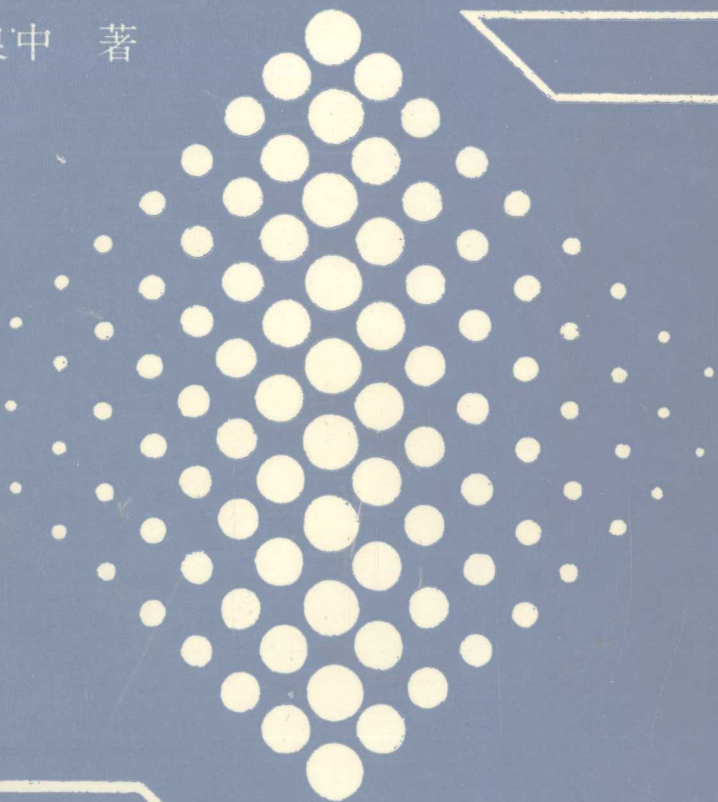


散体的流态(化)运动自磨及设备

俞良中 著



武汉工业大学出版社

散体的流态(化)运动自磨及设备

俞良中 著

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

散体的流态(化)运动自磨及设备/俞良中著,一武汉:武汉工业大学出版社,1996.5

ISBN 7-5629-1097-9

I. 散… II. 俞… III. 粉碎-化工过程-自磨机-化工设备 IV. TD453

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 02184 号

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 14 号 邮编 430070)

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:9.50 字数:250 千字

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—1 000

定价:10.00 元

前 言

目前众多的粉碎机械中,除粗碎外的大多数粉碎都是在散体物料流态运动过程中来实现的。只有在极少数的粉碎设备中,被粉碎散体物料是静止或相对静止的,例如轮碾磨、挤压磨等。因此,抓住粉碎过程中散体流态化及流态运动这个特点,而提出散体流态(化)运动粉碎这一概念,以加深对散体粉碎过程的认识。

特别在细磨和超细粉碎的设备中,散体流态(化)运动自磨的特点更为突出。例如细磨机中的锥盘离心磨,超细粉碎中的高速冲击磨、气流磨、射流磨等等,其粉碎过程都是在散体流态(化)运动来实现的。

散体的流态(化)运动,一般都局限在气体或液体作用下形成流态化及运动,亦即都局限在两相流的范畴中。其实散体的流态化及运动,在单相散体中亦同样可能,散体在机械力或其它的一些物理因素作用下,形成流态化及运动;例如振动运输机中散体物料的运动,边坡的滑移,斜槽中散体在重力作用下下滑等等,都是单相散体流态(化)运动的典型例证。因此,本书中的散体流态化及流态运动包括了单相和两相流这更广泛的范围。

本书中所提出的一些分类方法,多数是基于流态化及流态运动这一概念,是作者自己的看法。此外书中的某些观点是作者个人的认识,因此难免有这样或那样的问题及不足之处,希望批评指正,以加深对问题的认识。

散体流态(化)运动自磨的机理,尚需更加进一步的研究和探索。特别是在实验室中微观定量的分析,还需做大量的工作。因此,作者希望有志于散体流态(化)运动自磨研究的同行,能进行更深入的探讨和研究,以此开发出新的散体流态(化)运动自粉碎设备。

