

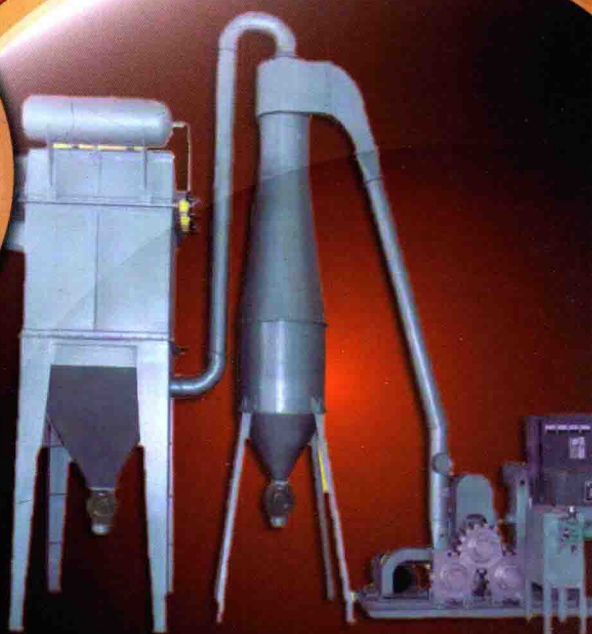
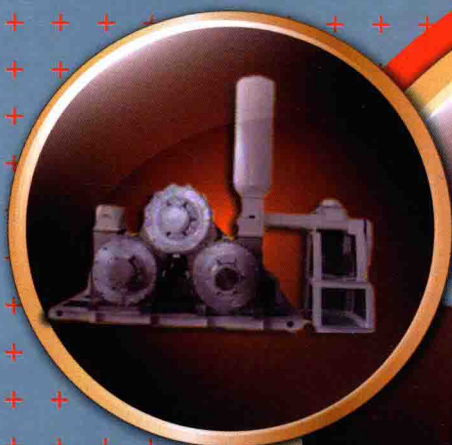
非金属矿物精细化加工系列

非金属矿物

加工工程与设备



杨华明 张向超 编著

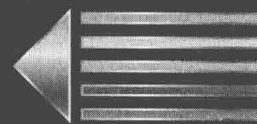


化学工业出版社

非金属矿物精细化加工系列

非金属矿物

加工工程与设备



杨华明 张向超 编著



化学工业出版社

·北京·

本书以非金属矿精细化加工为目标,以精细化加工单元作业为主线,结合作者近年来在非
金属矿精细化加工的研究和实践经历,详细介绍了非金属矿精细化加工各单元作业所需装备的
基本构造、工作原理、应用特点和工艺设计与设备选型等,内容涵盖了粉碎、分级、选矿、提
纯、表面改性、混合、脱水、造粒、传输、喂料、计量以及综合利用等。

本书可用作矿物加工工程、无机非金属材料工程等相关专业的大专生、本科生、研究生的
教材,也可作为相关领域工程技术人员与大专院校相关专业教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

非金属矿物加工工程与设备/杨华明,张向超编著.
北京:化学工业出版社,2015.11

(非金属矿物精细化加工系列)

ISBN 978-7-122-25196-1

I. ①非… II. ①杨…②张… III. ①非金属矿物-
加工 IV. ①TD97

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第222585号

责任编辑:朱 彤
责任校对:边 涛

文字编辑:冯国庆
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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数357千字 2016年1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:59.00元

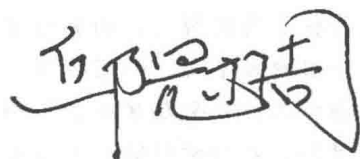
版权所有 违者必究

非金属矿物是地球上占绝对优势的矿物种类，人类生活、居住的各个方面均离不开非金属矿物及其加工的产品。对非金属矿物的性质及其性能的深入研究，并运用新的技术手段对非金属矿物进行精细化加工，以及对非金属矿物及其矿物材料进行分析与表征，是现代科学技术发展的必然要求和发展趋势。

这套《非金属矿物精细化加工系列》丛书围绕非金属矿物精细化加工过程的主要环节，从非金属矿物的矿物学特性、检测分析、深加工技术及其工程装备等角度，系统介绍了非金属矿物精细化加工的重要内容。该丛书各分册内容主要如下：丛书之一《非金属矿物加工理论与基础》介绍了非金属矿物超细与提纯加工过程涉及的表面化学原理；丛书之二《非金属矿物精细化加工技术》介绍了代表性非金属矿物精细化加工的基本技术原理，如选矿提纯、超微细与分级、颗粒形状处理、表面改性及结构改型技术，以及相关技术的应用等；丛书之三《非金属矿物加工设计与分析》介绍了非金属矿物精细加工过程涉及的主要实验设计方法及检测分析方法，重点介绍了典型非金属矿物的相关表征测试结果；丛书之四《非金属矿物加工工程与设备》介绍了与非金属矿物精细化加工过程相关的主要机械设备及其基本构造、工作原理和应用特点等，并简要介绍了精细化加工的工艺设计及设备选型的原则与思路等。

整套丛书融合了与非金属矿物加工相关学科的基础理论知识，汇集了国内外同行在非金属矿物加工领域的研究成果，从非金属矿物精细化加工的基础理论、技术、工程设备到检测分析，整体系统性强，可供从事非金属矿物加工研发及生产的工程技术人员参考。

