

# M1033 铁矿微细嵌布贫磁铁矿高效选矿工艺研究<sup>①</sup>

王永刚<sup>1</sup>, 王素玲<sup>2</sup>, 周文波<sup>3</sup>

(1.甘肃酒钢集团宏兴钢铁股份有限公司,甘肃嘉峪关 735100; 2.甘肃钢铁职业技术学院,甘肃嘉峪关 735100; 3.武汉科技大学,湖北武汉 430081)

**摘要:**对酒钢 M1033 铁矿微细嵌布贫磁铁矿进行了选矿工艺研究。采用高压辊磨,在磨矿细度-30  $\mu\text{m}$  粒级含量 85%、磁选机磁场强度 180~220 mT 条件下,通过磁选工艺,获得了精矿 TFe 品位 65.18%、 $\text{SiO}_2$  含量 5.21%、金属回收率 73.20% 的良好指标。

**关键词:** 高压辊磨; 绝对可磨度; 解离度; 磨矿; 磁选; 铁矿

中图分类号: TD951

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.05.016

文章编号: 0253-6099(2023)05-0070-04

## Efficient Beneficiation Process for Fine-Disseminated Lean Magnetite in M1033 Iron Mine

WANG Yonggang<sup>1</sup>, WANG Suling<sup>2</sup>, ZHOU Wenbo<sup>3</sup>

(1. Gansu Jiu Steel Group Hongxing Iron and Steel Co Ltd, Jiayuguan 735100, Gansu, China; 2. Gansu Steel Vocational Technical College, Jiayuguan 735100, Gansu, China; 3. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China)

**Abstract:** An experimental study on mineral processing was carried out for the lean magnetite in M1033 Iron Ore from JISCO. After being crushed with high pressure grinding mill, the ore with a fineness of -0.030 mm 85% was processed using a magnetic separator with the magnetic field strength of 180~220 mT, resulting in an iron concentrate grading 65.18% TFe, with  $\text{SiO}_2$  content of 5.21% and Fe metal recovery of 73.20%.

**Key words:** high pressure grinding mill; absolute grindability; dissociation degree; grinding; magnetic separation; iron ore

酒钢 M1033 铁矿选矿厂 2005 年 5 月建成投产,选矿厂采用传统三段一闭路破碎,破碎粒度-20 mm,球磨机三段磨矿,湿式滚筒磁选机五段选别。目前入选细度-48  $\mu\text{m}$  粒级占 90%左右,精矿 TFe 品位 58%~60%, $\text{SiO}_2$  含量 12%~14%,选矿成本约 750 元/t<sub>精矿</sub>。精矿品位低、 $\text{SiO}_2$  含量高、磨矿效率低、选矿成本高,制约着 M1033 铁矿的生产经营。酒钢铁精矿自给率不足 40%,为稳定铁矿石战略性资源、提升企业市场竞争力,就 M1033 铁矿微细嵌布贫磁铁矿开展高效选矿工艺研究。

### 1 原矿性质

酒钢 M1033 铁矿原矿化学多元素分析结果见表 1,矿物组成见表 2。由表 1 可知,原矿 TFe 品位 31.67%,其中 MFe 品位 22.20%,杂质以  $\text{SiO}_2$  为主,其他杂质含量较低。由表 2 可知,原矿以磁铁矿为主,同时含有赤

铁矿、褐铁矿和菱铁矿,脉石矿物以石英、阳起石和透闪石为主。

表 1 原矿化学多元素分析结果(质量分数) %

TFe	MFe	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
31.67	22.20	41.59	3.02	4.25	2.92	0.62	0.69
$\text{P}_2\text{O}_5$	S	MnO	$\text{TiO}_2$	BaO	ZnO	烧损	
0.60	0.29	0.28	0.24	0.16	0.005	0.19	

