

FEIJINSHUKUANG JIAGONG GONGYI YU SHEBEI

非金属矿

加工工艺与设备

郑水林 编著



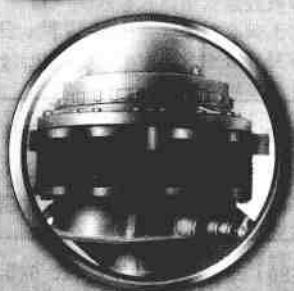
化学工业出版社

FEIJINSHUKUANG JIAGONG GONGYI YU SHEBEI

非金属矿

加工工艺与设备

郑水林 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从非金属矿加工工程的特点出发,全面总结了非金属矿工业先进、成熟的加工技术与工程设备。全书包括绪论、破碎、磨矿、超细粉碎、选矿提纯、表面改性、脱水方法及设备、非金属矿加工中的晶形保护、环境保护以及工艺设计与设备选型共10章。

本书适用于从事非金属矿加工与矿物材料以及地质、冶金、建材、化工、机械、轻工、环保等相关领域的工程技术人员、大专院校师生,还可供从事非金属矿工业投资、开发、生产、管理、贸易等工作的各类人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

非金属矿加工工艺与设备/郑水林编著. —北京:化学工业出版社, 2009.9

ISBN 978-7-122-06220-8

I. 非… II. 郑… III. 非金属矿物-加工 IV. TD97

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第110132号

责任编辑:朱彤

文字编辑:王琪

责任校对:顾淑云

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数307千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00元

版权所有 违者必究

前 言

非金属矿是人类赖以生存和发展的重要矿产资源之一。采用现代加工技术生产的非金属矿物材料是现代高温、高压、高速工业体系的重要基础材料，也是支撑现代高新技术产业的原辅材料和节能、环保、生态建设的功能性材料，广泛应用于航空航天、电子信息、新能源、生物、冶金、建材、化工、石油、机械、轻工、环保等现代产业领域，在现代经济、科技和社会发展中扮演越来越重要的角色。

中国是全球非金属矿产资源品种较多、储量较丰富的国家之一，随着经济、科技和社会的快速发展和进步，对非金属矿物材料的需求量持续快速增长，综合和高效利用非金属矿产资源已成为经济社会发展的必然要求。因此，加工技术与设备的发展，特别是综合利用和深加工技术与设备的发展对于非金属矿工业的发展至关重要。

非金属矿加工工程是独具特色的矿物加工技术之一。它不仅包括矿石选矿分离技术，还涉及矿物原材料的超细粉碎、精细分级、表面改性和功能材料加工等深加工与精加工技术；加工产品质量的评价指标和方法也与金属矿和燃料矿有区别。特别是非金属矿种类繁多，其结构特性是其重要的应用特性之一。因此，在非金属矿的加工中既要考虑最终产品的纯度，还要考虑其粒度分布、表面特性和晶形保护等因素。此外，非金属矿的应用领域广泛，部分非金属矿的用途达上百种，许多非金属矿的用途还具有重叠性或代换性，因此其加工技术虽有与金属矿和固体燃料矿相同的一面，但更多的是具有其独特性。

本书基于非金属矿特点，在概述非金属矿加工技术主要内容、加工目的、加工特点、基本作业和发展趋势的基础上，系统总结介绍了非金属矿加工工艺与工程设备。全书包括绪论、破碎、磨矿、超细粉碎、选矿提纯、表面改性、脱水方法及设备、非金属矿加工中的晶形保护、环境保护以及工艺设计与设备选型共10章；涉及了目前非金属矿加工工程，特别是具有特色的非金属矿深加工工程的各个方面。与过去出版的类似著作相比，不仅结构上增加了晶形保护、环境保护及工艺设计与设备选型等章节，而且内容上尽量选用成熟、实用的先进技术和设备。

本书由中国矿业大学（北京）郑水林教授编写，研究生张娟、吴照洋等协助进行了文字和插图整理。

由于非金属矿加工业是一个快速发展的行业，新技术和新设备不断涌现。虽然作者长期从事非金属矿加工技术的研究，与行业内的企业及科研院所和大专院校的专家有广泛联系和交往，并且本书在编写结构和内容上做了一些新的努力和创新，但难免还会存在不足之处，欢迎专家和读者批评指正！

编著者
2009年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 加工目的	1
1.3 加工特点	2
1.4 基本加工作业	3
1.5 发展趋势	3
第 2 章 破碎	5
2.1 概述	5
2.2 破碎设备	6
2.2.1 颚式破碎机	6
2.2.2 圆锥破碎机	8
2.2.3 辊式破碎机	9
2.2.4 冲击式破碎机	10
2.3 筛分设备	15
2.4 破碎工艺	17
第 3 章 磨矿	18
3.1 概述	18
3.2 磨矿设备	19
3.2.1 球磨机	19
3.2.2 雷蒙磨	21
3.2.3 辊磨机(立式磨)	23
3.2.4 振动磨	24
3.2.5 机械冲击磨	25
3.2.6 柱磨机与广义磨	29
3.3 分级设备	30
3.3.1 螺旋分级机	30
3.3.2 水力旋流器	32
3.3.3 水力沉降分级机	34
3.3.4 气流分级机	35
3.4 磨矿工艺	37
3.4.1 作为选矿准备作业的磨矿分级 工艺	37
3.4.2 作为制备超细粉碎作业原料的 磨矿工艺	38
3.4.3 直接加工细粉产品的磨矿 工艺	39
第 4 章 超细粉碎	40
4.1 概述	40
4.2 超细粉碎设备	41
4.2.1 气流磨	42
4.2.2 机械冲击式超细磨	48
4.2.3 搅拌磨	50
4.2.4 砂磨机	56
4.2.5 振动磨	59
4.2.6 辊磨机	60
4.2.7 胶体磨	63
4.2.8 高压均浆机	64
4.3 精细分级设备	65
4.3.1 ATP 型超微细分级机	66
4.3.2 MS 型及 MSS 型微细 分级机	67
4.3.3 LHB 型分级机	69
4.3.4 其他干式分级机	70

