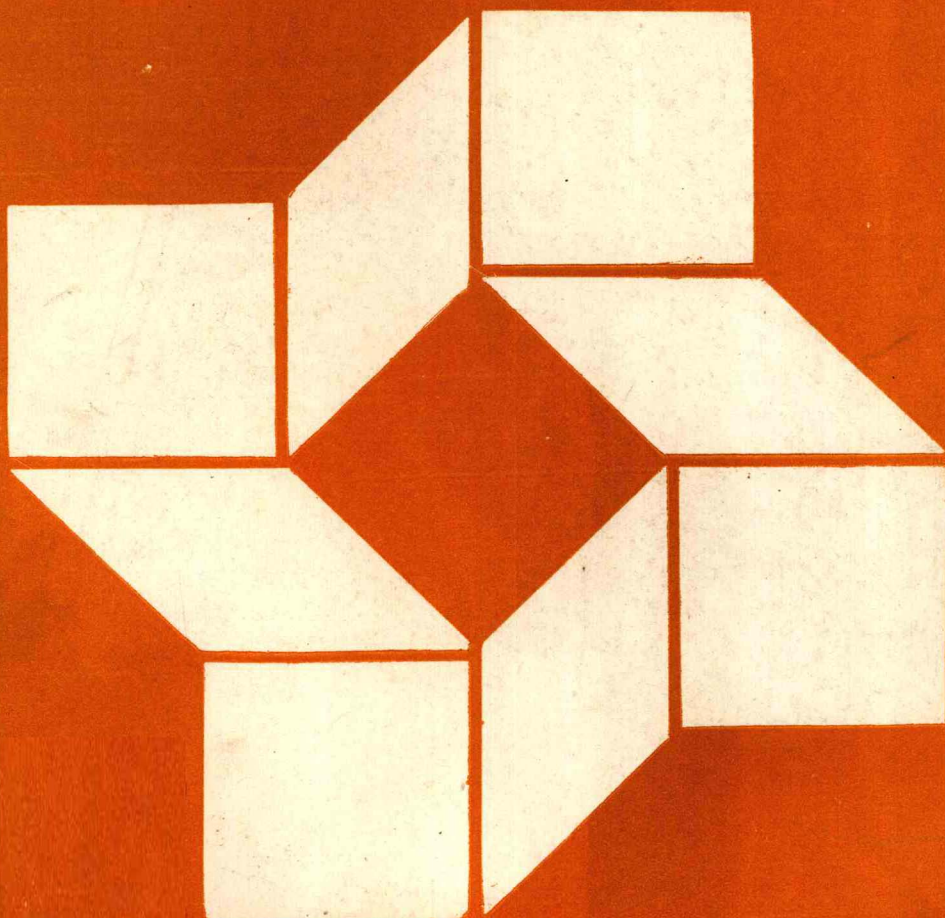


混凝土制品机械



陆厚根 主编

高等学校试用教材



武汉工业大学出版社

高等学校试用教材

混凝土制品机械

陆厚根 主 编

韩瑞根 责任编辑

•

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路14号 邮政编码430070)

各地新华书店经销

湖北省石首市第二印刷厂印刷

•

开本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 311千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数1—2000

ISBN 7—5629—0375—1/TQ·17 定价: 3.95元

前 言

本书根据《高等学校无机非金属材料类专业教材编审委员会机械设备教材编审组》制定的教学大纲编写，作为高等学校“无机非金属材料（胶凝材料及制品）”及“建筑工程材料及制品”专业的主要专业课教材。

本书主要内容为混凝土制品生产中常用机械设备的工作原理、构造、主要参数的确定及计算等。编写时力求少而精、加强针对性，为此精简了机械设备通用性方面的内容，突出阐述与混凝土工艺密切相关的工作机构及其机理等基础知识与基本理论，以培养学生分析问题和解决问题的能力。此外，还注重反映国内外新科技进展。

本书由同济大学陆厚根主编。编写分工：重庆建筑工程学院任漫编写第五章，上海建筑材料工业学院祁振庆编写第二章第一～四节，其余章节全部由同济大学陆厚根编写。全书由东南大学张寿庠教授主审，中国建筑东北设计院宫润梧高级工程师参审。对主、参审在编写过程中给予的热情帮助表示衷心感谢。

由于编者水平所限，谨请读者批评指正。

编 者
1990年3月

目 录

第一章 粉碎机械	(1)
第一节 粉碎概论.....	(1)
第二节 颚式破碎机.....	(6)
第三节 锤式破碎机.....	(14)
第四节 反击式破碎机.....	(17)
第五节 辊式破碎机.....	(24)
第六节 球磨机.....	(29)
第七节 辊式磨.....	(39)
第八节 超细粉磨设备.....	(41)
第二章 称量设备	(44)
第一节 概述.....	(44)
第二节 杠杆秤.....	(45)
第三节 电子秤.....	(49)
第四节 配合比的变换.....	(54)
第五节 秤斗.....	(56)
第三章 搅拌机械	(62)
第一节 概述.....	(62)
第二节 自落式混凝土搅拌机.....	(65)
第三节 强制式混凝土搅拌机.....	(79)
第四节 混凝土搅拌输送车与搅拌泵送车.....	(92)
第五节 无搅拌叶片的摆盘式搅拌机.....	(96)
第四章 密实成型机械	(98)
第一节 振动密实成型机械.....	(98)
第二节 压制密实成型机械.....	(127)
第三节 离心密实成型机械.....	(132)
第五章 起重机械	(141)
第一节 概述.....	(141)
第二节 起重机械的主要零部件.....	(145)
第三节 葫芦.....	(162)
第四节 桥式起重机.....	(165)
第五节 龙门起重机.....	(168)
第六节 塔式起重机.....	(170)
第六章 连续运输机械	(173)
第一节 概述.....	(173)
第二节 胶带输送机.....	(173)
第三节 螺旋输送机.....	(193)
第四节 斗式提升机.....	(199)

第五节 电磁振动加料机.....	(207)
第六节 气力输送装置.....	(216)
第七节 空气输送斜槽.....	(229)
附录 本书使用的国际单位 (SI单位) 与工程制单位的换算关系.....	(232)

