

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^①

李 贤¹, 罗良飞², 钟志刚², 李宗蔚², 张 虎³

(1. 太钢集团岚县矿业有限公司, 山西 岚县 030027; 2. 长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012; 3. 成都利君实业股份有限公司, 四川 成都 610045)

摘要: 对太钢袁家村铁矿闪石型磁铁矿进行了高压辊磨-预选及阶磨阶选工艺技术研究。为了降低入磨矿石选比, 采用高压辊磨进行超细碎并对-3 mm 粒级物料进行湿式预选, 可以抛出产率 22% 的粗粒尾矿, 预选精矿 TFe 品位提高到 36% 左右。高压辊磨前后矿样的磨矿功指数分别为 11.91 kW·h/t 和 11.11 kW·h/t。高压辊磨-预选-阶磨阶选流程试验获得了精矿产率 33.92%、TFe 品位 67.13%、回收率 75.75% 的指标, 选比由 2.95 下降至 2.27。高压辊磨-预选-阶磨阶选工艺为此类低品位磁铁矿大规模低成本开采提供了节能降耗新思路。

关键词: 磁铁矿; 高压辊磨; 预选; 弱磁选; 反浮选; 阶磨阶选; 袁家村铁矿

中图分类号: TD92

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.03.021

文章编号: 0253-6099(2023)03-0093-04

High Pressure Grinding Roll Combined with Staged-Grinding and Staged-Separation Technology for Amphibolite-Type Magnetite in Yuanjiacun Iron Mine

LI Xian¹, LUO Liangfei², ZHONG Zhigang², LI Zongwei², ZHANG Hu³

(1. Lan County Mining Co Ltd, Taiyuan Iron & Steel (Group) Co Ltd, Lan County 030027, Shanxi, China; 2. Changsha Research Institute of Mining & Metallurgy Co Ltd, Changsha 410012, Hunan, China; 3. Chengdu Leejun Industrial Co Ltd, Chengdu 610045, Sichuan, China)

Abstract: The amphibolite-type magnetite ore in Yuanjiacun Iron Mine was processed adopting a processing technique consisting of high pressure grinding roll (HPGR) plus pre-concentration, followed by staged grinding and staged separation process. In order to reduce the grinding feed in the following concentration, HPGR was introduced for superfine crushing, and the obtained material in a size fraction of -3 mm was treated by a wet pre-concentration process, yielding 22% coarse tailings for discarding. And then a pre-concentration process resulted in the obtained concentrate with TFe grade up to around 36%. The work index for grinding before and after adopting HPGR was reduced from 11.91 kW·h/t to 11.11 kW·h/t. An experiment was performed with a flowsheet of HPGR plus pre-concentration followed by staged grinding and staged separation process, yielding 33.92% concentrate grading 67.13% TFe at 75.75% recovery, showing the ratio of concentration down to 2.27 from 2.95. It is concluded that the above-mentioned processing technique can provide an energy-conservation and consumption-reduction solution for large-scale and low-cost exploitation of similar low-grade magnetite mines.

Key words: magnetite; high pressure grinding roll (HPGR); pre-concentration; low intensity magnetic separation; reverse flotation; staged grinding and staged separation; Yuanjiacun Iron Mine

太钢袁家村铁矿矿床中难选闪石型原生磁铁矿储量高达 2.45 亿吨^[1-2]。袁家村红磁混合矿 2 200 万吨/年

选矿厂的工艺流程^[3]是根据矿山前 5 年的出矿矿石比例情况设计的, 没有建设单独的磁铁矿处理生产线。

① 收稿日期: 2022-11-26

作者简介: 李 贤(1975—), 男, 吉林梨树人, 高级工程师, 主要从事矿山技术及管理工作。

通信作者: 罗良飞(1971—), 男, 湖南湘乡人, 硕士, 正高级工程师, 主要从事矿物加工技术开发与工程应用研究工作。

随着矿山开采深度增加,采出的原生磁铁矿(包含闪石型和石英型)比例增加,原生磁铁矿配入原设计流程中处理会造成浮选铁精矿中硅含量超标,也不利于降低磨选能耗。2019年岚县矿业公司对选矿厂原3#系列进行了改造,新增了弱磁选车间,但仍采用半自磨+球磨后弱磁选,磨矿能耗较高。近几年来,高压辊磨作为一种高效超细碎设备,在铁矿山的应用越来越多^[4-8]。为了查明袁家村铁矿闪石型原生磁铁矿的高压辊磨性能及操作参数、辊磨产品粗粒预选、粗精矿阶磨阶选工艺及选矿指标,为袁家村铁矿新建原生矿辊磨流程生产线提供技术依据^[9],本文开展了高压辊磨及阶磨阶选试验研究。