4.3.5 湿式分级机	73	4.4.1 干式超细粉碎工艺	77
4.4 超细粉碎工艺	76	4.4.2 湿式超细粉碎工艺	81

第 5 章 选矿提纯 83

5.1 概述	83	5.6.1 磁选基本原理	93
5.2 拣选	84	5.6.2 矿物的磁性	94
5.2.1 拣选基本原理	84	5.6.3 磁选设备	95
5.2.2 拣选机	85	5.7 电选	98
5.3 洗矿	86	5.7.1 电选基本原理	98
5.4 重选	87	5.7.2 矿物的电性	98
5.4.1 重力选矿原理	87	5.7.3 电选机	99
5.4.2 重选方法及设备	87	5.8 其他选矿方法	100
5.5 浮选	89	5.8.1 化学选矿	100
5.5.1 浮选基本原理	89	5.8.2 选择性絮凝	100
5.5.2 浮选药剂	91	5.8.3 煅烧	101
5.5.3 浮选机械	91	5.8.4 按颗粒形状和硬度分选	103
5.6 磁选	93		

第 6 章 表面改性 105

6.1 概述	105	6.2.4 机械力化学	111
6.2 表面改性工艺	107	6.2.5 插层改性	111
6.2.1 物理涂敷	107	6.3 表面改性设备	111
6.2.2 化学包覆	107	6.4 表面改性剂	114
6.2.3 沉淀反应	110	6.5 表征与评价方法	115

第 7 章 脱水方法及设备 118

7.1 概述	118	7.3 过滤	120
7.2 沉淀浓缩	118	7.4 干燥	123

第 8 章 非金属矿加工中的晶形保护 125

8.1 概述	125	8.4 天然多孔非金属矿	127
8.2 层状非金属矿	125	8.5 其他非金属矿	127
8.3 纤维状非金属矿	126		

第 9 章 非金属矿加工中的环境保护 128

9.1 概述	128	9.3 废水处理	131
9.2 尾矿处理	128	9.3.1 废水净化	131
9.2.1 湿式选矿厂尾矿设施	128	9.3.2 回水再用	131
9.2.2 干式选矿厂尾矿设施	129	9.4 粉尘防治	132
9.2.3 尾矿的综合利用	130	9.4.1 粉尘飞扬的原因	132

9.4.2 密闭吸气防尘	132	9.4.3 集尘设备	133
第 10 章 工艺设计与设备选型	136		
10.1 概述	136	10.4.2 主要工艺设备选型	148
10.2 破碎与筛分	136	10.5 超细粉碎与精细分级	152
10.2.1 破碎筛分工艺设计	136	10.5.1 工艺设计与设备选型的一般 原则和程序	152
10.2.2 破碎筛分设备的选型	138	10.5.2 设备类型选择的原则	153
10.3 磨矿与分级	139	10.5.3 设备选型计算	153
10.3.1 作为选矿准备作业的磨矿 分级工艺	139	10.6 粉体表面改性	165
10.3.2 作为制备超细粉碎作业原料 的磨矿工艺	140	10.6.1 表面改性工艺	165
10.3.3 直接加工细粉产品的磨矿 工艺流程	140	10.6.2 表面改性设备选型	166
10.4 选矿与提纯	142	10.7 固液分离与干燥	166
10.4.1 工艺流程设计	142	10.7.1 固液分离设备的选型	166
		10.7.2 干燥设备的选型	167
参考文献	169		

第1章 绪 论

1.1 概述

非金属矿物加工是指采用一定的工艺方法,如粉碎、分级、提纯、超细粉碎、表面改性等将非金属矿原矿加工为满足相关行业应用要求的非金属矿物粉体或产品。

非金属矿物加工工程主要包括粉碎与分级、选矿提纯、表面改性、脱水等单元。

(1) 粉碎与分级 是指通过机械、物理和化学方法使非金属矿石粒度减小和具有一定粒度分布的加工技术。根据粉碎产物粒度大小和分布的不同,将粉碎与分级细分为破碎与筛分、粉碎(磨)与分级及超细粉碎(磨)与精细分级,分别用于加工大于1mm、10~1000 μm 及0.1~10 μm 等不同粒度及其分布的粉体产品。

(2) 选矿提纯 是指利用矿物之间或矿物与脉石之间密度、粒度和形状、磁性、电性、颜色(光性)、表面润湿性以及化学反应特性等对矿物进行分选和提纯的加工技术。根据分选原理不同,可分为重力分选、磁选、电选、浮选、化学选矿、光电拣选等。

(3) 表面改性 是指用物理、化学、机械等方法对矿物粉体进行表面处理,根据应用的需要有目的地改变粉体表面或界面的物理化学性质,如表面组成、结构和官能团、表面润湿性、表面电性、表面光学性质、表面吸附和反应特性以及层间化合物等。根据改性原理和改性剂的不同,表面改性方法可分为物理涂敷改性、化学包覆改性、沉淀反应改性、机械力化学改性、插层改性等。

(4) 脱水 是非金属矿物的后续加工作业,是指采用机械、物理、化学等方法脱除加工产品中的水分,特别是湿法加工产品中水分的技术。

此外,由于非金属矿物产品的用途和应用价值与其结构(即晶形)有关,形成了具有非金属矿物加工技术特色的晶形保护技术。

1.2 加工目的

非金属矿物加工的目的在于通过一定的技术、工艺、设备生产出满足市场要求的具有一定粒度大小和粒度分布、晶形、纯度或化学成分、物理化学性质、表面或界面性质的粉体材料或产品。

