

中等专业学校实用教材

水泥工业粉磨工艺 及设备

陶天吉 主编

武汉工业大学出版社

中等专业学校试用教材

水泥工业粉磨工艺及设备

陶天全 主编

武汉工业大学出版社

鄂新登字 13 号

内 容 提 要

本书概括地介绍了水泥生产中物理过程的一些基本原理,较系统地介绍了常用机械设备的类型、构造、工作原理及主要参数的计算,对设备的使用及维护作了简要的说明,对于预均化及节能的新设备,也作了必要的介绍。全书包括破碎机械、粉磨机械、颗粒流体力学及分级设备、粉磨过程及影响磨机产品质量的因素、粉磨系统的技术标定、其他粉磨机械、收尘设备、气力输送设备、起重运输机械、加料及计量设备、包装设备、设备管理与安全生产等十二章。

本书除作中等专业学校水泥工艺专业的教材外,还可供其他专业师生、水泥工业技术人员、技工学校师生及技术工人参考。

中等专业学校试用教材 水泥工业粉磨工艺及设备

陶天全 主 编

责任编辑 朱益清

*

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞珈路 14 号 邮政编码 430070)

新华书店湖北发行所经销

湖北省沙市市印刷一厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 530 千字

1992 年 7 月第 1 版 1992 年 7 月第 1 次印刷

印数 1-3000 册 定价 5.50 元

ISBN 7-5629-0500-2/TQ·40

前 言

本教材是根据国家建材局人才开发司 1987 年秦皇岛教材编审会议精神和绵阳会议所制定的“水泥工业粉磨工艺及设备”教学大纲编写的。

本教材的粉磨工艺部分包括破碎、粉磨、颗粒流体力学、颗粒分级、影响粉磨过程的因素和粉磨系统的技术标定,机械设备部分包括收尘、气体输送、起重运输机械、加料及计量、包装、设备管理与安全生产。全书共十二章,教学时数为 100~110 学时。

本教材的任务是使学生初步掌握水泥生产中物理过程的一些基本理论与应用,以及常用机械设备的构造、工作原理、主要参数的计算选型和操作维护的简要知识,与生产实习相配合,使学生掌握设备的性能,具有正确使用与维护、正确管理设备的能力。

在讲授本课程时,要尽量利用挂图和实物模型进行直观教学,有些内容可以放到生产实习中结合实际讲授;有些内容可让学生自学(有※号的部分),以培养学生独立思考和自学能力。

本教材由北京市建材工业学校陶天全主编,参加编写的有陶天全(第一、二、四、五、六章)、刘述祖(第三、七、八、十、十一、十二章)、方景光(第九章)。

本教材由贵州建材工业学校的许雨环和天津水泥设计研究院的王仲春主审,由长春建材工业学校的许凤远和山东建材工业学校的李兴华参审。编写过程中还得到了北京市琉璃河水泥厂的金问涛、唐广零、兰玉琼诸工程师的大力支持,并提供了宝贵资料。在此一并表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
1990 年 10 月

目 录

第一章 破碎机械	(1)
§ 1 概述	(1)
§ 2 颚式破碎机	(8)
§ 3 锤式破碎机.....	(20)
§ 4 反击式破碎机.....	(26)
§ 5 辊式破碎机.....	(35)
§ 6 圆锥式破碎机.....	(36)
§ 7 淘泥机.....	(40)
§ 8 原料的预均化.....	(42)
思考题与习题	(48)
第二章 粉磨机械	(50)
§ 1 概述.....	(50)
§ 2 球磨机的构造.....	(51)
§ 3 研磨体的运动分析.....	(68)
§ 4 磨机主要参数的计算.....	(73)
§ 5 研磨体.....	(81)
§ 6 磨机的操作.....	(90)
§ 7 磨机的维护与保养.....	(95)
思考题与习题	(97)
第三章 颗粒物流体力学及分级设备	(98)
§ 1 颗粒流体力学的基本概念.....	(98)
§ 2 粗粉分离器	(104)
§ 3 离心式选粉机	(106)
§ 4 旋风式选粉机	(111)
§ 5 新型高效选粉机及老式选粉机的改进	(113)
§ 6 湿法磨分级设备	(118)
思考题与习题.....	(120)
第四章 粉磨过程及影响磨机产质量的因素	(121)
§ 1 物料粉磨的目的和细度要求	(121)
§ 2 粉磨作业的基本流程	(121)
§ 3 粉磨速度方程	(126)
§ 4 粉磨产品的颗粒分布	(127)

