



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

选矿机械

Xuankuang Jixie

主 编 陈建中 沈丽娟 赵跃民

中国矿业大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

选 矿 机 械

主 编 陈建中 沈丽娟 赵跃民

副主编 张东晨 王新文

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了碎磨、筛分、分选、脱水、运输等主要矿物加工(选煤)机械的工作原理、构造特点、技术性能以及安装调试和使用维护方面的知识。书中对设备的主要结构参数计算、选型、提高机械效率的途径也作了介绍,尤其是对近年来我国广泛使用的选煤新设备、新成果作了比较全面的介绍。各章附有复习思考题,便于读者自学。

本书既可作为高等学校矿物加工工程专业本科生、专科生(作适当取舍)的教学用书,也可作为相近专业的本(专)科生、研究生以及从事矿物加工领域的科研、设计、生产、制造、营销、调试等工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

选矿机械/陈建中,沈丽娟,赵跃民主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.1

ISBN 978-7-5646-1097-5

I. ①选… II. ①陈…②沈…③赵… III. ①选矿机械—基本知识 IV. ①TD45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 111131 号

书 名 选矿机械

主 编 陈建中 沈丽娟 赵跃民

责任编辑 褚建萍 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 淮安淮海印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 36.75 字数 917 千字

版次印次 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

矿物加工是矿物资源利用过程中一个重要的生产环节。无论是金属、非金属矿产资源或煤炭能源资源,在地球上都是有限的、不可再生的,必须依靠矿物加工技术,使其有效合理地利用。矿物加工过程是由各种机械完成的,设备的类型、性能、可靠性对矿物加工的效率、数质量指标等有着重要的影响。因此,全面认识、掌握各种矿物加工机械的工作原理、结构特点、应用范围、关键工作参数的计算、设备的安装调试和使用维护,对保证生产任务的顺利完成,提高矿物加工生产的各项技术经济指标,使企业获得良好的经济效益,都具有重要的意义。

改革开放以来,尤其是近十多年来,国家宏观政策鼓励发展煤炭清洁生产,市场需求及企业创新能力的提高推动选煤技术发展,国外技术的涌入提高了我国的研发起点,国家对选煤技术的研发资助力度加大,使得我国的矿物加工工业有了飞速发展,矿物加工机械的生产技术也取得了很大的成就,各种新型、高效的矿物加工机械在选煤行业得到了广泛应用。我国已能制造与年处理能力4.0 Mt/a选煤厂配套的技术装备。

矿物加工机械对矿物加工工程专业的学生来说是一门重要的专业课程,是矿物加工学的延伸和扩展,掌握其基本知识有助于从事不同工作的矿物加工技术人员进行新产品研发,或设计选型,或生产管理维修,或市场营销等。

鉴于此,编著者结合生产实际、多年的工作经验和教学实践,利用多年开发设备、为生产现场调试设备所积累的技术、经验、资料等优势,编著了本书。

书中内容除介绍常用设备外,力争把近年来矿物加工领域,尤其是选煤领域最新使用的设备奉献给读者,还介绍了该领域的技术发展动态;同时也兼顾了选矿领域的主要常用设备。

本书初稿由陈建中、沈丽娟于2005年10月完成,同时申请了普通高等教育



“十一五”国家级规划教材获得批准。自 2005 年起连续六年作为中国矿业大学矿物加工工程专业 2002~2007 级本科生矿物加工机械课程的教材。2006 年 3 月,由中国煤炭教育协会组织的高等学校(矿业)“十一五”教材编审委员会召开会议,确定《选矿机械》由中国矿业大学陈建中教授负责,再联合安徽理工大学、中国矿业大学(北京)两所高校老师参与编写。2006~2011 年作者又收集煤炭行业最新使用的设备,以使教材尽量跟踪学科前沿,反映当今最新选煤技术。本书由中国矿业大学陈建中、沈丽娟、赵跃民担任主编,完成了全书的编著和整理,安徽理工大学张东晨参与编写了第一章碎磨机械部分内容,中国矿业大学(北京)王新文参与编写了第二章筛分机械部分内容。

在此,特别要向在资料收集过程中给予支持的单位和个人表示感谢。

由于编著者水平所限,书中不足、甚至错误在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2011 年 8 月于徐州

