

高等学校教学用书

矿山机械

(选矿机械部分)

冶金工业出版社

高等学校教学用书

矿 山 机 械

(选矿机械部分)

周 恩 浦 等 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
矿山机械
(选矿机械部分)
周恩来等 编

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 14 1/4 插页 1 字数 338 千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷

印数00,001~11,500册

统一书号: 15062·3439 定价1.50元

前 言

《矿山机械》(选矿机械部分)是根据冶金工业部矿山机械专业教学计划和本课程的教学大纲编写的。本书是矿山机械专业的教科书,也可供从事选矿机械设计、制造、维修工作的工程技术人员、工人参考。

本书以系统地阐述本学科的基本理论和基本知识为主。并结合国内生产实际,反映了我国选矿机械方面的新成就,同时对国外选矿机械的发展动向亦作了扼要的介绍。

本书重点阐述破碎机械、筛分机械和磨矿机械的工作原理、基本理论、构造、主要工作参数的计算、各部件的受力和主要零件的设计计算等。对于分级机械、选别机械和脱水机械的工作原理、构造、主要工作参数的选择和计算也作了简略介绍。由于矿山机械专业设有“矿山机械的润滑、修理与安装”课,故本书对于安装、维护、检修方面的内容未作专题介绍。

本书由中南矿冶学院矿山机械教研室周恩浦主编。本书第五章由江西冶金学院单人驥编写,其余均由周恩浦编写。

在编写过程中得到了东北工学院、沈阳重型机器厂、沈阳选矿机械研究所、洛阳矿山机械研究所等单位的大力协助和热情支持,提供了许多宝贵资料和意见。初稿完成后,又邀请了中南矿冶学院等单位对书稿进行了审查。在此,谨向上述单位和有关同志表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中一定存在不少的缺点和错误,恳切地希望读者提出宝贵意见,给予批评指正。

编 者

1978年10月

目 录

前言	
绪论	1
一、选矿机械在国民经济中的作用	1
二、选矿的工艺流程	1
三、选矿机械的发展概况	5
第一章 破碎和磨碎原理及其设备的分类	6
第一节 矿石的破碎和磨碎方法	6
第二节 破碎和磨碎产品的粒度特性	7
第三节 破碎理论	11
第四节 破碎机和磨矿机的分类及其工作特点	14
第二章 颚式破碎机	16
第一节 概述	16
第二节 颚式破碎机的构造	16
第三节 颚式破碎机的结构参数及工作参数的选择和计算	25
第四节 颚式破碎机主要零部件的计算	31
第五节 颚式破碎机的运动学和动力学	38
第三章 旋回破碎机	42
第一节 概述	42
第二节 旋回破碎机的构造	42
第三节 旋回破碎机的结构参数和工作参数的选择和计算	47
第四节 旋回破碎机主要零件的受力分析	49
第四章 圆锥破碎机	52
第一节 概述	52
第二节 圆锥破碎机的构造	53
第三节 圆锥破碎机的结构参数和工作参数的选择与计算	60
第四节 圆锥破碎机的运动学和动力学	63
第五节 圆锥破碎机主要零件的计算	72
第五章 冲击式破碎机	76
第一节 概述	76
第二节 冲击式破碎机的构造	78
第三节 冲击式破碎机的结构参数和工作参数的选择和计算	84
第四节 冲击式破碎机主要零件的计算	87
第五节 冲击式破碎机的动力学	89
第六章 振动筛和共振筛	92
第一节 概述	92

第二节	振动筛和共振筛的构造·····	94
第三节	振动筛筛上物料的运动分析·····	104
第四节	振动筛和共振筛运动学参数的选择和工艺参数的计算·····	112
第五节	惯性振动筛的动力学分析及动力学参数的计算·····	116
第六节	共振筛的动力学分析及动力学参数的计算·····	122
第七章	磨矿机 ·····	131
第一节	概述·····	131
第二节	磨矿机的构造及结构参数的选择·····	134
第三节	磨矿机的工作理论和主要参数的计算·····	142
第四节	磨矿机主要零件的计算·····	156
第八章	螺旋分级机和水力旋流器 ·····	162
第一节	概述·····	162
第二节	螺旋分级机·····	162
第三节	水力旋流器·····	166
第九章	选别机械 ·····	168
第一节	重力选矿机·····	168
第二节	浮选机·····	184
第三节	磁选机和电选机·····	191
第十章	脱水机械 ·····	206
第一节	浓缩机·····	206
第二节	真空过滤机·····	211
结束语	·····	219

绪 论

一、选矿机械在国民经济中的作用

从矿山开采出来的矿石称为原矿。原矿通常是由有用矿物和脉石所组成。有用矿物就是含有用成分（如Fe、Cu）的矿物，如 Fe_2O_3 、 CuS 等。脉石就是原矿中没有使用价值的或不能被利用的部分，如 SiO_2 。有用矿物和脉石有的呈紧密的实体，有的则以疏松的混合物状态存在。

