

## 矿石入磨前处理工艺对其可磨性的影响

杨涛<sup>1</sup>, 陈汉宇<sup>2</sup>, 宋复梅<sup>1</sup>, 崔国亮<sup>1</sup>, 王斌<sup>1</sup>

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 首钢总工室, 北京 100041)

**摘要:**为了研究矿石进入球磨机前的加工工艺对矿石可磨性的影响,以秘鲁某磁铁矿矿石为对象,进行 Bond 球磨功指数和相对可磨度试验。结果表明,在目标粒度 106  $\mu\text{m}$ 、74  $\mu\text{m}$  和 45  $\mu\text{m}$  下,高压辊磨产品的 Bond 球磨功指数均比颚式破碎机产品低。而预磁选精矿的 Bond 球磨功指数则比高压辊磨产品都高,甚至高于颚式破碎机产品。球磨机选型时 Bond 球磨功指数的测定,须根据矿石进入球磨机前的处理工艺而定。在磨矿细度为-74  $\mu\text{m}$  80%时,高压辊磨产品相对于颚式破碎机产品的相对可磨度为 0.90,高压辊磨产品相对于预选精矿的相对可磨度为 1.23。入磨前颚式破碎机破碎、高压辊磨破碎、高压辊磨加预磁选 3 种不同的处理工艺会导致后续矿石可磨性不同。

**关键词:** 高压辊磨机; 颚式破碎; 预磁选; Bond 球磨功指数; 相对可磨度

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.03.010

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)03-0058-04

在矿石进入球磨机前,需要碎矿,以得到粒度较小的破碎产品,为磨矿作业作准备<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着破碎技术和设备的发展,以及磨矿前矿石预处理工艺的不断改进,矿石处理工艺主要包括常规破碎、高压辊磨及高压辊磨加预选等工艺<sup>[3-6]</sup>。不同的破碎工艺,获到不同 Bond 功指数破碎产品,这对于提高球磨机的处理能力是非常重要的<sup>[7]</sup>。

为了评价矿石进入球磨机前的加工工艺对其可磨性的影响,本试验以秘鲁某磁铁矿矿石为研究对象,在一定目标粒度下的 Bond 球磨功指数和相对可磨度为依据,对比相同粒度范围的高压辊磨产品、颚式破碎机破碎产品以及经过高压辊磨加预磁选的精矿产品的可磨性差异进行研究。

### 1 试验矿样

原料中铁品位为 48.5%,主要铁矿物为磁铁矿,其它铁矿物为赤铁矿、褐铁矿,黄铁矿及少量的碳酸铁,脉石矿物主要为石英。提供的磁铁矿矿石矿样粒度为-20 mm。

准备 3 份 20 kg 的矿样,分别经过:①CLM-25-10 型高压辊磨机闭路破碎至 0.36 mm 粒级,获得

高压辊磨机破碎产品;②PE-60×100 型颚式破碎机闭路破碎至-3.36 mm 粒级,获得颚式破碎机破碎产品;③对经过 CLM-25-10 型高压辊磨机破碎至-3.36 mm 粒级的产品进行湿式预磁选,获得的预磁选精矿。并对以上 3 种产品分别用二分法缩取样 100 g,进行粒度分析,筛析结果见图 1。

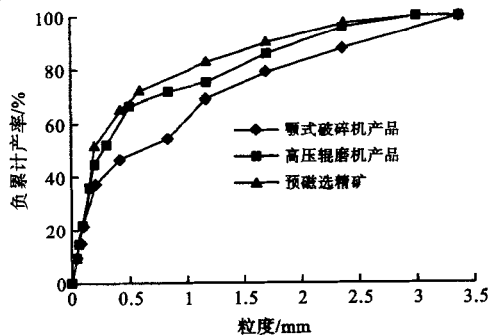


图1 粒度分布曲线

Fig.1 Particle size distribution curve

从图 1 可以看出,预磁选精矿中的细粒级含量高于高压辊磨产品中的细粒级含量,这说明,经过预磁选抛除的尾矿粒度较精矿粒度粗;而高压辊磨产品中的细粒级含量要高于原矿石颚式破碎机产品。