目 录

绪论	1
第一章 碎磨机械	4
第一节 概述	4
第二节 辊式破碎机	15
第三节 颚式破碎机	26
第四节 锤式破碎机	40
第五节 反击式破碎机	45
第六节 圆锥破碎机	51
第七节 磨矿机	68
第八节 碎磨机械的安装、使用和维护	95
复习思考题	98
第二章 筛分机械	100
第一节 概述	100
第二节 固定筛	108
第三节 双轴振动筛	113
第四节 单轴振动筛	136
第五节 振动筛参数计算	148
第六节 筛箱和筛面	160
第七节 筛分机的安装、使用与维护	169
复习思考题	172
第三章 分选机械	174
第一节 跳汰机	174
第二节 重介质分选机	227
第三节 重介质旋流器	253
第四节 浮选设备	279
复习思考题	339

第四章 脱水机械.....	341
第一节 概述.....	341
第二节 离心脱水机.....	346
第三节 浓缩设备.....	401
第四节 真空过滤机.....	424
第五节 加压过滤机.....	439
第六节 压滤机.....	457
复习思考题.....	485
第五章 运输机械.....	487
第一节 带式输送机.....	487
第二节 刮板输送机.....	539
第三节 斗式提升机.....	550
第四节 给料机.....	562
复习思考题.....	577
参考文献.....	578

绪 论

一、矿物加工机械作用

矿物加工是矿物资源利用过程中一个重要的工业生产环节。无论是金属、非金属矿产资源还是煤炭资源,在地球上都是有限的,而且是不可再生的。因此,必须依靠矿物加工技术,满足各种用户对矿产资源的质量要求,使其合理、有效利用。矿物加工过程是由各种机械完成的,它是一条机械化甚至是自动化的生产流水线。流水线上的每台机械承担着不同的任务,设备的类型、性能、可靠性对矿物加工的效率、数、质量指标,经济效益,有着重要的影响。因此,全面认识、掌握各种矿物加工机械的工作原理、结构特点、应用范围、关键零部件的计算方法,了解设备的使用与调整,操作与维护,对保证生产任务的顺利完成,提高矿物加工生产的各项技术经济指标,使企业获得良好的经济效益,都具有重要的意义。

二、矿物加工机械类型

矿物加工机械是矿物加工生产线上各种类型机械的统称。根据这些机械在矿物加工工艺中的作用,可将它们分为碎磨机械、筛分机械、分选机械、脱水机械等主要工艺设备和运输机械、流体机械等辅助设备。

三、矿物加工机械功能

(一) 碎磨机械

碎磨机械的作用是使碎磨后的原料满足入选粒度的要求,或通过碎磨使各种不同矿物解离,有时也对选后产品进行破碎,使其满足用户对产品粒度的要求。矿物加工厂常用的碎磨机械有齿辊式、颚式、锤式、反击式破碎机及各种磨矿机械。

(二) 筛分机械

筛分机械广泛用于原料的准备和产品的处理上。筛分机既可用于保证原料入选粒度的准备筛分(分级),也可以完成产品的最终筛分,还可以进行选后产品的脱水、脱泥以及脱介等。矿物加工生产线上筛分机械类型很多,常用的有各种固定筛、振动筛等。

(三) 分选机械

分选机械是矿物加工流水线的主要机械设备,它利用原料中各种矿粒的物理、化学性质(如密度、表面湿润性)的差异,采用机械的方法将原料中的尾矿或矸石排除,使原料的选后产品品位提高或是发热量提高。不同的矿物加工方法使用不同的分选机械,常用的分选机械有跳汰机、重介质分选机、浮选机等。

(四) 脱水机械

脱水机械的作用是对选后产品进行有效脱水,以满足用户对产品水分的要求,并适应运输的需要。矿物加工脱水机械的类型最为繁多,如离心脱水机、真空过滤机、压滤机、加压过滤机和浓缩机等(利用重力作用对粗粒级进行脱水的脱水筛分机归属筛分机械)。

(五) 运输机械及流体机械

矿物加工流水线的运输机械担负着入选原料的输入、选后产品的装仓以及各道工序中



物料的装载输送任务,是矿物加工生产实行综合机械化的重要组成部分。常用的厂内运输机械有胶带输送机、刮板输送机、斗式提升机及给料机等。

除以上几类机械外,矿物加工厂还有各种泵类,担负着矿物加工流水线矿浆、循环水、悬浮液及煤泥水的输送;还有鼓风机、真空泵等供风机械负责向跳汰机、真空过滤机、加压过滤机等提供压缩空气或真空负压。这些机械统称为流体机械,是矿物加工流程中主要的辅助机械,由单独的专业课程介绍。另外,还有在高寒等地区或特殊用途需要干燥脱水的干燥机械,因为本课程的课时有限也不在本课程介绍。