中国工程院 院士
中南大学 教授



2015年10月19日

《非金属矿物加工工程与设备》是《非金属矿物精细化加工系列》丛书之一。

非金属矿物材料是当代经济社会发展不可或缺的基础原材料，同时又是高新技术产业发展的重要支撑材料，在现代产业发展中起着重要作用。近20多年来，我国非金属矿精细化加工技术有了显著进步，非金属矿精细化加工产业已形成相当规模。随着各类非金属矿物材料的需求量增大，国内外相关单位都在研究各种非金属矿物材料精细化加工技术、方法和装备，以充分满足工业应用的最新要求。从国内外的现状来看，该研究领域的热点主要集中在非金属矿物材料的性能功能化、技术精细化、加工装备集成化和产品高附加值化，这一趋势是符合行业发展规律的。我国相关部门都在力求非金属矿物原料和产品的精细化，并在保证质量的前提下尽可能降低成本，因此，非金属矿精细化加工设备与成套装备已成为国内外关注的重点。

本书以非金属矿精细化加工技术为基础，以精细化加工单元作业为主线，第1章在介绍非金属矿精细化加工设备的国内外研究进展及发展趋势的基础上，着重介绍了非金属矿物的破碎、粉磨和超微细加工粉碎设备；第2章介绍了非金属矿物筛分、分级和精细分级设备；第3章介绍了非金属矿物选矿和化学提纯设备；第4章介绍了非金属矿物表面改性设备；第5章介绍了浓缩、过滤和干燥等脱水设备；第6章介绍了非金属矿物混合和造粒设备；第7章介绍了非金属矿物输送、喂料和计量设备；第8章介绍了非金属矿加工过程中综合利用设备。全书重点介绍了非金属矿物加工工程与设备的工作原理与过程、结构特点和应用，还附有非金属矿精细化加工各单元操作的工艺设计与设备选型的基本原则等。在本书撰写过程中，着重考虑系统性、科学性、先进性及在研究开发或生产中的实用性，对读者掌握这方面的理论、机械设备及其应用技术有所帮助，为大力开发非金属矿精细化加工专业化设备和成套装备提供思路及指导。全书内容丰富、实用性强，可供广大从事非金属矿物材料、无机非金属材料、复合材料以及矿物加工、非金属矿深加工和化工、环境工程等科研技术人员参考，也可供大专院校无机非金属材料、矿物材料等相关专业师生作为教学参考书或教材。

该丛书由杨华明任主编，陈德良，张向超，杜春芳和欧阳静任副主编。本书由杨华明和张向超编著，由张向超负责整理和修改。由于编著者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2015年8月

第 1 章 非金属矿物粉碎加工设备 1

- 1.1 绪论 1
 - 1.1.1 粉体设备技术数字化 2
 - 1.1.2 非金属矿物加工设备功能个性化 3
- 1.2 非金属矿物粉碎加工设备 3
 - 1.2.1 非金属矿物粉碎加工概述 3
 - 1.2.2 非金属矿物的破碎设备 4
 - 1.2.3 非金属矿物的粉磨设备 17
 - 1.2.4 非金属矿物的超微细加工设备 29

第 2 章 非金属矿物筛分、分级及精细分级设备 55

- 2.1 概述 55
- 2.2 非金属矿物的筛分设备 56
 - 2.2.1 筛分设备 56
 - 2.2.2 筛分工艺设计与设备选型 62
- 2.3 非金属矿物的分级设备 63
 - 2.3.1 螺旋分级机 63
 - 2.3.2 水力旋流器 64
 - 2.3.3 水力沉降分级机 65
 - 2.3.4 气流分级机 67
 - 2.3.5 叶轮式分级机 68
 - 2.3.6 分级工艺设计与设备选型 70
- 2.4 非金属矿物的精细分级设备 70
 - 2.4.1 干法超微细分级设备 70
 - 2.4.2 干法超微细分级工艺设计与设备选型 78
 - 2.4.3 湿法超微细分级设备 80
 - 2.4.4 湿法超微细分级工艺设计与设备选型 82

第 3 章 非金属矿物选矿与提纯设备 90

- 3.1 概述 90
- 3.2 非金属矿选矿设备 91
 - 3.2.1 拣选设备 91

3.2.2	洗矿设备	91
3.2.3	重选设备	92
3.2.4	浮选设备	98
3.2.5	磁选设备	103
3.2.6	电选设备	110
3.3	非金属矿化学提纯设备	111
3.3.1	矿物的酸、碱、盐处理设备	112
3.3.2	矿物的化学漂白	113
3.3.3	非金属矿物的煅烧	114
3.4	选矿提纯工艺设计与设备选型	119
3.4.1	工艺流程设计	119
3.4.2	选矿工艺流程的计算	120
3.4.3	主要工艺设备选型	126

第4章 非金属矿物表面改性设备

129

4.1	概述	129
4.2	干法改性设备	131
4.2.1	高速加热式混合机	131
4.2.2	SLG型粉体表面改性机	132
4.2.3	高速冲击式粉体表面改性机	133
4.2.4	PSC型粉体表面改性机	134
4.2.5	卧式桨叶混合机	134
4.2.6	流态化床改性机	135
4.2.7	其他表面改性机	135
4.3	湿法改性设备	137
4.4	表面改性工艺设计与设备选型	138
4.4.1	表面改性工艺	138
4.4.2	表面改性设备选型	140

第5章 非金属矿物脱水设备

141

5.1	概述	141
5.2	浓缩设备	141
5.2.1	耙式浓缩机	142
5.2.2	高效浓缩机	143
5.3	过滤设备	144
5.3.1	板框式压滤机	145
5.3.2	厢式压滤机	146
5.3.3	带式真空过滤机	147
5.3.4	盘式真空过滤机	147
5.3.5	动态过滤机	148
5.3.6	离心机	148

