

石墨及其混合物料的磨矿动力学行为^①

田金星

(武汉工业大学资环系, 武汉 430070)

摘 要 借助于分批磨矿动力学模型, 分别研究了鳞片石墨磨矿及其作为混合物料的一个组分参与磨矿时的动力学行为。结果表明: 不管是天然鳞片石墨组分还是混合物料总体, 其磨矿动力学行为均为非线性的。只有鳞片石墨在单独磨矿时, 其动力学行为才是线性的。初步分析了这一变化产生的原因, 同时研究了石墨单独磨矿的碎裂参数特性。

关键词 石墨 磨矿动力学 碎裂函数

天然鳞片石墨是一种重要的非金属矿, 在工业上有着广泛的应用。对天然鳞片石墨的磨矿, 在选别过程中要求它尽量少受损害, 以保持其晶体完整; 而在制取石墨微粉时, 则希望它能迅速地破裂。因而, 详细地研究天然鳞片石墨的碎裂特性是非常必要的。

本文借助于分批磨矿动力学模型, 对天然鳞片石墨作为混合物料的一个组分参与磨矿和单独磨矿时的碎裂特性进行研究。

1 试验部分

1.1 试验条件

本研究在 XMB-70 型三滚四筒磨矿机上分别进行了天然鳞片石墨和石墨混合物料的分批磨矿试验。所用磨筒为 $d\ 135\text{ mm} \times 150\text{ mm}$, 容积 2 L, 磨筒转速为 130 r/min, 磨矿介质为球。总装球量为 3.393 kg, 其中 $d\ 20$ 钢球 40 个, $d\ 15$ 钢球 90 个, $d\ 10$ 钢球 150 个。天然鳞片石墨的磨矿采用体积充填基准, 物料体积与球隙体积之比为 1:1, 其磨矿浓度均采用 40%。混合物料为石墨、石英、长石、绿泥石。纯天然鳞片石墨的品位 $\beta = 99.8\%$ 。

1.2 物料的粒度测定

测定物料粒度选用 XSB-70 型振筛机。制

取天然鳞片石墨单粒级物料时, 筛分时间 1 h, 此外, 其它物料的筛分时间均取 30 min。

2 分批磨矿动力学数学模型

1965 年 Reid K J^[1] 在总结前人磨矿质量平衡积分-微分方程基础上, 提出了时间连续粒度离散的磨矿动力学数学模型。其表达式为:

$$\frac{dm_i(t)}{dt} = -s_i m_i(t) + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j m_j(t) \quad (1)$$

式中 $m_i(t)$ — t 时刻第 i 粒级的重量分数, s_i 、 b_{ij} 分别为碎裂速率函数和碎裂分布函数。

对于第一粒级(最粗粒级), 若 s_i 与磨矿时间无关, 即物料的磨矿过程符合线性磨矿动力学时, 上式有解:

$$\ln \frac{m_1(t)}{m_1(0)} = -s_1 t \quad (2)$$

关于模型(1)中参数 s_i 和 b_{ij} 的特性及其测定方法, 许多学者作过较详细的研究, 提出了一些参数估计方法。本文采用 BI 法^[2] 估计碎裂参数 s_i , $b_{i,j}$ 。该法试验简单, 而且具有较高的精度。

① 收稿日期: 1996-02-01; 修回日期: 1996-06-05 田金星, 男, 42 岁, 讲师

3 结果及讨论

3.1 混合物料及其组分的磨矿动力学行为

图1所示为天然鳞片石墨作为混合物料的一个组分参与磨矿和单独磨矿时的动力学曲线,图2所示为混合物料总体和脉石组分(除石墨外的组分)的磨矿动力学曲线。

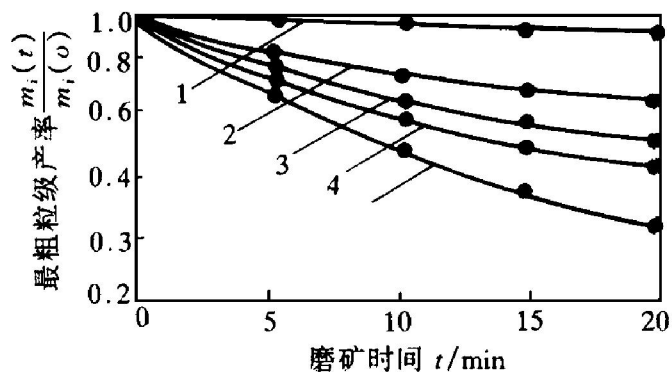


图1 石墨在不同磨矿环境中的动力学曲线

- 1—单独磨;
2—与脉石混合磨, 石墨: 脉石= 60: 40, 70×80目;
3—32×40目, 其它同2;
4—与脉石混合磨, 石墨: 脉石= 43: 57, 70×80目;
5—32×40目, 其它同4