目 录

1 粉碎理论概要	1
1.1 粉碎的意义及分类	1
1.2 强度理论及可粉碎性	4
1.2.1 概述	4
1.2.2 粉碎强度理论	6
1.2.3 物料的可粉碎性	24
1.3 粉碎功耗理论	28
2 关于自磨	36
2.1 自磨的发展过程及其定义	36
2.2 自磨的方式及其分类	38
2.2.1 自磨的方式	38
2.2.2 自磨的分类	39
2.3 自磨的影响因素及生产率	45
2.3.1 影响自磨的因素	45
2.3.2 自磨机生产率计算	49
3 散体力学概要	52
3.1 散体的物理力学性质	52
3.1.1 散体的基本概念、分类及其特性	52
3.1.2 散体的密度(松散密度)	53
3.1.3 散体的松散性	54
3.1.4 散体的孔隙率	55
3.1.5 散体的湿度	56

3.1.6 散体的块度	57
3.1.7 散体的自然安息角	60
3.1.8 散体的外摩擦角	62
3.1.9 散体的内摩擦角	63
3.1.10 散体的粘聚力	68
3.2 散体力学中所采用的假设及动力学有关方程	69
3.2.1 散体力学中采用的假设	69
3.2.2 散体力学的动力学方程	70
3.3 散体相似模拟的动力学相似判据	80
3.3.1 单值相似条件	81
3.3.2 相似变换及动力相似指标(判据)	84
3.3.3 力学方程中仅有体积力为重力的相似 指标式	86
3.4 粉体	87
3.4.1 粉体的概念及分类	87
3.4.2 粉体的性质	88
3.4.3 粉体粒度的测定	101
4 散体的流态化及其运动	108
4.1 流体的概念	108
4.2 散体流态化及其分类	109
4.3 单相散体流态(化)运动	111
4.4 气-固、液-固两相流态化运动	113
4.4.1 两相流的理想流化过程	114
4.4.2 两相流的实际流化过程	115
4.4.3 固定床中气体的流动	116
4.4.4 散体两相流态(化)运动工艺参数	118
4.4.5 旋转流分析	124
5 散体流态(化)运动粉碎机理浅析	128

5.1 粉碎机理浅析	128
5.2 粉碎影响因素	132
6 散体流态(化)运动自磨设备	135
6.1 单相散体流态(化)运动设备	135
6.1.1 大直径横轴圆筒形自磨机	135
6.1.2 立轴锥盘离心旋转流态(化)运动自磨机	146
6.1.3 立轴冲击式粉碎机	151
6.2 固气两相散体流态(化)运动自磨设备	157
6.2.1 高速涡轮冲击超细粉碎机	157
6.2.2 射流式磨机	164
6.2.3 气流磨机	173
6.3 液固两相流态(化)运动自粉碎设备—MЯ型 动力自磨机	204
6.4 单相散体流与气固两相混合型流态(化)运动自磨设备 ——立轴锤破旋风离心自磨机	208
7 流体分级设备	227
7.1 概述	227
7.1.1 流体分级机的分类	227
7.1.2 分级效率与循环负荷率	228
7.2 气固二相流静止叶片式流体分级机 (通过式选粉机)	231
7.3 气固两相流旋转叶片式流体分级机	233
7.3.1 平面叶轮式流体分级机	233
7.3.2 锥状叶轮式流体分级机	234
7.3.3 圆柱状叶轮式流体分级机	236
7.4 自备气流产生装置,物料在机内混合为气固 两相流流体分级机	238
7.4.1 离心式选粉机	238