5.3.7	微孔式过滤机	149
5.4	干燥设备	149
5.4.1	叶片干燥器	150
5.4.2	转筒干燥器	150
5.4.3	旋转闪蒸干燥器	151
5.4.4	喷雾干燥器	151
5.4.5	箱式干燥器	152
5.4.6	真空耙式干燥器	153
5.5	非金属矿脱水工艺设计与设备选型	153
5.5.1	固液分离设备的选型	153
5.5.2	干燥设备的选型	154

第6章 非金属矿物混合及造粒设备 156

6.1	概述	156
6.2	混合设备	157
6.2.1	混合机的选型	157
6.2.2	机械搅拌机	158
6.2.3	粉料混合机	159
6.3	造粒设备	162
6.3.1	压缩造粒	163
6.3.2	挤出造粒	163
6.3.3	滚动造粒	164
6.3.4	喷浆造粒	165
6.3.5	流化造粒	167

第7章 非金属矿物输送、喂料及计量设备 169

7.1	输送设备	169
7.1.1	带式输送机	169
7.1.2	螺旋输送机	172
7.1.3	斗式提升机	173
7.1.4	板式输送机	173
7.1.5	链式输送机	176
7.2	喂料设备	177
7.2.1	有挠性牵引构建的喂料设备	177
7.2.2	振动式喂料设备	179
7.3	计量设备	182
7.3.1	恒速式定量秤	182
7.3.2	调速式定量秤	184

第8章 非金属矿物加工过程中综合利用设备 188

8.1	概述	188
-----	----	-----

- 8.2 尾矿处理典型设备 188
 - 8.2.1 湿式选矿厂尾矿设施 188
 - 8.2.2 干式选矿厂尾矿设施 189
 - 8.2.3 尾矿的综合利用 190
- 8.3 废水处理典型设备 190
 - 8.3.1 废水净化 190
 - 8.3.2 回水再用 191
- 8.4 粉尘处理典型设备 191
 - 8.4.1 旋风收尘器 192
 - 8.4.2 袋式收尘器 195
 - 8.4.3 颗粒层收尘器 199
 - 8.4.4 电收尘器 199

第1章

非金属矿物粉碎加工设备

1.1 绪论

非金属矿物加工是指采用一定的工艺方法，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。非金属矿物加工是工业生产过程中不可缺少的工艺流程，主要包括破碎、粉磨、均化、分级、干燥、收捕、混合、改性、造粒、存储、装运以及某些粉体产品的改性造粒等工序，各工序间还有输送（计量）作业，其加工典型工艺如图 1-1 所示。当然，非金属矿自身结构与产品用途存在差异，对不同的非金属矿物材料产品生产或加工，上述工序有不同的取舍与组合。

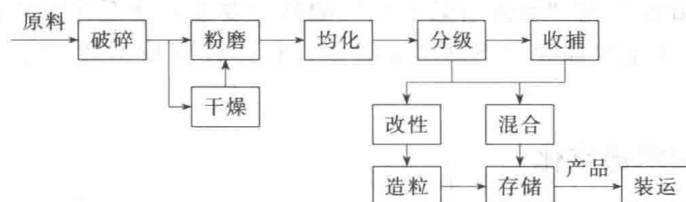


图 1-1 非金属矿加工典型工艺

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，只需进行简单破碎和筛分；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。

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的元素，而是某种化学成分或矿物成分。如膨润土的蒙脱石含量、硅藻土的无定型二氧化硅的含量、高岭土的高岭石含量、石墨的晶质（固体）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

结晶特性和晶型结构。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，片状颗粒直径越大，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工作，它还包括直接加工成满足用户粒度和颗粒形状要求的粉碎、分级作业以及超细粉碎和精细分级工作。

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。

在世界非金属矿加工工业向精细化方向发展的同时，工业原料的深加工技术在科学研究和工业生产中的重要作用越来越充分地体现出来。美国、欧盟各国以及日本先从粉碎设备入手，逐渐扩展到超细分级、高均匀度混合、表面处理、纳米粉体制备等多个方面。我国非金属矿加工工业的发展趋势和需要解决的问题是：非金属矿物加工设备的集成化、多样化、节能化、自动化。调整非金属矿加工技术结构，加快技术进步与技术创新，推进技术与装备逐步实现现代化。加大科技投入，解决一批对非金属矿加工工业发展有重大影响的关键技术与装备现代化问题，提高设备及产品的创新能力，促进新产品开发与老产品更新换代，实现产品高技术含量、高质量、高附加值。有计划、有目的地引进技术与装备，通过消化吸收、专利转让与创新工作，提高国产非金属矿加工设备的自主设计与开发能力，促进实现国产化，进一步缩小与国际先进水平的差距。有条件的企业建立技术开发中心，提高开发创新能力。

为了满足“节能降耗”与“资源有效利用”的社会要求，非金属矿物加工设备必须在技术上不断进步，近 20 年中主要体现在下列两个方面：粉体设备技术数字化；非金属矿物加工设备功能组合个性化。

