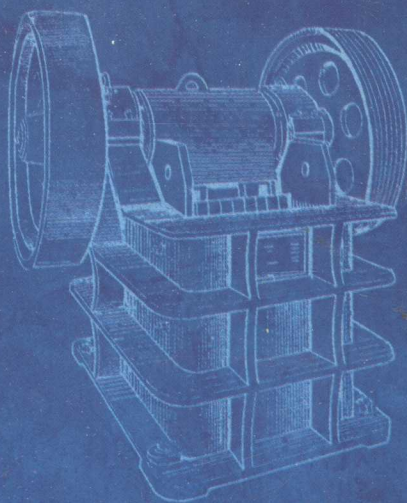


破碎粉磨机械设计

刘树英 编著



NEUPRESS
东北大学出版社

破碎粉磨机械设计

刘树英 编著

东北大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

破碎粉磨机械设计/刘树英编著. —沈阳: 东北大学出版社, 2001.3
ISBN 7-81054-589-2

I. 破… II. 刘… III. 破碎机-机械设计 IV. TD45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 02524 号

内 容 提 要

全书共分 11 章: 第 1 章介绍了破碎粉磨机械的分类及应用、破碎粉磨的基本理论; 第 2 章~第 7 章系统介绍了颞式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机、惯性圆锥破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机的结构、工作原理、运动学与动力学分析、主要参数的选择与设计计算、主要零部件的受力分析与强度计算; 第 8 章~第 11 章详述了球磨机、自磨机、振动磨机和立式搅拌机的结构特点、粉磨机理、特点、磨内粉磨介质的运动状态分析、主要参数的选择与设计计算、主要零部件受力分析及动态设计计算等。本书内容丰富、新颖, 反映了国内外破碎粉磨机械研究的最新成果。

本书可供从事破碎粉磨工作的设计人员、工程技术人员、研究人员使用, 也可作高等学校有关专业的学生教学用书。

©东北大学出版社出版

(沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 邮政编码 110004)

电话: (024)23890881

传真: (024)23892538

网址: <http://www.neupress.com> E-mail: neuph@neupress.com

铁岭市新华印刷厂印刷

新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16

字数: 331 千字

印张: 13.25

2001 年 3 月第 1 版

2001 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 冯淑琴 孙铁军

责任校对: 冯 伟

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

定价: 22.00 元

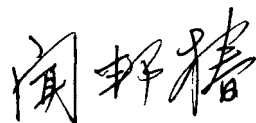
序

破碎粉磨机械是冶金、矿山、化工、电力、建材、筑路等工业部门广泛应用的机械设备。在国民经济发展中占有重要地位，随着现代科学技术的发展，破碎粉磨机械正朝着细碎、超细碎、高效和新型结构的方向发展。

《破碎粉磨机械设计》一书的作者，多年来从事破碎粉磨机械的开发研究和教学工作，参加并完成多项科研项目，曾获得过部委攻关奖，辽宁省发明奖和多项国家发明专利，并在国内期刊、国际和国内有关学术会议上发表学术论文 50 余篇，这是本书作者对破碎粉磨机械发展所做的贡献。

该书系统全面地介绍了颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机、惯性圆锥破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机的构造与工作原理，详细阐明了机构的运动学与动力学、主要参数的选择与设计计算方法、以及主要零部件的受力状况与强度计算方法等；还详述了球磨机、自磨机、振动磨机和立式搅拌磨机的结构特点、粉磨机理、工作特性、分析了磨内粉磨介质的运动状态，讨论了主要参数的选择与设计计算方法，以及主要零部件受力状况及动态设计计算方法。作者将多年的教学与科研成果颚式破碎机平衡重和拉紧弹簧的计算机辅助设计、磨机筒体的动态设计等现代设计方法、复合同步振动圆锥破碎机、立式搅拌磨机、振动磨机等科研成果引入本书，对工程实际具有重要参考价值。本书还吸收了国内外在这一领域的最新研究成果，使内容更加丰富。

本书的出版，为培养破碎粉磨机械专业人才提供了一本有价值的教科书；也为工程技术人员提供了具有参考价值的资料；还为该类机械的振兴、提高产品的质量和档次、为适应 21 世纪激烈的市场竞争，做了一件有意义的工作。



2001.3.15

前 言

破碎粉磨机械是冶金、矿山、化工、电力、轻工、陶瓷、水泥、建筑和筑路等工业部门广泛应用的重要设备。破碎粉磨作业在国民经济中占有重要的地位，每年有大量的原料和再利用的废料都需要用破碎粉磨机械进行加工处理，且逐年增加。因此，随着现代工业和科学技术的不断发展，同时也促进了破碎粉磨机械的发展，相继研制出了细碎、超细碎破碎机、惯性振动破碎机、振动磨机和立式搅拌磨机等高效新型破碎粉磨设备。为了使破碎粉磨机械更有效的使用和促进其进一步发展，对它们的结构、工作原理、参数的设计计算作较详细的介绍是十分必要的，特别是随着计算机科学技术的发展，应用现代设计理论与方法，对破碎粉磨机械进行动态设计，是保证设备质量、提高产品档次、增强其市场竞争力的重要措施。为适应 21 世纪激烈的市场竞争，作者总结了多年来在破碎粉磨机械方面的教学经验和科研成果，并吸取了国内外科技工作者在这一领域所取得的重要研究成果及有关参考文献中所介绍的破碎粉磨机械的设计理论与方法，编写此书供高校、科研院所和生产厂矿从事破碎粉磨工作的工程技术人员参考使用。

