

郑水林 编著

非金属矿加工与应用

第三版

FEIJINSHUKUANG
JIAGONG YU YINGYONG



化学工业出版社

郑水林 编著

非金属矿加工与应用

第三版

FEIJINSHUKUANG
JIAGONG YU YINGYONG



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在简要介绍非金属矿共性加工技术的基础上,从矿石性质和矿物结构特点出发,介绍了十余大类、数十种非金属矿的应用领域及其发展、产品标准和技术指标要求,以及以精选提纯、超细粉碎、精细分级、表面与界面改性为特征的深加工技术和相应的矿物功能材料与矿物化工技术。

与第二版相比,本书内容上进行了如下修订:增加非金属矿应用的特点;增加非金属矿加工中的晶形或结构保护;对共性加工技术中的磨矿分级、超细粉碎和精细分级以及表面改性部分,补充新技术和大型化设备;全书还更新了产品技术标准,采用新颁布和实施的国家或行业最新标准。另外,全书增加深加工技术和非金属矿物材料的最新进展或重要创新,如表面改性、无机纳米复合功能材料、层状结构矿物插层材料、纳米 TiO_2 /多孔非金属矿物复合材料、石墨烯等。最后,全书还对应用领域进行全部修订,删除部分不再先进或已淘汰的技术和已废弃的产品标准。

本书可供从事矿物材料、化工、轻工、建材、冶金机械、电子、环保、新材料等领域的工程技术人员、管理人员及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

非金属矿加工与应用/郑水林编著. —3版. —北京:
化学工业出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-122-17611-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 126246 号

责任编辑:朱 彤

文字编辑:王 琪

责任校对:边 涛

装帧设计:关 飞

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 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 457 千字 2013 年 9 月北京第 3 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: 45.00 元

版权所有 违者必究

第三版前言

我们这个时代最重要的特征之一是无机非金属材料及非金属矿物材料在经济、社会、科技、环保中得到广泛应用,或者说在现代高技术新材料产业、传统产业创新发展、环境保护与生态修复乃至人们的日常生活中的重要地位与作用。正是因为如此,近 20 年来,无论是世界还是中国,非金属矿与非金属矿物材料产业越来越得到重视,产业规模越来越大。与此同时,社会的投资和研发投入也越来越大,从业人员越来越多;加工技术与应用技术创新或更新的步伐越来越快,新的加工技术和应用技术不断涌现;而且由于应用领域的不断扩展及社会对产品性能以及环保与安全等技术要求的不断提升,新的国家标准也不断颁布。因此,非金属矿行业的技术人员和管理者迫切需要掌握或了解非金属矿加工与应用技术的新发展。正是在这一背景下,《非金属矿加工与应用》进行了 2003 年初版以来的第二次修订。

本次修订基本上保留了第二版的结构和风格,即科学、简明、先进、实用。主要修订内容如下:(1)第 1 章增加了非金属矿应用的特点;(2)第 2 章增加了非金属矿加工中的晶形或结构保护,因为非金属矿的晶形或结构是其重要的特性之一,该特性与其应用性能和应用价值密切相关,是非金属矿加工区别于其他矿物加工的重要共性加工技术之一;(3)共性加工技术中的磨矿分级、超细粉碎和精细分级以及表面改性部分补充了新技术和大型化设备;(4)第 3 章~第 8 章,更新了产品技术标准,特别是第二版出版以来修订和新颁布实施的国家或行业标准;修订或增加了深加工技术和非金属矿物材料的新进展或重要的技术创新,特别是表面改性、无机纳米复合功能材料、层状结构矿物插层材料、纳米 TiO_2 /多孔非金属矿物复合材料、石墨烯等;修订了非金属矿与矿物材料的应用,补充了应用领域的新变化和新发展;删除了部分不再先进或已淘汰的技术和已废弃的产品标准。

本书能够在 10 年之内进行第二次修订出版,作为作者,我首先要感谢这个时代,因为正是这个时代经济和社会的快速发展和变化促进了非金属矿和非金属矿物材料产业的繁荣;其次,我要感谢从事非金属矿及非金属矿物材料科学研究、技术开发、生产和应用的广大科技工作者,是你们为该书的修订提供了大量的科学技术成果;再有,我要感谢非金属矿与非金属矿材料及相关行业的广大读者,因为你们的厚爱促使该书因应时代的发展和行业的进步不断修订再版;最后,还要感谢化学工业出版社的领导和该书的编辑,如果说该书的修订再版是作者的一个梦的话,你们就是这本书的最后圆梦者。谢谢!

最后还要说的是,尽管作者在此版的修订中又做了一些新的努力和尝试,但难免还存在疏漏之处,继续欢迎同行专家和读者批评斧正!

