

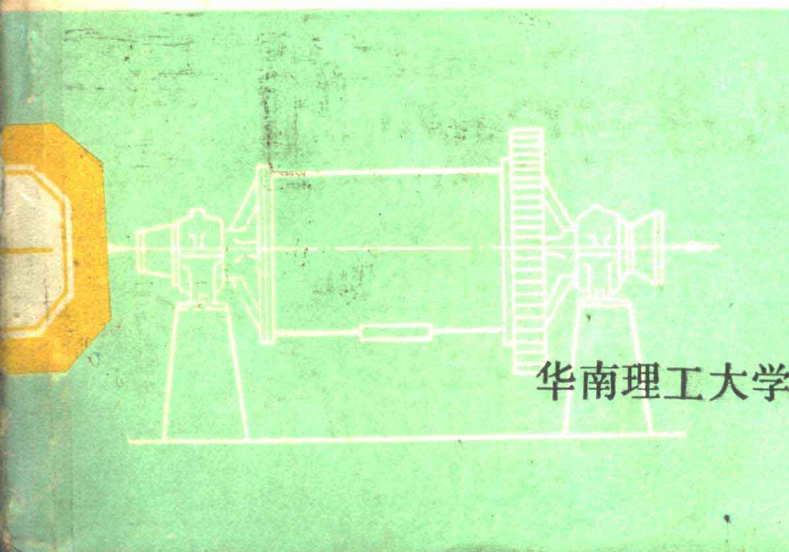
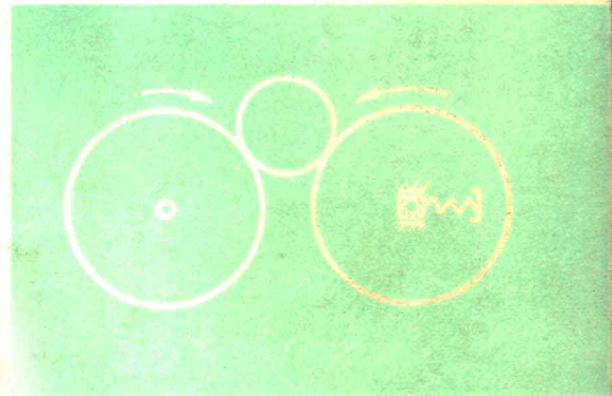
966323

TQ170.5
1208

硅
华

硅酸盐工业机械及设备

张庆今 编著



华南理工大学出版社

硅酸盐工业机械及设备

张庆今 编著

华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书介绍硅酸盐工业生产过程中常用的机械设备,其中包括粉碎理论及粉碎机械、筛分过程及筛分机械、两相流体力学及其设备、混合过程及混合机械设备、仓流过程及贮料喂料设备、起重运输机械等。

本书的写作特点是理论密切联系实际,在重点介绍机械过程的基本概念和理论的同时,详细介绍各类机械设备的构造、工作原理、主要工作参数计算及用途,并附有适当的计算例题。

本书可作高等院校硅酸盐工艺专业的教材,亦可供科研、设计部门和生产厂矿的科技人员参考使用。

责任编辑 李彩英

【粤】新登字12号

硅酸盐工业机械及设备

张庆今 编著

*

华南理工大学出版社出版发行

(广州 五山 邮编 510641)

广东省新华书店经销

华南理工大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 30.50 插页1 字数 683千

1992年8月第1版 1993年4月第2次印刷

印数:1001~4000

ISBN 7-5623-0336-3/TQ·15

定价:15.50元

前 言

工业生产的发展水平，很大程度上取决于机械设备的完善与否。工厂的每一条工艺生产线都要通过相应的机械设备来实现。在硅酸盐工厂中亦是如此。

本书介绍硅酸盐工业生产过程中常用的机械设备，着重介绍机械过程的基本概念和典型的机械设备，其中包括粉碎理论及粉碎机械、筛分过程及筛分机械、两相流体力学及设备、混合过程及混合机械设备、仓流过程及贮料喂料设备、起重运输机械等。介绍这些机械设备的类型、构造、工作原理、主要工作参数计算及性能、用途，并附有计算例题。以便读者掌握这方面的知识和技能，并应用于实践，指导生产和科学实验。

本书编写尽量体现先进性、科学性和实践性。着重阐述机械过程的基本理论和原理，同时采用按理论线索带动具体机械设备的叙述方法。这样既保持学科内在联系，又照顾读者的认识规律，做到理论联系实际，以利于培养分析问题和解决问题的能力，使具有从事一般科学研究的水平和进行技术革新的技能，以适应硅酸盐工业现代化发展的需要。