四、我国矿物加工(选煤)机械现状

改革开放以来,尤其是十多年来,国家宏观政策鼓励发展煤炭清洁生产,市场需求及企业创新能力的提高推动了选煤技术的发展,国外技术的引进提高了我国的研发起点,国家对选煤技术研发的资助力度加大,使得我国的矿物加工工业有了飞速发展,矿物加工机械的生产技术也取得了很大的成就,各种新型、高效的矿物加工机械在选煤行业得到了广泛应用。我国已能制造与年处理能力为 400 万 t/a 选煤厂配套的技术装备,主要表现在以下几个方面。

(一) 研制成功具有我国特色的新型跳汰机

我国在 20 世纪 80 年代研制成功 SKT 系列跳汰机,20 世纪 90 年代研制成功 X 系列跳汰机。SKT 系列、X 系列跳汰机是目前的主导机型,跳汰面积从 5 m^2 到 40 m^2 规格齐全,可满足易选至中等可选性煤炭的分选需要。

(二) 研制成功重介质选煤成套装备

我国在 20 世纪 80 年代,不断改进和完善重介质分选设备,研制出小时处理量达 500 t 的大型斜轮重介质分选机、用棒齿传动的 JL 型立轮重介质分选机及浅槽重介质分选机。重介质旋流器选煤技术取得了突破,尤其是近十多年,新建与改扩建选煤厂大部分采用该技术,无压给料三产品重介质旋流器技术达到国际领先水平,无压给料三产品重介质旋流器最大直径已达 1 500 mm。另外,还研制成功大型永磁磁选机,以及宽 4.5 m、长 3.6~11 m 的大型直线振动脱介筛等辅助设备。目前,在我国重介质选煤生产中使用的大多数设备是国产的。

(三) 研制成功粗煤泥分选设备

近十年来,我国先后研制成功煤泥重介、干扰床煤泥分选机和螺旋分选机。

(四) 研制成功各类大型浮选设备

此外,我国还研制成功 XJM 型、XJX 型、XJM-S 型、FJG-S 型、XJQM 型、XJN 型等系列机械搅拌式浮选机($4\sim 28\text{ m}^3$),XPM 型、FJC 型系列非机械搅拌喷射(旋流)式浮选机($4\sim 20\text{ m}^3$),FCSMC 系列浮选柱(床)($6\,000\text{ mm}\times 6\,000\text{ mm}$)等。

(五) 研制成功煤泥高效脱水设备

研制和推广应用煤泥高效脱水设备,为选煤厂的矿物加工生产实现洗水闭路循环提供保证。至今已研制出 XMGZ800/2000 型、KX600/2000 型以及 XMZ1050/2000 型压滤机,这些压滤机技术达到了国际先进水平。

在产品脱水设备方面,近年来研制成功了用于末精煤脱水的大型 TLL 型刮刀卸料离心脱水机、卧式和立式振动卸料离心脱水机;用于煤泥和浮选精煤脱水的 WLG 型沉降过滤式离心机、无格折带式真空过滤机和 GP-200 型盘式真空过滤机、GPJ120 型加压过滤机。这

些设备都具有处理量大、产品水分低、电耗少及工艺系统简单等优点。另外,在矿物加工产品干燥设备方面,近年来已研制成功了 NXG- $\phi 2.4\text{ m} \times 14\text{ m}$ 滚筒干燥机及其配套装置。

(六) 研制成功各类筛分机

我国已研制成功各种类型筛分机,多种新型筛面的筛分机也正在推广应用。此外,还研制成功圆运动筛、直线振动筛、(旋转)概率筛、等厚概率筛等系列产品,并逐步使这些筛分设备大型化。随着筛分理论的发展,又相继研制成功香蕉筛等,进一步提高了筛分机械的筛分效率和处理能力。特别是近几年来,为了解决高水分黏细物料的干法深度筛分,先后研制了弛张筛、琴弦筛、高频振动筛、电磁筛等,并逐步形成系列产品。适用于湿黏物料准备筛分的螺旋分级筛也正在推广应用。

还有,不锈钢焊接筛网、不锈钢叠层复合筛网、橡胶筛板、耐磨塑料筛板等相继投入应用;耐磨材料、陶瓷复合管、渗钨材料等也得到广泛应用,等等。

尽管我国矿物加工机械的发展取得了长足的进步,国产机械设备的品种、规格基本能满足我国矿物加工生产技术多样化的需求。但是,从总体来看,与国外先进设备比较,国产的一些设备在可靠性、技术性能、稳定性以及自动化程度上仍有待于进一步提高。随着矿物加工生产的经济效益和社会效益逐渐被人们所认识,矿物加工生产技术的发展必将越来越快,对矿物加工机械的性能要求也会越来越高。

