

# 秦皇岛某微细粒铁矿搅拌磨细磨—磁选工艺试验研究

龙渊<sup>1,2</sup>, 刘瑜<sup>1,2</sup>, 肖骁<sup>1,2</sup>, 张国旺<sup>1,2</sup>, 赵湘<sup>1,2</sup>, 石立<sup>1,2</sup>

1. 长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;  
2. 湖南金磨科技有限责任公司, 湖南 长沙 410012

中图分类号: TD951.1; TD924 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)05-0123-04  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.05.017

**摘要** 采用立式搅拌磨机作为微细粒级矿物的再磨设备,以秦皇岛地区微细粒级铁矿为试验样品,进行了磨矿及磁选条件试验研究,结果表明,磨矿产品粒度达到-0.038 mm占95.43%,经一次粗选和两次精选可以获得产率66.12%、磁性铁品位为64.06%、回收率为97.16%,全铁品位为65.94%的优质铁精粉。磨机磨矿电耗测试表明,当磨矿产品粒度达-0.038 mm约占95.00%时,磨矿电耗为15.20 kW·h/t。该试验表明,秦皇岛地区的铁矿可以通过细磨解离获得好的选矿指标,立式搅拌磨机是一种高效的细磨设备。

**关键词** 微细粒铁矿; 细磨; 立式搅拌磨机; 磁选

## 1 引言

秦皇岛地区拥有丰富的铁矿石资源<sup>[1]</sup>,但其中铁矿物嵌布粒度较细,资源利用率较低,当地选矿厂对原矿进行两段球磨机磨矿,磨矿产品细度为-0.074 mm占75%~80%,然后采用2~3次弱磁选分选,所得铁精矿铁品位只能达到55%左右,且磨矿能耗高,严重制约了选矿厂的经济效益。立式搅拌磨机<sup>[2-3]</sup>是近年来兴起的高效节能细磨设备,其磨矿产品粒度为0.020~0.100 mm。为了充分利用秦皇岛地区的铁矿资源,提高铁精矿指标及经济效益,用立式搅拌磨机对当地某铁矿的粗精矿进行细磨,以提高磨矿产品解离度,并优化细磨条件,确定合理的细磨—磁选工艺流程,提高分选指标,为当地微细粒嵌布铁矿资源综合回收利用提供技术支持<sup>[4-5]</sup>。

## 2 试验样品及设备

### 2.1 试验样品

试验样品为秦皇岛青龙地区某铁矿的粗精矿(以下称为给料),其粒度为-0.074 mm占75%左右。通过混样后,进行了给料铁物相分析、主要元素化学分析和粒度分析,其结果分别列于表1~表3中。

给矿样品中TFe品位为45.86%,磁性铁含量为43.58%,需要去除的主要有害杂质为SiO<sub>2</sub>。粒度越细的粒级中,铁品位越高,要提高铁精矿品位,给料需要细磨至0.038 mm以下,铁矿物才能更好地单体解离出来。

表1 给料中不同铁物相含量 /%

Table 1 Phase analysis results of feed ore

铁相	磁铁矿	碳酸铁	赤褐铁矿	硫化铁	硅酸铁	假象赤铁	总铁
	中铁	中铁	中铁	中铁	中铁	矿中铁	
含量	43.58	0.32	0.39	0.07	0.33	1.17	45.86
分布率	95.03	0.70	0.85	0.15	0.72	2.55	100.00

表2 给料中主要化学成分的含量 /%

Table 2 Results of chemical analysis of feed ore

成分	mFe	TFe	SiO <sub>2</sub>	P	S
含量	43.58	45.86	30.43	0.021	0.086

表3 给料粒度分析结果

Table 3 The particle size analysis results of feed ore

粒级范围/mm	产率/%	mFe/%	SiO <sub>2</sub> /%
+0.15	7.17	24.89	46.77
-0.15+0.075	15.09	29.99	44.37
-0.075+0.045	18.19	37.88	40.09
-0.045+0.038	10.73	41.22	35.68
-0.038	48.82	53.18	17.46
合计	100.00	43.58	30.43