(1) 粉碎与分级 是以满足应用领域对粉体原(材)料粒度大小及粒度分布要求为目的的矿物粉体加工技术。主要研究内容包括:粉体的粒度、形状、物理化学特性及其表征方法;不

同性质颗粒的粉碎机理；粉碎过程的描述和数学模型；物料在不同方法、设备及不同粉碎条件和粉碎环境下的能耗规律、粉碎和分级效率或能量利用率及产物粒度分布；粉碎过程力学；粉碎过程化学；粉体的分散；助磨剂的筛选及应用；粉碎与分级工艺及设备；粉碎与分级过程的晶形保护以及粉碎与分级过程的粒度监控和粉体的粒度检测技术等。它涉及颗粒学、力学、固体物理、化工原理、物理化学、流体力学、机械学、岩石与矿物学、晶体学、矿物加工、现代仪器分析与测试等诸多学科。

(2) 选矿提纯 是以满足相关应用领域，如高级和高技术陶瓷、耐火材料、微电子、光纤、石英玻璃、涂料、油墨及造纸填料和颜料、密封材料、有机/无机复合材料、生物医学、环境保护等现代高新技术和新材料对非金属矿物原(材)料纯度要求的重要的非金属矿物加工技术之一。主要研究内容包括：石英、硅藻土、石墨、金红石、硅灰石、硅线石、蓝晶石、红柱石、石棉、高岭土、海泡石、凹凸棒土、膨润土、伊利石、石榴子石、云母、氧化铝、氧化镁等无机非金属矿物的选矿提纯原理和方法；微细颗粒提纯技术和综合力场分选技术；适用于不同物料及不同纯度要求的精选提纯工艺与设备；精选提纯工艺过程的自动控制等。它涉及颗粒学、流体力学、岩石与矿物学、晶体学、矿物加工、物理化学、表面与胶体化学、有机化学、无机化学、高分子化学、化工原理、机械学、现代仪器分析与测试等诸多学科。

(3) 表面改性 是以满足应用领域对非金属矿物粉体表面或界面性质、分散性和与其他组分相容性要求的深加工技术。对于超细粉体材料和纳米粉体材料表面改性是提高其分散性能和应用性能的主要手段之一，在某种意义上决定其市场的占有率。非金属矿物粉体材料的主要研究内容包括：表面改性的原理和方法；表面改性过程的化学、热力学和动力学；表面或界面性质与改性方法及改性剂的关系；表面改性剂的种类、结构、性能、使用方法及其与粉体表面的作用机理和作用模型；不同种类及不同用途无机粉体材料的表面改性工艺条件及改性剂配方；表面改性剂的合成和表面改性设备；表面改性效果的检测和表征方法；表面改性工艺的自动控制；表面改性后无机粉体的应用性能研究等。它涉及颗粒学、表面或界面物理化学、胶体化学、有机化学、无机化学、高分子化学、无机非金属材料、高聚物或高分子材料、复合材料、生物医学材料、化工原理、现代仪器分析与测试等诸多相关学科。

(4) 脱水 目的是满足应用领域对非金属矿物加工产品水分含量的要求和便于储存和运输。因此，脱水技术也是非金属矿物必需的加工技术之一。脱水技术包括机械脱水(离心、压滤等)和热蒸发(干燥)脱水两部分。

1.3 加工特点

由于非金属矿物应用的多样性，与金属矿物及燃料矿物的加工相比，非金属矿物加工具有以下特点。

(1) 非金属矿物选矿的技术指标在很多情况下，不是其中的某种有用元素，而是某种化学成分或矿物成分，如膨润土的蒙脱石含量、硅藻土的无定形二氧化硅的含量、高岭土的高岭石含量、石墨的品质(固定)碳含量、蓝晶石的氧化铝含量等。

(2) 结构特性是非金属矿物的重要性能和应用特性之一，在加工中要尽量保护矿物的天然结晶特性和晶形结构。如鳞片石墨、云母的片晶要尽可能地少破坏，因为在一定纯度下，颗粒直径越大或径厚比越大，价值越高；硅灰石粉体的长径比越大，价值越高；海泡石和石棉纤维越长，价值越高等。

(3) 非金属矿物的磨矿分级不仅仅是选矿的预备作业，它还包括直接加工成满足用户粒度和颗粒形状要求的磨粉、分级作业以及超细粉碎和精细分级作业。

(4) 表面和界面改性是非金属矿物加工最主要的特点之一，它是改善和优化非金属矿物的

应用性能,提高其附加值的主要深加工技术之一。

(5) 非金属矿物粉体材料脱水的特点是,部分黏土矿物材料(如膨润土、高岭土、海泡石、凹凸棒土、伊利石等)及超细非金属矿物材料的水分含量高,机械脱水难度大,干燥后团聚现象严重。因此,常规的机械脱水方式难以有效脱水,一般采用压力脱水方式,特别是对于酸洗或漂白后的非金属矿物材料还必须在压滤过程中进行洗涤。为解决干燥后粉体材料,尤其是超细粉体材料的团聚问题,一般要在干燥设备中或干燥后设置解聚装置。

