00	59.45	100.00

#### 2.3.3 CaO 用量试验

NaOH 用量 500 g/t、SD 用量 800 g/t、RA 用量 100 g/t 条件下,开展了 CaO 用量条件试验,结果见表 7。由表 7 可以看出,随着 CaO 用量增加,尾矿品位变化不大,精矿 TFe 品位先增加,在 CaO 用量 150 g/t 时达到峰值 66.82%,CaO 用量超过 150 g/t 后,精矿品位开始下降。综合考虑,适宜的 CaO 用量为 150 g/t。

表7 CaO用量试验结果

CaO用量/ (g·t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	TFe 品位/%	作业 回收率/%
0	精矿	73.79	65.32	80.97
	尾矿	26.21	43.22	19.03
	给矿	100.00	59.53	100.00
150	精矿	74.52	66.82	83.45
	尾矿	25.48	38.74	16.55
	给矿	100.00	59.66	100.00
300	精矿	75.78	66.01	84.24
	尾矿	24.22	38.63	15.76
	给矿	100.00	59.38	100.00
450	精矿	77.74	65.46	85.60
	尾矿	22.26	38.45	14.40
	给矿	100.00	59.45	100.00

2.3.4 RA用量试验

NaOH用量 500 g/t、SD用量 800 g/t、CaO用量 150 g/t条件下,开展了RA用量条件试验,结果见表8。由表8可以看出,随着RA用量增加,精矿TFe品位和尾矿品位逐步提高,精矿作业回收率逐步降低,RA用量100 g/t时,精矿TFe品位66.82%,作业回收率83.45%。适宜的粗选RA用量为100 g/t。

表8 RA用量试验结果

RA用量/ (g·t <sup>-1</sup> )	产品名称	作业 产率/%	TFe 品位/%	作业 回收率/%
75	精矿	79.72	64.82	86.96
	尾矿	20.28	38.22	13.04
	给矿	100.00	59.43	100.00
100	精矿	74.52	66.82	83.45
	尾矿	25.48	38.74	16.55
	给矿	100.00	59.66	100.00
125	精矿	71.54	66.92	80.16
	尾矿	28.46	41.63	19.84
	给矿	100.00	59.72	100.00
150	精矿	69.93	66.96	78.30
	尾矿	30.07	43.15	21.70
	给矿	100.00	59.80	100.00

2.3.5 反浮选闭路试验

在开路试验基础上进行了一粗一精三扫、中矿顺序返回的反浮选闭路试验,粗选NaOH用量500 g/t、SD用量800 g/t、CaO用量150 g/t、RA用量100 g/t,精选RA用量25 g/t,扫选不加药,浮选时间粗选4 min、精选2 min、扫选1~3浮选时间分别为4 min、3 min、3 min,结果见表9。

表9 反浮选闭路试验结果

产品名称	产率/%	TFe 品位/%	回收率/%
精矿	84.52	65.66	92.95
尾矿	15.48	27.21	7.05
给矿	100.00	59.71	100.00

弱磁选精矿反浮选闭路试验获得了精矿TFe品位65.66%、作业回收率92.95%的指标,但尾矿TFe品位达27.21%,损失铁回收率7.05%。

2.4 全流程试验

在条件试验基础上,选择优化条件组合,进行了全流程试验,全流程试验数质量流程见图4。预选采用细碎-磁滑轮干选和辊磨-湿式磁选,预选精矿经三段磨矿-三段弱磁选、反浮选流程,取得了精矿产率21.45%、TFe品位65.66%、回收率49.31%的试验指标。