### 2.2 试验设备

试验所用的主要设备为立式螺旋搅拌磨机和磁选机等,其规格型号如表 4 所示。

表 4 试验中所用的主要设备

Table 4 Main equipments and instruments used in the tests

名称	规格型号	生产厂家	备注
立式螺旋搅拌磨机	JM - 180/0.75kW	长沙矿冶研究院	带扭矩测试仪测定电耗
立式螺旋搅拌磨机	JM - 260/5.5kW	长沙矿冶研究院	
滚筒式电磁磁选机	DCΦ400x300 - 0.18T	长沙矿冶研究院	
真空过滤器	XTLZ - Φ260/Φ200	武汉探矿	
数显鼓风机干燥箱	GZX - 9240MBE	上海一恒	
标准筛	Φ200 × 50	中国航空工业第 540 厂	

## 3 再磨—磁选试验研究

### 3.1 再磨细度的影响

由于秦皇岛地区铁矿石中铁矿物嵌布粒度较细,磁选难度较高,因此对给料搅拌磨后进行一次粗选一次精选的两段磁选(方案 1,图 1a)和一次粗选和两次精选的三段磁选(方案 2,图 1b)探索试验,磨矿产品的细度 -0.038 mm 粒级含量分别为 80.56%、85.35%、90.18% 和 95.22%,试验结果如图 2 所示。

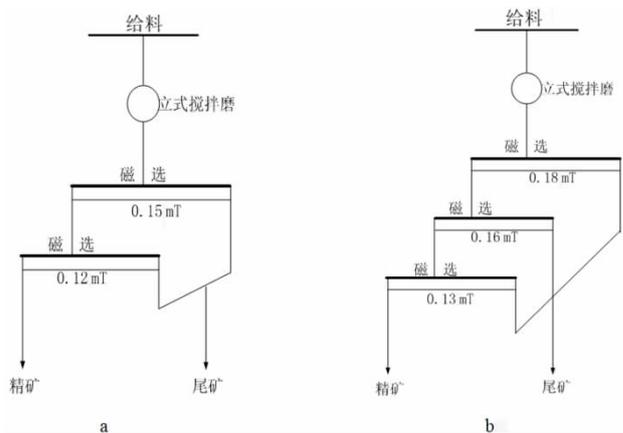


图 1 磨矿—磁选试验工艺流程

Fig. 1 Flowheet of grinding - magnetic separation tests

由图 2 可以看出,随着磨矿细度变细,精矿中磁性铁品位升高,回收率也升高,在磨矿细度为 0.038 mm 达到 95% 时,采用磁选方案 1 可以获得铁品位为 62.51%、回收率为 99.37% 的选矿指标。磁选方案 2 所获得的精矿回收率也达到了 99.37% 以上,但比磁

选方案 1 所获得的精矿铁品位要高。由此可以看出,磁选方案 2 要优于磁选方案 1,后续将对磁选方案 2 进行进一步研究。

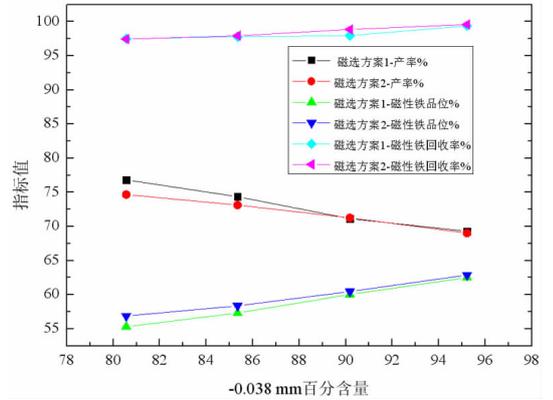


图 2 不同磨矿细度下的磁选精矿指标

Fig. 2 Effect of grinding fineness on magnetic separation index

### 3.2 磁选试验

在细度试验中,虽然铁精矿回收率达到了较高水平,但所得的精矿铁品位未能达到 65% 以上。为此,后续将通过适当降低磁选磁场磁感应强度、牺牲部分回收率来提高精矿铁品位。