1.4 基本加工作业

非金属矿物加工的一般作业包括如下几项。

- (1) 破碎与筛分。
- (2) 磨矿与分级。
- (3) 选矿提纯。
- (4) 超细粉碎与精细分级。
- (5) 表面改性。
- (6) 脱水。

根据原矿性质(纯度、粒度、水分含量等)及产品品种和产品质量(纯度、粒度及其分布、颗粒形状、表面和界面特性及其他特性等)要求的不同,非金属矿物的加工工艺各不相同,对于某些非金属矿物,如铺路用的石灰石,只需进行简单破碎与筛分;对于大多数方解石,一般不进行机械选矿,只进行破碎、磨矿、超细粉碎、精细分级和表面改性;对于鳞片石墨、石棉、蓝晶石、萤石、砂质高岭土等,一般来说一定要进行选矿提纯;对于石墨,还可能要进行超细粉碎、精细分级和插层(界面)改性;对于煤系硬质高岭石,还要对其进行超细粉碎、热处理(煅烧)、表面改性等加工;对于湿法加工,还必须进行沉淀、过滤和干燥,如高岭土、膨润土、石墨、萤石等的湿法选矿产品。

1.5 发展趋势

非金属矿物加工的发展趋势是采用现代高新技术改进传统的选矿、粉碎、分级技术,通过集成创新不断提高工艺和设备水平,以高效和综合利用废金属矿产资源。

(1) 精选提纯 由于绝大多数非金属矿物只有选矿提纯以后其物理化学特性才能充分体现和发挥。因此,21世纪无论是新兴的高技术和新材料产业、生物医药、环保产业,还是传统产业,都将对非金属矿物材料的纯度提出更高的要求。而随着非金属矿物材料纯度要求的提高,精选提纯技术的难度也将增加,此外,资源的贫化和资源综合利用率要求的提高也将增加精选提纯技术的难度。因此,为了满足相关应用领域对非金属矿物原(材)料高纯化的要求,微细粒选矿提纯和综合力场(重力、离心力、磁力、电力、化学力)精选技术将成为未来非金属矿物提纯技术的主要发展趋势,涉及的非金属矿物将包括石墨、石英、高岭土、云母、滑石、硅藻土、锆英砂、硅灰石、重晶石、金红石、膨润土、萤石、硅线石、红柱石、蓝晶石等。

(2) 超细粉碎 由于超细粉体具有比表面积大、表面活性高、化学反应速率快、烧结温度低且烧结体强度高、填充补强性能好、遮盖率高等优良的物理化学性能。因此,许多应用领域要求非金属矿物原(材)料的粒度微细(微米或亚微米);部分领域不仅要求粒度超细,而且要求粒度分布范围窄。如部分高档涂料要求重质碳酸钙的细度为 $-2\mu\text{m}\geq 95\%$,粒度分布要求最大粒度 $\leq 5\mu\text{m}$, $-0.2\mu\text{m}\leq 10\%\sim 15\%$;再如,降解塑料要求重质碳酸钙的细度为 $-6\sim$

$7\mu\text{m}\geq 97\%$, 要求最大粒度 $\leq 8\mu\text{m}$; 功能纤维填料要求无机非金属填料的细度为 $97\%\leq 2\mu\text{m}$, 最大粒度 $\leq 3\mu\text{m}$; 高聚合物基复合材料用氢氧化镁和氢氧化铝阻燃填料要求中位径 $d_{50}\leq 1\mu\text{m}$, $97\%\leq 5\sim 6\mu\text{m}$ 。21世纪市场对各类非金属矿物超细粉体材料的需求量将显著增大。因此, 为了满足相关应用领域对非金属矿物原(材)料超细化、窄分布和大批量生产的要求, 未来粉碎与分级技术发展的重点将是超细粉碎和精细分级技术。第一, 将在现有粉碎设备基础上完善工艺配套, 开发分级粒度细、精度高、处理能力大、单位产品能耗低、磨耗小、效率高的精细分级设备; 第二, 将发展粉碎极限粒度小、粉碎比和生产能力大、单位产品能耗低、磨耗小、粉碎效率高、适用范围宽以及可用于低熔点、韧性、高硬度、高纯度、易燃易爆等特殊物料加工的超细粉碎方法和设备; 第三, 发展粒度大小和粒度分布的自动监控技术, 完善粒度检测方法和仪器。非金属矿物超细粉体加工业将主要围绕方解石、大理石、白垩、滑石、叶蜡石、伊利石、石墨、高岭土、云母、硅灰石、锆英砂、金红石、重晶石、石英、石榴子石、碳化硅、氮化硼等发展。同时发展用于生产高长径比硅灰石和透闪石粉体及大径厚比湿磨云母粉的专门的粉碎、分级工艺与设备。

