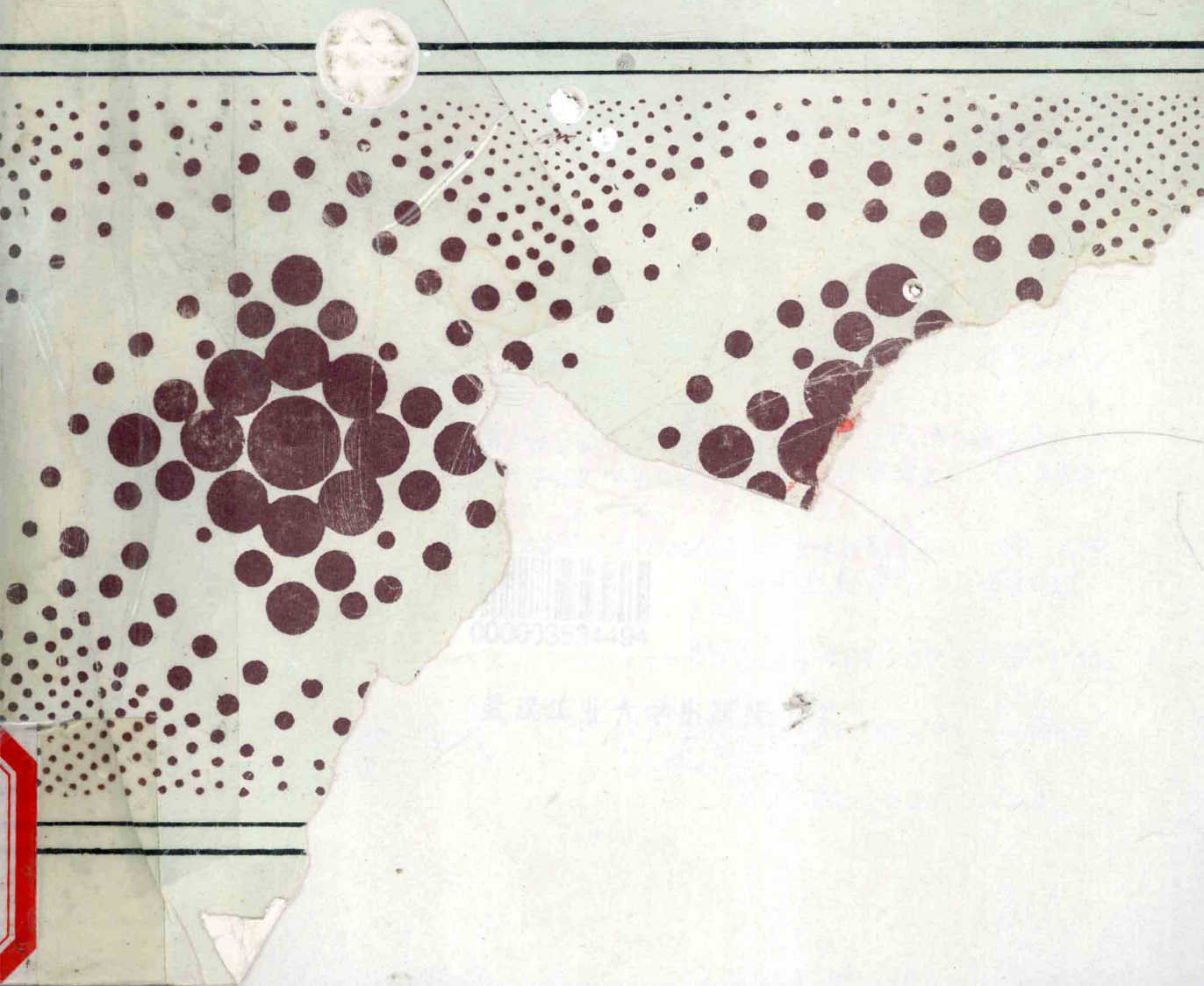


建材技工学校系列教材

粉磨工艺与设备

朱尚叙 主编



00097353494

武汉工业大学出版社

建材技工学校系列教材

粉磨工艺与设备

朱尚叙 主编

武汉工业大学出版社

(鄂)新登字 13 号

内 容 简 介

全书共九章 42 节。内容主要包括粉碎与分级方面的基础理论、破碎与破碎机械、磨机的类型与结构、磨机工作原理及主要参数、研磨体、分级与分级设备、粉磨操作、磨机的维修和粉磨系统的技术标定等。着重介绍破碎机、磨机以及选粉面等的类型、构造、工作原理和主要参数;较详细地介绍了粉磨系统主要设备的操作控制和维护检修方面的实践经验。

因此,本书不仅作为建材技工学校的教材和技工培训教材,还可供有关专业技术人员及技术工人学习参考。

策划: 曹文聪
蔡德明
田道全

建材技工学校系列教材 粉 磨 工 艺 与 设 备

◎ 朱尚叙 主 编
责任编辑 朱益清
责任校对 崔庆喜

*

武汉工业大学出版社出版发行
(武昌珞狮路 14 号 邮编 430070)
新华书店湖北发行所经销
湖南省华容县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.25 字数: 285 千字

1993 年 7 月第 1 版 1995 年 11 月第 4 次印刷

印数: 30001—40000

ISBN 7—5629—0765—X/TQ·77

定价: 13.50 元

序

当前,我国国民经济正以高速度向前发展,建材工业在国民经济发展中占有举足轻重的地位。邓小平同志指出:“科学技术是第一生产力”。建材工业要大发展,科技教育工作必须走在前面,培养具有较高科学文化知识和生产技术水平的社会主义劳动者,乃是百年大计。