第一章 粉碎机械

第一节 粉碎概论

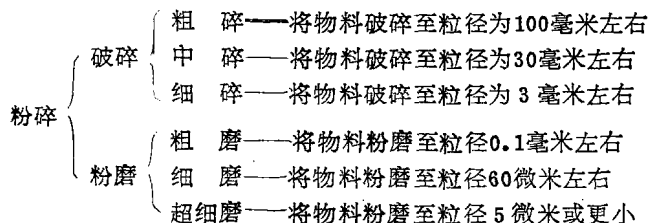
一、粉碎的意义

在外力作用之下，大块固体物料分裂成小块的过程称为破碎，而小块物料分裂成细粉的过程称为磨碎（或称为粉磨），两者统称为粉碎。这个过程所用的外力可以是人力、机械力、电力，也可以是化学能、原子能或其它方法。本书主要讨论在机械力作用下，克服固体物料分子间内聚力，将大块物料分裂成小块、小块分裂成细粉的过程。

固体物料分裂成小块或细粉之后，其单位质量的表面积将增加，因而可以提高物理及化学作用的反应速度。另外，几种不同固体物料的混合，也必须在细粉状态下才能获得均匀的效果。

在建筑材料生产过程中，数量很大的固体原料、燃料及半成品、成品等，往往都要经过破碎或粉磨工序。例如，每生产1吨水泥需要粉碎的物料量约3~3.5吨以上，粉磨物料的电耗约占全部生产耗电量的60~70%，而且，粉碎作业的情况还直接关系到产品的质量和成本。因此，合理地选择粉碎工艺流程及设备，对提高生产率和降低成本具有重要意义。

根据所处理的物料块尺寸大小不同，粉碎作业往往还作如下进一步区分：



二、粉碎比（或破碎比）

在研究粉碎过程的诸问题中，经常要涉及到“粉碎比”这一概念。所谓粉碎比是表示物料在粉碎前后粒度变化的程度。由于破碎机和粉磨机的功率消耗以及产量都同粉碎比有关，因此，它是衡量粉碎过程的基本技术经济指标之一。

通常所说的粉碎比系指平均粉碎比，即粉碎前后物料的平均直径之比，即

$$i = \frac{D}{d} \quad (1-1)$$

式中 D ——粉碎前物料的平均直径（毫米）， d ——粉碎后物料的平均直径（毫米）。

粉碎前后的物料都是由若干个粒级组成的混合体，只有平均直径才能代表它们。用平均直径计算的粉碎比能较真实地反映粉碎程度，主要在理论研究方面应用。

另外，为了简便地表示和比较各种破碎机的这一主要特性，也可用破碎机的最大进料口宽度与最大出料口宽度之比来表示粉碎比，称为公称破碎比。由于给入破碎机的最大料块的直径必须比破碎机的宽度约小15%，才能被破碎机钳住，故以0.85B代表破碎机进料口的有效宽度。因而，破碎机的有效进料口宽度与出料口宽度之比称为有效破碎比，即

$$i = \frac{0.85B}{s} \quad (1-2)$$

式中 B ——破碎机进料口宽度(毫米); s ——破碎机出料口宽度(毫米)。

对于粗碎机, 出料口宽度 s 取最大宽度; 对于中、细碎机取最小宽度。这一计算式在生产上很实用, 因为生产中不可能经常对大批物料作筛分分析, 但是, 只要知道了破碎机进料口宽度和出料口宽度, 即可用式(1-2)算出破碎比。

设计上, 往往采用物料在粉碎前后的最大粒度之比作为粉碎比, 即

$$i = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad (1-3)$$

式中 $D_{\max}$ ——粉碎前物料的最大块直径(毫米); $d_{\max}$ ——粉碎后产品的最大块直径(毫米)。

最大块直径可由筛析曲线(即粒度特性曲线)求得。我国与苏联取物料的95%能通过的筛孔宽度作为最大块直径; 美国、英国等则取物料的80%能通过的筛孔宽度作为最大块直径。

由于实际最大进料块尺寸通常总小于进料口的有效宽度, 因此, 破碎机的平均破碎比一般都比公称破碎比小, 这点在破碎机选型时应特别注意。

一般, 破碎机的破碎比为3~30, 而粉磨机则远远超过这个范围, 通常达300~1000以上。

由于破碎机的破碎比较小, 而生产上要求的破碎比往往超出上述范围。为此, 可用两台或多台破碎机依次串连起来, 构成一个破碎系统以达到所需的高破碎比。这样的破碎系统称为多段破碎。各段破碎比称为部分破碎比, 用 i_1 、 i_2 、 $\dots$ 、 i_n 表示。那么, 整个破碎系统的破碎比, 亦即进料粒度与破碎后最终产品粒度之比则称为总破碎比, 如用 i_0 表示, 则

$$i_0 = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n \quad (1-4)$$

即总粉碎比等于各段部分粉碎比之乘积。显然, 如果已知破碎机的破碎比, 即可根据总破碎比求得所需的破碎段数。

破碎的段数愈多, 系统愈复杂, 不仅增加投资, 而且劳动生产率低, 管理费用高, 扬尘点亦多, 因此, 要力求减少破碎段数。

由上可知, 对一定性质的物料而言, 粉碎比是确定破碎或粉磨作业程序以及选择设备类型、规格的主要依据之一。

三、粒径表示法

(一) 单一料块粒径表示法

无论是原料或是粉碎产品均由大小不同的料块或颗粒组成, 而且形状往往是不规则的, 通常用平均直径表示其大小。如果料块在三个互相垂直的方向上尺寸分别为 l 、 b 、 h , 则其粒径可用下列公式之一计算之:

$$d = \frac{l+b+h}{3} \quad \text{或} \quad d = \sqrt[3]{lbh} \quad (1-5)$$

$$d = \frac{l+b}{2} \quad \text{或} \quad d = \sqrt{lb} \quad (1-6)$$

$$d = b \quad (1-7)$$

式(1-5)适用于三个方向皆可量度的料块, 显然, 唯有大料块才能三个方向量度; 式(1-6)适用于只能两个方向量度的料块, 例如在显微镜下观测的颗粒; 如果用筛析方法确定料块的大小时, 就要用式(1-7)计算, 亦即用筛孔尺寸表示物料的大小。

