

高压辊磨机粉碎贫赤铁矿 产品粒度特性

袁致涛¹, 刘磊¹, 严洋², 韩跃新¹

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 成都利君实业股份有限公司, 四川 成都 610045)

摘 要: 研究了贫赤铁矿经高压辊磨机开路、边料循环闭路和筛分全闭路粉碎后产品的粒度特性。试验结果表明: 随着辊面压力的增加, 粉碎产品粒度降低, 分布更加均匀, 破碎比 F_{50}/P_{50} 的增长速率高于破碎比 F_{80}/P_{80} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率; 随着边料循环量的增加, 粉碎产品的粒度降低, 分布更不均匀, 破碎比 F_{80}/P_{80} 的增长速率高于破碎比 F_{50}/P_{50} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率; 采用全闭路粉碎时, 高压辊磨机与颚式破碎机相比, 破碎比明显增大, 粉碎产品细粒级含量高, 粒度分布均匀。

关 键 词: 高压辊磨机; 贫赤铁矿; 粒度特性; 破碎比

中图分类号: TD 451 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2011)06-0875-04

Product Size Characteristics of Low-Grade Hematite in High Pressure Grinding Roll

YUAN Zhi-tao¹, LIU Lei¹, YAN Yang², HAN Yue-xin¹

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Chengdu Leejun Industrial Co., Ltd., Chengdu 610045, China. Corresponding author: LIU Lei, E-mail: liulei_9910@163.com)

Abstract: This paper studied the comminuted hematite product size characteristics in different processes of high pressure grinding roll (HPGR), including open circuit operation, closed circuit operation with edge product recycles and classification. The results showed that with the specific pressing force increased, the fineness of products decreases and the size distribution becomes more uniform owing to a higher increasing ratio of the F_{50}/P_{50} reduction ratio than that of the F_{80}/P_{80} and F_{20}/P_{20} reduction ratio. The fineness of products decreases with the increasing of edge product circulating mass, while the size distribution becomes more non-uniform resulting from a higher increasing ratio of the F_{80}/P_{80} reduction ratio than that of the F_{50}/P_{50} and F_{20}/P_{20} reduction ratio. Compared with jaw crusher, HPGR gives a higher reduction ratio and more fines in the process of closed circuit and produces a more uniform particle size distribution.

Key words: high pressure grinding roll; low-grade hematite; size characteristics; reduction ratio

目前, 我国赤铁矿采矿厂每年都要剥离堆存或抛弃数以百万吨计的低品位赤铁矿石, 品位通常都在 24% 以下, 受生产技术和经济成本的制约, 这部分贫赤铁矿只能作为围岩处理, 既浪费了资源又污染了环境。高压辊磨机是基于料层粉碎原理设计的, 由于具有单位破碎能耗和钢耗低、处理能力大、占地面积少、设备作业率高等特

点^[1-2], 在诸多领域得到了广泛的应用。料层粉碎方式并不发生由于颗粒摩擦或细粒团聚而引起的能量损失, 能耗较传统粉碎技术降低约 30% ~ 50%, 磨损也明显减少^[3]。高压辊磨机对球磨机给料预先粉碎后, 能够降低矿石的球磨功指数, 减小球磨介质尺寸, 提高球磨效率^[4]。由于高压辊磨机特点, 在矿石粉碎方面目前常采用以下几

种工艺^[5]: 开路工艺、边料循环闭路工艺和筛分全闭路工艺. 本文针对鞍山式贫赤铁矿采用高压辊磨机进行超细粉碎, 分析了高压辊磨开路、边料循环闭路和筛分全闭路不同工艺流程的产品粒度特性. 研究结果对高压辊磨机在贫赤铁矿超细碎应用方面具有一定的指导意义.