本书是为高等院校硅酸盐工艺专业编写的教材，亦可供科研、设计部门和生产厂矿的有关技术人员参考使用。

由于本人水平所限，若有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编著者

1991年4月于广州

2-A059/11

目 录

第一篇 粉碎机械.....	(1)
第 1 章 概 述.....	(1)
§ 1-1 粉碎过程.....	(1)
§ 1-2 粉碎方法.....	(2)
§ 1-3 粉碎系统.....	(3)
§ 1-4 物料的易碎性.....	(5)
§ 1-5 粉碎产品的粒度特性.....	(5)
§ 1-6 粉碎理论.....	(9)
§ 1-7 粉碎机械分类.....	(13)
第 2 章 颚式破碎机.....	(15)
§ 2-1 工作原理及类型.....	(15)
§ 2-2 构 造.....	(17)
§ 2-3 工作参数的确定.....	(22)
§ 2-4 性能及应用.....	(29)
第 3 章 圆锥破碎机.....	(31)
§ 3-1 工作原理及类型.....	(31)
§ 3-2 粗碎圆锥破碎机.....	(33)
§ 3-3 中细碎圆锥破碎机.....	(36)
§ 3-4 颚旋式破碎机.....	(42)
第 4 章 辊式破碎机.....	(43)
§ 4-1 双辊破碎机.....	(43)
§ 4-2 单辊破碎机.....	(49)
第 5 章 轮碾机.....	(51)
§ 5-1 工作原理及类型.....	(51)
§ 5-2 构 造.....	(52)
§ 5-3 工作参数的确定.....	(55)
§ 5-4 性能及应用.....	(57)
第 6 章 冲击式粉碎机.....	(58)
§ 6-1 锤式破碎机.....	(58)

§ 6-2 反击式破碎机	(66)
§ 6-3 笼式粉碎机	(83)
§ 6-4 锤磨机	(85)
第 7 章 球磨机	(88)
§ 7-1 工作原理及类型	(88)
§ 7-2 构造	(93)
§ 7-3 介质运动分析及磨机工作参数的确定	(117)
第 8 章 辊磨机	(143)
§ 8-1 工作原理及类型	(143)
§ 8-2 构造	(146)
§ 8-3 工作参数的确定	(150)
§ 8-4 性能及应用	(155)
第 9 章 振动磨机	(157)
§ 9-1 工作原理、类型及构造	(157)
§ 9-2 主要工作参数的确定	(158)
§ 9-3 性能及应用	(160)
第 10 章 自磨机	(161)
§ 10-1 概 述	(161)
§ 10-2 无介质磨机	(161)
§ 10-3 流能磨机	(163)
第二篇 筛分机械	(165)
第 11 章 概 述	(165)
§ 11-1 筛分及其类型	(165)
§ 11-2 筛分过程及筛分效率	(166)
§ 11-3 筛面及筛制	(171)
§ 11-4 筛分机械分类	(173)
第 12 章 筛分机械	(174)
§ 12-1 回转筛	(174)
§ 12-2 摇动筛	(176)
§ 12-3 振动筛	(181)
第三篇 两相流体力学及设备	(193)
第 13 章 两相流体力学的基本原理	(193)

§ 13-1 概 述.....	(193)
§ 13-2 颗粒在流体内作相对运动时的阻力.....	(194)
§ 13-3 颗粒在流体中的运动.....	(196)
§ 13-4 流体通过颗粒的流动.....	(208)
§ 13-5 固体流态化.....	(212)
第 14 章 流体分级设备.....	(227)
§ 14-1 空气选粉机.....	(227)
§ 14-2 水力分级机.....	(239)
第 15 章 料浆脱水设备.....	(243)
§ 15-1 厚浆池.....	(243)
§ 15-2 过滤设备.....	(245)
第 16 章 收尘设备.....	(263)
§ 16-1 概 述.....	(263)
§ 16-2 降尘室.....	(265)
§ 16-3 惯性收尘器.....	(266)
§ 16-4 旋风收尘器.....	(267)
§ 16-5 袋式收尘器.....	(283)
§ 16-6 电收尘器.....	(296)
§ 16-7 颗粒层收尘器.....	(310)
§ 16-8 水膜收尘器.....	(312)
第 17 章 气力输送设备.....	(314)
§ 17-1 概 述.....	(314)
§ 17-2 管道式气力输送设备.....	(315)
§ 17-3 空气输送斜槽.....	(335)
第四篇 混合机械设备.....	(341)
第 18 章 概 述.....	(341)
§ 18-1 混合过程.....	(341)
§ 18-2 混合度.....	(342)
§ 18-3 影响混合的因素.....	(345)
§ 18-4 混合机类型.....	(349)
第 19 章 混合机械及设备.....	(352)
§ 19-1 料浆搅拌机.....	(352)
§ 19-2 粉料混合机.....	(355)