(3) 表面改性 许多应用领域都对非金属矿物材料的表面或界面性质有特殊要求, 如高聚合物基复合材料(塑料、橡胶、胶黏剂等)、多相复合陶瓷材料、涂料、生物医学材料、功能纤维等要求非金属矿物填料表面或界面与有机或无机基料(高聚物、陶瓷坯料、油性漆、水性漆、化学纤维等)及生物基体有良好的相容性; 石化工业用的沸石和高岭土催化剂或载体要有特定的孔径分布和较高的比表面积, 4A分子筛要有一定的钙离子吸附能力, 炼油脱色用的活性白土(膨润土)以及啤酒过滤用的硅藻土要有较强的表面吸附能力; 用于水处理的硅藻精土对有机、无机污染物及重金属离子等有选择性吸附的能力等。虽然粉体材料表面改性技术的发展较晚, 但由于可提高或改善非金属矿物粉体材料与复合材料基料的相容性, 对提高现代高聚物/无机复合材料、多相复合陶瓷材料、高档或特种涂料、功能性纤维等的性能具有重要意义。因此, 为了满足相关应用领域对非金属矿物原(材)料表面和界面性质的要求, 粉体表面改性、活化和复合技术将成为非金属矿物粉体材料最主要的深加工技术之一。粉体表面改性技术的针对性很强, 未来将主要发展能适应于不同用途和要求、粉体和改性剂分散性好、包覆率或活化度高、产品质量稳定、单位产品能耗少、成本低、操作简单、容易控制的工艺和相关设备, 以及针对不同用途和适应不同应用领域要求的表面改性配方技术, 特别是发展能显著改善超细粉体和纳米粉体在有机相和无机相中的分散性和相容性, 能显著提高复合材料综合性能, 以及能选择性吸附有毒气体及有害物质的非金属矿物(硅藻土、沸石、凹凸棒石、海泡石、膨润土等)的表(界)面改性和活化技术, 同时发展来源广、价格低、应用性能好的表面改性剂或活化剂。第一, 将在深化原理研究的基础上发展适应于不同用途和要求、粉体和改性剂分散性好、包覆率或活化度高、产品质量稳定、单位产品能耗少、成本低、工艺简单、容易控制的方法和相关设备; 第二, 开发能显著改善复合材料综合性能的非金属矿物复合活性填料的生产工艺与相关设备; 第三, 开发能选择性吸附有毒气体及有害物质的非金属矿物(硅藻土、沸石、凹凸棒石、海泡石、膨润土等)的表(界)面改性和活化技术; 第四, 发展来源广、价格低、应用性能好的表面改性剂或活化剂; 第五, 开发粉体表面改性“软技术”, 即在多学科综合的基础上, 根据目的材料的性能要求选择粉体材料和“设计”粉体表面; 运用现代科学技术, 特别是先进计算方法、计算技术以及智能技术辅助设计粉体表面改性工艺和改性剂配方, 以减少实验室工艺和配方试验的工作量, 提高表面改性工艺和改性剂配方的科学合理性, 达到最佳的应用性能和应用效果。

(4) 脱水 脱水作业的主要发展趋势: 一是尽可能地采用机械脱水, 因为机械脱水方式能耗最低; 二是提高机械脱水作业的效率, 特别是高黏性超细粉体浆料的过滤效率; 三是提高干燥作业的效率, 降低干燥作业的能耗; 四是提高脱水作业的自动化水平; 五是发展大型化过滤和干燥设备。

第2章 破 碎

2.1 概述

破碎是将原矿石破碎至满足磨矿、选矿或应用要求的粒度（一般是1~100mm）的粉碎技术。相应的设备为破碎机。

除特殊情况外，破碎通常是分阶段进行的。这是因为在多数情况下现有的破碎设备不能一次就将大块原矿破碎至要求的细度。具体选择破碎段数要依原矿性质、原矿块度、产品粒度及设备类型而定。物料每经过一次破碎，称为一个破碎段。对于每一破碎作业，定义破碎前后（即给料与产物）的粒度之比为该段破碎作业的破碎比，它反映了经过破碎机粉碎后，原矿或原料粒度减小的程度。各段破碎或粉碎作业的破碎比或粉碎比的乘积为该破碎或粉碎工艺流程的总破碎比。

物料粉碎的难度称为可碎性。物料的可碎性与它本身的强度、硬度、密度、结构的均匀性、黏性、裂痕、含水量以及表面形状等因素有关。强度与硬度都表示物料对外力的抵抗能力，所以强度与硬度都大的物料比较难粉碎。

物料的可碎性通常用可碎性系数表示。物料的可碎性系数，是以某标准矿物破碎至一定粒度的单位能耗产量为基准，做相对比较得出的。可用下式表示：

$$K_m = \frac{E_b}{E} \quad (2-1)$$

式中 K_m ——矿物的可碎性系数；

E_b ——某标准矿物破碎至一定粒度的单位能耗，kW·h/t；

E ——与标准矿物的粒度或粒度分布相同，磨至相同细度时物料的单位产品能耗，kW·h/t。

物料的可碎性系数越大，就越容易粉碎。非金属矿工业中一般是选择易碎性中等的方解石作为标准矿物，取它的可碎性系数为1。由于试验时选用的方解石是有差别的，因此所得出的各种矿物的可碎性系数不可能是标准值，但可做相对比较用。

对于一台粉碎机械，它在粉碎某一种非金属矿时的生产能力是 G ，可碎性系数是 K_m 。可求出这台设备粉碎另一种可碎性系数为 K'_m 的矿物时的生产能力 G' ，即：

$$G' = \frac{K'_m}{K_m} G \quad (2-2)$$

应当指出，测定可碎性系数的方法不同，得到的可碎性系数值也不同。为了比较，必须采用相同的标准矿物和统一的方法。

2.2 破碎设备

迄今的破碎方法主要是机械粉碎。根据破碎设备的形式和施力特点，常用的破碎设备可分为颚式破碎机、圆锥破碎机、辊式破碎机、反击式破碎机和锤式破碎机等。这些设备的类型、性能特点及应用见表 2-1。

表 2-1 破碎机类型、性能特点及应用

类 型	品 种	破 碎 比	性能特点及应用
颚式破碎机	简摆式	$(4:1) \sim (9:1)$	产品较粗,粉矿较少,适用于粗碎和中碎
	复摆式	$(4:1) \sim (9:1)$	生产能力较大,效率较高,适用于中碎和细碎
圆锥破碎机	旋回式	$(3:1) \sim (10:1)$	处理量大,粉矿少,适用于各种硬度物料的粗碎
	标准型	$(4:1) \sim (8:1)$	平行带短,适用于各种硬度物料的粗碎
	短头型	$(4:1) \sim (8:1)$	平行带长,适用于各种硬度物料的细碎
	中间型	$(4:1) \sim (8:1)$	平行带中等,适用于各种硬度物料的中碎和细碎
辊式破碎机	单辊式	$7:1$	适用于脆软及磨蚀性物料的粗碎和中碎
	双辊式	$(3:1) \sim (18:1)$	粉矿少,适用于物料的细碎
反击式破碎机	单转子	$(30 \sim 40):1$	破碎比大,产品粒度均匀,适用于脆性物料的粗碎、中碎、细碎
	双转子	$(30 \sim 40):1$	
锤式破碎机		$(20:1) \sim (40:1)$	破碎比大,产品粒度均匀,适用于脆性物料的粗碎、中碎、细碎