本书内容：第 1 章介绍了破碎粉磨机械的应用及分类、破碎及力学特性、破碎产品的粒度分析、破碎的功耗学说；第 2 章～第 7 章分别详述了颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机、惯性圆锥破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机的类型和用途、结构特点、工作原理、运动学与动力学分析、主要参数的选择与设计计算方法、主要零部件的受力分析与计算机辅助设计计算；第 8 章详述了球磨机的工作原理与分类、结构特点、磨内粉磨介质的运动学、主要参数的设计计算方法、粉磨动力学及其应用、主要零部件受力分析及动态设计计算方法；第 9 章介绍了自磨机的结构特点、磨内物料的运动状态、主要参数的选择与计算、干式自磨机风路系统的设计计算方法；第 10 章介绍了振动磨机的结构与工作原理、磨机筒内粉磨介质的运动状态、研究了振动系统的动力学、主要参数的选择与设计计算方法；第 11 章介绍了立式搅拌磨机的类型、粉磨机理、结构特点、筒内粉磨介质的运动特性及主要参数的选择与设计计算方法。

作者编写的《选矿机械》一书曾作为东北大学本科教材使用多年。本书是在《选矿机械》一书的基础上，补充了若干新的内容，应用了现代设计理论与方法，吸收进最新的科研成果，使本书具有先进性和使用性。

全书由中科院院士邝邦椿教授主审，并为本书作序。作者在此表示衷心感谢。

本书在编写出版过程中，曾得到同行专家们的大力帮助，也得到东北大学出版社、沈阳有色冶金机械总厂、沈阳重型机器厂等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中定会有不妥之处，甚至有错误的地方，敬请广大读者批评、指正。

刘树英

2000 年 12 月于沈阳

目 录

1 概 述	1
1.1 破碎粉磨机械的应用	1
1.2 破碎及其力学特性	1
1.3 破碎产品的粒度分析	3
1.4 破碎的功耗学说	6
1.5 破碎粉磨机械的分类	9
2 颞式破碎机	10
2.1 颞式破碎机的类型及其发展	10
2.2 颞式破碎机的构造	11
2.3 颞式破碎机的运动学与动力学分析	16
2.4 颞式破碎机主要参数的设计计算	21
2.5 颞式破碎机主要零部件的受力分析及设计计算	28
3 旋回破碎机	41
3.1 旋回破碎机的工作原理	41
3.2 旋回破碎机的构造	41
3.3 旋回破碎机主要参数的设计计算	45
3.4 旋回破碎机主要零部件受力分析及设计计算	49
4 圆锥破碎机	52
4.1 圆锥破碎机的构造	52
4.2 圆锥破碎机的运动学与动力学分析	67
4.3 惯性圆锥破碎机的运动状态与动力学分析	79
4.4 圆锥破碎机主要参数的设计计算	86
4.5 惯性圆锥破碎机主要参数的设计计算	92
4.6 圆锥破碎机主要零部件的受力分析及设计计算	95
5 辊式破碎机	103
5.1 辊式破碎机的类型及发展	103
5.2 辊式破碎机的工作原理与构造	104
5.3 辊式破碎机主要参数的选择与计算	107
6 锤式破碎机	111
6.1 锤式破碎机的用途、类型和工作原理	111
6.2 锤式破碎机的构造	112

6.3 锤式破碎机主要参数的设计计算	116
7 反击式破碎机	119
7.1 反击式破碎机的用途、类型和工作原理	119
7.2 反击式破碎机的构造	121
7.3 反击式破碎机主要参数的设计计算	127
7.4 反击式破碎机主要零件的计算	130
8 球磨机	133
8.1 球磨机的工作原理与分类	133
8.2 球磨机的构造	134
8.3 球磨机内粉磨介质的运动学	142
8.4 球磨机主要参数的分析计算	147
8.5 粉磨动力学及其应用	162
8.6 球磨机主要零部件的受力分析及强度计算	164
9 自磨机	175
9.1 概 述	175
9.2 自磨机的构造	175
9.3 自磨机的特点	179
9.4 自磨机主要参数的选择与计算	181
10 振动磨机	186
10.1 概 述	186
10.2 振动磨机的构造与工作原理	187
10.3 振动磨机筒内粉磨介质的运动分析	189
10.4 惯性式振动磨机的动力学分析	190
10.5 惯性式振动磨机主要参数的选择与计算	192
11 立式搅拌磨机	195
11.1 概 述	195
11.2 立式搅拌磨机的类型和粉磨机理	195
11.3 立式搅拌磨机的构造	196
11.4 立式搅拌磨机筒内介质的运动特性	198
11.5 立式搅拌磨机主要参数的选择与计算	199
参考文献	201