表 2 原矿矿物组成及含量(质量分数) %

磁铁矿	赤铁矿	褐铁矿	菱铁矿	阳起石	石英	透闪石
25	8	5	1	20	18	10
方解石	透辉石	黑云母	斜长石	黄铁矿-黄铜矿-钛铁矿		
3	2	1	1	微量		

采用点测法测得原矿中磁铁矿嵌布粒度如表 3 所

① 收稿日期: 2023-04-16

基金项目: 2022 年甘肃省高等学校创新基金(2022B-504)

作者简介: 王永刚(1971—),男,甘肃会宁人,高级工程师,主要从事选矿工艺及固废资源化技术研究工作。

示。由表3可见,磁铁矿在矿石中嵌布粒度不均匀,总体粒度偏细,要实现磁铁矿的单体解离,必须细磨。

表3 磁铁矿嵌布粒级测量结果

粒级/mm	含量/%	累计含量/%
-0.140+0.105	2.22	2.22
-0.105+0.074	17.91	20.14
-0.074 +0.053	22.22	42.36
-0.053+0.038	26.08	68.44
-0.038+0.015	24.67	93.11
-0.015	6.89	100.00

M1033 磁铁矿矿石密度 3.43 t/m<sup>3</sup>,松散密度 1.82 t/m<sup>3</sup>,摩擦角 25°,堆积角 37°,抗压强度 997.2 kg/cm<sup>2</sup>,硬度系数 9.97,属于中等偏硬的铁矿石。

## 2 超细碎-预选抛废试验

“多碎少磨,能抛早抛”是选矿基本原则。传统的三段破碎工艺一般只能把矿石破碎到 20 mm 以下,进而采用高压辊磨机可超细碎至 5 mm 以下,大大降低了入磨粒度,实现节能降耗。

### 2.1 高压辊磨和对辊破碎特性对比试验研究

采用二因素三水平简易正交实验确定了实验室高压辊磨机适宜的工作参数为:转速 23 r/min,工作压力 15 MPa。在该工作参数下,将 M1033 铁矿石破碎至-3 mm 和-5 mm,分别与对辊破碎机-3 mm 破碎产品进行对比分析,结果如表4所示。可以看出,同样破碎到-3 mm,辊磨产品比对辊产品-74 μm 粒级含量要高出 18.13 个百分点;辊磨-5 mm 产品比对辊-3 mm 产品-74 μm 粒级含量仍然高 15.75 个百分点。说明高压辊磨能产生更多的细粒级,破碎效率明显高于对辊破碎。

表4 对辊破碎和高压辊磨破碎产品粒度分析结果

粒径/mm	含量/%		
	辊磨-3 mm	辊磨-5 mm	对辊-3 mm
+2	4.15	17.40	9.34
-2+0.84	16.94	13.39	29.81
-0.84+0.297	29.35	25.27	37.65
-0.297+0.15	11.98	10.84	7.68
-0.074+0.15	5.83	3.73	1.90
-0.074	31.75	29.37	13.62
合计	100.00	100.00	100.00

高压辊磨施力方式以压碎为主、磨剥为辅,高压应力作用下,颗粒与颗粒之间、颗粒与作用面之间主要以面接触的方式发生力的作用且范围广,能够波及整个

颗粒,破碎效率高且颗粒结构疏松,有利于后续磨矿。传统的粉碎技术如对辊破碎、颚式破碎、圆锥破碎、锤破等,其施力方式以冲击和折断为主,破碎力是瞬时作用的,颗粒与颗粒之间、颗粒与作用面之间主要以点接触的方式发生力的作用且范围是局部的,破碎效率低<sup>[1-3]</sup>。

### 2.2 高压辊磨和对辊破碎产品预选抛尾试验

使用筒滚磁选机,在磁感应强度 300 mT 条件下对高压辊磨和对辊破碎-3 mm 产品进行预选抛尾,结果见表5。高压辊磨产品抛尾产率 17.13%,尾矿品位 12.12%,精矿品位 35.24%,金属回收率 93.36%,尾矿磁性损失率 0.99%;对辊产品抛尾产率 12.60%,尾矿品位 13.23%,精矿品位 34.58%,金属回收率 91.85%,尾矿磁性损失率 2.02%。高压辊磨与对辊破碎相比,精矿品位提高了 0.66 个百分点,抛尾产率提高了 4.53 个百分点,金属回收率高 1.51 个百分点,尾矿磁性损失率降低了 1.03 个百分点。高压辊磨超细碎抛尾工艺效果更佳。