筛析方法应用比较广泛。如果相邻两层筛面筛孔尺寸为 b_1 和 b_2 , 则残留在这两层筛面之间

的颗粒直径可按下列公式计算:

$$\text{算术平均径} \quad d = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad (1-8)$$

$$\text{几何平均径} \quad d = \sqrt{b_1 b_2} \quad (1-9)$$

$$\text{调和平均径} \quad d = \frac{b_1 b_2}{(b_1 + b_2)/2} \quad (1-10)$$

在标准筛序中, b_1 与 b_2 相差不大, 因此, 上列三式计算结果相差亦不大。

(二) 颗粒群的粒径表示法

由不同粒度级别组成的颗粒群(混合物), 可以看作是一个统计集体。因而, 求颗粒群平均直径可采用统计学上求平均值的方法。

设 d_i 为各个级别的平均直径, q_i 为各个级别的质量百分率, d_m 为颗粒群的平均直径, 则

$$\text{算术平均径} \quad d_m = \frac{q_1 d_1 + q_2 d_2 + \dots + q_n d_n}{q_1 + q_2 + \dots + q_n} = \frac{\sum q_i d_i}{\sum q_i} \quad (1-11)$$

$$\text{几何平均径} \quad d_m = \sqrt[n]{d_1^{q_1} \cdot d_2^{q_2} \cdot \dots \cdot d_n^{q_n}}$$

$$\text{取对数则} \quad \lg d_m = \frac{\sum q_i \lg d_i}{\sum q_i} \quad (1-12)$$

$$\text{调和平均径} \quad d_m = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{\frac{q_1}{d_1} + \frac{q_2}{d_2} + \dots + \frac{q_n}{d_n}} = \frac{\sum q_i}{\sum \frac{q_i}{d_i}} \quad (1-13)$$

以上三式计算的结果是: 算术平均径 > 几何平均径 > 调和平均径。

必须指出, 算术平均径是对各个数值等量齐观的一般性平均值, 用筛析法确定物料粒度时通常应用这一公式计算。而平均径的另外两种形式, 由于其各自意义不同, 所以使用时必须适当加以选择。例如, 应用体积假说计算物料的粉碎功时, 采用几何平均直径表示物料粒度比较适宜; 应用表面积假说计算物料粉碎功时, 采用调和平均直径比较适宜, 也就是说, 对于细到无法逐粒拣集的细粉宜采用调和平均径的公式来计算。总之, 平均径计算式的选择要结合检测方法和生产操作过程而定。

显然, 颗粒群筛分的级别越多, 求得的平均值也就较准确, 其代表性也较好。

四、粉碎产品的粒度特性

原料和粉碎产品一般都是由各级粒度颗粒组成的混合物。为了分析这些混合物的粒度分布, 通常采用筛析法将其按一定的粒度范围分成若干粒级, 然后, 将筛析结果绘成曲线, 即粒度组成特性曲线(或称筛析曲线)。它反映了被筛析物料中的任何粒级与质量百分率之间的关系——即物料的粒度组成。

粒度组成特性曲线的累积粒度分布曲线最为常用, 它以累积百分数为纵坐标, 以粒度(或筛孔尺寸)为横坐标, 如图1-1所示。由图可清晰地判明粒度组成状况。图中直线2表明物料的粒度分布是均匀的; 凹形曲线1则表明混合物中细粒度的含量较多; 凸形曲线3则表明混合物中粗粒度的含量较多。经验表明, 一般中等硬度的物料具有接近于直线的特性曲线; 软质物料常呈凹形特性曲线; 硬质物料多呈凸形特性曲线。显然, 应用这种曲线即可检查和判断粉碎机械的工作状况。此外, 利用粒度组成特性曲线还可求出任意粒级的质量百分数以及物料中的最大块直径。

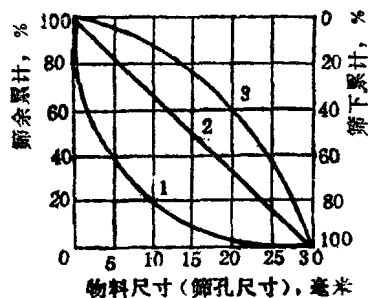


图1-1 粒度组成特性曲线

通常采用算术坐标绘制粒度组成特性曲线,但是,如果粒度范围大,由于细粒级在横坐标上的分布间距太小,曲线难于绘制和使用,为此,可以采用对数坐标绘制曲线。

五、粉碎理论

对于粉碎理论的研究,迄今已有一百多年的历史,许多学者曾提出过一些推论精辟、极有价值的理论。然而,这些理论几乎还不能直接应用于实际的粉碎机械设计或确定粉碎作业参数,而只能作为大致上的参考,所以,目前实际应用上仍然采用经验法进行设计。

粉碎理论主要研究的是粉碎功耗定律。粉碎功耗是粉碎机械及粉碎作业设计时首要考虑的问题之一。显然,粉碎功耗同粉碎机械的类型、粉碎作业条件以及被粉碎物料性质等有关。

由于粉碎是以减小粒径为目的的,因此,通常粉碎功耗就以粒径的函数来表示。粉碎所需功可用下面的微分方程式表示

$$dE = -C_L \frac{dx}{x^n} \quad (1-14)$$

式中 E ——粉碎所需功; x ——粒径; G_L 、 n ——常数。

此式称为刘易斯 (Lewis) 公式。

若取 $n=2$, 积分即得雷廷智 (Rittinger) 定律: 粉碎所需的功耗同物料新生成的表面积成正比, 即表面积假说

$$E = C_R \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) = C'_R (S_2 - S_1) \quad (1-15)$$

若取 $n=1$, 积分即得基克 (kick) 定律: 同一质量、相似物料粉碎时所需功耗只同粉碎比有关, 即体积假说

$$E = C_K \log \left(\frac{x_1}{x_2} \right) = C'_K \log \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \quad (1-16)$$

若取 $n=1.5$, 积分即得庞德 (Bond) 定律: 粉碎单位质量均质物料所需的功耗同生成粒径的平方根成反比, 即裂缝假说

$$E = C_B \left(\frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right) = C'_B (\sqrt{S_2} - \sqrt{S_1}) \quad (1-17)$$

