

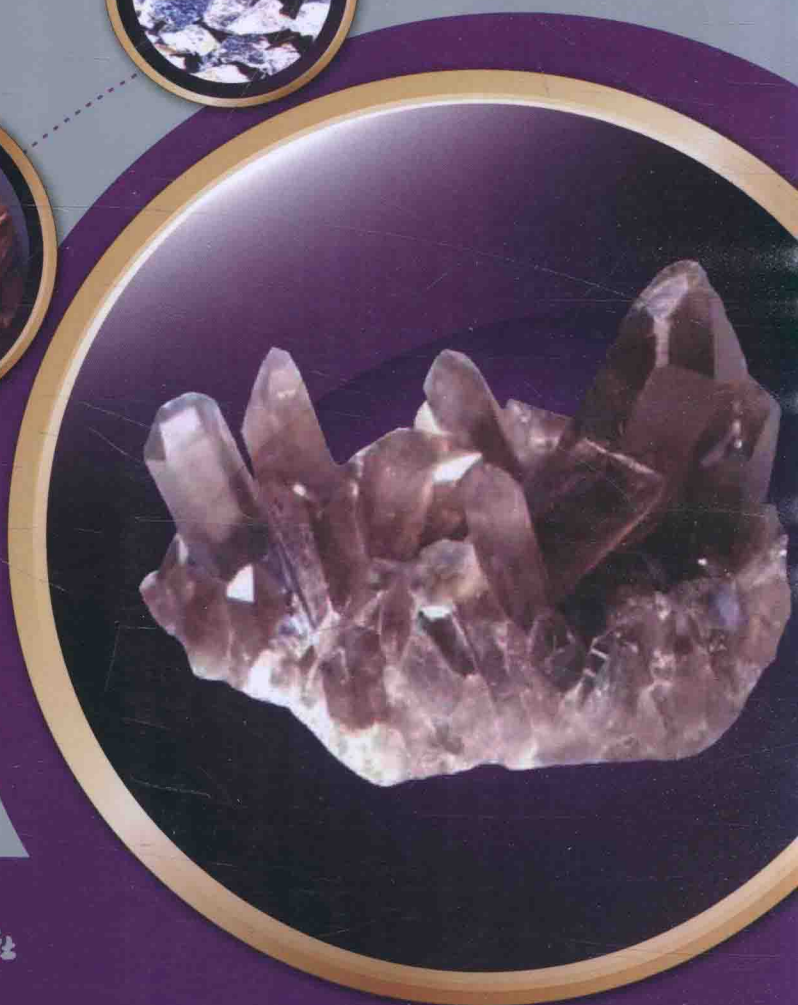
非金属矿物精细化加工系列

非金属矿物

加工理论与基础



杨华明 陈德良 编著

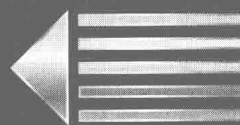


化学工业出版社

非金属矿物精细化加工系列

非金属矿物

加工理论与基础



杨华明 陈德良 编著



化学工业出版社

·北京·

非金属矿物材料与高新技术和新材料产业、传统产业升级以及生态环保等产业密切相关，其不仅广泛用于建材、冶金、化工、交通、机械、轻工等传统领域，而且在电子信息、生物医药、新能源、新材料、航空航天等高新技术产业领域有广阔的潜在市场，同时，又是环境保护、生态建设的高效、廉价材料。精细化加工是非金属矿物材料开发、利用的主要发展方向，非金属矿精细化加工理论目前已越来越成为人们关注的重点与热点。

本书共分 8 章。第 1 章主要介绍了非金属矿物的定义、特性、分类与应用。第 2 章介绍了非金属矿物的矿物学基础。第 3 章介绍了非金属矿物的晶体化学基础。第 4 章介绍了非金属矿物精细加工的物理化学基础。第 5 章介绍了非金属矿物的超细粉碎与分级原理。第 6 章介绍了非金属矿物的选矿提纯的物理与化学原理与方法。第 7 章介绍了非金属矿物的表面改性的应用与目的、表面改性的方法及原理、表面改性剂及改性机理等。第 8 章介绍了非金属矿物的功能改性的原理与途径，以及非金属矿物纳米化功能改性的原理和应用。

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。

图书在版编目 (CIP) 数据

非金属矿物加工理论与基础/杨华明，陈德良编著.