由图1可看出,天然鳞片石墨在单独磨矿时,其动力学曲线是线性的。但是,当它作为混合物料的一个组分参与磨矿时,其动力学行为却是非线性的。分析其原因主要是由于:

(1) 纯天然鳞片石墨的单独磨碎是由于钢球的冲击和磨剥作用所致,而混合物料中石墨的磨碎除受钢球的冲击和磨剥作用外,更主要地是受其它脉石矿物(石英、长石、绿泥石)的切割、磨擦等作用。而后者对石墨碎裂的加速作用比前者要大得多。

(2) 与天然鳞片石墨的单独磨矿相比,混合物料的磨矿使得钢球与石墨的接触碰撞概率变小了,增加了鳞片石墨与脉石接触碰撞的概率。这亦有利于石墨的碎裂。

由图2可看出,不管是混合物料总体还是其中的脉石组分,其磨矿动力学行为均表现为非线性的。这是因为混合物料的物理特性为非

均质的,其碎裂速率函数 s_i 必然表现为与时间有关。

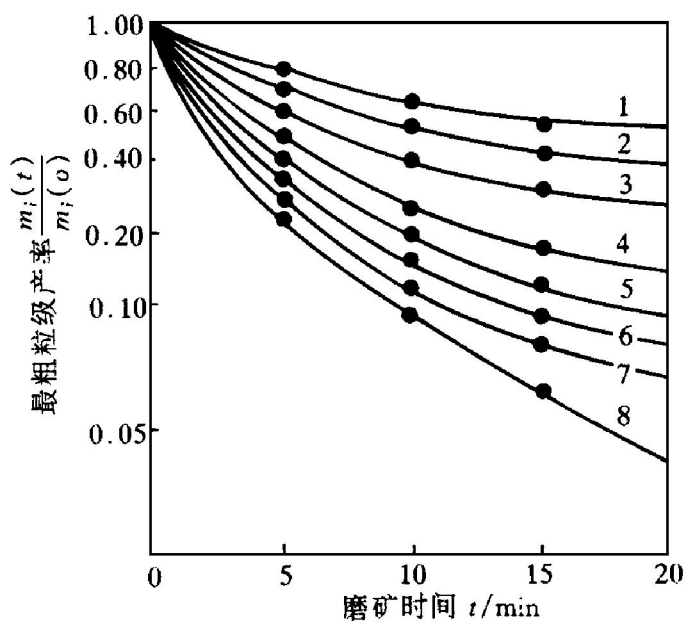


图2 石墨混合物料脉石组分及总体的磨矿动力学曲线

- 1, 2, 3, 4—为脉石组分; 5, 6, 7, 8—为混合物料总体;
1, 5—脉石: 石墨= 40: 60, 70×80目;
2, 6—脉石: 石墨= 40: 60, 32×40目;
3, 7—脉石: 石墨= 57: 43, 70×80目;
4, 8—脉石: 石墨= 57: 43, 32×40目

3.2 天然鳞片石墨单独磨矿时的动力学行为

3.2.1 碎裂速率函数 s_i

图3所示为各种不同粒级的天然鳞片石墨在单独磨矿时的动力学曲线。图中的直线关系表明,同一粒级中的 s_i 为一常数,对于不同的粒级, s_i 随粒度 x_i 的增大而增大。另外也可看出,天然鳞片石墨在单独磨矿时的 s_i 值很小,约为 10^{-3} 数量级。这显然不符合物料硬度愈小,其碎裂速率函数 s_i 愈大的规律。这一反常现象的产生主要是由于: (1) 天然鳞片石墨具有很大的韧性,同时亦具有一定的弹性。这就使得它被磨碎时,钢球传递给它的能量首先变为它的变形能,其次再变为它的新生表面能,而后者仅占总能量的一小部分; (2) 天然鳞片石墨质软而滑腻,在单独磨矿时,只有钢球对它的碰撞接触与它层状结构的{0001}面垂直或平行时,才有可能使其变形碎裂,我们称之为有效碰撞。其它情况下的碰撞接触由于石墨的