郑水林
2013 年 6 月

第一版前言

非金属矿是与人类生产、生活密切相关的矿产资源之一，其被人类应用的历史可以追溯到旧石器时代。伴随人类文明的进步和科学技术的发展，被发现的可供人类利用的非金属矿物和岩石的品种越来越多，非金属矿及其深加工产品越来越广泛地用于建材、化工、石油、冶金、轻工、机械、农业、药品等传统工业部门和以微电子、航空航天、生物化工、新材料和新能源为代表的现代高新技术产业以及环境保护和生态建设领域。同时满足现代高新技术产业、传统产业技术进步或产品升级、环境保护等要求的非金属矿加工和应用技术也在现代科学技术发展的大背景下取得了巨大进步。

我国是世界上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居世界前列。根据工业发达国家发展的经验，在经济和社会发展到一定程度后，非金属矿及非金属矿物材料的消费量和产值必然要大于金属矿及金属材料，非金属矿及其材料产业将像一轮朝阳冉冉升起。我国是一个经济和社会正在迅速发展和变化的世界大国，高新技术产业的快速发展、传统产业的技术进步、环保国策的全面落实以及在未来 20 年全面建设小康社会发展目标的实施将给我国非金属矿工业带来前所未有的发展机遇。紧紧抓住这一难得的历史机遇，不仅将全面提升我国非金属矿加工应用的水平，而且将成为我国经济发展的新的增长点，促进我国高新技术产业、传统产业以及环保产业等的全面发展和进步。但是，我国目前非金属矿加工应用的广度和深度还远远不够，在非金属矿加工应用方面的原创技术还较少，每年出口的大量非金属矿产品中原矿和初加工产品仍占大多数。由于非金属矿种类多、应用广，新矿种和新的应用领域层出不穷，因此，非常有必要出版一本系统介绍非金属矿加工与应用的专门知识和发展的著作，以促进我国非金属矿加工与应用技术的开发和产业的发展。本书正是基于这一背景编写完成的。

编著本书的指导思想是既要系统全面地介绍非金属矿加工与应用的专门知识和最新发展，又要简明扼要，以免篇幅过长，读者阅读和携带不方便。因此在内容的编排上重在其一般性（或共性）和先进性，不对具体企业的生产实例进行详细介绍。考虑到非金属的加工与应用开发重在其功能性的开发，而非金属矿产品的功能性又与其结构和组成特性相关，因此在内容的编排上有意将矿物的应用特性、结构和组成特性及功能性相结合。应用领域对非金属矿产品的技术指标要求对于开发利用非金属矿至关重要，本书选材的标准是尽量选用最新颁布实施的国家标准、部门标准和行业标准，尚无标准的尽量选用先进的企业标准或技术指标要求。在加工技术的选材上则注重新的技术发展。

本书在综述现代产业发展与非金属矿的关系、非金属矿的分类和用途、非金属矿加工应用研究的主要内容及发展趋势的基础上从矿石性质和矿物结构特点出发，介绍六大类、四十余种非金属矿的应用领域及其发展、技术指标要求和标准以及以选矿提纯、超细粉碎、表面和界面改性为特征的深加工技术和相应的矿物功能材料和矿物化工产品加工技术，内容包括绪论、碳酸盐矿物、硅酸盐矿物、硫酸盐矿物、单质非金属矿、天然复合非金属矿及其他矿类（磷矿、硼矿、钾矿、钛矿、氟矿、水镁石等），全书共 7 章。

在本书的编写过程中，中国矿业大学北京校区任守政老师对初稿进行了认真审阅，提出了许多宝贵意见。在本书正式出版之际，作者深表谢意和敬意！

编者还要感谢化学工业出版社的领导和编辑，正是他们的慧眼和信任使该书成稿后能够尽快正式出版！

最后还要说明的是，作者在该书的编写过程中进行了一些新的尝试和努力，难免存在不足之处，欢迎同行专家和读者批评斧正！

编者
2003 年 1 月

第二版前言

非金属矿是与人类生产、生活密切相关的矿产资源之一，被人类应用的历史可以追溯到旧石器时代。伴随人类文明的进步和科学技术的发展，被发现的可供人类利用的非金属矿物和岩石的品种越来越多，非金属矿及其非金属矿物材料越来越广泛地用于建材、化工、石油、冶金、轻工、机械、农业、药品等传统工业部门和以信息、航空航天、生物化工、新材料、新能源为代表的现代高新技术产业以及环境保护与生态建设领域。

中国是世界上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居世界前列。中国也是一个经济和社会正在迅速发展与变化的世界大国，根据工业发达国家发展的经验，在经济和社会发展到一定程度后，非金属矿及非金属矿物材料的消费量与产值必然要大于金属矿及金属材料。因此，未来我国高新技术产业的快速发展、传统产业的技术进步、资源节约型和环境友好型国策的全面落实将给我国非金属矿工业带来前所未有的发展机遇。紧紧抓住这一难得的历史机遇，全面提升我国非金属矿加工应用的水平，将成为我国经济发展的新的增长点，促进我国高新技术产业、传统产业以及环保、节能环保产业等的全面发展和进步。初版《非金属矿加工与应用》一书正是基于这一背景下出版的。