第五篇 起重运输机械	(365)
第 20 章 起重机械.....	(367)
§ 20-1 桥式起重机.....	(367)
§ 20-2 电动葫芦.....	(371)
第 21 章 输送机械.....	(373)
§ 21-1 带式输送机.....	(373)
§ 21-2 链板输送机.....	(403)
§ 21-3 斗式提升机.....	(409)
§ 21-4 螺旋输送机.....	(421)
§ 21-5 振动输送机.....	(429)
§ 21-6 滚柱输送机.....	(440)
第 22 章 装卸机械.....	(443)
§ 22-1 斗式装载机.....	(443)
§ 22-2 叉式装卸机.....	(443)
§ 22-3 抓斗门式起重机.....	(444)
§ 22-4 卸车机.....	(445)
第六篇 贮料及喂料设备	(446)
第 23 章 贮料设备.....	(446)
§ 23-1 贮料设备的作用和类型.....	(446)
§ 23-2 粉粒体在存仓内的流动.....	(447)
§ 23-3 存仓的计算及布置.....	(455)
§ 23-4 存仓闭锁设备.....	(462)
第 24 章 喂料设备.....	(465)
§ 24-1 概 述.....	(465)
§ 24-2 有挠性牵引构件的喂料设备.....	(465)
§ 24-3 转动式喂料设备.....	(467)
§ 24-4 振动式喂料设备.....	(469)
参考文献.....	(478)

第一篇 粉碎机械

第1章 概 述

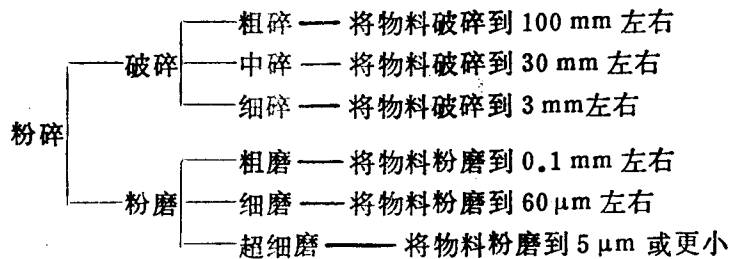
§1-1 粉碎过程

固体物料在外力作用下，克服了内聚力，使之碎裂的过程，称为粉碎过程。

施加外力的方法可用人力、机械力、电力或采用爆破等方法。矿山采石多数采用爆破方法，而将大块物料碎裂为小颗粒物料多数采用机械方法。

随着粉碎的进行，大块物料碎裂为小块，小块物料碎成细粉，物料的总表面积在不断地增加。因此，可以提高物理作用的效果及化学反应的速度。几种固体物料的混合，也必须在细粉状态下才能得到均匀的效果。固体物料经粉碎后，为烘干、混合、运输和储存等操作准备好有利条件。

在硅酸盐工业中，数量很大的固体原料、燃料和半成品等需要经过各种不同程度的粉碎，使其块度达到各工序所要求的大小，以便操作加工。因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。将大块物料碎裂成小块的过程称为破碎；将小块物料碎裂为细末的过程称为粉磨。粉碎过程通常还按以下方法进一步划分：



常用物料粉碎前的尺寸 D 与粉碎后的尺寸 d 之比来说明粉碎过程中物料尺寸变化情况。比值 i 称为粉碎度（或称粉碎比），即

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

通常所说的粉碎度系指平均粉碎度，即粉碎前后物料的平均直径比值，它主要用来表明物料粉碎前后粒度变化的程度，并能近似地反映出机械的作业情况。另外，为了简便地表示和比较各种破碎机械的这一主要特征，也可用破碎机的最大进料口宽度与最大的出料口宽度之比来作为粉碎度，称为公称粉碎度（或称公称破碎比），破碎机的平均

粉碎度一般都较公称粉碎度低，这在破碎机选型时应特别注意。

每一种粉碎机械所能达到的粉碎度是有一定限度的。破碎机的粉碎度一般为3~30；粉磨机的粉碎度可达500~1 000以上。

由于破碎机的粉碎度较小，如果要求达到的粉碎度超出上述范围，就得接连使用两台或多台破碎机来进行破碎。接连使用几台破碎机的破碎过程，称为多级破碎。破碎机串联的台数叫破碎级数。这时原料尺寸与最后破碎产品尺寸之比，叫作总粉碎度。在多级破碎时，如果各级的粉碎度分别为 i_1 、 i_2 、 $\dots$ 、 i_n ，则总粉碎度为：

$$i_0 = i_1 i_2 \dots i_n \quad (1-2)$$

即总粉碎度等于各级粉碎度之乘积。如果已知破碎机的粉碎度，即可根据总粉碎度求得所需的破碎级数。

粉碎机械工作的基本技术经济指标是单位电耗（即单位质量粉碎产品的能量消耗）和粉碎度。近来也有把粉碎度与产量的乘积称为质量系数，把它作为对粉碎机技术评价和对比的指标之一。单位电耗用以判别粉碎机械的动力消耗是否经济；粉碎度用来说明粉碎过程的特征及鉴定粉碎质量。两台粉碎机械单位电耗即使相同，但粉碎度不同，则这两台粉碎机械的经济效果还是不一样的。一般说来，粉碎度大的机械工作得较好。因此，要鉴定一台粉碎机械的好坏，应同时考虑其单位电耗及粉碎度的大小。