五、我国矿物加工(选煤)机械发展方向

(一) 研究开发大型、高效、节能设备,满足现代化选煤厂需要

- ① 研制跳汰面积 40 m^2 以上的高效跳汰机,特别应加强其自控和可靠性的研究;
- ② 研制处理能力 $1\,000 \sim 1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 浮选机,并实现主要参数的自动测控;
- ③ 研制选煤用大直径重介质旋流器,提高其分选精度、分选效率和耐磨性,降低其能耗;
- ④ 研制 140 m^2 以上加压过滤机和 800 m^2 及以上穿流式自动精煤压滤机;
- ⑤ 继续研制大型筛分机以及直径大于 $1\,500\text{ mm}$ 的离心脱水机;
- ⑥ 研制大型高效粗煤泥分选及分级设备。

(二) 提高选煤机械装备的可靠性

提高选煤机械装备的可靠性是我国提高选煤机械设备工艺技术水平重点。

(三) 研制选煤产品质量检测仪器、仪表

研制入料及产品的在线测灰、测水、测发热量、测硫分等新装备,并能实现回控。

(四) 加快选煤过程自动化测控技术的研究

强化机电一体化技术在大型筛分机、大型跳汰机、大型重介质旋流器、大型浮选机、大型卧式振动离心脱水机、加压过滤机等设备中的应用,继续提高自动化控制水平。

第一章 碎磨机械

第一节 概 述

一、碎磨基本概念

(一) 碎磨目的

碎磨就是在外力作用下,使物料颗粒分裂成更小颗粒的过程。碎磨的目的是:

① 使矿石中有用成分解离。由于矿石中有用成分同杂质紧密地结合在一起,只有将其充分粉碎,才能使有用成分释放出来,即所谓“解离”。有用成分只有在充分解离之后,才能用选矿方法将其同杂质分开,以剔除杂质,得到较纯净的精矿。在选煤加工中把中煤破碎到13(3) mm 以下,可解离出精煤,许多金属矿石要在选矿厂粉碎至0.074 mm 以下才能解离,以选出品位和回收率都较高的精矿。

② 使原煤入选粒度在一定范围内。选煤机械要求原煤入选粒度应在一定范围之内,这一粒度范围的上限即最大入选粒度。若入选原煤中有大于该粒度的大块原煤就该进行预先破碎。目前,我国入选原煤粒度一般在50 mm 以下,而从煤矿运来的原煤最大粒度可达300 mm,有的甚至更大,所以对大块原煤应进行破碎。

③ 为原料的后续加工做准备。各种矿物分选设备均有最佳入选粒度范围,只有在这一粒度范围内,才能获得理想的分选效果。例如,在选煤厂一般需将原煤破碎到50 mm 以下,在炼焦厂需将原料破碎到3 mm 以下,烧结厂、制团厂、陶瓷工业、玻璃工业、粉末冶金等部门中,要求把原料破碎或磨碎至更细的粒度以下,供后续加工处理之用。

④ 为了满足用户要求,把产品破碎到一定的粒度。例如,造气和化肥行业需50~25 mm 粒级煤炭,而发电厂视炉型需不同粒度的煤炭;在食品工业、化学工业、医药工业、化肥与农药等工业部门中,常把产品磨碎成粉末状态,以便于使用。

碎磨作业还可按碎磨产物的粒度分为粗碎、中碎、细碎与粉碎,见表1-1-1。

表 1-1-1 按产品粒度划分的碎磨作业

作业名称	粗碎	中碎	细碎	粉碎
产品粒度/mm	>50	25~6	6~1	<1

(二) 碎磨方法

碎磨要使用外力,即消耗一定能量,从这一角度看,碎磨可分为两种:一是机械能碎磨,即用机械的方法产生破碎力,施加于物料上使之破碎。这是目前应用最多也是最有效的方法。另一种是非机械能碎磨,即应用电能、热能等进行破碎,如水电效应破碎、热力破碎等。

选矿厂采用的都是机械能碎磨。机械能碎磨有五种基本方式(图1-1-1):

