

高等学校轻工专业试用教材

玻璃机械设备

齐齐哈尔轻工学院 主编

中国轻工业出版社

编者说明

本教材是根据西北轻工业学院、大连轻工业学院和齐齐哈尔轻工学院共同制定的编写大纲编写的，由齐齐哈尔轻工学院主编，并经轻工业部日用玻璃专业教材编审委员会审定。

本教材由齐齐哈尔轻工学院陈一鹏和西北轻工业学院陈祥龙负责编写。参加编写的人员有齐齐哈尔轻工学院王永华、姜树卿，西北轻工业学院赵承模、李启甲，青岛东风玻璃厂俞晓松，北京玻璃二厂时光裕，上海玻璃器皿一厂许崇霖，广州药用玻璃厂甄锐垣。本教材的主编人为陈一鹏，主审人为上海化工学院杨伦。

本教材注意了加强基础理论的内容，力求做到理论联系实际，反映国内外先进水平。重点阐述日用玻璃的专业机械设备，也介绍了玻璃工业通用机械设备。

日用玻璃主要包括日用器皿和瓶罐两大类，而瓶罐的生产比重较大，约占日用玻璃总产量的百分之七十以上。因此，玻璃机械设备教材内容以瓶罐的生产过程和机械设备为主体，并兼顾玻璃器皿。

本书为轻工院校日用玻璃专业的玻璃机械设备课的试用教材，也可供玻璃工业中的科研人员、设计人员和工厂中的广大技术人员参考。

在本教材编写过程中，得到了上海化工学院、广西轻工业学院、山东轻工业学院、北京玻璃总厂和上海日用器皿公司“七·二一”大学等单位的支持和提供宝贵的意见，在此表示衷心谢意！

由于我们受业务能力和编写时间的限制，本教材中难免存在不少缺点和错误，望读者批评指正，以便在再版修订中改进。

编 者

一九七九年十一月

目 录

第一篇 粉碎机械

第一章 概论	(1)
第一节 粉碎的意义	(1)
第二节 粉碎比和粉碎料性	(2)
第三节 粉碎方法及粉碎机的分类	(5)
第四节 粉碎理论	(7)
第五节 粉碎作业	(12)
第六节 粉碎技术进展	(13)
第二章 破碎机械	(15)
第一节 颚式破碎机	(15)
第二节 辊式破碎机	(23)
第三节 锤式破碎机	(29)
第四节 反击式破碎机	(33)
第三章 粉磨机械	(39)
第一节 笼式粉碎机	(39)
第二节 轮碾机	(41)
第三节 球磨机	(46)
第四节 振动磨	(52)

第二篇 筛分机械

第四章 概论	(57)
第一节 筛分的意义	(57)
第二节 筛分分析和粒度分布	(58)
第三节 筛分效率	(60)
第四节 筛分机理	(61)
第五节 影响筛分过程的因素	(63)
第六节 筛分流程及计算	(66)
第七节 筛分机的分类	(68)
第五章 筛面	(70)
第一节 筛栅	(70)
第二节 筛板	(70)
第三节 筛网	(71)
第六章 筛分机	(74)

第一节	筒形筛	(74)
第二节	摇动筛	(76)
第三节	振动筛	(79)
第四节	概率筛简介	(87)

第三篇 配合料制备机械

第七章	称量设备	(88)
第一节	概述	(88)
第二节	台秤	(89)
第三节	机电自动秤	(90)
第四节	电子自动秤	(94)
第八章	混料机械	(97)
第一节	概述	(97)
第二节	常用混合机及其分类	(104)
一、	艾里赫式混合机	(106)
二、	轮碾式混合机	(107)
三、	桨叶式混合机	(109)
四、	QH 式混合机 (原KWQ型)	(110)
第九章	粒化机	(112)
第一节	概述	(112)
第二节	粒化机	(115)

第四篇 起重运输机械

第十章	起重机械	(120)
第一节	桥式起重机	(120)
第二节	电动葫芦	(126)
第十一章	运输机械	(129)
第一节	皮带输送机	(129)
第二节	斗式提升机	(140)
第十二章	气力输送装置	(146)
第一节	气力输送装置的类型	(146)
第二节	气力输送的特点	(149)
第三节	气力输送装置的基本构件	(150)
第四节	气力输送的设计计算	(154)

第五篇 贮料设备和加料机械

第十三章	贮料设备	(164)
第一节	粉料的性质	(164)
第二节	贮料设备的类型和结构	(167)

第三节	料仓的计算及布置	(174)
第十四章	加料机	(177)
第一节	概述	(177)
第二节	圆盘给料机	(177)
第三节	叶轮给料机	(179)
第四节	胶带给料机	(179)
第五节	螺旋给料机	(181)
第六节	槽式加料机	(183)
第七节	柱塞式加料机	(184)
第八节	薄层加料机	(185)
第九节	电磁振动给料机	(187)