§ 5	影响磨机产质量的因素	(128)
§ 6	提高磨机产质量的方法	(133)
	思考题与习题	(137)
第五章	粉磨系统的技术标定	(138)
§ 1	技术标定的重要性	(138)
§ 2	物料性能的测定方法	(139)
§ 3	粉磨系统筛分析标定	(140)
§ 4	循环负荷率与选粉效率的测定	(141)
§ 5	磨内存料量和物料流速的测定	(142)
§ 6	磨机通风量与收尘测定	(143)
§ 7	选粉机的风压、风量测定	(148)
§ 8	烘干磨热工计算例题	(149)
	思考题与习题	(151)
第六章	其他粉磨机械	(152)
§ 1	辊压机	(152)
§ 2	辊式磨	(155)
§ 3	无介质磨	(162)
§ 4	粉磨机械的发展	(163)
	思考题与习题	(166)
第七章	收尘设备	(167)
§ 1	概述	(167)
§ 2	沉降室	(169)
§ 3	旋风收尘器	(171)
§ 4	袋式收尘器	(180)
§ 5	电收尘器	(191)
§ 6	其他收尘器	(202)
§ 7	收尘系统的设计	(204)
	思考题与习题	(215)
第八章	气力输送设备	(217)
§ 1	固体颗粒流态化与气力输送	(217)
§ 2	螺旋式气力输送泵	(220)
§ 3	仓式气力输送泵	(222)
§ 4	气力提升泵	(226)
§ 5	空气输送斜槽	(229)
§ 6	喷射泵与柱塞式气力输送	(232)
§ 7	输送管道与阀门	(233)
§ 8	气力输送系统的设计计算	(236)
	思考题与习题	(241)
第九章	起重运输机械	(242)

※ § 1	抓斗桥式起重机	(242)
§ 2	胶带输送机	(251)
§ 3	斗式提升机	(274)
§ 4	螺旋输送机	(289)
§ 5	板式输送机	(296)
※ § 6	振动输送机	(301)
	思考题与习题	(303)
第十章	加料及计量设备	(305)
§ 1	概述	(305)
§ 2	电磁振动加料机	(306)
§ 3	圆盘加料机	(310)
§ 4	叶轮加料机及螺旋加料机	(311)
§ 5	皮带加料机及电子皮带秤	(314)
§ 6	物料计量设备	(318)
※ § 7	喂料锁风装置及料仓设计	(322)
	思考题与习题	(325)
※ 第十一章	包装设备	(326)
§ 1	概述	(326)
§ 2	袋装水泥工艺流程	(328)
§ 3	固定式包装机	(329)
§ 4	回转式包装机	(333)
§ 5	水泥散装	(338)
第十二章	设备管理与安全生产	(344)
§ 1	企业设备管理的范围及管理机构	(344)
§ 2	设备的维护保养	(346)
§ 3	设备的修理	(349)
§ 4	润滑管理与配件管理	(351)
§ 5	设备事故的管理	(354)
§ 6	安全生产	(357)
	参考文献	(358)

第一章 破碎机械

§ 1 概 述

一、粉碎

固体物料在外力作用下,克服了内聚力,而使固体物料破碎的过程,称为粉碎。

施加外力的方法可以是人力、机械力、电力或是采用爆破等。水泥工业中的矿山开采,多采用爆破方法。而将大块物料碎裂为小粒状物料时,一般都采用机械的方法。

由于物料的粉碎,使其总比表面积不断增加,从而提高了均化效果以及物理及化学作用的反应速度。

进入工厂的原料细至粉末,大至超过 1m 以上的料块。所以工厂的原料及半成品必须经过各种不同程度的粉碎,使其块度达到工序所要求的大小,以便于加工操作。根据处理物料尺寸大小的不同,可将粉碎分为破碎和粉磨两个阶段。将大块物料破碎为小块物料的过程称为破碎;将小块物料碎裂为细粉的过程称为粉磨。通常按以下方法加以划分:

粉碎	破碎	粗碎——将物料破碎到 100mm 左右
		中碎——将物料破碎到 30mm 左右
		细碎——将物料破碎到 3mm 左右
	粉磨	粗磨——将物料粉碎到 0.1mm 左右
		细磨——将物料粉磨到 60 μ m 左右
		超细磨——将物料粉磨到 5 μ m 或更小

二、平均粉碎比

粉碎前物料的平均直径 \bar{D} 与粉碎后物料的平均直径 \bar{d} 的比值 i 称为平均粉碎比,即 $\bar{D}/\bar{d} = i$ 。一般简称粉碎比,对破碎来说,称为破碎比。它主要用来表明物料粉碎前后粒度变化程度,并能近似地反映出粉碎机械的作业情况。

为了简易地表示和比较各种破碎机的这一特性,通常用破碎机的允许最大进料粒度与最大出料粒度尺寸之比作为粉碎比,也称公称粉碎比。实际生产中,为了保证破碎机械正常运行,最大进料块尺寸总小于设备的允许最大进料粒度,因此破碎设备的实际粉碎比都较公称粉碎比小。在选择破碎机时应注意这一点。