收稿日期:2016-01-26;改回日期:2016-02-26

作者简介:杨涛(1983-),男,工程师,硕士。

## 2 试验设备及方法

### 2.1 Bond 球磨功指数试验

Bond 球磨功指数是反映物料在球磨机中抵抗磨碎能力的参数<sup>[8]</sup>。为确定矿石在分别经过颚式破碎机、高压辊磨机、高压辊磨及预选作业后, 矿石的 Bond 球磨功指数的变化, 按目标粒度  $P_1$  分别为 106  $\mu\text{m}$ 、74  $\mu\text{m}$  和 45  $\mu\text{m}$  对颚式破碎机破碎产品、高压辊磨机破碎产品、预磁选精矿、预磁选尾矿进行 Bond 球磨功指数试验。

球磨功指数的测定采用标准的试验用球磨机 ( $\Phi 305 \text{ mm} \times 305 \text{ mm}$ ), 循环负荷设定为 250%,  $G_{bp}$  取试验达到平衡时最后 2 个周期  $G_{bp}$  的平均值, 对闭路磨矿产品进行筛分, 得出  $P_{80}$ , 最后计算出  $W_{ib}$ 。其计算公式为:

$$W_{ib} = \frac{4.906}{P_1^{0.23} \cdot G_{bp}^{0.82} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)} \quad (1)$$

式中:  $W_{ib}$ ——Bond 球磨机功指数,  $\text{kW} \cdot \text{h/t}$ ;

$P_1$ ——试验筛孔尺寸,  $\mu\text{m}$ ;

$G_{bp}$ ——球磨机每转一圈新生试验筛孔以下级别物料量,  $\text{g}$ ;

$P_{80}$ ——产品中 80% 物料过筛的粒度尺寸,  $\mu\text{m}$ ;

$F_{80}$ ——给矿中 80% 物料过筛的粒度尺寸,  $\mu\text{m}$ 。

### 2.2 相对可磨度试验

采用筒形球磨机对 3 种产品的 -3.36 mm 粒级进行目标粒度为 74  $\mu\text{m}$  产品进行磨矿试验, 以得出颚式破碎机产品、高压辊磨机产品与预磁选精矿的相对可磨度, 以验证 3 种产品的相对可磨性。相对

$$\text{可磨度系数} = \frac{T_1}{T_0} \quad (2)$$

式中:  $K$ ——相对可磨度系数;

$T_0$ ——标准矿样磨矿时间,  $\text{min}$ ;

$T_1$ ——试验矿石磨矿时间,  $\text{min}$ 。

## 3 结果与讨论

### 3.1 Bond 球磨功指数的对比

颚式破碎机产品、高压辊磨产品、预磁选精矿、预磁选尾矿 4 种产品目标粒度  $P_1$  分别为 106 和 74  $\mu\text{m}$  情况下,  $G_{bp}$ 、 $P_{80}$  及计算出的  $W_{ib}$  值见表 1。

从表 1 可以看出, 在不同目标粒度下, 高压辊磨产品达到磨矿平衡时的磨机转数和  $P_{80}$  均小于颚式

破碎产品, 而可磨度则大于颚式破碎产品。这表明, 高压辊磨产品更容易磨, 在球磨机内每转 1 转, 新生成的筛下粒级的产量较高, 而且产品细粒含量更高, 同时球磨机消耗的功耗也更低。