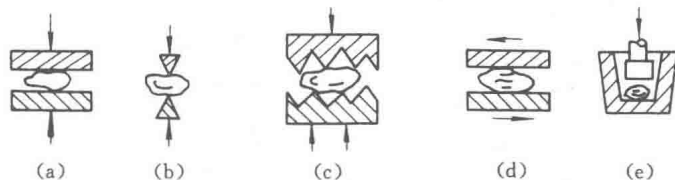


图 1-1-1 破碎与磨碎方式

(a) 挤压破碎; (b) 劈裂破碎; (c) 折断破碎; (d) 研磨破碎; (e) 冲击破碎

① 挤压破碎[图 1-1-1(a)]。两个破碎工作面对夹与其间的物料施加压力,当物料受到的压应力达到其抗压强度极限时而破碎。

② 劈裂破碎[图 1-1-1(b)]。当两个带尖棱的工作面靠近时,尖棱楔入物料而使内部产生拉应力,当其值超过物料的抗拉强度极限时,物料裂开,并在尖棱与物料接触点局部产生碎末。

③ 折断破碎[图 1-1-1(c)]。夹在工作面之间的物料如受集中力作用的简支梁或多支梁,物料主要受弯曲应力而折断,但在物料与工作面接触处受到劈力作用。

④ 研磨破碎[图 1-1-1(d)]。工作面与物料表面之间存在相对运动,物料受研磨产生剪切变形,当物料受到的剪切应力达到抗剪强度极限时而破坏。磨碎多产生细粒。

⑤ 冲击破碎[图 1-1-1(e)]。物料受到足够大的瞬时冲击力而破碎。

破碎机的结构应保证实现上述破碎方式。每一种破碎机在设计上一般都有其主要的破碎方式。例如齿辊破碎机以劈裂破碎为主。但在连续破碎时,由于物料在破碎空间排列的随机性,所以,物料的受力是很复杂的,常常是几种破碎方式并存。

(三) 破碎比

在破碎过程中,入料粒度与产物粒度的比值叫破碎比。它表征了物料被破碎的程度。破碎的能量消耗和处理能力均与破碎比有关。破碎比通常由入料中最大颗粒直径($D_{\max}$)与破碎产品中最大颗粒直径($d_{\max}$)的比值来确定,即

$$i = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad (1-1-1)$$

在选矿实践中,由式(1-1-1)确定的破碎比并不能准确地描述破碎过程。因为物料经破碎后,虽然产物中的最大粒度和最小粒度是一样的,但粒度特性未必相同,如图 1-1-2 所示。若由式(1-1-1)计算破碎比,图中所示两个破碎过程的破碎比是一样的,但凹形曲线 2 的产物要比凸形曲线 1 的产物含细颗粒多,所以完成曲线 2 所表示的破碎,要消耗更多的能量。

为了使破碎比更准确地表示破碎与能耗的关系,应该寻求另一种破碎比的计算方法,即

$$i = \frac{D_p}{d_p} = \frac{\sum \gamma D}{\sum \gamma' d} \quad (1-1-2)$$

式中 D_p, d_p ——根据粒度特性计算出的原料

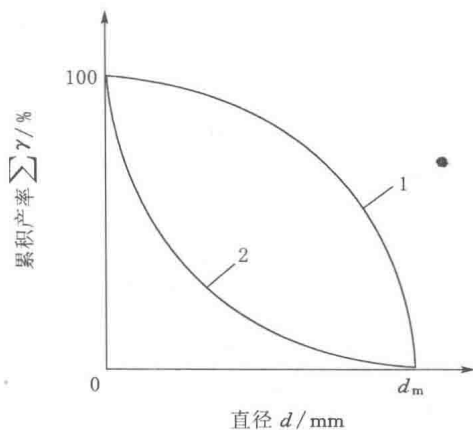


图 1-1-2 破碎产物的粒度特性

和产物的加权平均直径,mm;

γ, γ' ——原料和产物的各粒级产率(按筛分分析), %;

D, d ——原料和产物各粒级的算术或几何平均直径,mm。

对选煤来说,一般要求破碎比并不大,一段破碎即可满足。但对于选矿,因多使用浮选、磁选和电选,其入选粒度很细,故破碎比 i 值很大,往往需要进行多次(段)破碎,其总破碎比 i 等于各段破碎比($i_1, i_2, \dots, i_n$)的乘积,即

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n \quad (1-1-3)$$

(四) 物料性质

物料的物理机械性质对破碎有直接影响,它不但对使用的破碎机提出强度要求,而且为了更有效地破碎,对破碎方式也有选择。因此,在选用破碎机时,应对破碎机的破碎方式、物料性质以及要求的破碎比三方面综合考虑。

物料的物理机械性质主要是指物料的机械强度。破碎时遇到的阻力主要是由物料的机械强度所引起的。机械强度大的物料破碎时需要的力也大,反之亦然。静载下测定的物料强度指标有:抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度(其他强度影响较小),它们常用来表示物料抗破碎的阻力。一般以抗压强度最大,抗剪强度次之,抗弯强度较小,抗拉强度最小。物料的物理机械性能见表 1-1-2。