滑腻性而使其很快逃离碰撞区, 从而使钢球与石墨的碰撞接触时间很短, 不会使石墨碎裂。由此可见, 在相同的磨矿条件下, 对于纯矿物的磨矿, 球和石墨发生有效碰撞的概率要比球和其它纯矿物发生有效碰撞的概率小得多。由图 3 还可看出, 天然鳞片石墨的磨矿动力学曲线不通过零点, 即 $t=0, m_1(0)=1.0$ 。这主要是由于筛分不完全, 也与石墨的碎裂特性有关。

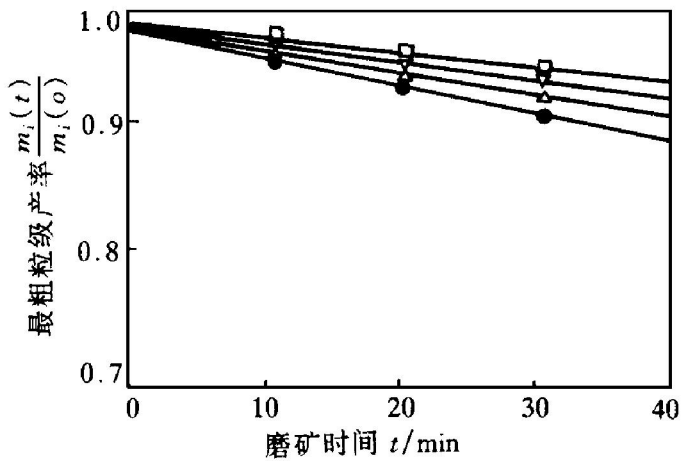


图 3 纯石墨磨矿动力学曲线
●—34×40 目; △—40×50 目;
▽—50×60 目; □—60×70 目

将 s_i 与 x_i 在双对数坐标纸上绘图, 结果得一直线(如图 4)。 s_i 与 x_i 间关系式:

$$s_i = A x_i^\alpha$$

(3)

式中 x_i —第 i 个粒级的粒度, A 、 α —常数。通过线性回归结果得知 $A = 3.90 \times 10^{-3}$, $\alpha = 0.6106$ 。附表列出了由(3)式计算的 s_i 值与试验值。由附表可知 s_i 的计算值与试验值吻合较好。

3.2.2 细粒级零阶产出特征

试验结果表明(图 5), 天然鳞片石墨在一定的磨矿时间内具有显著的细粒级零阶产出特征, 即

$$\frac{dy_i(t)}{dt} = F_i$$

(4)

式中 $y_i(t)$ —时刻小于 i 粒级的累积产率,

附表 s_i 的试验值与计算值

粒度 x_i (目)	$s_i \times 10^3$		误差
	计算值	试验值	
32×40	2.479	2.498	0.0076
40×50	2.243	2.296	0.0231
50×60	2.027	2.004	0.0074
60×70	1.662	1.608	0.0336

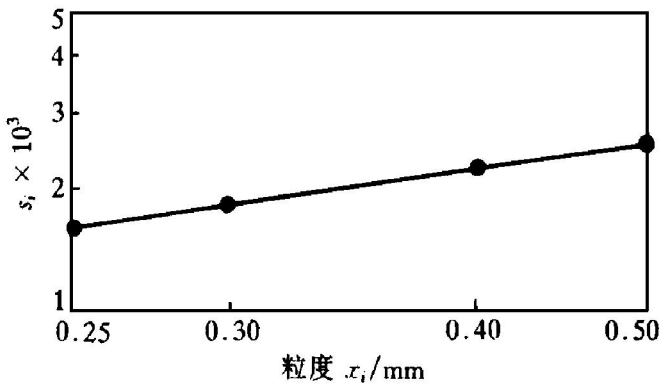


图 4 石墨单独磨矿的 s_i 与 x_i 关系图

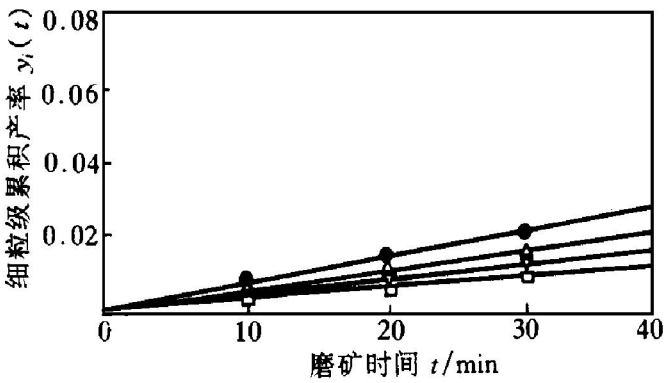


图 5 石墨的细粒级产出特征
●—34×40 目; △—40×50 目;
▽—50×60 目; □—60×70 目

F_i —小于粒度 x_i 的细粒级零阶产出常数。

图 6 表明, F_i 和 x_i 间满足下列关系式:

$$F_i = k x_i^r$$

(5)