以上三式中 x_1 、 x_2 ——粉碎前、后的粒径, 指平均粒径或代表性粒径; S_1 、 S_2 ——粉碎前后的比表面积; C 、 C' ——常数

上述三个假说中, 体积假说适用于破碎; 表面积假说适用于粉磨; 裂缝假说介于两者之间。

必须指出, 庞德定律是根据试验资料整理而得的经验公式, 具有实用价值。

若设 $x_1 = \infty$, $x_2 = 100$ 微米, 则由式 (1-17) 得

$$E_0 = \frac{C_B}{\sqrt{100}} \quad \text{或} \quad C_B = 10E_0 \quad (1-18)$$

式中 E_0 ——功耗指数, 即将“理论上无限大的粒度”粉碎至80%可以通过100微米筛孔实时所需的功, 单位为千瓦·时/吨。功耗指数的测定值如下:

石灰石 (密度为2.66), $E_0 = 12.74$ (千瓦·时/吨);

煤 (密度为1.40), $E_0 = 13$ (千瓦·时/吨);

水泥熟料 (密度为3.15), $E_0 = 13.45$ (千瓦·时/吨)。

因此, 粉碎质量为 m 的物料时所需功耗为

$$E = 10E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) m \quad (1-19)$$

式中 F_{80} ——粉碎前物料80%能通过的筛孔尺寸(微米);

P_{80} ——粉碎后物料80%能通过的筛孔尺寸(微米);

m ——粉碎物料的质量(吨)。

在建立了上面经验公式之后, 庞德作了如下理论解释: 粉碎物料时, 外力所作的功首先使材料发生变形, 当局部变形超过临界点时, 即生成裂缝。裂缝形成之后, 储存在材料内的形变能即使裂缝扩展并生成断面。输入功的有用部分转化为新生表面上的表面能, 其它部分成为热损失。因此, 粉碎物料所需的功, 应当考虑形变能和表面能两项。形变能和体积成正比, 表面能同表面积成正比。

鉴于颗粒粒径是一个难以确定的参数, 并因比表面积测定方法最近已取得很大的进展, 而且, 测定比表面积的精度高于测定粒径的精度, 因此, 田中达夫于1954年提出用比表面积表示功耗定律的通式, 即

$$\frac{dE}{dS} = K (S_{\infty} - S) \quad (1-20)$$

将上式积分, 当 $S_{\infty} \gg S$ 时, 可得如下简单的表达式

$$S = S_{\infty} (1 - e^{-KE}) \quad (1-21)$$

式中 K ——常数, 其值可由冲击粉碎和研磨粉碎求得。如以 i 和 j 分别表示冲击粉碎和研磨粉碎, 则不同物料的 K_i/K_j 之值亦不同。例如, 水泥熟料 K 为0.70, 玻璃为1.0, 煤为4.2。该值表示材料的脆性。铃木末男推荐, 开流管磨的水泥 S_{∞} 约为5300厘米²/克。

田中式指明了随着粉碎的进行, 粉碎能力降低, 需用粉碎功增大, 粉碎效率下降。田中式不是介于体积假说和表面积假说之间的公式, 而是相当于 $n > 2$ 的状况, 适用于微粉碎。

必须指出, 上述有关粉碎功耗定律, 只能在同一粉碎条件下使用, 当条件变化时还要重新确定常数。其次, 对于连续粉碎以及闭路粉碎, 由于粉碎过程是连续的粒度变化, 因而上述公式亦不尽适用。此外, 对于超细微粉碎, 必须考虑如何放大 S_{∞} 值, 否则也无法直接引用上述功耗定律。因此, 出现了粉碎机理的新解析研究, 例如提出了粉碎速度论的研究, 用矩阵表示粉碎过程等等。这些设想虽然尚未达到可立即在实际中有效地应用的阶段, 但可认为, 粉碎理论研究已开始注目于全新的观点。这些解析方法将在一定程度上适应生产实际的要求, 同时, 为经验法解析提出新的理论依据。

六、易碎性(易磨性)

材料的结构及其特性同粉碎效率、能耗密切相关, 因此, 被粉碎材料的基本物性是研究粉碎机理时不容忽视的重要内容之一。

采用强度和硬度往往还难以表述物料粉碎的难易程度, 这是因为粉碎过程除取决于材料物性之外, 还受大量未知的影响因素所支配, 例如粒度、粉碎方式(设备、工艺流程)等影响, 从而使得判断粉碎过程相当困难。为此, 引用易碎性这一概念来概括影响粉碎过程的大量变量。采用易碎性值则可判断物料在某一粉碎条件下的粉碎状态, 以评价粉碎设备的运行管理状况。

易碎性表征物料对粉碎的阻抗。它可定量地表示为将物料粉碎到某一粒度所需的比功。显然, 易碎性是粉碎过程所消耗能量的判据。由易碎性可确定将某一原始粒度的物料粉碎到某一指定的产品粒度所消耗的能量。可见, 前述的庞德功指数就是易碎性的表示方法之一。

七、粉碎方法

粉碎方法的选择主要根据物料的机械性质、粒度大小以及所要求的粉碎比。机械粉碎方法有如下几种：

(一) 挤压 (图1-2(a)) 物料置于两破碎工作面 (板) 之间, 两工作面逐渐逼近施加压力使物料粉碎。这种方法的特点是作用力逐渐增大, 力的作用范围大。常用于粉碎较硬的物料。