1 概 述

1.1 破碎粉磨机械的应用

破碎机和磨机是冶金、矿山、电力、化工、建筑、陶瓷、水泥和筑路等工业部门广泛应用的设备,每年有大量的原料和再利用的废料都需要用破碎机和磨机进行加工处理。例如在选矿厂,为使矿石中的有用矿物达到单体分离,就需要用破碎机将原矿破碎到磨矿工艺所要求的粒度,磨机再把破碎机提供的原料磨至有用矿物单体分离的粒度。对于不需要富集的富矿,在送入高炉冶炼前,也需要用破碎机将其破碎到冶炼要求的粒度。在水泥厂,需要用破碎机将原料破碎,以便烧成熟料,然后再将熟料用磨机磨细成水泥。在炼焦厂、烧结厂、陶瓷厂、玻璃工业、粉末冶金等部门,需要用破碎粉磨机械将原料破碎粉磨到下一步作业要求的粒度。在建筑和筑路业中,需要大量具有一定粒度的碎石料,这些碎石料都是由各类破碎机制备的。在化工、电力部门,破碎粉磨机械将原料破碎粉磨,增加物料的表面积,为缩短物料化学反应的时间创造有利条件。

随着工业迅速地发展和资源的逐渐减少,各部门生产中废料再利用显得特别重要,这些废料的再加工处理都需要用破碎粉磨机。总之,破碎粉磨机械在国民经济许多部门中起着重要的作用。

1.2 破碎及其力学特性

机械破碎是用外力施于被破碎的物料上,克服物料分子间的内聚力,使大块物料分裂成若干小块。任何一种破碎机都不是只有一种力破碎物料,通常是以某种力为主,配合其他种类力的作用,因此破碎机械施于物料的力是复杂的。破碎机械的施力方式有以下几种。

(1) 压碎

将矿石放在两个挤压平面之间,施加压力 F 后(见图 1-1a),矿石因压应力达到其抗压强度限而破碎。

(2) 劈裂

将矿石放在一个平面和一个带有尖棱的工作表面之间受挤压(见图 1-1b),当施加挤压力 F 后,矿石将沿挤压力 F 作用线方向劈裂成两半。根据实验和理论分析,矿石劈裂成两半的原因,是由于其劈裂平面上的拉应力达到了被破碎物料的抗压强度限。

(3) 折断

将矿石放在带尖棱的挤压面之间,或放在两圆弧面之间受挤压,施加力 F 后(见图 1-1c, d),当其弯曲应力达到矿石的弯曲强度限时,矿石被折断。

(4) 磨碎

矿石同时受挤压力 F 和剪切力 F 作用后(见图 1-1e),矿石内的剪应力达到其剪切强度限

时,矿石即被破碎。

(5) 冲击破碎

矿石受高速回转机件的冲击力作用而破碎(见图 1-1f)。由于施加力是瞬间作用的,变形来不及扩展到被撞击物的各部位,就只在撞击处发生相当大的局部应力,沿着内部的微观裂纹破碎。所以动载荷的破碎作用较静载荷的大。

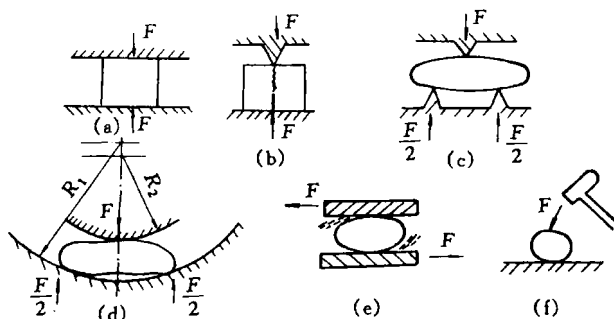


图 1-1 破碎机械对矿石的破碎及施力方式

(a) 压碎 (b) 劈裂 (c), (d) 折断 (e) 磨碎 (f) 冲击破碎

实际上,任何一种破碎机都不是以某一种施力形式进行破碎的,一般都是两种或两种以上施力形式联合进行破碎。由于颚式破碎机的破碎工作面是交错布置的齿形衬板,因此其破碎作业有前三种破碎形式。当破碎机两工作面沿表面方向的相对运动位移加大而加强磨碎作业时,粉碎效率低,能耗大,机件磨损严重,将会降低破碎机的破碎效果。

矿石都由多种矿物组成,各矿物的物理机械性质差别很大,故当破碎机的施力方式与矿石性质相适应时,才有好的破碎效果。对于硬矿石,采用折断配合冲击来破碎比较合适,如用研磨粉碎,机件会遭受严重磨损。对于脆性矿石,采用劈裂和弯折破碎比较有利,若用研磨粉碎则产品中细粉会增多。对于韧性及黏性较大的矿石,采用磨碎方式比较好。

可根据矿石的物理机械性质、矿块的形状和所要求的产品粒度来选择破碎施力方式,以及与该破碎施力方式相适应的破碎机械。各种矿石的物理机械性质见表 1-1。

表 1-1 矿石的物理力学性能

矿石性质	矿石名称	抗压强度/MPa	普氏硬度系数
软矿石	煤	2~4	2~4
	方铅矿	4.5	
	菱铁矿	7	
	无烟煤	约 9	
	闪锌矿	约 10	
	疏松石灰石	40	
软至中硬矿石	致密石灰石	50~100	6~10
	褐铁矿	约 82	
	磁铁矿	106.5	
中硬矿石	花岗岩	120~150	12~15
	纯褐铁矿	125	
	正长岩	125~156	
	大理石	50~150	
	致密砂岩	约 160	