将矿样细磨至 -0.038 mm 占 95% 左右,采用磁选方案 2,并适当降低磁场磁感应强度进行磁选试验,其工艺流程见图 3,此时粗选、精选 1 和精选 2 的磁场磁感应强度分别由 0.18、0.15 和 0.13 T 降低到 0.10、0.08 和 0.06 T。

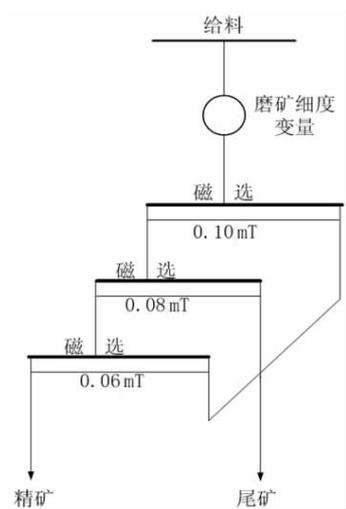


图 3 磁选试验流程

Fig. 3 Flowheet of magnetic separation tests

磨矿产品细度对铁精矿产率、品位和回收率的影响见图 4 所示。

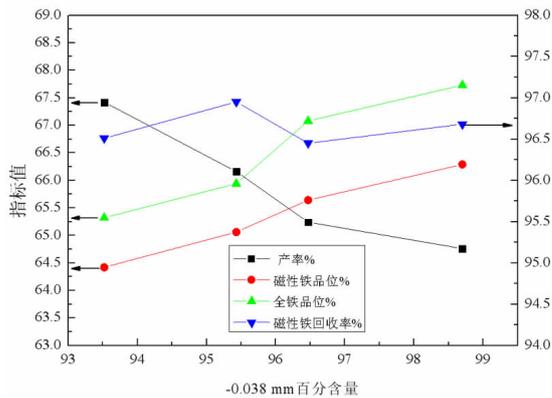


图 4 磨矿细度对磁选精矿指标的影响  
Fig. 4 Effect of grinding fineness on magnetic separation index

由图 4 可知,随着磨矿细度变细,精矿铁品位升高,当磨矿细度为  $-0.038\text{ mm}$  占 95.43% 时,精矿磁性铁品位达到了 64.06% (全铁品位为 65.94%);当磨矿细度为  $-0.038\text{ mm}$  占 96.40% 时,精矿磁性铁品位达到了 65.12% (全铁品位为 67.08%);当磨矿产品细度为  $-0.038\text{ mm}$  占 98.70% 时,精矿磁性铁品位达到了 66.16% (其中全铁品位为 67.73%),且磁性铁回收率达到了 97.40%。

## 4 磨矿条件试验

### 4.1 磨矿细度对磨矿电耗影响

在本试验中,磨矿设备采用试验室 JM260 型立式搅拌磨矿机,并采用扭矩仪测定电耗<sup>[6]</sup>,磨矿浓度为 60%,磨矿介质为  $\Phi 8 \sim 16\text{ mm}$  钢球,装球量 75 kg (充填率为 60%),给料样品给入量为 10 kg,球料质量比(简称球料比)为 7.5 : 1,磨矿转速 150 r/min。磨矿细度对磨矿电耗的影响如图 5 所示。

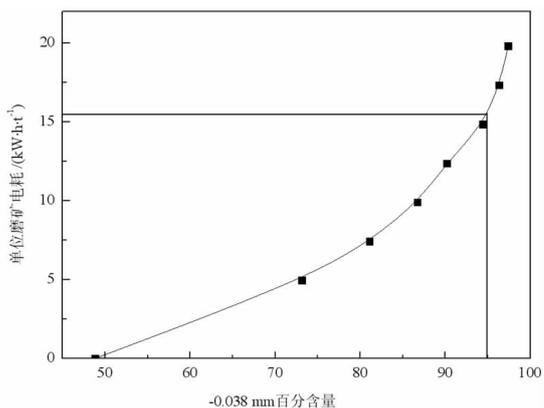


图 5 磨矿产品细度对应的磨矿电耗  
Fig. 5 Effect of grinding fineness on grinding power consumption