1.1.1 粉体设备技术数字化

“数字化”是提高非金属矿物加工设备技术水平的重要途径之一，它综合运用信息技术、计算机技术及控制技术的方法与成果，与非金属矿物加工设备的设计、制造、模拟实验、运行相结合，更利于达到优化功能、提高性能和节省制造成本与运行费用的目的。随着数值模拟技术的提高和多相流理论的深入研究，对粉体的输送、存储、分级、收捕及流化床等设备的数值模拟，在近 20 年正广泛采用，CFD 技术及相应的软件已大量应用并取得成功。西安建筑科技大学的徐德龙院士运用颗粒离散法，开发了颗粒流动的数值模拟软件，研究了料仓几何尺寸、物料性质对卸料模式、质量流量及全壁应力分布的影响规律，并把非稳态的气体流场程序（CFD）和离散颗粒程序（DPM）耦合起来，模拟了流化床中气、固两相的运动规律。浙江大学的杨辉等人将数值模拟法与工程设计法有机结合，开发了气力输送系统的计算机设计软件。徐政、黎国华、盖国胜、杜妍辰、孙国刚等大批学者，以各自的方法对分级机的流场进行了定量的研究。他们的这些成果，对于了解与掌握实际分级过程中的流场状况与分级机的优化设计提供了有利依据。数字化制造技术已成为推动 21 世纪制造业发展的主流，当然也是非金属矿物加工设备制造技术的发展方向。以粉磨设备为例，20 世纪 90 年代以前，国内外发表了大量有关磨机功率计算及其预测方法的科技文献，但很少有对于大量工业实测数据进行综合并验证磨机功耗模型报道。大多数研究仅强调磨机内部的介质动力学分析，以简化、假设为依据，粉磨设备的设计和制造长期停留在传统技术上。20 世纪 90 年代以后，这种情况有了明显的改

善, 粉磨设备的数字制造技术受到了业界的关注。对于非金属矿物加工设备在运行中监控与诊断的数字化技术, 是近年来发展最快的分支。一方面是由于监控技术的通用性好, 可移植性强, 且收效比较快; 另一方面是由于计算机技术、检测与控制技术及网络技术等飞速发展起到了强烈的拉动作用。

1.1.2 非金属矿物加工设备功能个性化

非金属矿物加工设备的功能, 不同于通常的制造业, 其个性化要求较高。特别是近年来, 功能个性化的趋势日益明显, 除了受非金属矿物加工原料与产品的多变性影响之外, 还有一个市场争夺的因素。任何一种设备, 从本质上讲无非是“功能”与“性能”的载体。对于过程工业设备, 其功能的权重大一些。非金属矿物加工设备吸引“注意力”的主要手段就是在功能上作文章。如美国研制的多功能铸粉真空机, 就是把“真空铸粉、真空铸造多孔模杯”和普通的功能合为一体。瑞典一家公司开发了一种具有节能功能的装置, 专门用于那些匀速变载荷的场合, 通过能耗优化管理来实现交流电机节能, 最多可减少 70% 的浪涌电流, 同时还能明显地延长电机寿命。日本川崎公司的 CKP 磨实质上是将立磨机的功能进行了分解。

在国内非金属矿物加工设备中, 这种“功能个性化”的特征更为明显。如为了实现磨机重载启动功能而研制了“变极电机”, 为了实现均载功能而研制的弹性轴均载功率分流减速机。南京旋立水泥技术工程有限公司推出的 Q-P 新型球磨机是把传统对球磨机第一仓的破碎功能独立化, 而形成了新的设备。还有诸多的烘干机、选粉机、磨机内筛分等, 都体现了功能个性化的特征, 对非金属矿物加工设备的拓展起着有利的作用。这里要注意的是, 功能个性化固然能吸引市场注意力, 但是如果性能没有保证, 产品是没有市场的, 即使短期吸引了眼球, 也不会有长久的效益。

1.2 非金属矿物粉碎加工设备

1.2.1 非金属矿物粉碎加工概述

固体物料在外力作用下克服其内聚力使其粒径减小的过程称为粉碎加工。非金属矿物的粉碎加工是非金属加工技术最基本和最主要的内容之一。通过机械、物理和化学方法使非金属矿物矿石粒度减小, 由块状物料变为粒状, 或由粒状变为粉状的过程均属于粉碎加工生产过程的范畴。

在非金属矿物的加工中, 粉碎作业主要有三个目的: 一是直接加工满足应用领域粒度大小和粒度分布要求的产品, 如建筑石料、路基材料、矿物填料和颜料、陶瓷和耐火材料原料、玻璃原料、化工原料等; 二是为后续选矿、提纯等作业准备预分选(离)、矿物单体解离并满足分选作业要求细度的入选原料, 如石墨选矿中的粗磨和再磨作业、石棉选矿中的揭棉作业等; 三是为后续超细粉碎或精细分级作业提供满足设备给料粒度要求的粉体原料。

要将数百毫米甚至上米尺寸的大块非金属矿石粉碎成细粉和超细粉体, 在当今技术条件下必须分段(步)进行, 这是因为多数情况下, 现有的设备还不能一次将大块原矿粉碎至要求的细度, 物料每经过一次破碎或磨碎, 称为一个破碎或磨矿段, 在选择破碎与磨矿段数时要依原矿性质、原料粒度、产品细度及设备类型而定。对于每一段破碎或磨矿作业, 定义物料粉碎前后的粒度(即给料粒度与产物粒度)之比为该段破碎或磨矿作业的破碎比或粉碎比, 它反映了经过破碎机或磨矿机粉碎后, 原料(矿)粒度减小的程度。各段破碎(粉碎)作业破碎比(粉碎比)的乘积为该破碎(粉碎)工艺流程的总破碎比(粉碎比)。物料破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，所以强度与硬度均大的物料比较难粉碎。

根据非金属矿物加工过程中所形成产品的粒度特征，可将非金属矿物粉碎加工分为三个阶段：使大块物料碎裂成小块物料的加工过程称为破碎（crushing）、使小块物料碎裂成细粉末状物料的加工过程称为粉磨（grinding）以及使细粉末状物料的粒径进一步减小的加工过程称为超微细（super fine or ultra fine）加工，各个阶段产品的粒度特征见表 1-1。