本书自2003年初版以来，先后多次重印。五年来非金属矿产品及矿物材料的应用领域不断扩大，市场需求量快速增长；产品的行业标准和规范不断制定和修订；同时，由于市场驱动和现代科学技术的发展，非金属矿加工与应用技术得到了快速发展，出现了许多新技术、新工艺和新设备。为了及时反映这些变化和发展，应化学工业出版社和读者的要求对本书进行了修订。

此次修订的指导思想是在初版基础上增加新应用、新标准和新技术。原版是完全按矿物类型和种类进行编写，为了更加系统和避免在各矿种中重复叙述加工技术，本次修订在按矿种编写之前增加了一章“非金属矿共性加工技术”；在各章节的应用部分，增加了新的应用领域；在各章节的技术标准部分，以新的行业标准或国家标准代替原标准；在各矿种的加工技术部分，增设加工技术的新进展。同时，保留了初版的结构和特点，即：①在系统介绍专业知识时简明扼要；②在内容的编排上将矿物的应用特性、结构和组成特性及功能性有机结合；③产品技术标准尽量选用最新颁布实施的国家标准、部门标准和行业标准，尚无国标和行业标准的尽量选用先进的企业标准；④在加工技术的选材上注重新的技术发展。

本书综述了现代产业发展与非金属矿的关系、非金属矿的分类和用途、非金属矿加工技术研究的主要内容、非金属矿加工的特点及发展趋势；在简要介绍非金属矿共性加工技术的基础上从矿石性质和矿物结构特点出发，介绍了六大类、四十余种非金属矿的应用领域及其发展、产品标准和技术指标要求以及以精选提纯、超细粉碎与精细分级、表面与界面改性为特征的深加工技术和相应的矿物功能材料与矿物化工技术。

本书是进入21世纪以来我国非金属矿工业快速发展的见证之一。自初版以来，承蒙非金属矿行业及其相关行业读者的厚爱，本书五年内多次重印，从一个侧面反映了我国非金属矿工业进入了一个前所未有的快速发展时期。值此修订完稿之际，对所有为非金属矿工业发展、技术进步作出贡献的同行和广大读者深表谢忱！

最后还要说的是，尽管作者在此次修编过程中进行了一些新的努力，但肯定还存在不足之处，继续欢迎同行专家和读者批评斧正！

编者
2008年8月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.6.4 干燥	52
1.1 现代产业发展与非金属矿	1	2.7 非金属矿加工中的晶形与结构	
1.2 非金属矿的分类与用途	2	保护	53
1.3 非金属矿加工技术的主要内容	4	2.7.1 概述	53
1.3.1 颗粒制备与处理技术	5	2.7.2 层状晶形非金属矿	54
1.3.2 非金属矿物材料加工技术	6	2.7.3 纤维状非金属矿	54
1.3.3 非金属矿物化工技术	7	2.7.4 天然多孔非金属矿	55
1.4 非金属矿加工与应用的特点	7	2.7.5 其他非金属矿	55
1.5 非金属矿加工技术的发展趋势	7		
第 2 章 非金属矿共性加工技术	10	第 3 章 碳酸盐矿物	56
2.1 破碎与筛分	10	3.1 方解石、白垩	56
2.1.1 破碎	10	3.1.1 矿石性质与矿物结构	56
2.1.2 筛分	13	3.1.2 应用领域及技术指标要求	56
2.2 磨矿与分级	14	3.1.3 加工技术	60
2.2.1 磨矿	14	3.2 石灰石	64
2.2.2 分级	19	3.2.1 矿石性质与矿物结构	64
2.3 选矿提纯	22	3.2.2 应用领域及技术指标要求	64
2.3.1 概述	22	3.2.3 加工技术	67
2.3.2 拣选	23	3.3 白云石	70
2.3.3 洗矿	24	3.3.1 矿石性质与矿物结构	70
2.3.4 重选	24	3.3.2 应用领域与技术指标要求	70
2.3.5 浮选	25	3.3.3 加工技术	72
2.3.6 磁选	28	3.4 菱镁矿	73
2.3.7 电选	30	3.4.1 矿石性质与矿物结构	73
2.3.8 其他选矿方法	31	3.4.2 应用领域与技术指标要求	73
2.4 超细粉碎与精细分级	35	3.4.3 加工技术	75
2.4.1 概述	35	第 4 章 硅酸盐矿物	77
2.4.2 超细粉碎设备	35	4.1 石英及石英岩	77
2.4.3 精细分级设备	42	4.1.1 矿石性质与矿物结构	77
2.5 表面改性	45	4.1.2 应用领域与技术指标要求	77
2.5.1 概述	45	4.1.3 加工技术	80
2.5.2 表面改性工艺	45	4.2 长石及霞石正长岩	82
2.5.3 表面改性设备	47	4.2.1 矿石性质与矿物结构	82
2.5.4 表面改性剂	49	4.2.2 应用领域与技术指标要求	83
2.5.5 表征与评价方法	49	4.2.3 加工技术	84
2.6 脱水方法及设备	50	4.3 高岭石(土)	85
2.6.1 概述	50	4.3.1 矿石性质与矿物结构	85
2.6.2 沉淀浓缩	50	4.3.2 应用领域与技术指标要求	87
2.6.3 过滤	50	4.3.3 加工技术	90