表 1 Bond 球磨功指数计算结果

Table 1 The results of Bond ball mill work index

| 矿样      | 试验筛孔径 $P_1$ / $\mu\text{m}$ | 转速 $\gamma$ / ( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | 可磨度 $G_{bp}$ / ( $\text{g} \cdot \text{r}^{-1}$ ) | 产品粒度 $P_{80}$ / $\mu\text{m}$ | 给料粒度 $F_{80}$ / $\mu\text{m}$ | 功指数 $W_{ib}$ / ( $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$ ) |
|---------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 颚式破碎机产品 | 106                         | 198                                                | 1.9818                                            | 84                            |                               | 11.2735                                                           |
| 高压辊磨产品  | 74                          | 334                                                | 1.2715                                            | 64                            | 1720                          | 14.685                                                            |
| 预磁选精矿   | 45                          | 606                                                | 0.7447                                            | 33                            |                               | 17.3184                                                           |
| 颚式破碎机产品 | 106                         | 167                                                | 2.4971                                            | 83                            |                               | 9.3717                                                            |
| 高压辊磨产品  | 74                          | 238                                                | 1.6096                                            | 62                            | 1360                          | 12.2735                                                           |
| 预磁选精矿   | 45                          | 578                                                | 0.8618                                            | 32                            |                               | 15.4441                                                           |
| 颚式破碎机产品 | 106                         | 186                                                | 2.2068                                            | 85                            |                               | 11.3762                                                           |
| 高压辊磨产品  | 74                          | 341                                                | 1.3443                                            | 62                            | 1005                          | 14.9795                                                           |
| 预磁选精矿   | 45                          | 609                                                | 0.8459                                            | 39                            |                               | 18.2291                                                           |

预磁选精矿在达到磨矿平衡时的磨机转速和  $P_{80}$  大于高压辊磨产品, 可磨度则小于于高压辊磨产品。由此可见, 高压辊磨产品在经预磁选抛除部分尾矿后, 其磨矿性能发生变化, 在磨到相同目标粒度时, 需要消耗更多的能耗, 并且在球磨机内每转 1 圈, 新生成的筛下粒级的产量更低, 较预磁选之前更难磨。这是由于预磁选抛除了较易磨的脉石矿物, 剩下含脉石矿物更少的铁精矿所导致的。

从图 2 可以看出, 在不同目标粒度下, 高压辊磨产品的 Bond 球磨功指数均比颚式破碎机产品有所降低, 降低幅度分别为 16.87%、16.42% 和 10.82%。这表明, 在降低后续矿石球磨功指数方面, 高压辊磨相对于传统的破碎方式有明显功效。

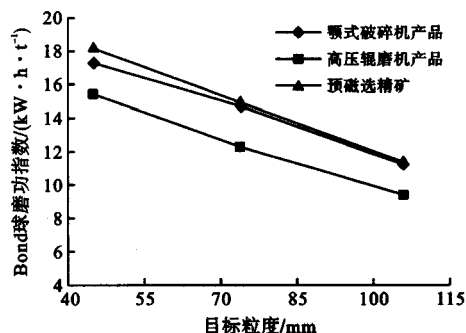


图 2 Bond 球磨功指数

Fig. 2 Bond ball mill work index

而预磁选精矿的 Bond 球磨功指数则比高压辊

磨产品都高,甚至高于颚式破碎机产品。这是由于湿式预磁选抛去了大量 Bond 球磨功指数很低的尾矿,剩下 Bond 球磨功指数较高的精矿。

可以看出,铁矿石在进入球磨机前,所经过的颚式破碎、高压辊磨破碎、高压辊磨+预磁选 3 种工艺,会使矿石的 Bond 球磨功指数有明显的不同。因此,Bond 球磨功指数的准确测定,须根据矿石进入球磨机前的处理工艺而定。