表 1-1 非金属矿物破碎、粉磨及超微细加工各个阶段产品的粒度特征

阶段		给料最大粒度/mm	产品最大粒度/mm	粉碎比
破碎加工	粗碎	1500~300	350~100	3~15
	中碎	350~100	100~40	3~15
	细碎	100~40	30~10	1~20
粉磨加工	粗磨	30~10	1~0.3	1~100
	细磨	1~0.3	0.1~0.075	1~100
超微细加工	超细加工	0.1~0.075	0.075~0.0001	1~1000
	超微加工	0.075~0.0001	<0.0001	1~1000

物料经破碎尤其是粉磨和超微细加工后，其粒度显著减小，比表面积显著增大，因而有利于几种不同物料的均匀混合，便于输送和存储，也有利于提高其发生物理化学反应的速率及程度。由于非金属矿物的性质以及要求的粉碎细度不同，粉碎的方式也不同。按施加外力作用方式的不同，非金属矿物粉碎一般通过挤压、冲击、磨削和劈裂几种方式进行，各种粉碎设备的工作原理也多以这几种原理为主。按粉碎过程所处的环境可分为干式粉碎和湿式粉碎；按粉碎工艺可分为开路粉碎和闭路粉碎；按粉碎产品细度可分为细度粉碎和超微细粉碎。

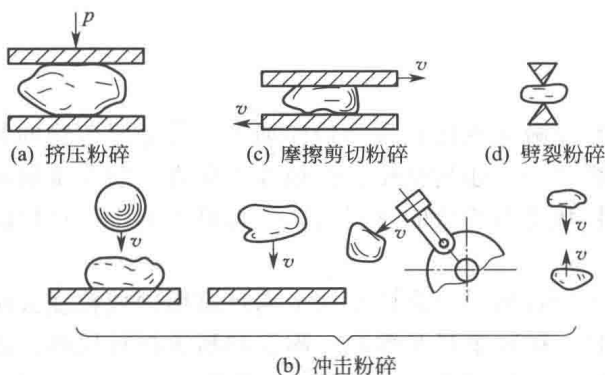


图 1-2 常用的基本粉碎方式

常用的基本的粉碎方式如图 1-2 所示，常见的有挤压粉碎、摩擦剪切粉碎、劈裂粉碎和冲击粉碎等。挤压粉碎是粉碎设备的工作部件对物料施加挤压作用，物料在压力作用下发生粉碎。挤压磨、颞式破碎机等均属此类粉碎设备。物料在两个工作面之间受到相对缓慢的压力而被破碎。因为压力作用较缓慢和均匀，故物料粉碎过程较均匀。这种方法通常多用于物料的粗碎，当然，近年来发展的细颞式破碎机也可将物料破碎至几毫米以下。另外，挤压磨出磨物料有时会呈片状粉料，故常作为细粉磨前的预粉碎设备。

挤压剪切粉碎是挤压和剪切两种基本粉碎方法相结合的粉碎方式，雷蒙磨及各种立式磨通常采用挤压-剪切粉碎方式。

1.2.2 非金属矿物的破碎设备

根据破碎设备的形式和施力特点，破碎设备可分为颞式破碎机、圆锥式破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机、反击式破碎机等。各类设备各有其特点，这些设备的类型、方式、破碎比、性能特点及应用见表 1-2，在实际中如何选择使用，有赖于对各种设备的结构、原理、工作特点和应用特性的了解。

表 1-2 破碎机的类型、方式、破碎比、性能特点及应用

类型	方式	破碎比	性能特点及应用
颚式破碎机	简摆式	(4:1)~(9:1)	产品较粗、粉矿较少,适用于粗碎和中碎
	复摆式	(4:1)~(9:1)	生产能力较大、效率较高,适用于中碎和细碎
圆锥式破碎机	旋回式	(3:1)~(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)~(8:1)	平行带短,适用于各种硬度物料的粗碎
	短头型	(4:1)~(8:1)	平行带长,适用于各种硬度物料的细碎
	中间型	(4:1)~(8:1)	平行带中等,适用于硬度物料的中碎和细碎
辊式破碎机	单辊式	7:1	适用于脆软及腐蚀性物料的中碎和细碎
	双辊式	(3:1)~(18:1)	粉矿少,适用于物料的细碎
锤式破碎机		(20:1)~(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
反击式破碎机	单转子	(30:1)~(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	(30:1)~(40:1)	

1.2.2.1 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、复摆式(单肘板单推力板机构)颚式破碎机及液压颚式破碎机。颚式破碎机具有结构简单、工作可靠、制造容易、维修方便等特点,是非金属矿加工中最常用的粗碎设备。

颚式破碎机是无机非金属材料工业中广泛应用的粗碎和中碎机械。根据其动颚的运动特征,颚式破碎机可分为三种形式,如图 1-3 所示。如图 1-3(a) 所示为简摆式颚式破碎机。颚式破碎机破碎腔中有定颚 1 和动颚 2 两块颚板,定颚固定在机架的前臂上,动颚则悬挂在悬挂轴 6 上可左右摆动。当偏心轴 5 旋转时,带动连杆 4 做上下往复运动,从而使两块推力板 3 随其做往复运动。通过推力板的作用,推动悬挂在悬挂轴 6 上的动颚做左右往复摆动。当动颚摆向定颚时,落在颚腔中的物料主要受到颚板的挤压作用而粉碎。当动颚摆离定颚时,已破碎的物料在重力作用下经颚腔下部的出料口卸出。因而简摆式颚式破碎机的工作是间歇性的,破碎和卸料过程在颚腔内交替进行。这种破碎机工作时,动颚上各点均以悬挂轴 6 为中心,作单纯圆弧摆动。由于运动轨迹比较简单,故称为简摆式颚式破碎机。

