

# 袁家村闪石型磁铁矿选矿技术开发\*

罗良飞

(长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

**摘要:**袁家村难选闪石型磁铁矿具有铁硅酸盐含量高、矿物组成复杂、矿物嵌布粒度极细的特点。在工艺矿物学研究的基础上,通过预选(早丢)和弱磁精矿反浮选或淘洗磁选在相对粗粒条件下获得大部分高品位铁精矿,达到降低磨矿成本的目的。最终得出了适合袁家村闪石型磁铁矿石的选矿工艺流程,采用-3 mm湿式预选—两段阶段—四次弱磁选—反浮选—浮尾再磨弱磁选流程,可获得精矿产率29.42%、铁品位68.16%、回收率66.55%的指标。该工艺解决了袁家村闪石型磁铁矿经济开发利用的难题。

**关键词:**袁家村铁矿;闪石型磁铁矿;磁选;反浮选;预选

中图分类号:TD951.1 文献标识码:B 文章编号:1001-0076(2018)01-0061-05

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.01.036

## Beneficiation Technology for Amphibole Type Magnetite Ore in Yuanjiacun

LUO Liangfei

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

**Abstract:** The refractory amphibole type magnetite in Yuanjiacun iron ore deposit has the characteristics of high content of iron-bearing silicate, complex mineral composition, and extremely fine dissemination sizes. Based on process mineralogy study, the purpose of reducing the cost of grinding was achieved through the process of preconcentration (early loss) and reverse flotation or elutriation magnetic separation of the low intensity magnetic separation (LIMS) concentrate to obtain most of the high-grade iron concentrate under relatively coarse grain conditions. Finally, the ore dressing process suitable for amphibole type magnetite ore in yuanjiacun was developed, which contained a wet preconcentration of -3 mm grains, two stages of grinding, four times of low intensity magnetic separation, a reverse flotation, and a regrinding of flotation tailings with the LIMS. With this process, an iron concentrate with a yield of 29.42%, a TFe grade of 68.18%, and a TFe recovery of 66.55% could be obtained. This study solves the problem of the economic exploitation and utilization of the amphibole type magnetite ore in Yuanjiacun.

**Key words:** Yuanjiacun iron ore; amphibole type magnetite; magnetic separation; reverse flotation; preconcentration

袁家村铁矿属于微细粒嵌布磁赤混合型铁矿,总储量为12.5亿t,其中难选闪石型磁铁矿储量高达2.45亿t。2005年太钢集团取得了袁家村铁矿的探矿权并筹建了岚县矿业公司,2012年底袁家村铁矿建成了亚洲最大的磁赤混合型铁矿选厂,原矿

年处理量2200万t,年产铁精粉740万t,采用粗碎+半自磨—球磨—弱磁选—强磁选—再磨—反浮选高效短流程,但此流程对闪石型磁铁矿适应性不强,强磁选不能有效地抛出闪石矿中的含铁硅酸盐。随着矿山开采的推进,采出的闪石型磁铁矿矿石量逐

\* 收稿日期:2017-10-18

作者简介:罗良飞(1971-),男,湖南湘乡人,硕士,教授级高工,主要研究方向:矿物加工技术及工业应用。

渐增加,将其直接配矿进入现有选厂生产流程,严重影响选厂生产指标,导致精矿品位难合格;就近现场堆放严重影响采场施工,丢之造成资源浪费,倒转堆存大幅度增加处理成本。由于闪石型铁矿中含有大量与铁矿物磁性、可浮性相近的绿泥石、角闪石等含铁硅酸盐矿物,故强磁选、浮选分选难度较大。为了解决这一迫在眉睫的难题,太钢集团岚县矿业公司委托长沙矿冶研究院有限责任公司针对袁家村铁矿难选矿石资源进行选矿技术开发。长沙院对袁家村铁矿1、2、10号矿体的三个探槽大样按10年开采出矿比例配制成的综合样进行了详细的工矿物学研究和可选性试验研究,查明了其可选性,试验取得了良好的技术指标<sup>[1-2]</sup>,为袁家村铁矿闪石型磁铁矿资源经济高效开发利用找到了可行的选矿工艺流程<sup>[3]</sup>。

## 1 矿石性质

袁家村铁矿1、2、10号矿体按质量比5:4:1配成的综合样为本次试验的原矿,其化学多元素分析结果见表1,铁矿物的化学物相见表2<sup>[2]</sup>。

表1 原矿的多元素分析结果 /%

组成	TFe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
含量	30.13	10.27	31.63	46.85	0.16	2.15	2.29	2.47
组成	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	C	烧失	
含量	0.071	0.10	0.17	0.15	0.10	0.75	3.55	