由于各种破碎机的破碎比有一定范围,而生产过程中要求的破碎比大,这就须将接连使用两台或多台破碎机进行破碎。这时串联使用的破碎机数量称作破碎级数,如:两台连用,就称为二级破碎;三台连用时,称为三级破碎(或多级)破碎。这时第一级破碎机的入料平均粒度与最末一级破碎机的出料平均粒度之比称为总粉碎比。总粉碎比也可由各级破碎机的粉碎比乘积来表示,即

$$i = i_1 i_2 \cdots i_n \quad (1-1)$$

式中, i ——多级破碎系统的总粉碎比;

i_1, i_2, \dots, i_n ——代表各级破碎机的粉碎比。

已知破碎机的粉碎比和要求的总粉碎比,即可由上式求得所需要的破碎级数。

三、 粒径表示方法

表示颗粒或料块大小的尺寸,一般叫粒径。生产过程中所遇到的固体颗粒的形状常是不规则的,但也可用“粒径”一词来表示颗粒的大小。对于破碎过程中的料块,其尺寸都比较大,所以可用统计粒径的方法计算。

假设测量的料块,其三个互相垂直方向的尺寸:长为 l ,宽为 b ,厚为 h ,则其统计粒径 d 随条件的不同,可以根据下述任一式确定。

1. 用一个向度的尺寸来表示

$$d = b \tag{1-2a}$$

$$d = b \sqrt{2} \tag{1-2b}$$

$$d = b \sqrt{3} \tag{1-2c}$$

2. 用两个向度的尺寸来表示

取算术平均值表示时
$$d = \frac{l + b}{2} \tag{1-3a}$$

取几何平均值表示时
$$d = \sqrt{lb} \tag{1-3b}$$

或取调和平均值表示时
$$d = \frac{2}{\frac{1}{l} + \frac{1}{b}} \tag{1-3c}$$

3. 用三个向度的尺寸来表示

取算术平均值表示时
$$d = \frac{l + b + h}{3} \tag{1-4a}$$

取几何平均值表示时
$$d = \sqrt[3]{lbh} \tag{1-4b}$$

或取调和平均值表示时
$$d = \frac{3}{\frac{1}{l} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}} \tag{1-4c}$$

选用哪一个公式来计算,主要根据测定的方法和料块的具体形状来确定。当料块的三个向度的尺寸都可以测量时,就可用三个向度的公式计算。显然,唯有较大的料块才可能这样做。当料块只有两个向度的尺寸可以测量时,就只能用两个向度的表示公式来计算。当物料颗粒很小,只能用筛分析方法来确定颗粒的尺寸时(只能用一个向度测量颗粒尺寸),就只能用一个向度的公式计算。当料块的形状趋近于球形时,也可用一个向度的公式计算。当料块尺寸趋近于正方形时,宜用两个向度的公式计算。

四、 粉碎产品的粒度特性

在水泥厂中,原料和粉碎产品都是由各种粒度的混合物料组成。为鉴定这些混合物料的粒度分布情况,通常采用筛析方法将它们按一定的粒度范围分成若干粒级。

筛析所得数据可整理在筛析结果记录表上,用来说明物料的颗粒组成特性。为了能更明显地比较物料的粒度组成情况,通常根据筛析所得数据作出物料的粒度组成特性曲线(或称筛析曲线)来表示,如图 1-1 所示。

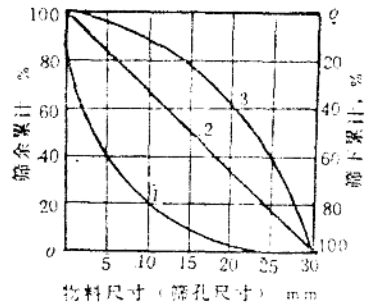


图 1-1 粒度组成特性曲线

根据筛析曲线可以清楚地判断物料粒度分布情况。图 1-1 中直线 2 表明此物料全部大小颗粒是均匀分布的；图中凹形曲线 1 表明粉碎产品生成较多的细小粒级；图中凸形曲线 3，则表明粉碎产品中粗粒级物料占多数。一般中等硬度的物料具有接近于直线的示性曲线。

作出筛析曲线，不仅可以求得筛析表中没有绘出的任意中间粒级百分数，同时还可以检查和判断粉碎机械的工作情况。为了比较依次在同一机械中粉碎的各类物料的特性，或比较依次在不同机械中粉碎的同一物料的粒度，可将两条、三条或更多条的筛析曲线放在同一图表中。

五、水泥生产中物料粉碎的意义

在水泥生产过程中，大量的固体原料、燃料和半成品需要破碎，目的在于提高烘干和粉磨设备的效率，同时亦便于物料的预均化、运输和储存。每生产 1t 水泥，需要粉碎 4t 以上的物料，其中约有 2t 左右的物料需要破碎。以生产 1t 水泥的电耗为 100%，那么用于破碎和粉磨物料的电耗约占 70% 左右。表 1-1 列出了生产 1t 水泥电耗的大致分配情况。

生产 1t 水泥时电耗的大致分配情况

表 1-1

作业项目	电能消耗 (kW·h/t)	电能消耗 (%)	作业项目	电能消耗 (kW·h/t)	电能消耗 (%)
原料开采	4.0	3.5	磨制水泥	38.0	34.0
原料破碎	12.0	10.5	混合材烘干	6.0	5.0
磨制生料	18.0	15.5	辅助生产车间	8.0	7.0
粉碎燃料	14.0	12.0	其它消耗	6.0	5.0
煅烧熟料	9.0	7.5	总计	115.0	100.0