续表 1-1

矿 石 性 质	矿 石 名 称	抗压强度/MPa	普氏硬度系数
硬 矿 石	半假象赤铁矿	158~195.5	15~18
	辉绿岩	180~200	
	闪长岩	200	
	片麻岩	172~220	
极硬矿石	石英岩	198~218	18~20
	闪长岩	180~240	
	斑岩	153~280	
	铜矿石	150~280	
	钛磁铁矿	234	
	玄武岩	200~300	
	花岗长英岩	约 350	

1.3 破碎产品的粒度分析

1.3.1 粒度及其表示方法

矿块的大小称为粒度。矿块形状一般是不规则的几何体,需要用几个尺寸来表示它的大小。但是,通常用一个尺寸——平均直径或等值直径来表示矿块的大小。

(1) 平均直径 d

对于较大的单个矿块,其平均直径用矿块的三维尺寸长、宽、厚的平均值表示。单个矿块的平均直径可用式(1-1)计算

$$d = \frac{l + b + h}{3} \quad (1-1)$$

式中 l ——矿块长度,mm;

b ——矿块宽度,mm;

h ——矿块厚度,mm。

(2) 等值直径 d

矿块粒度很小时,可用等值直径来表示。等值直径是将细粒物料作为球体来计算的。单个矿粒的等值直径可用式(1-2)计算

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1.24 \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}} \quad (1-2)$$

式中 V ——矿粒体积, m^3 ;

m ——矿粒质量,kg;

ρ ——矿粒密度, kg/m^3 。

(3) 粒级的平均直径

对于由不同粒度混合组成的粒度群,通常用筛分的方法来确定矿粒群的平均直径。例如上层筛孔尺寸为 d_1 ,下层筛孔尺寸为 d_2 ,通过上层筛孔而留在下层筛面上的物料,其粒度既不能用 d_1 表示,也不能用 d_2 表示。当粒级的粒度范围很窄,上下层筛孔尺寸之比不超过 $\sqrt{2} = 1.414$ 时,则此粒级的平均直径可用式(1-3)计算

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1-3)$$

也可用 $d_1 \sim d_2$ 或 $-d_1 + d_2$ 来表示粒级的粒度。

1.3.2 破碎产品的粒度分析

破碎产品都是由各种粒度的混合矿粒组成。为了鉴定破碎产品的质量和破碎机的破碎效果,需要对它们的产品进行筛分分析(简称筛析)。利用筛析方法可以确定矿石的粒度组成和粒度特性曲线。

筛析一般采用标准筛,筛面是使用正方形筛孔的筛网。标准筛是由一组带有不同筛孔尺寸的套筛组成,最上面一层套筛的筛孔最大,下面各层套筛的筛孔尺寸按一定的规律依次逐渐缩小。

我国通常采用泰勒标准筛,其筛孔大小用网目来表示。网目是指一英寸长度内(1in = 25.4mm)所具有的筛孔数目。网目越多筛孔越小。这种筛子是以 200 目(筛孔宽为 0.074mm)作为基本筛,筛孔由上到下逐渐减小,构成筛序。两个相邻筛子的筛孔尺寸之比为筛比,泰勒标准筛有两个筛比,即基本筛比($\sqrt{2} = 1.414$)和补充筛比($\sqrt[4]{2} = 1.189$)。补充筛比即在筛比为 $\sqrt{2}$ 的基本筛序中间又插入一套筛比为 $\sqrt{2}$ 的附加筛序构成。筛孔尺寸可根据筛比计算。例如计算基本筛的上一基本筛序为 150 目的筛子筛孔尺寸时,用基本筛的筛孔乘以基本筛比确定,即 $0.074 \times \sqrt{2} = 0.104\text{mm}$ 。若计算两筛之间的补充筛筛孔尺寸,则用基本筛的筛孔尺寸乘以补充筛比得到,即 $0.074 \times \sqrt[4]{2} = 0.088\text{mm}$ 。泰勒标准筛的筛序列于表 1-2 中。

表 1-2 泰勒标准筛的筛序

网目/(孔/in)	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8
孔尺寸/mm	7.925	6.63	5.619	4.699	3.962	3.327	2.794	2.262
网丝直径/mm	2.235	1.778	1.651	1.651	1.118	0.914	0.833	0.813
网目/(孔/in)	9	10	12	14	16	20	24	28
孔尺寸/mm	1.981	1.651	1.397	1.168	0.991	0.833	0.701	0.589
网丝直径/mm	0.838	0.889	0.711	0.635	0.597	0.437	0.353	0.318
网目/(孔/in)	32	35	42	48	60	65	80	100
孔尺寸/mm	0.495	0.417	0.351	0.295	0.246	0.208	0.175	0.147
网丝直径/mm	0.300	0.310	0.254	0.234	0.178	0.183	0.162	0.107
网目/(孔/in)	115	150	170	200	230	270	325	400
孔尺寸/mm	0.124	0.104	0.088	0.074	0.062	0.053	0.043	0.038
网丝直径/mm	0.097	0.066	0.061	0.053	0.041	0.041	0.036	0.025