表 1-1-2 物料的物理机械性能

矿石性质	矿石种类	抗压强度极限 σ_b /MPa	弹性模量 E /MPa	普氏硬度系数 f
软矿石	煤	2.0~4.0		0.3~4
	方铅矿	4.5		
	菱铁矿	7.0		
	无烟煤	~9.0		
	闪锌矿	~10		
	疏松石灰石	40		
低于中硬矿石	致密石灰石	50~100,甚至达 130	35 000	6~10
	褐铁矿	~82		
	磁铁矿	106.5	68 000~72 000	
中硬矿石	花岗岩	120~150	51 500~61 400	12~15
	纯褐铁矿	125		
	正长岩	125~156		
	大理石	50~150	56 500	
	致密砂岩	~160		
高于中硬矿石	半假象赤铁矿	158~195.5		15~18
	辉绿岩	180~200		
	片麻岩	172~220	61 260~79 000	

续表 1-1-2

矿石性质	矿石种类	抗压强度极限 σ_b /MPa	弹性模量 E /MPa	普氏硬度系数 f
极硬矿石	石英岩	198~218	78 000~103 000	18~20
	斑岩	153~280	68 000	
	铜矿石	150~280		
	钛磁铁矿	234		
	玄武岩	200~300	56 200~91 300	
	花岗长英岩	~350		

有时用抗压强度极限 σ_b 的 1/10 衡量物料的抗破碎阻力,称为普氏硬度系数,用 f 表示,即

$$f = \frac{\sigma_b}{10}$$

依此可将矿石分为 10 级, f 值范围为 0.3~20,见表 1-1-3。显然 f 值越大,矿石越坚固,也越难破碎。从表 1-1-3 中可看出,无烟煤的普氏硬度系数 $f=2$,烟煤的普氏硬度系数 $f=1\sim1.5$ 。

表 1-1-3

岩石普氏硬度分级表

等级	坚固性程度	f	岩 石
I	最坚固的岩石	20	最坚固的石英岩,玄武岩
II	很坚固的岩石	15	很坚固的花岗质岩石,石英斑岩
III	坚固的岩石	10	致密的花岗岩,很坚固的砂岩
III _a	坚固的岩石	8	坚固的石灰岩,不坚固的花岗岩,硫铁矿
IV	颇坚固的岩石	6	一般的砂岩,铁矿石
IV _a	颇坚固的岩石	5	砂质页岩,页岩质砂岩
V	中等坚固的岩石	4	坚固的黏土质岩石,不坚固的石灰岩
V _a	中等坚固的岩石	3	不坚固的各种页岩,致密的泥灰岩
VI	颇软弱的岩石	2	白垩,岩盐,石膏、无烟煤
VI _a	颇软弱的岩石	1.5	碎石质土壤,硬化的黏土
VII	软弱的岩石	1.0	致密的黏土,软弱的烟煤
VII _a	软弱的岩石	0.8	黄土,轻砂质黏土
VIII	土质岩石	0.6	腐植土,泥煤,湿砂
IX	松散性岩石	0.5	砂,松土,采下的煤
X	流砂性岩石	0.3	流砂,沼泽土壤,含水黄土

选矿工艺上引用可碎性和可磨性来定量地考虑矿物机械强度对破碎的影响,其表示方法如下

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_0} \quad (1-1-4)$$

式中 ε ——物料的可碎性(或可磨性)系数;

Q_0 ——某破碎机(磨碎机)破碎(磨碎)中硬矿石的处理能力;

Q_1 ——同一破碎机(磨碎机)在同样条件下破碎(磨碎)指定矿石的处理能力。

由式(1-1-4)看出:中硬矿石可碎性系数与可磨性系数均为 1。若矿石硬度大,则可碎性系数与可磨性系数均小于 1,表示破碎机对其处理能力小于对中硬矿石的处理能力;反之,若矿石硬度小,可碎性系数与可磨性系数均大于 1,破碎机对其处理能力则较大。

除了物料的机械强度外,物料的脆性也对破碎有较大影响。若物料破裂前无变形或变形很小,属脆性物料;若破碎时先变形而后碎裂,则属塑性物料。煤和大多数矿石都是脆性物料,从表 1-1-4 可以看出,煤属于软矿物。矿石一般都是多种不同性质的矿物共生体,岩石的力学性质是不均匀的,不同矿物集合之间的结合力比同种矿物内部的结合力要小;在同样的矿物集合体内,晶体面上的结合力比晶体内部的要小。再加上形成矿物的不连续性与不均匀性,以及开采时对矿物受力形成的裂纹的影响,一般来说,同种矿物随着物料粒度的减小,以上提到的影响矿物强度的缺陷也减少,故细矿粒的强度较高,也难破碎。实际上,矿粒愈细愈难磨碎。