第六篇 防尘和收尘设备

第十五章	概论	(192)
第一节	防尘的意义	(192)
第二节	粉尘的特性及其在空气中的动力特性	(192)
第三节	粉尘的产生与扩散	(196)
第四节	防尘措施	(198)
第十六章	收尘设备	(202)
第一节	概述	(202)
第二节	旋风收尘器	(203)
第三节	袋式收尘器	(209)
第四节	湿式收尘器	(217)

第七篇 供料机械

第十七章	概论	(222)
第一节	供料机的分类	(222)
第二节	滴料式供料原理	(226)
第十八章	滴料式供料机	(228)
第一节	供料槽的作用和类型	(228)
第二节	供料机的机械部分	(231)
第三节	主要零件的选用和调节原理	(243)
第四节	料滴的调整	(245)
第十九章	供料机的进展	(248)
第一节	供料槽中的改革	(248)
第二节	机械部分的改革	(252)

第八篇 成形机械

第二十章	概论	(255)
-------------	-----------------	--------------

第一节	玻璃的成形性质	(255)
第二节	成形方法	(256)
第三节	成形机的概况	(258)
第四节	成形机的种类	(263)
第二十一章	模具	(266)
第一节	模具的分类	(266)
第二节	模具材料	(269)
第三节	模具的设计	(271)
第四节	模具的使用和维护	(285)
第二十二章	行列式制瓶机	(289)
第一节	概述	(289)
第二节	QD ₄ 型行列式制瓶机	(295)
第三节	E型 I.S.制瓶机	(327)
第四节	EF型8组I.S.制瓶机	(335)
第五节	解放20型制瓶机	(369)
第二十三章	转台式制瓶机	(383)
第一节	气动六模制瓶机	(383)
第二节	罗兰特 S 10型制瓶机	(399)
第二十四章	吹泡机	(421)
第一节	SJ694型吹泡机	(421)
第二节	BD72 型 十二模吹泡机	(428)
第三节	M830 型 吹泡机	(435)
第二十五章	其它成形机	(447)
第一节	气动十模压杯机	(447)
第二节	拉管机	(451)
第三节	制球机	(461)

第九篇 其它专用机械

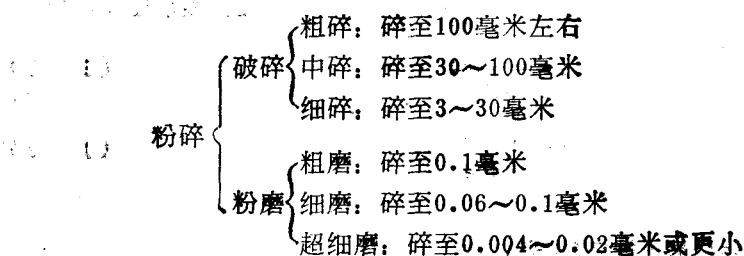
第二十六章	制品的加工与修饰设备	(464)
第一节	爆口机	(464)
第二节	烧口机	(466)
第三节	磨花机	(472)
第四节	印花机	(472)
第二十七章	制品的输送检验与包装设备	(480)
第一节	输瓶机	(480)
第二节	推瓶机	(481)
第三节	选管机	(485)
第四节	瓶罐包装机	(488)
主要参考书刊		(491)

第一篇 粉碎机械

第一章 概 论

第一节 粉碎的意义

用外力克服固体物料的内聚力而将其分裂的操作，称为粉碎。将大块物料破成小块，一般称为破碎；将小块物料碎成细粉，一般称为粉磨。破碎和粉磨统称为粉碎。粉碎的分类分级如下：



生产玻璃制品使用的各种原料，首先必须粉碎成一定的粒度才能进一步加工使用。粉碎的意义为：

1. 均化混合 配合料所用各种原料的粒度愈小，混合的均匀度愈高，愈可促进玻璃的均质化。

2. 增快反应速度 在玻璃配合料的熔制过程中，粒子间的接触表面积是影响熔化反应速度的重要因素之一。因此，在相同熔化条件下，物料粒子愈小，熔化速度愈快。关于粒子大小对玻璃配合料熔化速度的影响见表1-1。