### 3.2 相对可磨度

对颚式破碎机破碎产品、高压辊磨破碎产品、预磁选精矿进行相对可磨度比较。3 种产品的磨矿时间和磨矿粒度的关系见图 3。

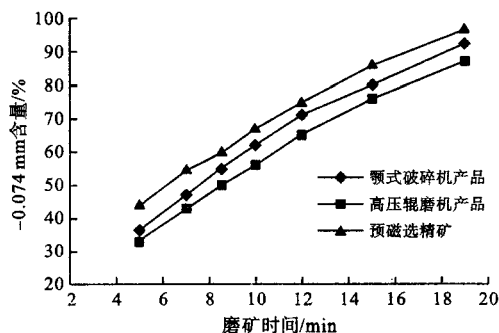


图 3 相对可磨度曲线

Fig. 3 Relative grindability curves

由图 3 可见,3 种产品的磨矿细度均随着磨矿时间的延长而提高,但在相同的磨矿时间内,高压辊磨产品比颚式破碎产品的  $-74 \mu\text{m}$  粒级产生量高,而预磁选精矿比高压辊磨产品和颚式破碎产品的  $-74 \mu\text{m}$  粒级产生量都低。这说明高压辊磨产品较颚式破碎产品易磨,而预磁选精矿比高压辊磨产品和颚式破碎产品均难磨一些。3 种产品的相对可磨度关系,与其在不同目标粒度下的 Bond 球磨功指数的关系是一致的。这也说明,颚式破碎机破碎、高压辊磨破碎、高压辊磨+预磁选 3 种处理工艺会对矿石可磨度产生影响。

破碎产品  $-74 \mu\text{m}$  含量均为 80% 时,高压辊磨产品相对于颚式破碎产品的相对可磨度系数为:

$$K_{-0.074 \text{ mm } 80\%} = \frac{T_{\text{高压辊磨产品}}}{T_{\text{颚式破碎产品}}} = \frac{13.5}{15} = 0.90;$$

预磁选精矿相对于高压辊磨产品的相对可磨度系数为:

$$K_{-0.074 \text{ mm } 80\%} = \frac{T_{\text{预磁选精矿}}}{T_{\text{高压辊磨产品}}} = \frac{16.6}{13.5} = 1.23。$$

## 4 结 论

(1) 在不同目标粒度下,高压辊磨产品达到磨矿平衡时的磨机转数和  $P_{80}$  均小于颚式破碎产品,可磨度  $G_{bp}$  大于颚式破碎产品。而预磁选精矿在达到磨矿平衡时的磨机转速和  $P_{80}$  大于高压辊磨产品,可磨度  $G_{bp}$  则小于高压辊磨产品。同时,高压辊磨产品的 Bond 球磨功指数均比颚式破碎机产品低。而预磁选精矿的 Bond 球磨功指数则比高压辊磨产品都高,甚至高于颚式破碎机产品。

可以看出,颚式破碎机破碎、高压辊磨破碎、高压辊磨+预磁选 3 种不同的工艺,会使矿石的可磨度和 Bond 球磨功指数不同。因此,球磨机选型时 Bond 球磨功指数的测定,须根据矿石进入球磨机前的处理工艺而定。

(2) 在相同的磨矿时间内,高压辊磨破碎产品比颚式破碎机破碎产品的  $-74 \mu\text{m}$  粒级产生量高,而预磁选精矿比高压辊磨产品和颚式破碎产品的  $-74 \mu\text{m}$  粒级产生量都低。当磨矿细度为  $-74 \mu\text{m}$  80% 时,高压辊磨产品相对于颚式破碎机产品的相对可磨度为 0.90,高压辊磨产品相对于预磁选精矿的相对可磨度为 1.23。这也说明,颚式破碎机破碎、高压辊磨破碎、高压辊磨+预磁选 3 种不同的处理工艺会导致矿石可磨度不同。

## 参考文献:

- [1] 李启衡. 碎矿和磨矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1980.
- [2] 谢敏雄,丁辉. 选矿节能降耗的途径浅析[J]. 国外金属矿选矿,2008,45(10):2-5.
- [3] Tavares L M. Particle weakening in high-pressure roll grinding[J]. Minerals Engineering,2005,18:651-657.
- [4] Phanindra Kodali, Nikhil Dhawan, Tolga Depci, et al. Particle dam-age and exposure analysis in HPGR crushing of selected copper ores for column leaching[J]. Minerals Engineering,2011,24:1478-1487.
- [5] 袁致涛,郭小飞,严洋,等. 攀西钒钛磁铁矿高压辊磨的产品特性[J]. 东北大学学报:自然科学版,2012,33(1):124-127.
- [6] 郑德亮. 磨前湿式预选工艺的研究与应用[J]. 金属矿山,2010,8:464-465.
- [7] 冯守本. 选矿厂设计[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [8] 于福家,印万忠,刘杰,等. 矿物加工实验方法[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

