

# 混合物料组分的碎裂参数特性<sup>①</sup>

刘开忠

(武汉工业大学资源与环境工程系, 武汉 430070)

翁伟雄 周忠尚

(中南工业大学矿物工程系, 长沙 410083)

**摘 要** 借助于分批磨矿动力学模型, 研究了混合物料组分的碎裂参数特性。结果表明: 某一物料无论是单独磨矿还是作为混合物料中的一个组分, 其碎裂分布函数是相同的; 和单独磨矿时相比, 组分的碎裂速率函数由于组分间的相互作用而发生变化。初步分析了这些相互作用产生的机理。

**关键词** 分批磨矿模型 混合物料 碎裂参数

1965年, Reid K J根据总体平衡导出了时间连续、粒度离散的分批磨矿动力学模型<sup>[1]</sup>。由于该模型不仅考虑了物料的碎裂速率, 而且考虑了物料碎裂后其碎片的分布情况, 较好地反映了磨矿过程, 具有明确的物理意义, 因而广泛地应用于各种磨矿过程的研究中。

但是, 这些研究主要集中于单一均质物料, 对于混合物料的研究却不多。这是因为, 使用单一均质物料作为研究对象可以避免具有不同物理特性的各个组分之间的相互作用, 从而使研究的问题得以简化。

本文借助于分批磨矿动力学模型, 对混合物料组分的碎裂参数  $s_i$ 、 $b_{ij}$  进行了较为详细的研究。

## 1 试验

本研究在  $d200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  和  $d245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  两种规格的转筒型球磨机上进行了两种混合物料各种配比的分批磨矿试验。

混合物料中组分的粒度测定, 对于石英-方解石混合物料, 采用酸溶法; 对于石英-黑钨矿混合物料, 采用比重法。磨矿试验条件与参考文献[2]所列相同。

## 2 分批磨矿动力学数学模型

Reid 提出的分批磨矿动力学数学模型的表达式为:

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

式中  $m_i(t)$ — $t$ 时刻第  $i$  粒级的重量分数;  $s_i$ —碎裂速率函数;  $b_{ij}$ —碎裂分布函数。

关于模型参数  $s_i$  和  $b_{ij}$  的特性及其测定方法, 许多学者作过较为详细的研究, 提出了一些参数估计方法。本文采用预估-反算出<sup>[3]</sup>估计碎裂参数  $s_i$ 、 $b_{ij}$ 。该法要求的试验简单, 而且具有较高的精度。在应用该法时, 为了获得更好的模型仿真结果, 首先需要对给料粒度分布进行必要的修正<sup>[2]</sup>。

## 3 结果及讨论

### 3.1 混合物料组分的碎裂速率函数 $s_i$

图1和图2所示分别为石英、方解石物料在单独磨矿和作为混合物料(各种配比)的一个组分参与磨矿时的动力学曲线。图中的直线关系表明, 尽管混合物料总体由于其物理特性

<sup>①</sup> 收稿日期: 1994-12-19; 修回日期: 1995-01-10

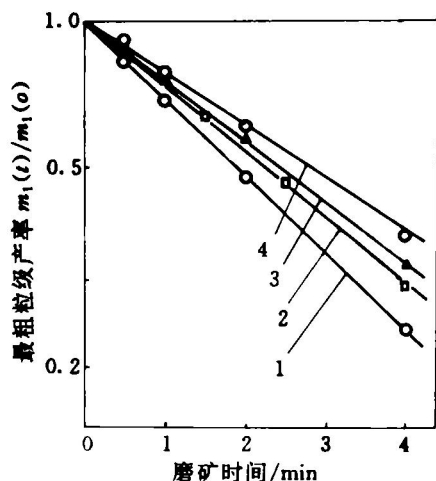


图1 石英物料在不同磨矿环境中的动力学曲线

( $d200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  磨机,  $8 \times 10$  目给料)

1—单独磨;

2—与方解石混合磨, 石英:方解石 = 0.75:0.25;

3—与方解石混合磨, 石英:方解石 = 0.50:0.50;