§1-2 粉碎方法

虽然粉碎机械类型繁多，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粉碎：

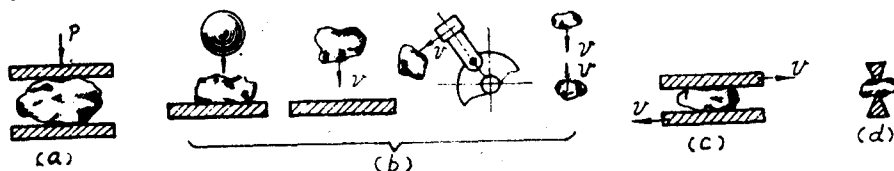


图1-1 常用的几种粉碎方法

1. 挤压法：如图1-1a示，物料夹在两个工作面之间，由于工作面施加逐渐增大的静压力而粉碎。

2. 冲击法：如图1-1b示，物料受瞬间冲击力作用而粉碎。产生冲击力的原因是运动的工作体对物料的冲击；高速运动的物料向固定的工作面冲击；高速运动的工作体向悬空的物料冲击；高速运动的物料互相冲击。

3. 磨剥法：如图1-1c示，物料夹在两个作相对运动的工作面，靠运动的工作面对物料磨擦时所施的剪切力，或者靠物料彼此之间摩擦时的剪切作用而使物料粉碎。

4. 劈裂法：如图1-1d示，物料搁在尖棱工作体间受尖劈楔入，物料因拉应力而粉碎。

除了上述用机械方法进行粉碎外，还有使用爆裂、电水锤、超声波和低声波、热力

破碎和等离子破碎等粉碎方法，但目前尚未大规模使用。

不同型式的粉碎机，粉碎物料的方法各不尽同。在一台粉碎机中也不是单纯使用一种方法，通常都是由两种或两种以上的方法结合起来进行粉碎的。

应该根据物料的性质、尺寸以及需要粉碎的程度来选用恰当的粉碎方法。对于坚硬物料的粗、中碎，宜用挤压法；对于脆性和软质物料的破碎，宜用冲击法或劈裂法；对粉磨，一般采用磨剥法和冲击法；对于粘湿物料，如韧性物料那样采用磨剥法或配以挤压法。冲击法应用范围较广，可用于破碎和粉磨。目前使用冲击法进行粉碎的机械日益流行。

§ 1-3 粉碎系统

粉碎作业可以通过不同的粉碎系统来完成。根据处理的物料性质、粒度大小、要求的粉碎度、生产规模以及使用的粉碎机等，可能有各种不同的粉碎系统。

粉碎系统包括粉碎级数和每级中的流程两个方面。就破碎作业而言，破碎系统的级数主要决定于物料要求的粉碎度和破碎机的类型。当选用一种破碎机就能满足粉碎度及生产能力的要求时，采用一级破碎系统；如果需要选用两种或三种破碎机，进行几级破碎才能满足要求时，采用二级或三级破碎系统。破碎的级数愈多，系统愈复杂，不仅设备和土建的费用投资增加，而且劳动生产率低，维护费用高，扬尘点也多，因此应力求减少破碎的级数。目前破碎系统不仅向减少破碎级数、简化生产流程，而且在单一工序中同时进行破碎、烘干等多种作业的方向发展。

至于破碎系统中每级的流程，也可以有不同的方式。破碎系统的基本流程如图 1-2 所示。图 1-2a 为单纯的破碎流程，流程简单，设备布置与车间的建筑也相应简化，操作控制也较为方便。但是，它没有充分发挥破碎机的生产能力，甚至有时还不能满足生产的工艺要求。

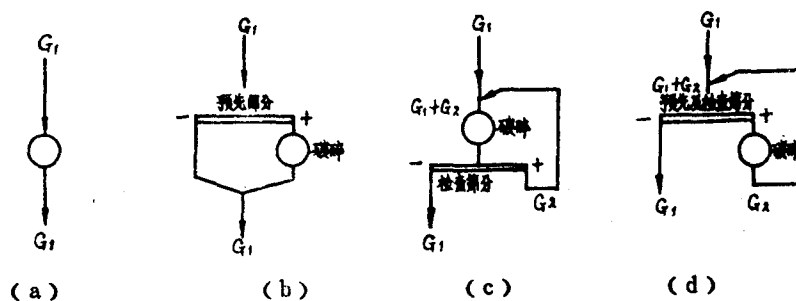


图1-2 破碎系统的基本流程

带有预先筛分的破碎流程如图 1-2b及d所示，由于预先除去物料中不需要破碎的细粒，使破碎系统的总产量有所增加，同时也减少了动力消耗、破碎机工作部件的磨损以及粉尘的形成，这在物料的细粒含量愈多的情况下就愈有利。