矿石中一般不是只含有一种金属（有用成分），而是含有多种金属。含一种金属的矿石叫单金属矿石，含有两种或多种金属的矿石称为多金属矿石。

从矿山开采出来的矿石多为品位较低的矿石，例如贫铁矿石通常只含铁20~30%，铜矿石含铜只有0.5~2%。由于现代冶炼技术对矿石的品位有一定的要求，例如在铁矿石中铁的品位应高于45~50%，铜矿石中铜的品位应高于8%等，所以，为了满足冶炼上的要求，对于品位低的贫矿石在冶炼前必须进行选矿。这种选矿的主要目的就是用物理方法将矿石中的脉石和有害的杂质尽可能地除掉，提高矿石的品位，以达到冶炼的要求和提高冶炼产品的质量；此外，选矿还可将几种有用矿物相互分离，使之不因冶炼一种金属而使另一种金属损失掉；其次，选矿还可大量节约矿石的运输费用，特别是对品位较低的矿石。

选矿是采矿和冶炼的一个中间环节。它在提高矿石品位使之符合冶炼要求以及合理利用国家资源方面，成为国民经济中一个不可缺少的组成部分。

在选矿厂中，生产过程的主要作业，都是借助于选矿机械（破碎机、筛分机、磨矿机、分级机、选别机械和脱水机械）来完成。这类机械设备依靠皮带运输机、给料机、砂泵以及其它辅助设备联系起来，使选矿的生产过程实现综合机械化。在选矿厂中，其中任一机器停止运转，都将引起选矿厂的生产停顿。所以，正确地设计和选择选矿机械，加强机械设备的保养和维修工作，保证每台设备正常运转，对提高选矿过程的技术经济指标有着很大的意义。

二、选矿的工艺流程

选矿的工艺流程是由选前的准备作业、选别作业和选后的脱水作业等组成。每个作业都起着不同的作用。

1. 选前的准备作业 有用矿物在矿石中通常呈嵌布状态。嵌布粒度的大小，通常为几毫米至0.05毫米。目前，露天矿开采出来的原矿最大块度为1300~200毫米，地下矿开采出来的原矿最大块度为600~200毫米。因此，为了从矿石中提出有用矿物，必须将矿石破碎，使其中的有用矿物得以单体分离，以便选出矿石中的有用矿物。有用矿物和脉石颗粒解离得越完全，有用矿物选别作业的效果就越好。

对于绝大多数矿石，选前的准备作业可分两个阶段进行：

（1）破碎筛分作业：破碎是指将块状矿石变成粒度大于1~5毫米产品的作业。粗嵌布的矿石（有用矿物的粒度为几毫米），经破碎后即可进行选别。破碎矿石通常是采用各种型式的破碎机。

选矿厂最终破碎粒度是结合磨矿作业来考虑的，最适宜的产品粒度一般为10~25毫米，这是为了使破碎与磨矿总成本达到最低。

将矿山开采出来的粒度为1300~200毫米的原矿石破碎到粒度为10~25毫米的产品时，破碎比的范围是：

$$i_{\max} = \frac{D_{\max}}{d_{\min}} = \frac{1300}{10} = 130 \quad (1)$$

$$i_{\min} = \frac{D_{\min}}{d_{\max}} = \frac{200}{25} = 8 \quad (2)$$

式中 i ——破碎作业的总破碎比；

D 、 d ——原矿和破碎产物中最大粒度（最大粒度是指通过95%矿量的方筛孔尺寸）。

在一台破碎机中要达到这样大的破碎比是比较困难的。由于本身构造的特点，破碎机只能在一定限度的破碎比下，才能有效地工作。各种破碎机在不同的工作条件下其破碎比的范围见表1。

表1 各种破碎机在不同工作条件下的破碎比范围

破碎段数	破碎机型式	流程类型	破碎比范围
第 I 段	颚式破碎机和旋回破碎机	开路	3~5
第 II 段	标准圆锥破碎机	开路	3~5
第 II 段	标准圆锥破碎机（中型）	闭路	4~8
第 III 段	短头圆锥破碎机	开路	3~6
第 III 段	短头圆锥破碎机	闭路	4~8