4—与方解石混合磨, 石英:方解石 = 0.25:0.75

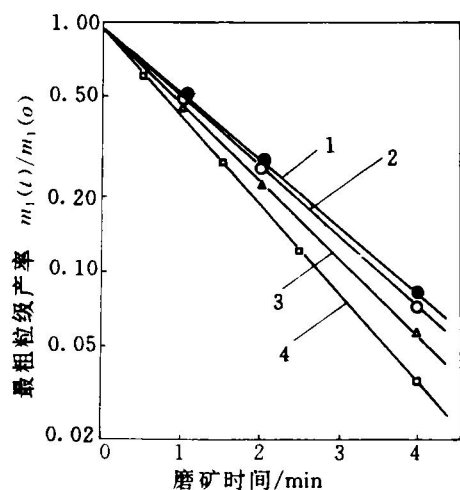


图2 方解石物料在不同磨矿环境中的动力学曲线

( $d200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  磨机,  $8 \times 10$  目给料)

1—单独磨;

2—与石英混合磨, 方解石:石英 = 0.75:0.25;

3—与石英混合磨, 方解石:石英 = 0.50:0.50;

4—与石英混合磨, 方解石:石英 = 0.25:0.75

的不均匀性其磨矿动力学行为是非线性的, 但是其组分的磨矿动力学行为在各种混合比下都是线性的。

图3为各组分的碎裂速率函数  $s_1$  与其体积分数在半对数坐标纸上的关系图。从图3中或从图1、图2中直线的斜率变化情况可以看出:

(1) 就较硬物料石英组分来说, 在与较软物料方解石混合磨矿时, 和同样条件下的单独磨矿相比, 其碎裂速率函数减少了; 而且, 随着混合物料中石英所占分数的减少、方解石所占分数的增加, 石英组分的碎裂速率函数减小得更多。

(2) 对于方解石组分, 其变化规律刚好和石英组分相反, 即: 混合磨矿和单独磨矿相比, 方解石的碎裂速率函数增大了, 而且随着混合物料中石英所占分数的增加, 方解石组分的碎裂速率函数增大得更多。

上述试验现象可作如下解释:

(1) 由于单一物料磨矿和混合物料磨矿

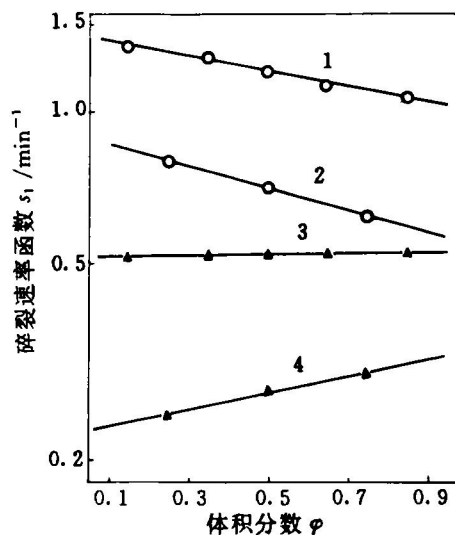


图3 石英-方解石混合物料中组分的碎裂速率函数  $s_1$  与其所占体积分数  $\varphi$  的关系

1— $d 245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  磨机,  $14 \times 20$  目给料, 石英组分;

2— $d 200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  磨机,  $8 \times 10$  目给料, 方解石组分;

3— $d 245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  磨机,  $14 \times 20$  目给料, 方解石组分;

4— $d 200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  磨机,  $8 \times 10$  目给料, 石英组分

时，入磨物料的总容积不变，因此，两种物料的混合磨矿可以看作是以一定体积的另一物料置换了单一磨矿时的部分物料，从而改变了原来单一均质物料的磨矿环境。对于较软组分方解石来说，可以把较硬物料石英组分的加入看作是额外地加入了一部分磨矿介质，这部分较硬物料对较软组分产生磨剥作用，从而增加了方解石的碎裂速率。方解石物料的脆性及其颗粒的条状、板状也加强了这一作用的效果。