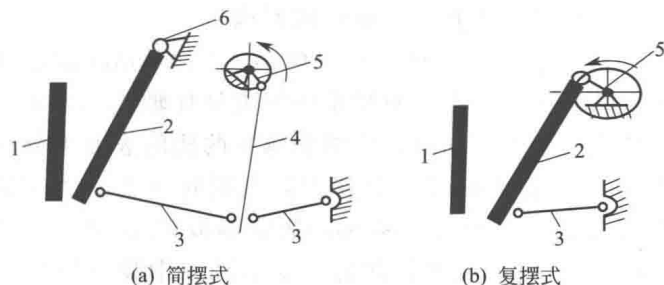


图 1-3 颚式破碎机的主要类型

1—定颚; 2—动颚; 3—推力板; 4—连杆; 5—偏心轴; 6—悬挂轴

由于动颚作弧线摆动,摆动的距离上面小下面大,以动颚底部(即卸料口处)为最大。进料口处动颚的摆动距离小,不利于对喂入颚腔的大块物料的夹持和破碎,因而不能向摆幅较大、破碎作用较强的颚腔底部供应充分的物料,这就限制了破碎机生产能力的提高。另外,颚板的最大行程在下部,而且卸料口宽度在破碎机运转过程中是随时变动的,因此卸出的物料粒度不均匀。但简摆式颚式破碎机的偏心轴承受的作用力较小;由于动颚垂直位移小,破碎时过粉碎现象少,物料对颚板的磨损小,故简摆式颚式破碎机可做成大、中型的,主要用于坚硬物料的粗碎和中碎。

复摆式颚式破碎机如图 1-3(b) 所示, 动颚 2 直接悬挂在偏心轴 5 上, 受偏心轴的直接驱动。动颚的底部用一块推力板 3 支承在机架的后壁上。当偏心轴转动时, 动颚一方面对定颚作往复摆动, 同时还顺着定颚有较大幅度的上下运动。动颚的运动轨迹并不一样, 顶部的运动受到偏心轴的约束, 运动轨迹接近于圆形; 底部运动受到推力板的约束, 运动轨迹接近于圆弧; 在动颚的中间部分, 运动轨迹为介于两者之间的椭圆曲线, 越靠近下部椭圆越扁长。由于这类破碎机工作时动颚各点的运动轨迹较复杂, 故称为复摆式颚式破碎机。

与简摆式颚式破碎机相反, 复摆式颚式破碎机在整个行程中, 动颚顶部的水平摆幅约为下部的 1.5 倍, 而垂直摆幅稍小于下部, 就整个动颚而言, 垂直摆幅为水平摆幅的 2~3 倍。由于动颚上部的水平摆幅大于下部, 保证了颚腔上部的强烈粉碎作用, 大块物料在上部容易得到粉碎, 整个颚板破碎作用均匀, 有利于生产能力的提高。同时, 在挤压物料的过程中动颚向定颚靠拢, 顶部各点还顺着定颚向下运动, 又使物料能更好地夹持在颚腔内, 促使破碎的物料尽快地卸出。因此, 在相同条件下, 这类破碎机的生产能力比简摆式颚式破碎机高 20%~30%。

由于动颚往复摆动的同时还有较大的上下运动, 能将破碎的物料翻动, 卸出的物料多为立方体块粒, 大大减少了像简摆式颚式破碎机中所产生的片状产品的现象。这种破碎机卸料具有强制性, 故可用于粉碎一些稍微黏湿的物料。但是, 由于动颚垂直行程大, 物料不仅受到挤压作用, 还受到部分剥磨作用, 加剧了物料的过粉碎现象, 使能量消耗增加; 产生的粉尘较大, 动颚较易磨损。另外破碎物料时, 动颚受到巨大的挤压力, 直接作用于偏心轴上, 所以这类破碎机常设计成中、小型的。

颚式破碎机的优点是: 构造简单, 管理和维修方便, 工作安全可靠, 适用范围广。缺点是: 由于工作是间歇的, 存在空行程, 因而增加了非生产性功率消耗。由于动颚和连杆做往复运动, 工作时产生很大的惯性力, 使零件承受很大的载荷, 因而对基础的质量要求也很高。在破碎黏湿物料时会使生产能力下降, 甚至发生堵塞现象。在破碎干片状物料时, 干片状物料易顺颚板宽度方向通过而难以达到破碎目的, 造成出料溜子或下级破碎机进料口堵塞, 破碎比较小。

颚式破碎机的规格用进料口的宽度和长度 (mm) 来表示, 例如 PEJ 1500mm×2100mm 颚式破碎机, 表示进料口宽度为 1500mm、长度为 2100mm 的简摆式颚式破碎机。以下各举一例说明简摆式颚式破碎机和复摆式颚式破碎机的内部构造。

(1) 简摆式颚式破碎机 如图 1-4 所示为 1200mm×1500mm 简摆式颚式破碎机。机架 1 的上部装有两对互相平行的轴承, 其中一对轴承中安装悬挂轴 4, 动颚 5 固定在悬挂轴上, 通过悬挂轴 4 及其轴承悬挂在机架上。动颚、定颚和颚腔两侧的表面分别装有定颚衬板 2、动颚衬板 6 和侧壁衬板 19。为了防止衬板上下移动, 定颚衬板 2 除了用螺栓紧固在机架上外, 其下端还支承在焊于机架上的钢板 20 上, 上端用固定钢板 21 压紧; 动颚衬板 6 的下端支承在动颚下端凸平台上, 上端用楔块 22 压紧。在另一个对轴承中装有偏心轴轴承 7, 轴的偏心部分悬挂着连杆 9, 连杆经推力板与动颚和机架分别支承在连杆下端两侧凹槽的支座 11 上; 当连杆升起时, 两块推力板间夹角增大, 后方顶在顶座 14 上, 迫使动颚向定颚靠拢将物料粉碎。为使连杆下降时铰接的推力板不致松脱, 装有拉杆 15。拉杆的一端有环钩, 扣在动颚下端的扣环内。另一端穿过机架后壁, 用支持在机架后壁凸耳 23 上的弹簧 16 张紧, 使推力板与动颚、连杆、顶座之间经常保持紧密接触, 防止松脱。偏心轴的两端分别固定着胶带轮 17, 偏心轴通过胶带轮带动。