7.4.2 涡轮式气流分级机	242
7.5 风机供给气流,在机内与物料混合为气固 两相流的流体分级机	244
7.5.1 旋风式选粉机	244
7.5.2 喷射式分级机	247
7.5.3 喷射涡轮式分级机	250
7.5.4 旋转叶片式分级机 (Airsifter、Classifier)	251
7.6 液固两相流流体分级机	253
7.6.1 水力旋流器	253
7.6.2 卧式螺旋离心分级机	259
7.6.3 弧形筛	261
7.6.4 水筛 (Lewis 水筛)	264
8 气固二相流体收集装置——分离器	269
8.1 旋风分离器 (离心分离器)	269
8.2 惯性式分离器	279
8.3 重力式分离器	282
8.4 筛网式分离器	284
8.5 袋式分离器	286
参考文献	299

1 粉碎理论概要

1.1 粉碎的意义及分类

粉碎是把大块物料变小的过程,一般是施加一定的外力克服分子的内聚力或者物料的强度,而使物料碎裂。

在工业生产中,碎矿和磨矿是最基本的工作。例如水泥厂,就需要先用一系列的破碎机械将原料粉碎,烧成熟料,然后再将熟料磨细成水泥。金属冶炼时,先必须将经破碎富集后的原料送入冶炼炉。几乎所有的工业矿物,都必须经过粉碎后方能应用于工业生产中。其它像陶瓷、化工、石油等重要工业部门都与粉碎密切相关。特别是目前高速发展的高科技领域中超细及超微粉的应用,其粉碎的意义就更显重要。可以说粉碎这一古老而又新兴的工艺作业及其产品已经深入社会生产、生活的每个角落。

一般的粉碎作业是分段进行的,要进行分段粉碎的主要理由是日前所使用的设备还不能一次就把巨大的物料粉碎到可以工业使用的细粒。最近虽然已经研制了一些新型破磨机械,例如立轴锤破旋风离心自磨机,它能减少破碎段数,简化部分工艺流程,但入料前仍需进行一次粉碎。又例如反击式破碎机和大直径圆筒自磨机等新技术设备,也还是要分段进行工作的。

根据破碎原料及产物粒度的不同,结合近年来超细及超微细粉体工程的飞速进展,可大致将粉碎作业分为六段,即:(1)粗碎,(2)中碎,(3)细碎,(4)粗磨,(5)细磨,(6)超细或超微细磨。

各段粉碎与产出块度的关系,并不是固定不变的,一般它是根

据生产厂矿的大小及设备能力来确定范围,一般分为两大类。对大型厂矿,则各段的大致粒度范围为:①粗碎:1500~300mm;②中碎:300~75mm;③细碎:75~10mm;④粗磨:10~1.0mm;⑤细磨:1.0~0.074mm。

对于中小厂矿,因其原矿粒度小,一般约为300mm,则粉碎各段分布的范围为:①粗碎:300~75mm;②中碎:75~25mm;③细碎:25~8mm。

每经过一段破碎,物料的粒度有一定程度的缩小。破碎前最大块直径与破碎后产物最大直径比,称为破碎比。即:

$$i = \frac{D_{0\max}}{D_{k\max}} \quad (1.1.1)$$

式中: $D_{0\max}$ ——破碎原料中最大块直径,mm;

$D_{k\max}$ ——破碎产物中最大块直径,mm。

破碎比可以表示出该段破碎把物料缩小的倍数,对一般的破碎机来说,有时以它的最大给矿粒度与排口的大小之比称为破碎比。

以上是以破碎作业的段数及破碎后的块度的观点对破碎进行分类,如果按物料被破碎的方式不同来进行分类,则大致可分以下几类:①挤压或拉伸破碎;②冲击破碎;③切削破碎;④研磨破碎;⑤疲劳破碎;⑥热力破碎及深冷粉碎;⑦Snyder破碎法。

挤压或拉伸破碎,主要是近于静态的加力方法,克服物料的抗压或抗拉强度,使物料破坏粉碎。

冲击是一种极其简单的破碎方法,能在瞬间产生很大的能量,撞击物料而引起破碎。冲击破碎虽然是一种古老而被长期运用的粉碎方式,但对其了解尚很欠缺,在一些问题上不仅定量说明有困难,就是定性说明也不易。