3. 便于剔除有害杂质 对于天然原料，就其化学组份来说一般并不是纯粹单一的。为了剔除有害杂质(如硅砂中的氧化铁)，必须减小其粒度，才能进行分离操作。

4. 提高流动性 固体粉状原料可以利用空气使之流态化，进行气力输送。气力输送便于操作的连续化，一般优于机械输送。

因此，粉碎作业的情况，直接关系着产品的质量和成本。

现代化玻璃工业的粉碎作业，采用各种类型的破碎机械和粉磨机械进行操作。

表1-1

玻璃配合料*粒子大小对熔化速度的影响

粒 子 大 小		熔化速度相对比值
比表面积(厘米 ² /克)	在1000(孔/厘米 ²)筛网上的筛余%	
610	82.3	1
3030	43.0	1.14
7400	13.5	2.40
8200	6.7	2.85
11000	0	4.40

* 采用纯碱的平板玻璃。

第二节 粉碎比和粉碎料性

为了便于研究物料的粉碎过程 and 选择粉碎设备，首先要研究物料的粉碎比和粉碎料性。

一、粉 碎 比

在粉碎过程中，粉碎前后物料直径的比值，称为粉碎比。它表明物料在粉碎前后粒度的变化程度。

由于粉碎前后物料粒度参差不齐，一般用其最大粒径或平均粒径表示粒度。即

$$i = \frac{d_{\text{前大}}}{d_{\text{后大}}} \quad (1-1)$$

或

$$i = \frac{d_{\text{前均}}}{d_{\text{后均}}} \quad (1-2)$$

式中 i ——粉碎比

$d_{\text{前大}}$ ——粉碎前物料最大粒径(毫米)

$d_{\text{后大}}$ ——粉碎后物料最大粒径(毫米)

$d_{\text{前均}}$ ——粉碎前物料的平均粒径(毫米)

$d_{\text{后均}}$ ——粉碎后物料的平均粒径(毫米)

所谓最大粒径，通常以能通过80%(破碎)或95%(粉磨)该物料的正方形筛孔表示。

所谓平均粒径，对于形状不规则的物料颗粒来说，可按下式计算：

$$d_{\text{均}} = \frac{L + b + h}{3} \quad (1-3)$$

或

$$d_{\text{均}} = \sqrt[3]{Lbh} \quad (1-4)$$

式中 L, b, h ——分别为物料颗粒沿三个垂直方向的尺寸(即：长、宽、高)(毫米)

对于含有大小不同颗粒的物料来说，首先要用一套标准筛分级。通过一个筛而留在下一个筛上的物料算作一级，称出各级物料的质量，计算它的平均粒径。

$$d_{n\text{均}} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1-5)$$

式中 $d_{n\text{均}}$ ——某一级物料颗粒的平均粒径(毫米)

d_1, d_2 ——上下两个筛网孔径(毫米)

按下式计算一堆物料颗粒的平均粒径：

$$d_{\text{均}} = \frac{d_1 m_1 + d_2 m_2 + \cdots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \cdots + m_n} \quad (1-6)$$

式中

$d_{\text{均}}$ ——一堆大小不同颗粒物料的平均粒径(毫米)

$d_1, d_2, \cdots, d_n$ ——各级颗粒的平均粒径(毫米)

$m_1, m_2, \cdots, m_n$ ——各级颗粒的质量(千克)

通常把按公式(1-6)方法计算的粉碎前后物料的平均粒径之比，称为平均粉碎比。

此外，也可以用粉碎机的允许最大进料口尺寸与最大出料口尺寸之比表示，通称之为公称粉碎比。

必须指出，在实际粉碎作业中，最大进料粒度，通常总小于允许的最大进料粒度。因此粉碎机的平均粉碎比一般都较公称粉碎比为小(约相当于后者的70~90%)。在粉碎机的选型时应注意这点。

一般破碎机的平均粉碎比为3~30，而粉磨机则通常达300~1000，或1000以上。

对于粉碎机而言，粉碎比是评定机械效能的一项重要指标。对于物料而言，粉碎比的要求是确定粉碎工艺流程和设备选型的依据。

二、粉 碎 料 性

与粉碎过程有关的一些物理性质(如内部结构特征、机械强度、硬度和含水量等)，统称为粉料性。

(一) 固体结构及其对粉碎的影响

制造玻璃制品所使用的各种固体原料，若按理想晶体的结构分类，以离子结构为多(硬度较大)，亦有少数近于分子结构(硬度较小)，极少数为原子结构(硬度最大)。

实际上，所有固体原料的结晶都不是理想的，都具有不连续性和不均匀性，以及各种各样的缺陷。

同时，即使是均匀的晶体，本身亦有许多缺陷。其微观缺陷对粉碎影响不大；其宏观缺陷(由于晶体生产过程中的条件变化、热应力、局部受碰击等所造成的各种空隙、裂缝等)造成的薄弱的点、线或面，影响固体的破碎性。另外，由于构成晶体的单元块(嵌镶块)叠累起来时，并不是规则的，留下许多薄弱的间隙点、间界线或界面。粉碎时，物料沿着这些间界面分裂。但要晶体的单元块粉碎，则比较困难。