表5 滚筒磁选机预选抛废试验结果

破碎方式	产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
高压辊磨	精矿	82.87	35.24	93.36
	尾矿	17.13	12.12	6.64
	原矿	100.00	31.72	100.00
对辊	精矿	87.40	34.58	91.85
	尾矿	12.60	13.23	8.15
	原矿	100.00	31.89	100.00

### 2.3 相对可磨度测定

以酒钢桦树沟粉矿为标准样,高压辊磨和对辊破碎-3 mm 产品磨至-30 μm 粒级占 85%时的磨矿细度与磨矿时间关系曲线见图1。高压辊磨产品磨矿时间为 11.7 min,对辊破碎产品磨矿时间为 16.2 min,酒钢粉矿磨矿时间为 15.25 min,计算得到相对可磨度分别为 1.30(辊压)和 0.94(对辊)。高压辊磨显著提高了物料的可磨度,减少了磨矿时间,为后续磨矿作业降低

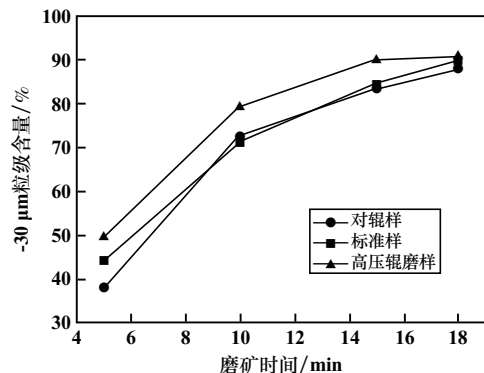


图1 磨矿细度与磨矿时间关系曲线

电耗、球耗、衬板磨损等创造了有利条件。

### 3 磨矿试验

目前常用的湿式磨矿设备有球磨机、立磨机和艾萨磨机。立磨机和艾萨磨机通过溢流方式出料,粗磨

时易发生堵塞现象,因此立磨机和艾萨磨机不适宜于细碎后的一段磨矿,一段磨矿即粗磨只能选择球磨机。

#### 3.1 磨机工作参数确定

磨机工作参数直接影响磨机的生产能力。试验前确定了各磨机的适宜工作参数,详见表6。

表6 磨矿设备工作参数

磨机种类	介质直径/mm	充填率/%	磨矿浓度/%	料球比	磨机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	额定功率/kW
球磨机	Φ32:Φ25:Φ19=5:3:2	40	70	1.0	96	0.55
立磨机	5	50	50	0.8	400	1.5
艾萨磨机	3	60	40	0.6	800	3.0

#### 3.2 不同磨矿设备细磨功效对比

实验室球磨机、立磨机及艾萨磨机容积及工作参数均不同,为了有效对比各磨矿设备的磨矿功效,采用绝对可磨度来表征各种磨矿设备的磨矿功效,绝对可磨度高,说明粉磨单位质量物料至合格粒度时电耗高。采用RS485三相四线多功能电能仪表测量磨矿电耗,采用秒表记录磨矿时间,采用激光粒度仪检测磨矿粒度。依据磨机加料量、磨矿功率(磨机负载功率与磨机空载功率的差值)、磨矿时间可测算各种不同磨矿设备处理单位质量物料的电耗即单位耗电量:

$$W = w \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \quad (1)$$

式中  $W$  为测得的单位耗电量, kWh/t;  $w$  为绝对可磨度, kWh/t;  $P$  为产品可 80% 通过的粒度,  $\mu\text{m}$ , 这里取 28.13  $\mu\text{m}$ ;  $F$  为给矿可 80% 通过的粒度,  $\mu\text{m}$ , 这里取 123.64  $\mu\text{m}$ 。