(2) 由于方解石的碎裂强度低于石英的碎裂强度，当这两种物料颗粒同处于磨矿介质之间时，在磨矿介质的冲击作用下，方解石颗粒在冲击力达到石英的碎裂强度之前已先行碎裂，此时，较软物料方解石对较硬物料石英产生缓冲作用，从而使得较硬组分的碎裂速率降低，而较软物料组分的碎裂速率则由此增加了。

(3) 很明显地，随着较硬组分体积分数的增加，较软组分所受磨剥作用的机会增大，这就使得在石英 - 方解石混合物料磨矿时，随石英体积分数的增加，方解石的碎裂速率增大得更多；相反地，随着较软组分体积分数的增加，较硬组分所受的缓冲作用增强，从而使得较硬组分石英的碎裂速率降低得更多。

从图 3 中可以看出，组分的碎裂速率函数与该组分所占体积分数的关系在半对数坐标纸上为直线。直线的方程可以写作：

$\ln s_1 = K\varphi + \ln A \quad 0 < \varphi < 1.0 \quad (2)$

或  $s_1 = Ae^{K\varphi} \quad 0 < \varphi < 1.0 \quad (3)$

这里， $\varphi$  为组分在混合物料中所占的体积分数， $A$ 、 $K$  为常数。

按式(2) 对试验数据进行线性回归，其结果如表 1 所示。这样，在本文的试验条件下，石英和方解石组分在石英 - 方解石混合物料磨矿过程中的碎裂速率函数  $s_1$  可用下列式子描述：

对于  $d245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  磨机

$$\begin{cases} s_{1Q} = 0.5133e^{0.0330\varphi_Q} \\ s_{1C} = 1.4268e^{-0.3107\varphi_C} \end{cases} \quad 0 < \varphi < 1.0 \quad (4.1)$$
$$(4.2)$$

对于  $d200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$  磨机

$$\begin{cases} s_{1Q} = 0.2261e^{0.3999\varphi_Q} \\ s_{1C} = 0.9232e^{-0.5153\varphi_C} \end{cases} \quad 0 < \varphi < 1.0 \quad (4.3)$$
$$(4.4)$$

在上列各式中， $Q$  表示石英， $C$  表示方解石。

表 1  $A$ 、 $K$  值的线性回归结果

| 线性回归结果 | $d245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$ 磨机 |         | $d200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 磨机 |         |
|--------|------------------------------------------|---------|------------------------------------------|---------|
|        | 石英                                       | 方解石     | 石英                                       | 方解石     |
| $A$    | 0.5133                                   | 1.4268  | 0.2261                                   | 0.9232  |
| $K$    | 0.0330                                   | -0.3107 | 0.3999                                   | -0.5153 |

从表 1 可见，常数  $A$ 、 $K$  值的大小与磨机尺寸、磨矿条件及另一组分的碎裂特性有关。

3.2 组分碎裂分布函数  $b_{ij}$  的变化规律

上面我们讨论了混合物料磨矿过程中其组分的碎裂速率函数的变化规律。在分批磨矿动力学模型中，另一个重要参数是碎裂分布函数  $b_{ij}$ ，下面讨论混合物料组分  $b_{ij}$  的变化情况。

图 4 为石英、方解石和黑钨矿三种物料在

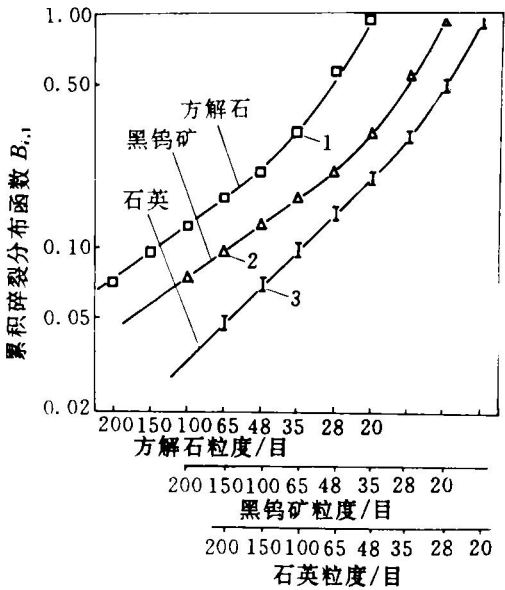


图 4 物料在不同磨矿环境中的累积碎裂分布函数  $B_{i,1}$

( $d245\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  磨机， $14 \times 20$  目给料)

