

研磨介质制度对方解石湿法超细研磨效果的影响

徐 熙, 郑水林, 刘福来, 石 钰, 牛仁杰

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要:采用实验型 SDF 砂磨机为湿法超细研磨设备,研究介质级配、介质密度及介质与物料质量对方解石超细研磨效果的影响。结果表明:在磨矿的起始阶段,直径大的研磨介质的研磨效果较好,但随着磨矿过程的进行,直径小的研磨介质的研磨效果较好,直至磨矿结束。在介质体积相同时,介质密度越大,磨矿效率越高;在介质质量相同时,介质密度越小,研磨效率越高。方解石湿法超细研磨的适宜介质与物料质量比为 4:1。

关键词:方解石;超细粉碎;研磨介质

中图分类号:TD985 文献标志码:A

文章编号:1008-5548(2010)06-0050-03

Effect of Grinding Media System on Wet Ultrafine Grinding Efficiency for Calcite

Xu Xi, Zheng Shuilin, Liu Fulai, Shi Yu, Niu Renjie

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The experimental SDF sand mill was used as the wet ultrafine grinding equipment to study the effect of media's gradation, media's density and the mass ratio of media to feed on wet ultrafine grinding for calcite. The results showed that, at the initial stage of grinding, the grinding efficiency of the large grinding media was better than the smaller one, but with the grinding went on, the grinding efficiency of the smaller one becoming better than the larger one till the end. When the volume of media was at the same level, the larger the media's density, the higher the grinding efficiency. When the quality of media was at the same level, the smaller the media's density, the higher the grinding efficiency. It was concluded that the suitable mass ratio of media to feed of wet ultrafine grinding for calcite was 4:1.

Key words: calcite; ultrafine grinding; grinding medium

方解石的化学成分是碳酸钙,它主要用于生产重质碳酸钙、氧化钙等工业原料、颜料和化工产品。这些产品广泛用于塑料、橡胶、造纸、牙膏、涂料、油墨、胶粘剂、食品和医药等领域^[1],用途十分广泛。

超细重质碳酸钙是方解石最主要的深加工产品之一,年产量已达到数百万吨,是优良的填充剂和性

能改良剂,用途广泛。而且由于它惰性大、不易发生化学反应、无毒、无味、无臭等优点,有利于环境保护,因此被称为“环境友好材料”^[2]。湿法超细研磨技术是当前最主要的超细重质碳酸钙,特别是造纸颜料(浆料)级碳酸钙最主要的生产技术^[3-4]。其主要设备是超细搅拌磨或砂磨机。

在研磨设备确定的条件下,影响方解石超细研磨效果的主要因素是原料的性质、研磨介质制度及磨机操作因素。其中研磨介质制度对超细研磨效率、产物细度及粒度分布等有重要影响^[5]。但是迄今为止,未见深入系统地研究报道。本文中以超细砂磨机为湿式超细研磨设备,深入研究研磨介质制度对方解石超细研磨效果的影响^[6]。

1 原料、设备和研究方法

方解石粉由江苏溧阳非金属矿粉末厂提供,原料的粒度组成: $d_{50}=28.75\text{ }\mu\text{m}$, $d_{97}=115.17\text{ }\mu\text{m}$,小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒的质量分数为 2.76%。

研磨介质的物性参数见表 1。

表 1 研磨介质的物性参数

Tab. 1 Physical parameters of grinding media

研磨介质	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	d/mm
氧化铝陶瓷微珠(A1—A3)	2.6	0.6~1.0, 1.5~2.0, 2.5~3.0
氧化铝、氧化锆复合陶瓷微珠(AZ)	4.0	0.6~1.0
氧化锆陶瓷微珠(Z)	6.0	0.6~1.0

超细研磨设备:实验型 SDF-400 型分散砂磨机,主要操作参数:电机功率 400 W、主轴转速 2 000 r/min、升降距离 250 mm、容积 1.2 L、筒径 9.6 cm。分散盘主要尺寸:直径 6 cm、总厚度 4.5 cm,单片厚度 1 cm。试验过程中转速恒定为 2 000 r/min。

试验方法:

1) 采用粒径分别为 0.6~1.0、1.5~2.0、2.5~3.0 mm 的 3 种直径的氧化铝陶瓷介质球进行级配试验研究。3 种介质球的质量比($m_{A1}:m_{A2}:m_{A3}$)分别为 1:1:6、1:3:4、1:5:2、3:1:4、3:3:2、5:1:2、8:0:0、0:8:0、0:0:8)。