1 矿石性质

试验矿样化学多元素分析结果见表1,铁化学物相分析结果见表2。矿样TFe/FeO比为1.82,碱性系数为0.15,为原生酸性磁铁矿。矿样中可供选矿回收的元素是铁,需要选矿排除或降低的脉石组分主要是SiO₂,次为Al₂O₃、CaO和MgO。有害杂质硫、磷含量较低。以磁铁矿形式存在的铁占77.35%,硅酸盐中铁占14.87%,为不可回收部分。

表1 矿石化学多元素分析结果(质量分数) %

TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
30.06	16.49	24.65	0.14	45.08	1.51	3.07	3.74
MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P	S	C	烧失	
0.10	0.16	0.20	0.10	0.091	0.78	2.02	

表2 矿石铁化学物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
磁铁矿中铁	23.25	77.34
假象赤铁矿中铁	—	—
赤(褐)铁矿中铁	1.40	4.66
碳酸盐中铁	0.88	2.93
硫化物中铁	0.06	0.20
硅酸盐中铁	4.47	14.87
合计	30.06	100.00

矿石中磁铁矿主要聚集呈浸染条带状嵌布在以石英和铁闪石为主的脉石矿物中,各条带宽度不等,一般多介于0.1~1.5 mm之间。原矿粒度组成分析结果见表3。由表3可知,原矿-5 mm粒级含量49.11%,-3.2 mm粒级含量37.22%,-0.074 mm粒级含量4.95%。经计算得原矿粒度 P_{80} 为11.1 mm。

表3 原矿粒度组成分析结果

粒级/mm	产率/%	
	个别	负累积
+15	6.95	100.00
-15+10	18.26	93.05
-10+5	25.68	74.79
-5+3.2	11.89	49.11
-3.2+2.0	5.15	37.22
-2.0+0.9	13.17	32.07
-0.9+0.5	4.69	18.90
-0.5+0.2	3.54	14.21
-0.2+0.15	3.66	10.67
-0.15+0.074	2.06	7.01
-0.074	4.95	4.95
合计	100.00	—

2 高压辊磨及阶磨阶选试验

2.1 高压辊磨条件试验

2.1.1 高压辊磨压力试验

高压辊磨机转速20 r/min,每次给料量20 kg,不同工作压力条件下物料粒度分析结果见表4。不同压力下高压辊磨机辊压产品粒度组成差异小,但高压下的能耗较高。压力8.0 MPa、10.0 MPa、12.0 MPa条件下的电耗依次为1.28 kW·h/t、1.44 kW·h/t、1.60 kW·h/t。根据不同工作压力下电耗及辊压产品粒度分布,适宜的工作压力为8.0 MPa。

表4 不同工作压力产品粒度分析结果

粒级/mm	不同工作压力下的辊磨产品粒级产率/%		
	8.0 MPa	10.0 MPa	12.0 MPa
+5	18.45	18.22	18.11
-5+3.2	14.91	14.69	14.52
-3.2+2.0	10.45	10.46	10.41
-2.0+0.9	18.90	18.69	18.68
-0.9+0.5	8.96	9.04	9.19
-0.5+0.2	9.22	9.29	9.24
-0.2+0.15	0.84	0.84	0.88
-0.15+0.074	5.27	5.34	5.37
-0.074	13.00	13.43	13.60
合计	100.00	100.00	100.00

2.1.2 辊磨转速试验

高压辊磨机工作压力8.0 MPa,每次给料量20 kg,不同高压辊磨机辊速条件下的产品粒度分析结果见表5。辊磨转速15 r/min、20 r/min和25 r/min时对应的电耗分别为1.49 kW·h/t、1.28 kW·h/t和1.38 kW·h/t。可见,在相同工作压力下,提高转速可以降低功耗,但辊磨产品粒度也会粗一些。

2.2 高压辊磨闭路试验

采用CLM25/10高压辊磨机,在工作压力8.0 MPa、

表5 不同转速辊磨产品粒度组成分析结果

粒度/mm	不同转速辊磨产品粒级产率/%		
	15 r/min	20 r/min	25 r/min
+5	18.15	18.45	19.69
-5+3.2	12.87	14.91	14.82
-3.2+2.0	9.22	10.45	10.22
-2.0+0.9	18.55	18.90	18.51
-0.9+0.5	9.90	8.96	8.98
-0.5+0.2	10.82	9.22	9.24
-0.2+0.15	1.03	0.84	0.85
-0.15+0.074	5.86	5.27	5.10
-0.074	13.60	13.00	12.58
合计	100.00	100.00	100.00