表2 原矿中铁的化学物相分析结果 /%

铁相	磁铁矿 中铁	半假象赤 铁矿中铁	赤(褐)铁 矿中铁	碳酸盐 中铁	硫化物 中铁	硅酸盐 中铁	合计
金属量	20.38	1.31	3.3	1.05	0.07	4.02	30.13
分布率	67.64	4.35	10.95	3.49	0.23	13.34	100.00

由表1、表2可知,选矿可回收的金属元素是铁,但TFe品位仅30.13%,SiO<sub>2</sub>是需要排除的主要成分,杂质磷和硫含量均低;以磁铁矿和半假象赤铁矿的形式存在的铁含量占总铁的71.99%,其次是硅酸盐和赤褐铁矿。

经镜下鉴定、X射线衍射和扫描电镜分析,矿石中金属矿物以磁铁矿为主,其次含少量赤铁矿、镜铁矿,微量矿物包括磁黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿。脉石矿物以石英为主,其次是闪石(铁闪石、铁镁闪石、阳起石和透闪石等)、绿泥石、方解石和白云石等,还有微量斜长石、黑云母、黑硬绿泥石、滑石、白云母、绢云母等。主要矿物的含量列于表3。

表3 原矿中主要矿物的含量 /%

矿物	磁铁矿	半假象 赤铁矿	假象 赤铁矿	镜铁矿 赤铁矿	褐铁矿	菱铁矿	石英
含量	28.1	1.6	0.5	3.5	0.5	2.1	38.5
样品	闪石	绿泥石	方解石 白云石	长石	黑硬 绿泥石	云母	其它
含量	12.2	6.5	4.5	0.4	0.4	0.4	0.8

在显微镜下对原矿中铁矿物的嵌布粒度进行了统计,结果见表4。

表4 矿石中铁矿物的嵌布粒度 /%

粒级 /mm	-0.42	-0.21	-0.15	-0.105	-0.075	-0.052	-0.038	-0.026
分布	10.73	14.45	18.16	16.38	16.47	10.94	6.46	6.42

由表4可知,矿石中的铁矿物属细粒-微细粒嵌布的范畴。要使铁矿物单体解离度达到95%以上,需要磨至0.026mm的细度。

## 2 试验设备及药剂

试验主要设备及药剂见表5。

表5 主要试验设备及药剂

设备名称	规格型号	药剂名称	备注
球磨机	XMB-67型	氢氧化钠	分析纯
浮选机	XFD-63系列	石灰	分析纯
弱磁选机	CRIMMΦ400 mm × 300 mm	CYZ-20	铁抑制剂
永磁筒式磁选机	LiLoΦ400 mm × 300 mm	CM-27	捕收剂
电磁磁滑轮	SA925		
淘洗磁选机	Φ100 mm		

其中药剂CYZ-20、CM-27为长沙矿冶研究院研发生产。CYZ-20是一种速溶高效铁矿抑制剂,配制简单方便,只需加水搅拌即可,对铁矿物选择性抑制效果比苛化淀粉好<sup>[2]</sup>;CM-27是一种脂肪酸类捕收剂,具有碱用量少、选择性强、回收率高等优点。

## 3 选矿试验

袁家村闪石型磁铁矿嵌布粒度极细,嵌布关系复杂,铁硅酸盐含量高,磁性铁仅占71%左右,赤褐铁占10.95%,还含有13.34%的硅酸铁。由于硅酸铁与赤褐铁性质相近,故弱磁性铁矿物的回收难度大。因此,对此类矿石以回收强磁性铁矿物为主,但选比较大,常规选矿工艺精矿成本相对较高。故能否实现粗粒预选、阶磨阶选、早丢早收是该矿经济高

效开发的前提。本研究着重进行了预选研究,并在常规的阶段磨矿—阶段弱磁选基础上,对弱磁精矿进行反浮选、淘洗磁选试验,尽量减少需要细磨的矿量,降低磨矿成本,为实现大规模工业化低成本生产提供技术依据。

### 3.1 预选试验

在磁场强度 159.15 kA/m 条件下,分别对粒度为 -70、-12、-6、-3 mm 的原矿进行了干式、湿式预选,干式预选采用磁滑轮,湿式预选采用永磁筒式磁选机,试验结果见表 6。