由表1可以看出，要把矿石从原矿的粒度破碎到所需的粒度，必须采用几台串联工作的破碎机，实行分段破碎。总破碎比等于各段破碎比的乘积。

筛分就是将颗粒大小不同的混合物料按粒度分成几种级别的分级作业。从矿山开采出来的矿石，其粒度大小很不一致，其中含有一定量的细粒矿石，如其粒度适于下段作业的

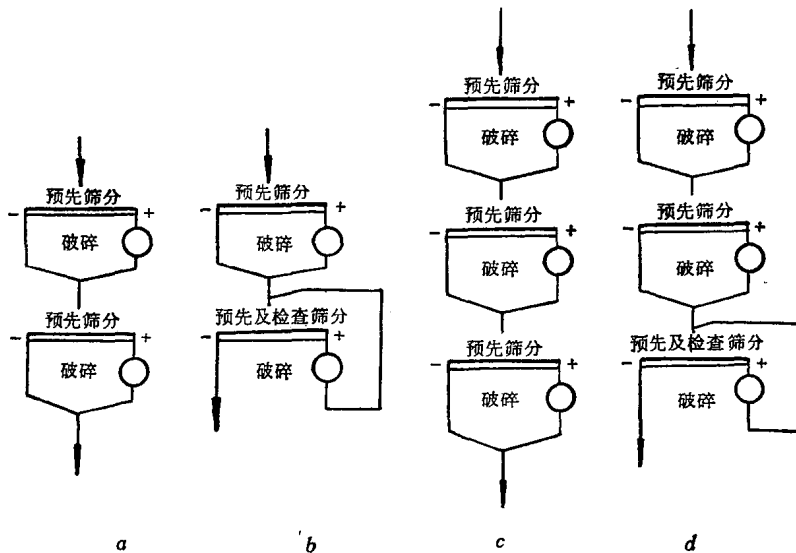


图1 基本破碎筛分流程

要求,那么,这些矿石就无需破碎。所以,当矿石进入破碎机之前,应将细粒矿石分出,这样可以增加机器的处理能力和防止矿石的过粉碎。其次,在破碎后的产品中也时常含有粒度过大的矿粒,这也要求将过大的矿粒从混合物料中分出并返回破碎机中继续破碎。为了达到上述目的,必须进行筛分。

在选矿厂中,破碎和筛分组成联合作业。基本破碎筛分流程如图1所示。

小型选矿厂常采用二段开路破碎流程(图1a),第一段一般可不设预先筛分。中小型选矿厂常用二段一次闭路破碎流程(图1b)或三段一次闭路破碎流程(图1d)。大型选矿厂常用三段开路破碎流程(图1c)或三段一次闭路破碎流程(图1d)。在处理含水分较高的泥质矿石及易产生大量石英矿尘的矿石时,以采用开路破碎流程为宜,因采用闭路破碎时,易使筛网及破碎机堵塞,或产生很多有害矿尘。

破碎筛分流程中所用的主要机械有颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机、固定筛、振动筛和共振筛。

(2) 磨碎分级作业 有用矿物呈细粒嵌布时,由于粒度比较小(1~0.05毫米),因此,矿石经几段破碎以后,必须进行磨碎,才能使有用矿物与脉石达到单体分离,以便选出有用矿物而去掉脉石。

为了控制磨矿产品的粒度和防止矿粒的过粉碎或泥化,通常采用分级作业与磨矿作业联合进行。

图2表示最基本的磨矿分级流程。

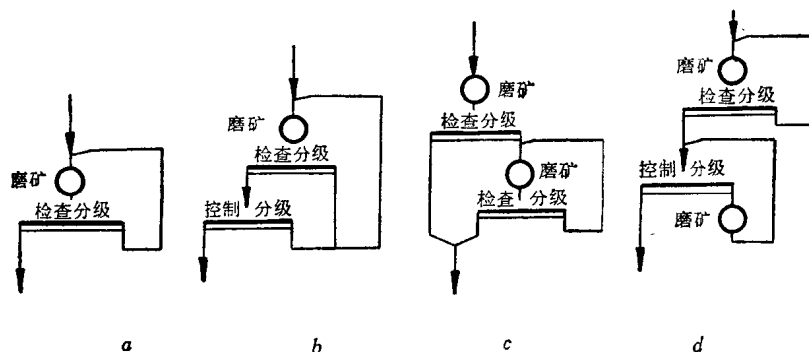


图2 基本磨矿分级流程

由于磨矿机有较大的破碎比,一般磨矿细度大于0.15毫米时采用一段磨矿;小于0.15毫米时采用两段磨矿。磨矿作业可以分为开路及与分级设备构成闭路两种型式。开路磨矿易造成物料的过粉碎,故仅用在以棒磨机代替细碎的情况下或物料泥化时对选别效果没有影响才采用,一般均与分级设备构成闭路。分级设备一般在粗磨时常采用螺旋分级机,细磨时采用螺旋分级机或水力旋流器与磨矿机构成闭路循环。

随着自磨机在选矿厂的应用,使破碎和磨碎流程大为简化,从而减少了基建和设备投资以及维护管理费用,降低了选矿成本。

2. 选别作业 矿石经破碎到一定大小的粒度以后,虽然有用矿物呈单体分离状态,但仍与脉石混在一起,所以,必须根据矿石的性质,用适当的方法选出矿石中的有用矿物。最常用的选矿方法有以下几种:

(1) 重力选矿法：重选是利用矿石中有用矿物和脉石的比重差，在介质（水、空气、重介质——重液或悬浮液）中造成不同的运动速度而使它们分离的一种选矿方法。

重选的设备有跳汰机、摇床、溜槽和重介质选矿机等。

(2) 浮游选矿法：浮选是根据各种矿物表面物理化学性质的差别，而使有用矿物与脉石相互分离的选矿方法。

浮选是在浮选机中进行的。

(3) 磁力选矿法：磁选是根据有用矿物与脉石的磁性不同，而使它们分离的一种选矿方法。

磁选是在磁选机中进行的。

此外，还有根据矿物的导电性、摩擦系数、颜色和光泽等不同而进行选矿的一些其它选矿方法，如静电选矿法，摩擦选矿法，光电分选法等。目前还出现了一种细菌选矿法，它主要是利用某些细菌及其代谢产物的氧化作用，使矿石中的金属变成硫酸盐形式溶解出来，然后适当处理，回收有用金属。

3. 选后的脱水作业 绝大多数的选矿产品（如浮游精矿，摇床精矿等）都含有大量的水分，因此，对于运输和冶炼加工都很不方便，所以，在冶炼前，必须将选矿产品中的水分脱除。

脱水通常按以下几个阶段进行：

(1) 浓缩：这是利用液体中的固体粒子在重力或离心力的作用下产生沉淀而排出一部分水分的作业。浓缩过程通常是在浓缩机中进行的。

(2) 过滤：由于浓缩后的产品还含有一定量的水分，所以，还要进一步脱水。矿泥（浮游精矿等）的脱水是采用过滤的方法在过滤机上进行的。过滤是利用某种多孔材料（如滤布）制成的隔板使固体颗粒与水分离的作业。

(3) 干燥：它是脱水过程的最后阶段。干燥是根据加热蒸发的原理以减少物料中水分的作业。干燥机是用于这种作业中的机器。

矿石经过选矿过程以后，可以得到几种产品：精矿、尾矿和中矿。

选矿过程的效率主要用回收率来表示。回收率是以精矿中金属的重量与原矿中金属的重量之比的百分数表示。回收率愈高，则选矿过程的效率愈高。

各种矿石的选矿过程是不同的，它们取决于矿石的性质、选矿厂所在地的自然条件、冶炼要求等一系列因素。图3为用主要设备和辅助设备表示的某金属选矿厂矿石流动的机械流程图。

由图3可以看出，从矿山开采出来的矿石，

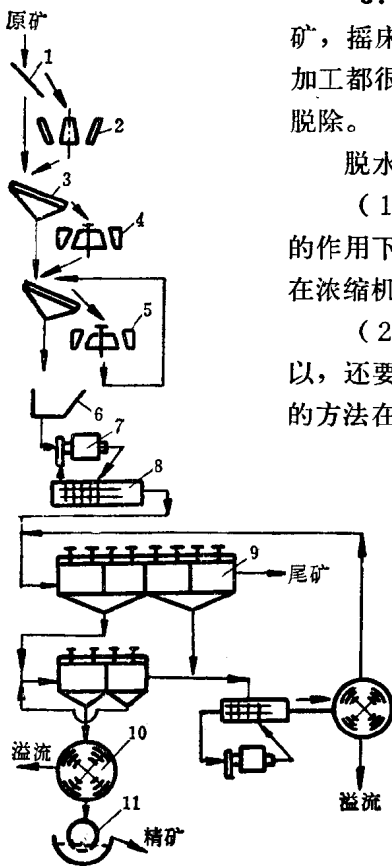


图3 机械流程图

1—固定格筛；2—旋回破碎机；3—振动筛；4—标准型圆锥破碎机；5—短头型圆锥破碎机；6—矿仓；7—球磨机；8—螺旋分级机；9—浮选机；10—浓缩机；11—真空过滤机

在送到冶炼厂之前，要经过一系列工序连续的加工处理。

选矿机械是根据选矿流程来选择的。但是，选矿机械结构的改善或新型选矿机械的出现，也会对选矿工艺流程产生影响，甚至会引起工艺流程的重大改变。

三、选矿机械的发展概况

新中国成立以来，随着选矿工业的发展，选矿机械经历了从无到有、从小到大、从单个品种和规格到多个品种和规格的发展过程。各种选矿机械产品已经形成系列。现在生产的各种型式和规格的破碎机、磨矿机和选别机械，基本上能满足国民经济建设的需要，同时，在自磨机、液压破碎机、反击式破碎机、离心选矿机、梯形跳汰机、重介质振动溜槽、永磁磁选机等新产品的研制和新技术的应用方面都取得了一定的成果。但是，根据我国矿藏资源的特点（贫矿多、共生矿物多、细粒嵌布矿物多），选别机械的品种还不能完全满足新的选矿工艺的需要，特别需要发展一些适于对难选矿物分选的选别机械。