劳动部《关于深化技工学校教育的决定》中指出:“大力发展和办好技工学校是开发劳动者职业技能,提高劳动者素质,发展和完善劳动市场的有效途径”。近年来,国家建材局人才开发司根据劳动部对技工学校深化教育的有关精神,结合本行业的实际情况,深入开展了建材技工学校的教育改革,提出了《关于修改技工学校建材类专业教学计划的意见》,并组织了技工学校建材类各主要专业(工种)的教学计划和教学大纲的修订工作。

1991年,在福州召开的全国建材技工学校教育工作第一届年会上,与会代表们认为,原来使用的水泥技工学校内部油印讲义已经不适应建材工业新技术的发展和技工学校教学工作的实际需要,建议重新编写教材。国家建材局教材办公室在认真研究了代表们的建议后,决定组织人员按照新教学计划、教学大纲的要求,重新编写一套技工学校水泥专业系列教材,具体编审组织及出版工作委托武汉工业大学出版社负责实施。

经过各位编者和武汉工业大学出版社全体同志的共同努力,技工学校水泥专业系列教材(共8本)于1993年秋季正式出版发行了。新版教材正式出版后,受到了广大使用单位的欢迎,不到三个月时间,已大部分售完。为了满足广大使用单位的需求,进一步提高教材的质量,由武汉工业大学出版社组织有关编者、图书审读员、责任编辑对教材进行了审读,并收集了读者意见,对初版教材进行了勘误修订,预计1994年将修订重印后奉献给广大读者。

技工学校水泥专业系列教材(共8本)包括:《水泥生产基本知识》、《粉磨工艺与设备》、《水泥煅烧工艺与设备》(上、下册)、《水泥工业热工基础》、《热工仪表与热工测量》、《水泥生产辅助机械设备》、《化验室基本知识及操作》(上册),它以该专业(工种)新修订的教学计划和教学大纲为依据,按照培养目标的要求设置理论课课程;教学内容以应用知识为主,合理精减、合并、调整了理论课内容,删除了原讲义中冗繁和陈旧的部分章节,增加了反映新技术、新工艺的教学内容;有些课程(如化学分析课),还编写了实习操作教材。总之,该系列教材体现了理论课要适应操作技能培训需要的原则。

为了避免不必要的重复劳动,经研究决定,今后不再另编写水泥高级工培训教材,该系列教材基本上能满足高级工和技师培训的需要,请各使用单位根据高级工和技师培训的实际需要,选择相应的内容进行教学。

该教材的成功问世,得到了编者、审稿人、编辑等同志的大力支持,在此表示衷心的感谢!

各单位在使用该教材的过程中,若有何建议和要求,请及时反馈到国家建材局教材办公室和武汉工业大学出版社,以便再版时修改,使该教材日臻完善。

国家建材局教材办公室

1993年12月

前 言

本书是根据国家建筑材料工业局教材办公室下达的水泥专业技工学校及
技工培训《粉磨工艺与设备》教学大纲编写的。同时,参考了原建筑材料工业部
财务劳资局组织编写的《〈粉磨工艺与设备〉试用本》的基本内容。

本课程是建材技工学校水泥专业技工教育的必修课和技工培训的重要
专业课。该课程的任务是使学员初步了解水泥生产中有关破碎与粉磨方面的基
础理论知识;使学员切实掌握粉磨系统主要工艺设备的操作控制和维护保养的
方法,并具有解决操作中实际问题的能力,以适应我国水泥工业现代化发展的
需要。因此,书中着重介绍破碎机、磨机以及选粉机等的类型、构造、工作原理和
主要参数;较详细地介绍了粉磨系统主要设备的操作控制和维护检修方面的实
践经验。

本书由朱尚叙主编。各章编写人员及分工是:湖北省建筑材料工业总公司
朱尚叙编写第三章、第四章的第四节和第五节、第五章、第六章的第二节和第三
节、第七章和第八章;华新水泥厂刘景洲编写第一章、第二章和第九章;湖北省
建筑材料工业学校肖义雄编写第四章的第一节、第二节和第三节、第六章的第
一节。

由于我们水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

1992年11月

目 录

(821)		第三策
(821)		第四策
(121)		第五策
(821)		第六策
第一章	概述.....	(1)
第一节	粉碎的基本概念.....	(1)
第二节	颗粒状物料的基本性质.....	(4)
第三节	物料粉磨的细度要求.....	(8)
第四节	粉碎理论.....	(9)
第二章	破碎与破碎机械.....	(12)
第一节	物料破碎方法与破碎机分类.....	(12)
第二节	颚式破碎机.....	(14)
第三节	锤式破碎机.....	(24)
第四节	反击式破碎机.....	(32)
第五节	圆锥式破碎机.....	(38)
第三章	磨机的类型与结构.....	(46)
第一节	磨机分类与粉磨系统.....	(46)
第二节	球磨机的构造.....	(50)
第三节	球磨机的主要部件.....	(54)
第四节	球磨机的传动装置.....	(60)
第五节	立式磨和辊压机的结构.....	(67)
第四章	磨机工作原理及主要参数.....	(75)
第一节	球磨机工作原理.....	(75)
第二节	球磨机转速的确定.....	(80)
第三节	球磨机功率与生产能力计算.....	(81)
第四节	立式磨工作原理及主要工艺参数.....	(87)
第五节	辊压机工作原理及主要工艺参数.....	(90)
第五章	研磨体.....	(92)
第一节	研磨体的种类与材质.....	(92)
第二节	研磨体的合理装载量.....	(93)
第三节	钢球级配.....	(95)
第四节	研磨体的磨损与补充.....	(103)
第六章	分级与分级设备.....	(108)
第一节	分级过程基本概念.....	(108)
第二节	选粉机.....	(109)
第三节	粗粉分离器.....	(129)
第七章	粉磨操作.....	(132)
第一节	磨机系统的开停车操作.....	(132)
第二节	水泥磨的操作控制.....	(134)