表 1-2 未列出的大孔套筛的筛孔尺寸可按筛比为 $\sqrt{2}$ 或 $\sqrt[4]{2}$ 依次推算。

筛析的操作过程:将被筛析的物料均匀拌好,称出适量(对于原矿或破碎产品约 3kg)的试样,放入标准套筛的最上层筛面上,并用盖封闭,然后用振动器进行筛分,筛分时间一般为 15min 左右,以保证被筛物料在各层筛面上分级。将筛分好的物料从各层筛面上取出,分别称其质量并记录结果,即可得出每级相应的产率,用百分数表示。

根据筛析所得到的数据,可对原矿或产品粒度特性进行分析。粒度特性用粒度特性曲线表示,纵坐标表示套筛中各筛筛上物料质量的累积百分数(简称筛上量累积产率%),横坐标用筛孔尺寸与最大粒度之比,或用筛孔尺寸与排矿口尺寸之比表示。

如图 1-2~图 1-7 所示,从粒度特性曲线图中看出,难碎性矿石的粒度特性曲线 1 都是凸形曲线,这表明矿石中粒度较大的粒级占的质量百分数较大;中等可碎性矿石的粒度特性曲线 2 都近似于直线,这表明矿石中各种粒级所占质量的百分数大致相等;易碎性矿石的粒度特性曲线 3 都是凹形曲线,这表明该矿石中细粒级所占质量的百分数比较大。根据粒度特性曲线,可比较各种矿石的破碎难易程度,检查破碎机械的工作情况,比较各种破碎机的破碎效果。