为了适应钢铁工业高速发展的需要，加速实现社会主义的四个现代化，必须不断地改进现有产品的结构，提高制造质量，加强耐磨材料的研究，延长易损零部件和机器的使用寿命，充分发挥机器的生产能力，搞好产品的标准化、系列化、通用化，努力提高选矿过程的机械化和自动化水平，研制大型、高生产率和高效率的选矿机械。

第一章 破碎和磨碎原理及其设备的分类

第一节 矿石的破碎和磨碎方法

破碎是一种使大块物料变成小块物料的过程。这个过程是用外力（人力、机械力、电力、化学能、原子能或其它方法等）施加于被破碎的物料上，克服物料分子间的内聚力，使大块物料分裂成若干小块。矿石是脆性材料，它在很小的变形下就发生毁坏。

目前在工业上主要是利用机械力来破碎矿石。利用机械力破碎矿石的方法有以下几种：

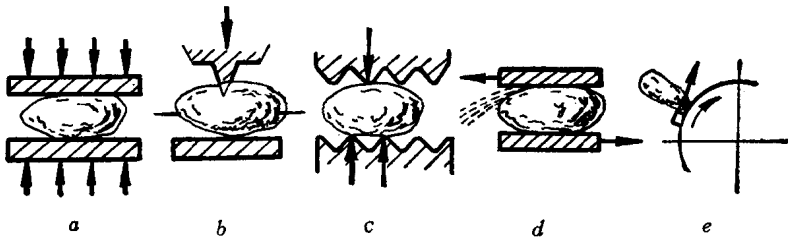


图 1-1 矿石的破碎和磨碎方法

a—压碎；b—劈碎；c—折断；d—磨碎；e—冲击破碎

(1) 压碎 (图1-1a)：将矿石置于两个破碎表面之间，施加压力后，矿石因压应力达到其抗压强度限而破碎。

(2) 劈碎 (图1-1b)：用一个平面和一个带有尖棱的工作表面挤压矿石时，矿石将沿压力作用线的方向劈裂。劈裂的原因是由于劈裂平面上的拉应力达到或超过矿石拉伸强度限。矿石的拉伸强度限比抗压强度限小很多。

(3) 折断 (图1-1c)：矿石是受弯曲作用而破坏。被破碎的矿石就是承受集中载荷的两支点或多支点梁。当矿石内的弯曲应力达到矿石的弯曲强度限时，矿石即被折断。

(4) 磨碎 (图1-1d)：矿石与运动的表面之间受一定的压力和剪切力作用后，其剪应力达到矿石的剪切强度限时，矿石即被粉碎。磨碎的效率低，能量消耗大。

(5) 冲击破碎 (图1-1e)：矿石受高速回转机件的冲击力而破碎。它的破碎力是瞬时作用的，其破碎效率高，破碎比大，能量消耗少。

实际上，任何一种破碎机和磨矿机都不能只用前面所列举的某一种方法进行破碎，一般都是由两种或两种以上的方法联合起来进行破碎的，例如压碎和折断，冲击和磨碎等。

矿石的破碎方法主要是根据矿石的物理机械性质，被破碎矿石块的尺寸和所要求的破碎比来选择。

矿石分为坚硬矿石（硬矿石），中等坚硬矿石和软矿石；也可分为粘性矿石和脆性矿石。根据矿石的物理机械性质，矿石的抗压强度最大，抗弯强度次之，抗磨强度再次之，抗拉强度最小。对于坚硬矿石最好采用压碎、劈碎和折断（弯曲）的破碎方法，而对粘性矿石则采用压碎和磨碎方法破碎，脆性矿石和软矿石采用劈碎和冲击破碎的方法为宜。随着耐磨材料质量的提高和使用寿命的增长，对于硬而脆的矿石也可以采用冲击破碎的方

法。

各种矿石的物理机械性质见表1-1。

表 1-1 矿石的物理机械性能

矿石性质	矿石种类	抗压强度限 σ_b (公斤/厘米 ²)	弹性模数 E (公斤/厘米 ²)	普氏硬度系数
软矿石	煤	20~40		2~4
	方铅矿	45		
	菱铁矿	70		
	无烟煤	~90		
	闪锌矿	~100		
	疏松石灰石	400		
低于中硬矿石	致密石灰石	500~1000, 甚至达1300	350000	6~10
	褐铁矿	~820		
	磁铁矿	1065	680000~720000	
中硬矿石	花岗岩	1200~1500	515000~614000	12~15
	纯褐铁矿	1250		
	正长岩	1250~1560		
	大理石	500~1500	565000	
	致密砂岩	~1600		
高于中硬矿石	半假象赤铁矿	1580~1955	612600~790000	15~18
	辉绿岩	1800~2000		
	闪长岩	2000		
	片麻岩	1720~2200		
极硬矿石	石英岩	1980~2180	780000~1030000	18~20
	闪长岩	1800~2400		
	透岩	1530~2800	680000	
	铜矿石	1500~2800		
	钛磁铁矿	2340		
	玄武岩	2000~3000	562000~913000	
	花岗长英岩	~3500		