从表 1-1 中看出，研究降低物料粉碎的电耗对于降低水泥生产成本是很重要的。

六、物料粉碎理论

关于确定粉碎过程所需要的能量问题是极其复杂的。因为粉碎能量的消耗与很多因素有关，如物料的物理机械性质、采用的破碎方法、在粉碎瞬间各物料之间所处的相互位置、物料的形状和尺寸以及物料的湿度等等。因此，要想用一个完整的严密的数学理论来解决粉碎过程所消耗的能量是不可能的。在某些情况下，必须同时广泛地应用实际资料。

目前计算粉碎物料所需要能量的理论主要有以下三种：

1. 表面积假说 粉碎物料所需的功与粉碎过程中新增加的表面积成正比。

对于由等直径球形颗粒的物料，其单位质量所具有的表面积（即比表面积）

$$S = \frac{\pi D^2 Z}{\frac{\pi}{6} D^3 \rho Z} = \frac{6}{D\rho} \quad (\text{m}^2/\text{kg}) \quad (1-5)$$

式中， D ——物料颗粒直径 (m)；

Z ——1kg 物料颗粒数目；

ρ ——物料密度 (kg/m^3)。

对于 m 千克物料，粉碎前的物料直径为 D ，比表面积为 S_1 ；经粉碎后直径为 d ，比表面积为 S_2 。在粉碎过程中物料表面积的增量

$$\Delta S_m = (S_2 - S_1)m = \frac{6}{\rho} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) m \quad (\text{m}^2) \quad (1-6)$$

根据表面积学说粉碎功与 ΔS_m 成正比，令比例系数为 Ks' ，则粉碎 m 千克物料所需的粉碎

功

$$A = K_s' \frac{6}{\rho} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) m = K_s \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) m \quad (J) \quad (1-7)$$

式中, K_s' 为生产 1m^2 表面积所需的功 (J/m^2), 而 $K_s = K_s' \frac{6}{\rho}$; 其他符号意义同前所述。

上式是假定直径皆为 D 的球形物料, 粉碎后直径仍皆为 d 的球形物料。但实际上并非如此。假若粉碎后经筛析得出某一定粒径的粉碎产品, 其颗粒尺寸为 d_i , 质量为 q_i , 则把 q_i 的物料粉碎到 d_i 所需的功

$$A_i = K_s \left(\frac{1}{d_i} - \frac{1}{D} \right) q_i \quad (1-8)$$

各个粒级物料粉碎功之总和等于粉碎全部物料所需的功, 即

$$A = \sum A_i = \sum K_s \left(\frac{1}{d_i} - \frac{1}{D} \right) q_i \quad (J) \quad (1-9)$$

粉碎前后物料颗粒的尺寸如用平均直径表示, 并由式(1-7)与式(1-9)计算所需要的粉碎功相同时, 则

$$K_s \left(\frac{1}{d_m} - \frac{1}{D_m} \right) m = \sum K_s \left(\frac{1}{d_i} - \frac{1}{D} \right) q_i, \quad m = \sum q_i$$

于是

$$\sum \frac{q_i}{d_m} - \sum \frac{q_i}{D_m} = \sum \frac{q_i}{d_i} - \sum \frac{q_i}{D}, \quad d_m = \frac{\sum q_i}{\sum \frac{q_i}{d_i}}$$

表 1-2 列出了在球磨机中粉磨水泥熟料时粉磨时间、单位电能消耗与物料比表面积的关系。

在球磨机中粉磨水泥熟料的能耗实验

表 1-2

粉磨时间 (min)	单位电能消耗 N (kJ/t)	物料比表面积 S (cm^2/g)
10.4	17280	510
20.8	34920	1060
31.2	52560	1570
41.6	69840	2080
52.0	87120	2520
72.7	122760	3200

2. 体积假说 在相同的技术条件下, 使几何体相似的同类物料的形状发生同一变化所需的功, 与物料的体积或质量成正比。

当物体受外力时, 必然在内部产生应力。随着外力的增加, 物体的应力及变形随着加大, 应力达到物料的强度极限时, 外力稍增加就能使物体发生破坏。对于脆性物料来说, 这种应力与变形的关系, 在实际运算中往往取它的应力-应变图上曲线所对应的弦来表示。这是假定被破碎物料受到外力后的变形符合直线变形的原则。故可导出粉碎功与体积成正比的表达式。

设物料沿压力的作用方向为等截面体, 根据虎克定律可推导出物体变形所需的功

$$A = \frac{\sigma^2 V}{2E} \quad (1-10)$$

式中, σ ——物体变形时产生的应力;

E ——物体的弹性模数;