北京：化学工业出版社，2015.9

(非金属矿物精细化加工系列)

ISBN 978-7-122-24711-7

I. ①非… II. ①杨…②陈… 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 171090 号

责任编辑：朱 彤

文字编辑：王 琪

责任校对：王素芹

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：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 417 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：78.00 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装备及其基本构造、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

《非金属矿物加工理论与基础》是《非金属矿物精细化加工系列》丛书之一。

非金属矿物是人类利用最早的无机非金属材料。在现代科技革命和新兴产业发展过程中,非金属矿物及其材料的作用越来越重要。目前,非金属矿物基材料广泛应用于化工、机械、能源、汽车、轻工、食品加工、冶金、建材等传统产业以及以航空航天、电子信息、新材料等为代表的高新技术产业和环境保护生态建设等领域。非金属矿物材料是现代高温、高压、高速工业的基础原材料,也是支撑现代高新技术产业的原辅材料和多功能环保材料。精细化加工是非金属矿物资源开发利用的大趋势与主方向,只有生产出能够满足相关应用领域技术进步和产业发展需要与满足环保要求的非金属矿深加工产品或非金属矿物材料,才有可能赢得市场,获得更好的发展。我国相关部门都在力求非金属矿物原料和产品的精细化,并且在保证质量的前提下尽可能降低成本,因此,有关非金属矿精细化加工理论已成为国内外关注的重点。

《非金属矿物精细加工理论与基础》一书共分8章。第1章主要介绍了非金属矿物的定义、特性、分类与应用,概括了非金属矿物加工需要的主要理论基础。第2章介绍了非金属矿物的矿物学基础,主要包括非金属矿物的成因、形成的影响因素与时空关系,非金属矿物的形态、物理特性等。第3章介绍了非金属矿物的晶体化学基础,主要包括非金属矿物的化学组成、作用力、晶体结构等。第4章介绍了非金属矿物精细加工的物理化学基础,涉及非金属矿物颗粒的几何特性与表征,非金属矿物的表面现象与表面能,非金属矿物粉体表面的吸附特性与润湿性、非金属矿物粉体的凝聚与分散等基础理论。第5章介绍了非金属矿物的超细粉碎与分级原理。第6章介绍了非金属矿物的选矿提纯的物理与化学原理与方法。第7章介绍了非金属矿物的表面改性的应用与目的、表面改性的方法及原理、表面改性剂及改性机理等。第8章介绍了非金属矿物的功能改性的原理与途径,以及非金属矿物纳米化功能改性的原理和应用。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。本书由杨华明和陈德良编著,由陈德良负责整理和修改。

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 概述

1

1.1 非金属矿物的定义和特性	1
1.1.1 非金属矿物的定义和范畴	1
1.1.2 非金属矿物的特点	2
1.2 非金属矿物的分类	3
1.2.1 非金属矿物按化学成分和结构分类	3
1.2.2 非金属矿物的原则分类法	4
1.3 非金属矿物的用途	4
1.3.1 我国早期对非金属矿物材料的使用	4
1.3.2 非金属材料的现代用途	4
1.4 非金属矿物加工理论基础概述	5
1.4.1 发展非金属矿物加工技术的重要意义	5
1.4.2 非金属矿物加工技术的主要内容	6
1.4.3 非金属矿物加工的特点	9
1.4.4 非金属矿物加工技术的发展趋势	9

第2章 非金属矿物的矿物学基础

13

2.1 非金属矿物的成因	13
2.1.1 形成矿物的地质作用	13
2.1.2 矿物的形成与体系化学组分的活动性	17
2.2 非金属矿物形成的影响因素	18
2.2.1 影响矿物形成的因素	18
2.2.2 矿物形成条件的标志	19
2.3 矿物的时空关系	21
2.3.1 矿物的生成顺序和矿物的世代	21
2.3.2 矿物的共生和伴生	22
2.4 非金属矿物的形态	22
2.4.1 矿物单体的形态	23
2.4.2 矿物集合体的形态	25
2.5 非金属矿物的物理特性	29

2.5.1	非金属矿物的光学特性	29
2.5.2	矿物的力学性质	32
2.5.3	非金属矿物的其他物理性质	36
2.6	非金属矿物的变化	39
2.6.1	溶蚀	39
2.6.2	交代	39
2.6.3	晶化和非晶质化	40
2.6.4	假象	40