目 录

第三节 烘干粉磨系统的操作控制	(138)
第四节 立式磨的操作控制	(142)
第五节 湿法球磨和棒球磨的操作	(144)
第六节 煤磨的操作	(146)
第七节 影响粉磨效率的主要因素	(148)
第八节 提高粉磨效率的方法	(153)
第八章 磨机的维修	(161)
第一节 磨机传动装置的润滑	(161)
第二节 球磨机的维护	(170)
第三节 球磨机的检修	(174)
第九章 粉磨系统的技术标定	(184)
第一节 技术标定的必要性	(184)
第二节 物料性能测定方法	(187)
第三节 粉磨系统筛分析标定	(190)
第四节 磨内存料量和物流速的测定	(196)
第五节 磨机通风与收尘测定	(198)
参考文献	(206)
(07)	章二第
(12)	章三第
(08)	章四第
(13)	章五第
(25)	章四第
(27)	章一第
(80)	章二第
(18)	章三第
(58)	章四第
(06)	章五第
(32)	章五第
(33)	章一第
(29)	章二第
(26)	章三第
(01)	章四第
(801)	章六第
(801)	章一第
(01)	章二第
(31)	章三第
(31)	章三第
(31)	章一第
(31)	章二第

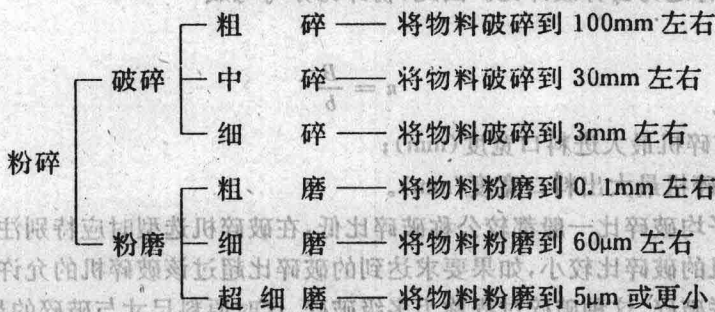
第一章 概 述

第一节 粉碎的基本概念

一、粉碎的涵义

固体物料在外力的作用下,克服了分子间的内聚力,使固体物料外观尺寸由大变小、物料颗粒的比表面积由小变大的过程,称之为粉碎。

将固体物料粉碎的方法有多种,通常采用机械方法。物料的粉碎作业一般是在破碎机和粉磨机内进行的,所以,按物料粉碎的粗细程度,又划分为破碎和粉磨两个操作过程。为了更明确起见,通常按以下方法加以进一步划分:



二、粉碎的目的与意义

固体物料经过粉碎之后,固体物料颗粒由大变小,物料的单位质量的表面积不断增加,可以提高物理作用及化学反应的速度;几种不同固体物料的混合,也必须在细粉状态下才能得到均匀的效果。

在水泥生产过程中,大量的原料、燃料和半成品等都需要经过粉碎,每生产 1t 水泥需要粉碎的物料量约 3t 左右。在现代化的水泥工厂中,生产 1t 水泥约需耗电量 100kW·h 以上,而消耗在物料的破碎和粉磨作业上的电量约占总电量的 70%。由此可见,粉碎是很重要的操作过程。

长期以来,粉磨设备能量的利用率是很低的,在粉磨过程中大部分的能量消耗在物料颗粒或研磨体之间的相互撞击与摩擦所产生的热量、声能等方面,而产生粉磨效果的有用功仅占极少一部分。因此,必须改善和提高粉碎操作,合理选择粉碎流程,采用新技术不断改进粉碎机械,提高生产效率和产品质量,节省电力消耗,降低生产成本。

三、粉碎比

在破碎或粉磨过程中,未经粉碎的原料尺寸(或粒径)与粉碎后的产品尺寸(或粒径)的比值,称为粉碎比。对破碎过程而言,又称为破碎比。粉碎比表示物料尺寸在破碎和粉磨过

程中改变的程度,它是评价粉碎过程的技术指标之一。

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粒径的比值。

$$n = \frac{D_m}{d_m} \quad (1-1)$$

式中 n ——粉碎比;