至于带有检查筛分的后两种破碎流程（图 1-2 c及 d），可以获得全部合乎要求粒度

的产品，为下一阶段的粉碎作业创造有利条件。但是，流程比较复杂，建筑投资较大，操作管理也比较麻烦。因此，第三种流程实际上极少采用。第四种流程往往由于必需的工艺要求才能采用，而且只用于多级破碎系统中的最后一级。

凡是不带筛分或仅有预先筛分的破碎流程，从破碎机卸出的物料全部作为产品，不再经破碎机循环，称为开流（或开路）流程（图 1-2a 及 b）。凡是有检查筛分的破碎流程，从破碎机卸出的物料要经过检查筛分，粒度合乎要求的颗粒作为产品，其余作为循环料重新送回破碎机，再次进行破碎，称为圈流（或闭路）流程（图 1-2c 及 d）。开流流程的优点是比较简单，设备少，扬尘点也比较少。缺点是当要求破碎产品粒度较小时，开流流程的破碎效率低，在用一级或二级破碎时，产品有时会含有少数大于合格产品的料块。圈流流程可以将大块筛去，保证产品粒度合格，破碎效率较开流为高。但是，圈流流程需要设备较多，流程较复杂。目前，我国水泥厂的石灰石破碎多数采用开流流程，有时在中碎机的入料溜槽处加设倾斜的固定格筛，起一些预先筛分，减轻堵塞与磨损，提高产量等作用。

与破碎作业相似，粉磨作业也有一级和二级（粗磨和细磨）碎磨。每级亦可分为开流和圈流两种主要流程（图 1-3）。使用开流粉磨流程时，从磨机卸出的物料全部作为产品，不再经磨机循环。使用圈流粉磨流程时，从磨机卸出的物料要经过一套分级设备。细度合乎要求的颗粒作为产品，其余作为循环料重新送回磨机，再次进行粉磨。

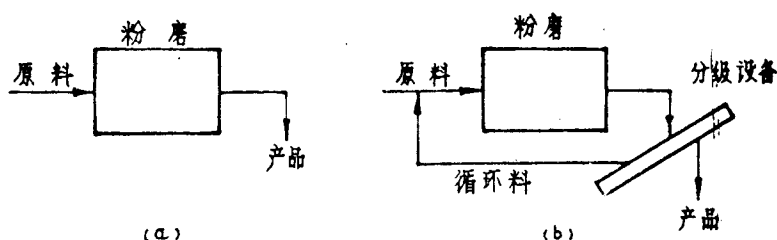


图1-3 粉磨流程
a—开流粉磨流程；b—圈流粉磨流程

开流粉磨流程比较简单，但要使只经过一次粉磨后的产品全部符合要求的细度，其中必然会有一部分物料成为过细的粉末，出现过粉碎现象。另外，已经粉碎的细小颗粒会把粗颗粒包围起来，构成弹性衬垫，使其不能直接受到粉磨介质的作用，因而使磨机的生产能力下降。在圈流流程中，设有分级设备，料流速度可快些，可将大小颗粒物料一起卸出，经分级处理后，又将大颗粒物料送回磨机循环，消除了过粉碎和衬垫作用。因此，磨机的生产能力较高，单位电耗和机械的磨损也相应有所降低。但是，圈流粉磨流程多了一套分级设备和循环料的运输设备，设备比较复杂，管理上也比较麻烦，在这些设备上也增加了一些电耗。

粉碎流程的选择须根据生产具体情况而定。一般说来，在细度要求不太严格，生产规模较小的粗、中碎过程，多用开流流程。对于细度要求比较严格、生产规模较大、消耗电力较多的细磨过程，在条件许可时，宜用圈流流程。

§1-4 物料的易碎性

物料粉碎的难易程度，谓之易碎性。同一粉碎机械在相同的操作条件下，粉碎不同的物料时，生产能力是不同的，这说明各种物料的易碎性不同。易碎性与物料的强度、硬度、密度、结构的均匀性、含水量、粘性、裂痕、表面情况以及形状等因素有关。强度与硬度皆表示物料对外力抵抗能力，强度和硬度都大的物料是较难粉碎的。但是硬度大的物料，并不一定很难粉碎，因为物料的破碎是一块块分裂开来的，破碎易难的决定因素是物料的强度。硬度大而强度不大的结构松弛的脆性物料比之强度大而硬度小的韧而软的物料易于破碎。虽然硬度大的物料不一定很难破碎，但是却难以粉磨，同时也使粉碎机的工作表面容易磨损。这是因为粉磨过程与破碎过程不同，前者是工作体在物料表面不断磨削而生成大量细粉的过程，故粉磨过程中硬度比强度的影响较大。