第二节 破碎和磨碎产品的粒度特性

一、粒度及其表示方法

矿块的大小称为粒度。矿块一般都是不规则的几何形体，需要用几个尺寸来表示它的大小，但是，通常都用一个尺寸——平均直径或等值直径来表示矿块的大小。

平均直径通常用来表示破碎机的给矿和排矿中最大矿块的尺寸，并用它来计算破碎比。矿块的平均直径可由下式求出：

$$d = \frac{l+b}{2} \quad (1-1)$$

或

$$d = \frac{l+b+t}{3} \quad (1-2)$$

式中 d ——矿块的平均直径（简称矿块直径）；

b ——矿块宽度;

l ——矿块长度;

t ——矿块厚度。

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颗粒作为球体来计算的,计算公式为:

$$d_{dz} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = 1.24\sqrt[3]{V} = 1.24\sqrt[3]{\frac{G}{\delta}} \quad (1-3)$$

式中 G ——矿粒重量;

δ ——矿物比重;

V ——矿粒体积。

公式(1-1)、公式(1-2)和公式(1-3)是单个矿块粒度的计算方法。对于由不同粒度混合组成的矿粒群,通常用筛分方法来确定矿粒群的平均直径。如通过筛孔为 d_1 的上层筛面而留在筛孔为 d_2 的下层筛面上的矿粒群,其粒度既不能用最大矿粒的粒度表示,也不能用最小矿粒的粒度表示,通常用下列方法表示:

$$-d_1 + d_2 \quad \text{或} \quad d_1 \sim d_2$$

当 $-d_1 + d_2$ 粒级的粒度范围很窄,筛比不超过 $\sqrt{2} = 1.414$ 时,则此粒级的平均直径可用下式计算:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1-4)$$

二、破碎磨碎产品的粒度特性

破碎、磨碎和筛分的产品,都是由粒度不同的各种矿物颗粒所组成。为了鉴定破碎机和磨矿机的破碎效果和检查破碎、磨碎和筛分产品的质量,必须确定它们的产品粒度组成和粒度特性曲线。确定混合物料的粒度组成,通常采用筛分分析的方法(简称筛析)。

筛析一般采用标准筛。标准筛的筛面是使用正方形筛孔的金属丝筛网。标准筛有多种不同的标准,我国通常采用泰勒标准筛。泰勒标准筛的筛孔大小用网目(简称目)来表示。网目是指一英寸(1英寸=25.4毫米)长度内所具有的筛孔数目。网目愈多,筛孔愈细。这种筛子是以200目(筛孔宽0.074毫米)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称为筛比。泰勒标准筛有两个筛比,即基本筛比($\sqrt{2} = 1.414$)和补充筛比($\sqrt[3]{2} = 1.189$)。补充筛比即在 $\sqrt{2}$ 筛比的基本筛序中间又插入一套筛比为 $\sqrt{2}$ 的附加筛序构成。求筛孔大小时,可根据筛比计算。例如计算基本筛的上一基本筛序150目的筛子的筛孔尺寸时,用基本筛的筛孔乘以基本筛比,即 $0.074 \times \sqrt{2} = 0.104$ 毫米。

进行筛析时,从被筛析的物料中称出适量的试样。试样称好后置于一套标准筛的第一层筛面上并用盖封闭,然后放在振筛器上进行筛析,筛析的时间一般为10~15分钟。筛好后将各层筛上的物料分别进行称量,然后以试样的总重量分别除各个粒级的重量,即可得到每一粒级相应的产率,以百分数表示。

根据筛析的结果,可以作出原矿,破碎产品和磨碎产品的粒度特性曲线。粒度特性曲线表示产率和物料粒度之间的关系。这种曲线的绘制方法很多,随研究的目的而定。通常是以直角坐标的横轴表示筛孔尺寸与原矿最大粒度之比,或者是筛孔尺寸与破碎机排矿口

之比，或者是筛孔尺寸与磨碎产品的最大粒度之比；纵轴表示每一层套筛上物料重量累积百分数或简称筛上量累积产率（%）。利用各种矿样的筛析数据，可以作出图1-2到图1-7的粒度特性曲线。