试验条件	精矿产率	品位			精矿回收率
		给矿	尾矿	精矿	
-70 mm 干式	79.62	29.98	18.63	32.88	87.33
-12 mm 干式	80.53	30.07	16.66	33.32	89.21
-6 mm 干式	80.00	29.86	15.81	33.38	89.41
-3 mm 干式	81.52	29.97	14.46	33.48	91.09
-12 mm 湿式	80.93	30.02	13.21	33.39	91.61
-6 mm 湿式	80.59	30.05	12.40	34.25	91.85
-3 mm 湿式	79.83	30.14	12.27	34.66	91.79

由表 6 可知,粒度是影响抛尾效果的主要因素,粒度细抛尾效果好,粒度细预选精矿的品位和回收率都高;同一粒度湿式抛尾效果显著优于干式抛尾,回收率接近,预选精矿品位高 1 个品位左右。参考袁家村铁矿 2 200 万 t/a 选厂已有碎磨流程,原矿采用 -3 mm 湿式预选抛尾可以抛出产率 20.17% 的尾矿,预选精矿品位提高 4.52 个百分点,回收率为 91.79%。

### 3.2 预选粗精矿不同磨矿细度弱磁选试验

在磁场强度 159.15 kA/m 条件下,对原矿 -3 mm 采用湿式预选得到的预选粗精矿进行了不同磨矿细度弱磁分选试验,试验结果见表 7。

磨矿细度 (-0.075 mm 含量)	精矿产率	品位			精矿回收率
		给矿	尾矿	精矿	
55	64.36	34.39	14.11	45.62	85.38
65	62.48	34.45	14.17	46.63	84.57
75	60.23	34.41	14.22	47.74	83.57
85	56.33	34.44	14.23	50.11	81.95

由表 7 可知,随着磨矿细度的增加,弱磁粗精矿品位逐步提高,尾矿品位变化不大,当磨矿细度达到 -0.075 mm 含量占 85% 时,精矿铁品位仅 50.11%,因此,阶段磨矿—阶段选别是可以的。

### 3.3 弱磁粗精矿再磨弱磁选试验

对一段磨选弱磁精矿进行了不同再磨细度试验,弱磁选粗选强度 139.26 kA/m,精选磁场强度 99.47 kA/m,粗选、精选尾矿合并,试验结果见表 8。

表 8 弱磁精矿不同再磨细度弱磁选试验结果 /%  
Table 8 LIMS test results of LIMS - concentrate with different regrinding fineness

磨矿细度 (-0.025 mm 含量)	精矿产率	品位			精矿回收率
		给矿	尾矿	精矿	
67.8	76.45	50.11	16.03	60.61	92.47
84.9	71.75	50.11	16.11	63.50	90.92
91.0	70.41	50.11	16.23	64.35	90.42
93.9	68.63	50.11	16.31	65.56	89.79

由表 8 可知,随着磨矿细度的增加,弱磁精矿品位逐步提高,尾矿品位变化不大,当磨矿细度达到 -0.025 mm 含量占 93.9% 时,精矿铁品位为 65.56%,达到了精矿品位要求。但采用阶段磨选方案,需要细磨的矿量达到原矿的 50%,存在部分粗粒铁矿过粉碎,不利于降低磨矿成本。

### 3.4 弱磁精矿反浮选试验

由于采用全磁流程最终磨矿细度需要达到 -0.025 mm 含量占 93.9%,磨矿成本较高,同时实现大规模生产也受设备处理能力等限制。工业实践证明,浮选是铁精矿提铁降杂最有效的选矿方法,通过反浮选可以高效分离出弱磁铁精矿中的贫连生体<sup>[4]</sup>,因此,采用浮选工艺可以达到在较粗粒度条件下获得高品位精矿的目的。

参考袁家村选厂流程的再磨细度,浮选试验的给矿为再磨细度 -0.045 mm 含量占 93.5% 弱磁选得到的弱磁精矿,铁品位 60% 左右。通过药剂用量试验优化了反浮选药剂制度,试验流程为一次粗选一次精选三次扫选,闭路试验结果见表 9,闭路试验药剂制度 NaOH、CYZ-20、CaO、CM-27 的用量分别为 480、800、300、100+50 g/t。

由表 9 可以看出,浮选闭路尾矿品位 TFe 33.54%,损失回收率 13.24%。为了提高总铁回收率,对浮选尾矿进行了再磨再选,弱磁选一次粗选一次精选试验,结果见表 10。