表 1-1-4 矿石硬度、可碎性系数和可磨性系数

硬度等级	σ_b/MPa	普氏硬度系数 f	可碎性系数	可磨性系数	实 例
很软	<20	<2	1.30~1.40	1.40~2.00	石膏、无烟煤
软	20~40	2~4	1.15~1.25	1.25~1.50	页岩、泥灰岩
中等硬度	40~80	4~8	1	1	硫化矿
硬	80~100	8~10	0.80~0.90	0.75~0.85	一般铁矿
很硬	>100	>10 *	0.65~0.75	0.50~0.70	玄武岩、含铁石英岩

破碎时,不同矿物的破碎程度不一样,如煤中有精煤、矸石和黄铁矿。精煤强度最小,最易破碎,黄铁矿强度最高,最难破碎;矸石居中。破碎后的产物粒度也依次以精煤最细,矸石次之,黄铁矿最大。

针对物料的机械强度特点,实施恰当的破碎方法,可以使破碎更加有效。对于硬物料应用折断配合冲击来破碎,若采用磨碎,机器将遭严重磨损;再如对煤这样的脆性软物料,则以劈裂与冲击较为合适,若采用磨碎,将产生过多粉煤,给选煤工艺带来困难。冲击破碎主要以动载荷进行破碎,效果比用静载荷好。破碎机工作时,工作面也以动载荷形式作用于矿物,具有一定冲击效果。如果载荷超过疲劳极限,反复冲击物料可以减少破碎时所需要的应力。因此,高频冲击破碎有较好的效果,功耗低,破碎比高,过粉碎少。在实际应用中的反击式破碎机和振动球磨机都具有高频冲击破碎的特征。

总之,掌握了物料性质与破碎方式相适应的道理,无论对煤还是对其他矿物如金属矿石、化工原料等破碎,都可正确选择所需的破碎设备。

(五) 破碎流程

选煤厂的破碎作业多是选前破碎,从煤矿运来的原煤最大粒度可达 300 mm,所以应将



其破碎至分选作业对粒度的要求。我国目前主要采用跳汰与重介质选煤,入选粒度一般小于 50 mm。为满足要求,有两种常用破碎系统,一种是带有准备筛分的开路系统[图 1-1-3 (a)];另一种是带有检查筛分的闭路系统[图 1-1-3 (b)]。

闭路系统的优点是能保证产品粒度小于规定尺寸;缺点是设备较多,流程复杂,破碎机的负荷量应考虑检查筛分的筛上量。

闭路破碎系统的循环负荷量 θ ,可按下面经验公式计算。即

$$\theta = 3.5 \left(\frac{S}{a} - \frac{S}{d} \right) \quad (1-1-5)$$

式中 θ ——循环负荷量, %;

S ——破碎机排料口尺寸, mm;

a ——检查筛的筛孔尺寸, mm;

d ——破碎产物的最大块尺寸, mm。

二、破碎的功耗学说

破碎的功耗学说,也称破碎理论,是研究破碎过程与破碎能量消耗关系的学说。由于破碎是物料粒度减小的过程,所以要对物料施加外力以克服物料内部质点间的内聚力,也就是对物料做功,功转变成物料的变形能,当变形达到极限时破碎才能发生。因此,从力学实质上看,破碎是一个功能转换过程。实际应用中,破碎的能量消耗很大,例如在选矿厂,40%~60%的动力消耗在破碎和磨碎上,这必然引起人们的关注,因此出现了若干的破碎功耗学说,解释破碎中的能量消耗,以便寻求省功省能的破碎途径。目前,公认的破碎功耗学说有面积学说、体积学说和裂缝学说。

(一) 面积学说

面积学说由德国学者 P. R. 雷廷格(P. R. Rittinger)于 1867 年提出,这是最早的破碎理论。事实上,物料表面上的质点与其内部不同,物料表面相邻的质点不能使其平衡,故物料表面存在着不饱和能。破碎使物料增加新的表面,为此雷廷格认为,物料破碎时,外力做的功用于产生新表面积,即破碎的功耗 A_1 与新生表面积 ΔS 成正比。若比例系数为 K_1 ,则 $A_1 = K_1 \cdot \Delta S$ 。