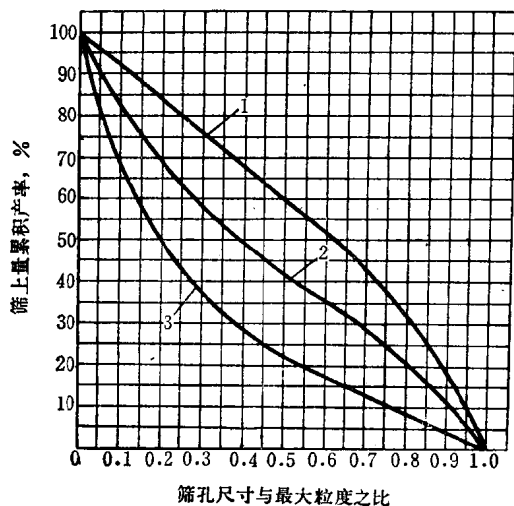


图 1-2 原矿粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

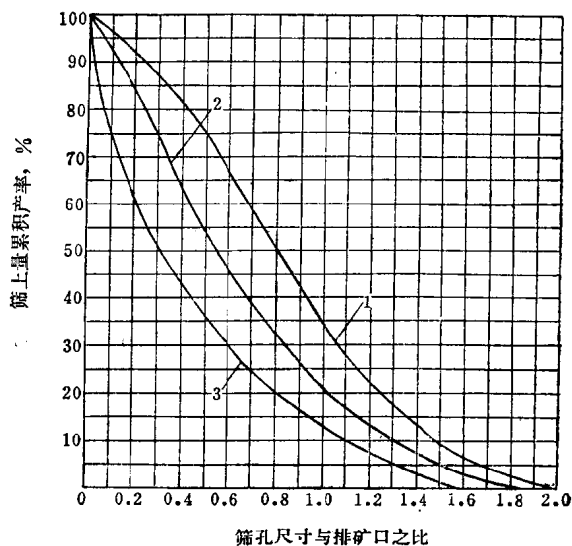


图 1-3 旋回破碎机破碎产品粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

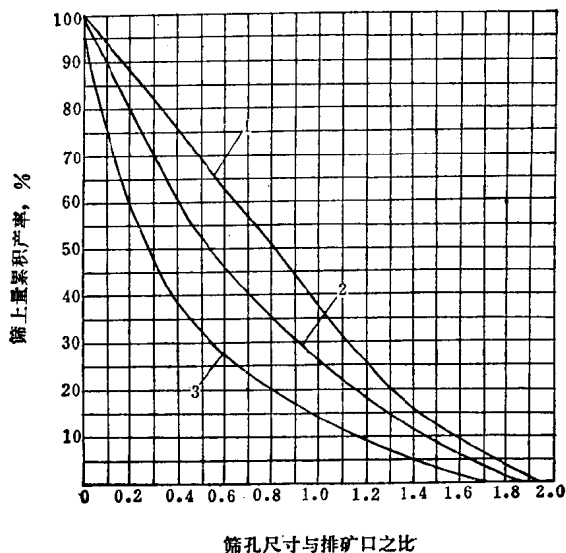


图 1-4 颚式破碎机破碎产品粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

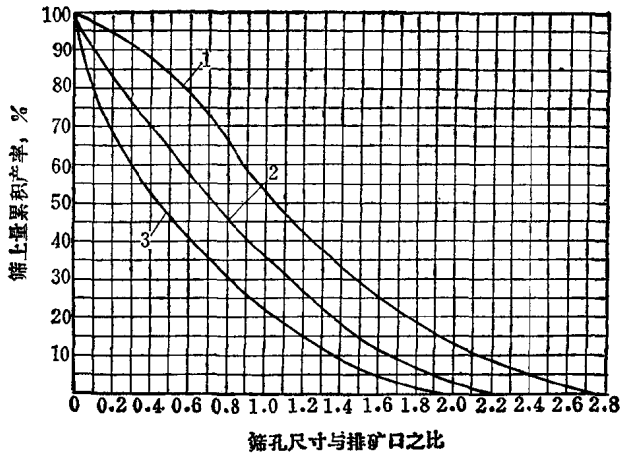


图 1-5 标准圆锥破碎机破碎产品粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

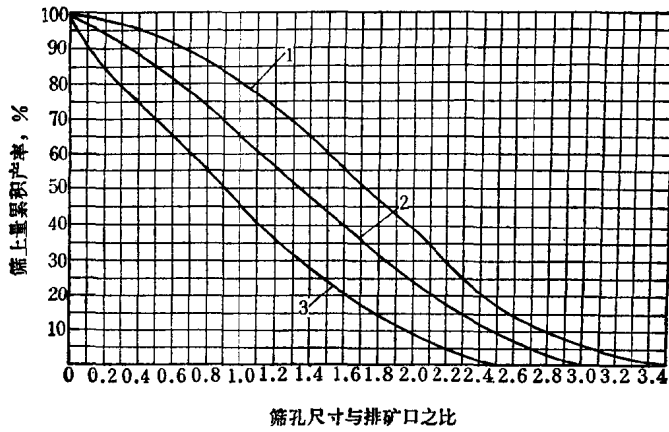


图 1-6 短头圆锥破碎机开路破碎产品粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

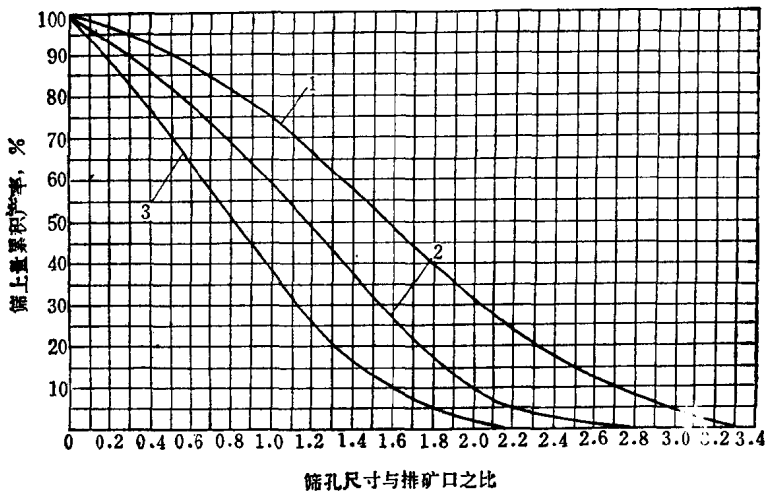


图 1-7 短头圆锥破碎机闭路破碎产品粒度特性曲线
1—难碎性矿石；2—中等可碎性矿石；3—易碎性矿石

粒度特性曲线的横坐标轴与曲线间的任一条垂线（纵坐标），其值表示大于横坐标轴上相应点所代表的物料粒度的产率。这一数值与100之差就是粒度小于这一尺寸的物料产率。两条线段（纵坐标）之差，就是在横轴上相应两点间的颗粒尺寸（物料粒度）的产率。

从图1-2到图1-7表示的粒度特性曲线中看出，难碎性矿石的粒度特性曲线1都是凸形曲线，这表明矿石中的粗粒级物料占多数；中等可碎性矿石的粒度特性曲线2都近似于直线，这表明各种粒级所占的产率大致相等；易碎性矿石中的粒度特性曲线3都是凹形曲线，这表明矿石中的细粒级物料占多数。根据图中的粒度特性曲线，可以比较各种矿石的破碎难易程度，检查破碎机和磨矿机的工作情况，比较各种破碎机和磨矿机的破碎效果。

