

# 砂轮式磨粉机制粉过程分析\*

徐长白 易移成 邱 益

(郑州工学院) (省冶金研究所) (郑州工学院)

**摘 要:** 粉体制备是当今工业发展重大课题, 本文通过对砂轮磨粉机的研制初步获得的有关技术数据, 提出了砂轮磨粉机工作机理和磨粉过程能耗分布, 对研制新型多系列砂轮磨粉机提供理论依据。

**关键词:** 磨粉机, 磨损, 分析

**中国图书分类号:** TU231.3:TD451

磨粉就是将物料从较粗颗粒(2~3mm)粉碎为0.1mm以下粉末的过程。机械磨粉机是用物理方法对物料施加力作用, 在不改变物料基本化学、物理特性条件下制成粉末的设备。在工业上磨粉主要用途是:

①磨粉是某些工业生产中不可缺少的工序, 如冶金选矿, 特别是稀有贵金属的选矿。大多数矿石中有价矿物嵌布粒度很细, 一般都在0.074mm(200目)左右, 为了使有价成份分离, 需将矿石粉碎到200目以下。

②磨粉是使物料比表面增加的过程(单位体积物料的表面积), 随着粉末变细, 比表面增大, 表面能增加加速物料化学反应。这一过程可用于催化剂、吸附剂和助燃剂的生产。

③磨粉常用于粉末冶金和陶瓷工业的原材料制备, 对上述制品的质量和效益起着重要的作用。

④磨粉也是某些工业最终产品的需要。这在食品、医药、农药中有许多例子, 如速溶食品、高级化妆品、涂料等。

磨粉是工业中常见的工序, 磨粉设备也是多种多样的, 最常见的如球磨机、棒磨机、盘磨机, 风扇磨等, 其共同特点是产量高, 能耗低, 体积大, 是磨粉的支柱设备, 广泛用于建材、发电、冶金选矿等, 磨粉的发展要求最终产品粒度越来越细, 即所谓超细粉生产, 粒度要求在 $10\mu\text{m}$ 甚至 $1\mu\text{m}$ 以下, 磨得越细, 产品和设备价值成指数上升。对于球磨机要磨出粒度小于 $37\mu\text{m}$ (400目)就很困难了, 长时间研磨会出现粒度不再变化的所谓“磨矿限”现象。磨粉工序中还有一些特殊要求, 例如无含铁或微铁的粉末, 这些粉末多用在绝缘器件生产, 而在上述磨粉机上是不能实现的, 还有一些用量较少的粉末如实验室

\* 收稿日期: 1990.04.24

用粉末,若采用落差原理的球磨机则设备庞大,不宜采用。基于以上各种条件,近年来大量兴起振动磨、射流磨、胶体磨、风选磨等等,则各自有不同特点:或适于超细粉生产,或体积小使用机动灵活,或能耗低等等,以适应各种粉末生产的需求。平面砂磨或砂条磨粉机是工业磨粉机的一种新机型。它利用高速运转磨具对物料进行犁削磨粉,具有结构简单,小型灵活,既可干磨又可湿磨,还可通以保护气氛工作,可更换不同砂轮,调整不同速度,适合各种物料的磨粉等特点,尤其是这种磨粉机是不含铁或微铁磨粉,对于生产高绝缘制品有重大意义。国外的砂轮砂条磨粉机主要是进行超细粉生产。根据日本研制报告用这种方法生产石英粉全部在200目以下,其中 $4\mu\text{m}$ 粉末以下为54%。日本、西德、加拿大、美国都已开发了若干新品种砂轮砂条磨粉机,我国国内尚未有报道此类设备的研制和生产。我省是磨料磨具主要研究和生产地,对开发此类产品有其独特条件,从工业生产实际出发,开发这类产品必将产生可观的经济效益和社会效益。