切削破碎是刀具(钻头、截牙、刨刀、锯)施力于被作用的物料上,靠刀角从物料的外层上分离下小块物料的方法。这种方法能耗

大,机械刀具昂贵,产量小,故一般仅用于物料的形体加工、切割及钻孔等。用它来进行粉碎及粉体加工则是极为稀少的,亦可以说是没有的,这里之所以提出,是仅从破碎方法而言。

研磨破碎是利用硬度较高的物料,加压于被粉碎物料表面进行速度不高的滑动或滚动,使被粉碎物粉表面破坏产生细小的粒子脱落粉碎。如果采用同种的物料进行研磨,这就是自研磨。

疲劳破碎,它是物料在某种交变或脉动力的反复作用下,使物料产生疲劳破坏而粉碎,这是近几年来新发展起来的一种新颖的破碎理论和方式。许多韧性的物料在交变脉动力的作用下而呈脆性破坏,而这种施力方法并不要大的作用力即可达到粉碎的目的。利用这种方式,近来已研制成功了几种新的节能破碎机械,本书后面将要叙述的立轴锤破旋流态化自磨机,其破磨原理即是疲劳破碎方式。目前国际上已经研制成功的惯性圆锥破碎机(图 1.1)即是例证。

图 1.1 中(a)和(b)是刚性及弹性基础上同种机型,它是由动锥 1、机架 2、振动器 3、主轴 4、动锥悬挂装置 5、万向联轴节 6、电动机 7 和弹簧悬挂装置 8 等部分组成。动锥 1 在电机驱动下作惯性圆锥面运动,它与外锥之间的间隙是可以任意自改变的。动锥给予物料以脉动交变的剪切应力,使物料沿物料本身的缺陷处产生脆性破坏,形成砂粒状,它是一种节能的制砂机械。

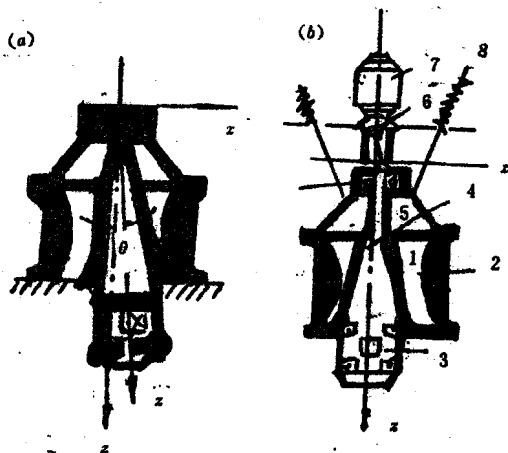


图 1.1 惯性圆锥破碎机简图

另一种新开发的振动颚式破碎机,亦是一种以疲劳粉碎为方式的破碎机械。

热力破碎是将被破碎物料加热或部分、局部加热,使其构造受热膨胀而破坏。特别是对由不同种性质颗粒组成的物料,受热的粉碎性状更为明显。例如目前花岗岩开采中所用的火焰切割机,它利用喷出的高温高速气流,使花岗岩表面温度迅速升高,花岗岩组成的三种成份(石英、长石、云母)产生热胀,但当温度达到五百多度时,石英将停止膨胀,而其它的二种成分将继续膨胀,此时矿岩将产生离析破碎,形成细小的砂粒被高速气流带走。与热力破碎相反的深冷粉碎技术,它是利用物料的低温冷脆性进行粉碎,现代的超低温技术使之成为可能,并已有深冷粉碎机出现。

Snyder 法(斯奈德破碎法)亦称为压力骤然消去法,它与爆破法有相类似的效果。将被粉碎物料置于极高压力的磨碎室中,然后突然瞬间解除压力,使被破碎物料产生爆裂撞击而粉碎。

1.2 强度理论及可粉碎性

1.2.1 概述

强度是固体的重要性质之一,它体现了对外部作用力的抵抗能力,而这种能力又取决于固体内部晶体质点的结合情况。固体为什么能破碎,迄今还没有一个令人信服和完善的解释。只有对晶体的破碎和变形的研究,才对这一问题有比较深入的认识。