4.4 膨润土	94	4.15.3 加工技术	138
4.4.1 矿石性质与矿物结构	94	4.16 沸石	140
4.4.2 应用领域与技术指标要求	95	4.16.1 矿石性质与矿物结构	140
4.4.3 加工技术	97	4.16.2 应用领域与技术指标要求	142
4.5 伊利石	103	4.16.3 加工技术	142
4.5.1 矿石性质与矿物结构	103	4.17 海泡石	143
4.5.2 应用领域与技术指标要求	103	4.17.1 矿石性质与矿物结构	143
4.5.3 加工技术	104	4.17.2 应用领域与技术指标要求	144
4.6 滑石	104	4.17.3 加工技术	146
4.6.1 矿石性质与矿物结构	104	4.18 凹凸棒石	147
4.6.2 应用领域与技术指标要求	105	4.18.1 矿石性质与矿物结构	147
4.6.3 加工技术	110	4.18.2 应用领域与技术指标要求	148
4.7 叶蜡石	111	4.18.3 加工技术	150
4.7.1 矿石性质与矿物结构	111	4.19 锆英石	151
4.7.2 应用领域与技术指标要求	112	4.19.1 矿石性质与矿物结构	151
4.7.3 加工技术	113	4.19.2 应用领域与技术指标要求	152
4.8 绿泥石	115	4.19.3 加工技术	152
4.8.1 矿石性质与矿物结构	115	4.20 石榴子石	153
4.8.2 应用领域与技术指标要求	116	4.20.1 矿石性质与矿物结构	153
4.8.3 加工技术	117	4.20.2 应用领域与技术指标要求	154
4.9 云母	117	4.20.3 加工技术	156
4.9.1 矿石性质与矿物结构	117	4.21 皂石与累托石	157
4.9.2 应用领域与技术指标要求	119	4.21.1 矿石性质与矿物结构	157
4.9.3 加工技术	120	4.21.2 应用领域与技术指标要求	158
4.10 石棉	122	4.21.3 加工技术	159
4.10.1 矿石性质与矿物结构	122	4.22 电气石	160
4.10.2 应用领域与技术指标要求	122	4.22.1 矿石性质与矿物结构	160
4.10.3 加工技术	123	4.22.2 应用领域与技术指标要求	160
4.11 硅灰石	125	4.22.3 加工技术	161
4.11.1 矿石性质与矿物结构	125	4.23 硅藻土	162
4.11.2 应用领域与技术指标要求	126	4.23.1 矿石性质与矿物结构	162
4.11.3 加工技术	127	4.23.2 应用领域与技术指标要求	163
4.12 透辉石和透闪石	129	4.23.3 加工技术	163
4.12.1 矿石性质与矿物结构	129	4.24 蛋白土	169
4.12.2 应用领域与技术指标要求	129	4.24.1 矿石性质与矿物结构	169
4.12.3 加工技术	129	4.24.2 应用领域与技术指标要求	170
4.13 蓝晶石、红柱石、硅线石	130	4.24.3 加工技术	170
4.13.1 矿石性质与矿物结构	130		
4.13.2 应用领域与技术指标要求	131	第5章 硫酸盐矿物	171
4.13.3 加工技术	131	5.1 重晶石	171
4.14 蛭石	133	5.1.1 矿石性质与矿物结构	171
4.14.1 矿石性质与矿物结构	133	5.1.2 应用领域与技术指标要求	171
4.14.2 应用领域与技术指标要求	134	5.1.3 加工技术	173
4.14.3 加工技术	135	5.2 天青石	176
4.15 珍珠岩、黑曜岩、松脂岩	136	5.2.1 矿石性质与矿物结构	176
4.15.1 矿石性质与矿物结构	136	5.2.2 应用领域与技术指标要求	176
4.15.2 应用领域与技术指标要求	137	5.2.3 加工技术	177