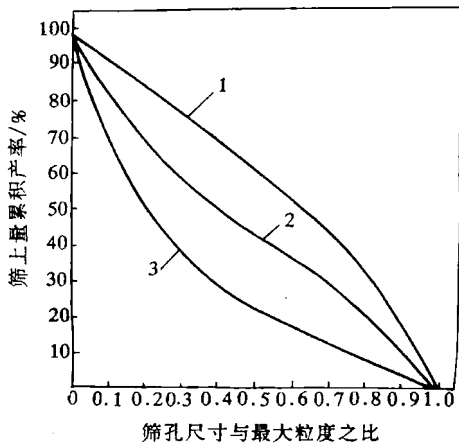


图 1-2 原矿粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

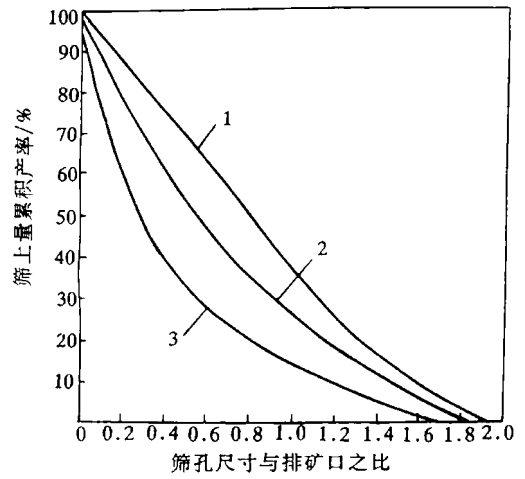


图 1-3 颚式破碎机破碎产品粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

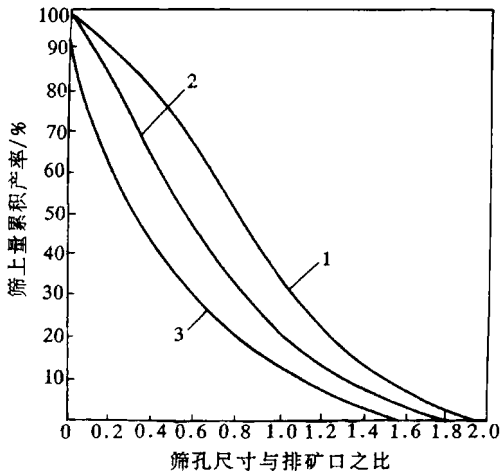


图 1-4 旋回破碎机破碎产品粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

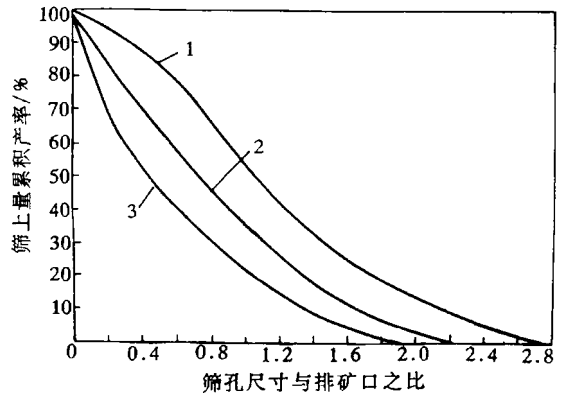


图 1-5 标准型圆锥破碎机破碎产品粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

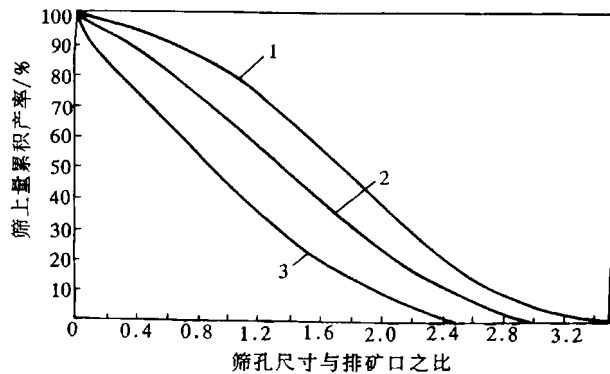


图 1-6 短头型圆锥破碎机开路破碎产品粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

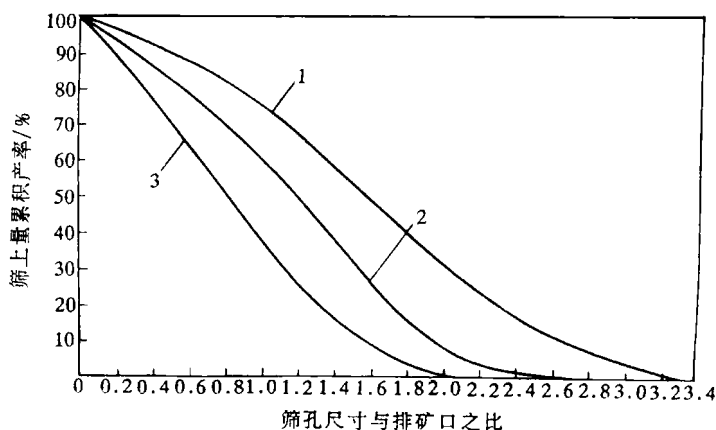


图 1-7 短头型圆锥破碎机闭路破碎产品粒度特性曲线

1—难碎性矿石 2—中等可碎性矿石 3—易碎性矿石

1.4 破碎的功耗学说

众所周知,破碎过程是不会自动发生的,也是不可逆的,必须外力对被破碎物料做功,克服它内部质点间的内聚力,才能发生破碎。当外力对物料做功使它破碎时,物料的潜能也因功的转化而增加。因此,破碎的功耗理论实质上就是阐明破碎过程的输入功与破碎前后物料的潜能变化之间的关系,从而明确输入功是怎样消耗的。为了寻找这种能耗规律和降低能耗的途径,许多学者从各自不同的角度提出若干个不同形式的破碎功耗学说,其中公认的是面积学说、体积学说和裂缝学说。

(1) 面积学说

1867年 P. R 雷廷格(Rittinger)提出面积学说,他认为破碎过程中所消耗的有用功与新生成的表面积成正比。即

$$dA_1' = \beta dS \quad (1-4)$$

式中 dA_1' ——生成新表面积 dS 所需的功;

β ——比例系数,即生成一个单位新表面积所需的功。

设 D 为矿块的直径, k_1 为由直径求表面积的形状系数, k_2 为由直径求体积的形状系数,则 $k_1 D^2$ 为表面积, $k_2 D^3$ 为体积。若 Q 为被破碎物料的总质量, ρ 为物料单位体积的质量,在总质量中含有直径为 D 的物料块数为

$$m = \frac{Q}{\rho k_2 D^3} \quad (1-5)$$

根据式(1-4),破碎质量为 Q 的物料所需的功为

$$dA_1 = m dA_1' = \frac{\beta Q}{\rho k_2 D^3} d(k_1 D^2) = K_1 Q \frac{dD}{D^2} \quad (1-6)$$

式中 K_1 ——综合比例系数, $K_1 = \frac{2\beta K_1}{\rho K_2}$ 。

设 D_0 为给料直径, d_0 为破碎产物直径,在 $d_0 \sim D_0$ 限内积分式(1-6),则得面积学说的功耗公式,即

$$A_1 = K_1 Q \int_{d_0}^{D_0} \frac{1}{D^2} dD = K_1 Q \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{D_0} \right) \quad (1-7)$$

或

$$A_1 = K_1 Q \frac{1}{D_0} \left(\frac{D_0}{d_0} - 1 \right) = K_1 Q \frac{1}{D_0} (i - 1) \quad (1-8)$$

式中 i ——破碎比。

应用式(1-7)和式(1-8)时,由于给料和产品都是混合粒群,故应当用它们的平均粒度进行计算。计算物料平均粒度的方法如下。

因为破碎物料所消耗的功是物料直径的函数,对于面积学说,此函数的形式为 $f(D) = \frac{1}{D}$ 。设 $D_{0\text{平}}$ 是给料的平均直径, D_0^* 是给料中个别粒级的直径, μ 是个别粒级质量的百分率。当 $D_{0\text{平}}$ 能极充分地代表给料的粒度时,用它按规定的函数计算得的结果,应当和用个别粒级按同一函数计算的结果再求得的算术平均值相等,即

$$f(D_{0\text{平}}) = \frac{1}{100} \sum \mu f(D_0^*) \quad (1-9)$$

将其用来求面积学说中的给料平均直径,则可写出

$$\frac{1}{D_{0\text{平}}} = \frac{1}{100} \sum \frac{\mu}{D_0^*} \quad (1-10)$$

或

$$D_{0\text{平}} = \frac{100}{\sum \frac{\mu}{D_0^*}} \quad (1-11)$$

同理,面积学说中的产物平均直径用式(1-12)计算

$$d_{0\text{平}} = \frac{100}{\sum d_0^*} \quad (1-12)$$

(2) 体积学说

1874年 В. Л. 基尔皮切夫(Кирпичев)与 1885年 F. 基克(Kick)先后独自提出体积学说。他们认为外力作用于物体发生弹性变形时,外力所作的功储存在弹性体内,成为弹性体的变形能。岩矿是脆性物料,在弹性范围内,它的应力和应变并不严格遵从虎克定律,可用式(1-13)来表达

$$\sigma^m = \epsilon E \quad (1-13)$$

式中 σ ——应力;