2) 在适宜的介质级配条件下,研磨介质与物料的质量比($m_b:m_m$)分别为 2:1、3:1、4:1、5:1,对方

收稿日期:2010-01-12,修回日期:2010-09-15。

第一作者简介:徐熙(1987-),女,硕士研究生,研究方向为资源综合利用与深加工。电话:13426346495, E-mail:yaaiyx@126.com。

解石进行超细研磨试验。

3) 分别在介质体积、质量相同的两种情况下选用不同密度的介质进行磨矿试验, 研究介质密度对方解石湿法超细研磨效果的影响。

2 结果与讨论

2.1 介质级配

每次研磨样品 200 g, $m_b : m_m = 4 : 1$, 研磨介质采用 3 种直径氧化铝陶瓷微珠, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 1 : 1 : 6$ 、 $1 : 3 : 4$ 、 $1 : 5 : 2$ 、 $3 : 1 : 4$ 、 $3 : 3 : 2$ 、 $5 : 1 : 2$ 、 $8 : 0 : 0$ 、 $0 : 8 : 0$ 、 $0 : 0 : 8$ 。矿浆中物料的质量分数为 50%, 分散剂用量为方解石质量的 5%。累计研磨 2 h, 研磨过程中每 30 min 取样检测物料粒度 (以中位粒径 d_{50} 为检测指标), 试验结果如表 2 所示。其中, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 1 : 1 : 6$ 、 $1 : 3 : 4$ 、 $1 : 5 : 2$ 为第 1 组, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 1 : 1 : 6$ 、 $3 : 1 : 4$ 、 $5 : 1 : 2$ 为第 2 组, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 5 : 1 : 2$ 、 $3 : 3 : 2$ 、 $1 : 5 : 2$ 为第 3 组, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 、 $0 : 8 : 0$ 、 $0 : 0 : 8$ 为第 4 组。

表 2 介质级配对研磨效果的影响

时间/min	$d_{50}/\mu\text{m}$								
	1:1:6	1:3:4	1:5:2	3:1:4	5:1:2	3:3:2	8:0:0	0:8:0	0:0:8
30	2.45	2.50	2.55	2.48	2.68	2.6	2.15	1.75	1.55
60	1.18	1.05	1.19	1.14	1.06	0.98	1.06	0.98	1.19
90	0.97	0.88	0.96	0.9	0.79	0.87	0.79	0.87	0.96
120	0.84	0.82	0.77	0.78	0.71	0.76	0.68	0.76	0.81

由表中数据可知: 研磨介质总质量相同时, 不同的研磨介质级配对磨矿效果的影响不同。当研磨刚开始进行时, 大直径介质比例大的级配研磨效率较高, 如第 1 组和第 2 组数据所示的级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 1 : 1 : 6$, 但伴随着研磨过程的进行, 小直径介质比例大的级配表现出较高的研磨效率, 至磨矿结束, 如第 1 组所示级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 1 : 5 : 2$ 的超细粉碎效果最好, 可将物料研磨至 $0.77\ \mu\text{m}$; 如第 2 组和第 3 组所示级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 5 : 1 : 2$ 的介质可以将物料超细研磨到 $0.71\ \mu\text{m}$ 。

由第 4 组数据可知: 在磨矿的初始阶段, 随着研磨介质直径的增大, 磨矿效果相对较好。但随着磨矿过程的进行, 大直径介质的磨矿效率下降, 小直径介质磨矿效率提高, 级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 的介质最终可以将物料超细粉碎到 $0.68\ \mu\text{m}$ 。

从以上 4 组级配试验可以得出结论: 在磨矿的起始阶段, 物料的粒度减小很快, 由于物料的粒度大, 直径大的研磨介质的研磨效果较好。但是随着磨矿过程的进行, 物料越来越细, 直径小的研磨介质的研磨效果较好, 至磨矿结束。在研磨时间相同 (120 min) 的条

件下, 介质级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 的研磨效率最高, 其研磨产物的中位径可达到 $0.68\ \mu\text{m}$ 。

2.2 介质与物料质量比

每次研磨样品 200 g, 分散剂用量为方解石粉质量的 5%, 研磨介质采用氧化铝陶瓷微珠, 密度为 $2.66\ \text{g}/\text{cm}^3$, $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$, 矿浆中物料的质量分数为 55%, 累计磨矿 90 min, 取出物料, 检测粒度, 结果如图 1 所示。可以看出: 随着介质与物料质量比的增大, 磨矿效率提高。当 $m_b : m_m = 4 : 1$ 时, 相同研磨时间内, 浆料的粒度达最小, 介质与物料质量比再增大, 浆料的粒度反而变大。这是因为物料质量相同时, 介质与物料质量比太大, 介质太多, 磨机内空隙太小, 物料与研磨介质不能有效的接触, 以致研磨效果不是很好。因此在介质级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 的条件下, 方解石湿法超细研磨的适宜介质与物料质量比为 $4 : 1$ 。