5.3 石膏	178	7.4 硼矿	215
5.3.1 矿石性质与矿物结构	178	7.4.1 矿石性质与矿物结构	215
5.3.2 应用领域与技术指标要求	178	7.4.2 应用领域与技术指标要求	216
5.3.3 加工技术	179	7.4.3 加工技术	217
5.4 明矾石	183	7.5 钾矿	219
5.4.1 矿石性质与矿物结构	183	7.5.1 矿石性质与矿物结构	219
5.4.2 应用领域与技术指标要求	183	7.5.2 应用领域与技术指标要求	220
5.4.3 加工技术	183	7.5.3 加工技术	220
第6章 碳质非金属矿	184	7.6 水镁石	221
6.1 石墨	184	7.6.1 矿石性质与矿物结构	221
6.1.1 矿石性质与矿物结构	184	7.6.2 应用领域与技术指标要求	222
6.1.2 应用领域与技术指标要求	185	7.6.3 加工技术	223
6.1.3 加工技术	189	第8章 天然复合非金属矿	224
6.2 金刚石	198	8.1 麦饭石	224
6.2.1 矿石性质与矿物结构	198	8.1.1 矿石性质与矿物结构	224
6.2.2 应用领域与技术指标要求	200	8.1.2 应用领域与技术指标要求	224
6.2.3 加工技术	202	8.1.3 加工技术	225
第7章 其他非金属矿	204	8.2 玄武岩、辉绿岩	225
7.1 萤石	204	8.2.1 矿石性质与矿物结构	225
7.1.1 矿石性质与矿物结构	204	8.2.2 应用领域与技术指标要求	225
7.1.2 应用领域与技术指标要求	204	8.2.3 加工技术	226
7.1.3 加工技术	206	8.3 浮石、火山灰	229
7.2 金红石、钛铁矿	207	8.3.1 矿石性质与矿物结构	229
7.2.1 矿石性质与矿物结构	207	8.3.2 应用领域与技术指标要求	230
7.2.2 应用领域与技术指标要求	207	8.3.3 加工技术	231
7.2.3 加工技术	208	8.4 铝土矿	232
7.3 磷矿	211	8.4.1 矿石性质与矿物结构	232
7.3.1 矿石性质与矿物结构	211	8.4.2 应用领域与技术指标要求	232
7.3.2 应用领域与技术指标要求	211	8.4.3 加工技术	233
7.3.3 加工技术	213	参考文献	236

第 1 章

绪 论

1.1 现代产业发展与非金属矿

非金属矿和岩石是人类利用最早的地球矿产资源。从原始人使用的石斧、石刀到现在以各种非金属矿和岩石为原(材)料制备的无机非金属材料、有机/无机复合材料、微电子和光电子材料、化工和生物医学材料等新材料,人类在利用非金属矿物和岩石原(材)料方面走过了从简单利用到初步加工后利用,再到深加工和综合利用的漫漫历程。非金属矿加工利用技术的每一次进步都伴随着人类科学技术的每一次进步和人类文明的每一次发展。同时,人类科学技术和文明的每一次发展都促进非金属矿加工利用的发展。但是,在现代科技革命和新兴产业发展之前的人类漫长历史长河中,基本上是以金属材料为主导。现代科技革命、产业发展、社会进步、人类生活质量的提高和环境保护意识的普遍觉醒开创了广泛应用非金属矿物和岩石材料的新时代。非金属矿深加工及非金属矿物材料产业已被视为 21 世纪的朝阳产业之一。

人类在进入 21 世纪后,以电子、信息、生物、航空航天、海洋开发以及新能源和新材料为主的高技术和新材料产业逐渐壮大。这些高技术和新材料产业与非金属矿物原料及非金属矿物和岩石材料密切相关。例如,石墨、云母、石英、锆英石、金红石、高岭土等与微电子、光电子及信息技术及其产业有关;二氧化硅、石墨、云母、高岭土、硅灰石、硅藻土、滑石、方解石、冰洲石、硅线石、石英、红柱石、蓝晶石、硅线石、石棉、菱镁矿、石膏、珍珠岩、叶蜡石、金刚石、石榴子石、蛭石、透辉石、透闪石、电气石、沸石、玄武岩、辉绿岩等与新材料技术及其产业有关;石墨、重晶石、膨润土、石英等与新能源有关;沸石、麦饭石、硅藻土、凹凸棒石、海泡石、膨润土、蛋白土、珍珠岩、高岭土等与生物技术及食品与药品产业有关;石墨、石棉、云母、石英等与航空航天技术及其产业有关。因此,高技术和新材料产业与非金属矿和岩石密切相关,是 21 世纪非金属矿深加工技术和产业发展的重要机遇之一。

进入 21 世纪,化工、机械、能源、汽车、轻工、冶金、建材等传统产业普遍引入新技术和使用新材料,进行技术革新和产业升级。这些技术进步与产业升级与非金属矿深加工产品密切相关。例如,造纸工业的技术进步和产品结构调整需要大量高纯、超细的重质碳酸钙、高岭土、滑石等高白度非金属矿物颜料和填料;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、塑料管材等高分子基复合材料的兴起需要大量超细和活性碳酸钙、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;汽车面漆、乳胶漆以及防腐蚀和辐射、道路发光等特种涂料需要大量的珠光云母、着色云母、超细和高白度碳酸钙、超细二氧化硅、针状超细硅灰石、超细和高白度煅烧高岭土、超细重晶石、有机膨润土等非金属矿物颜料、填料和增黏剂;冶金工业的技术进步和产品结构调整需要高品质的以硅线石、红柱石、蓝晶石等高铝矿物为原料的高铝耐火材料和以镁(菱镁矿)和碳(石墨)为原料的镁碳复合材料;新型建材和防火、节能产品的发展需要大量的石膏板材和饰面板、花岗岩和大理岩板材与异形材以及以硅藻土、超细石英粉、石灰粉等为原料的微孔硅钙板、膨胀珍珠岩、硅藻土等保温隔热材料、石棉制品等;石化工业的技术进步和产业升级需要大量具有特定孔