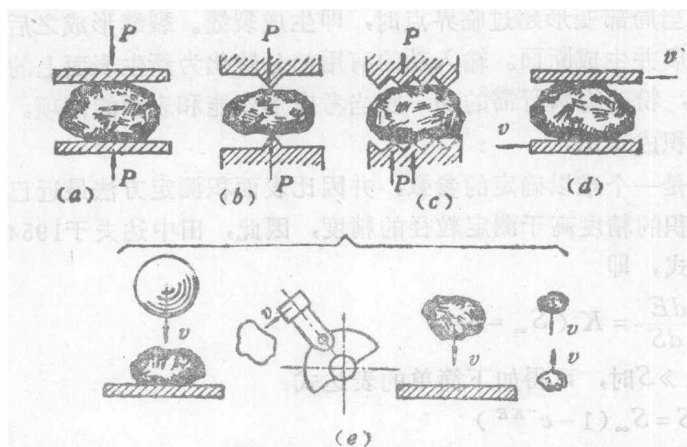


图1-2 粉碎方法

(a) 挤压; (b) 劈裂; (c) 折裂; (d) 研磨; (e) 冲击。

(二) 劈裂 (图1-2(b)) 利用尖齿楔入物料时产生的劈力, 从而将物料劈裂。这种方法的特点是力的作用范围较为集中, 使物料产生局部破裂。此法适用于粉碎脆性物料。

(三) 折裂 (图1-2(c)) 物料在破碎工作面上如同一受集中荷载的简支 (或多支点) 梁, 因此, 在作用点处受劈力和弯曲的共同作用, 从而折裂、破碎。

(四) 研磨 (图1-2(d)) 破碎工作面在物料上相对滑动时, 对物料施加剪切力, 使物料的表面部分磨碎。

(五) 冲击 (图1-2(e)) 通过粉碎机械的冲击部件以很大的速度撞击物料, 以及物料与物料之间的相互撞击, 在冲击力作用下从而使物料急剧粉碎。这是一种动力粉碎的方法, 可以获得较大的粉碎比, 而所耗费的功率却较小, 这种方法已得到广泛的应用。

破碎与粉磨机械在粉碎物料时, 往往以一种方法为主, 并兼有其它方法, 因此, 它是上述若干粉碎方法的联合作用。

第二节 颚式破碎机

一、工作原理及其分类

颚式破碎机经过一百多年的实践和不断改进, 其结构已日臻完善。它具有结构简单, 工作可靠, 维修方便等特点, 所以现在仍广泛地用于建筑材料、化工和选矿等生产部门中。

在颚式破碎机中, 物料的破碎是在两块颚板之间进行的。活动颚板绕悬挂心轴对固定颚板作周期性摆动 (图 1-3), 当活动颚板靠近固定颚板时, 位于两颚板之间的物料受挤压、折裂作用而破碎。当活动颚板离开固定颚板时, 破碎了的物料在重力作用下经出料口排出。

颚式破碎机应用最为广泛的有两种: 简单摆动颚式破碎机 (图1-3(a)) —— 动颚作简单

摆动的曲柄双摇杆机构颚式破碎机；复杂摆动颚式破碎机（1-3(b)）——动颚作复杂摆动的曲柄摇杆机构颚式破碎机。前者多制成大型和中型，多用于粗碎作业，粉碎比 $f=3\sim6$ ；后者一般制成中、小型，主要适用于中碎和细碎作业，粉碎比可达10。复杂摆动颚式破碎机正在向大型化方向发展。近年来，液压技术在破碎设备上得到应用，出现了液压颚式破碎机。

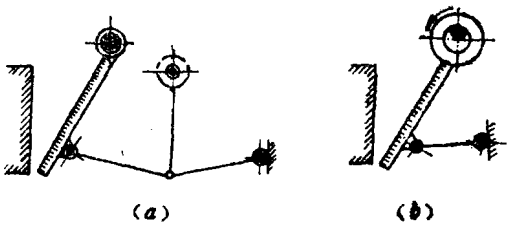


图1-3 颚式破碎机的工作原理
(a) 简单摆动颚式破碎机；
(b) 复杂摆动颚式破碎机。

颚式破碎机的规格以进料口宽度 B 和长度 L 来表示，如 400×600 复杂摆动颚式破碎机，即表示该机的进料口宽度为400毫米，长度为600毫米。

二、颚式破碎机的构造

(一) 简单摆动颚式破碎机

简单摆动颚式破碎机的构造如图1-4所示。耐磨破碎衬板2用螺栓固定在机架1的前壁上组成固定颚板。悬挂在心轴3上的活动颚板4上装有耐磨破碎衬板5。心轴支承在机架两侧壁上的轴承中。

偏心轴6支承在机架侧壁的主轴承中，连杆7套装在轴6的偏心部分上，连杆下端装有前、后推板10。前推板与活动颚板相连，后推板支承在顶座11上。当电动机通过三角胶带及胶带轮驱动偏心轴6转动时，连杆7即作往复的上下运动，从而带动推板10，由于推板不断改变倾斜角，使活动颚板4绕心轴对固定颚板作周期往复摆动，以实现破碎作业。

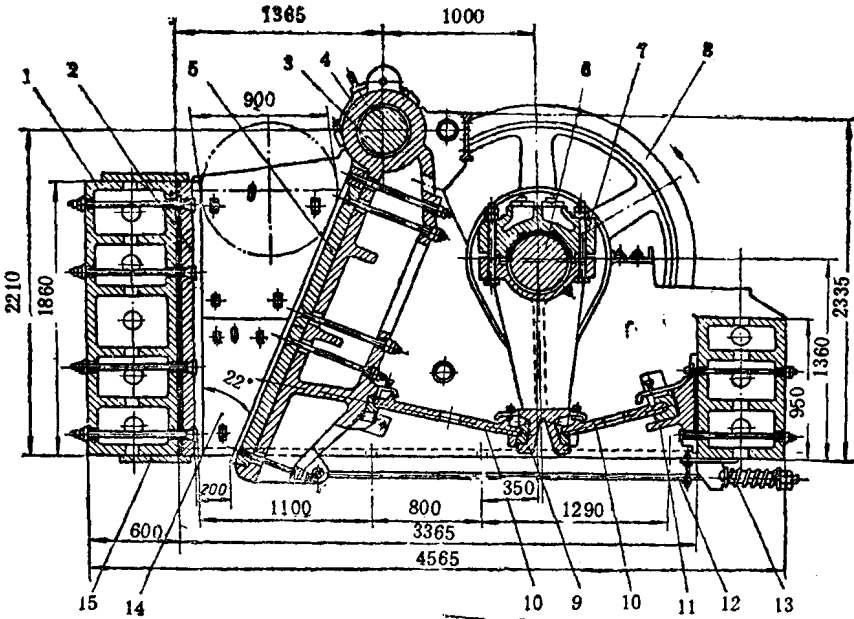


图1-4 900×1200 简单摆动颚式破碎机

1—机架；2—定颚上的破碎衬板；3—心轴；4—活动颚板；5—动颚上的破碎板；6—偏心轴；7—连杆；8—飞轮；9—楔形铁块与推板座；10—推板；11—顶座；12—拉杆；13—弹簧；14—机架侧板；15—机架底板。

