

陶瓷工业机械设备

华南工学院
南京化工学院 编



7400
高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

陶瓷工业机械设备

华南工学院
南京化工学院 编

中国建筑工业出版社

本书介绍陶瓷工业常用的专用机械设备和通用机械的主要类型、基本构造、工作原理、性能特点、工作参数、造型和使用以及专用机构和典型零部件的设计基本知识和资料。

全书共四篇：原料制备机械设备，成型机械设备，通用流体机械设备和起重运输机械设备。

本书可作为大专院校陶瓷专业、非金属材料科学与工程专业和陶瓷机械学习班的教材，也可作为陶瓷机械厂、轻工业机械厂、陶瓷厂以及从事陶瓷机械设计和研究人员的参考资料。

高等学校试用教材

陶瓷工业机械设备

华南工学院
南京化工学院 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：23 1/2 字数：578 千字

1981年5月第一版 1981年5月第一次印刷

印数：1—5,700册 定价：2.45元

统一书号：15040·4046

前 言

陶瓷生产的机械化,对于促进陶瓷工业生产的发展以满足民用、各项基本建设用瓷的需要,并为现代科学技术部门提供具有特殊性能的材料或元件,都具有重要的意义。

在陶瓷生产过程中,从原料采掘到制成产品,应用着许多类型的机器和设备。按其生产工艺过程中的主要用途,可分为采掘、原料制备、成型、烧成、彩绘与装饰、检验和包装等机械设备,以及各种辅助设备,如风机、除尘器和运输机械等。其中,按其供应来源和用途,可分为专用机械设备和通用机械设备两大类。本书主要介绍陶瓷工业常用的专用机械设备和通用机械设备的基本知识和资料。对于专用机械设备着重于基本构造、工作原理、性能特点、主要参数、典型机构与主要零部件的设计;对于通用机械设备着重于选型和使用问题。对于陶瓷窑炉详见《硅酸盐工业热工过程及设备》下册,本书只叙述窑炉附属专用机械设备。

陶瓷工业机械化生产还是比较近代的事,陶瓷机械与陶瓷生产工艺过程有着特别密切的关系,陶瓷机械具有专用机械的特点:既由各种机构组合,又要满足工艺性能要求。例如许多专用陶瓷机械,从运动关系到基本构造来看并不很复杂,但要做到切实可用、通用,却非易事。三十年来,我国陶瓷机械设备的设计与制造和机械化水平有很大的发展,但陶机技术的进一步提高,仍然有待于陶瓷机械基础理论的深入研究和将新技术应用到陶瓷工业生产中来。本书的许多内容是取材于对生产实际的调查研究整理,而且在阐述机械的分类、结构性能时,着重于从学科、机械原理和工艺原理方面进行说明。随着现代科学技术的发展,陶瓷机械设备也在不断的更新、引进和发展,许多问题有待于今后的研究和补充。

全书共四篇二十一章,由华南工学院陈帆(第一章至第七章,第九章至第十七章,第十八章第二节)、南京化工学院陈永有(第十八章至二十一章)、华南工学院姚秋胜(第八章)合编。全书由陈帆主编。

审稿者为唐山轻工业机械厂张庆勳、轻工业部第一轻工业局刘秉诚、西北建筑设计院詹泽富、礼陵陶瓷机械厂梁国贤和佛山陶瓷工业公司张铭昌。并由张庆勳担任主审。

本书的编写,得到国内有关陶瓷厂、陶瓷机械厂、轻工业机械厂、研究所和情报站的支持和帮助,在此,对这些单位表示感谢。

编 者

一九八〇年五月

目 录

第一篇 原料制备机械设备

第一章 粉碎机械设备	1
第一节 粉碎概论	1
第二节 颚式破碎机	7
第三节 轮碾机	13
第四节 其他破碎机械	18
第五节 悬辊式环辊磨机(雷蒙磨)	23
第六节 球磨机	29
第七节 超细磨机械设备	41
第二章 筛分机械设备	48
第一节 概述	48
第二节 摇动筛	50
第三节 振动筛	52
第四节 回转筛	55
第三章 搅拌和混合机械设备	56
第一节 用途和主要类型	56
第二节 水平式混合(搅拌)机	57
第三节 行星式搅拌器	58
第四节 螺旋桨式搅拌机	58
第五节 压缩空气搅拌器	63
第四章 电磁除铁设备	64
第一节 除铁的作用和原理	64
第二节 干式磁选设备	65
第三节 湿式磁选设备	66
第五章 料浆脱水设备	68
第一节 浆料浓缩设备	68
第二节 过滤原理和压滤机	72
第六章 泥浆泵	81
第一节 泥浆泵的类型和用途	81
第二节 离心式泥浆泵和砂泵	81
第三节 往复式泥浆泵	82
第七章 真空练(挤)泥机	89
第一节 真空练(挤)泥机的用途和结构	89
第二节 练泥机的主要类型	90
第三节 练泥机的工作机理	91
第四节 真空练泥机的主要工作参数	93
第五节 螺旋设计	95