由于物料的易碎性与许多因素有关，一般用相对易碎系数来表示物料的易碎性。某一物料的易碎系数 K_M 是指采用同一台粉碎机，同一物料尺寸变化条件下，粉碎标准物料的单位电耗 $E_b(\text{J/t})$ 与粉碎风干状态下该一物料的单位电耗 $E(\text{J/t})$ 之比，即

$$K_M = \frac{E_b}{E} \quad (1-3)$$

物料的易碎系数愈大，愈容易粉碎。水泥工业中，一般选用中等易碎性的回转窑水泥熟料作为标准物料，取其易碎系数为 1。

已知某一种粉碎机在粉碎某一种物料的生产能力 Q ，利用易碎系数，就可求出这台粉碎机在粉碎另一种物料时之生产能力 Q_1 ，即

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{K_{M1}}{K_M} \quad (1-4)$$

§1-5 粉碎产品的粒度特性

一、粒径表示方法

表示颗粒大小的尺寸，一般叫做粒径。对于球形颗粒，其直径也就是粒径。生产过程中所遇到的物料形状常是不规则的，但是也可以使用“粒径”一词来表示其大小。而对于粒径大小不同的颗粒所组成的颗粒群，则应选择一个“平均粒径”来表达全部颗粒的平均尺寸。

(一) 单颗粒粒径 对于形状不规则的单颗粒，可以由各个方向不一致的尺寸加以平均，得到“平均径”，或是以在同一物理现象中与之有相同效果的规则体直径（即等效径）表示。如果在三个互相垂直的方向

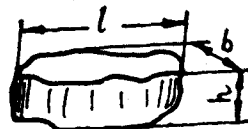


图1-4 颗粒三度向尺寸

上，料块或颗粒的尺寸为 l 、 b 及 h （如图1-4示），则单颗粒粒径可用表 1-1 中各种计算公式来确定。

表 1-1 单颗粒粒径的计算方法

名 称	计 算 公 式	名 称	计 算 公 式
长轴径	l	三轴调和平均径	$3 / \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h} \right)$
短轴径	b	三轴表面积平均径	$\sqrt{2lb + 2bh + 2hl} / 6$
定向径	$l \sim b$	体面积平均径	$3l \cdot b \cdot h / (l \cdot b + b \cdot h + h \cdot l)$
二轴平均径	$(l + b) / 2$	圆形等效径	$(4A / \pi)^{1/2}$
三轴平均径	$(l + b + h) / 3$	球体等效径	$(4V / \pi)^{1/3}$
二轴几何平均径	$(l \cdot b)^{1/2}$	等效径(斯托克斯径)	$\sqrt{18\mu u_0 / (\rho_s - \rho)g}$
三轴几何平均径	$(l \cdot b \cdot h)^{1/3}$		
二轴调和平均径	$2 / \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} \right)$		

注： A —颗粒投影面积； V —颗粒体积； μ —流体粘度； u_0 —颗粒沉降速度； ρ_s —颗粒密度， ρ —流体密度； g —重力加速度。

当料块的三个方向皆可量度时，可用三轴平均径各式来定出物料的直径。显然，唯有大料块才能这样做。当颗粒只有两个方向可以量度，例如在显微镜下观测颗粒的大小时，就要用二轴平均径各式来定出颗粒直径。如果颗粒只有一个方向可以量度，就要用单轴径各式定出颗粒直径。例如用筛析法确定颗粒的大小时，是用筛孔尺寸来表示物料的尺寸。

（二） 粒群平均粒径 对于一堆大小不同、形状不规则的颗粒群，除算出单颗粒的

表 1-2 颗粒群平均粒径的计算方法

平均粒径的名称	计 算 公 式	物 理 意 义
算术平均径	$\overline{d}_a = \Sigma nd / \Sigma n$	单一粒径的算术平均值
几何平均径	$\overline{d}_g = (d_1 \cdot d_2 \cdots d_n)^{1/n}$	几个粒径乘积的几次方根
调和平均径	$\overline{d}_h = \Sigma n / \Sigma (n/d)$	各粒径的调和平均值
体面积平均径	$\overline{d}_{v_s} = \Sigma nd^3 / \Sigma nd^2$	全部颗粒的体积除以总表面积
质量平均径	$\overline{d}_m = \Sigma nd^4 / \Sigma nd^3$	质量等于总质量，数目等于总个数的等颗粒粒径
面积平均径	$\overline{d}_s = (\Sigma nd^2 / \Sigma n)^{1/2}$	将总表面积除以总个数取其平方根
体积平均径	$\overline{d}_v = (\Sigma nd^3 / \Sigma n)^{1/3}$	将总体积除以总个数取其立方根
比表面积径	$d_s = \varphi / \rho_s S_m$	由比表面积计算的粒径
中位径	d_{50}	以粒径分布的累积值为50%时的粒径表示
多数径	d_{mod}	以粒径分布中含量最高的粒径表示