(2) 复摆式颚式破碎机 图 1-5 所示为复摆式颚式破碎机, 带有衬板的动颚 14 通过滚动轴承直接悬挂在偏心轴 13 上, 而偏心轴又支承在机架 15 的滚动轴承上。动颚的底部用推力板 5 支承在位于机架后壁的推力板支座 6 上。利用调节螺栓来改变楔块的相对位置, 从而使出料口的宽度得以调节。和简摆式颚式破碎机一样, 破碎机还具有拉杆、弹簧及调节螺栓组成的拉

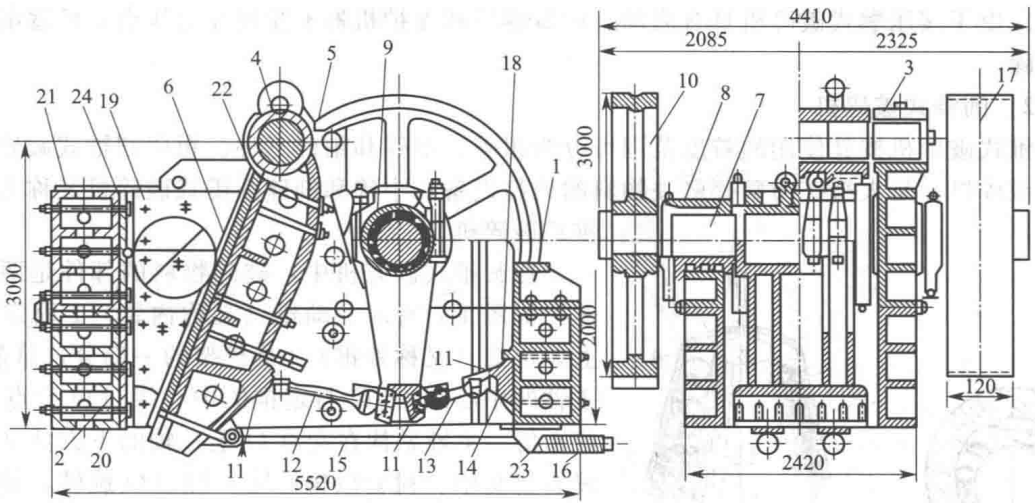


图 1-4 1200mm×1500mm 简摆式颚式破碎机

- 1—机架；2—定颚衬板；3—悬挂轴轴承；4—悬挂轴；5—动颚；6—动颚衬板；7—偏心轴；8—偏心轴轴承；
9—连杆；10—飞轮；11—推力板支座；12—前推力板；13—后推力板；14—顶座；15—拉杆；16—弹簧；
17—胶带轮；18—垫板；19—侧壁衬板；20，21—固定钢板；22—楔块；23—凸耳；24—衬垫

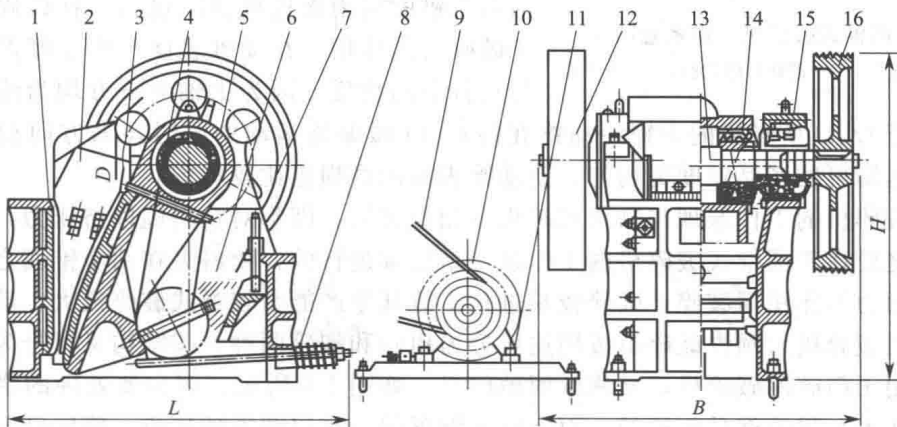


图 1-5 复摆式颚式破碎机

- 1—定颚衬板；2—侧壁衬板；3—动颚衬板；4，6—推力板支座；5—推力板；7—调节装置；8—拉紧装置；
9—三角胶带；10—电动机；11—导轨；12—飞轮；13—偏心轴；14—动颚；15—机架；16—胶带轮

紧装置。电动机 10 带动胶带轮 16 使偏心轴转动，动颚就被带动作复杂摆动，实现粉碎物料的动作。与简摆式颚式破碎机相比，复摆式颚式破碎机结构较简单、轻便、紧凑。