第六节	搅泥部分	99
第七节	挤泥部分	100
第八节	抽真空系统	102
第九节	真空练泥机的传动装置和其他形式	105
第十节	真空练泥机的操作要点	107
第八章	喷雾干燥机	108
第一节	概述	108
第二节	雾化器的雾化机理和设计计算	110
第三节	干燥塔的设计计算	126
第四节	干燥塔的物料平衡和热量平衡计算	135
第五节	喷雾干燥流程的确定	139

第二篇 成型机械 设备

第九章	塑性成型机械	147
第一节	滚压成型机械	147
第二节	挤坯机	177
第三节	旋坯成型机	178
第十章	粉料干压成型机械	182
第一节	粉料干压成型机械的性能特点与类型	182
第二节	摩擦(螺旋)压力机	185
第三节	液压成型机	188
第四节	回转式压力成型机	198
第十一章	注浆成型机械设备	200
第一节	泥浆真空搅拌和真空脱气机械设备	200
第二节	注浆单机	201
第三节	注浆生产作业线	202
第十二章	特种成型机械设备	205
第一节	轧膜机	205
第二节	热压铸成型设备	206
第三节	热压铸模具	207
第四节	等静压成型和喷注成型机械简介	212
第十三章	干燥机械设备	215
第一节	干燥机的组成与分类	215
第二节	链式干燥机	216
第三节	转盘式干燥机	228
第四节	推板式干燥机	231
第五节	干燥机的热源和通风装置	234
第十四章	成型生产线	239
第一节	概述	239
第二节	一些典型生产线简介	240
第三节	工业机械手	244
第四节	生产线的工作循环图	248

第十五章	窑炉附属专用机械设备	252
第一节	窑门	252
第二节	窑炉的运载装置	253
第三节	窑车牵引装置	257
第四节	推车机	257

第三篇 通用流体机械设备

第十六章	工业用泵	261
第一节	工业用泵概述	261
第二节	离心清水泵	262
第三节	轴流泵	275
第十七章	风机	276
第一节	活塞式空气压缩机	276
第二节	通风机和鼓风机	283
第三节	真空泵	291
第十八章	收尘(除尘)设备	299
第一节	概述	299
第二节	颗粒沉降原理	302
第三节	重力沉降室和惯性除尘器	309
第四节	旋风除尘器	312
第五节	袋式除尘器	321
第六节	湿式除尘器	327
第七节	除尘系统简介	329

第四篇 输 送 设 备

第十九章	带式输送机	333
第一节	带式输送机的特点和用途	333
第二节	输送带	334
第三节	托辊	335
第四节	传动、张紧、制动装置	336
第五节	带式输送机的造型计算	339
第六节	输送带的转交方法	343
第二十章	斗式提升机	349
第一节	斗式提升机的用途和特点	349
第二节	结构、原理、类型和主要零部件	349
第三节	主要参数计算	349
第四节	造型举例	355
第二十一章	其他输送机械	357
第一节	螺旋输送机	357
第二节	悬挂输送机	363
第三节	振动输送机	372
主要参考资料		374

第一篇 原料制备机械设备

不论是天然原料或是化工原料，都要经过必要的开采、加工制造才能成为合乎要求的成型料。

按原料的制备方法分，有物理的和化学的；按原料的制备工艺过程分，有湿法和干法。通常包括粉碎、选分、脱水、脱气、混合和搅拌、制泥、造粒、制浆等。物理方法制备原料的机械设备有各种形式的粉碎机械设备、筛分机械、混合和搅拌机械、除铁设备、脱水设备、泥浆泵、制浆设备、真空练泥机、喷雾干燥机等等。

在陶瓷工业生产中，原料制备所耗费的电力和劳动占很大的比重，虽然相对于其他的工序机械化水平较高，但目前仍然存在着效率低、功耗大、未能适应日益发展的新工艺要求等问题，急切地有待改革或创新。

原料制备机械设备中包括专用的和通用的两部分，本篇主要讲述专用机械设备的类型、工作原理、结构、性能、工作参数、选型和使用知识、典型专用零部件的设计、定型产品的规格和技术性能，也顺便提到发展趋向。通用部分在其他篇章介绍。

第一章 粉碎机械设备

第一节 粉碎概论

一、粉碎和粉碎比

用机械的方法使固体物质由大块碎解为小块或细粉的操作过程统称为粉碎。粉碎过程中，物料的块（粒）度变小，单位重量物料的总表面积增加，同时要消耗能量。通常，固体由大块破裂成小块的操作称为破碎，由小块碎裂为细粉的操作称为粉磨。相应的机械称为破碎机和粉磨机。

粉碎作业在陶瓷原料的制备中，对于改善物料的工艺性能（如可塑性、结合性、浆料的悬浮性能等）、提高物料的反应速度、不同组分物料的均匀混合、除去物料中的有害杂质等方面有重要意义。

依据处理物料尺寸的大小，破碎可分为：粗碎、碎至块度为100毫米左右；中碎，碎至块度约为30~100毫米；细碎，碎至块度在3~30毫米。粉磨可分为：粗磨，磨至粒度在0.1~0.3毫米；细磨，粒度在0.1~0.06毫米左右；超细磨，粒度在0.01毫米以下。