晶体的特点是构成它的基本质点(离子、原子或分子)在空间作几何规则的周期性排列,每一个周期就构成了一个晶胞,是构成晶体的基本单位。晶体中质点存在着相互的吸力和斥力,从而保持在平衡位置。质点间的吸力和斥力与质点间的距离密切相关,其斥力随着间距的缩小而急剧增长,反之亦然。当晶体受到外力而被压缩时,斥力的增大超过引力的增大,剩余的斥力就起着支撑外力的

作用。当受到外力拉伸时,引力的减小少于斥力的减小,多余的引力就抵抗外力的分离作用。那么当外力进一步的加大时,质点间多余的斥力或吸力抗不了外力的作用,晶格易被肢解,物料也就产生粉碎。

晶体的破碎前后,将接受一定的能量(ΔV),其产生的效果是增加了若干个新的表面积(ΔS)。由于居于物体表面的晶胞所具的结合能多于中心部分的晶胞,产生新表面积就需要能量,称之为表面能,以 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta V}{\Delta S} \quad (1.2.1)$$

表面能愈大,晶体就愈坚固。图 1.2 给出了几种标准矿物的表面能数值,其中金刚石最大,石膏最小。

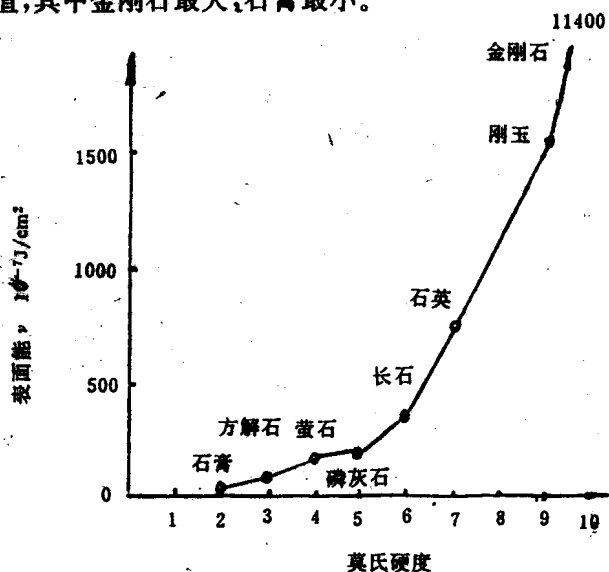


图 1.2 标准矿物的表面能

但是实际上,晶体质点在排列上存在有错位,晶面构造上的缺陷,常使晶体破碎所需的外力要比理论计算值低得多。

1.2.2 粉碎强度理论

用一般材料力学中所提出的三种强度理论来分析矿岩物料的粉碎力学过程,显然存在着很大的实际差别。构成总体的物料,从总体及宏观上看是可以作为均质对待,但从实际和微观上看,却是十分不均匀的,特别是我们所要粉碎的矿岩,更是这样。下面将介绍二种比较切合矿岩实际的强度理论。

C. Д. 伏尔柯夫统计强度理论

(I) 基本观点

在构件中取一微体 W 如图 1.3 所示,对整个构件而言,诸 W 是均匀连续的,它的应力可按一般分析力学来计算。而 W 是由许多更小的微元体 V 构成, V 比 W 更微小,但比晶胞来说又是很大的。对 W 体来说诸 V 的应力状态是不均匀不连续的,它在 W 体中的数目极大,只能用统计的方法来解决。 W 的力学行为,只是 V 的统计表现,正如气体压力是分子运动的统计表现一样。

假定微元 V 在断裂面的拉应力是 S , 诸 V 的 S 值是不等的,它的平均值就是断裂面上的拉应力 σ 。换言之, σ 是诸 S 的数学期望。 W 中有极大的数目 V , 它所包含的 S 值是以 σ 为中心统计起伏的一种分布。 S 大于或小于 σ 的概率是相等的,只是离 σ 愈远出现的概率愈少。作了这样的假定,就可以用正态分布来描述微元 V 的拉应力频率分布。即