径分布、活性和选择性好的沸石和高岭土基催化剂、载体以及以膨润土为原料的活性白土；机电工业的技术进步需要以碎云母为原料制造的云母纸和云母板绝缘材料、高性能的柔性石墨密封材料、石墨盘根、石棉基板材和垫片；汽车工业的发展需要大量以石棉、石墨、针状硅灰石等非金属矿为基料的摩擦材料以及以滑石、云母、硅灰石、透闪石、超细碳酸钙等为无机填料的工程塑料和底漆；化学纤维工业的发展需要超细二氧化钛、电气石、二氧化硅、云母等功能无机填料以生产出有利于人类健康的功能纤维；电池材料的技术进步，需要石墨、萤石、含锂矿物原料或材料。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，是 21 世纪初非金属矿深加工技术和产业发展的主要机遇之一。

环境保护和生态建设是人类 21 世纪面临的重大挑战之一，它直接关系到人类的生存和经济社会的可持续发展。随着人类环保意识的增强、全球环保标准及要求的提高以及对生态建设的日渐重视，环保和生态建设产业将成为 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、蛋白土、石墨、珍珠岩、蛭石、高岭土、埃洛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。此外，大多数非金属矿都是环境友好材料，例如，在塑料薄膜中加入一定量的超细重质碳酸钙可制成降解塑料，超细水镁石、含水铝石用于高聚物基复合材料的阻燃填料，不仅可以阻燃，而且不产生可致人死亡的毒烟。因此，环保产业和生态建设是 21 世纪非金属矿深加工技术和非金属矿物材料发展的另一个重要机遇。

1.2 非金属矿的分类与用途

由于非金属矿种类繁多，每一种又常有几种成因，其用途多种多样。在同一应用领域中，不同种类的非金属矿又可相互替代，而且许多非金属矿的化学成分复杂。因此，要提出一个完整或完善的分类法比较困难。近 20 年来有不少学者提出了不少方案，但从分类的原则而言，大体上有三种：以地质成因为分类原则；以产品价值为分类原则；以工业用途为分类原则。

目前多按非金属矿的工业用途进行分类。我国分为六类：化工原料、建筑材料、冶金工业辅助原料、轻工原料、电气及电子工业原料、宝石类及光学材料。美国分为十四类：磨料、陶瓷原料、化工原料、建筑材料、电子及光学材料、矿产肥料、填料、过滤物质及矿物吸附剂、助熔剂、铸型原料、玻璃原料、矿物颜料、耐火原料、钻井泥浆原料。表 1-1 是按用途对非金属矿进行的分类。

表 1-1 非金属矿物和岩石的用途和分类

用 途	非金属矿物和岩石
化工原料	岩盐、芒硝、天然碱、明矾石、自然硫、磷灰石、重晶石、天青石、萤石、石灰石等
光学原料	冰洲石、光学石膏、方解石、水晶、光学石英、光学萤石等
电力、电子	石墨、云母、石英、水晶、电气石、金红石等
农肥、农药	磷灰石、钾盐、钾长石、芒硝、石膏、高岭土、地开石、膨润土等
磨料	金刚石、刚玉、石榴子石、石英、硅藻土等
工业填料和颜料	方解石、大理石、白垩、滑石、叶蜡石、伊利石、石墨、高岭土、地开石、云母、硅灰石、透闪石、硅藻土、膨润土、皂石、海泡石、凹凸棒石、金红石、长石、锆英砂、重晶石、石膏、石英、石棉、水镁石、沸石、透辉石、蛋白土等
吸附、助滤和载体	沸石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、地开石、膨润土、皂石、珍珠岩、蛋白土、石墨、滑石、蛋白石等

续表

用 途	非金属矿物和岩石
保温、隔热、隔声材料	石棉、石膏、石墨、蛭石、硅藻土、海泡石、珍珠岩、玄武岩、辉绿岩、浮石与火山灰等
铸石材料	玄武岩、辉绿岩、安山岩等
建筑材料	石棉、石膏、花岗岩、大理岩、石英岩、石灰石、硅藻土、砂石、黏土等
玻璃	石英砂和石英岩、长石、霞石正长岩、脉石英等
陶瓷、耐火材料	高岭土、硅灰石、滑石、石英、长石、红柱石、蓝晶石、硅线石、叶蜡石、电气石、透辉石、石墨、菱镁矿、白云石、铝土矿、陶土
熔剂和冶金	萤石、长石、硼砂、石灰岩、白云岩
钻探工业	重晶石、石英砂、膨润土、海泡石、凹凸棒土等