V ——变形物体的体积。

取几何体相似的 V_1, V_2 两块物料, 它们的粉碎功之比为

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{\sigma^2 V_1}{2E}}{\frac{\sigma^2 V_2}{2E}} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1-11)$$

当把 V_1, V_2 看作是两个边长为 l_1, l_2 的立方体体积时, 则

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1^3}{l_2^3} \quad (1-12)$$

这就是体积假说的另一表达式: 粉碎物料所需的功与被粉碎物料的线长度的立方成正比例。

根据粉碎功与粉碎物料质量成正比例关系又可推出另一表达式。对于粉碎 m 千克物料所需的粉碎功, 可引用一个比例系数 K 建立: $A = Km$ 。当被粉碎的 m 千克物料经 n 次粉碎, 则所需功 $A = nKm$ 。

物料粉碎前的尺寸为 D , 经 n 次粉碎后直径变为 d , 每一级的粉碎比均为 i , 则总粉碎比

$$i = \frac{D}{d} = i^n$$

将上式两端取对数, 得

$$\lg i = n \lg i, \quad n = \frac{\lg i}{\lg i}$$

故

$$A = nKm = \frac{\lg i}{\lg i} Km$$

令 $\frac{K}{\lg i} = K_v$, 则

$$A = K_v m \lg i = K_v m (\lg \frac{D}{d}) = K_v (\lg \frac{1}{d} - \lg \frac{1}{D}) m \quad (1-13)$$

从式(1-13)中看出, K_v 值相当于粉碎单位质量(或单位体积)物料, 粉碎比为 10 的能量消耗。它与物料的物理机械性质密切相关。

当使用体积假说计算物料的粉碎功时, 应当用几何平均直径来表示物料的尺寸。

当粉碎比 $i < 8$ 时, 按体积假说计算的粉碎功比用表面积假说计算出来的数值大。这是因为粉碎比小时, 产生的新表面积比较少, 消耗形成新表面积上的能量就少, 这时能量主要消耗在物料变形上。当粉碎比 i 继续增大时, 形成的新表面积也急剧增加, 因而需要的能量也随之增大。这时按体积假说计算出的功耗比较低, 与实际情况相差太大; 而用表面积假说计算功耗比用体积假说要较为接近实际一些。因此在有些资料中, 当研究粉碎比 $i < 8$ 的破碎过程时, 应用体积假说估算功耗, 而对粉碎比 i 很高的粉磨过程来说, 常用表面积假说来估算功耗。

应当指出, 上述粉碎功的计算式, 是依据虎克定律建立起来的, 而公式(1-12)只有在不超过该物料的弹性限度的应力下才适用。显然, 对于粉碎来说, 不仅应当超过应力 σ , 而且应超过物料的强度极限后才能破裂, 因此用它来推导公式计算破碎功就不十分严格。虽然在计算中 σ 用物料的强度极限值代替, 但由于物料的强度在各个方向上不可能相同, 确定物料的抗压强度极限值和选取弹性模数 E 时必然产生误差, 因而使用体积假说计算物料破碎功时, 也只能得出近似的结果。

3. 裂纹理论 这是邦德(F. C. Bond)于 1952 年提出来的, 又称邦德理论。

前面所介绍的两种假说,都只能适用于一定范围。但在破碎和粉磨的中间情况时,两者都不能给出准确的结果。裂纹理论的实质是介于前二者之间,在比较广泛的粒度范围内,其理论与实际情况相符合。

裂纹理论的内容是:粉碎物料所需要的功与物料的直径或边长(正方形的) D 的平方根成反比(直径 D 是假定物料中80%质量能通过筛孔尺寸)。

邦德解释物料破碎的实质是:物料一定要在压力下产生变形,积累一定的能量后产生裂纹,最后才能粉碎,即物料在粉碎前一定要有超过某种程度的变形,而且一定要有裂纹。粉碎所需之功和裂纹的长度成正比。裂纹又和粉碎颗粒尺寸的平方根成反比。

把 m 千克物料,从颗粒尺寸为 D 粉碎到颗粒尺寸为 d 所需的功

$$A = C' \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right) = \frac{10W_i}{\sqrt{d}} - \frac{10W_i}{\sqrt{D}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h/t}) \quad (1-14)$$

式中, D ——粉碎前物料尺寸(μm);

d ——粉碎后物料尺寸(μm);

C' ——物料性质系数、其值见表1-3;

W_i ——工作指数,表示物料特性的量。其值为生产80%通过 $100\mu\text{m}$ 方孔筛的物料所消耗的总能量,也可以说是粒度为 $100\mu\text{m}$ 物料的累计能耗($\text{kW} \cdot \text{h/t}$)。

上式中的工作指数 W_i 主要由物料的物理力学性质和操作条件而定。所以它可作为粉碎设备操作状况优劣的一个实用指标。

物料性质系数 C'

表 1-3

矿石种类	C' 值	矿石种类	C' 值
闪长岩、片麻岩	300~315	白云石、磷镁矿	160~170
安山岩、玄武岩、辉长岩	250~280	磁铁矿石、铝锌矿	150~160
花岗岩、砾岩	220~240	黄铁矿	130~140
正长岩、砂、石英、赤铁矿石	190~210	石膏	100
石灰石、锰矿石	180~190	重晶石	70