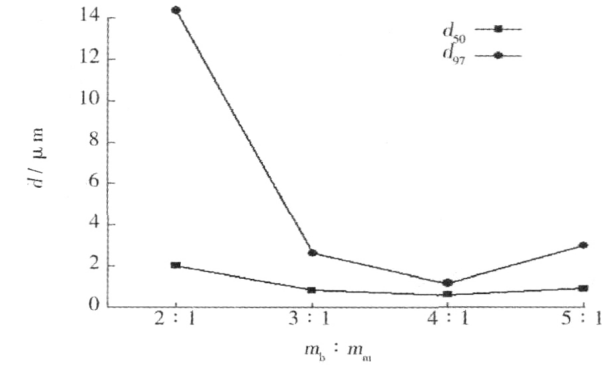


图 1 介质与物料质量比对研磨效果的影响
Fig. 1 Effect of mass ratio of media to materials on grinding efficiency

2.3 介质密度

2.3.1 同体积介质球

每次研磨样品 200 g, 分散剂用量为方解石粉质量的 5%, 矿浆中物料的质量分数为 55%, 用相同体积、不同密度 (2.6 、 4.0 、 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3$) 的介质球进行磨矿试验 (采用的氧化铝陶瓷微珠直径为 $0.6\sim 1.0\ \text{mm}$), 每 15 min 检测粒度, 结果如图 2 所示。由图可见: 同体积的研磨介质, 密度 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ 的氧化铝介质球在研磨 30 min 时, 可将物料研磨至 $0.66\ \mu\text{m}$ 左右, 而密度为 $4.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ 的氧化铝、氧化铝复合介质球需要 60 min, 密度 $2.66\ \text{g}/\text{cm}^3$ 的氧化铝介质球则需要 75 min。

相同体积量的介质球进行磨矿, 由于介质球的大小相同, 介质球的总个数是一样的, 在磨矿过程中和物料接触研磨的几率也是相等的, 而密度大的介质球在和物料单次接触时给予的能量多, 因此, 采用密度大的介质球研磨时, 累计给予物料的能量比密度小的介质球给予的能量大, 磨矿效率较高。因此, 使用密度为 2.6 、 4.0 、 $6.0\ \text{g}/\text{cm}^3$ 介质球超细研磨方

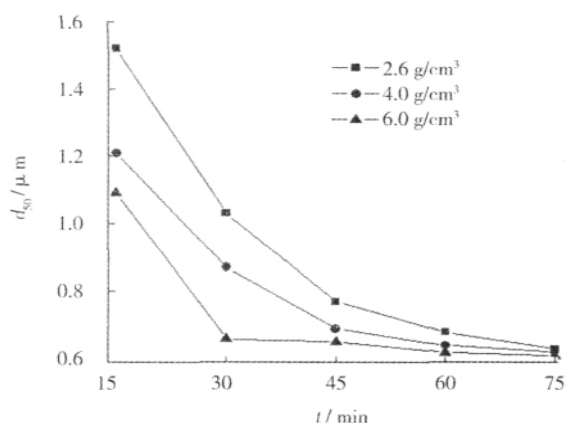


图 2 相同体积不同密度介质对研磨效果的影响

Fig. 2 Effect of equal volume of grinding media with different density on grinding efficiency

解石, 介质球体积相同时, 密度越大的介质球的磨矿效率越高。

2.3.2 同质量介质球

每次研磨样品 200 g, 分散剂用量为方解石粉质量的 5%, 矿浆中物料的质量分数为 55%, $m_b : m_m = 4 : 1$, 用相同质量、不同密度 (2.6、4.0、6.0 g/cm³) 的介质球进行磨矿实验 (氧化铝陶瓷微珠直径为 0.6~1.0 mm), 累计磨矿 90 min, 每隔 15 min 检测物料粒度。试验结果如图 3 所示。可以看出: 当用同质量、不同密度的介质球进行研磨时, 磨矿效率是氧化铝球优于氧化铝、氧化锆复合球及氧化锆球。