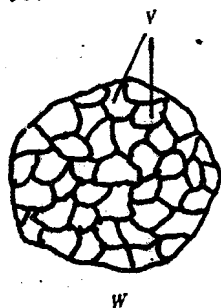


图 1.3 微体 W 由微元 V 集合而成

$$\varphi(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta}} e^{-\frac{(S-\sigma)^2}{2\theta}} \quad (1.2.2)$$

式中 $\varphi(S)$ 是断裂面上的微元 V 的拉应力的出现频率, θ 是分布的模数之平方。

按正态分布模数关系有

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - \sigma)^2 \quad (1.2.3)$$

注意到 $(S_i - \sigma)^2$ 是微元应力起伏的平方, 类似于气体随机速度的平方正比于它的温度一样, $(S_i - \sigma)^2$ 的总和正比例于微元在断裂方向的弹性变形的贮能密度。以 k 表示应力的相空间数 (一般 $k = 3$), 按照能量均分律, 伏尔科夫认为它和总弹性应变贮能密度 u 有如下关系:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2E} (S_i - \sigma)^2 = \frac{u}{k} \quad (1.2.4)$$

于是分布模数 θ 可以用弹性应变贮能表示如下:

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - \sigma)^2 = \frac{2Eu}{k} = mu \quad (1.2.5)$$

上式中的 $2E/k$ 是一常数, 暂用 m 代表, 待以后用材料简单受力情况下的极限强度实测值予以消去。式中弹能密度可用下式计算:

$$u = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (1.2.6)$$

式中: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ —— 三个主应力;

E, μ —— 弹性模量及泊松比。

将 (1.2.5) 代入 (1.2.2), 可得到微元在断裂面上拉应力分布是

$$\varphi(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi mu}} e^{-\frac{(S-\sigma)^2}{2mu}} \quad (1.2.7)$$

当构件上的载荷增加时, W 中的 σ 及 u 都增加, 也就是 V 中的 S 的分布中心及分布模数都随之改变, 如图 1.4

设微元的拉应力极限是 S_n , 那么凡 S 超过 S_n 的微元势必遭到破坏。 V 的破坏概率用 q 表示, 它就是图 1.4 中的阴影部分, 可以由以下积分得到

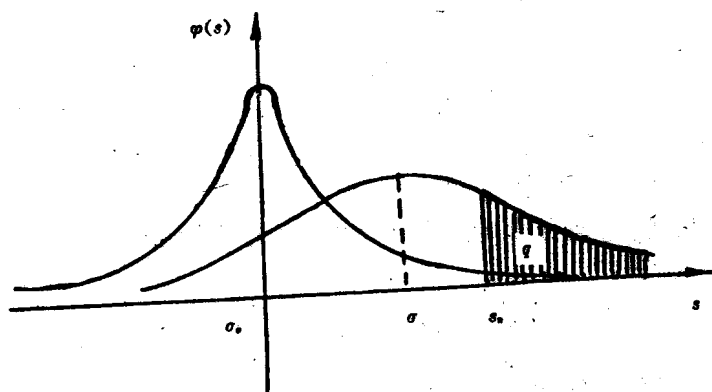


图 1.4 载荷变化时微元中应力分布曲线的变化

$$q = p(S \geq S_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi mu}} \int_{S_n}^{\infty} e^{-\frac{(S-\sigma)^2}{2mu}} dS \quad (1.2.8)$$

随着载荷的增大,微元之应力分布中心右移,形状变钝(图 1.4), q 便增大。这意味着破坏的微元数目增多,微体 W 中的裂纹加密,加密到最后互相交连在一起,并设 q 增大到 q_k ,微裂纹达到互相贯穿或宏观裂纹的程度,微体 W 达到断裂。

总之断裂条件是由于载荷的增长, σ, u 随之加大,后者又导致微元的破坏概率达到某一临界值,即

$$q = q_k \quad (1.2.9)$$

宏观断裂产生。

(I) 断裂条件

用式(1.2.8)来计算 q_k 颇不方便,如改变坐标,把其移到分布中心,采用模数 $\sqrt{mu}$ 作为横坐标,相应地把积分限由 S_n 改为 Z ,则将其改变为标准正态分布方程,即

$$q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Z^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.2.10)$$