由图 5 可以看出,随着磨矿细度变细,磨矿电耗增

大,当磨矿产品中  $-0.038\text{ mm}$  粒级含量为 95% 时,其磨矿电耗约为  $15.20\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

### 4.2 不同球料比的对磨矿电耗的影响

细磨至产品细度  $-0.038\text{ mm}$  含量为 95% 和其余试验条件相同 4.1,对不同球料质量比分别为 6.5 : 1、7 : 1、7.5 : 1 和 8 : 1) 时的磨矿电耗进行了测定,其结果如图 6 所示。

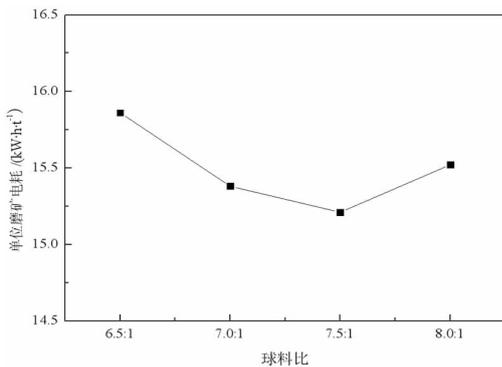


图 6 不同球料比对磨矿电耗的影响  
Fig. 6 Effect of ball-to-material ratios on grinding power consumption

由图 6 可以看出,不同球料比对应的磨矿电耗是不同的,当球料比为 6.5 : 1 时,虽然处理量较大,但是单位磨矿电耗最高;球料比为 8 : 1 时,磨机的处理量小,转换成每吨给料所对应的单位磨矿电耗却比 7.5 : 1 的球料比要高;球料比为 7.5 : 1 时,磨矿综合电耗最小,其值为  $15.20\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。因此,后续将选用球料比为 7.5 : 1 进行试验。

### 4.3 磨矿质量浓度对磨矿电耗的影响

在磨矿质量浓度影响试验中,磨矿质量浓度分别为 50%、55%、60% 和 65%,其余试验条件同 4.1,试验结果见图 7。

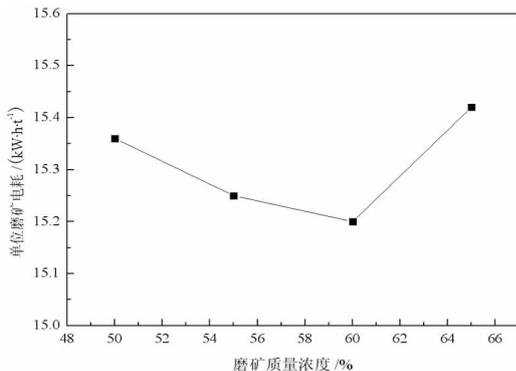


图 7 磨矿质量浓度对磨矿电耗的影响  
Fig. 7 Effect of pulp density on grinding power consumption

由图 7 可以看出,在矿浆质量浓度 50% ~ 66% 范围内磨矿电耗相近,这说明磨矿质量浓度对立式螺旋搅拌磨磨矿电耗影响较小。当磨矿质量浓度为 60% 时,综合磨矿电耗相对来说为最低,其值为 15.20 kW · h/t。

#### 4.4 磨矿综合条件

综上所述,对于该原矿样品,其最佳的磨矿条件为采用 Φ8 ~ 16 mm 钢球作为磨矿介质,磨机转速为 150 r/min,装球量 75 kg,球料比为 7.5 : 1,磨矿质量浓度为 60%。结合磁选指标,当磨矿细度为 -0.038 mm 占 98% 以上时,虽有好的选矿指标,但需要的磨矿电耗大于 21.0 kW · h/t,经济运营成本较大。而磨矿至 -0.038 mm 占 95.43% 时,精矿磁性铁品位虽未能达到 65% 以上,但全铁品位能达到 65.95% 以上,磁性铁回收率达到了 97% 以上的优良水平,且磨矿电耗约为 15.28 kW · h/t,因此,综合能耗及选矿指标考虑,磨矿产品细度达 -0.038 mm 占 95% 左右即可获得良好的选矿指标。