表 1-2 是从非金属矿物功能材料角度进行的分类。

表 1-2 非金属矿物材料的类型及其应用

序号	材料类型	非金属矿物原料	非金属矿物材料或制品品种	应用领域
1	填料和颜料	方解石、大理石、白垩、滑石、叶蜡石、伊利石、石墨、高岭土、地开石、云母、硅灰石、透辉石、硅藻土、膨润土、皂石、海泡石、凹凸棒土、金红石、长石、锆英砂、重晶石、石膏、石英、石棉、水镁石、沸石、透闪石、蛋白土等	细粉 ($10 \sim 1000\mu\text{m}$)、超细粉 ($0.1 \sim 10\mu\text{m}$)、超微细粉或一维、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、大径厚比片状粉体、多孔隙粉体等	塑料、橡胶、胶黏剂、化纤、涂料、陶瓷、玻璃、耐火材料、阻燃材料、凝胶材料、造纸、建材等
2	力学功能材料	石棉、石膏、石墨、花岗岩、大理岩、石英岩、锆英砂、高岭土、长石、金刚石、铸石、石榴子石、云母、滑石、硅灰石、透闪石、石灰石、硅藻土、燧石、蛋白石等	石棉水泥制品、硅酸钙板、纤维石膏板、石料、石材、结构陶瓷、无机/聚合物复合材料(塑料管、塑钢窗等)、金刚石(刀具、钻头、砂轮、研磨膏)、磨料、衬里材料、制动器衬片、闸瓦、刹车带(片)、石墨轴承、垫片、密封环、离合器面片、润滑剂(膏)、汽缸垫片、石棉橡胶板、石棉盘根等	建材、建筑、机械、电力、交通、农业、化工、轻工、航空航天、石油、微电子、地质勘探、冶金、煤炭等
3	热学功能材料	石棉、石墨、石英、长石、金刚石、蛭石、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、水镁石、珍珠岩、云母、滑石、高岭土、硅灰石、沸石、金红石、锆英砂、石灰石、白云石、铝土矿等	石棉布、片、板、岩棉、玻璃棉、矿棉吸声板、泡沫石棉、泡沫玻璃、蛭石防火隔热板、硅藻土砖、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩、微孔硅钙板、玻璃微珠、保温涂料、耐火材料、镁碳砖、碳/石墨复合材料、储热材料、莫来石、堇青石、氧化锆陶瓷等	建材、建筑、冶金、化工、轻工、机械、电力、交通、航空航天、石油、煤炭等
4	电功能材料	石墨、石英、水晶、金刚石、蛭石、硅藻土、云母、滑石、高岭土、金红石、电气石、铁石榴子石、沸石等	碳-石墨电极、电刷、胶体石墨、氟化石墨制品、电极糊、沸石电导体、热敏电阻、电池、非线性电阻、陶瓷半导体、石榴子石型铁氧体、压电材料(压电水晶、自动点火元件等)、云母电容器、云母纸、云母板、电瓷、电子封装材料等	电力、电子、通信、计算机、机械、航空航天、航海等

续表

序号	材料类型	非金属矿物原料	非金属矿物材料或制品品种	应用领域
5	光功能材料	石英、水晶、冰洲石、方解石、萤石等	偏光、折光、聚光镜片、光学玻璃、光导纤维、滤光片、偏振材料、荧光材料等	通信、电子、仪器仪表、机械、航空航天、轻工等
6	吸波与屏蔽材料	金红石、电气石、石英、高岭土、石墨、重晶石、膨润土、滑石、云母、石棉等	氧化钛(钛白粉)、纳米二氧化硅、氧化铝、核反应堆屏蔽材料、护肤霜、防护服、保暖衣、塑料薄膜、消光剂等	核工业、军工、化妆(护肤)品、纺织与服装、农业、涂料、皮革等
7	催化材料	沸石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、地开石等	分子筛、催化剂、催化剂载体等	石油、化工、环保、农药、医药等
8	吸附材料	沸石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、地开石、膨润土、皂石、珍珠岩、蛋白土、石墨、滑石、蛭石、绿泥石等	助滤剂、脱色剂、干燥剂、除臭剂、杀(抗)菌剂、水处理剂、空气净化剂、油污处理剂、核废料处理剂、保水剂、固沙剂等	啤酒、饮料、食用油、食品、工业油脂、制药、化妆品、环保与生态建设、家用电器、化工等
9	流变材料	石膏、膨润土、伊利石、皂石、海泡石、凹凸棒石、水云母等	半水石膏、膨润土凝胶、有机膨润土、触变剂、防沉剂、增稠剂、胶凝剂、流平剂、钻井泥浆等	建筑、建材、涂料、黏合剂、清洗剂、采油、地质勘探、造纸等
10	黏结材料	膨润土、海泡石、凹凸棒石、水云母、石英等	团矿黏结剂、硅酸钠、胶黏剂、铸模、黏土基复合黏结剂等	冶金、建筑、铸造、轻工等
11	装饰材料	大理石、花岗岩、岫石、云母、叶蜡石、蛋白石、水晶、石榴子石、橄榄石、玛瑙石、玉石、辉石、孔雀石、冰洲石、琥珀石、绿松石、金刚石、月光石、磷灰石等	装饰石材、珠光云母、彩石、各种宝石、观赏石等	建筑、建材、涂料、皮革、化妆品、珠宝业、观光业等
12	生物功能材料	沸石、麦饭石、高岭土、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、膨润土、皂石、珍珠岩、蛋白土、滑石、电气石、碳酸钙等	药品及保健品、药物载体、饲料添加剂、杀(抗)菌剂、吸附剂、助滤剂、化妆品添加剂、农药与化肥载体等	制药业、生物化学工业、农业、畜牧业、食品、饮料、化妆品等