## 1 磨粉过程一般分析

1.1 磨粉过程的施力大致有以下三种:如图1所示。

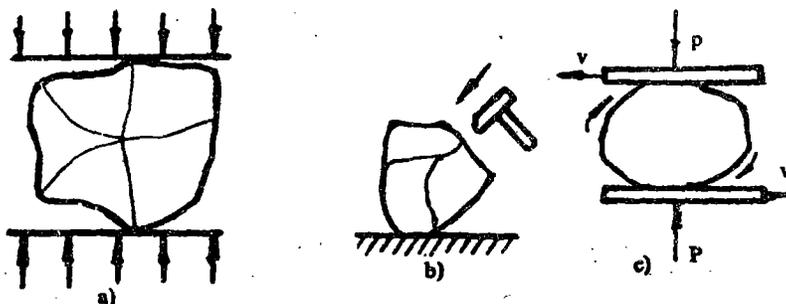


图 1

①在压力作用下,由于物质非均匀性使沿薄弱解理面或晶界产生裂缝,造成局部或整体粉碎。

②冲击和打击条件下使施力器械动能迅速转变为物料局部巨大应力集中,应力波传播中在物料脆弱面萌生裂纹,在应力发散不出而集中之处产生局部颗粒(粉末)脱落。

③磨擦在交变载荷作用下使物料内产生裂纹并迅速生长使之粉碎,即所谓磨擦疲劳粉碎。

可见物料粉碎的能耗主要表现为:

- ①颗粒(粉末)在形成前产生形变的位能;
- ②颗粒(粉末)形成后表面能;
- ③磨介与物料之间磨擦能;
- ④物料与磨介振动和疲劳耗散功。

1.2 磨粉功耗:物料破碎和粉碎其功耗计算有三种假设即:

- ①面积假设:即被碎功耗与破碎过程所增面积成正比,也就是说,新增功耗 $dA$ 与新

增面积  $dS$  有以下关系:

$$dA = k_1 dS$$

② 体积假设: 破碎与粉碎新增加功耗  $dA_2$  与过程中物料变形体积  $dV_2$  成正比, 即:

$$dA_2 = k_2 dV$$

③ 裂缝假设: 破碎过程中外力沿物料产生裂纹进而裂为碎块, 其破碎功与破裂部分体积和面积几何平均值增量成正比, 即:

$$dA_3 = k_3 d\sqrt{VS}$$

磨粉特别是超细粉的功耗计算, 是以面积理论进行计算的, 从下表可以看出: 当一块边长为  $1\text{cm}$  的立方体按表中形式切分时, 其比表面积的变化。

每边元 $a = \text{cm}$	微粒数	微粒比表面 $\text{cm}^2 / \text{cm}^3$
1	1	6
$10^{-1}$	$10^3$	$6 \times 10^1$
$10^{-2}$	$10^6$	$6 \times 10^2$
$10^{-3}$	$10^9$	$6 \times 10^3$
$10^{-4}$ ( $= 1\mu$ )	$10^{12}$	$6 \times 10^4$ ( $6m^2$ )
$10^{-5}$	$10^{15}$	$6 \times 10^5$
$10^{-6}$	$10^{18}$	$6 \times 10^6$
$10^{-7}$ ( $= 1\mu\mu$ )	$10^{21}$	$6 \times 10^7$ ( $600m^2$ )

可见当磨粉特别是超细粉生产, 能耗绝大部分表现为表面能耗。在公式  $dA_1 = K_1 dS$  中,  $K_1$  为单位新增表面所需功, 它与材料、机器型式等有关, 需经长期试验才能确定, 这也是今后我们继续进行的工作之一。

1.3 磨粉效能的判据: 上述面积功与物料性质、机器参数有关, 要判别磨机效率可由以下诸方面综合比较。

#### 1.3.1 被磨物料特性

① 强度与脆性: 抗压强度大于

$$\sigma_u = 25000\text{N} / \text{cm}^2 \text{ 为硬脆材料;}$$

$$\sigma_u = 4000 \sim 25000\text{N} / \text{cm}^2 \text{ 为中硬材料;}$$

$$\sigma_u < 4000\text{N} / \text{cm}^2 \text{ 为软材料。}$$

② 普氏硬度系数  $f$ :  $f$  值为材料抗压强度百分之一,  $f$  自  $0.3 \sim 20$ 。根据  $f$  值将物料分为十类。

③ 矿物硬度: 以莫氏硬度表示, 分为 10 级。

1.3.2 磨粉效率, 对于磨粉效率目前尚无统一定义, 多数是指每生产一吨粒度小于  $0.074\text{mm}$  (200 目) 粉料所消耗的能量。其不完善之处在于: 一是没有考虑物料种类, 二是没有考虑进料粒度。