2.2.1 颚式破碎机

颚式破碎机通常由一个固定颚和一个动颚组成破碎腔，根据动颚的运动轨迹和特点，颚式破碎机可分为简摆式（双肘板双推力板机构）颚式破碎机和复摆式（单肘板单推力板机构）颚式破碎机。

图 2-1 所示为 900mm×1200mm 简摆式破碎机的结构。电机通过皮带轮 10 带动偏心轴 8

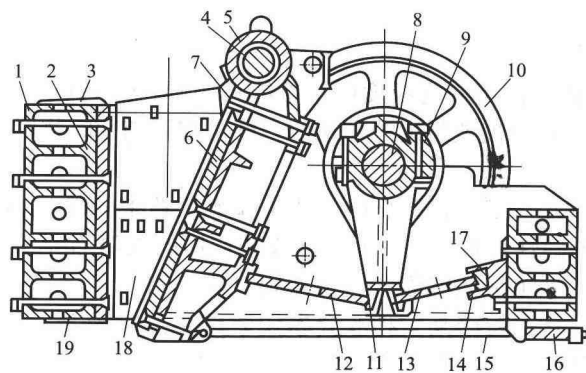


图 2-1 900mm×1200mm 简摆式破碎机的结构

- 1—机架；2 衬板；3 压板；4—心轴；5—动颚；6 衬板；7—楔铁；8 偏心轴；9—连杆；
10—皮带轮；11—推力板支座；12—前推力板；13—后推力板；14 后支座；15—拉杆；
16 弹簧；17—垫板；18 侧衬板；19 钢板

转动，进而通过连杆 9 和前、后推力板 12、13 使动颚产生往复运动。进入固定颚与动颚之间（破碎腔）的物料，当动颚向左运动时受到其压挤而破碎；当动颚向右运动时物料靠自重向下运动。动颚每一个摆动周期，物料受到一次压挤作用并向下排送一段距离。物料从给入破碎腔开始，通常共受到三四次以上的压碎作用后排出机外。

与简摆式颚式破碎机不同，复摆式颚式破碎机少了连杆、后推力板、动颚和心轴等部件，使机构得到了简化（图 2-2）。动颚的运动轨迹不再是以心轴为中心的往复摆动，而是很复杂的轨迹，因而称为复摆式颚式破碎机。

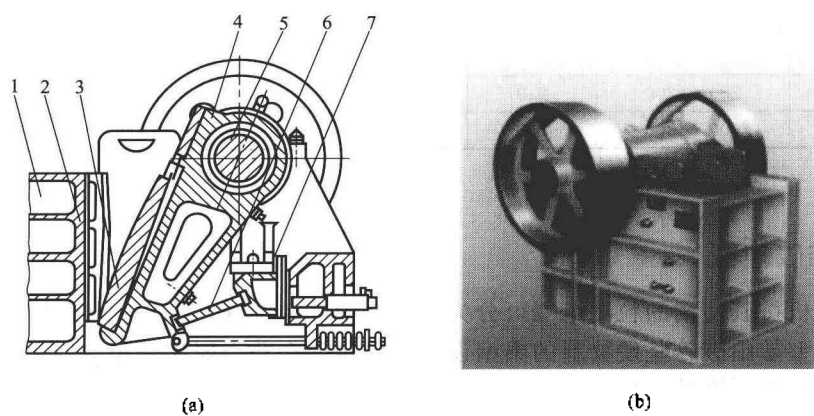


图 2-2 复摆式颚式破碎机的结构与外形

1—机架；2—固定颚板；3—活动颚板；4—动颚；5 偏心轴；6 肘板；7 调整座

表 2-2 所列为非金属矿常用的颚式破碎机的主要技术参数。

表 2-2 颚式破碎机的主要技术参数

型 号	进料口尺寸 /mm	最大进料 粒度 /mm	排料口范围 /mm	处理能力 /(m³/h)	偏心轴转速 /(r/min)	电机功率 /kW	重量(不含 电机)/t
PE-60×100	60×100	45	3~10	0.2~0.6	470	1.1	0.116
PE 150×250	150×250	125	10~40	0.6~3	300	5.5	0.81
PE-250×400	250×400	210	20~60	3~13	300	15	2.8
PE-250×500 I	250×500	210	20~80	5.7~31	300	18.5	3.25
PE-250×500 II	250×500	210	20~80	5.7~31	300	18.5	3.36
PE-400×600	400×600	340	40~100	10~40	275	30	6.5
PE-430×600	430×600	400	90~140	35~60	275	37	6.5
PE-475×1050	475×1050	400	90~140	37.5~81	275	55	11.7
PE-500×750	500×750	425	50~100	28~62	275	55	10.3
PE-600×750	600×750	500	150~200	50~100	275	55	12.0
PE-600×900	600×900	500	65~160	30~75	250	55~75	15.5
PE-620×900	620×900	500	95~145	31~70	250	55~75	14.3
PE-670×900	670×900	520	195~245	66~83	250	55~75	14.8
PE-750×1060	750×1060	630	80~140	32~110	250	110	28
PE-800×1060	800×1060	640	100~200	85~143	250	110	30
PE-870×1060	870×1060	660	200~260	181~240	250	110	30.5
PE-900×1060	900×1060	685	230~290	218~279	250	110	31
PE-900×1200	900×1200	750	95~165	87~164	200	110	50