计算得到不同磨矿设备的绝对可磨度如表7所示。就M1033铁矿而言,在给料粒度  $F_{80} = 123.64 \mu\text{m}$ , 产品粒度  $P_{80} = 28.13 \mu\text{m}$  条件下,立磨机绝对可磨度只有球磨机的30.88%,艾萨磨机绝对可磨度只有球磨机的0.66%,说明细磨时立磨机和艾萨磨机的磨矿效率明显优于球磨机。

表7 不同磨矿设备绝对可磨度

磨机种类	绝对可磨度/ (kWh·t <sup>-1</sup> )	磨机功率/kW		单位耗电量/ (kWh·t <sup>-1</sup> )
		空载	负载	
球磨机	333.15	0.40	0.57	340
立磨机	102.89	0.55	0.84	105
艾萨磨机	2.19	0.15	0.23	2.24

## 4 分选试验

#### 4.1 磁场强度试验

磁选给料磨矿细度为-30  $\mu\text{m}$  粒级占83.2%,磁场

强度对磁选指标的影响见图2。由图2可知,随着磁场强度上升,精矿回收率明显提高,精矿品位呈下降趋势。综合考虑品位和回收率,磁场强度180~220 mT为宜,该条件下精矿 TFe 品位可达到63%以上、回收率可达到90%以上。

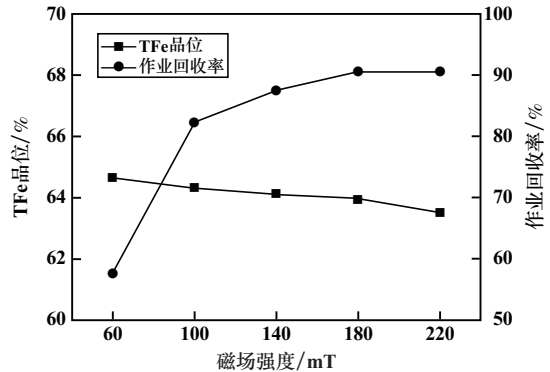


图2 磁场强度对磁选指标的影响

#### 4.2 磨矿细度试验

磁场强度180 mT,磨矿细度对磁选指标的影响见表8。由表8可知,M1033铁矿适宜的入选细度为-30  $\mu\text{m}$  粒级含量83.23%~90.13%,在此细度条件下,可获得TFe品位64%以上的铁精矿。

表8 磨矿细度对磁选指标的影响

-30 $\mu\text{m}$ 粒级含量/%	产品名称	产率/%	TFe 品位/%	回收率/%
73.94	精矿	63.28	61.19	92.87
	尾矿	36.72	8.09	7.13
	原矿	100.00	41.70	100.00
83.23	精矿	63.39	64.46	90.29
	尾矿	36.61	12.00	9.71
	原矿	100.00	45.26	100.00
88.78	精矿	62.91	66.02	89.67
	尾矿	37.09	12.90	10.33
	原矿	100.00	46.32	10.00
90.13	精矿	64.21	68.21	89.06
	尾矿	35.79	15.03	10.94
	原矿	100.00	49.18	100.00

## 5 推荐流程

通过试验研究,推荐 M1033 铁矿选矿流程如图 3 所示。采用传统三段一闭路工艺,把粒度 1 000~1 200 mm 的入厂铁矿石破碎至-20 mm,进而采用高压辊磨机超细碎至-3 mm 后,通过磁场强度 300 mT 的滚筒磁选机预先抛尾;预选精矿采用球磨机磨至-0.074 mm 粒级占 80%左右后,采用半逆流湿式滚筒磁选机粗选,