D_m ——粉碎前物料的平均粒径(mm);

d_m ——粉碎后物料的平均粒径(mm)。

在生产中常以粉碎前后的物料有 80% 通过某筛的筛孔尺寸来代替物料的平均粒径,故式(1-1)可写为

$$n = \frac{D_{80}}{d_{80}} \quad (1-2)$$

式中 D_{80} ——粉碎前物料有 80% 通过的筛孔尺寸(方孔筛指边长)(mm);

d_{80} ——粉碎后物料有 80% 通过的筛孔尺寸(方孔筛指边长)(mm)。

对于某些破碎机械,也可以简易地用破碎机的最大进料口宽度与最大出料口宽度之比来作为粉碎比,称之为公称破碎比。因此,粉碎比亦可写成

$$n = \frac{B}{b} \quad (1-3)$$

式中 B ——破碎机最大进料口宽度(mm);

b ——破碎机最大出料口宽度(mm)。

破碎机的平均破碎比一般都较公称破碎比低,在破碎机选型时应特别注意。

由于破碎机的破碎比较小,如果要求达到的破碎比超过该破碎机的允许范围时,就要用几台破碎机串联破碎,这种破碎过程称为多级破碎。这时原料尺寸与破碎的最后产品尺寸之比叫做总破碎比。在多级破碎时,总破碎比(n_0)等于各级破碎比(n_i)之乘积,即

$$n_0 = n_1 \cdot n_2 \cdots n_i \quad (1-4)$$

四、粒径表示方法

破碎、粉磨和分级过程中所处理的物料都是大小不同的各种颗粒的混合物。表示颗粒大小的尺寸一般叫做粒径。生产过程中的各种固体颗粒的形状常是不规则的。但是也可以用粒径一词来表示颗粒的大小。对于常见的不规则形状的颗粒,一般用“平均粒径”来表达全部颗粒的平均尺寸。

(一)计算单个颗粒的粒径

假设被测量的料块三个互相垂直方向的尺寸:长为 l , 宽为 b , 厚为 h , 则粒径随使用的场合不同,可用下述任何一式来计算。

1. 算术平均粒径的计算

$$d = \frac{l + b + h}{3} \quad (1-5)$$

2. 几何平均粒径的计算

$$d = \sqrt[3]{lbh} \quad (1-6)$$

3. 调和平均粒径的计算

$$d = \frac{3}{\frac{1}{l} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}} \quad (1-7)$$

(二) 计算颗粒群的平均粒径

在粉碎过程中,经常遇到的是包含各种粒径的混合物,称为颗粒群。对于颗粒群的大小是用平均粒径来表示。通常以质量平均法表示。

当固体颗粒较大(1~20mm)可以一粒一粒拣起时,采集有代表性试样 50~100 粒,并称其重,则平均粒径可用下式计算。

$$m = n \frac{\pi}{6} d_m^3 \rho_r$$

$$d_m = 1.24 \sqrt[3]{\frac{m}{n \rho_r}} \quad (1-8)$$

式中 d_m ——固体颗粒的平均粒径(mm);

m ——所拣颗粒的总质量(g);

ρ_r ——固体颗粒的密度(g/mm³);

n ——所拣颗粒的总数目。

当固体颗粒比较细小时,可以用筛析法求平均粒径。如果相邻两层筛子筛孔的尺寸为 d_1 和 d_2 ,则残留在两筛之间的颗粒群的平均粒径,可以用上下两筛的筛孔的算术、几何或调和平均值表示。其计算式分别是:

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}; \quad d_m = \sqrt{d_1 d_2}; \quad d_m = \frac{2d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (1-9)$$

对于整个颗粒群的平均粒径,可根据颗粒群的粒径组成进行计算。用套筛将物料分成若干狭窄粒级,先用公式(1-9)计算出每一狭窄粒级的平均粒径分别为 $d_1, d_2, \dots, d_n$,设总量为 100 份,每一粒级相应质量份数为 $x_1, x_2, \dots, x_n$,则颗粒群的平均粒径

$$1. \text{ 算术平均粒径} \quad d_m = \frac{x_1 d_1 + x_2 d_2 + \dots + x_n d_n}{x_1 + x_2 + \dots + x_n} = \frac{\sum x d}{100} \quad (1-10)$$

2. 几何平均粒径

$$d_m = \sqrt[100]{d_1^{x_1} d_2^{x_2} \dots d_n^{x_n}} \quad (1-11)$$

3. 调和平均粒径

$$d_m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{\frac{x_1}{d_1} + \frac{x_2}{d_2} + \dots + \frac{x_n}{d_n}} = \frac{100}{\sum \frac{x}{d}} \quad (1-12)$$

粒径有多种表示方法,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,采用的计算方法不同,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。

五、物料的易碎性

物料粉碎的难易程度,称为易碎性。同一粉碎机械在相同的操作条件下粉碎不同的物料

时,其生产能力是不同的,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、表面形状等因素有关。强度和硬度皆表示物料对外力的抵抗能力,故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破碎,因为物料的破碎是一小块分裂开来的,故破碎难易的决定因素是物料的强度。硬度大而强度不大(即结构松弛而性脆)的物料比强度大而硬度小(即韧而软)的物料易于破碎。硬度大的物料虽然不一定很难破碎,但是却难以粉磨,同时也使粉碎机械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械,在同一物料尺寸变化条件下,粉碎标准物料的单位电耗 $E_s(\text{kW} \cdot \text{h/t})$ 与粉碎干燥状态下某一物料的单位电耗 $E(\text{kW} \cdot \text{h/t})$ 之比,即

$$K_m = \frac{E_s}{E} \quad (1-13)$$

物料的易碎系数愈大,愈容易粉碎。我国水泥工业中通常采用平潭标准砂作为测定物料易碎系数的标准物料,其计算方法详见第九章第二节。

第二节 颗粒状物料的基本性质

粉碎和分级过程中所处理的颗粒状物料,不但在颗粒尺寸及形状各方面有很大差别,而且随着物料种类不同,其各种物理性质也有很大差异。这些性质对生产过程都有较大影响,因此,必须对颗粒状物料的基本性质有所了解。