注:表中 C' 值,在粗碎、中碎、细碎时都适用,但在使用球磨时, C' 值应减小15~25%。

当粉碎比小于8时,按裂纹理论计算粉碎物料所需的能量消耗与按体积假说计算的值非常接近;而当 $15 > i > 8$ 时,按此理论计算的值仍大于按表面积假说计算所得结果。事实上粉碎比等于15时,实际上新生成的表面积不多,因此,裂纹理论在广泛粒度范围内是接近于实际情况的。总之,裂纹理论更切合实际的解释了物料破碎的实际事实,并且紧密地与实际相联系着(通过实验测定 C' 值)。

以上讨论的各种粉碎物料所需要消耗的能量可以用一个统一的微分方程式来表达,即

$$dA = -C \frac{dD}{D^n} \quad (1-15)$$

式中, A ——粉碎单位物料所需的功;

D ——物料被粉碎前的颗粒尺寸;

C ——系数;

n ——指数。

当 $n = 2, 1, 3/2$ 时将式(1-15)分别积分,便可分别得出:把质量为 m 的物料,从颗粒尺寸为

D 粉碎到尺寸为 d 时所需功的表面积假说、体积假说和裂纹理论的表达式。

应当指出,只靠理论计算来确定粉碎机械电动机的功率是不够的,必须同时参照实际生产资料和实验资料来确定。

七、 破碎方法、破碎流程及破碎机分类

虽然破碎机械类型繁多,但按施加外力的方法不同,不外是通过下述几种方法使物料破碎。

1. 压碎(图 1-2(a)) 物料在两个工作表面之间受到缓慢增长的压力而破碎。这种方法多用于脆性坚硬物料的粗碎。

2. 磨碎(图 1-2(b)) 物料在两个相对滑动的工作面或各种形状的研磨体之间,受摩擦作用而磨碎。这种方法多用于小块物料的细碎。

3. 劈碎(图 1-2(c)) 物料受到两个楔状物体作用被破碎。

4. 击碎(图 1-2(d)) 物料在瞬间受到冲击力而被破碎。

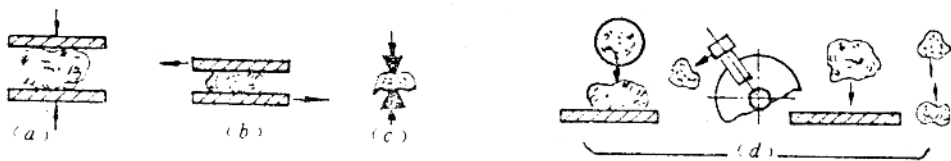


图 1-2 物料破碎的方式

(a) — 压碎; (b) — 磨碎; (c) — 劈碎; (d) — 击碎。

物料的破碎系统,在生产中采用开路、闭路两种基本流程。凡是在破碎系统中,不带筛分设备或仅有预先筛分设备的称为开路流程(如图 1-3(a));凡是在破碎系统中带有检查筛分设备的称为闭路系统(如图 1-3(b)、(c))。

开路流程的优点是:工艺布置简单、设备少、扬尘点少,维护管理简单。缺点是:产品粒度不均匀,粉碎效率低。

闭路流程的优点是:产品粒度均匀,粉碎效率比开路高。其缺点是:设备多,流程复杂,维护管理比较复杂。

在生产中采用什么样的流程,主要根据生产条件与技术经济效果来定。

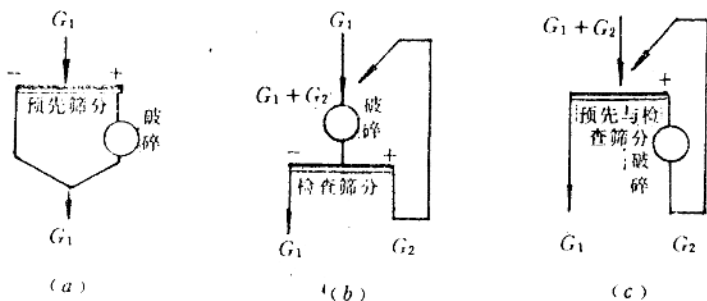


图 1-3 破碎基本流程

(a) — 带预筛分的开路流程; (b)、(c) — 闭路流程。

为了适应生产上的需要,根据处理物料性质的差异,采用不同的粉碎方法,设计制造了许多不同类型的粉碎机械。

根据处理物料尺寸的不同,粉碎机械可以粗略的分为破碎机械和粉磨机械两大类。破碎机械又可分为粗碎机、中碎机和细碎机。但是这一分类方法并不严密,目前有许多粉碎机械就介于几个粉碎阶段之间。例如近代使用的大型锤式破碎机和反击式破碎机等,在一个机械中可同时完成粗碎、中碎或细碎操作。