推板10不仅是传力杆件，同时也是破碎机的保险零件。当破碎机中落入不能破碎的物体而使机器超过正常负荷时，推板就会折断，使机器停止工作，从而避免主要部件的损坏。因此，推板的材料强度不能超过主要部件。

拉杆12一端铰接在活动颚板4的下端，一端装有弹簧13。当连杆向上运动，活动颚板摆向固定颚板时，弹簧被压缩。当连杆向下运动，活动颚板返回时，借助弹簧的张力，使活动颚板迅速拉开，物料即从排料口排出。弹簧13在正行程中还用以保持推板10与动颚板的接触，并起着缓冲和减小惯性力的作用。

改变顶座衬垫的厚度，可以调节排料口的间隙，从而可获得不同粒度的产品。

(二) 复杂摆动颚式破碎机

这种破碎机的结构如图1-5所示，同简单摆动式相比，不同的是动颚和连杆合并成一个

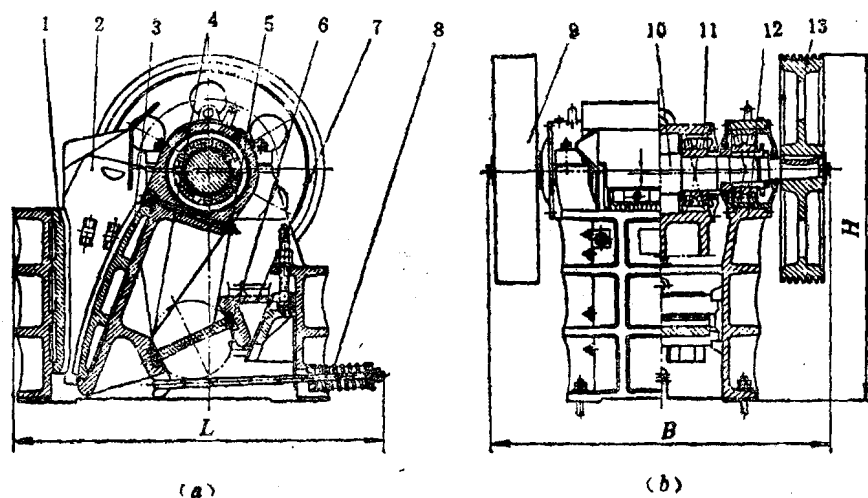


图1-5 复杂摆动颚式破碎机

- 1—固定颚板；2—侧壁衬板；3—活动颚板；4—推板座；5—推板；6—推板后座；7—调整机构；
8—弹簧；9—飞轮；10—偏心轴；11—轴承；12—机架；13—胶带轮。

整体，心轴和偏心轴也合二为一，取消了前推板，只有一个推板。由此可见，其结构比简单摆动式简单，但动颚的运动轨迹却比简单摆动式复杂。如图1-6所示，顶部的运动轨迹接近于圆形，底部的运动轨迹接近于圆弧，中间轨道为椭圆形曲线，愈靠近下部椭圆愈扁长。由于其运动轨迹复杂，故称复杂摆动式。

由于动颚上部的水平摆幅大于下部，因而颚腔上部破碎作用强烈，大块物料在上部容易获得破碎作用，而且，整个颚腔破碎作用均衡。又因动颚有上下往复推移运动，促使破碎产品排出，因此，在相同条件下，其生产能力比简单摆动式提高20~30%。

动颚板的上下往复推移运动还可对物料起翻动作用，因而破碎产品粒度较为均匀，多呈立方形，含片状产品较少。但是，由于动颚垂直行程较大，物料不仅受到挤压作用，还受到

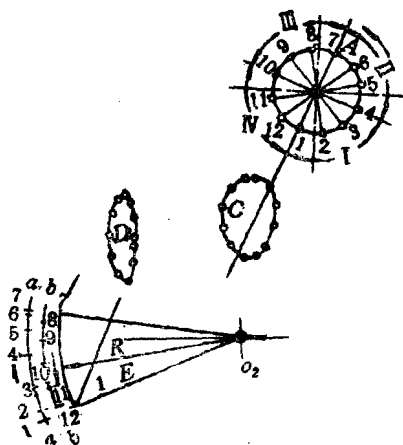


图1-6 复摆式动颚运动轨迹图

磨剥作用，加剧了过粉碎现象，增加了能量消耗，扬尘较大，颧板亦较容易磨损。此外，由于动颧所受的巨大挤压力直接作用于偏心轴心，偏心轴受力大，因此，复杂摆动式一般多制成中、小型。

国产PEF系列复杂摆动颧式破碎机的基本参数见表1-1。

PEF系列复杂摆动颧式破碎机的基本参数

表1-1

型 号	基 本 参 数					
	给料口尺寸 宽×长 (B×L)(毫米)	最大给料尺寸 (毫米)	排料口调节范围 (毫米)	理论生产率 (米³/时)	偏心轴转速 (转/分)	电动机功率 (千瓦)
PEF-15	150×250	125	10~40	1~3	300	5.5
PEF-25	250×400	210	20~80	4~14	300	15~17
PEF-40	400×600	350	40~100	8~20	250	30
PEF-60	600×900	480	75~200	35~120	250	75~80
PEF-90	900×1200	750	100~200	150~300	200	95~110

(三) 主要工作部件

1. 衬板

衬板的横截面通常铸成波浪形或三角齿形，见图1-7，安装时两衬板的齿峰和齿谷正好凹凸相对。因而衬板对物料不仅施加挤压作用，还兼施弯曲和劈裂作用，以加强破碎效果。齿峰角 α 为 $90^{\circ}\sim120^{\circ}$ 。粗碎机宜采用波浪形衬板，并取 α 大些。齿间距 t 通常按破碎粒度选取。齿高 h 与齿距 t 之比取 $1/2\sim1/3$ 。