一、一般物理性质

(一) 容积密度、孔隙率与堆积角

物料颗粒的单位体积的质量称为该物料的密度(ρ_s)。包括颗粒之间气体所占体积在内的密度称为容积密度(ρ_v)。物料颗粒堆积时,颗粒之间空隙体积与包含空隙在内的物料堆积总体积之比,称为孔隙率,用 ϵ 表示,即

$$\epsilon = \frac{V - V_s}{V} = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_v} \quad (1-14)$$

式中 V ——物料颗粒堆积的总体积;

V_s ——物料颗粒所占体积(不含空隙)。

容积密度、密度与空隙率的关系如下:

$$\rho_v = (1 - \epsilon)\rho_s \quad (1-15)$$

密度对一定物料是定值。孔隙率的大小反映出颗粒群堆积的紧密程度,而容积密度是随孔隙率而变化。孔隙率与颗粒形状、大小级配及充填过程中所受外力的情况有关。

同样大小的球形颗粒充填层的孔隙率可由几何方法计算。根据颗粒堆积方式不同,其孔隙率为 0.2595~0.4764。粉粒状物料由于颗粒不规则及粘结力等因素,其孔隙率实际上总大于此值,一般为 0.5~0.8。

堆积角(或曰休止角、安息角)是表示粉状物料静止及运动的一个力学特性。在设计粉状

物料的堆放、贮存、加工与运输时,它是一个重要参数。堆积角(φ_r)是自然形成的散料堆的表面与水平面的最大夹角,见图 1-1(a)、(b)。一般颗粒越接近球形,堆积角越小。多数物料松散充填时的孔隙率与堆积角之间,具有以下的关系:

$$\varphi_r = 0.05(100e + 15) \quad (1-16)$$

(二)形状系数、粗糙系数与比表面积

1. 形状系数 在理论研究和实际生产中往往将形状不规则的颗粒假定为球形、直方体等形状有规则的颗粒,这样计算方便。但实际所遇到的

颗粒都呈不规则形状,这是理论计算与实际情况

往往出入很大的原因之一,因此一般需要将理论

计算进行修正。形状系数 φ_s (形状修正系数)就是表示实际颗粒形状与球形或直方体等规则

形状不一致程度的比较尺度。

形状系数 φ_s (形状修正系数)就是表示实际颗粒形状与球形或直方体等规则

形状不一致程度的比较尺度。

$$\varphi_s = \frac{S_0}{S} \quad (1-17)$$

式中 S_0 ——与非球形颗粒体积相等的球形表面积;

S ——非球形颗粒的表面积。

对于球形颗粒 $\varphi_s = 1$,而对于非球形颗粒 $0 < \varphi_s < 1$ 。形状系数一般由实验得出,或从有关手册查出。

2. 粗糙系数 颗粒的表面通常是高低不平、有很多微小裂纹或小孔洞。颗粒表面实际粗糙程度直接关系到颗粒间摩擦、粘附、吸水性、吸附性等物理化学现象。颗粒的粗糙系数为颗粒实际表面积与外观视为光滑颗粒的表面积之比。它近似等于用吸附法测定的表面积与用透气法测定的表面积之比值,粗糙系数常大于 1。

3. 颗粒群的比表面积 是指单位体积(或质量)颗粒层中所具有的颗粒的暴露表面积,亦即与流体接触的颗粒表面积。通常颗粒层中颗粒之间相互重叠或接触而未暴露的面积很小。对于空隙率为 e 的颗粒层的比表面积(S_v)为

$$S_v = \frac{n\pi d_m^2/\varphi_s}{n \frac{\pi}{6} d_m^3/(1-e)} = \frac{6(1-e)}{\varphi_s d_m} \quad (1-18)$$

式中 n ——一定体积的颗粒层中颗粒的数目;

d_m ——颗粒群的平均粒径;

φ_s ——颗粒的形状系数。

在水泥生产中,通过颗粒层的流体阻力与流体相接的颗粒群的表面积密切相关。同时比表面积在一定程度上反映了颗粒的分散程度,比表面积愈大,颗粒的分散度愈高,也即颗粒愈细小。

(三)粘附性、凝聚性、湿润性与荷电性

1. 粘附性 在粉碎、分级、输送以及贮存颗粒状物料时,物料颗粒之间及物料与筒壁之间具有一定的粘附性。这种性质往往使物料在筒内(或仓内)流动不畅、严重时形成结块、堵塞、搭拱、粘底等现象。在粉磨过程中由于粘附会使粉磨效率降低,在输送管道中则由于粘附而使阻力增大、输送量降低,甚至使管道堵塞。

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

影响粘附性的因素很多,但主要原因是颗粒之间的作用力以及颗粒与筒壁面的作用力

所造成。这些作用力有：颗粒间互相交错砌筑的结构力，颗粒表面剩余能量引力，微粉的分子间作用力，附着水的毛细管力，微裂纹力以及静电引力等。这些力往往同时起作用，只是对不同物料、不同粒度特性，其影响程度有所不同。

(81) 当物料粒径变小、比表面积增大时，粘附性往往随着增加。同一种物料颗粒粘附性随空隙率的减小而增大。不同物料由于吸湿性不同，吸湿性大的物料粘附性也大。

2. 凝聚性 在生产过程中，微小的物料颗粒由于受高温、粒子表面能、布朗运动、声波振动以及磁力等作用，使颗粒之间相互撞击而引起凝聚，称作物料的凝聚性。这一性质对分级过程是不利的，而对收尘往往是有利的。现在新型收尘器都设法利用这个特性。