1.3.3 粒度: 磨粉能耗与粒度有严格关系。粒度通常以筛孔号数表示, 即以目数来表征。对超细粉要用显微镜来确定。由于磨粉往往不均匀, 因此要列出颗粒群粒度组成表示, 通常有①列出粒度表格 (组成百分数); ②粒度曲线。应当指出粒度分布均匀本身就是

判断磨粉机优劣的重要依据。

## 2 平面砂轮磨粉机理探讨

设计的平面砂轮磨粉机有两种类型,如图2示,其一为立式,型号为MF-300;其二为卧式,型号为DG-300。进料可为直立式侧边加料,都有一对平面砂轮,由电机驱动,砂轮进给有螺旋微调,进料口都装有初碎刀盘。

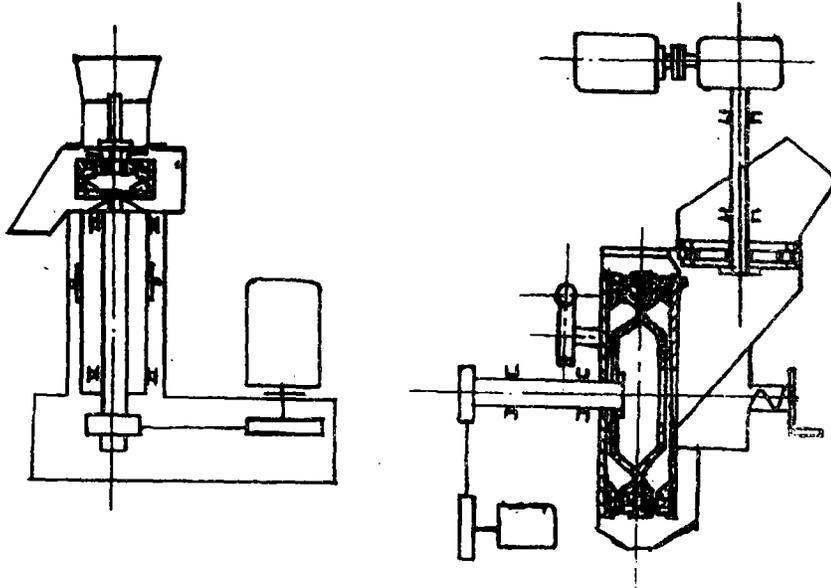


图 2

平面砂轮磨粉机核心部分为一对对磨砂轮,如图3示。

一对砂轮中一片旋转另一片静止,相互保留一定间隙。物料自中心加入,在离心力作用下进入两片砂轮之间,经磨粉后自砂轮周围飞出。砂轮本身组成要求①磨粒:其硬度通常高于物料硬度,常有铝凡土  $Al_2O_3$ ,天然刚玉,碳化硅直至人造金刚砂,这些材料硬度都在莫氏硬度9度或更高,具有较高硬度和锋利刀刃,②粘结剂:使磨料固结并在压力下烧结成型,结合剂应有足够强度使工作磨粒不致脱落。保证磨刃磨去一层之后新的锋利磨刃又重新出现。

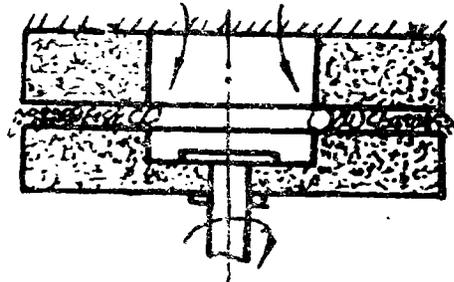


图 3

2.1 砂轮磨粉原理:分为三个阶段;

2.1.1 变形磨损阶段:

物料导入两砂轮之间,如图4示。

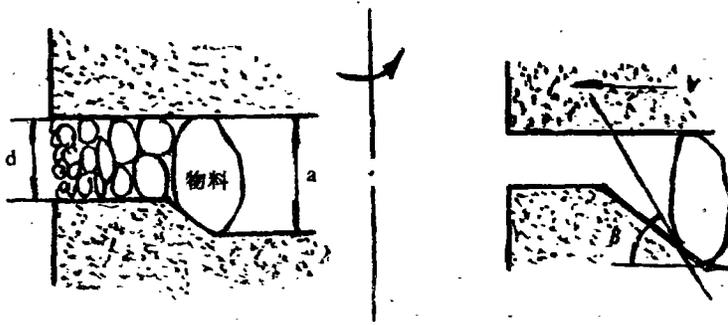


图 4

通常加入物料直径  $d$  远比砂轮间隙  $a$  大, 物料粗颗粒在离心力作用下沿斜面进入啮合区, 在磨粒对进入物料多次冲击下较粗物料产生变形而碎裂从而进入两砂轮之间。物料在进砂轮以后起初阶段所产生的作用通常称为变形磨粉, 变形磨粉产生物料颗粒较大的峰峦形状不适于切削磨粉。变形磨损发生过程是, 当材料表面受到砂轮撞击作用, 由于物料不能有足够时间产生变形以缓和应力致使物料产生裂纹, 使砂轮与物料接触点产生延性断裂或脆性分离, 因此变形磨损又称为脆性材料断裂损耗。

彼德 (Petri) 分析冲蚀现象对变形磨损有如下数学模式:

$$\text{磨损物料体积: } W_1 = \frac{1}{2} M \frac{(V \sin \alpha - K)^2}{e}$$

式中:  $M$ —砂轮颗粒嵌入物料部分质量;  $V$ —砂轮相对接触被磨物料速度;

$\alpha$ —冲击角;  $K$ —弹性碰撞时最大速度;  $e$ —磨去单位体积物料所需能量。

从实验所获结果知: 变形磨粉与砂轮间隙、粗糙度关系密切, 但与物料硬度关系较小。

### 2.1.2 切削磨粉阶段:

当物料经过变形磨损碎裂之后, 充满于两砂片之间如图 5 示, 若以  $P$  表示物料颗粒, 以  $(A)$ 、 $(B)$  表示上下砂轮的磨粒,  $P$  不依附  $(A)$  和  $(B)$ , 即  $P$  对  $(A)$  和  $(B)$  均有相对滑动速度, 此时磨粒之刀刃即对物料颗粒进行犁削。

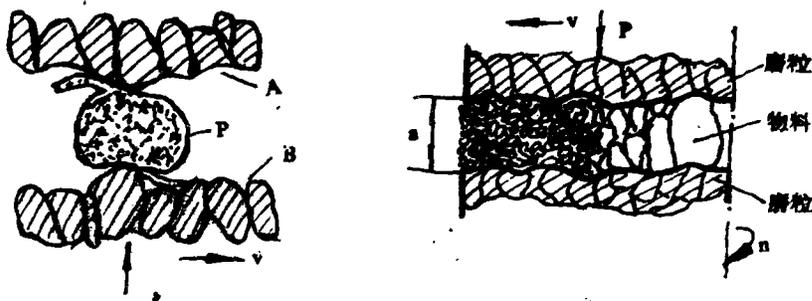


图 5

据切削 (犁削) 磨损实验有关资料介绍, 有以下几方面影响切削磨损效果:

① 两片砂轮磨粒硬度大于被磨物料, 才能达到磨粉中粉末以物料为主, 不然砂轮磨粒

被磨成粉末。当砂轮磨粒硬度  $H_a$  与物料硬度  $H_M$  之比  $\frac{H_a}{H_M} \geq 1.2$  时, 才能使磨粉粉料中基本上是物料成分。物料过软则降低磨粉切削效果, 因物料易嵌入砂轮。

② 物料的粒度对切削磨粉效果产生影响: 物料粒度大容易导致切削磨损, 粒度小则磨损小, 因小粒度为弹性支承, 分散了破坏力, 可见切削磨粉尚无法产生微粉 (超细粉)。

### 2.1.3 粘附磨粉和疲劳磨粉

被切削或变形磨损的粉料在砂轮周边处与旋转磨粒接触, 磨粒峰端啮合物料小颗粒在滑行时产生了粘附磨损, 这种磨损将产生较细粉末, 如图 6 示。

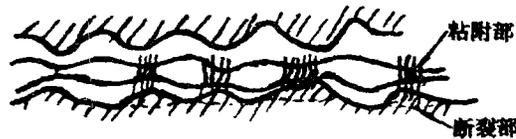


图 6

根据粘附转移磨损理论, 物料磨损体积  $V_3$  为:  $V_3 = K_3 \frac{P}{H_a} S$

式中:  $K$ —为磨损系数;