第3章 非金属矿物的晶体化学基础

41

3.1	非金属矿物的化学组成	41
3.1.1	非金属矿物的主要组成元素	41
3.1.2	非金属元素的原子结构及其外层电子构型	44
3.1.3	非金属元素外层电子构型与它们在周期表中的位置关系	47
3.1.4	非金属元素的氧化态	48
3.1.5	非金属矿物中的水	48
3.1.6	非金属矿物的化学式	49
3.2	非金属矿物中的键	50
3.2.1	非金属元素的成键特征	50
3.2.2	分子间力和氢键	51
3.3	非金属矿物晶体结构	53
3.3.1	非金属单质及其化合物的晶体	53
3.3.2	晶体和无定形体	54
3.3.3	非金属矿物的晶体结构	54
3.4	典型非金属矿物的晶体结构与特性	60
3.4.1	自然单质元素矿物	60
3.4.2	碳酸盐矿物	64
3.4.3	硫酸盐矿物	68
3.4.4	天然复合非金属矿	71
3.4.5	其他非金属矿物	73
3.5	硅酸盐矿物	78
3.5.1	层状硅酸盐类矿物	78
3.5.2	链状结构硅酸盐矿物	87
3.5.3	架状结构硅酸盐矿物	91
3.5.4	岛状结构硅酸盐矿物	95

第4章 非金属矿物精细加工的物理化学基础

101

4.1	非金属矿物颗粒的几何特性与表征	101
4.1.1	粉体颗粒的大小与分布	101

4.1.2	粉体颗粒的形状	105
4.1.3	粉体颗粒的比表面积	106
4.2	非金属矿物的表面现象与表面能	107
4.2.1	表面现象	107
4.2.2	表面能	108
4.2.3	粉体颗粒表面活性	109
4.3	非金属矿物粉体表面的吸附特性	110
4.3.1	固体表面吸附现象	110
4.3.2	粉体颗粒对气体的吸附	111
4.3.3	粉体颗粒在溶液中的吸附	113
4.4	非金属矿物粉体表面润湿性	118
4.4.1	固体表面的润湿与润湿性判断	118
4.4.2	粉体的润湿性	120
4.5	非金属矿物粉体表面的其他性质	121
4.5.1	矿物表面的不均匀性	121
4.5.2	矿物表面的电性	122
4.6	非金属矿物粉体的凝聚与分散	123
4.6.1	粉体凝聚的类型	123
4.6.2	粉体在空气中的凝聚与分散	124
4.6.3	粉体在溶液中的凝聚与分散	127

第5章 非金属矿物的超细粉碎与分级原理

132

5.1	非金属矿物精细加工的超细粉碎理论基础	132
5.1.1	超细粉碎机理	133
5.1.2	超细粉碎过程的功耗	134
5.1.3	超细粉碎过程的动力学	136
5.1.4	超细粉碎过程的机械化学	137
5.1.5	粉碎过程的影响因素	149
5.1.6	超细颗粒的分散与助磨	151
5.2	非金属矿物精细加工的分级原理	157
5.2.1	概述	157
5.2.2	自由沉降	162
5.2.3	干涉沉降	164

第6章 非金属矿物的选矿提纯原理

166

6.1	选矿提纯的概述	166
6.1.1	选矿提纯的目的	166
6.1.2	选矿提纯的流程	167
6.1.3	选矿提纯指标	167

6.1.4	选矿提纯的特点	168
6.2	非金属矿物的物理选矿提纯原理	169
6.2.1	重力选矿	169
6.2.2	浮游选矿	174
6.2.3	磁力选矿	180
6.2.4	电力选矿	181
6.2.5	其他物理选矿方法	184
6.3	非金属矿物的化学选矿提纯方法及原理	187
6.3.1	碱熔法	187
6.3.2	酸溶(浸)法	187
6.3.3	氧化-还原漂白法	191
6.3.4	煅烧法	194
6.3.5	其他化学选矿提纯方法	195
6.4	几种典型非金属矿物的选矿提纯方法	195
6.4.1	高岭土选矿提纯	195
6.4.2	滑石选矿提纯	196
6.4.3	菱镁矿的选矿提纯	197
6.4.4	硅藻土煅烧提纯	197
6.4.5	金刚石碱熔提纯	198
6.5	脱水方法及原理	198
6.5.1	脱水方法概述	198
6.5.2	沉淀浓缩	199
6.5.3	过滤	199
6.5.4	干燥	199

第7章 非金属矿物的表面改性

200

7.1	非金属矿物表面改性的应用与目的	200
7.1.1	非金属矿物表面改性的应用	200
7.1.2	非金属矿物表面改性的目的	201
7.1.3	非金属矿物表面改性影响因素	202
7.2	非金属矿物表面改性的方法及原理	204
7.2.1	概述	204
7.2.2	机械化学改性的方法及原理	205
7.2.3	表面包覆改性的方法及原理	206
7.2.4	表面化学改性的方法及原理	209
7.2.5	沉淀反应改性的方法及原理	210
7.2.6	接枝改性的方法及原理	210
7.2.7	其他表面改性方法	211
7.3	表面改性剂及改性机理	213