综上所述，由于固体物料内部结构特征不同，其粉碎难易程度亦不同。按粉碎的难易程度不同可将被碎料作如表1-2所示的分类。

(二) 机械强度

各种固体原料都具有承受一定外力的机械强度。根据施加外力的性质，机械强度可分为抗压强度、抗折强度、抗剪强度、抗击强度等。粉碎时，当施加的外力超过该物料的机械强度极限时，就发生碎裂。

几种物料的极限机械强度值载于表1-3中。

(三) 硬度

在粉碎过程中，常采用普氏硬度系数来评定原料的硬度。所谓普氏硬度系数(f)是以原料的极限抗压强度($\sigma_{\text{压}}$)除以100计算。

按着普氏硬度系数可以将原料分成五个硬度等级，如表1-4所列。

(四) 含水量

固体物料含水或经冷冻处理，一般都会降低其抗压强度。抗压强度与含水量、冷冻的关系载于表1-5中。

一般固体原料越硬，机械强度越大，越难粉碎，亦即粉碎所消耗的功越大。但是，有的固体原料结构不均匀，具有缺陷和裂缝，有些原料有解理面，有些原料是各相异性的（即沿不同方向的破碎性质不同）。因此，硬度大的物料对机件磨损较大，但往往由于脆反而使其易于粉碎。反之，硬度小也可能因其韧性而难于粉碎。因此，要针对具体原料的种种特性，而采用不同的粉碎方法。

表1-2 被碎料的性质分类

性 质	被 碎 料
硬质、脆性、磨耗性	砂岩、石英、水泥熟料
中硬质、脆性	石灰石、煤、磷灰石
软 质	硼砂、盐
粘结性	粘 土

表1-3 物料的抗压强度及其它强度极限

料 名	抗 压 强 度 (帕)	抗 折 强 度 (帕)	抗 剪 强 度 (帕)	抗 击 强 度 (帕)
辉绿岩	3.43×10^8	2.94×10^8	2.84×10^8	3.53×10^7
石 英	$3.04 \times 10^8 \sim 2.74 \times 10^8$		1.76×10^8	1.15×10^7
石灰石(密)	$9.8 \times 10^7 \sim 1.47 \times 10^8$	1.85×10^7	1.22×10^8	5.14×10^6
石灰石(疏)	$1.96 \times 10^7 \sim 5.88 \times 10^7$			
砂岩(最硬)	$1.47 \times 10^8 \sim 1.96 \times 10^8$			
砂岩(硬)	$9.8 \times 10^7 \sim 1.47 \times 10^8$			
砂岩(中硬)	$5.88 \times 10^7 \sim 9.8 \times 10^7$		2.94×10^8	1.27×10^6
砂岩(不硬)	$3.92 \times 10^7 \sim 5.88 \times 10^7$			
苦灰石	2.16×10^7			
粘土(水2~9%)	$1.96 \times 10^6 \sim 5.88 \times 10^6$			
粘土(水22~26%)	$1.96 \times 10^5 \sim 5.94 \times 10^5$			

表1-4 原料普氏硬度系数

原料硬度等级	普氏硬度系数f	
很 软	< 2	石膏、烟煤、褐煤
软	2~4	泥灰岩、页岩、粘土质砂岩、软质石灰岩
中 硬	4~8	石灰岩、白云石、石英质砂岩
硬	8~10	坚硬石灰石、硬砂岩、石英岩
很 硬	> 10	花岗岩、玄武岩、硬石英岩

表 1-5

抗压强度与含水量、冷冻的关系

被 碎 料	抗 压 强 度 (帕)	抗压强度减少率 %		含 水 量 (%)
		水 分 饱 和 (12~120小时)	冷 冻 1~15°C (24小时)	
A 粘 土	$1.96 \times 10^8 \sim 5.88 \times 10^8$	—	—	2~9
	$1.96 \times 10^8 \sim 2.94 \times 10^8$	—	—	22~26
B 石 灰 石	1.01×10^8	5	7	0.3~5.0
	9.04×10^7	8	10	1.0~10.0