式中 k 、 r —常数。对试验结果进行线性回归, 得 $k = 3.669 \times 10^{-3}$, $r = 0.6139$ 。可见 α 与 r 间有

$$\alpha = r$$

(6)

后来的模拟与试验结果证实了(6)式的正确性。

3.2.3 碎裂分布函数 b_{ij}

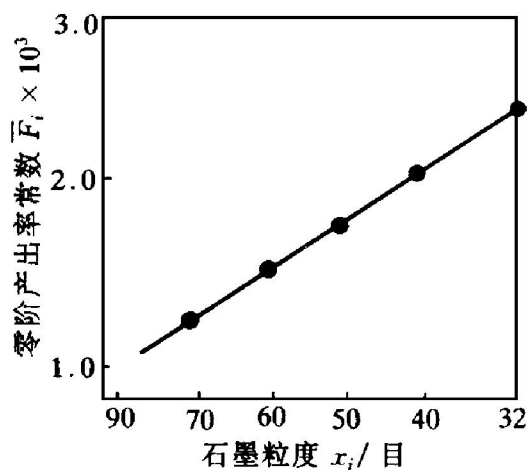


图6 石墨单独磨时 F_i 与 x_i 的关系

在分批磨矿动力学模型中, 另一个参数是碎裂分布函数 b_{ij} , 下面讨论天然鳞片石墨在单独磨矿时 b_{ij} 的变化情况。图7为纯天然鳞片石墨在不同的磨矿时间下, 其累积碎裂分布函数 B_{ij} 与粒度 x_i 的关系曲线。从图中可看出, 对于不同的磨矿时间, 其累积碎裂分布函数 B_{ij} 是相同的。由于碎裂分布函数 B_{ij} 是可规范化的^[3], 故累积碎裂分布函数 B_{ij} 相同意味着 b_{ij} 相同。

综上所述, 石墨混合物料的磨矿, 较硬脉石组分对石墨碎裂特性的影响是通过石墨碎裂速率函数的变化表现出来的。和单独磨矿时相

比, 石墨的碎裂速率增大了, 而且随着较硬脉石组分所占分数的增加, 石墨的碎裂速率增加得更多。在实际磨矿过程中, 应采取措施控制前两段磨矿的强度, 加强后两段磨矿的强度, 这样有利于保护石墨的晶体。

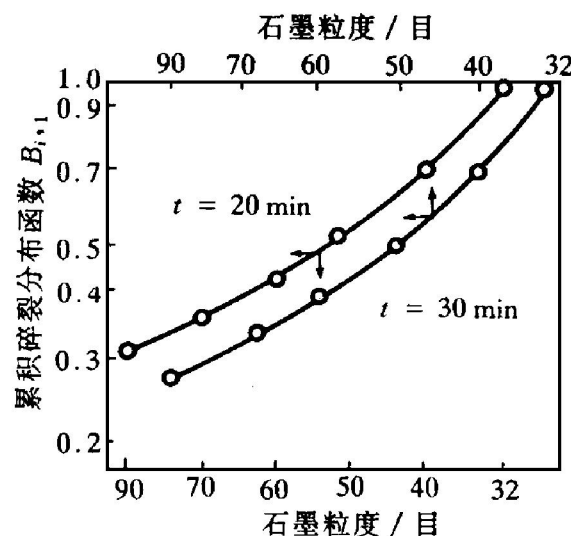


图7 石墨在不同磨矿时间下的累积碎裂分布函数
参考文献

- 1 Reid K J. Chemical Engineering Science, 1965, 20: 953-963.
- 2 刘开忠等. 矿业工程, 1988, 8(3): 42-46.
- 3 刘开忠等. 中国有色金属学报, 1995, 5(2): 47-50.

THE GRINDING KINETIC BEHAVIORS OF GRAPHITE AND ITS MIXTURE

Tian Jinxing

Department of Mineral Resource and Environment Engineering,
Wuhan University of Technology, Wuhan 430070

ABSTRACT The grinding kinetic behaviors of independent graphite and graphite component of its mixture were studied with the aid of batch grinding kinetic model. The results showed the grinding kinetic behaviors of bulk mixture and its graphite component are nonlinear while the grinding kinetic behavior of pure graphite is linear, the cause of which was analysed. The fracturing parameter properties of grinding of pure graphite were also studied.

Key words graphite grinding kinetic behavior fracturing parameter

(编辑 吴家泉)