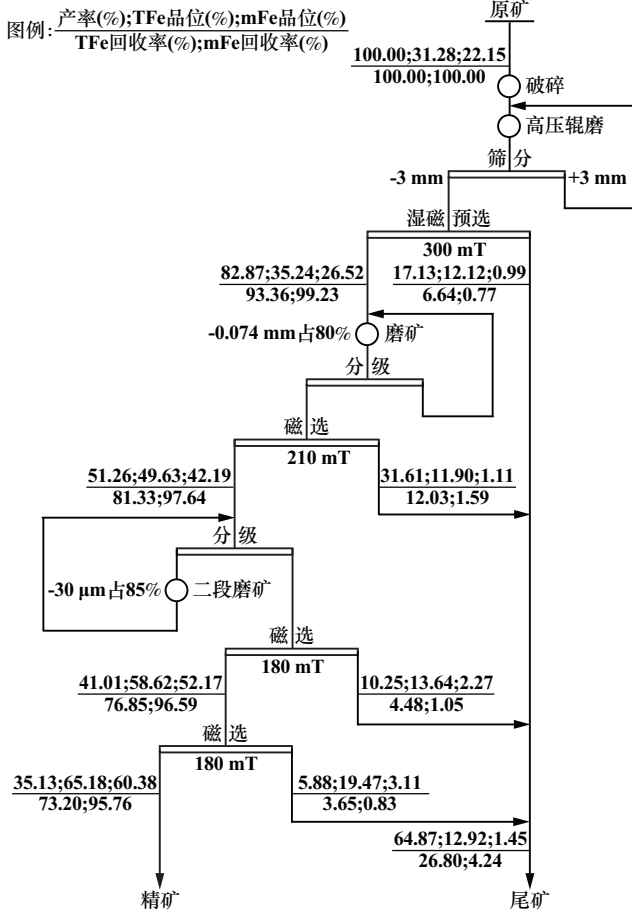


图 3 推荐流程

粗选精矿采用立式搅拌磨磨至-30 μm 粒级占 85%左右,通过两段精选,最终所得精矿 TFe 品位 65.18%、SiO<sub>2</sub> 含量 5.21%、金属回收率 73.20%、磁性铁回收率 95.76%。

## 6 结 论

1) M1033 铁矿矿石以磁铁矿为主,脉石矿物以石英、阳起石和透闪石为主。要实现磁铁矿的单体解离,必须细磨至-30 μm 粒级含量 85%以上。

2) 高压辊磨的层压破碎效率明显高于对辊破碎以点接触方式、以冲击和折断为主发生的破碎效率,能产生更多的细粒级。同样磨至-30 μm 粒级含量 85%,辊磨产品磨矿时间可缩短 27.78%,可磨度可提高 38.30%。高压辊磨显著提高了物料可磨度,为后续磨矿作业降低电耗及球耗、衬板磨损等创造了有利条件,有利于选矿降低成本。

3) 三段一闭路破碎的-20 mm 产品采用高压辊磨超细碎至-3 mm 后预先抛尾,预选精矿采用球磨机一段粗磨、湿式滚筒磁选机粗选,粗选精矿采用立式搅拌磨磨至-30 μm 粒级占 85%左右后通过两段精选,最终获得了 TFe 品位 65.18%、SiO<sub>2</sub> 含量 5.21%、金属回收率 73.20%、磁性铁回收率 95.76%的铁精矿。

### 参考文献:

- [1] 钟文,袁水平,唐定,等.紫金山铜矿微裂纹特性及其对磨矿动力学的影响[J].有色金属(选矿部分),2022(2):58-65.
- [2] 孙传尧.选矿工程师手册(第2册)[M].北京:冶金工业出版社,2015.
- [3] 余永富,余佩萍,陈雯,等.国外部分选矿厂介绍及细粒级磨机的应用对比[J].矿冶工程,2011(5):26-31.

引用本文:王永刚,王素玲,周文波. M1033 铁矿微细嵌布贫磁铁矿高效选矿工艺研究[J].矿冶工程,2023,43(5):70-73.

## 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  
2023 年 10 月