表9 弱磁精矿反浮选闭路试验结果 /%

Table 9 Results of closed circuit reverse flotation tests of LIMS - concentrate

精矿产率	品位			精矿回收率
	给矿	尾矿	精矿	
76.27	60.09	33.54	68.34	86.76

表10 浮选尾矿再磨弱磁选试验结果

Table 10 LIMS test results of reground flotation tailings

试验条件	精矿产率/%	品位/%			精矿回收率/%
		给矿	尾矿	精矿	
粗选 139.26 kA/m; 精选 99.47 kA/m; 再磨细度 -0.019 mm 含量 92.3%	54.65	33.46	8.40	54.26	88.62

由表10可以看出,在-0.019 mm含量占92.3%的条件下,浮选尾矿仅可得到铁品位54.26%的精矿,作业回收率88.62%,说明浮选尾矿是更细的贫连生体。根据总精矿大于65%的要求,对浮选尾矿再磨到这一细度即可。

### 3.5 弱磁精矿淘洗磁选试验

近十年来,针对弱磁精矿提铁降杂的高效磁选设备取得了长足进步,磁选柱、淘选机、提铁降杂机等都在工业上得以应用<sup>[5-9]</sup>,均利用磁重分选原理,

其生产成本相对比浮选低。采用Φ100 mm淘洗机对再磨细度-0.045 mm含量占93.5%条件下弱磁选得到的弱磁精矿进行了不同上升水量提铁试验,固定淘洗的控制磁场强度为79.58 kA/m,分选磁场强度为79.58 kA/m,补偿磁场强度71.62 kA/m,试验结果见表11。

表11 弱磁精矿不同上升水速淘洗磁选试验结果

Table 11 Results of elutriation magnetic separation of LIMS - concentrate with different rising water velocities

上升水速/ (m·s <sup>-1</sup> )	精矿产率/%	品位/%			精矿回收率/%
		给矿	尾矿	精矿	
0.028 3	93.65	60.50	26.43	62.81	97.23
0.038 9	83.30	60.50	36.21	65.37	90.00
0.044 2	54.23	60.50	53.96	66.02	59.18
0.047 5	21.70	60.50	59.99	62.34	22.36

由表11可知,随着上升水速的加大,精矿铁品位提高到66.02%,再增加上升水速,淘洗磁选机分选状态变坏,精矿品位不升反降。因此,上升水速选择0.038 9 m/s合适。

### 3.6 流程试验

在条件试验的基础上,在原矿铁品位30.13%的条件下进行了多种流程试验,结果见表12。

表12 流程试验结果

Table 12 Process test results

流程	精矿产率/%	品位/%		精矿回收率/%	磨矿细度
		尾矿	精矿		
湿式预选—两段阶磨—四次弱磁流程	30.90	14.15	65.87	67.55	I段-0.075 mm含量85% II段-0.025 mm含量93.9%
湿式预选—两段阶磨—四次弱磁—反浮流程	27.06	15.96	68.34	61.37	I段-0.075 mm含量85% II段-0.045 mm含量93.5%
湿式预选—两段阶磨—四次弱磁—反浮选—再磨再选流程	29.42	14.28	68.16	66.55	I段-0.075 mm含量85% II段-0.045 mm含量93.5% 再磨-0.019 mm含量92.5%
湿式预选—两段阶磨—四次弱磁—淘洗—再磨再选流程	30.77	14.10	66.19	67.60	I段-0.075 mm含量85% II段-0.045 mm含量93.5% 再磨-0.019 mm含量92.5%
湿式预选—两段阶磨—四次弱磁—淘洗流程	29.18	15.61	65.37	63.30	I段-0.075 mm含量85% II段-0.045 mm含量93.5%

由表12可以看出,单一弱磁选流程可以得到精矿品位65.87%、回收率67.55%的指标,但第二段磨矿细度-0.025 mm含量需达到93.9%,能耗过高;反浮选和淘洗磁选可以在较粗磨矿细度下获得高品位精矿,但必须对中矿进行再磨再选,否则回收