按照结构及工作原理的不同,水泥工业中常用的破碎机械有颚式破碎机、锥式破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机等。

目前,在大中型水泥厂中,常用的粗碎机为颚式破碎机、粗碎圆锥破碎机和颚旋式破碎机等。

§ 2 颚式破碎机

颚式破碎机是水泥厂广泛应用的粗碎和中碎机械。颚式破碎机结构简单、坚固、工作可靠,是维护修理方便以及生产费用和设备费用都较少的破碎机械。

一、 结构及工作原理

颚式机按动颚运动特点及其悬挂方式主要分为:简单摆动式、复杂摆动式和组合摆动式三种。其工作原理及简要结构如图 1-4 所示。它们都有两块颚板;一块是固定颚板,一块是活动颚板。动颚板 2 套装在偏心轴 1 或悬挂轴 8 上,工作时,由传动机构带动偏心轴转动,使之对固定颚板 3 作周期往复运动,时而靠近时而离开。靠近时物料在两颚板之间被压碎;离开时,小于出料口尺寸的合格物料被卸出。

颚式破碎机的规格,是用进料口的宽度乘长度表示的。例如 900×1200mm 颚式破碎机,表示进料口宽为 900mm,长度为 1200mm。

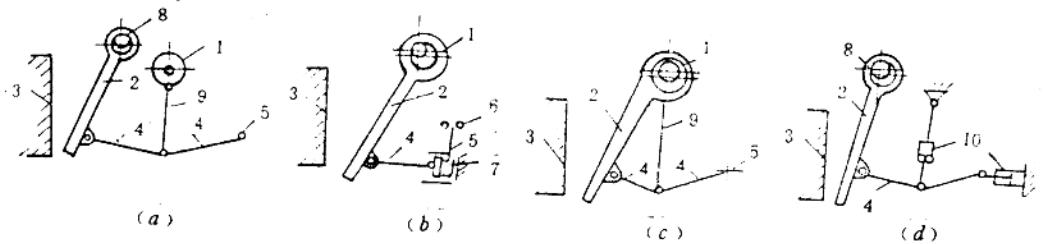


图 1-4 颚式破碎机结构、工作原理简图

- 1—偏心轴;2—活动颚板;3—固定颚板;4—推力板;5—支承;
6—调整螺杆;7—楔铁;8—悬挂轴;9—连杆;10—液压缸。

1. 简单摆动颚式破碎机

图 1-4(a)是简单摆动颚式破碎机。活动颚板 2 以悬挂轴 8 为支点。偏心轴 1 通过连杆 9、推力板 4 带动活动颚板 2 作简单往复摆动,所以称作简单摆动颚式破碎机。它的优点是:构造简单,坚固,工作安全可靠,操作维修方便,处理物料范围广,可制成大型设备。其缺点是:动颚有空行程,生产效率低,动颚的下部水平行程比上部大,使颚板受负荷不均匀;破碎腔上下工作时易形成空隙,使生产效率低;排料口成长方形,易出片状产品。不适合处理片状结构岩石;也

不适合处理粘湿性、软质的物料；破碎比较小，一般只有4~6。

图 1-5 是 900×1200mm 简单摆动颚式破碎机。

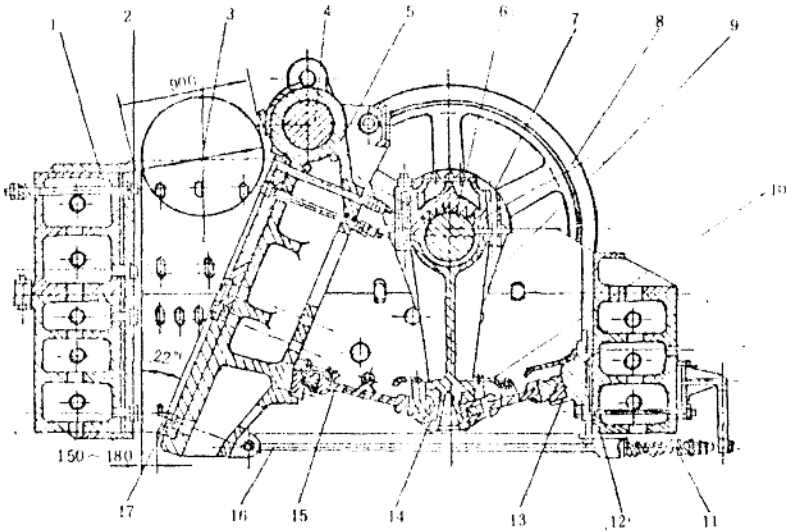


图 1-5 900×1200mm 简单摆动颚式破碎机

1—机架；2—固定颚板；3—侧护板；4—动颚悬挂轴；5—动颚体；6—偏心轴；7—连杆头；8—飞轮；9—连杆体；10—防护挡板；11—拉杆弹簧；12—螺栓；13—楔铁；14—槽铁；15—推力板；16—拉杆；17—动颚板。