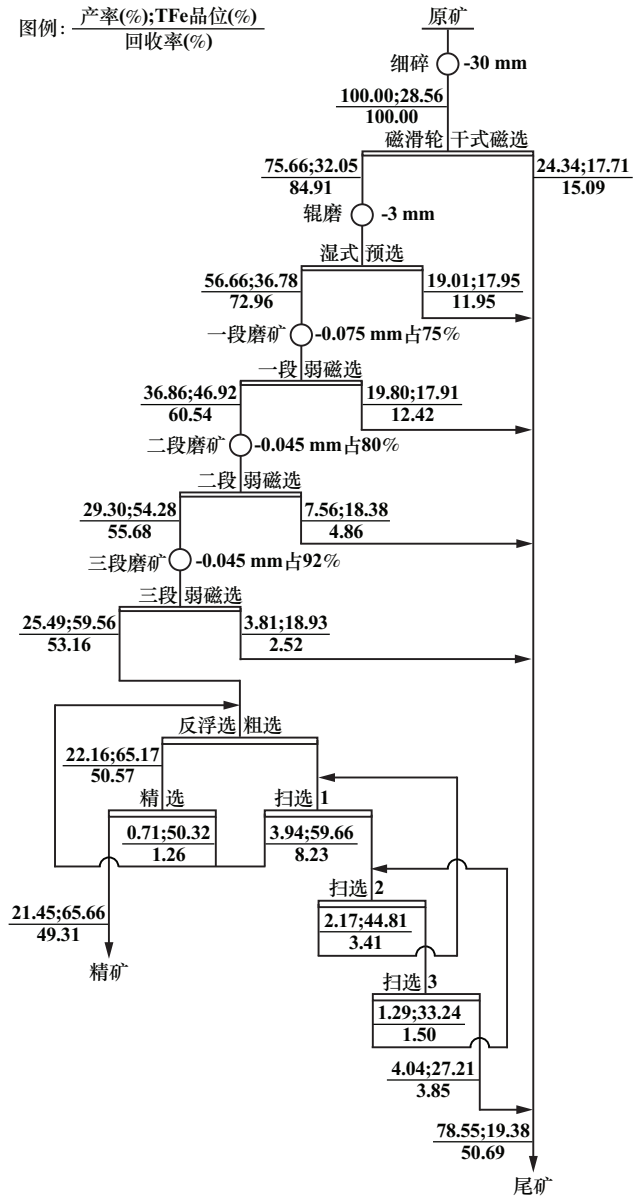


图4 全流程试验数质量流程

3 结论

1) 太钢袁家村铁矿TFe品位28.56%,磁性铁中 (下转第82页)

- 盐科学与化工, 2023, 52(6):42-45.
- [2] XU W, WANG W, CHEN S, et al. Molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>) nanosheets-based hydrogels with light-triggered self-healing property for flexible sensors [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2021, 586:601-612.
- [3] ZHANG W, LIU D, EDWARDS D D. Self-supported lithium titanium oxide nanosheet arrays decorated with molybdenum disulfide for high-performance lithium-ion batteries [J]. *Energy Technology*, 2016, 4(11): 1420-1426.
- [4] 孙鹏程, 李超, 周利敏, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿 Re 含量变化及控制因素 [J]. *矿床地质*, 2021, 40(2):273-292.
- [5] PARK I, HONG S, JEON S, et al. A review of recent advances in depression techniques for flotation separation of Cu-Mo sulfides in porphyry copper deposits [J]. *Metals*, 2020, 10(9):1269.
- [6] 林清泉, 戴智飞, 曾令明, 等. 江西某难选铜钼矿浮选试验研究 [J]. *矿冶工程*, 2022(2):73-76.
- [7] 王铁墨, 刘志雄, 李飞, 等. 过硫酸盐氧化碱浸低品位铜精矿提取钼 [J]. *矿冶工程*, 2022(3):104-107.
- [8] ZHU J, HE J, CHEN X, et al. Removal of molybdenum by TBP-TR-PO extraction in sodium isopolytungstate solution [J]. *Separation and Purification Technology*, 2024, 342:127041.
- [9] LI H, FENG Y, WANG H, et al. Separation of V(V) and Mo(VI) in roasting-water leaching solution of spent hydrodesulfurization catalyst by co-extraction using P507-N235 extractant [J]. *Separation and Purification Technology*, 2020, 248:117135.
- [10] 姜雨帅, 韩百岁, 冷红光, 等. 辉钼矿湿法冶金研究进展 [J]. *中国冶金*, 2023, 33(2):22-30.
- [11] 王浩聪, 陈芳芳, 王海洋, 等. L35-硫酸铵双水相体系萃取水溶液中 Cr(VI) [J]. *过程工程学报*, 2015, 15(5):788-794.
- [12] 孙晓. 双水相体系萃取分离钨钼的研究 [D]. 秦皇岛:燕山大学, 2021.
- [13] PAN Y, SUN X, QI M, et al. A clean and efficient method for separation of vanadium and molybdenum by aqueous two-phase systems [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 313:113540.
- [14] MARTINEZ M, BARRUETO Y, JIMENEZ Y P. Liquid-liquid extraction of molybdenum (VI) using aqueous two-phase systems (ATPS) consisting of polyethylene glycol (PEG) and sodium, ammonium and copper(II) salts: comparison with conventional solvent extraction [J]. *Hydrometallurgy*, 2023, 219:106077.
- [15] 李睿思, 秦茹, 李庆阳, 等. 非离子表面活性剂 Triton X-100/Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 双水相体系萃取分离钨钼的研究 [J]. *化学世界*, 2023, 64(5):342-347.
- [16] 王萍. 聚乙二醇-硫酸钠双水相体系萃取分离钨(VI)的研究 [D]. 秦皇岛:燕山大学, 2019.
- [17] 郭清. 异十三醇聚氧乙烯醚(1308)-硫酸盐温度诱导双水相体系萃取分离钼的研究 [D]. 秦皇岛:燕山大学, 2016.
- [18] ZHANG Y, SUN T, HOU Q, et al. A green method for extracting molybdenum (VI) from aqueous solution with aqueous two-phase system without any extractant [J]. *Separation and Purification Technology*, 2016, 169:151-157.
- [19] DAS L, PAIK S P, SEN K. Thermoseparative regeneration of triblock copolymer after aqueous biphasic extraction of molybdate species [J]. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2019, 64(1):51-59.
- [20] FEI Y, GOU S, HE Y, et al. The properties of polyoxyethylene polymers with temperature-sensitive and instant-solubility [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, 275:146-56.
- [21] TANG Z, WANG H, WU P F, et al. Electrode-electrolyte interfacial chemistry modulation for ultra-high rate sodium-ion batteries [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2022, 61(18):e202200475.
- [22] VASYLIEVA A, DOROSHENKO I, VASKIVSKIY Y, et al. FTIR study of condensed water structure [J]. *Journal of Molecular Structure*, 2018, 1167:232-238.
- [23] SRIVASTAVA R R, KIM M-S, LEE J-C, et al. Liquid-liquid extraction of rhenium (VII) from an acidic chloride solution using Cyanex 923 [J]. *Hydrometallurgy*, 2015, 157:33-38.
- [24] HU X, GONG H, LI Z, et al. What happens when pesticides are solubilized in nonionic surfactant micelles [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2019, 541:175-182.