7.3.1	偶联剂	214
7.3.2	表面活性剂	220
7.3.3	不饱和有机酸及有机低聚物	223
7.3.4	超分散剂	224
7.3.5	其他改性剂	227

第8章	非金属矿物的功能改性原理	228
------------	---------------------	------------

8.1	非金属矿物材料的功能归类	228
8.2	非金属矿物功能改性的原理与途径	228
8.2.1	包覆功能化改性	228
8.2.2	插层功能化改性	229
8.2.3	复合功能化改性	235
8.2.4	交联功能化改性	236
8.2.5	置换功能化改性	237
8.2.6	高温煅烧功能化改性	238
8.2.7	超声波加热改性	239
8.2.8	微波加热改性	240
8.3	非金属矿物纳米化功能改性的原理和应用	240
8.3.1	非金属矿物纳米化的现状	240
8.3.2	非金属矿物纳米化的方法及原理	241
8.3.3	电气石纳米化改性	243
8.3.4	LiFePO ₄ 纳米化改性	243
8.3.5	碳酸钙的纳米化改性	244
8.4	几种典型非金属矿物的功能改性实例	245
8.4.1	凹凸棒石的功能改性	245
8.4.2	海泡石的功能改性	247
8.4.3	膨润土的功能改性	250

参考文献	253
-------------	------------

第1章

概 述

非金属矿或非金属矿物材料工业是现代社会的朝阳工业之一。目前，非金属矿物材料广泛应用于化工、机械、能源、汽车、轻工、食品加工、冶金、建材等传统产业以及航空航天、电子信息、新材料等为代表的高新技术产业和环境保护生态建设等领域。中国是全球非金属矿产资源品种较多、储量较为丰富的国家之一，许多非金属矿种，如石墨、滑石、菱镁矿、重晶石、萤石等的储量和年产量都居世界前列。大多数非金属矿物材料都是环境友好材料，因此学习非金属矿物的相关知识具有十分重要的意义。本章主要介绍了非金属矿物的定义、范畴、特点、分类、用途及其加工理论基础概论。随着人类环保意识的增强和全球环保标准及要求的提高，有人做出了如下的评论，认为未来的时代将是非金属矿物材料的时代。

本书主要讲解的是非金属矿物精细加工理论知识，其中涉及加工非金属矿物的矿物学基础、晶体化学基础，以及精细加工的物理化学基础、超细粉碎与分级的原理、选矿提纯的原理、表面改性的原理以及功能改性的原理。关于非金属矿物的精细加工过程及加工过程所用的设备，本书不再赘述。

1.1 非金属矿物的定义和特性

1.1.1 非金属矿物的定义和范畴

狭义矿物材料是指天然产出的具有一种或几种可利用的物理、化学性能的天然矿物岩石或以天然矿物岩石为主要原料加工、制备而成，而且组成、结构、性能和使用效能与天然矿物岩石原料存在直接继承关系的材料。广义矿物材料是指以矿物岩石为主要原料加工、制备的材料。

非金属矿物是指以非金属矿物和岩石为基本或主要原料，通过深加工或精加工制备的具有一定功能的现代新材料。如环保材料、电功能材料、保温隔热材料、摩擦材料、建筑装饰材料、吸附催化材料、功能填料和颜料等。非金属矿物材料是从从事矿物学、岩石学与结晶学以及矿物加工人员于20世纪80年代提出的。非金属矿物材料源于非金属矿物和岩石，其来源广，功能性突出，是人类利用最早的材料。原始人使用的石斧、石刀等都是用无机非金属矿物或者岩石材料制备的。

非金属矿物是从非金属矿物和岩石（包括部分人造非金属矿物和岩石）的物理、化学性质
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

及其效应出发,经过适当的加工处理,使之成为能被工农业生产和日常生活各个领域使用的一类材料和制品。因此严格限定非金属矿物一词的应用范畴是有一定困难的:首先它包括了大量用于工业矿物原料的金刚石、蓝晶石等宝石矿物;其次是某些金属矿石也可以作为某种利用其技术和物理特性而不是利用其来冶炼金属元素的工业原料,如用于耐火材料和吸附剂的铝土矿、用于染料的赤铁矿等也在此范围内。再者,有些文献还把一些人工产物也归入非金属矿物之中,如水泥、石灰、工业副产品磷石膏、人造金刚石、人造云母、矿棉等。

根据矿物材料的定义和加工改造特点,可将矿物材料分为三大范畴。

(1) 天然矿物材料范畴 直接利用其物理、化学性质的矿物,主要是天然非金属矿物,也包括一些金属矿物或岩石,如用于功能材料的矿物晶体和用于建筑材料的花岗岩、大理石等。