为了说明物料在粉碎前后尺寸大小变化情况，即粉碎程度，用粉碎比（又称粉碎度）

表示。设物料在粉碎前后的平均尺寸分别为 D 和 d ，平均粉碎比用 i 表示，

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

对于粉碎机来说，为了简明地说明和比较粉碎机的粉碎程度，也用破碎机允许最大进料口尺寸与最大出料口尺寸之比作为粉碎比，称为公称粉碎比。事实上由于实际工作时进料块度总是略小于最大进料口尺寸，因此破碎机的平均粉碎比，通常约为公称粉碎比的70~90%。

物料的粉碎比是确定粉碎工艺以及机械设备选型的重要依据。在多级粉碎中，各级粉碎比和总的粉碎比有下述关系

$$i_{\Sigma} = i_1 i_2 \cdots i_n \quad (1-2)$$

式中 i_1 、 i_2 ——为各级粉碎比。

衡量粉碎机工作效果的优劣除上述的粉碎比外，还可用操作强度、单位功耗等项作为指标。

设机器的生产能力为 Q 牛/时，重量为 G 牛，操作强度用 E 表示，

$$E = \frac{Q}{G} \text{ 牛/时} \cdot \text{牛} \quad (1-3)$$

粉碎机每粉碎单位重量所消耗的能量，称为单位功耗 A

$$A = \frac{N}{Q} \text{ 千瓦} \cdot \text{时/牛} \quad (1-4)$$

显然，就是用同一机器破碎不同物料，其 E 、 A 也是不一定相同的。

对物料来说，为了说明粉碎的难易程度，可用易碎系数 k 。设 A_B 为标准物料的单位功耗， A 为所粉碎物料的单位功耗

$$k = \frac{A_B}{A} \quad (1-5)$$

二、机械粉碎方法

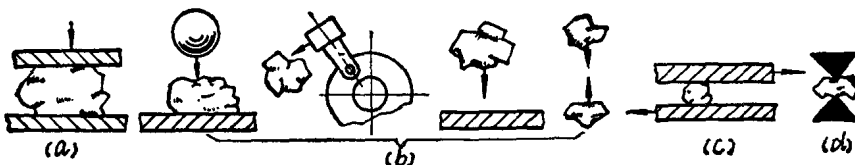


图 1-1 机械粉碎主要方法

(a) 压碎；(b) 击碎；(c) 磨碎；(d) 劈碎

图1-1是常用的几种机械粉碎主要方法。

压碎是物块在破碎机工作面间受到缓慢增长的压力而被破碎的。

击碎是物块受到冲击力而被粉碎的。冲击力的产生可以是工作体对搁在工作面上的物块碰击，高速运动的工作体向悬空的物块碰撞，高速运动的物块向固定工作面碰击，高速运动的物料间相互碰撞。

磨碎是物料在作相对运动的研磨体之间受到摩擦、剪切作用而粉碎。

劈碎是物块受到楔形工作件的尖劈力而粉碎。

此外, 还有折断、撕碎等。

从机械的观点看, 粉碎过程就是一个对物料施加一定的破坏力使其不断破碎破裂的过程。在这过程中, 一方面是破碎外力, 另一方面是物料抵抗破碎的能力, 粉碎效果与这两种力有密切关系。因此在粉碎机械的选型时, 既要了解机械的性能特点, 又要考虑到物料的物化性质, 才能使粉碎达到良好的效果。一般来说, 对于粗、中碎脆硬物料, 用压碎法或劈碎法所耗能量省些, 设备的磨损也较小; 对于粉磨, 用研磨、冲击法有较好的效果。实际中, 任何一种粉碎方法均伴随有其他的作用。

凡对物料能实现上述粉碎作用的机械设备, 均可作为粉碎机械或设备。当然还应考虑满足下述要求: 粉碎的物料块粒度均匀、不产生粉尘, 粉碎后能尽快离开粉碎区, 粉碎比可调, 容易更换易损零部件, 机械自动化水平较高和单位功耗小等。

三、粉碎理论简介

物料粉碎时, 尺寸由大变小, 单位重量的总表面积不断增加, 同时也要消耗能量。粉碎理论就是人们在生产实践和科学实验的基础上加以概括总结, 用来解析粉碎机理、找出物料尺寸变化和能量消耗之间关系的理论。它对于指导和确定物料的粉碎方法和粉碎设备的功率、衡量粉碎效率等, 具有重要的意义。由于粉碎过程相当复杂, 受到诸如物料的性质、形状、块粒度大小及其分布规律、机器类型和操作方法等许多变化因素的影响, 尽管长期以来中外许多学者曾作了大量深入的研究探讨, 尚未有一个完备的能全面概括粉碎规律的理论, 而只有在一定程度上近似地反映客观实际的假说。比较重要的粉碎理论假说有表面积理论、体积理论、裂纹理论及其综合等。