3. 湿润性 粉状颗粒被水湿润的现象叫湿润性。粉尘按照能够被水湿润的程度分为疏水性和亲水性粉尘两种。这种分类只是相对的。各种湿法收尘器主要是依靠粉尘与水的湿润效果来收集粉尘的。

4. 荷电性 粉状颗粒在运动过程中，由于颗粒的激烈撞击，颗粒之间或颗粒与其他物体之间的摩擦，放射性照射以及电晕放电等作用而使颗粒荷电。电收尘器就是利用粉尘的荷电性进行收尘的。

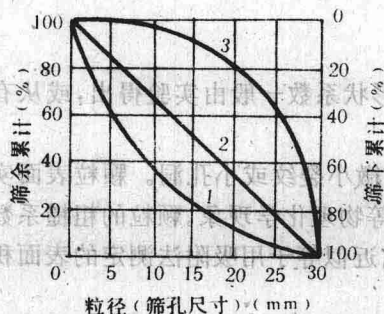


图 1-2 粒度累积分布曲线

1—凹形曲线；2—直线；
3—凸形曲线。

二、粉碎产品的粒度特性

在水泥生产过程中，原料和粉碎产品都是由各种粒度的混合物料组成。为了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记录表上，用来说明物料颗粒的组成特性。为了更能明显地比较物料的粒度组成情况，通常将测得筛析数据在普通的直角坐标上绘制出物料的粒度特性曲线(或称筛析曲线)。用纵坐标表示大于或小于某粒径的累积百分数，横坐标表示相应的粒径(或筛孔尺寸)，所描绘的曲线称为粒度累积分布曲线，即粒度特性曲线，如图 1-2 所示。根据粒度特性曲线可以清楚地判断物料粒度分布情况。图 1-2 中直线 2 表明此物料全部大小颗粒是均匀分布的；凹形曲线 1 表明粉碎产品中含有较多的细小粒级；凸形曲线 3 则表明粉碎产品中粗粒级的物料占多数。一般中等硬度的物料粉碎后具有接近于直线的特性曲线。

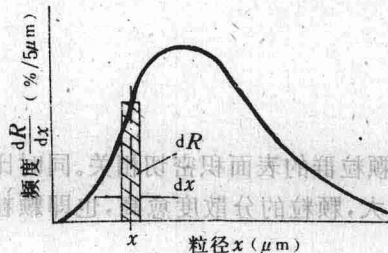


图 1-3 粒度频度分布曲线

粒度特性也可以用频度分布曲线来表示，如图 1-3 所示。纵坐标表示一定的粒径等间隔 dx 范围内(例如 $dx = 5\mu m$)的颗粒质量百分率 dR ， dR/dx 称为频度。横坐标表示相应的粒径 x 。以 dR/dx 及 dx 分别为纵横坐标制图，称为颗粒频度分布曲线。绘制出粒度特性曲线，不仅可以求得筛析表中没有示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，也可以用以比较在不同粉碎机械中粉碎同一物料的粒度特性。

三、粉磨产品粒度分布规律

如前所述,颗粒群的粒度特性可以用粒度分布曲线来表示。多年来不少人研究了各种物料的颗粒分布曲线及其规律,从概率概念出发得出了一些理论的和经验的表达颗粒分布的数学公式。粉磨产品的粒度分布是有一定规律性的,其中最常用、最接近于实际的是罗辛(Rosin)一拉姆勒(Rammler)一本尼特(Bennet)公式,简称RRB方程式,即

$$R = 100e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (1-19)$$

式中 R ——粉磨产品中大于某一粒径 $x(\mu\text{m})$ 的累积百分数;

e ——自然对数的底, $e=2.718$;

x_0 ——特征粒径(μm),表示物料的粗细程度,对一种粉磨产品 x_0 为常数;

n ——均匀性系数,与物料性质及粉磨设备有关,对一种粉磨产品 n 为常数。

对式(1-19)取二次对数,得

$$\log \log \frac{100}{R} = n \log x - n \log x_0 + \log \log e \quad (1-20)$$

用式(1-20)可以制成直角坐标:横坐标表示颗粒直径(μm),采用 $\log x$ 刻度;纵坐标表示大于某一粒径 x 的累积百分数(即筛余%),采用 $\log \log \frac{100}{R}$ 值为刻度,这种坐标称为RRB坐标。方程式(1-20)在RRB坐标中是一条直线,均匀性系数 n 是直线的斜率,如图1-4所示。

当 $x=x_0$ 时, $R=100e^{-1}=100/e=36.8$, 则斜率为 n 的直线与 $R=36.8\%$ 的水平线交点处粒径即为特征粒径 x_0 。上述方程通过 x_0 及 n 两个参数来反映颗粒群的粒度分布全貌, x_0 的大小表示颗粒群的粗和细, x_0 值愈大粉磨产品愈粗, x_0 值愈小粉磨产品愈细; n 值的大小表示颗粒群级配(粒度分布)的窄和宽, n 值大表示粒度分布窄, n 值小表示粒度分布宽。

利用特征粒径 x_0 和均匀性系数 n 还可以计算粉磨产品的比表面积 S 。

$$S = \frac{36.8 \times 10^4}{x_0 n \gamma} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (1-21)$$

式中 x_0 ——特征粒径(μm);

n ——均匀性系数, $n=0.85 \sim 1.20$; 对于生料粉 $n \leq 1$, 闭路粉磨的水泥 $n \geq 1$, 开路粉磨的水泥 n 取中间值;