(3) 液压颚式破碎机 液压颚式破碎机是在上述两种破碎机中装设液压部件而成。如图 1-6 所示为液压颚式破碎机示意图。连杆 3 上装有连杆液压油缸和活塞 6，油缸与连杆上部链接，活塞杆与推力板 5 链接。当破碎机主电动机启动时液压油缸尚未充满油，油缸和活塞可作相对滑动，因此主电动机无需克服动颚等动作部件的巨大惯性力，而能较容易启动。待主电动机运转正常时，液压油缸内已充满了油，使连杆液压油缸和活塞杆紧紧地连在一起，此时连杆与油缸已不再做相对运动，相当于一个整体连杆，动力通过连杆、推力板等使动

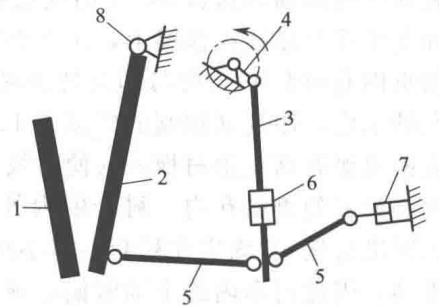


图 1-6 液压颚式破碎机示意图

- 1—定颚；2—动颚；3—连杆；4—偏心轴；
5—推力板；6—连杆液压油缸和活塞；
7—出料口调节器液压缸；8—悬挂轴

紧装置。电动机 10 带动胶带轮 16 使偏心轴转动，动颚就被带动作复杂摆动，实现粉碎物料的动作。与简摆式颚式破碎机相比，复摆式颚式破碎机结构较简单、轻便、紧凑。

颚摆动。由于液压颚式破碎机具有启动、调节容易和保护机器不受损坏等优点，已逐渐受到人们的青睐。

1.2.2.2 圆锥式破碎机

圆锥式破碎机按其使用的粒度范围可分为粗碎、中碎和细碎三种。粗碎圆锥式破碎机又称为旋回破碎机，是大型矿山破碎坚硬物料的典型设备；中碎和细碎圆锥式破碎机又称为菌形圆锥式破碎机。

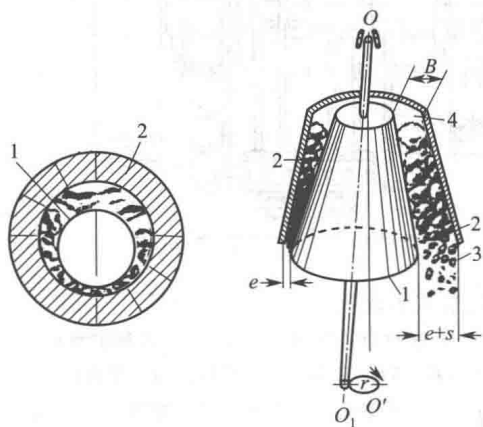


图 1-7 圆锥式破碎机工作示意图

1—动锥；2—定锥；3—破碎后的物料；4—破碎腔

这个摩擦力对于 O_1O 所形成的力矩使动锥在绕 O_1O 做偏施运动的同时还做方向相反的自转运动，此自转运动可使产品粒度更均匀，使动锥表面的磨损也比较均匀。

圆锥式破碎机的工作原理与颚式破碎机有相似之处，即都对物料施以挤压力，破碎后自由卸出。不同之处在于圆锥式破碎机的工作过程是连续进行的，物料夹在两个锥面之间同时受到弯曲力和剪切力的作用而破碎，破碎较易进行。故其生产能力较颚式破碎机大，动力消耗低。

(1) 旋回破碎机 圆锥破碎机按用途可分为粗碎和细碎两种，按结构又可分为悬挂式和托轴式两种。用于粗碎的破碎机，又称旋回破碎机，如图 1-8 所示。因为要处理的物料较大，要求进料口尺寸大，故动锥是正置的，而定锥是倒置的。粗碎圆锥破碎机、旋回破碎机有侧面卸料（图 1-8）和中心卸料两种，前者由于具有机身高度大、卸料易堵塞等缺点，已基本被淘汰，矮机架的中心卸料结构目前应用较普遍。

如图 1-9 所示为 1200mm/180mm 旋回破碎机，定锥 2 用螺栓紧固在机架上，动锥的工作表面镶有高锰钢衬板 3，上面连接着弧形横梁 4。主轴 5 通过锥形螺母 6、锥形压套 7、衬套 8 和支承环 9 悬挂在横梁上，用楔形键 10 防止锥形螺母退扣。横梁的中心装有主轴的悬吊轴承，轴承内有衬套 11，螺母即支持在衬套上。通过螺母将轴悬吊在横梁上。为了防止喂入物料落在轴承内，用高锰钢制成的顶罩 12 将其遮盖。顶罩可随时拆换。主轴上装有动锥 13，其工作表面也镶有高锰钢衬板，为使衬板与锥紧密接触，在两者中注锌，用螺栓压紧。轴的下端插在偏心衬套的侧斜孔内。衬套的内外面都嵌有耐磨的轴承合金衬层。它们装在中心套筒 15 中。大圆锥齿轮 16 固定在衬套上与小圆锥齿轮 17 啮合。后者通过传动轴 18 和减速装置用电动机带动，因此衬套内的主轴做偏心旋回运动，使从上面圆环形进料口喂入的物料在定锥和动锥之间受到破碎。破碎后的物料直接由锥间底部卸出。通过调节锥形螺母 6 可调节卸料口的宽度。

(2) 中细碎圆锥式破碎机 中细碎圆锥式破碎机由正置的动、定锥构成破碎腔。根据破碎腔形式的不同，这类破碎机可分为标准型、短头型及介于两者之间的中间型三种（图 1-10）。标准型宜作中碎用，短头型宜作细碎用，中间型则中、细碎均可使用。这三种破碎机的主要区别在于破碎腔的剖面形状和平行带的长度（ L ）不同，标准型的平行带最短，短头型的最长，