1 试验设备与样品

试验选用高压辊磨机 CLM- 25- 10, 主要技术参数: 压辊直径 250 mm, 压辊宽度 100 mm, 辊面压力 0~ 7 MPa, 辊面速度 0~ 0. 52 m/s, 工作辊隙 4~ 7 mm. 试验样品取自鞍钢集团齐大山铁矿选矿分厂, 为生产流程中的细碎产品. 有用矿物主要是赤铁矿, 含有少量磁铁矿, TFe 品位为 25. 32%; 脉石矿物主要为石英, SiO₂ 质量分数为 59. 38%. 原矿的 d_{50} 为 5. 5 mm, d_{80} 为 9. 7 mm. 矿石的松散密度为 $2. 246 \times 10^3$ kg/m³, 矿石水分质量分数 < 0. 5%. 每次试验样品 20 kg, 经高压辊磨机粉碎后充分打散, 混匀缩分取样后测定产品的粒度分布.

2 高压辊磨机产品粒度特性研究

高压辊磨机粉碎产品的粒度特征有一定的自相似性, 这种自相似性与产品的特征粒度(一般取中值粒度 d_{50}) 有关而不受给料粒度、给料含水量及辊面速度的影响^[6]. 因此, 高压辊磨机产品的细度可以用破碎比大致予以描述. 破碎比 (F_X/P_X) 为给料中 $X\%$ 通过的粒度与产品中 $X\%$ 通过的粒度的比值^[7]. 此外, R- R 粒度特征方程^[8]能够很好地描述高压辊磨粉碎产品的粒度特征:

$$R = 100\exp(-bx^n). \tag{1}$$

式中: R 为粒度大于 x 的正累计产率, %; x 为颗粒直径或筛孔宽; b 为与产物粒度相关的参数; n 为均匀性系数, 表示粒度分布范围的宽窄程度, n 越小, 粒度分布越均匀.

2. 1 开路粉碎产品的粒度特性及分析

试验设定辊面速度为 0. 18 m/s, 辊面压力分别取 2. 8, 3. 6, 4. 4, 5. 2, 6. 0 MPa. 破碎比如图 1 所示, 其变化速率如表 1 所示.

由图 1 可以看出, 随着辊面压力的增加, 破碎比增大, 粉碎产品粒度减小, 破碎比 F_{20}/P_{20} 和 F_{50}/P_{50} 大于破碎比 F_{80}/P_{80} , 高压辊磨机粉碎后的物料中细粒级占多数.

从表 1 看出, 辊面压力在 2. 8~ 4. 4 MPa 和 5. 2~ 6. 0 MPa 的两个范围内破碎比增长速率较

小, 产品粒度变化不显著; 辊面压力在 4. 4~ 5. 2 MPa 范围内破碎比增长速率大, 约为其余两个压力范围的 3 倍, 产品粒度明显降低.

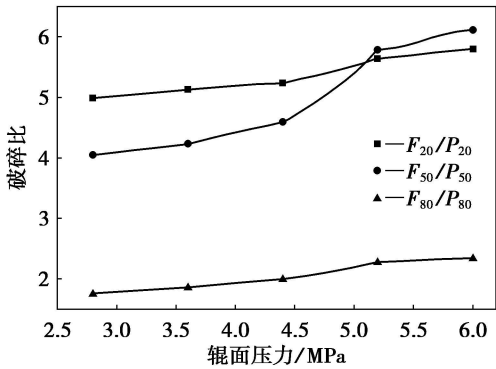


图 1 不同辊面压力对破碎比的影响

Fig. 1 Effect of specific pressing force on reduction ratio

表 1 不同压力粉碎区破碎比变化速率
Table 1 Increasing rate of reduction ratio

辊面压力 MPa	破碎比增长速率/MPa ⁻¹		
	$r(F_{20}/P_{20})$	$r(F_{50}/P_{50})$	$r(F_{80}/P_{80})$
2. 8~ 4. 4	0. 16	0. 34	0. 14
4. 4~ 5. 2	0. 53	1. 42	0. 36
5. 2~ 6. 0	0. 18	0. 40	0. 10

粉碎产品的正累计粒度特征曲线如图 2 所示, 其 R- R 方程拟合回归结果如表 2 所示.