衬板的材料，小型用白口铸铁，大型用高锰钢制造。所有衬板均用埋头螺栓固定，损坏后可调换。为了衬板各点受力均匀，在衬板与颧板之间应垫以塑性衬垫，如铅板、铝板、锌合金板、低碳钢板或灌注水泥砂浆等，以保证衬板与颧板紧密结合。

衬板的纵截面有平面和凸曲面两种，如图1-8所示。设两种衬板的进、出料口相等，由

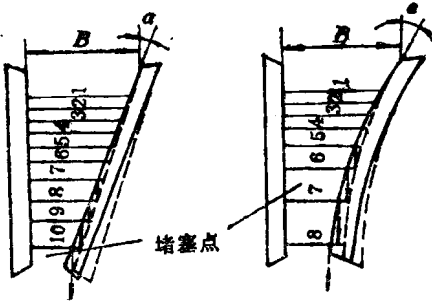


图1-7 衬板横截面形状

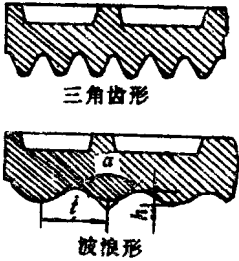


图1-8 直线型与曲线型衬板的对比

(a) 直线型衬板；(b) 曲线型衬板。

图看出，平面衬板所形成的梯形断面面积，向下依次递减，因而造成物料堵塞趋势向下递增。这是破碎机产生过载和衬板下端磨损严重的主要原因。而凸曲面衬板出口端有较长的平行区段，堵塞点上移，这将有损于物料自由卸出，不易堵塞，生产能力大，衬板磨损减小。但因平面衬板便于制造和维修，故仍然获得采用。

2. 出料口大小调整装置

为了获得所需的产品粒度，颧式破碎机均设有出料口大小调整装置。大、中型颧式破碎机可采用不同长度的推板来调整；或调整机架后壁与顶座之间垫片的厚度来补偿颧板的磨

损。小型颚式破碎机通常采用楔铁调整装置。如图 1-5 所示，在推板与机架后壁之间设有楔形的前后顶座 7，借助调节螺栓，使后顶座上下移动时，便推动前顶座沿水平导槽移动，以改变出料口的大小。图 1-9 为手动液压调整装置。

三、性能

颚式破碎机的优点，构造简单，管理和修理方便，工作安全可靠，适用范围广。缺点是，工作间歇性，有空转行程，增加了非生产性的功率消耗。由于动颚和连杆作往复运动、工作时产生很大的惯性力，使零件承受大负荷，对基础的质量要求高。在破碎粘湿的物料时，生产能力下降，甚至产生堵塞现象。在破碎干片状物料时，片料易顺颚板宽度方向通过而达不到破碎目的，造成出料溜子或下一级破碎机进料口堵塞。破碎比不大，适用于坚硬、中硬物料的粗、中破碎，例如破碎石灰石，熟料及石膏等。

选型时，要注意到，进料块尺寸不能大于破碎机进料口宽度的 0.85 倍。

图 1-10 为颚式破碎机的产品粒度特性曲线。破碎后产品粒度主要决定于出料口的尺寸大小，同时与物料的性质和进料粒度有关。由图可看出，产品中约 15~35% 的尺寸大于出料口

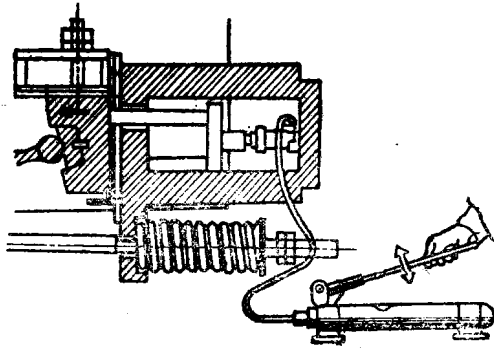


图1-9 手动液压调整装置

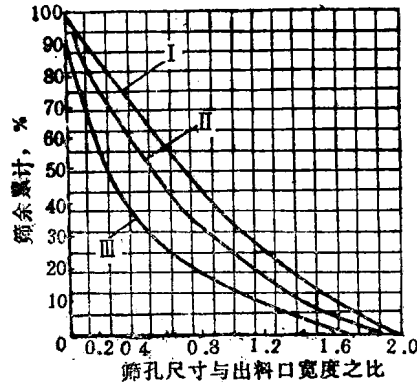


图1-10 颚式破碎机的产品粒度特性曲线

I—硬质物料；II—中硬物料；III—软质物料。

尺寸，其中最大料块尺寸相当于出料口的 1.6~1.8 倍。这在颚式破碎机选型及考虑下一工序的作业时，必须特别注意。

四、主要参数的确定

（一）钳角

活动颚板与固定颚板之间的夹角称为钳角。减小钳角，可增大生产能力，但破碎比减小，反之亦然，同时，喂入颚腔的物料不易夹牢，从而跳出机外，因此，钳角应有一定的范围。钳角的大小可以通过物料的受力分析来确定。

设物料与颚板之间的摩擦系数为 f ，从图 1-11 可知，当破碎力为 P 时，物料被挤向上的合力

$$R = 2P \sin \frac{\alpha}{2}$$

物料与破碎板间摩擦力朝下方的分力为

$$2Pf \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$2P \sin \frac{\alpha}{2} \leq 2Pf \cos \frac{\alpha}{2}$$

(1-21)

$$\frac{\sin \alpha/2}{\cos \alpha/2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq f$$

以 $f = \operatorname{tg} \varphi$ 代入, 则

$$\frac{\alpha}{2} \leq \varphi$$

即

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (1-22)$$

式中 α ——颚式破碎机的钳角; φ ——摩擦角。

即两颚板之间的钳角要小于两倍摩擦角。

通常 $f \geq 0.2$, $\varphi \geq 11^\circ 20'$ 。一般情况下, $\alpha = 18^\circ \sim 22^\circ$, 不宜超过 23° 。