第三节 粉碎方法及粉碎机的分类

一、粉 碎 方 法

玻璃工业中采用的粉碎方法，主要是靠机械力的作用。最常见的粉碎方法有五种：

(一) 压碎

如图1-1a所示，物料在两个破碎工作平面间受到缓慢增加的压力而被破碎。它的特点是作用力逐渐加大，力的作用范围较大，多用于大块物料破碎。

(二) 劈碎

如图1-1b所示，物料由于楔状物体的作用而被粉碎，多用于脆性物料的破碎。

(三) 剪碎

如图1-1c所示，物料在两个破碎工作面如同承受集中载荷的两支点(或多支点)梁，除了在外力作用点受劈力外，还发生弯曲折断。多用于硬、脆性大块物料的破碎。

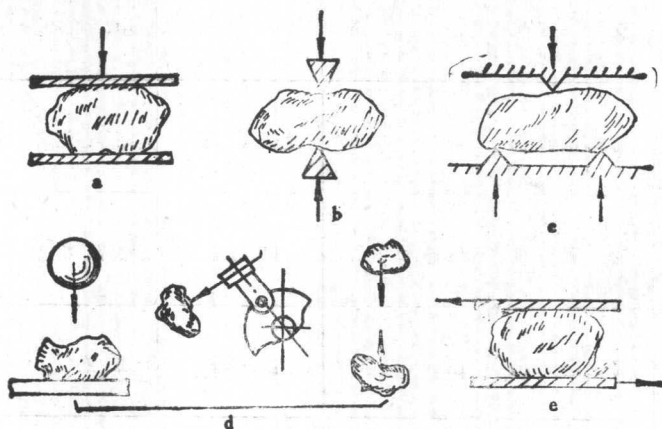


图 1-1 物料粉碎方法

(四) 击碎

如图1-1d所示，物料在瞬间受到外来的冲击力而被破碎。冲击的方法较多，如在坚硬的表面上，物料受到外来冲击体的打击；高速运动的机件冲击料块；高速运动的料块冲击到固定的坚硬物体上，物料块间的相互冲击等。此种方法多用于脆性物料的粉碎。

(五) 磨碎

如图1-1e所示，物料在两工作面或各种形状的研磨体之间，受到摩擦、剪切力进行磨制

而成细粒。多用于小块物料或韧性物料的粉碎。

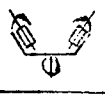
目前使用的粉碎机械,往往同时具有多种粉碎方法的联合作用,其中以某一种方法为主。不同型式的粉碎机,其处理物料所使用的粉碎方法亦各不同。

二、粉碎机的分类

玻璃工业使用的粉碎机械种类较多,其分类如表1-6所示。

表1-6

粉碎机的种类

分类	图 示	机 名	主要粉碎方法	运 动 方 式	适 用 范 围
破 碎 机		颚式破碎机	压 碎	往 复	粗、中碎 硬质料 中硬质料
		圆锥式破碎机	压 碎	回 转	粗、中碎 中、细碎 硬质料 中硬、硬质料
		辊式破碎机	压 碎	旋转(慢速)	中、细碎 硬质,软质料
		锤式破碎机	击 碎	旋转(快速)	粗 碎 细 碎 硬质料 软质、中硬质料
		反击式破碎机	击 碎	旋转(快速)	中、细碎 中硬质料
磨 机		笼式粉碎机	击 碎	旋转(快速)	细碎、粗磨 软脆质料
		轮 碾 机	压碎和剪碎	自、公转	细碎、粗磨 中硬、软质料
		辊 磨 机	压碎和剪碎	自、公转	细 磨 软至稍硬料
		球 磨 机	击碎和剪碎	旋转(慢速)	粗、细磨 硬质磨性料
		振 动 磨	击 碎	振 动	超细磨 硬质料
		自 磨 机	击碎和剪碎	旋转(慢速)	细碎、粗磨 细磨、超细磨 硬质料

上述粉碎机均应满足下列要求:

1. 粉碎机的结构、尺寸与被碎料的强度、尺寸相适应。
2. 粉碎机应保证所要求的产量,并稍有多余,以免在给料量增加时超载。
3. 粉碎机加工后的物料尺寸要均一,粉碎过程形成的灰尘要少。
4. 粉碎机的粉碎过程应均匀不断,粉碎后的物料应能迅速和连续卸载。
5. 能量消耗应尽可能小。
6. 机械的工作部件经久耐用,且便于拆换。
7. 粉碎比的调整方便。
8. 粉碎机应具有保险装置,以免损坏贵重部件,保证安全生产。
9. 重量要轻,尺寸要小,价格便宜,所需管理人员少。