#### 5 结论

(1) 该粗精矿样品磨矿细度为 -0.038 mm 占 95.43% 时,再经一次粗选两次精选,可以获得产率 66.12%、磁性铁品位为 64.06% (全铁品位为

65.94%) 和磁性铁回收率为 97.16% 优良选矿指标。

(2) 该粗精矿样立式搅拌磨机细磨试验结果表明,其最佳的磨矿条件为采用 Φ 8 ~ 16 mm 钢球作为磨矿介质,磨机转速 150 r/min,装球量 75 kg,球料比 7.5 : 1,磨矿质量浓度 60%。该粗精矿样磨矿至 -0.038 mm 占 95.00% 左右时,其磨矿电耗约为 15.20 kW · h/t。

(3) 试验研究发现,秦皇岛地区的铁矿为微细粒嵌布铁矿资源,需细磨至 -0.038 mm 占 95% 以上时,才能实现较好的单体解离,从而获得较好的选矿指标。立式搅拌磨机可作为细粒级矿物磨矿设备的良好选择。

#### 参考文献:

[1] 江林波,李珍,江林林,等. 秦皇岛北吴庄磁铁矿的特征及地质意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2013,36(S1):110-113.  
 [2] 敖顺福,陈丽昆,徐峰,等. 搅拌磨技术及其选矿应用现状[J]. 矿山机械,2021,49(1):8-13.  
 [3] 黄胤淇. 磨矿条件对立式搅拌磨磨矿产品粒度特性的影响及应用[D]. 昆明:昆明理工大学,2019.  
 [4] 王振刚,刘明. 某微细粒铁矿石选磨磨矿工艺对比试验[J]. 新疆钢铁,2017(1):54-57.  
 [5] 陈朝. 白云鄂博铁矿磨矿细度与可选性关系实验研究[D]. 包头:内蒙古科技大学,2019.  
 [6] 赵湘. 立式搅拌磨机在超纯铁精矿选矿中的磨矿选型及工业应用[J]. 矿冶工程,2017,37(1):49-51.

### Research on Technology Optimization of Fine Grinding and Magnetic Separation for a Fine-grained Iron Ore in Qinhuangdao

LONG Yuan<sup>1,2</sup>, LIU Yu<sup>1,2</sup>, XIAO Xiao<sup>1,2</sup>, ZHANG Guowang<sup>1,2</sup>, ZHAO Xiang<sup>1,2</sup>, SHI Li<sup>1,2</sup>

1. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China;  
 2. Hunan JinMill Technology Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China

**Abstract:** A vertical stirring mill is used as the regrinding equipment for fine-grained minerals. The fine-grained iron ore in the Qinhuangdao area is used as the test sample to conduct a test study on grinding and magnetic separation conditions. The results show that the particle size of the ground product reaches -0.038 mm It accounts for 95.43%. High-quality iron powder with a yield of 66.12%, a magnetic iron grade of 64.06%, a recovery rate of 97.16%, and a total iron grade of 65.94% can be obtained after one rough selection and two selections. The grinding power consumption test of the mill shows that when the particle size of the grinding product reaches -0.038 mm, which accounts for about 95.00%, the grinding power consumption is 15.20 kW · h/t. The test shows that the iron ore in the Qinhuangdao area can obtain good beneficiation indexes through fine grinding and dissociation. The vertical mixing mill is an efficient fine grinding equipment.

**Key words:** fine-grained iron ore; fine grinding; vertical stirring mill; magnetic separation

引用格式:龙渊,刘瑜,肖晓,张国旺,赵湘,石立. 秦皇岛某微细粒铁矿搅拌磨细磨—磁选工艺试验研究[J]. 矿产保护与利用,2021,41(5):123-126.

LONG Yuan, LIU Yu, XIAO Xiao, ZHANG Guowang, ZHAO Xiang, SHI Li. Research on technology optimization of fine grinding and magnetic separation for a fine-grained iron ore in Qinhuangdao[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(5): 123-126.