实线 — 单独磨矿；

1— 混合磨矿，5 种石英 / 方解石配比的波动范围；

2— 混合磨矿，石英 / 黑钨矿 = 0.50/0.50；

3— 混合磨矿，石英 / 黑钨矿(0.50/0.50) 和

5 种石英 / 方解石配比的波动范围

单独磨或作为混合物料的一个组分参与磨矿时,其累积碎裂分布函数  $B_{i,j}$  与粒度的关系。

从图中可以看出,本研究所用的三种物料在单独磨矿和混合磨矿时,各自的累积碎裂分布函数基本上是保持不变的。考虑到试验误差的存在,可以认为:某一物料,无论是单独磨矿,还是作为混合物料的一个组分且任意混合比时,其累积碎裂分布函数是相同的。由于碎裂分布函数  $b_{ij}$  是可以规范化的,累积碎裂分布函数  $B_{i,j}$  相同即意味着  $b_{ij}$  相同。

已有许多研究者发现<sup>[4,5]</sup>,  $b_{ij}$  只与物料种类有关,而与磨机尺寸、磨矿操作条件无关。本文又得出结论:  $b_{ij}$  不受另一组分存在的影响。所有这些都说明,对于特定物料,其碎裂分布函数  $b_{ij}$  与磨矿环境无关。

### 3.3 组分 $s_i$ 、 $b_{ij}$ 变化规律的应用

综上所述,某一组分的存在对另一组分的碎裂分布函数  $b_{ij}$  不产生影响,该组分对另一组分碎裂特性的影响是通过组分碎裂速率函数的变化表现出来的。和单独磨矿时相比,混合物料中较软组分的碎裂速率增加了,而且随着较硬组分所占分数的增加,较软组分的碎裂速率增加得更多。

在实际磨矿过程中,如果较软组分为有用矿物,则较硬组分脉石的存在会增加该有用矿物的碎裂速率,引起过粉碎。黑钨矿石的磨矿过程就是这样一种情况,因此,在黑钨矿石通过粗碎作业以后,用手选法除去硬度较大的脉石,不仅减少了进入后续作业的矿石量,节省了中细碎、磨矿和选别作业的费用,而且有利

于降低有用矿物黑钨矿的过粉碎。

同样地,本研究查明的组分间的相互影响规律,对于在磨矿工艺中视具体情况采用阶段磨矿、阶段选别,中矿再磨、精矿再磨等具有现实的指导意义。

## 4 结论

(1) 在混合物料的磨矿过程中,组分的碎裂分布函数  $b_{ij}$  与该物料单独磨矿时相同且不受物料混合比以及另一组分碎裂特性的影响。

(2) 和单独磨矿时相比,混合物料中组分的碎裂速率函数由于组分间的相互作用而发生变化,组分的  $s_i$  值与该组分在混合物料中所占体积分数的关系可用  $s_i(\varphi) = Ae^{K\varphi}$  来描述。式中的常数  $A$ 、 $K$  与磨机尺寸、磨矿条件以及另一组分的碎裂特性有关。对于较硬组分  $K$  值为正,而较软组分则为负。

(3) 本研究查明的组分间的相互影响规律对于选择合适的磨矿工艺以减少有用矿物的过粉碎具有实际指导意义。

### 参考文献

- 1 Reid K J. Chemical Engineering Science, 1965, 20: 953—963.
- 2 刘开忠等. 矿冶工程, 1988, 8(3): 42—46.
- 3 熊维平等. 中南矿冶学院学报, 1983, 增刊 1: 1.
- 4 Austin L G *et al.* Powder Technology, 1979, 23: 169—178.
- 5 Shoji K *et al.* Powder Technology, 1980, 25: 109—114.