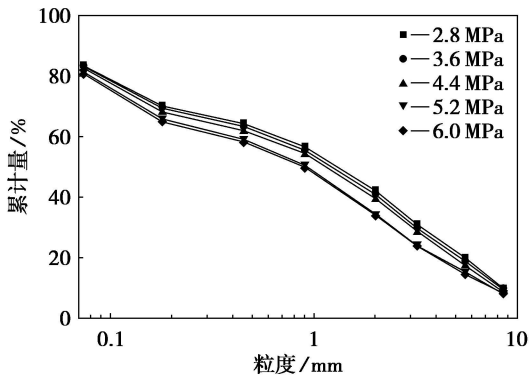


图 2 不同辊面压力下开路粉碎产品的粒度分布

Fig. 2 Products size distribution in different specific pressing forces

表 2 不同辊面压力下产品正累计粒度曲线 R- R 方程回归结果

Table 2 Constants of R-R curve fitting of products size distribution in different specific pressing forces

辊面压力/MPa	n	b	R^2
2. 8	0. 500 5	0. 683 7	0. 979 6
3. 6	0. 499 5	0. 702 4	0. 981 9
4. 4	0. 499 2	0. 731 5	0. 980 1
5. 2	0. 497 2	0. 802 9	0. 986 1
6. 0	0. 493 8	0. 819 1	0. 985 4

由表 2 可以看出, 随着辊面压力的增加, 均匀

性系数 n 减小, 粉碎产品的粒度分布越来越均匀。在高压辊磨机粉碎过程中, 随着辊面压力的增加, 物料的密实度增加, 颗粒间的相互作用力增大, 粗粒级物料得到进一步的粉碎, 而细粒级物料由于颗粒强度的“尺寸效应”^[9] (颗粒的名义强度会随着粒度的减小而明显增加) 并没有得到更好的粉碎, 最终导致了中间粒级产品的积累, 破碎比 F_{50}/P_{50} 的增加速率明显高于破碎比 F_{80}/P_{80} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率(如表 1 所示), 产品的粒度分布也因此变得更加均匀。辊面压力的增加并不利于细颗粒物料的破碎。

高压辊磨机产品可以分为中料产品和边料产品两部分, 粒度分布如图 3 所示(中料产品: 边料产品= 6: 4, 辊面压力为 5.2 MPa)。高压辊磨机正常工作时, 辊面中心压力高, 辊面边缘压力低。辊面边缘低破碎压和辊体两端的挡板使物料在辊面边缘的滑动摩擦增大, 料层粉碎效果减弱, 边缘产品较中料产品粒度粗, 接近于传统对辊破碎机产品, 造成“边缘效应”^[5]。

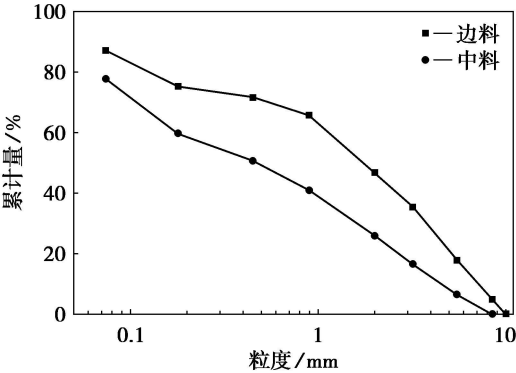


图 3 中料和边料产品的粒度分布
Fig. 3 Size distribution of middle and edge products

高压辊磨机粉碎过程中的“边缘效应”, 使得粉碎产品的粒度分布范围变宽, 细粒级含量降低。为了克服这一缺点, 高压辊磨粉碎流程一般采用闭路流程, 通常有边料循环闭路和筛分全闭路两种。

2.2 边料循环闭路产品的粒度特性及分析

通过压辊下方的可调节式挡板将粉碎产品分为中料和边料两部分, 中料作为最终的产品进入下一作业, 而边料产品直接返回高压辊磨机与新给矿一起进行再粉碎, 试验设定辊面压力为 5.2 MPa, 辊面速度为 0.18 m/s, 边料循环量设定为 20%, 30%, 40%, 50%, 多次循环稳定后测得破碎比如图 4 所示, 粉碎产品的正累计粒度特征曲线如图 5 所示, 其 R- R 方程拟合回归结果如表 3 所示。