γ ——颗粒的密度(g/cm^3), 水泥一般取 $3.0 \sim 3.2$, 生料取 $2.6 \sim 2.8$ 。

应注意,上述颗粒分布公式和其它一些颗粒分布经验公式一样是近似式,实际上完全符合数学方程的颗粒群是不多的。

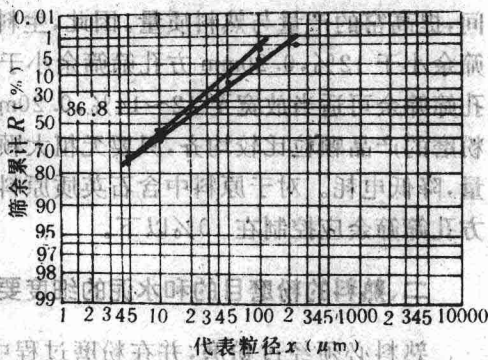


图1-4 粉磨产品粒度分布RRB坐标

第三节 物料粉磨的细度要求

粉磨产品细度常用的表示方法有筛析法和比表面积法。筛析法是将粉磨产品放进0.08mm或0.20mm方孔筛子里进行筛分,以其筛余的百分数表示。比表面积法常用透气法(勃式比表面积仪)测定,以单位质量物料所有颗粒表面的总面积(cm^2/g)表示。

一、生料的粉磨目的和细度要求

水泥熟料的烧成基本上是一种固相反应,而固相反应速率与物料颗粒尺寸有直接关系。生料磨得越细,使生料各组分在磨内越能均匀混合;越细则比表面积越大,在窑内的生料各组分越能彼此充分接触,加速熟料生成反应。生料磨得细,反应速度快,在烧成时可以节省能量,但粉磨得越细则粉磨电耗增加。当生料细度在0.08mm方孔筛筛余10%以下时,随着筛余量的减少,磨机产量也相应迅速下降,粉磨单位产品的电耗将显著增加,而对熟料的烧成速度的增加并不显著。因而从合理使用能量上,粉磨细度要求要适当。

若生料中粗粒较多,特别是一些粗大的石英和石灰石颗粒,化学反应能力低,且不能与其它氧化物组分充分接触,结果化合不完全,造成熟料中的游离氧化钙增多,质量降低。颗粒较均匀的生料,能在比较短的烧成时间内充分完成熟料烧成反应,缩短物料在窑内的停留时间,提高窑的产量与熟料质量。因此,生料粉磨细度,用球磨生产时通常控制0.08mm方孔筛筛余小于12%,0.20mm方孔筛筛余小于1.5%为宜;用棒球磨湿法圈流生产时,0.08mm方孔筛筛余可适当放宽至12~14%,0.20mm方孔筛筛余小于1.5%为宜。因用棒球磨和圈流粉磨的产品颗粒比较均齐,只要无粗大颗粒就不影响熟料质量,适当放宽细度可提高磨机产量,降低电耗。对于原料中含石英质原料和粗晶质石灰岩较多时,生料细度应细些,0.08mm方孔筛筛余应控制在10%以下。

二、熟料的粉磨目的和水泥的细度要求

熟料必须经过粉磨,并在粉磨过程中加入少量的缓凝剂——石膏,达到一定的细度,才成为水泥。水泥的细度越细,水化和硬化的反应就越快,水泥强度越高。反之,若水泥中有过粗的颗粒存在,则只能在其表面起反应,而损失了有胶凝性能的熟料组分。

对水泥不但有一定的细度要求,而且要有一定的颗粒级配。

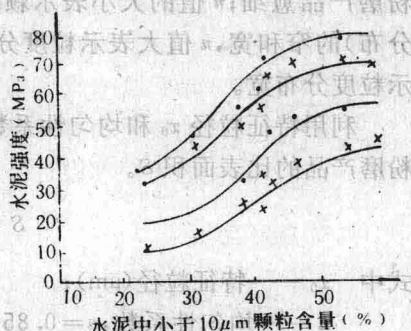


图 1-5 水泥强度与水泥中小于 $10\mu\text{m}$ 颗粒含量关系

图 1-5 说明随着水泥细度的提高,1天和3天的强度提高;但小于 $10\mu\text{m}$ 占50%以上时,7天和28天的强度下降。这是因为水泥过细时,虽然水泥反应加快,对早期强度有利,但是由于存在大量小于 $3\mu\text{m}$ 的颗粒,在加水拌和时流动度小,需水量增加,水泥石硬化后,毛细孔大量增加,孔隙率增加,又降低了水泥强度。因此要求 $3\sim 30\mu\text{m}$ 的颗粒应占主要部分,同时也要求有少量大于 $60\mu\text{m}$ 和大于 $80\mu\text{m}$ 的颗粒。此部分虽胶凝性能未全面发挥,但可以起微集料作用,可以使水泥石比较微密、孔隙小,可提高强度。

水泥粉磨细度取决于生产水泥的品种、标号和混合材掺加量,以及熟料强度、粉磨方式等,一般随工厂的具体情况而定。为此,对于水泥细度主要控制 0.08mm 方孔筛筛余和比表面积这两个指标。磨制 425 号普通硅酸盐水泥时,0.08mm 方孔筛筛余一般控制在 5~8%,比表面积控制在 2800~3200cm²/g;磨制快硬水泥时比表面积为 3200~4000cm²/g。