续表

型 号	进料口尺寸 /mm	最大进料 粒度 /mm	排料口范围 /mm	处理能力 /(m ³ /h)	偏心轴转速 /(r/min)	电机功率 /kW	重量(不含 电机)/t
PE-1200×1500	1200×1500	1020	150~300	250~500	180	160	100.9
PEX-100×600	100×600	80	7~21	2~8	330	7.5	0.9
PEX-150×750	150×750	120	18~48	5~16	320	15	3.5
PEX-200×1000	200×1000	160	20~55	6.9~23.8	330	22	6.5
PEX-250×750	250×750	210	25~60	8~22	330	22	4.9
PEX-250×1000	250×1000	210	25~60	10~32	330	30~37	6.5
PEX-250×1200	250×1200	210	25~60	13~38	330	37	7.7
PEX 300×1300	300×1300	250	20~90	10~65	300	75	11

2.2.2 圆锥破碎机

圆锥破碎机按其使用的粒度范围可分为粗碎、中碎和细碎三种。粗碎圆锥破碎机又称旋回破碎机，是大型矿山破碎坚硬物料的典型设备，但目前在非金属矿山很少应用；中碎和细碎圆锥破碎机又称菌形圆锥破碎机。

由于破碎锥的运动是旋回摆动，因而在圆锥破碎机中物料的破碎是连续进行的。这一点与颚式破碎机不同。中碎、细碎圆锥破碎机的工作原理与旋回破碎机基本相似，根据排料口调整装置和保险方式的不同，分为弹簧圆锥破碎机（图 2-3）和液压圆锥破碎机。

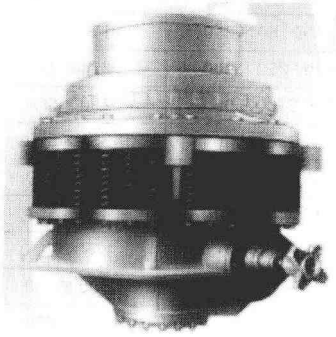
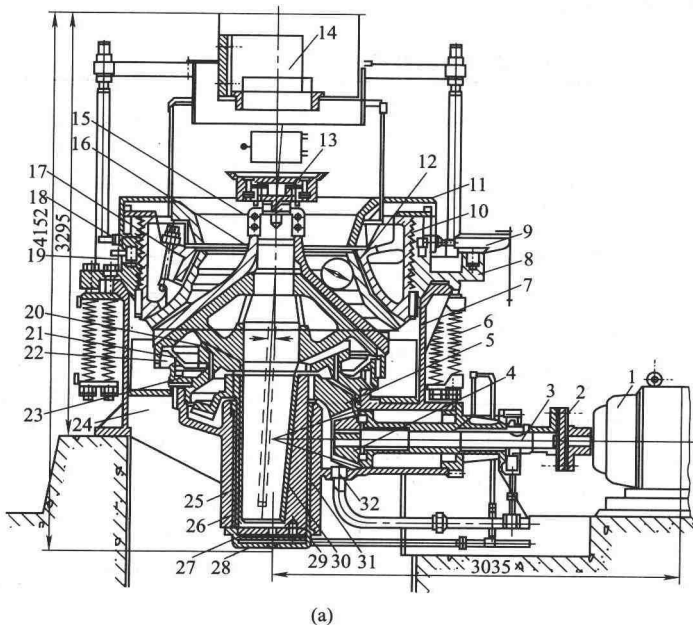


图 2-3 1750 型弹簧圆锥破碎机的结构与外形

- 1—电机；2—联轴节；3—传动轴；4—小圆锥齿轮；5—大圆锥齿轮；6—保险弹簧；7—机架；8—支承环；9—推动油缸；10—调整环；11—防尘罩；12—固定锥衬板；13—给矿盘；14—给矿箱；15—主轴；16—可动锥衬板；17—可动锥体；18—锁紧螺帽；19—活塞；20—球面轴瓦；21—球面轴承座；22—球形颈圈；23—环形槽；24—筋板；25—中心套筒；26—衬套；27—止推圆盘；28—机架下盖；29—进油孔；30—锥形衬套；31—偏心轴承；32—排油孔

根据中碎、细碎圆锥破碎机破碎腔的形式不同，又可分为标准型（中碎用）、中间型（中碎、细碎用）和短头型（细碎用）三种，其中以标准型和短头型应用最为广泛。它们的主要区别在于，破碎腔剖面形状和平行带长度不同，标准型最短，短头型最长。平行带越长，破碎产品粒度越均匀。

圆锥破碎机的产品粒度一般在 10mm 左右，特殊要求也可达 3~5mm 以下，如惯性圆锥破碎机。实践还表明，圆锥破碎机破碎产品中立方体颗粒居多，特别是接近排料口宽度的那部分粒级中，产品形状好，立方体颗粒多，而且过粉碎较少。表 2-3 所列为一般圆锥破碎机的主要技术参数。