第四节 粉碎理论

一、粉碎过程机理

剖析粉碎过程的机理,迄今还是一个极为复杂的问题。近年来虽曾有过不少较为细致的研究,有了一定的了解,但远未能全面掌握它的规律性,尚待深入探讨。

(一) 粒度分布

一般情况下,一块单独的固体物料在受到突然的打击粉碎之后,将产生数量较少的大粒子和为数很多的小粒子,当然还有少量中间粒度的粒子。若继续增加打击的能量,则大粒子将变为较小的粒子和较多的数目,而小粒子的数目将大大地增加,但其粒度不再变小。这是因为大块物料内部都有或多或少的脆弱面。物料受力后,首先沿着这些脆弱面发生碎裂。当物料粒度较小时,这些脆弱面逐渐减少,最后物料的粒度趋近于构成晶体的单元块(嵌镶块),小粒子受力后往往不碎裂,仅表面受切削而出现一定粒径的微粒。由此可见,小粒子的粒度由物料的性质决定,而大粒子的粒度则与粉碎过程有密切的关系。如图1-2所示,用球磨机粉碎煤的一系列实验证实了上述关系。最初的粒度分布显示出一个单峰型,它相当于比较粗的粒子。但随着粉碎过程的进行,该峰就逐渐减小,并且在一定的粒度下产生第二个峰。这样的过程一直进行到第一个峰型完全消失为止。第二个峰型是物料的特征,可称为持久峰型,而第一个峰型称为暂时峰型。

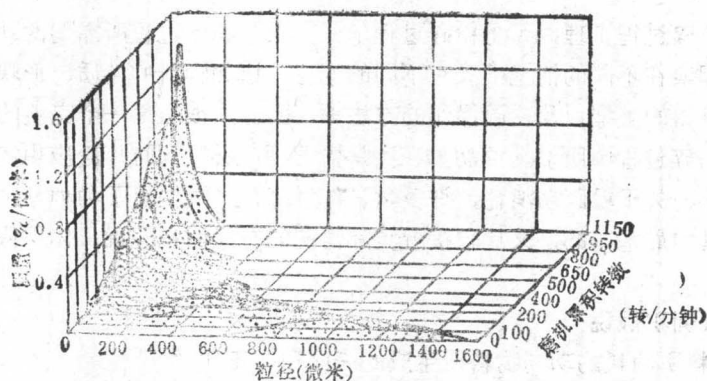


图 1-2 粉碎物的粒度分布变化

(二) 裂缝与应力集中

在理想情况下, 假如所施加的力没有超过材料的应变极限, 则材料被压缩而作弹性变形。当此负荷取消时, 物料恢复原状而未被粉碎。实际上, 在上述情况下, 物料虽未被粉碎 (即没增加新的表面), 却生成了若干裂缝, 特别是扩展了原来已有的那些小裂缝。另外, 由于局部薄弱面的存在 (如解理面, 原有的裂缝等), 或因为粒子形状不规则, 遂使施加的力首先作用在粒子表面的突出点上, 即所谓应力集中。这些原因都会促使少量表面生成。所以,

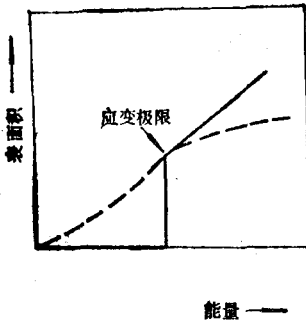


图 1-3 粉碎能量与表面积增加的关系

在图 1-3 所示该阶段的曲线中, 虚线为真实情况, 实线为理想情况。当施加能量等于应变极限时的粉碎效率为最高。当施加能量超过应变极限时, 表面积理应随之直线上升增加, 但由于粉碎后粒子数目逐渐增多, 必然伴随产生粒子的移动和粒子相互间的摩擦, 这方面的能量损失将使其粉碎效率降低。

(三) 粉碎能量的利用

粉碎能量的利用效率与其施加速率关系十分密切。因为在达到最大负荷与引起粉碎之间, 通常有着一个时间的滞后。因此, 若在保持有充分作用时间的前提下, 一个较小的力也将会导致粒子的粉碎。能量的施加与出现粉碎之时间的间隔是能量施加速率的函数关系。施加速率越快,

则能量的利用效率越低。不难推断, 提供给粉碎机的能量不外乎消耗在下列各方面:

1. 消耗在粉碎前颗粒本身产生的弹性变形上;
2. 产生非弹性变形而导致粉碎;
3. 使粉碎机本身发生弹性扭变;
4. 克服粒子间和粒子与机件之间的摩擦阻力;
5. 产生粉碎中的噪音, 发热和机械振动;
6. 粉碎机本身运转部分的摩擦损失。

据分析估计, 大约只有消耗功率的10%左右有效地被利用。使粉碎过程中能量的利用合理化, 这就是研究粉碎过程机理的目的。

二、粉碎功消耗假说

由上述粉碎过程机理, 可见粉碎过程十分复杂。粉碎过程所需要的功与一系列的因素有关, 而这些因素在不同的情况下又有不同的变化。诸如材料的性质、形状、粒度大小及其分布的规律、机器的类型以及粉碎操作的方法等。因此, 很难用一个完整的、严密的数学理论公式来计算粉碎过程中所消耗的功。在实际情况下, 必须同时广泛应用实际资料。