上述公式是假定活动颚板与固定颚板倾角相等的状态来推导的, 实际上固定颚板是垂直安放的, 只不过重力影响略有不同, 但根据力学原理推导的结果两者完全一致。

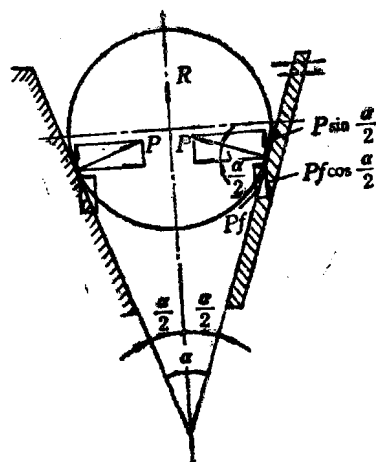


图1-11 颚式破碎机钳角

(二) 偏心轴的转速

在计算颚式破碎机偏心轴的转速时, 为了简化计算, 假定活动颚板作平移运动, 即略去活动颚板在摆动时钳角变化所产生的影响, 并假定破碎物料在重力作用下自由下落, 略去摩擦力的影响。

当活动颚板离开固定颚板, 从 A 移到 A' 时 (见图1-12), 能够从出料口落下的棱柱体, 如图所示, 其下部宽度等于排料口的最小宽度 α , 上部的最大宽度为 $\alpha + s$, 棱柱体的高度应为

$$h = \frac{s}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (1-23)$$

为了使这个棱柱体在其自重作用下顺利地通过排料口, 活动颚板从 A 点移动到 A' 点的时间 t (秒), 必须等于棱柱体自由降落 h 高度所需的时间。

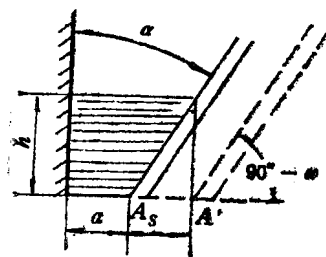


图1-12 确定颚式破碎机的转速

设 n 为偏心轴每分钟的转速, 则活动颚板一次单向摆动 (由 A 到 A') 的时间为

$$t = \frac{1}{2} \times \frac{60}{n} = \frac{30}{n} \text{ (秒)} \quad (1-24)$$

自由落体在 t 秒内通过的距离为

$$h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{450g}{n^2} \text{ (厘米)} \quad (1-25)$$

将式 (1-23) 代入式 (1-25), 简化后得

$$n = 665 \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{s}} \text{ (转/分)} \quad (1-26)$$

式中 n ——偏心轴的转速 (转/分); s ——活动颚板最下端的水平行程 (厘米)。

按式 (1-26) 计算的转速比实际的转速偏大。根据实测结果认为, 在破碎过程中, 由于物料被压紧以及物料与破碎板之间摩擦力的作用, 排料是在偏心轴由 270° 转到 360° 期间进行的 (见图1-13), 亦即实际的排料时间相当于偏心轴转动 $1/4$ 转的时间, 故

$$t = \frac{60}{4n} = \frac{15}{n} \text{ (秒)} \quad (1-27)$$

与此相应, 物料棱柱体自由降落的高度为 h , 活动颚板的行程为 $s/2$, 即

$$h_0 = \frac{s/2}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ (厘米)} \quad (1-28)$$

又
$$h_0 = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} g \left(\frac{15}{n} \right)^2 \quad (1-29)$$

解式(1-28)及(1-29), 得

$$n = 470 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{s}} \text{ (转/分)} \quad (1-30)$$

上式适用于规格大于 900×1200 颚式破碎机。对于大型的颚式破碎机, 通常转速按式(1-30), 计算值再降低20~30%选取。

一般, 对于破碎坚硬的物料, 转速应取小些, 对于脆性物料, 转速可适当取大些, 对于大规模的破碎机, 转速应取低些, 以减小惯性振动, 节省能耗。

实际应用上, 偏心轴转速尚可按下列经验公式确定

对于进料口宽度 $B \leq 1200$ 毫米的破碎机

$$n = 310 - 145B \text{ (转/分)} \quad (1-31)$$

对于进料口宽度 $B > 1200$ 毫米的破碎机

$$n = 160 - 42B \text{ (转/分)} \quad (1-32)$$

式中 B 为破碎机进料口宽度(米)。

(三) 生产率计算

颚式破碎机的生产率, 理论上可作如下推导, 活动颚板摆动一次, 从破碎腔中排出一个棱柱体的体积为

$$V = \frac{a + (a + s)}{2} hL = \frac{Ls(2a + s)}{2\operatorname{tg}\alpha} \text{ (米}^3\text{)} \quad (1-33)$$

式中 a 、 s 、 L 均以米计。

若活动颚板每分钟摆动 n 次, 则破碎机的生产率为

$$Q = 60nV\mu\rho = \frac{30nLs(2a + s)\mu\rho}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (1-34)$$

式中 Q ——生产率(吨/时); μ ——物料松散系数, $\mu = 0.3 \sim 0.7$; ρ ——物料容积密度(吨/米³)。

设物料的粒径 $d_{\min} = a$; $d_{\max} = a + s$ 。则产品的平均粒径 d 为

$$d = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2} = \frac{2a + s}{2}$$

代入式(1-34), 简化得

$$Q = \frac{60nLsd\mu\rho}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ (吨/时)} \quad (1-35)$$

式中 L 、 s 、 d 均以米计。

式(1-35)是按简单摆动颚式破碎机工作原理推算出的生产率, 对于复杂摆动颚式破碎机的生产率, 要按上式计算结果增大20~30%。由于破碎机的生产率与被破碎物料的性质(物

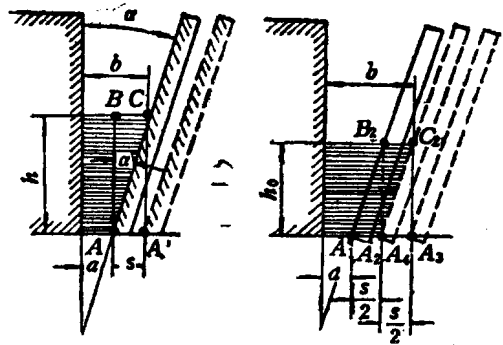


图1-13 颚式破碎机实际转速的确定