(2) 深加工矿物材料范畴 将矿物岩石进行超细、超纯改型、改性等优化加工改造后直接加以利用的矿物材料,如超细石英粉、云母粉,高纯超细的高能石墨乳,改性高塑膨润土等。

(3) 复合及合成矿物材料范畴 指由一种或数种天然矿物或岩石为主要原料包括与其他有机或无机材料按所需配比进行烧结、胶凝、粘接等复合及合成加工改造获得的材料,如耐火材料和由多种矿物制成的保温材料等。

我们这里定义非金属矿物的含义限于除矿物燃料以外且具有工业价值和可供开采、利用并包括宝石在内的天然非金属矿物与岩石。其目的在于强调从工业经济的角度来论述有关的非金属矿产,从而与一般的矿床学专著有所区别。

1.1.2 非金属矿物的特点

相对于金属和燃料矿产等而言,非金属矿物也有它自己的如下特点。

(1) 与金属矿石通过冶炼而利用其金属元素不同,非金属矿物极大部分是利用其固有的技术和物理特性(如石棉、滑石、云母等)或加工后形成的技术和物理特性(如珍珠岩、膨胀黏土等)。

(2) 与金属及矿物燃料不同,每一种非金属矿物往往具有多种用途。不同的非金属矿物有时又可互相代用。而且随着科学技术的发展,同一种非金属矿物的用途也会越来越广。例如,高岭土最早只是一种陶瓷原料,以后又成为造纸、橡胶、搪瓷、医药填料,近代经过处理的高岭土还被广泛用于石油加工工业。又如,滑石与高岭土都可以作为造纸填料,而叶蜡石又可代替高岭土作为陶瓷原料。

(3) 与金属矿床的有限种类不同,非金属矿物的种类不但很多,而且常有变化。随着科学技术的发展,非金属矿物的种类不断增多。20世纪初能利用的非金属矿物仅60种,现在已达200多种。随着科学技术的发展,非金属矿物的种类还在不断发生变化,有一些非金属矿物被废弃不用,有一些过去被认为无价值的矿物与岩石现在却具备工业价值。例如,压电石英在20世纪60年代以前是一种宝贵的资源,以后就被人造压电石英代替。又如,云母过去主要用于制作电容器与电子管和用于电机的绝缘材料、高压锅炉及仪器、仪表的零件、涂料填料等。70年代后期电机绝缘材料所需的大片云母已被碎云母制成的云母纸代替,高压锅炉零件已被人造云母代替,现在仅电容器和电子管尚需少量天然大片云母,因此在70年代末有些从事大片天然云母勘察的地质队已经撤离,有的矿山也已关闭。再如,玄武岩和辉绿岩在过去是一种没有工业价值的岩石,最多用于建房的石材而已。但现在用玄武岩制成的铸石已广泛用于冶金、化工、水电、建材等工业部门,节约了大量金属及橡胶材料。钢铁企业的无缝钢管矿浆运输管道一般仅能使用1年,改用铸石后寿命可延长2年,一个厂每年可节约几万元。所以,从

事非金属矿物的资源勘察工作与金属及燃料矿床的资源勘察不同，除一般的地质技术外，必须经常注意科学技术对矿物、岩石材料的需求动向并研究矿物、岩石的新用途。

(4) 非金属矿物的成矿地质条件较为复杂。这种复杂性体现在以下两个方面：一是体现在非金属矿物多是广泛分布的造岩矿物与一般岩石在特殊地质条件下的某个变种，而对这种特殊地质条件的判别往往是很困难的；二是体现在有的矿种的矿床成因远比金属和燃料矿床多样，而且其地质特征也各不相同。前者最典型的如云母，它作为造岩矿物几乎无所不在，但大片的工业云母产出的概率很小，产出的地质条件要求很严。后者如高岭土既有热液成因，又有风化成因和沉积成因。如果细分，仅我国国内分布的就有 8 种或 9 种成矿作用与成矿地质背景各异、地质特征出入很大的矿床类型。

(5) 非金属矿物和市场的关系比金属与燃料矿床之间的关系更为密切。另外，它们之间的价格差别也很大，这与它们产地的地理位置有很大关系。例如，建筑用的砂和卵石，其产地必须尽可能靠近城市或建设地区，偏僻地区的砂和卵石就没有工业价值。有一些价格较低的非金属矿物如石灰岩、石膏，其产地必须靠近铁路或通航河流以降低矿山开采时运输道路的建设费用和开采过程中的运输费用。价格的差别不但在不同矿种中相差很大，如金刚石与建筑集料；而且在同一矿种的不同类型矿石间差别也很大，如纤维石膏的售价比泥质石膏高出几倍。在资源勘察中必须充分了解这方面的行情，否则就可能会对一些滞矿进行大量地质工作而浪费人力、物力。