注： S_m —比表面积， φ —比表面形状系数。

平均径外，还要将不同大小的单颗粒粒径再加以平均，确定一个能代表全部颗粒的平均尺寸。工业上多数用筛析方法来确定物料的尺寸。用套筛将物料试样分成若干狭窄粒级。根据相邻两层筛面筛孔尺寸，算出残留在这两层筛面之间的颗粒平均径，再根据每一狭窄粒级的直径，算出颗粒群的平均直径。颗粒群的平均粒径计算公式见表1-2。

粒径有着多种表示方法，采用不同的测定方法，会得到不同的粒径。就是采用同一的测定数据，由于应用目的不同，采用不同的计算方法，其结果也不相同。各种平均粒径的具体应用，要视所讨论问题的性质，结合测定方法和生产操作过程来选用，否则会得出不正确的结果。一些平均粒径所适用的有关物理化学过程见表1-3。

表 1-3 不同物理化学过程所采用的平均粒径

符 号	平均粒径名称	适用的机械、物理、化学过程
$\bar{d}_a$	算术平均径	蒸发、各种尺寸的比较（筛分析）
$\bar{d}_v$	体面积平均径	传质、反应、颗粒充填层的流体阻力
$\bar{d}_m$	质量平均径	气力输送、质量效率、燃烧、物料平衡
$\bar{d}_s$	平均面积径	吸收、粉磨
$\bar{d}_v$	平均体积径	光的散射、喷射的质量分布比较、破碎
d_s	比表面径	蒸发、分子扩散
d_{50}	中位径	分离、分级装置性能表示
d_{st}	等效径	气力输送、沉降分析

二、粉碎产品的粒度组成

无论原料或是粉碎产品，都是由大小不同、形状不规则的料块或颗粒组成。为了鉴定这些物料的粒度分布情况，通常将它们按一定粒径范围分成若干粒级。在一批物料中，各粒级颗粒的相对质量数值，称为这种物料的粒度组成（或称粒度特性）。

物料的粒度分布是通过各种粒度分析方法测定得出的。粒度分析所得数据可以整理在记录表上，用来说明物料的粒度组成特性。为了更明显地比较物料的粒度组成情况，通常将测得的数据作出物料的粒度组成特性曲线来表示。一般是在普通的直角坐标上绘制曲线。用纵轴表示大于或小于某粒径的累积百分数，横轴表示相应的粒径（或筛孔尺寸），所描绘的曲线称为粒度累积分布曲线（或称积分曲线），如图1-5所示。曲线上任一点表示大于或小于某粒径的累积百分含量。根据粒度组成特性曲线可以清楚地判断物料粒度分布情况。如果曲线是直线（如图1-5中2线），说明此物料全部大小颗粒是均匀分布的；如果得出凹形曲线（如图1-5中1线），说明物料中含有较多的细小粒

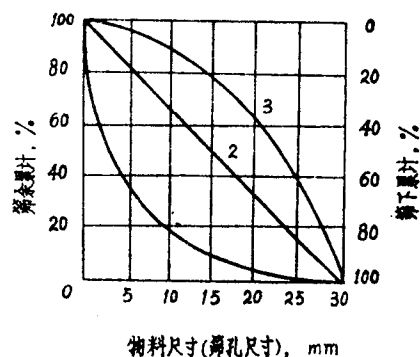


图1-5 粒度累积分布曲线

级；如果得出的曲线是凸形的（如图 1-5 中 3 线），则说明物料中大颗粒占多数。

作出粒度累积分布曲线，不仅可以求得记录表中没有给出的任意中间粒级百分数，同时还可以检查和判断产品质量情况。为了比较各种物料的特性，可将两条、三条或更多条的曲线放在同一图表中（如图 1-5），便于比较研究。

以纵轴表示一定的粒径等差间隔范围内（例如以 5 mm 为一等差间隔）的颗粒百分含量，横轴表示相应的粒径所得的曲线，称为相对百分频度分布曲线（或称微分曲线），如图 1-6 所示，表示在某一粒径下粒级重量变化的程度。曲线上任一点的纵坐标，表示某粒径 X 为中心的颗粒在 dX 范围内占物料总量百分数多少。此曲线可以表示出物料粒度分布的全貌，曲线以下所包面积为物料全部总量。

用普通直角坐标绘制粒度分布曲线的缺点，在于表示细粒级的一段曲线不易绘出，因为 1mm 以下颗粒之间的各个间隔非常小。为了将曲线绘得更精确，必须采用较大的比例或对数坐标绘制。