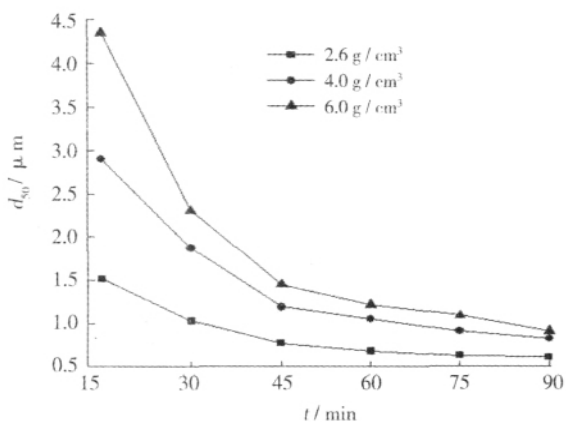


图 3 相同质量不同密度介质对研磨效果的影响

Fig. 3 Effect of equal weight of grinding media with different density on grinding efficiency

虽然密度大的介质球在和物料单次研磨接触时给予的能量多, 但是密度 2.6 g/cm³ 的氧化铝介质球相对于密度为 4.0 g/cm³ 氧化铝、氧化锆复合球和密度为 6.0 g/cm³ 氧化锆介质球的单体个数要多很多, 在磨矿过程中和物料接触研磨的机会就更多, 在整个磨矿过程中累计给予物料的能量就多, 氧化铝介质球磨矿效率最高, 氧化铝、氧化锆复合球累计研磨效果也好于氧化锆球, 从图 3 中的磨矿粒度分布曲线可以直观的看出。因此, 使用介质密度分别为 2.6、4.0、6.0 g/cm³ 的介质球超细研磨方解石, 在质量相同时, 介质球密度越小, 研磨效率越高。

3 结论

1) 使用氧化铝介质球 (密度为 2.66 g/cm³) 对方解石进行湿法超细研磨时, 在磨矿的起始阶段, 由于物料粒度较大, 大直径的介质研磨效率较高, 随着磨矿过程的进行, 物料粒度不断减小, 小直径的介质磨矿效率越来越高, 最终在同样的时间 (120 min), 介质级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 最终研磨产物的中位粒径最小。

2) 使用不同密度 (2.6、4.0、6.0 g/cm³) 的介质球超细研磨方解石, 在介质体积相同时, 介质球密度越大, 磨矿效率越高; 在介质质量相同时, 介质球密度越小, 研磨效率越高。

3) 在使用氧化铝陶瓷介质球时, 3 种直径的介质级配 $m_{A1} : m_{A2} : m_{A3} = 8 : 0 : 0$ 的条件下, 最适宜的介质与物料质量比为 4 : 1。

参考文献 (References):

- [1] 郑水林. 非金属矿加工与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 17
- [2] 王洪亮, 王少青, 贾慧. 碳酸钙工业的现状与发展[J]. 内蒙古石油化工, 2009(17): 39-40
- [3] 郑水林. 非金属矿加工工艺与设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 40
- [4] 丁浩, 邢锋. 矿物粉体搅拌磨湿法超细磨矿中研磨介质的行为与作用[J]. 中国粉体技术, 2000, 6(4): 9-12
- [5] 肖庆飞, 石贵明, 段希祥. 磨矿介质制度的进展及优化[J]. 矿山机械, 2007, 35(1): 29-32
- [6] 钱效林. 研磨介质和助磨剂对超细粉碎的影响[J]. 佛山陶瓷, 2003, 13(4): 16-18

(上接第 46 页)

- [2] ANTHONY E J, BERRY E E, BLONDIN J, et al. Advanced ash management technologies for CFBC ash [J]. Waste Management, 2003, 23: 503-516
- [3] 杨志忠, 何秀英, 沈坚勇. 石灰石对 CFB 锅炉灰熔性影响的试验研究 [J]. 动力工程, 2002, 22 (6): 2 067-2 071
- [4] ANTHONY E J. Fluidized bed combustion of alternative solid fuels, status, successes and problems of the technology [J]. Prog Energy Combust Sci, 1995, 21(3): 239-268

- [5] WU Y H, ANTHONY E J, JIA L F. Steam hydration of CFBC ash and the effect of hydration conditions on reactivation [J]. Fuel, 2004, 83(10): 1 357-1 370
- [6] ANTHONY E J, INBAME A P, INBAME J V, et al. Reuse of land filled FBC residues [J]. Fuel, 1997, 76(7): 603-606
- [7] INBAME A P, INBAME J V, ANTHONY E J. Reactivity of calcium sulfate from FBC systems [J]. Fuel, 1997, 76 (4): 321-327
- [8] 陈孟伯, 陈舸. 区分 3 种灰的差异, 促进 CFB 脱硫灰的资源化 [J]. 粉煤灰综合利用, 2008(5): 6-9