引用本文: 范琳琳, 高静, 邱运仁. 异十醇聚氧乙烯醚-硫酸铵双水相体系萃取分离钨和铜 [J]. *矿冶工程*, 2024, 44(6):77-82.

(上接第76页)

铁分布率 58.33%, 硅酸铁中铁分布率 15.79%; 矿样中磁性铁嵌布粒度细, 磨矿细度达到 -0.026 mm 粒级占 95% 以上时铁矿物才能基本解离。

2) 预选采用细碎-磁滑轮干选和辊磨-湿式磁选, 预选精矿经三段磨矿-三段弱磁选、反浮选流程, 获得了产率 21.45%、TFe 品位 65.66%、回收率 49.31% 的铁精矿。

#### 参考文献:

- [1] 王斌. 根据矿石性质研究确立选别流程 [C]//2012 年鲁冀晋琼粤川辽七省金属(冶金)学会第十九届矿山学术交流会论文集.

2012:520-523.

- [2] 李庚辉, 肖启飞. 南芬选矿厂处理土场回收矿石工艺矿物学研究 [J]. *现代矿业*, 2022, 38(3):27-29.
- [3] 王英姿, 罗良飞, 宋鑫, 等. 袁家村铁矿再磨-强磁选脱泥-反浮选新工艺研究 [J]. *矿冶工程*, 2022(4):78-81.
- [4] 李贤, 吴承优, 罗良飞. 袁家村微细粒难选磁赤混合铁矿石提铁降硅试验研究 [J]. *金属矿山*, 2024(1):197-201.
- [5] 李贤, 罗良飞, 钟志刚, 等. 袁家村铁矿闪石型磁铁矿高压辊磨及阶磨阶选工艺技术研究 [J]. *矿冶工程*, 2023, 43(3):93-96.

引用本文: 魏宇峰. 袁家村铁矿难选闪石型原生矿选矿试验研究 [J]. *矿冶工程*, 2024, 44(6):73-76.