迄今为止, 关于粉碎功消耗, 许多学者作过探讨, 并提出了种种理论假说, 导出许多计算公式。其中最基本的, 又比较接近实际情况的是表面积假说、体积假说和第三假说, 分述如下。

(一) 表面积假说

“粉碎物料所消耗的功与物料新生成的表面积成正比。”

这一假说认为组成材料的内部质点之间具有恒定的引力。因此, 从能量平衡的观点看,

粉碎时消耗在产生新表面上的功，亦即用来拆开质点间的引力，变为物料的表面能。而用在单位面积上的粉碎功与粒子的大小无关。

假设物料的颗粒为球形，则其比表面积为：

$$S = \frac{\pi d^2 Z}{\frac{\pi}{6} d^3 \rho Z} = \frac{6}{\rho d} \quad (1-7)$$

式中：S——物料的比表面积(米²/公斤)

d——物料的平均粒径(米)

Z——每公斤物料的颗粒总数(个)

ρ ——物料密度(公斤/米³)

再设物料粉碎前后的平均粒径为 $d_{前平}$ 、 $d_{后平}$ ，则物料粉碎后新生成的比表面积S为：

$$S = \frac{6}{\rho d_{后平}} - \frac{6}{\rho d_{前平}} = \frac{6}{\rho} \left(\frac{1}{d_{后平}} - \frac{1}{d_{前平}} \right) \quad (1-8)$$

根据表面积假说，物料粉碎过程所消耗的功为：

$$W = K \left(\frac{1}{d_{后平}} - \frac{1}{d_{前平}} \right) \quad (1-9)$$

式中 W——粉碎单位质量物料所消耗的功(焦耳/公斤)

K——系数，与物料的性质、形状、密度有关，要通过实验确定

$d_{前平}$ ——物料粉碎前的平均粒径(米)

$d_{后平}$ ——物料粉碎后的平均粒径(米)

公式(1-9)即表面积假说的普遍式，又称表面积算式。

实际经验证明，表面积算式较接近于细磨作业。

(二) 体积假说

“在相同的技术条件下，将几何形状相似之物料粉碎成形状亦相似的成品时，所消耗的功与其体积或质量成正比。”

这一假说认为完全均匀的弹性体有确定的极限强度值和弹性模数。当其受外力时发生应变，外力增大，应变随之增大，当应力达到物料的强度极限时，则外力的稍微增加即使物料粉碎。其应变关系可以认为符合直线法则。因此，从能量平衡的观点看，粉碎物料所消耗的功，亦即用来产生应力，变为物料的变形功。并且认为一定量物料粉碎时所消耗的功，与粉碎前物料的粒度无关，只与粉碎比有关。粉碎比相同，粉碎功耗亦相同。

假设单位质量的物料粉碎前后的平均粒径为 $d_{前平}$ 、 $d_{后平}$ ，粉碎过程中按n级进行，每级的粉碎比为i，则总粉碎比 $i_{总}$ 为：

$$i_{总} = \frac{d_{前平}}{d_{后平}} = i^n$$

即

$$n = \frac{\lg i_{总}}{\lg i} \quad (1-10)$$

根据体积假说，命上述单位质量物料每级粉碎中所消耗的功为 W_x ，则整个粉碎过程中所消耗的功为：

$$W = nW_x = \frac{W_x}{\lg i} \lg i_n$$

即

$$W = K \log \frac{d_{\text{前平}}}{d_{\text{后平}}} \quad (1-11)$$

式中 W ——粉碎单位质量物料所消耗的功(焦耳/公斤)

K ——与物料的性质、强度等因素有关的系数,可由实验求得

$d_{\text{前平}}$ ——物料粉碎前的平均粒径(米)

$d_{\text{后平}}$ ——物料粉碎后的平均粒径(米)

公式(1-11)为体积假说的普遍形式,也被称为粉碎比算式。

实际经验证明,粉碎比算式较接近于粗碎作业。

(三) 第三假说

“粉碎所消耗的功与碎成料直径的平方根成反比。”

这一假说认为:物料先在压力作用下变形。变形功积累至一定程度,物料中某些脆弱点(或面)的内应力达到极限强度,因而产生裂缝。此时变形的功(位能)就集中于裂缝附近,使裂缝加大,变为产生断裂面所需的功。

从粉碎时要给予被碎料以功能的角度出发,可以认为无穷大的物料,其“功位”为零(即未由外界取得任何粉碎功)。物料由无穷大粉碎至粒度 d 时所需的功(即该粒度时的“功位”)为:

$$W = \frac{K}{\sqrt{d}} \quad (1-12)$$

式中 W ——粉碎物料所消耗的功(焦耳)