(一) 表面积理论 认为粉碎物料消耗的能量与粉碎过程中物料新生成的表面积成正比。

数学表达式: 设物料呈球形, 粉碎前后的直径尺寸为 D (米) 和 d (米), 单位体积重量为 γ (牛顿/米³), 单位重量物料的表面积在粉碎前后为 S_1 和 S_2 ,

$$S_1 = \frac{\pi D^2 Z}{\frac{\pi}{6} D^3 \gamma Z} = \frac{6}{D \gamma} (\text{米}^2/\text{牛}), S_2 = \frac{\pi d^2 Z}{\frac{\pi}{6} d^3 \gamma Z} = \frac{6}{d \gamma} \text{米}^2/\text{牛}.$$

G (牛顿) 重量的物料粉碎后表面积的增加数为

$$G(S_2 - S_1) = \frac{6}{\gamma} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) G \text{ 米}^2$$

按表面积理论, 粉碎功和表面积增加成正比, 令比例系数为 C' , 则有

$$A = C' \frac{6}{\gamma} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) G$$

$$A = CG \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \text{ 千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-6)$$

上式为表面积粉碎理论的基本表达式。比例系数 $C = C' \frac{6}{\gamma}$ 是考虑物料性质、形状、重度等有关的系数, 从实验中可得出。

表面积理论的物理基础是物体由分子、原子或离子的粒子组成, 物体内部的粒子被周围的相邻粒子包围, 彼此吸引, 处于相对平衡状态; 物体表面的粒子则受到内部粒子巨大的内向拉力的作用, 这种粒子使物体表面具有吸附其他物质粒子的本领, 说明物体表面有张力和表面能。表面张力力图使表面缩小。要把物料粉碎, 产生更多的表面积, 就必须克

服表面张力而做功,使物料具有更多的表面能。故粉碎能量消耗于增加物料的表面能,因而粉碎能量与粉碎过程中新生成的表面积成正比。

实践证明,表面积理论较适用于粉磨粉碎过程。

(二) 体积理论 认为粉碎物料所消耗的能量与其体积(或重量)成正比。

此理论的物理基础是任何物体受到外力的作用必然在物体内部引起应力和产生变形,应力、应变随外力的增加而增大,当应力达到强度限后导致物体破坏。对于脆性物料,将应力与应变近似地看作线性关系,不难导出粉碎功

$$A = \frac{\sigma_{max}^2 V}{2E} \text{ 牛} \cdot \text{米} \quad (1-7)$$

式中 σ_{max} ——物料的强度限,牛/米²;

E ——弹性模数,牛/米²;

V ——物料体积,米³。

上式说明粉碎能量与物体体积成正比。这种关系也可用粉碎前后物料的尺寸来表示。设 G 牛重量的物料分 n 次粉碎,每次的粉碎比相同,粉碎前后的尺寸为 D 和 d ,则总粉碎比可表示为:

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

$$\lg i_s = n \lg i$$

即:

$$n = \frac{\lg i_s}{\lg i}$$

依据体积理论,每粉碎一次的功

$$A_1 = kG$$

k 是比例系数。在 n 次粉碎中的总功

$$A = nA_1 = nkG \quad (1-8)$$

令 $K_v = k/\lg i$,是考虑物料性质、强度等因素影响的系数,从实验中测得。因此

$$A = K_v G \left(\lg \frac{1}{d} - \lg \frac{1}{D} \right) \text{ 千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-9)$$

实践说明体积理论较适用于破碎过程。

(三) 裂纹理论 对粉碎过程的进一步研究发现,物体受外力的作用内部产生应力,当应力超过着力点物料的强度限时产生裂纹,当裂纹不断扩大加深,导致物体的碎裂,而且几乎没有明显的残余变形,实际上就是物体在外力反复作用下产生疲劳破坏。故裂纹理论认为粉碎物料消耗的能量与粉碎期间生成的裂纹总长度成正比。用数学表达式表示:

$$A = K_c G \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right) \text{ 千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-10)$$

式中 K_c 为比例系数,而且实践证明,即使是同一物料,在不同的粉碎阶段, K_c 值是不相同的,因而要用相应的 K_c 值。

(四) 粉碎综合式 为了进一步分析上述理论的区别,得出较能概括粉碎过程的较普遍的表达式,现将式(1-6)和式(1-9)转化成另一形式。

由式(1-6),

$$A = CG \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) = CG \left(\frac{i-1}{D} \right) \text{千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-11)$$

将式(1-9)写成

$$A = K_v G \left(\lg \frac{1}{d} - \lg \frac{1}{D} \right) = K_v G \lg i_s \text{千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-12)$$

式(1-11)说明粉碎的能量和 i 有关外, 还和原尺寸有关, 原尺寸小, 所需粉碎功大。而式(1-12)说明粉碎功与 i 有关外, 与物料的绝对尺寸无关。实践证明, 表面积理论和体积理论都不完全符合客观情况。实际上, 若将裂纹的生成也看作是物体在局部地方产生新表面, 则任何粉碎过程, 粉碎功都包括两部分: 一是变形功, 一是产生新表面所需的功。粉碎块度大的料, 表面较小, 物体变形消耗的能量占主要地位, 故粉碎功与体积成正比; 粉碎细小的物料, 表面积大, 新表面生成所需功占主要地位, 故粉碎功与产生新表面积成正比。一般来说, 在粉碎的不同阶段, 这两部分功占的分量也是随粉碎过程而变化的。