由于非金属矿物具有上述特点，因此对从事这方面资源勘察的地质人员不但要求有全面、精湛的地质理论与技术，而且要求熟悉加工工艺和市场行情，熟悉科学技术发展对非金属材料的需求。

1.2 非金属矿物的分类

非金属矿物种类繁多，许多非金属矿物的化学成分又十分复杂，而且每一矿种的成因一般有多种，一种矿物常具有多种用途，不同种矿又可相互代用，因此要提出一种妥善的分类方法就较为困难。近二十年来提出的非金属矿物的分类方案为数不少，因本书主要介绍非金属矿物的加工理论基础，所以结合本书的相关知识在这里介绍非金属矿物按化学成分和结构分类以及原则分类法。

1.2.1 非金属矿物按化学成分和结构分类

非金属矿物按化学成分和结构的分类见表 1-1。

表 1-1 非金属矿物材料的分类

材料名称	矿物原料名称
碳酸盐基矿物材料	方解石、冰洲石、石灰石、白云石、菱镁矿等
硫酸盐基矿物材料	石膏、重晶石、天青石、明矾石等
单质非金属矿物材料	石墨、金刚石等
层状结构硅酸盐矿物材料	滑石、云母、叶蜡石、高岭土、膨润土、蛭石、蛇纹石(石棉)等
链状结构硅酸盐矿物材料	硅灰石、透辉石、透闪石、硅线石、锂辉石、凹凸棒石、海泡石等
架状结构硅酸盐矿物材料	石英、长石、沸石等
岛状结构硅酸盐矿物材料	红柱石、蓝晶石、锆石、石榴子石、电气石等
硅藻土基矿物材料	硅藻土

续表

材 料 名 称	矿物原料名称
水镁石基矿物材料	水镁石
水铝石基矿物材料	一水铝石、二水铝石、多水铝石等
金红石基矿物材料	金红石
岩石材料	珍珠岩、黑曜岩、松脂岩、玄武岩、辉绿岩、花岗岩、大理石等

1.2.2 非金属矿物的原则分类法

非金属矿物从分类原则而言可将其大体分为以下三类。

第一类是以地质成因为分类基础的。如贝茨将非金属矿物分为伟晶岩、脉岩、交代、变质、沉积共 5 种，将岩石分为岩浆、变质、沉积共 3 种。又如霍敏多夫斯基将非金属矿产分为外生矿产（风化、溶解、沉积、有机物深处转化）、岩浆矿产（岩浆、火山碎屑、伟晶岩）、变质矿产（区域变质、接触变质、动力变质）、复杂成因矿产四大类 35 种。

第二类是以产品的价值为分类原则的。如赖特和伯内特将非金属矿物分为低价大体积的（如建筑材料）、高价大体积的（如化工材料）和高价小体积的（如长石、滑石）三大类。

第三类是以工业用途为分类原则的。如费歇尔（Fisher）将工业矿物与岩石分为建筑材料、陶瓷原料、耐火材料、化工材料和肥料等。克莱因则按矿物的工艺技术性能先分为化学矿物和物理矿物两大类，然后再按用途分类。也有将地质因素与经济用途联系起来考虑作为分类原则的。如杜恩（Dunn）提出的坐标中一轴是用途和工艺，另一轴是岩石类型的分类模型。

1.3 非金属矿物的用途

1.3.1 我国早期对非金属矿物材料的使用

就广义而言，中华民族对非金属矿产资源的利用最早可以追溯到距今约 170 万年以前，当时云南元谋人已经懂得选择质地较硬的石英岩打制石器。高岭土在我国最早用于陶瓷原料。据考证，中国目前已知的最早陶器制作于八九千年前的新石器时代。中国目前已知的最古老瓷器制作于公元 1 世纪的东汉时期，比欧洲早一千多年。在英语中陶瓷一词乃由中国的国名 China 转化而来，而作为主要陶瓷原料的高岭土（kaoli）和组成高岭土的主要矿物高岭石（kaolinite）又都是以中国瓷都景德镇的陶瓷原料产地高岭村来命名的。云母在我国最早就是作为宝石来对待的。而石膏、芒硝在我国古代用于药石的记载在古籍中已有近千年历史。我国对耐火材料、冶炼熔剂和石墨的使用也是很早的，在西汉（公元前 206 年～公元 23 年）中晚期已可以看到由耐火黏土掺石英等制成的耐火砖。