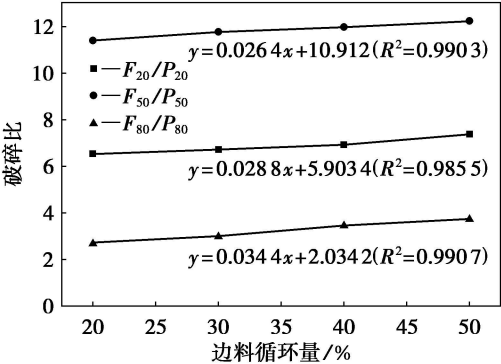


图 4 不同边料循环量对破碎比的影响
Fig. 4 Effect of edge products circulating mass on reduction ratio

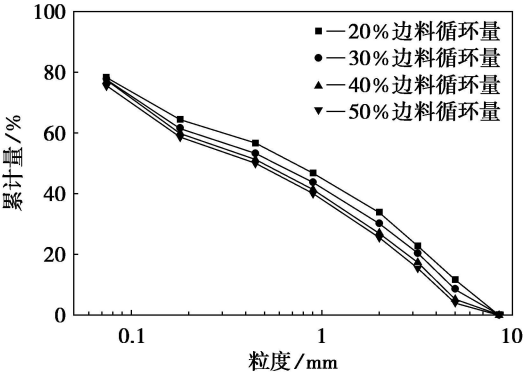


图 5 不同边料循环量下粉碎产品粒度分布
Fig. 5 Products size distribution in different edge products circulating mass

表 3 不同边料循环量下产品正累计 R- R 方程回归结果
Table 3 Constants of R- R curve fitting of size distribution in different edge product circulating mass

边料循环量/%	n	b	R^2
20	0.477 7	0.866 7	0.982 3
30	0.488 7	0.950 5	0.976 5
40	0.516 5	1.039 4	0.971 8
50	0.520 9	1.100 7	0.976 5

由图 4 和表 3 可以看出, 随着边料循环量的增加, 破碎比呈近似线性增加, 粉碎产品的粒度减小, 均匀性系数 n 增大, 产品的粒度分布更不均匀。经过一次辊压后, 边料产品的细度和强度明显低于新给料产品的细度和强度。边料产品和新给料产品混合后, 在相同的辊面压力下, 密实度增加, 颗粒间的相互作用加强, 边料循环量越大, 颗粒间的相互作用就越强烈。边料循环对物料密实度的影响远小于辊面压力对其的影响, 因此边料循环仅对粗颗粒的破碎影响比较明显, 破碎比 F_{80}/P_{80} 的增长速率高于破碎比 F_{50}/P_{50} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率, 粉碎产品变得更不均匀。边料循环量的增加更有利于粗颗粒物料的破碎。

2.3 筛分全闭路产品的粒度特性及分析

通过边料循环工艺可以减弱高压辊磨机粉碎过程的“边缘效应”，但是其粉碎产品的粒度仍比较粗，采用筛分全闭路工艺可以有效地控制粉碎产品的上限粒度。本次试验闭路筛分控制筛孔尺寸为 3.2 mm，并对高压辊磨全闭路产品和小型颚式破碎机全闭路产品进行比较。不同粉碎方式下破碎比如表 4 所示，不同粉碎方式下产品的正累计粒度特征曲线如图 6 所示，其 R- R 方程拟合回归结果如表 5 所示。

表 4 不同粉碎方式下破碎比

Table 4 Reduction ratio in different crushing modes

破碎比	高压辊磨机粉碎	颚式破碎机粉碎
F_{20}/P_{20}	7.50	5.92
F_{50}/P_{50}	18.33	9.48
F_{80}/P_{80}	6.14	5.64

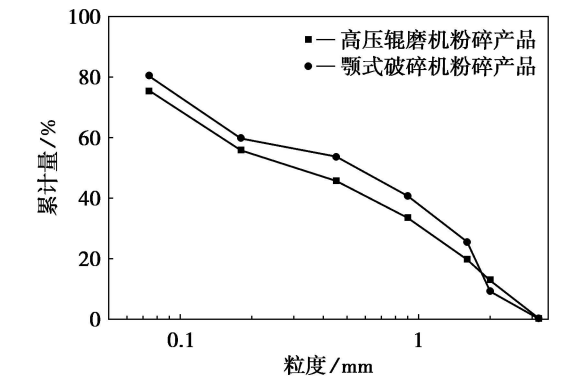


图 6 不同粉碎方式下产品粒度分布
Fig. 6 Effect of product size distribution in different crushing modes