设使单位重量的尺寸为 D 的物料粉碎, 尺寸减小 dD 时所消耗能量为 dA ,

$$\frac{dA}{dD} = -CD^{-n} \quad (1-13)$$

式中 C ——系数;

n ——指数。

将 G 重量的物料, 从尺寸 D 粉碎成尺寸 d , 指数取 2、1、3/2 时将式(1-13)积分, 便可得到表面、体积、裂纹理论的数学表达式。由此看出, 裂纹理论的表达式的指数 n 恰为表面积理论和体积理论的指数的算术平均值, 即为两理论的折中。事实上在粉碎的各阶段, 变形和产生新表面所耗的功不见得都是各占一半, 故在不同的粉碎阶段, 对于同一物料, 其 K_c 值要修正。

一般条件下, 令指数 $n=k$, 而 $1 < k < 2$, 将式(1-13)积分得

$$A = K_0 \left(\frac{1}{d^{k-1}} - \frac{1}{D^{k-1}} \right) G \text{千瓦} \cdot \text{时} \quad (1-14)$$

式中的系数 K_0 和指数 k 的大小与物料的性质、尺寸大小等因素有关, 一般通过实验来确定。

【例】 某粉碎机将平均直径为 25 毫米的物块碎至 6 毫米, 实测单位电耗 0.51×10^{-3} 千瓦小时/牛, 再将平均直径为 6 毫米的这种物料粉碎至 2.5 毫米, 实测单位电耗 0.663×10^{-3} 千瓦小时/牛。如果将平均直径为 2.5 毫米的这种物料碎至平均直径为 0.25 毫米, 求单位电耗为多少。

【解】 依式(1-14), 在第一种情况, $A_1 = 0.51 \times 10^{-3}$,

$$0.51 \times 10^{-3} = K_0 \left(\frac{1}{6^{k-1}} - \frac{1}{25^{k-1}} \right)$$

在第二种情况, $A_2 = 0.663 \times 10^{-3}$

$$0.663 \times 10^{-3} = K_0 \left(\frac{1}{2.5^{k-1}} - \frac{1}{6^{k-1}} \right)$$

现将二式相除得

$$0.769 = \frac{\left(\frac{1}{6^{k-1}} - \frac{1}{25^{k-1}} \right)}{\left(\frac{1}{2.5^{k-1}} - \frac{1}{6^{k-1}} \right)}$$

上式直接求 k 是困难的, 用尝试法。

k	$k-1$	25^{k-1}	6^{k-1}	2.5^{k-1}	$\frac{1}{6^{k-1}} - \frac{1}{25^{k-1}}$	$\frac{1}{2.5^{k-1}} - \frac{1}{6^{k-1}}$	比 值
1.5	0.5	5	2.45	1.58	0.208	0.225	0.925
1.6	0.6	6.9	2.95	1.73	0.196	0.237	0.825
1.7	0.7	9.5	3.5	1.9	0.180	0.239	0.752
2	1	25	6	2.5	0.127	0.233	0.545

由表知, 当 $k=1.7$ 时, 此值最逼近 0.769, 故定 $k \approx 1.7$ 。对于第三种情况, 单位电耗 A_3 ,

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{K_0 \left(\frac{1}{6^{0.7}} - \frac{1}{25^{0.7}} \right)}{K_0 \left(\frac{1}{0.25^{0.7}} - \frac{1}{2.5^{0.7}} \right)} = \frac{0.160}{0.235}$$

$$A_3 = \frac{2.235}{0.160} \times 0.51 \times 10^{-3} = 7.12 \times 10^{-3} \frac{\text{千瓦} \cdot \text{时}}{\text{牛}}$$

四、粉碎程序

各种粉碎机械设备有其特定的操作条件和最有利的使用范围, 故在安排物料粉碎程序时要考虑两个主要问题: 一是级数, 一是流程。

现在陶瓷厂常采用的方法是: 对于硬质料, 进行一级破碎, 二级粉磨; 对于软质料, 进行必要的选分之后用一级粉磨。

粉碎的流程分为开流式和圈流式两种。在开流式粉碎中, 卸出的物料全部作为产品; 在圈流式粉碎中, 部分是产品, 未符合要求的部分再送回去粉碎。

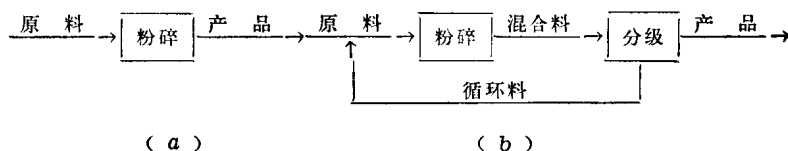


图 1-2 粉碎的流程示意图

(a) 开流式; (b) 圈流式

开流式粉碎较简单, 但要在一次同时达到细度要求, 粒度不会很均匀。而且实践证明, 在磨机内粉碎物料的大部分在较短的时间内就能达到细度要求, 只小部分要经长时间粉碎, 而为了在一次卸出, 在继续粉碎时, 形成过度粉碎。这些过度粉碎的物料会包围着大颗粒物料, 就象包上一层弹性垫衬, 致使粉碎效果降低。故开流式粉碎时间较长, 生产能力较低, 单位电耗大。