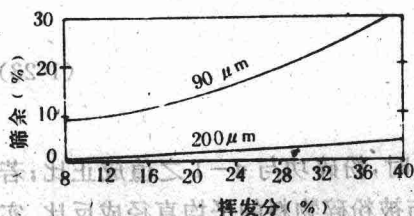


图 1-6 煤粉细度与挥发分的相关曲线

三、煤的粉磨目的和细度要求

作为水泥回转窑燃料的煤粉,其细度一般要求控制在 0.08mm 方孔筛筛余 10~15% 的范围为宜。煤粉磨得较细,比表面积大,与空气中氧气接触机会多,燃烧速度快,燃烧完全,在单位时间内放出的热量也多,这就能提高窑内的火焰温度和维持较高的热力强度。煤粉太粗时,燃烧速度慢,黑火头太长,火焰分散无力,烧成带温度降低。粗颗粒的煤粉不易燃烧完全,会引起窑内产生还原气氛,粗粒的煤灰掺入熟料内,使熟料成分不均匀。这些因素都会影响熟料质量降低。煤质不同时,对煤粉的细度要求也应有所区别,煤粉细度的变动会改变窑内的燃烧情况。煤粉的细度应与挥发分相适应,图 1-6 为有关资料介绍的煤粉细度与挥发分的相关曲线。对灰分高、挥发分低、热值低的煤应磨得细些,以加速煤粉燃烧,保持火焰的合理形状和足够的温度。

立窑用煤,煤的粒度一般在 3mm 以下,经破碎机细碎即可,不用磨机磨细。

第四节 粉碎理论

粉碎理论主要是研究物料的粉碎机理以及在粉碎过程中的能量消耗问题。由于粉碎过程是极其复杂的,要确定粉碎过程所需要的能量问题更是极其复杂的。粉碎过程的能量消耗与很多因素有关,如物料的物理机械性质、所采用的破碎方法、在粉碎瞬间各物料之间所处的相互位置、物料的几何形状、粒度大小及分布规律、物料的湿度及粘度等等。所以要想用一个严密完整的数学解析式来求解粉碎过程中所消耗的能量是很困难的,用现有的粉碎理论来解释物料被粉碎的实质均有一定局限性。在某些情况下必须同时应用一些实际资料作为参考。比较有价值的粉碎理论有以下三种假说。

一、表面积假说

这是雷廷智于 1876 年提出来的,又称雷廷智假说。表面积假说认为:粉碎物料所消耗的能量与粉碎过程中新增加的表面积成正比。

这一假说的物理基础是认为组成任何纯粹脆性的晶体物质质点之间,具有恒定的分子吸引力。因此,粉碎所消耗的能量与用来拆开分子间的引力、产生新的表面积所需要的能量有一定关系。

按照上述假说所推导得出的单位产品能量消耗的普遍式是

$$W = C \left(\frac{1}{d_m} - \frac{1}{d_n} \right) \quad (1-22)$$

式中 W —— 粉碎单位物料的粉碎功;

C ——与物料性质、形状有关的系数；
 d_m ——粉碎后产品的调和平均直径；
 D_m ——粉碎前物料的调和平均直径。
 由于 $D_m = nd_m$ ，所以式(1-22)又可写成

$$W = C \frac{n-1}{D_m} \quad (1-23)$$

式中 n ——粉碎比。
 由式(1-23)可知，当被粉碎物料的平均直径 D_m 一定时，粉碎功与 $n-1$ 之值成正比；若被粉碎物料的平均直径不同而粉碎比相同时，则粉碎功与被粉碎物料的平均直径成反比。实践也证明，当粉碎比一定时，被粉碎物料的粒径愈小，粉碎所消耗的能量愈大。

表面积假说主要是从粉碎物料新生成表面积多少来推导能量消耗量的，它忽略了被粉碎物料的内部结构及物理机械性质，因此它对于粉碎比大、新生表面积多、表面能是主要的物料的粉磨过程比较适用。

二、体积假说

这是基克于 1885 年提出来的，又称基克假说。体积假说认为：在相同技术条件下，将几何形状相似的同类物料粉碎成几何形状也相似的产品时，粉碎消耗的能量与被粉碎物料的体积或质量成正比。

根据物体受外力而引起变形的结果来看，当物体受外力后必然在内部引起应力。随着外力的增加，物体的应力及变形亦随之加大，当应力达到物料的强度极限时，则外力稍微增加即使物料破坏。对于脆性岩而言，物料所受外力与形变符合直线关系。体积假说的普遍式是

$$A = \frac{c^2 V}{2E} \quad (1-24)$$

式中 A ——粉碎体积为 V 物料所需的能量；
 σ ——物料形变时所产生的应力；
 V ——形变物料的体积；
 E ——物体弹性模数。

根据粉碎功与被粉碎物料质量成比例的关系，又可以推导出另一表达式

$$W = K \lg \frac{D_m}{d_m} \quad (1-25)$$

式中 W ——物料的粉碎功；
 D_m ——粉碎前物料的几何平均直径；
 d_m ——粉碎后产品的几何平均直径；
 K ——系数。

体积假说只是考虑物料变形所消耗的能量，它只能近似地计算粗碎和中碎时能量消耗。应当指出的是：前述的两个假说的出发点是不同的，而且是把被粉碎的物料放在“理想”条件下研究的，忽略了很多相关的因素。因此，只靠理论计算来确定粉碎功是不可靠的，必须广泛地利用一些实验资料。