## Influence of the Technology and Equipment of the Operation ahead of Grinding on the Grinding Performance of Ore

Yang Tao<sup>1</sup>, Chen Hanyu<sup>2</sup>, Song Fumei<sup>1</sup>, Cui Guoliang<sup>1</sup>, Wang Bin<sup>1</sup>

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing, China;

2. Shougang Chief Engineer Office, Beijing, China)

**Abstract:** Taking a Peru magnetite ore as the sample, experiments of relative grind-ability and bond work index of ball mill were conducted in order to evaluate the effect of the technology and equipment of the operation ahead of the grinding operation on subsequent grinding performance of ore. The results showed that when the target size of 106, 74 and 45  $\mu\text{m}$ , the Bond work index of HPGR products was lower than that of the jaw crusher, but the Bond work index of pre-separating concentrates was higher than that of HPGR products, even higher than the jaw crusher products. When Bond ball mill work index was used to mill determine, the effect of the technology and equipment of the operation ahead of the grinding operation should be considered. With regrinding fineness of 74  $\mu\text{m}$  80%, the relative grind-ability of HPGR and JC product reached 0.90, the relative grind-ability of HPGR and pre-separating concentrates reached 1.23. The technology and equipment of jaw crusher, HPGR, and HPGR with pre-separating ahead of grinding, would lead to different performance of Ore.

**Keywords:** High pressure roller mill; Jaw crusher; Pre-separating process; Bond ball mill work index; Relative grind-ability

(上接 57 页)

### 参考文献:

[1] 胡熙庚. 有色金属硫化矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 1987.

[2] 姜亚雄, 谢海云, 刘畅, 等. 铜铅硫化矿混合精矿浮选分离研究现状[J]. 矿冶, 2012(2): 37-41.

[3] 袁明华, 赵继春. 铜铅混合精矿铜铅浮选分离试验研究[J]. 矿冶, 2008(5): 5-7.

[4] 何廷树, 魏转花, 王森. 新疆某矿铜铅混合精矿分离试验[J]. 金属矿山, 2011(7): 78-81.

[5] 王中生, 郭月琴. CMC 在铜铅分离浮选中的应用[J]. 黄金, 2002(1): 30-32.

## Experimental Research on Improving Copper Concentrate Quality by Removing the Impurity

Li Junwang<sup>1,2</sup>, Zhang Honghua<sup>1</sup>, Hong Jianhua<sup>3</sup>

(1. Jiangxi Copper Corporation, Nanchang, Jiangxi, China;

2. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, Hunan, China;

3. Chengmenshan Copper Company, Jiangxi Copper Corporation, Jiujiang, Jiangxi, China)

**Abstract:** The copper concentrate of a copper plant in Inner Mongolia had a high lead content, which not only affected the quality of copper concentrate, but also wasted the lead resource. In order to make full use of the resources of copper mine, test research was made on the separate recovery of lead from the copper concentrate. By detailed condition tests, a combinatorial lead depressant of potassium dichromate + CMC was chosen to use in the test. Through the process of one roughing, one scavenging and two cleaning, a lead concentrate was obtained that contained 4.82% of lead and 0.73% of copper, and had a 79.86% lead recovery. The copper loss was less than 1% in the test. The research achieved a purpose to recovery various useful resources comprehensively, and had a certain reference value on comprehensive utilization for similar mine resources.

**Keywords:** Copper concentrate; Copper-lead separation; Combinatorial depressant