圈流式粉碎可以随时将达到细度的物料卸出, 其余物料送回进行循环粉碎, 使粒度均匀, 能避免过度粉碎。故生产能力较高, 单位电耗小, 但流程较复杂, 附属设备较多, 控制较困难。

五、粉碎机械的必要操作条件

各种类型的粉碎机械粉碎工作件不外是: 两平面体 (如颚式破碎机)、两同向的曲面体 (如环辊磨机)、两异向的曲面体 (如辊式破碎机) 和曲面对平面 (如轮碾机) 等。不管如何, 要使粉碎顺利进行的必要条件是:

(1) 破碎物块的最大尺寸不能过大, 以便能顺利地进入破碎区, 一般是略小于粉碎机喂料口的尺寸;

(2) 粉碎机工作件能将物料钳住而不推出。

现以两工作件为圆柱体的辊式破碎机为例, 推导出物块能被钳住而进行破碎的必要条件。为简化, 设破碎物呈球形, 物块和工作件接触点二切线的夹角称为钳角, 以 α 表示。如图1-3, 以物块为分离体, 受力有自重 G , 轧辊对物块的支反力 N 和摩擦力 Nf , f 是摩擦系数。略去 G , 物块不被转动的轧辊推出而能钳住的力学条件是:

$$2Nf \cos \frac{\alpha}{2} \geq 2N \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$f \geq \tan \frac{\alpha}{2}$$

即:

$$\alpha \leq 2\rho \quad (1-15)$$

ρ 是摩擦角。式 (1-15) 表示的条件与工作件的形状无关, 故此结论具有一定的普遍性。

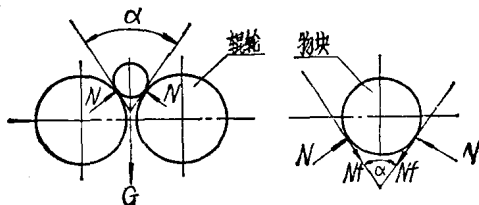


图 1-3 辊式破碎机物料受力图

第二节 颚 式 破 碎 机

一、复摆颚式破碎机的工作原理和结构概况

图1-4 是各陶瓷厂广泛用于中碎或细碎长石、石英、粘土、石膏等物料的复摆颚式破碎机结构图。由图知, 本机是以平面四杆机构为工作机构, 而以连杆为运动工作件的机械。因为作为破碎工作件的动颚(连杆)是作平面复杂运动, 故称复杂摆动颚式破碎机, 简称复摆颚式破碎机。

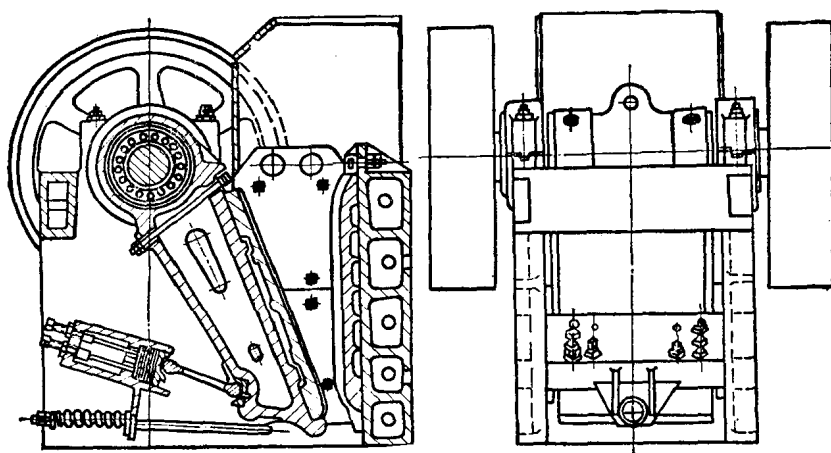


图 1-4 复摆颚式破碎机结构图

图1-5 画出连杆上几个点的运动轨迹(连杆曲线)。由图知, A 点作圆周运动, B 点受推力板的约束为绕 O_2 点摆动的圆弧线, 其余各点的轨迹为扁圆形, 从上到下的扁圆形愈来愈扁平。上部的水平位移量约为下部的 1.5 倍, 垂直位移量稍小于下部。就整个颚板

而言,垂直位移量约为水平位移量的2~3倍。工作时,曲柄处于Ⅱ区是完全工作行程;处于Ⅲ区,上部靠前下部靠后;在Ⅳ处是空回行程;在Ⅰ区是上部靠后下部靠前。动颚具有的这些运动特性决定了它的性能:(1)动颚的平面复杂运动,时而靠近固定的定颚,时而离开,形成一个空间容积变化的破碎室(称为颚膛)。物料主要受到压碎,伴随着研磨、折断作用。(2)这种运动使物块受到向下推动的力,且大块在上部得到破碎,能促进排料,也能促进物块在内翻转,使排出料多为立方体形,这些都有利于提高生产能力;

(3)摩擦剧烈,颚板的磨损较快。

颚式破碎机的主要零部件是:

(一)原动机和传动件 一般用电动机为原动机,用一级三角皮带传动,电机与机架分开安装,飞轮兼作大皮带轮。

(二)机架 主要支承偏心轴(主轴)、颚板并承受破碎力。常用铸钢(如ZG35)整体铸出,或分件装配成,也可用厚钢板焊接成。为了增加刚性,一般外面带有纵横向的加强肋。

(三)动颚 工作面装有颚板(破碎板)一般用ZG45、ZG35铸成。

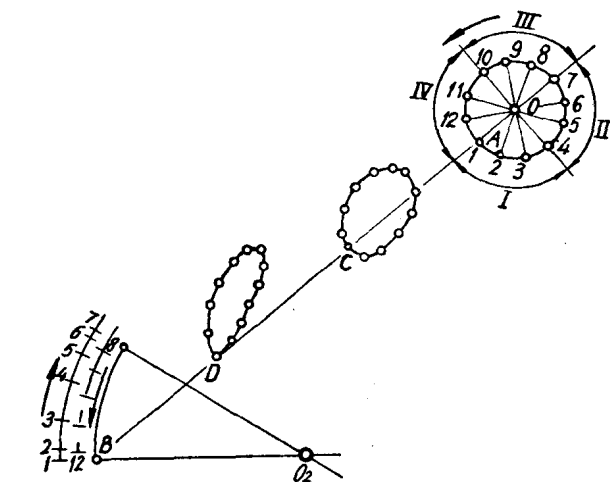


图 1-5 动颚板上各点的运动轨迹

上部由偏心轴支承,有的用滑动轴承,有的用滚动轴承,下部由推力板支承。动颚工作表面镶有带齿的破碎板,用螺栓紧固,要注意防松。为了减轻重量,增大刚性,作成箱形体,动颚的最底部,用钩头拉杆钩拉住。动颚安装倾斜角通常为 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 左右。

(四)颚板(破碎板)和护板 动颚工作面和所对的机架前面装带齿的颚板,在机架的两内侧壁装不带齿的侧护板,形成一个四方锥形破碎室。颚板和护板是直接与破碎物料接触的,要受到强大的破碎挤压力和摩擦磨损,故一般用耐磨材料制造。常用的是ZGMn13或昂贵的高锰镍钼钢,在中小厂或小型颚式破碎机,也常用白口铸铁代用。

为了使动颚板紧贴平在动颚上,接触面间可以垫铅或其他填料。

高锰钢的特性是耐磨性好,但机械加工性能、焊接性能差,铸锻时性脆,但在 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 水淬后,可得到高抗拉、抗剪、延性、韧性,故一般在出厂时,破碎板是经水淬处理的,使用时一般不要重新加热。

考虑到不同破碎区的磨损不均匀和调换的可能,颚板与护板都是采用可拆联接,且设计成可以调头使用。

(五)偏心轴(又称主轴) 它支承动颚和飞轮,承受弯曲、扭转,起曲柄作用。偏心距一般为 $10\sim 35$ 毫米之间,是本机最贵重零件。常用42MnMoV、30MnMoB、34CrMo等高强度优质合金钢锻造加工成,小型的也用45钢。一般需经调质等处理。

(六)推力板(肘板) 其作用是支承动颚并将破碎力传到机架后壁。推力板的后端有调节装置时,可以用来调整排料口的大小。设计时,常选用灰口铸铁材料,按超负载时能自行断裂的条件确定尺寸的。推力板也是一种保险装置,在工作中出现不允许的超载时

能自动停止工作,使卸料口增大,以保护动颚、偏心轴、机架等贵重零部件不致遭到破坏。因此,没特殊原因,不要随便更改原图纸的材料和尺寸。

(七) 飞轮 安装飞轮的目的是由于颚式破碎机的工作是间歇性的、工作冲程与回程消耗的功差别很大,从而引起负载与速度的波动。这种速度的变动引起的惯性力使运动副受到附加的动压力,降低机械效率和工作的可靠性,另外这种周期性的波动会引起弹性振动,从而影响各部分的强度。为此,在偏心轴的两端安装具有一定质量的回转件,当驱动功大于阻力功时,将多余的能量蓄存起来,使动能增大;当阻力功大于驱动功时,又将这些能量放出来,以使负载、速度的波动控制在一定范围内。