ϵ ——应变;

E ——弹性模数;

m ——接近 1 的指数,对于花岗岩, $m = 1.13$ 。

像岩矿这样的脆性体,它的弹性极限接近于强度极限,因而可以把弹性范围内的形变能公式近似地用于破裂状态。于是,体积为 V 的脆性物体,在外力作用下(强度极限 $0 \sim \sigma$ 范围内)发生变形,它储有的形变能为

$$U = \int_0^\sigma V \frac{\sigma^m}{E} d\sigma = \frac{\sigma^{m+1}}{m+1} \times \frac{V}{E} \quad (1-14)$$

В. Л. 基尔皮切夫和 F. 基克都认为,外力所作的功完全用于使物体发生变形,变形能储至

极限,物体就发生破裂。他们根据这种物理基础所提出的体积学说可以叙述为:几何形状相似的同种物料,破碎成同样形状的产物,所需的功与它们的体积或质量成正比,可用式(1-15)表达

$$dA_2' = \alpha dV \quad (1-15)$$

式中 dA_2' ——破碎体积为 dV 的物料所需要的功;

α ——比例系数,即破碎一个单位体积的物料所需要的功。

按照推导公式(1-7)的方法,并且所用符号的意义也一样,则可得

$$dA_2 = \frac{\alpha Q}{\delta k_2 D^3} d(k_2 D^3) = K_2 Q \frac{1}{D} dD \quad (1-16)$$

式中 K_2 ——综合比例系数, $K_2 = \frac{3\alpha}{\rho}$ 。

在 D_0 与 d_0 限内积分式(1-16),则得体积学说的功耗公式,即

$$A_2 = K_2 Q \int_{d_0}^{D_0} \frac{1}{D} dD = K_2 Q (\ln D_0 - \ln d_0) \quad (1-17)$$

或

$$A_2 = K_2 Q \ln \frac{D_0}{d_0} = 2.303 K_2 Q \lg i \quad (1-18)$$

应用公式(1-18)时,应用给料和产品的平均粒度计算,其给料与破碎产品的平均粒度值按式(1-19)和式(1-20)计算

$$\lg D_{0\text{平}} = \frac{\sum \mu \lg D_0^*}{100} \quad (1-19)$$

$$\lg d_{0\text{平}} = \frac{\sum \mu \lg d_0^*}{100} \quad (1-20)$$

(3) 裂缝学说

1952年 F. C. 邦德(Bond)和中国旅美学学者王仁东根据大量的试验结果,提出了裂缝学说。他们认为矿块在破碎时,外力首先使矿块发生变形,这就贮存了部分变形能,一旦局部变形超过临界点时,则产生垂直于表面的断裂口。断裂口形成后贮存在料块内部的变形能就释放出来,这样就使裂口扩展而形成新的表面。输入的能量一部分转化为新生成表面积的表面能,另一部分因变形时分子摩擦转化为热能而逸散,所以物料破碎所需的功应包括变形能和表面能两项。变形能和体积成正比,表面能和表面积成正比。当等量考虑这两项时,破碎所需的功可以认为同它们的几何平均值成正比,即与 $\sqrt{VS}$ ($\sqrt{VS} = \sqrt{D^3 D^2} = D^{\frac{5}{2}}$) 成比例。对于单位体积的物体,就是与 $D^{\frac{5}{2}}/D^3 = 1/\sqrt{D}$ 成比例。由此可推导出裂缝学说的功耗公式,即

$$A_3 = K_3 Q \left(\frac{1}{\sqrt{d_0}} - \frac{1}{\sqrt{D_0}} \right) = K_3 Q (\sqrt{i} - 1) \quad (1-21)$$

式中 K_3 ——比例系数;

其他符号同前。

给矿和破碎产品的平均粒度,可用式(1-22)和式(1-23)计算

$$D_{0\text{平}} = \left[\frac{100}{\sum \frac{\mu}{\sqrt{D_0^*}}} \right]^2 \quad (1-22)$$

$$d_{0\text{平}} = \left[\frac{100}{\sum \frac{\mu}{\sqrt{d_0^*}}} \right]^2 \quad (1-23)$$

以上所介绍的三个学说分别反映了破碎过程的某一阶段及该阶段的能耗规律,因此各有一定的适应范围。R. T. 胡基(Hukki)的试验研究证实,粗碎以体积学说较为准确,裂缝学说的结果与实际相差较大。而细碎(破碎到 $10\mu\text{m}$ 以下)时裂缝学说计算得的数据过小,以面积学说较为准确。在粗碎与细碎之间的较宽范围内,裂缝学说计算结果比较符合实际。