2. 复杂摆动颚式破碎机

图 1-4(b) 是复杂摆动的颚式破碎机。它的动颚板 2 是悬挂在偏心轴 1 上。当偏心轴回转一周时，动颚板上各点的运动轨迹为一条复杂的曲线，如图 1-6 所示。把动颚板上端的一点随偏心轴回转一周绘出的圆形轨迹分成 12 等分四个区域。在第 I 区域内(由 1 点到 4 点)颚板的下部接近固定颚板，上部则逐渐离开固定颚板。在第 II 区域内(由 4 点到 7 点)是纯工作行程，整个颚板逐渐向固定颚板移动挤压物料。在第 III 区域内(由 7 点到 10 点)，正和第 I 区域运动情况相反，动颚上部继续向固定颚靠近挤压物料，下部逐渐离开，固定颚开始排料。在第 IV 区内(由 10 点到 1 点)是纯空行程，整个动颚都渐渐离开固定颚板继续排料。由此看出，动颚板上各点的运动轨迹并不相同，愈接近动颚上端的各点，运动轨迹越接近圆形；中间部分各点接近椭圆形；底部端点轨迹近似圆弧形。所以称它为复杂摆动颚式破碎机。

复杂摆动颚式破碎机具有如下优点：由于动颚的运动轨迹是一复杂曲线，且上部的水平行程比下部大，符合

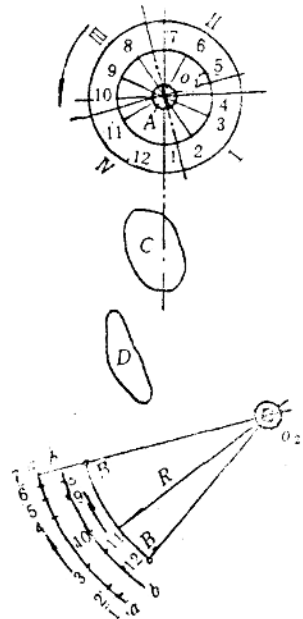


图 1-6 复杂摆动颚式破碎机动颚各点运动轨迹

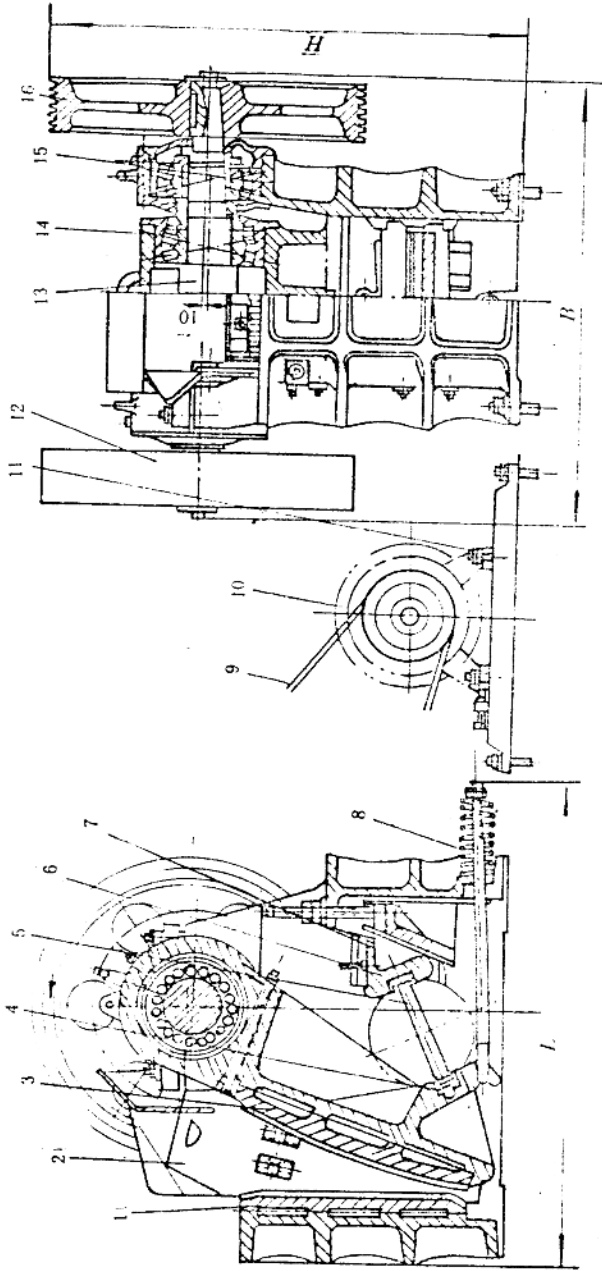


图 1-7 复杂摆动颚式破碎机构造

- 1—固定颚, 2—侧护板, 3—活动颚板, 4—槽铁, 5—楔铁, 6—楔铁, 7—调整螺栓, 8—拉杆弹簧, 9—皮带, 10—马达, 11—地角钉, 12—飞轮, 13—偏心轴, 14—瓦盖, 15—轴承, 16—皮带轮