转速 20 r/min 条件下与直线振动筛(孔径分别为 3 mm 和 5 mm)组合进行高压辊磨-筛分闭路试验。每次新给矿量 10 kg,经高压辊磨机辊压后,辊压产品经干式振动筛分,筛上产品与新给矿的 10 kg 一起混合进入高压辊磨机;重复以上试验流程,直至筛下质量接近于新给矿量且质量不再发生变化,流程试验达到平衡。对平衡时筛下产品进行取样,分析粒度组成。高压辊磨闭路筛分试验结果见表 6,最终筛下物料粒度组成分析结果见表 7。由表 6 可知,综合样高压辊磨 3 mm 闭路筛分试验在第 5 次时达到平衡,3 mm 筛上物料循环量为 6.46 kg,计算得到作业循环负荷为 64.4%;综合样高压辊磨 5 mm 闭路筛分试验在第 3 次时达到平衡,5 mm 筛上物料循环量为 2.68 kg,计算得到作业循环负荷为 26.6%。由表 7 可知,综合样高压辊磨 3 mm 闭路筛分循环试验的最终筛下产品中-0.5 mm 粒级累积含量占 43.44%,-0.074 mm 粒级累积含量占 19.48%,计算得高压辊磨 3 mm 产品粒度 P_{80} 为 1.72 mm;综合样高压辊磨 5 mm 闭路筛分循环试验的最终筛下产品中-0.5 mm 粒级累积含量占 34.31%,-0.074 mm 粒级累积含量占 15.93%,计算得高压辊磨 5 mm 产品粒度 P_{80} 为 3.05 mm。

表6 高压辊磨闭路筛分循环负荷表

筛分粒度/mm	试验次数	新给矿量/kg	通过量/%	含量/%	
				筛上	筛下
3	1	10.00	100.0	33.5	64.9
	2	10.00	133.5	54.8	77.5
	3	10.00	154.8	60.6	91.9
	4	10.00	160.6	65.4	93.7
	5	10.00	165.4	64.4	99.1
	6	10.00	164.4	64.7	98.5
5	1	10.00	100.0	19.9	78.6
	2	10.00	119.9	27.8	90.6
	3	10.00	127.8	26.6	99.5
	4	10.00	126.6	27.0	99.0

表7 高压辊磨闭路筛下粒度组成分析结果

粒级/mm	不同筛网粒度下的辊磨产品粒级产率/%	
	3 mm	5 mm
+3.2	13.91	18.47
-3.2+2.0		13.03
-2.0+0.9	28.70	23.34
-0.9+0.5	13.95	10.85
-0.5+0.20	14.50	11.09
-0.20+0.15	1.40	1.13
-0.15+0.074	8.06	6.14
-0.074	19.48	15.96
合计	100.00	100.00

2.3 高压辊磨产品预选试验

采用 CRIMM Φ 400 mm \times 300 mm 型筒式弱磁选机分别对-5 mm 和-3 mm 高压辊磨产品进行了湿式预选试验,磁场强度 0.3 T,试验结果见表 8。由表 8 可以看出,-3 mm 辊磨产品比-5 mm 辊磨产品预选可以多抛出尾矿产率 1.85 个百分点,精矿品位提高近 0.85 个百分点,尾矿中磁性铁含量低 0.06 个百分点。

表8 高压辊磨-预选试验结果

给矿粒度/mm	产品名称	产率/%	品位/%		TFe 回收率/%
			TFe	mFe	
-3	精矿	77.43	35.75		91.86
	尾矿	22.57	10.87	0.12	8.14
	给矿	100.00	30.14		100.00
-5	精矿	79.28	34.90		92.24
	尾矿	20.72	11.24	0.18	7.76
	给矿	100.00	30.00		100.00

2.4 流程试验

对原矿进行了高压辊磨-湿式预选-阶磨阶选流程试验,试验数质量流程见图 1。由图 1 可以算出原矿直接磨选的选比为 2.95,高压辊磨-湿式预选-粗精矿阶磨阶选的选比为 2.27,可见采用高压辊磨-预选工艺节能降耗效果显著。

3 结 论

1) 袁家村铁矿闪石型磁铁矿原矿 TFe 品位 30.06%,磁性铁占比 77.35%,硅酸铁占比 14.87%;矿石以浸染条带结构为主。

2) 高压辊磨机适宜的工作参数为:工作压力 8.0 MPa、转速 20 r/min,该条件下的电耗为 1.28 kW \cdot h/t。5 mm、3 mm 筛分闭路高压辊磨产品中-0.075 mm 粒级含量分别达到 15.93%和 19.48%,高压辊磨产品湿式预选可分别抛出产率 20.72%和 22.57%的粗粒尾矿。