表 2-3 圆锥破碎机的主要技术参数

型 号	破碎锥直径 /mm	最大进料 粒度 /mm	排料口 宽度 /mm	处理能力 /(t/h)	电机功率 /kW	主轴转速 /(r/min)	重量 /t	外形尺寸(长×宽× 高)/mm
PYB 600	600	65	12~35	40	30	356	5	2234×1370×1675
PYB-600		35	3~13	12~23			5.5	
PYB-900	900	115	15~50	50~90	55	333	11.2	2692×1640×2350
PYB-900		60	5~20	20~65			11.2	
PYB-900		50	3~13	15~50			11.3	
PYB-1200	1200	145	20~50	110~168	110	300	24.7	2590×1878×2844
PYB-1200		100	8~25	42~135			25	
PYB-1200		50	3~15	18~105			25.3	
PYB-1750	1750	215	25~50	280~480	160	245	50.3	3910×2894×3809
PYB-1750		185	10~30	115~320			50.3	
PYB-1750		85	5~13	75~230			50.2	
PYB-2200	2200	300	30~60	59~1000	280/260	220	80	4622×3302×4470
PYB-2200		185	10~30	200~580			80	
PYB-2200		100	5~15	120~340			81.4	

2.2.3 辊式破碎机

辊式破碎机构造简单。根据辊子的数目可分为单辊、双辊、三辊和四辊四种。最常见的为双辊，也称对辊破碎机。图 2-4 所示为双辊式破碎机的工作原理与结构。

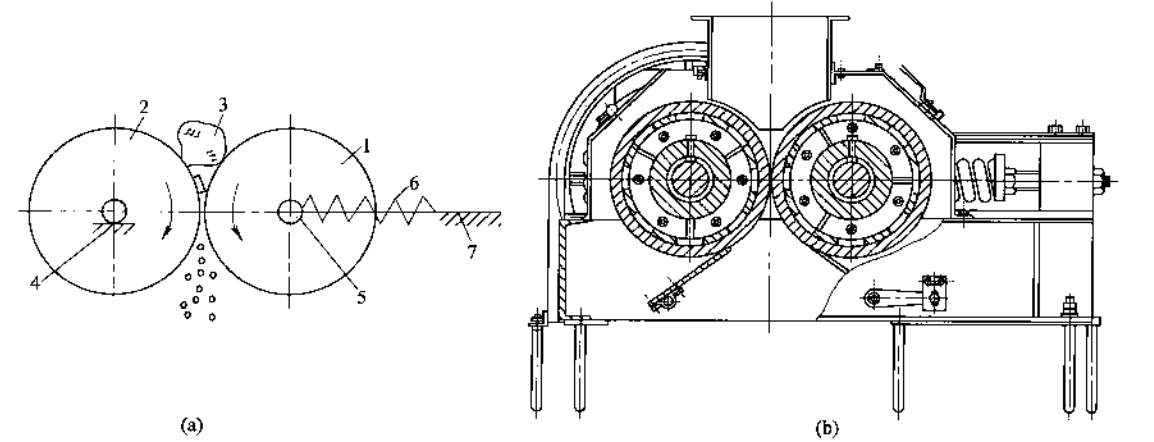


图 2-4 双辊式破碎机的工作原理与结构

1,2 辊子；3 物料；4—固定轴承；5 可动轴承；6—弹簧；7—机架

双辊式破碎机以两个圆柱形辊筒作为主要的工作机构。工作时，电机通过三角皮带（或齿轮减速装置）和一对长齿齿轮，带动两个破碎辊作相向的旋转运动，由于物料和辊子之间的摩擦作用，将给入辊子上方的物料卷入两辊所形成的破碎腔内而被压碎。破碎的产品在重力作用下，从两个辊子之间的间隙处排出。

表 2-4 所列为双辊破碎机的主要技术参数。

表 2-4 双辊破碎机的主要技术参数

参 数	2PGG400×250	2PGG610×400	2PGG750×500	2PGG120×660
辊子直径/mm	400	610	750	1200
辊子长度/mm	250	400	500	660
最大进料粒度/mm	32	70	50,55,75,95	80
出料粒度/mm	2~8	10~30	5,10,30,50	0~8
生产能力/(t/h)	6~24	22~66	14,28,85,140	90
辊子转速/(r/min)	200	60	50	104
电机功率/kW	11	15×2	22	30
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1430×980×795	1474×3425×888	2530×3265×1316	6550×3100×2200
重量/kg	1300	3317	6950	23600

双腔回转辊式破碎机是一种新型的辊式破碎机，这种破碎机的结构如图 2-5 所示，双腔回转工作部件为一个偏心的圆辊，与固定对称设置在两侧的棘齿凹面破碎板组成两个破碎腔。物料从给料口同时进入两个破碎腔，借助于偏心回转辊的旋摆运动而依次被压缩，磨剥及劈裂的综合作用使之破碎，破碎在两个破碎腔内交替进行，产品从两个排料口不断排出，因此，与单腔双辊式破碎机相比，提高了工作效率。

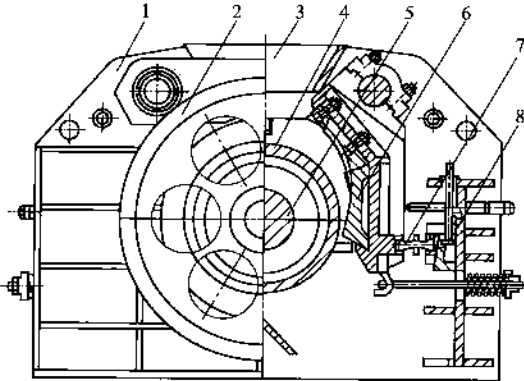


图 2-5 双腔回转辊式破碎机的结构

1—机体；2 皮带轮；3—料斗；4—回转破碎辊；5—偏心轴；6 齿板；7—保险板；8—调整机构

表 2-5 所列为 PSH 系列双腔回转辊式破碎机的主要技术参数。表 2-6 所列为 PSG 系列双腔和多腔辊式破碎机的主要技术参数。

2.2.4 冲击式破碎机

冲击式破碎机包括反击式破碎机和锤式破碎机。