(八) 支承 包括偏心轴的支承轴承和动颚的支承。对于中小型颚式机,多用双列自位滚动轴承。也有用滑动轴承。要特别注意轴承的润滑。

(九) 排料口的调节 目前,小型机常用楔铁式,通过旋转螺杆调整楔铁,改变推力板位置,从而调节出料口的大小,当然颚板的倾角也变了。大型机用液压式,原理见图1-6。

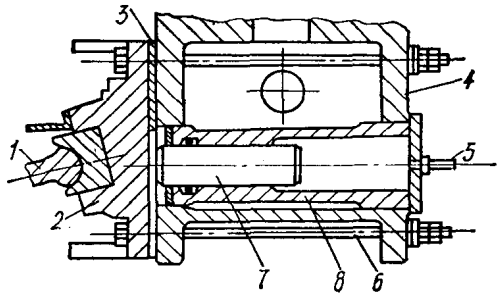


图 1-6 液压式排料口调节装置

1—推力板；2—推力板后挡板；3—垫片；4—机架；
5—油管；6—挡板紧固螺栓；7—柱塞区；8—油缸

二、主要工作参数的决定

颚式破碎机的规格以进料口宽度 (B) 和长度 (L) 表示。表1-1列出陶瓷厂常用的部分规格和技术性能。

颚式破碎机规格和技术性能

表 1-1

规格	型式	进矿口尺寸 宽×长 (毫米)	排矿口 调整范围 (毫米)	最大进 矿粒度 (毫米)	生产 能力 (吨/时)	偏心轴 转速 (转/分)	偏心距 (毫米)	功率 (千瓦)	外形尺寸 长×宽×高 (毫米)	重量 (吨)
PEF150×250	复杂摆动	150×250	10~40	125	1~4	300	—	5.5	875×745×935	1.1
PEF200×350	复杂摆动	200×350	10~50	160	2~5			7.5	1080×1060×1090	1.6
PEF250×400	复杂摆动	250×400	20~80	210	5~20	300	10	15	1430×1310×1340	2.8
PEF400×600	复杂摆动	400×600	40~160	350	17~115	250	10	30	1700×1732×1655	6.5
PEF600×900	复杂摆动	600×900	75~200	<480	56~192	250	19	80	2792×3828.5×2525	
PEJ900×1200	简单摆动	900×1200	150~180	650	140~200	180	30	110	7391×7178×2695	
PEJ1200×1500	简单摆动	1200×1500	130~180		170			180	8185×8085×3585	

注：PEF型生产厂：上海建设机器厂；PEJ型生产厂：沈阳重型机器厂。

(一) 入料粒度 入料最大粒度通常为进料口宽度的75~85%。

(二) 钳角 如图1-7, 定颚板和动颚板的夹角为颚式破碎机的钳角 (α)。由于颚板的运动和推力板的调节, 实际的钳角是在一定范围变化的。

从图直观地看到, 钳角过小, 粉碎比小; 钳角过大, 容易将物块推出。从图中的力学条件不难推导出上述式 (1-15) 的操作条件结论, 即 $\alpha \leq 2\rho$ 。

当 $f = 0.25 \sim 0.3$, $\rho \approx 14^\circ \sim 17^\circ$, $\alpha_{max} = 28^\circ \sim 34^\circ$ 。生产实际中常取 $\alpha = 18^\circ \sim 22^\circ$ 。

(三) 偏心轴 (主轴) 的转速 (n) 由本机工作机构的性能所决定, 破碎工作是间

歇性的，偏心轴转一次，完成一个破碎周期。转速过低，生产能力小；转速过高，破碎了的物料来不及排卸，造成过度粉碎，能耗增加，生产率也不见得高，故主轴的转速应有一个合适的数值。

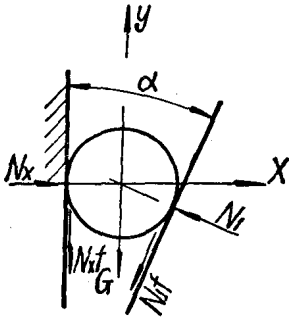


图 1-7 颚式破碎机的钳角

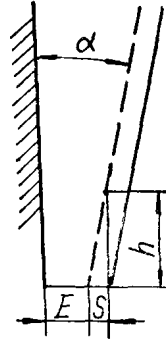


图 1-8 颚式破碎机卸料腔

如图1-8，设 α 不变，动颚近似地看作平移运动， S 是排料口的水平位移量，

$$S = h \tan \alpha, \quad h = \frac{S}{\tan \alpha}.$$

物块自由降落 h 高度所需的时间 t

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2S}{g \tan \alpha}} \quad \text{秒}$$

现认为一半时间用于破碎，另一半时间为空程，则降落时间为

$$\frac{1}{2} \frac{60}{n} = \frac{30}{n} \quad \text{秒}$$

式中 n 为主轴转速，转/分。

破碎操作的必要条件

$$\sqrt{\frac{2S}{g \tan \alpha}} = \frac{30}{n}$$

$$n = 665 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{S}} \quad \text{转/分} \quad (1-16)$$

注意式中 S 的单位用厘米。实际上考虑到各种阻力和滞留的影响，降低30%得

$$n = 470 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{S}} \quad \text{转/分} \quad (1-17)$$

一般情况下， $S \approx 1.33e$ ， e 为偏心轴的偏心距（厘米）。也有用经验式：

对于 $B \leq 1200$ 毫米， $n = 310 - 145B$ ；

对于 $B > 1200$ 毫米， $n = 160 - 42B$ 。

B 为颚口宽度（米）。还要注意到提高转速，生产能力虽然高一些，但动力消耗显著增加，惯性力大，机器的稳定性变差，故大型颚式破碎机的转速相应地要低一些。

（四）生产能力 指单位时间破碎物料重量。它受物料性质、操作条件、机械本身性能等影响很大。近似估算式：

$$Q \approx (1.2 \sim 1.25) \frac{dSLn}{\tan \alpha} - 60\mu\gamma \quad \text{牛/时} \quad (1-18)$$

式中 Q ——产量，牛顿/时；