总之，中华民族在漫长的历史中曾经为人类文明做出过卓越贡献，在非金属矿物的应用史上也同样有自己创造性的成就。

1.3.2 非金属材料的现代用途

目前，非金属矿物材料广泛应用于化工、机械、能源、汽车、轻工、食品加工、冶金、建材等传统产业以及航空航天、电子信息、新材料等为代表的高新技术产业和环境保护与生态建设等领域。

以电子信息、航空航天、海洋开发、新材料和新能源为代表的高新技术产业与非金属矿物材料密切相关。例如,氧化铝、氧化硅、碳化硼、碳化硅、石墨等与新材料产业有关;石墨、云母、石英、锆英石、氧化铝等矿物材料等为原料制得的光导纤维、陶瓷半导体、压电材料、云母电容器和云母板等与电子信息产业有关,因此,非金属矿加工技术的发展对高技术新材料产业的发展有重要影响。例如,具有特殊功能(电、磁、声、光、热、化学、力学、生物等)的高技术陶瓷是近十年来迅速发展的新材料,被称为继金属材料和高分子材料后的第三大材料。在制备高性能陶瓷材料时,非金属矿物原料越纯,粒度越细,材料的致密性越好,强度和韧性越高,一般要求原料的粒度小于 $1\mu\text{m}$ 甚至 $0.1\mu\text{m}$ 。如果原料细度能到纳米级,则制备的陶瓷称为纳米陶瓷,性能更加优异,是当今陶瓷材料发展的最高境界。因此,非金属矿物加工技术是高技术陶瓷发展的关键,只有发展了非金属矿物的高纯加工技术和超微细粉体加工制备技术才有高技术陶瓷材料的迅速发展。此外,高分子基复合材料是当代新材料发展的重要领域之一。复合材料的重要组成部分之一是无机非金属矿物填料,包括碳酸钙、高岭土、滑石、云母、硅灰石、石英、氧化铝、氧化镁、炭黑等,这些非金属矿物填料的粒度越细、与有机基质的相容性越好,复合材料的综合性能就越好。解决超细问题要依靠超细粉碎技术,而解决与有机基质的相容性问题要依赖一种新的非金属矿深加工技术——矿物表面改性。其他如特种涂料、高级磨料、催化剂载体、吸附材料等要求非金属矿物原料纯度高、粒度细或粒度分布较窄、表面活性好。因此,必须要对其进行提纯、粉碎和分级以及表面改性等加工。

化工、机械、能源、汽车、轻工、冶金、建材等传统的技术进步与产业升级也与非金属矿物材料密切相关。例如,高分子材料(塑料、橡胶、胶黏剂等)的技术进步以及工程塑料、塑钢门窗等高分子基复合材料的兴起,每年需要数以百万吨计的超细和活性碳酸钙、高岭土、滑石、针状硅灰石、云母、透闪石、二氧化硅、水镁石以及氢氧化镁、氢氧化铝等功能矿物填料制得的细粉($10\sim 1000\mu\text{m}$),超细粉($0.1\sim 10\mu\text{m}$),超细微粉或一维、二维纳米粉($0.001\sim 0.1\mu\text{m}$),表面改性粉体,高纯度粉体,复合粉体,高长径比针状粉体以及多孔粉体;因此,传统产业的技术进步和产业升级与非金属矿物材料紧密相连,为满足传统产业的技术进步或技术改造对非金属矿产品的技术要求,要对非金属矿进行提纯、粉碎(包括超细粉碎)和表面改性等加工。

环境保护和生态建设直接关系到人类的生存和经济社会的可持续发展,环保产业将成为21世纪最重要的新兴产业之一。许多非金属矿,如硅藻土、沸石、膨润土、凹凸棒石、海泡石、电气石、麦饭石等经过加工具有选择性吸附有害及各种有机和无机污染物的功能,而且具有原料易得、单位处理成本低、本身不产生二次污染等优点,可以用来制备新型环境保护材料;膨润土、珍珠岩、蛭石等还可用于固沙和改良土壤;超细水镁石用于高聚物基复合材料的阻燃填料不仅可以阻燃,而且不产生可致命的毒烟。

1.4 非金属矿物加工理论基础概述

1.4.1 发展非金属矿物加工技术的重要意义

在人类发展的几百万年中,非金属矿的加工利用对人类社会文明进步的贡献不可低估。非金属矿物是人类利用最早的地球矿产资源。石器时代标志着人类社会有目的地使用天然非金属矿,后来虽然金属材料的使用逐渐增多而大大超过了非金属材料的使用。但随着近代工业革命