表 5 不同粉碎方式下产品正累计 R- R 方程回归结果

Table 5 Constants of R- R curve fitting of size distribution in different crushing modes

产 品	n	b	R^2
高压辊磨机粉碎	0.557 2	1.284 5	0.979 9
颚式破碎机粉碎	0.629 6	1.185 3	0.928 9

高压辊磨机粉碎产品与颚式破碎机粉碎产品相比，破碎比明显增大，粒度减小，细粒级含量高（- 0.074 mm 高 5%），但粗粒级（+ 1.60 mm）的含量明显下降。由表 5 看出，高压辊磨机粉碎产品的均匀性系数 n 降低，高压辊磨机粉碎产品比颚式破碎机粉碎产品粒度分布更均匀。高压辊磨机利用的粉碎方式为准静压料层粉碎，是全粒级物料粉碎的过程，颗粒间的相互作用不仅仅对粗粒级物料进行破碎，同时还对包括原料和已破碎的细粒级物料进行破碎。颚式破碎机仅对粗颗粒有针对性地破碎，而忽略或未主动利用全粒级的破碎，原料和已碎的小于排矿口宽度的颗粒往往得

不到破碎就被排出。因此，高压辊磨机粉碎产品粒度分布更加均匀，产品的细粒级含量高。

3 结 论

随着辊面压力的增加，高压辊磨机的破碎比增加，粉碎产品粒度降低，均匀性系数 n 减小，产品的粒度分布更加均匀，破碎比 F_{50}/P_{50} 增长率高于破碎比 F_{80}/P_{80} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率。高压辊磨机粉碎过程中存在“边缘效应”，其边料产品比中料产品粒度粗。

随着边料循环量的增加，高压辊磨机的破碎比增加，粉碎产品粒度降低，均匀性系数 n 增加，产品粒度分布更不均匀，破碎比 F_{80}/P_{80} 增长率高于破碎比 F_{50}/P_{50} 和 F_{20}/P_{20} 的增长速率。

采用筛分全闭路流程（控制筛孔尺寸为 3.2 mm）时，高压辊磨机与颚式破碎机相比，破碎比明显增大，粉碎产品粒度减小，细粒级含量高，均匀性系数 n 减小，粒度分布均匀。

参考文献:

[1] Schonert K. A first survey of grinding with high compression roller mills[J]. *International Journal of Mineral Processing*, 1988, 22: 401- 412.

[2] Norgate T E, Weller K R. Selection and operation of high pressure grinding rolls circuits for minimum energy consumption[J]. *Minerals Engineering*, 1994, 7: 1253 - 1267.

[3] Namik A A, Levent E, Hakan B. High pressure grinding rolls (HPGR) applications in the cement industry[J]. *Minerals Engineering*, 2006, 19: 130- 139.

[4] Fuerstenau D W, Lutch J J. The effect of ball size on the energy efficiency of hybrid high-pressure roll mill/ball mill grinding[J]. *Powder Technology*, 1999, 105: 199- 204.

[5] Van der Meer, Gruendken A. Flowsheet considerations for optimal use of high pressure grinding rolls[J]. *Minerals Engineering*, 2009, 9: 1- 7.

[6] Lim I L, Voigt W, Weller K. Product size distribution and energy expenditure in grinding minerals and ores in high pressure rolls [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 1996, 44/ 45: 539- 559.

[7] Hilden M, Suthers S. Comparing energy efficiency of multi-pass high pressure grinding roll (HPGR) circuits[C]// XXV IMPC2010. Brisbane, 2010: 801- 811.

[8] Wills B A, Napier-Munn T J. Mineral processing technology [M]. Oxford: Elsevier Science & Technology, 2006: 96.

[9] 刘家琛, 张家生, 杜奇中, 等. 岩石抗压强度的尺寸效应[J]. *岩石力学与工程学报*, 1998, 17(6): 611- 614.

(Liu Bao-chen, Zhang Jia-heng, Du Qi-zhong, et al. A study of size effect for compression strength of rock[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 1998, 17(6): 611- 614.)