K ——与物料性质和粉碎方法有关的系数,可通过实验求得

d ——碎成料直径(以物料中的80%质量能通过的标准筛孔尺寸表示)(微米)

从理论的功位出发,单位质量物料自粒度 $d_{\text{前}}$ 粉碎至粒度 $d_{\text{后}}$ 所消耗的功为:

$$W = K \left(\frac{1}{\sqrt{d_{\text{后}}}} - \frac{1}{\sqrt{d_{\text{前}}}} \right) \quad (1-13)$$

式中 W ——粉碎单位质量(重量)物料所消耗的功(焦耳/公斤)

K ——与物料性质、粉碎方法有关的系数,通过实验确定

$d_{\text{前}}$ 、 $d_{\text{后}}$ ——物料粉碎前后的粒径(以物料中80%质量能通过的标准筛孔尺寸表示)(微米)

公式(1-13)为第三假说的普遍式,亦称第三算式。它原是从综合大量粉碎机械实际操作资料后导出的经验公式。在合适的条件下,可用于一定型式的粉碎机及各种粒度范围的粉碎过程功耗计算。亦可用于各种粉碎机械的选择。同时,在一定程度上,可用它进行各种机械工作效率的比较。或用它进行同一机械在不同工作条件下工作效率的比较。比较的方法是采用一个所谓功耗指数 W_1 作为基础。功耗指数相当于将单位质量物料从理论上的无穷大的尺寸粉碎到粒度为100微米(物料80%质量通过的标准筛孔尺寸)时所消耗的功。即:

$$W_1 = \frac{K}{\sqrt{100}} = \frac{K}{10} \quad (1-14)$$

将 $K = 10W_1$ 代入公式(1-13)得:

$$W = 10W_1 \left(\frac{1}{\sqrt{d_{\text{后}}}} - \frac{1}{\sqrt{d_{\text{前}}}} \right) \quad (1-15)$$

式中 W 、 $d_{\text{前}}$ 、 $d_{\text{后}}$ ——均与前面各式意义相同

W_1 ——功耗指数(焦耳/公斤)其测定值可见表1-7。它适用于不同类型粉碎机的各种干、湿式的粉碎,但是用于干式粉磨时需乘以4/3

表1-7 功 耗 指 数

被 碎 料	密 度 (吨/米 ³)	功耗指数 (焦耳/公斤)
粘 土	2.51	22680
砂 岩	2.68	34488
矿 渣	2.74	36864
长 石	2.59	38880
白 云 石	2.74	40572
玻 璃	2.58	44316
石 灰 石	2.66	45864
煤	1.40	46800
石 英	2.65	49500
	2.67	50760
碳 化 硅	2.75	93132
辉 绿 岩	2.82	75240

第三算式进一步表明,将很细的物料(功位较大)再粉碎时,需消耗更大的功。

实际经验证明,第三算式介于表面积算式和粉碎比算式之间,适用范围较广,接近于粗碎和细磨之间的粉碎作业。

上述粉碎功耗的三个算式,是从不同的角度解释了物料粉碎现象中的某些方面而得出的,各有偏畸。在整理粉碎机实际功耗大量数据的基础上,提供近似算式。如下:

$$W = K \sqrt{\frac{i^{0.5}}{d}} \quad (1-16)$$

式中 W ——粉碎单位质量物料消耗的功(焦耳/公斤)

K ——与物料性质有关的常数(一般硬质料 $K = 1$,中硬质料 $K = 0.5$,软质料 $K = 0.25$)

i ——粉碎比

d ——碎成料粒径(80%质量通过的筛孔尺寸)(毫米)

公式(1-16)可以供作粉碎机选型参考,如图1-4所示。

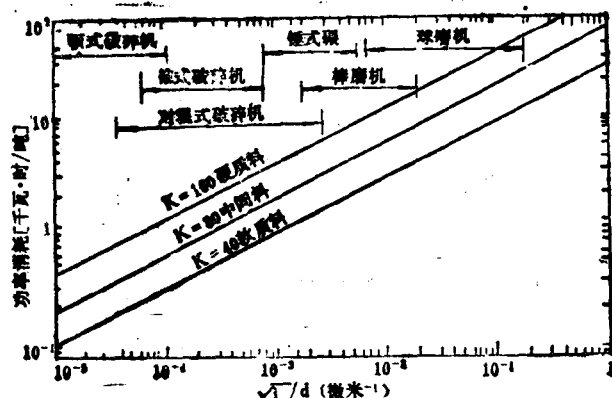


图1-4 粉碎机的功率消耗计算图