第三节 破 碎 理 论

破碎理论是研究矿石在破碎过程中的能量消耗与哪些因素有关，并确定用外力破碎矿石时所作的功。

物料块破碎时，系沿最脆弱的断面裂开。在破碎后所生成的碎块上，这些脆弱面就不存在了。所以在破碎时，脆弱点和脆弱面逐渐消失，随着物料粒度的减小，物料变得越来越坚固。因而破碎较小的物料时，消耗的能量就较多。

破碎时所消耗的功，一部分使被破碎的物料块变形，并以热的形式散失于周围空间，一部分则用于形成新表面，变成固体的自由表面能。

由于破碎过程极其复杂，能量的消耗与很多因素有关，如矿石的物理机械性质、矿石的形状、尺寸和温度、采用的破碎方法等，因此，现有的破碎理论，都没有完整地解释矿石被破碎的实质，均有一定的局限性。目前，破碎理论有三种假说：面积假说、体积假说和裂缝假说。

一、面积假说

破碎功耗与破碎过程中物料新生成表面的面积成正比，或内力的单元功 dA_1 与物料的破断面的面积增量 dS 成正比。即

$$dA_1 = K_1 dS \quad (1-5)$$

式中 K_1 为比例系数。

假设物料块的形状为立方体，边长为 D ，如顺着一个面把它破碎开，则新生成的表面积为 $S = D^2$ 。公式 (1-5) 可写为：

$$dA_1 = K_1 dS = K_1 dD^2 = 2K_1 D dD \quad (1-6)$$

破碎 Q 立方米由不同粒度和形状的物料块组成的混合物料。破碎后得到数量相同的产物，而破碎产物则是由粒度更小的各种粒度和形状的物料组成。为了便于讨论，假定所有物料块都是尺寸相同的规则立方体。

Q 立方米物料中的物料块数目是：

$$N = \frac{Q}{D^3} \quad (1-7)$$

破碎 Q 立方米物料时的单元功为：

$$dA = NdA_1 = \frac{Q}{D^3} \times 2K_1 D dD = 2K_1 Q \frac{dD}{D^2} \quad (1-8)$$