$P$ —为物料所受负荷压力;

$H_a$ —为物料加工硬化后硬度;

$S$ —滑行距离。

可见生产粉末效率与砂轮对物料压力  $P$  和滑行距离成正比, 与物料硬度成反比。对于平面砂轮磨粉机  $P$  的形成是由于被磨物料填塞两砂轮之间而造成砂轮反作用力, 两砂轮之间有一间隙, 其中被磨物料小于砂轮间隙如图 7 示, 则  $P=0$ ,  $V_3=0$ , 则粘附磨粉就停止。当填塞物料过多  $P$  升高过大, 将使砂轮折断, 可见控制合理  $P$  值是生产微粉关键。这在研制过程中得到了充分证实。还要指出: 由于物料产生粘附磨损, 使物料转移, 再产生脱离母体而剥落, 脱离的生成是受拉压和交变应力的结果, 即产生疲劳磨损, 据有关疲劳损耗实验发现: 磨损耗  $W \propto P^n$ ,  $P$  为物料受压力,  $n$  为 1~8。

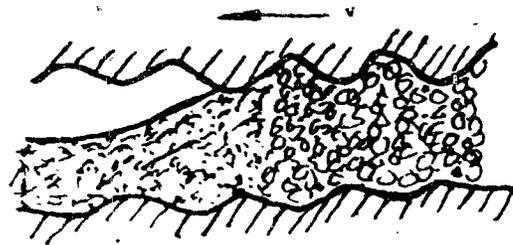


图 7

高应力则会形成鳞剥, 引起高的磨损, 同时高应力导致疲劳的周期循环数和应力成比例降低, 可见控制压力  $P$  对生产超细粉很重要。

## 2.2 平面砂轮磨粉机主要参数对磨粉质量的影响

平面砂轮磨粉机设计完后经湖北、河南两厂家制造出数台样机, 经反复多次试验, 后又经郑州第二砂轮厂参与试制磨粉砂轮, 取得阶段成果。经多次试验发现了影响磨粉质量的因素, 获得突破性进展, 为今后设计新型砂轮磨粉机打下良好基础。

2.2.1 砂轮的几何形状。现已进行了两组不同外形砂轮的比较试验, 如图 8 示。

一组为凹形(A), 另一组为碗形(B), 在相同生产条件下进行试验, 发现(A)组磨损严重, 磨损情况如图8示锯齿形, 磨出磨粉很粗。(B)组磨损很轻而且颗粒均匀。这种情况重复几次。分析原因是: 在(A)情况下比

$$\text{值 } C = \frac{r_a}{r_b} = 0.65,$$

其a点速度和b点速

度  $\frac{V_a}{V_b} = 0.65$ 。本文认为由于  $V_a$  位于心部, 速度较低, 产生变形磨损和切削磨损条件不

够, 进入粗颗粒物料得不到粉碎, 又由于  $V_a$  与  $V_b$  的差数大, 致使物料进入与排出不均衡, 产生局部堆集, 引起两砂轮接触压力升高, 使物料在被压碎同时也使砂轮磨粒产生剥

离; 采用(B)方案则减轻了砂轮磨损, 当比值  $C = \frac{r_a}{r_b} \leq 0.85$ , 砂轮完全消除了上述锯齿形

波纹, 磨出较细粉末。当  $C = 0.9$  时, 磨出石英粉 186 目以下占 56%, 颜色雪白, 表明砂轮磨粒磨耗较轻, 因此, 初步确定  $C$  应当控制在 0.95 为宜。

### 2.2.2 砂轮间隙对磨粉质量的影响:

确定安装间隙  $M$  直接影响产品粒度, 决不能认为安装间隙  $M$  就是磨粉最终粒度。 $M$  值作用在于使两砂轮之间保证形成料层, 使砂轮对即将产生粘附转移磨粉的物料颗粒施以必要的压力, 而这个压力  $P$  如上所述是粘附磨粉和疲劳磨粉的必要条件。根据实验,  $M$  值以最终磨出微粒直径的 5~10 倍为宜, 当  $M$  值大则粉末明显变粗, 当  $M$  值小于临界值, 机器产生震动和发热加剧。为此调节  $M$  机构要精确和灵活, 建议在今后改进中采用单板机步进电机控制。