尽管这三个学说都具有局限性,但这些功耗学说还是揭示了物料强度、给料粒度、产品粒度及功耗等重要因素之间的关系,反映了破碎过程的基本实质。只要正确应用它们,就可以为分析研究破碎过程提供理论依据和方法。

1.5 破碎粉磨机械的分类

物料的破碎是冶金、矿山、建材、化工、电力、陶瓷和筑路等工业部门应用广泛的一种工艺过程,每年有大量的原料和再利用的废料都需要破碎处理,且随着工业的迅速发展逐年增加。由此可见,破碎设备在国民经济发展中占有极其重要的地位。目前在生产中广泛使用的破碎机按破碎作业的粒度要求,分为粗碎破碎机、中碎破碎机和细碎破碎机。粗碎破碎机一般将 $1500\sim 500\text{mm}$ 的物料破碎到 $350\sim 100\text{mm}$ 。中碎破碎机一般将 $350\sim 100\text{mm}$ 的物料破碎到 $100\sim 40\text{mm}$ 。细碎破碎机一般将 $100\sim 40\text{mm}$ 的物料破碎到 $30\sim 10\text{mm}$ 。

按结构和工作原理不同,破碎机械可分为下列几种类型:

破 碎 机	{	颚式破碎机
		旋回破碎机
		圆锥破碎机
		辊式破碎机
		锤式破碎机
		反击式破碎机

在工业部门中使用的磨机种类繁多,按结构和工作原理不同,粉磨机械可分为下列几种类型:

磨 机	{	球磨机
		自磨机
		振动磨机
		塔式磨机
		离心磨机
		气流粉磨机

按粉磨产品粒度不同,磨机分为粗磨、细磨和超细磨。粗磨将物料磨至 0.1mm ;细磨将物料磨至 $0.06\sim 0.1\text{mm}$;超细磨将物料磨至 $0.004\sim 0.02\text{mm}$ 或更细。

2 颞式破碎机

2.1 颞式破碎机的类型及其发展

颞式破碎机,俗称老虎口,自1858年由美国人 E. W. Blake 发明以来,已有100多年的历史。它虽然是一种古老的破碎设备,但是由于具有结构简单、工作可靠、制造容易、维修方便等优点,所以至今仍广泛地应用于冶金矿山、非金属矿山、建材、化工、筑路、电力及其他工业部门。

颞式破碎机的规格用给料口的宽度 B 及长度 L 表示。通常给料口宽度大于 600mm 者为大型,300mm~600mm 者为中型,小于 300mm 者为小型颞式破碎机。

目前生产中广泛应用的颞式破碎机,按动颞运动特性划分,主要有简单摆动和复杂摆动两种基本类型,如图 2-1 所示。经过长期的破碎作业实践,对破碎机显露出的各种缺陷不断加以改进,又研制出各种各样结构形式的颞式破碎机。如沈阳某大专院校研制出三种规格的几十台双动颞破碎机,运行稳定,生产能力比原来提高 20% 左右,衬板寿命长,破碎比可达到 5~20,为用户带来了良好的经济效益,深受用户欢迎。在此基础上,又研制出了生产能力相当于同规格进料口单动颞破碎机生产能力的 4 倍,而驱动功率仅是单动颞破碎机 2 倍的多腔连续破碎的颞式破碎机,如图 2-2 所示。

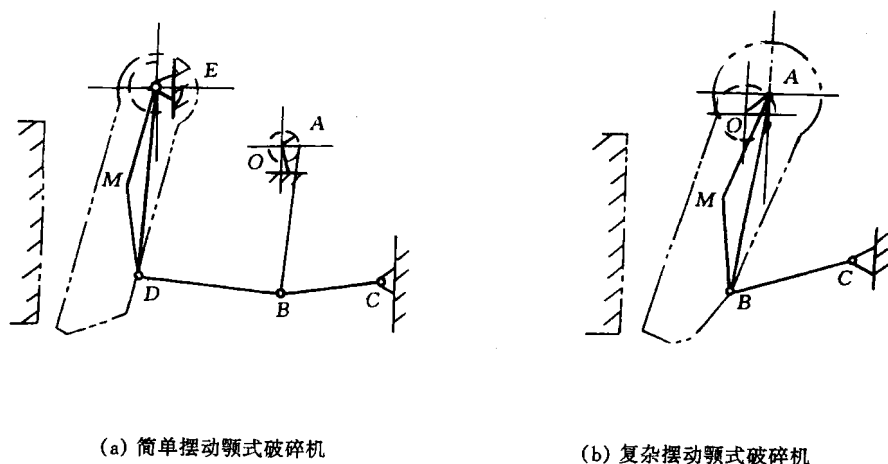


图 2-1 颞式破碎机的基本类型

综上所述,颞式破碎机的结构形式、生产能力、衬板寿命以及功耗是破碎机设计中的几个关键因素,而且各因素间相互制约。设计者的任务就是通过不断探索与实践,设计出结构简单、加工制造容易、寿命长、产量高、功耗小和产品粒度特性好的优良破碎机。