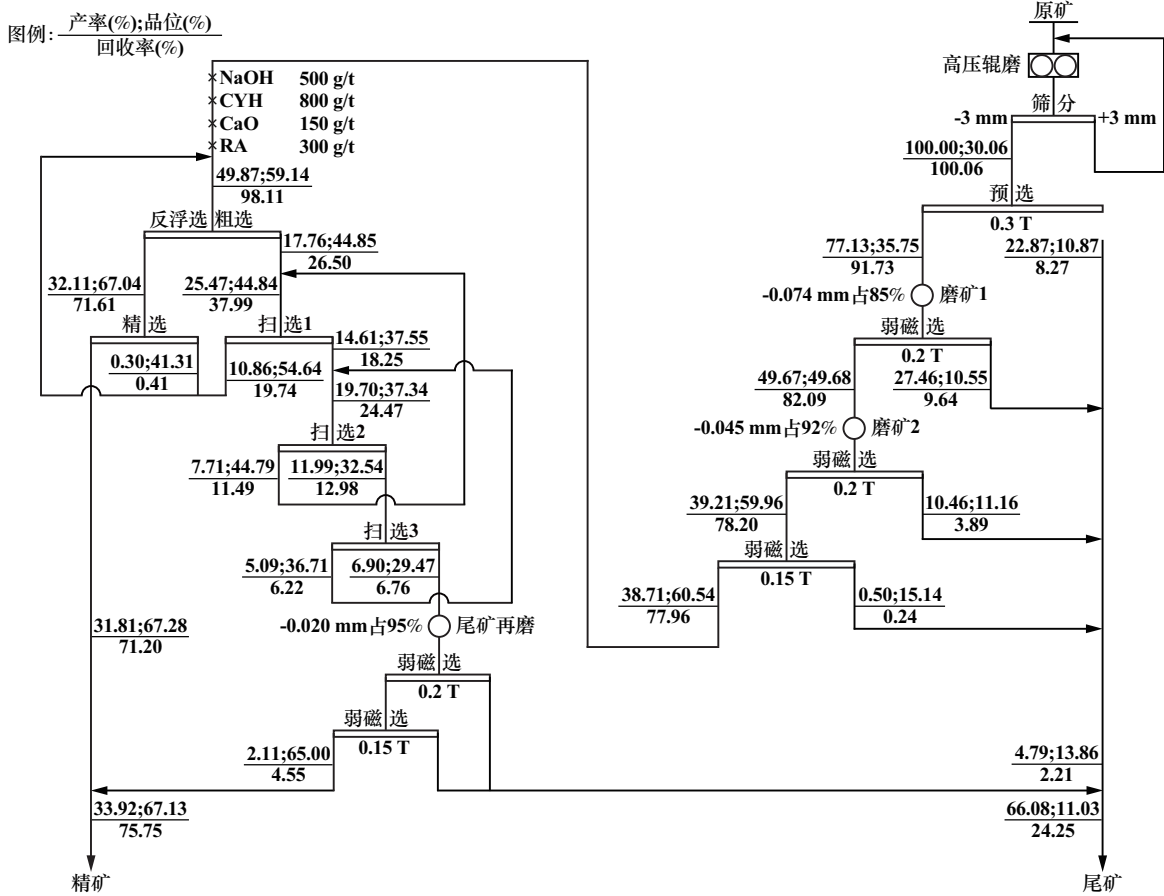


图1 高压辊磨-预选-阶磨阶选数质量流程

3) 高压辊磨前后磨矿功耗分别为 11.91 kW · h/t 和 11.11 kW · h/t;与原矿直接磨选相比,采用高压辊磨-预选-阶磨阶选工艺流程选比由 2.95 下降至 2.27, 下降幅度 23.05%,节能降耗效果显著。

参考文献:

[1] 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.
 [2] 罗良飞. 袁家村闪石型磁铁选矿技术开发[J]. 矿产保护与利用, 2018(1):61-65.
 [3] 罗良飞,陈雯,严小虎,等. 太钢袁家村铁矿选矿技术开发及2200万吨/年选厂工业实践[J]. 矿冶工程, 2018(1):60-63.
 [4] 余祖芳,谢毅龄. 马坑铁矿提高选矿生产能力的可行性分析[J].

现代矿业, 2016(1):100-102.
 [5] 王中才. 金山店铁矿高压辊磨—预选试验研究[J]. 现代矿业, 2022(9):111-114.
 [6] 韦东,张朝宏,王亚彬,等. 利比里亚某铁矿石高压辊磨—干式预选新工艺试验研究[J]. 现代矿业, 2022,38(5):121-125.
 [7] 涂继娴,赵通林,张明泽. 鞍山式低品位铁矿半自磨和高压辊磨产品预选试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2022(4):21-24.
 [8] 陈晨,彭成,边新峰,等. 司家营铁矿高压辊磨工艺试验研究[J]. 现代矿业, 2022,38(6):142-144.
 [9] 罗良飞. 袁家村铁矿辊磨试验报告[R]. 长沙:长沙矿冶研究院有限责任公司, 2022.

引用本文: 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.