的兴起、科学技术的突飞猛进,在许多领域金属材料已不能适用,而非金属材料在高强、高温、轻质、耐磨性等方面的优异性能重新得到了人们的广泛关注,非金属矿物材料的加工利用以及相关技术得到了飞速发展,甚至非金属矿产开发利用已成为衡量一个国家工业化成熟程度的重要标志。

非金属矿在国民经济许多行业广为利用,许多高新技术的发展都与非金属矿的利用密切相关,航空航天技术、新能源产业、新材料产业以及现代微电子及信息技术等方面的飞速发展都和非金属矿的利用分不开,不仅如此,非金属矿的加工利用也与人民生活水平的提高密切相关,直接与人民生活相关的橡胶、塑料、涂料、建材、造纸等行业更需要大量非金属矿物原料。

现代产业发展对非金属矿物原(材)料要求的提高是非金属矿加工利用技术发展的原动力;同时,现代科技革命和产业发展提高了非金属矿加工业自动控制、质量检测等的技术水平。微型计算机的发展推进了非金属矿加工业的自动化控制水平和产品质量的提高,使加工产品的性能及质量检测手段更加可靠。新材料产业的发展使非金属矿加工设备的耐磨性、能量利用率及其综合性能大大提高;不锈钢以及高聚物基复合材料使设备的防酸碱腐蚀和防氧化性能提高;碳化硅、刚玉、陶瓷、高聚物基复合材料等高硬耐磨内衬材料使磨机及分级机的内衬使用寿命大大延长。正是现代科技革命和高技术新材料产业的发展以及传统产业的技术进步、环境保护、节能等对非金属矿产品数量的增加和质量要求的提高推动了现代非金属矿加工技术的发展。

1.4.2 非金属矿物加工技术的主要内容

非金属矿加工的目的是通过一定的技术、工艺、设备生产出满足应用要求的具有一定粒度大小和粒度分布、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化工产品以及一定尺寸、形状、力学性能、物理性能、化学性能、生物功能等的功能性产品或制品。

非金属矿加工技术主要包含以下三个方面。

(1) 颗粒制备与处理技术 主要包括矿石的粉碎与分级技术、选矿提纯技术、矿物(粉体)的表面或界面改性技术、脱水技术、造粒技术等。

(2) 非金属矿物材料加工技术 主要包括非金属矿物材料的原料配方技术、加工工艺与设备等。

(3) 非金属矿物化工技术 主要是以非金属矿为主要原料的无机化工产品制备技术。

1.4.2.1 颗粒制备与处理技术

颗粒制备与处理技术是指通过一定的技术、工艺、设备生产出满足应用领域要求的具有一定粒度大小和粒度分布、纯度或化学成分、物理化学性质、表面或界面性质的非金属矿物粉体材料或产品,是非金属矿产品生产所必需的加工技术之一。

(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,可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。

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粉体加工技术。主要研究内容包括:粉体的粒度、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；粉碎及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) 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（界）面的物理化学性质，如表面组成、表面结构和官能团、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覆改性、化学包覆改性、沉淀反应改性、机械力化学改性、插层改性、高能处理改性等。

表面改性是以满足应用领域对粉体原（材）料表面或界面性质、分散性和与其他组分相容性要求的粉体材料深加工技术。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。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应用研究；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。

(3) 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。

非金属矿的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）料纯度要求为目的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、金刚石、萤石、菱镁矿、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、滑石、云母、长石、蛭石、重晶石、明矾石、锆英石、硼矿、钾矿等无机非金属矿的选矿提纯方法和工艺；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、岩石与矿物学、晶体学、流体力学、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、矿物加工工程、现代仪器分析与测试等诸多学科。

(4) 脱水技术 是非金属矿物粉体材料的后续加工作业，是指采用机械、物理和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。其目的是满足应用领域对产品水分含量的要求及便于储存和运输。因此，脱水技术也是非金属矿物材料必需的加工技术之一。脱水技术包括机械脱水（离心、压滤、真空等）和热蒸发（干燥）脱水两部分。

(5) 造粒技术 是指采用机械、物理和化学方法将微细或超细非金属矿粉体加工成具有较大粒度、特定形状及粒度分布的非金属矿物材料深加工技术。其目的是方便超细非金属矿物粉体材料的应用，减轻超细粉体使用时的粉尘飞扬和提高其应用性能。主要研究内容包括造粒方法、造粒工艺和造粒设备。由于非金属矿物粉体材料，尤其是微米级和亚微米级的超细粉体材