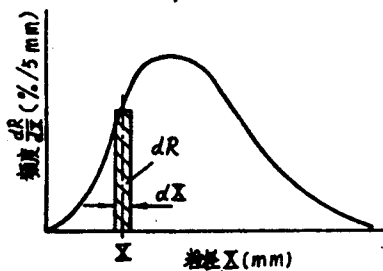


图 1-6 粒度相对百分频度分布曲线

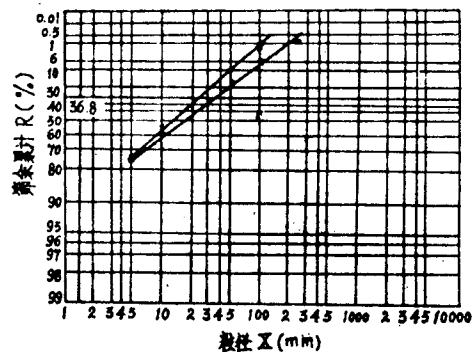


图 1-7 表示粉磨产品粒度组成的 RRB 图

粉磨产品的颗粒分布有一定的规律性，可用 R.R.B. (Rosin-Rammler-Bennet) 公式表示：

$$R = 100e^{-\left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^n} \quad (1-5)$$

式中 R ——粉磨产品中某一粒径 $x \mu m$ 的筛余（%）；

e ——自然对数的底， $e = 2.718$ ；

$\bar{x}$ ——特征粒径（ μm ），对于一种粉磨产品， $\bar{x}$ 为常数；

n ——均匀性系数，对于一种粉磨产品， n 为常数。

当 $x = \bar{x}$ 时， $R = \frac{100}{e} = 36.8$ 。在 $\lg \lg \left(\frac{100}{R} \right) - \lg x$ 坐标系中，式 (1-5) 为

一直线，直线的斜率为 n ，直线与 $R = 36.8\%$ 水平线交点处的粒径为特征粒径 $\bar{x}$ 。图 1-7 就是用这种坐标系绘制的两种水泥厂生料粉磨产品的粒度组成直线，其特征粒径 $\bar{x}$ 分别为 $20 \mu m$ 和 $28 \mu m$ 。这种图又称 RRB 图。在 RRB 图上，可应用 n （或直线的倾斜角

$\alpha = \text{tg}^{-1} n$) 和 $\bar{x}$ 两值来表征粉磨产品的粒度组成情况。 n 值愈大, 颗粒分布范围愈窄, 颗粒愈均匀; 反之, n 值愈小, 颗粒愈不均匀。 $\bar{x}$ 值愈小, 粉磨产品愈细。

利用特征粒径 $\bar{x}$ 和均匀性系数 n 还可以计算粉磨产品的比表面积, 计算公式如下:

$$S = \frac{36.8 \times 10^4}{\bar{x} n \rho} \quad (1-6)$$

式中 S —— 比表面积 (cm^2/g);

$\bar{x}$ —— 特征粒径 (μm);

n —— 均匀性系数;

ρ —— 颗粒密度 (g/ml); 水泥一般取 $3.0 \sim 3.2$, 生料取 $2.6 \sim 2.8$ 。

上式适用范围为 $n = 0.85 \sim 1.2$ 。

§1-6 粉碎理论

粉碎过程比较复杂, 尽管如此, 人们在生产实践和科学实验的基础上, 仍然提出不少很有价值的理论, 这些理论在一定程度上反映了粉碎过程的客观实际, 因此具有一定的概括性和指导意义。下面介绍一些比较重要的粉碎理论。

1867年雷延智 (Rittinger, P. R.) 提出了表面理论。根据这理论, 认为粉碎过程是物料表面积增加的过程。组成物体的内部粒子被相邻粒子包围着, 它们彼此吸引, 处在引力平衡状态。位于物体表面的粒子则不同, 则受到内部粒子较大的内向拉力的作用, 使物体表面具有张力或表面能。要把物料粉碎, 产生更多粒子从内部迁移到表面, 使物料具有更多的表面能, 所以粉碎功用以克服固体各质点之间的分子引力, 消耗在产生新表面上, 变为物料的表面能。因而, 粉碎物料所需的功与粉碎过程中新增加的表面积成正比。

对于球形颗粒, 单位质量物料的表面积, 即比表面积为:

$$S = \frac{\pi D^2 Z}{\frac{\pi}{6} D^3 \rho Z} = \frac{6}{D \rho} \quad \text{m}^2/\text{kg} \quad (1-7)$$

式中 D —— 物料颗粒直径 (m);

Z —— 1kg 物料的颗粒数目;

ρ —— 物料密度 (kg/m^3)。

对于 $m\text{kg}$ 物料, 粉碎前的直径为 D , 比表面积为 S_1 ; 经粉碎后直径为 d , 比表面为 S_2 。于是, 在粉碎过程中物料表面积的增量为:

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