率低5个百分点左右;反浮选比淘洗磁选对精矿品位更有保障。

从表12可知,预选—两段阶磨—四次弱磁选—反浮选—再磨再选流程(图1)指标较好,放粗了最终精矿粒度,达到了降低磨矿能耗的目的,推荐作为

袁家村闪石磁铁矿开发的选矿工艺流程。

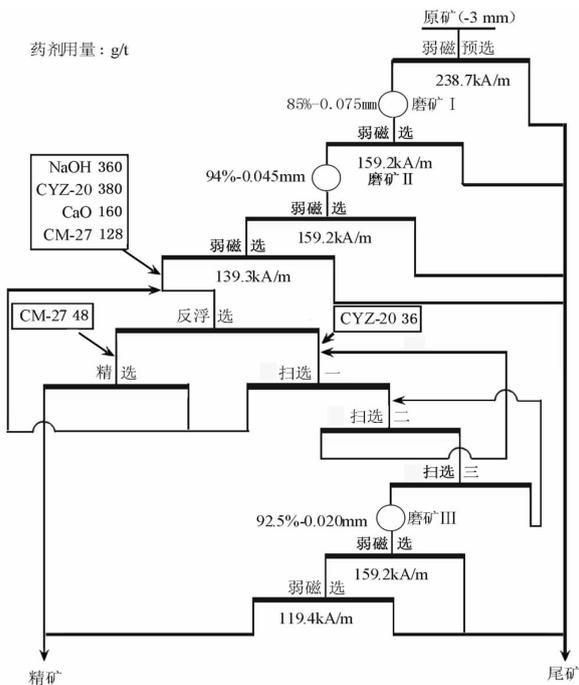


图1 最终推荐流程

Fig. 1 Flowsheet of final recommend process

## 4 结论

(1)袁家村闪石型磁铁矿属于微细粒嵌布复杂难选铁矿,原矿铁品位 30.13%,磁性铁含量仅 71.99%。原矿 -3 mm 粒度下湿式预选效果好。

(2)采用预选—两段阶磨—四次弱磁选流程在磨矿细度 -0.025 mm 含量占 93.9% 条件下,可得到铁品位 65.87% 的精矿,回收率 67.55%;采用预选—两段阶磨—四次弱磁—淘洗—再磨再选流程在第二段磨矿细度 -0.045mm 含量占 94% 条件下,取

得了精矿铁品位 66.19%、回收率 67.60% 的指标,减少需要细磨的矿量 85% 左右;采用预选—两段阶磨—四次弱磁—反浮—再磨再选流程,在第二段磨矿细度 -0.045 mm 含量占 93.5% 条件下,取得了总精矿铁品位 68.16%、回收率 66.55% 的指标,需要细磨的矿量由原矿的 50% 减至 10%,减少了 80% 左右。

(3)采用预选—两段阶磨—四次弱磁选—反浮选—再磨再选流程获得了较好的指标,推荐此流程作为袁家村闪石磁铁矿开发的选矿工艺流程。

## 参考文献:

- [1] 罗良飞. 袁家村铁矿难选矿石资源选矿技术开发单样选矿试验研究报告[R]. 长沙:长沙矿冶研究院,2015. 12.
- [2] 罗良飞. 袁家村铁矿难选矿石资源选矿技术开发三个大样预选及扩大连选试验研究报告[R]. 长沙:长沙矿冶研究院,2016. 6.
- [3] 钟瑞,张红军. 我国铁矿石成本分析及竞争力对策研究[J]. 矿产保护与利用,2017(2):18-24.
- [4] 宫贵臣,韩跃新,高鹏. 超级铁精矿制备技术研究进展[J]. 矿产保护与利用,2017(1):103-107.
- [5] 王永章,罗良飞. 太钢袁家村难选铁矿石选矿工艺研究[J]. 矿冶工程,2016(5):53-56.
- [6] 刘秉裕,刘阳,孙仲元. 再论磁选柱结构磁场分选原理及应用[C]//中国矿业技术文汇-2014. 北京:冶金工业出版社,2014.
- [7] 章正华,刘秉裕,朱小著,等. 裕丰磁选柱在提铁降杂工程中的应用[J]. 现代矿业,2015(5):111-112.
- [8] 杨龙海,马嘉伟,包士雷. 动淘洗磁选机在各大选矿厂的应用[J]. 矿业工程,2016(5):33-35.
- [9] 姚耿,司不知,刘彬. 全自动淘洗磁选机在中钢苍山铁矿的应用[J]. 现代矿业,2015(6):192-193.

引用格式:罗良飞. 袁家村闪石型磁铁矿选矿技术开发[J]. 矿产保护与利用,2018(1):61-65.

LUO Liangfei. Beneficiation technology for amphibole type magnetite ore in Yuanjiacun[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(1):61-65.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kebh@chinajournal.net.cn](mailto:kebh@chinajournal.net.cn)