### 2.2.3 进料粒度对磨粉的影响

两砂轮之间的进料粒度必须严格控制, 从多次试验得知, 进料颗粒必须小于 1mm, 使破碎比在 20~30 之间, 此外, 加料必须均匀。颗粒大, 加料不均匀, 使砂轮损坏, 磨出粉料明显变粗。由于加料粒度和均匀性比较严格, 而待磨原料粒度普遍偏大和不均匀, 因此在第二次改进设计时, 加了一级组合刀具盘, 以对原料切碎和保证加料均匀。这一改进在以后试验中获得成功。

### 2.2.4 主轴转速

主轴转速, 即砂轮相对转速, 对于磨粉粒度有很大影响。从提高磨粉细度和提高磨粉

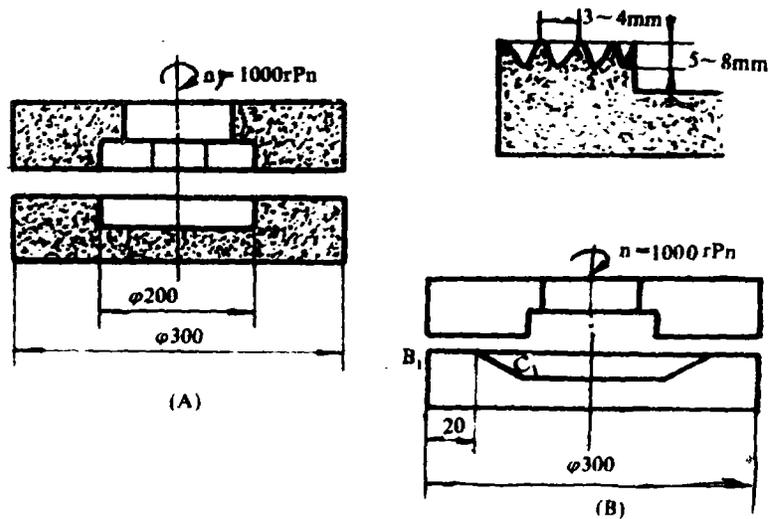


图 8

生产率来考虑, 转速越高越好。从试验可知, 当转速提高, 砂轮边宽比值 $C = \frac{r_a}{r_b}$ 还可以提高, 但是转速提高受到一定限制。这主要是砂轮强度, 通常以保证砂轮周边速率不超过30米/秒来限制其转速, 此外主轴制造精度和机器旋转动平衡条件也必须加以考虑。

### 3 结束语

砂轮(砂条)式磨粉机是国外近年来开发的具有广泛用途的磨粉设备。我们多年研制表明: 砂轮磨粉机具有结构简单, 砂轮供应方便, 使用简便灵活, 适用于干磨、湿磨, 及无铁特殊要求下脆性物料微粉和超细粉生产。此项研制工作使我国在砂轮磨粉研制和产品开发方面迈出了第一步, 为我们设计的新型砂轮磨粉机迅速走向市场奠定了基础。

致谢: 在研制砂轮磨粉机过程中得到材料中心刘迪明同志有力帮助, 他提供的资料, 对我们试制工作起了关键性作用, 在此我们深表感谢。研制工作还得到了郑州第二砂轮厂的帮助, 得到试制厂家的协助, 在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- (1) 任德树编著. 粉碎筛分原理与设备. 冶金工业出版社
- (2) 机械工程手册, 第11卷. 机械工业出版社
- (3) 中国机械工程学会编. 中国工程师手册 机械类, 中册及下册
- (4) 公开特许公报(A) 昭62-155945
- (5) ALERTING ABSTRACTS BULLETIN, 1989. CA1248-760-A

## Analysis of Making Powder Process of Disc Grinding Machine

Xu Changbai Yi Yicheng Qiu Yi  
(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** The technology of making powder is a very important subject for study in the development of modern industry. In this paper, according to the results obtained from the researches on the disc type grinding machine, the working mechanism and the distribution of consumed energy in the making powder process of this kind of machine are presented. These provide a theoretical basis for developing new kinds and new series of disc type grinding machine.

**Keywords:** flour mills, wear, analysis