假设破碎一块矿石的功耗为 dA'_1 ,生成的新表面积为 dS ,则

$$dA'_1 = r_1 \cdot dS \quad (1-1-6)$$

式中 r_1 ——比例系数(生成一个单位新表面积所需的功),也称比表面能。

再设 D 为矿块直径, k_1, k'_1 分别为由直径求表面积与求体积的形状系数,则 $k_1 D^2$, $k'_1 D^3$ 分别为矿块的表面积与体积。设单位体积矿石的质量为 δ ,则质量为 Q 的矿石中含有直径 D 的矿块数为

$$n = \frac{Q}{\delta k'_1 D^3}$$

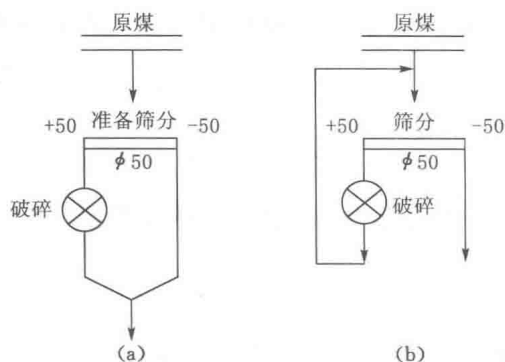


图 1-1-3 破碎系统

(a) 开路破碎系统; (b) 闭路破碎系统

于是,把矿石从 D 破碎到 d 所需的功为

$$\begin{aligned} A_1 &= \int_D^d n dA_1' = \int_D^d \frac{Q}{\delta k_1' D^3} \cdot r_1 \cdot d(k_1 D^2) \\ &= K_1 Q \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d} \right) \end{aligned} \quad (1-1-7a)$$

因为外力功与内力功绝对值相等,但符号相反,所以外力所做的破碎功耗 A 可写成

$$A_1 = K_1 Q \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \quad (1-1-7b)$$

或
$$A_1 = K_1 Q \left(\frac{D}{d \cdot D} - \frac{1}{D} \right) = K_1 Q \left(\frac{i}{D} - \frac{1}{D} \right) = K_1 \frac{i-1}{D} Q \quad (1-1-7c)$$

式中 K_1 ——综合比例系数, $K_1 = \frac{2r_1 k_1}{\delta k_1'}$;

i ——破碎比。

由式(1-1-7c)可知,当 D 一定时,功耗 A_1 与 $i-1$ (破碎比减 1) 成正比;当破碎比 i 一定时,功耗 A_1 与原料粒度 D 成反比。

(二) 体积学说

破碎的体积学说是俄国学者吉尔皮切夫(В. Л. Кирпичев)与德国学者基克(F. Kick)各自独立提出的。体积学说认为:破碎时,外力对物料做的功用于使物料发生变形,变形达到极限时物料即破碎。而物料蓄有的变形能与体积成正比,故认为破碎机的功耗 A_2 与物体的体积变形 ΔV 成正比,若比例系数为 k_2 ,则 $A_2 = k_2 \cdot \Delta V$ 。

仿照面积学说公式的推导方法,也可推导出如下体积学说的功耗公式,即

$$A_2 = 2.303 K_2 \cdot Q \cdot \lg i \quad (1-1-8)$$

式中 K_2 ——综合比例系数($K_2 = \frac{3k_2}{\delta}$, 其中 k_2 为比例系数,即破碎单位体积物料所需的功,它与物料的抗压强度和弹性模数等有关)。

由式(1-1-8)看出,破碎单位质量物料的功耗 A_2 与破碎比 i 的对数成正比。

(三) 裂缝学说

F. C. 邦德(F. C. Bond)在整理了破碎与磨碎的经验资料后,于 1952 年提出了计算破碎功耗的公式,其原形为

$$W = 10 W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right) \quad (1-1-9)$$

式中 W ——将 1 t 入料粒度为 F 的物料破碎到粒度为 P 所消耗的功, kW · h/t;

F, P ——分别为 80% 的入料与排料所能通过的方形筛孔宽, μm ;

W_i ——功指数, kW · h/t。

W_i 是理论上无限大的粒度破碎到 80% 可以通过 100 μm 筛孔宽(或 65% 可通过 200 网目筛孔宽)时所需做的功。它在一定程度上表示物料粉碎的难易程度,即可碎性或可磨性。

在建立了上面经验公式以后,然后寻找理论解释。邦德解释为:破碎物料时,外力所做的功先是使物体变形,当变形超过限度后即生成裂缝,裂缝形成以后,储存在物体内的变形能促使裂缝扩展并生成断面。输入功的有用部分转化为新生表面上的表面能,其他部分成为热损失。因此,破碎所需的功,应考虑变形能和表面能两项,变形能与体积成正比,表面能