随着科学技术的进步，许多以往认为无价值的矿物和岩石，由于得到工业上的应用而进入非金属矿的行列。20 世纪初非金属矿产的品种仅 60 余种，到 20 世纪末已达 200 余种（包括宝玉石）。若不计宝玉石在内，非金属矿中以矿物名称命名的有 50 多种，如云母、滑石、高岭土等，以岩石名称命名的有 20 多种，如石灰岩、白云岩、大理岩等。

1.3 非金属矿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。

1.3.1 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粒度分布的不同,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、结构和官能团、润湿性、电性、光学性质、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;表面改性设备;表面改性效果的检测和表征/评价方法;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、工艺和设备。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料直接在塑料、橡胶、化纤、医药、环保、催化等领域应用时,不同程度地存在分散不均匀、扬尘、使用不便、难以回收等问题,因此,将其造粒后使用是解决上述应用问题的有效方法之一,尤其适用于用于高聚物基复合材料(塑料、橡胶等)填料的非金属矿物粉体材料,如碳酸钙、滑石、云母、高岭土等,一般做成与基体树脂相容性好的各种母粒。

目前,造粒方法主要有压缩造粒、挤出造粒、滚动造粒、喷雾造粒、流化造粒方法等。造粒方法的选择要依原料特性以及对产品粒度大小和粒度分布、产品颗粒形状、颗粒强度、孔隙率、颗粒密度等的要求而定。

1.3.2 非金属矿物材料加工技术

非金属矿物材料是指以天然矿物或岩石为基本或主要原料经加工、改造获得的,或能直接应用其物理、化学性质的矿物或岩石材料,一般是具有一定功能的无机材料或复合材料。如机械工业和航空航天工业用的石墨密封材料和石墨润滑剂、石棉摩擦材料、高温和防辐射涂料等;电子工业用的石墨导电涂料、显像管石墨乳、熔炼水晶等;用硅藻土、蛋白土、珍珠岩制备的吸附、助滤材料;以硅藻土、膨润土、海泡石、凹凸棒石、沸石等制备的吸附环保材料;以高岭土(石)为原料制备的煅烧高岭土、铝尖晶石、莫来石、赛龙、分子筛和催化剂;以珍珠岩、硅藻土、石膏、石灰石、蛭石、石棉等制备的隔热保温防火和节能材料及轻质高强建筑装饰材料;以碎云母为原料生产云母纸和云母板等。主要研究内容包括:各种非金属矿物材料的结构和性能;非金属矿物材料的制备工艺和设备;原(材)料配方、制备工艺等与非金属矿物材料结构和性能的关系;非金属矿物材料制备工艺的自动控制等。它涉及岩石学与矿物学、结晶学、材料学、材料加工、材料物理化学、固体物理、结构化学、高分子化学、有机化学、无机化学、电子、生物、环保、机械、自动控制、现代仪器分析与测试等学科。其核心技术主要包括以下两个方面。

(1) 原料配方复合技术 是指根据产品功能要求的原料配方或配制技术。包括:不同化学组成、结构、粒形非金属矿物原(材)料的配合或复合,即无机/无机复合;非金属矿物原料与有机物或有机高聚物的复合,即有机/无机复合;其他助剂的配合等。原材料复合技术是非金属矿物材料或制品的核心技术之一。非金属矿物材料或制品种类繁多,涉及的领域非常广泛,按其功能可分为结构或力学功能材料(如新型建材、高级陶瓷结构材料、高级磨料、摩擦材料、减摩润滑材料、密封材料等)、热学功能材料(如保温节能材料、高温耐火材料、隔热和绝热材料、导热材料等)、电功能材料(如导电材料、磁性材料、半导体材料、压电材料、介电材料、电绝缘材料等)、光功能材料(如光导材料、荧光材料、聚光材料、透光材料、感光材料、偏振材料等)、吸波与屏蔽材料、催化材料、吸附材料、流变材料、颜料、黏结材料、装饰材料、聚合物/黏土纳米复合材料等。不同材料的原(材)料配方不同,因此,非金属矿物材料配方技术涉及广泛的学科面,如结晶学与矿物学、矿物加工、材料加工、无机非金属材料、高分子材料、功能材料、化工工程、机械、电子、生物等,是一种多学科的综合。追求功能化、环境友好或无害化是非金属矿物材料配方技术的主题。

(2) 加工工艺与设备 是指非金属矿物材料或制品的成型、固化、煅烧、表(界)面修饰等工艺与设备,是制备非金属矿物材料或制品的关键技术之一。非金属矿物材料或制品的种类多,一般来说,不同种类和不同用途的非金属矿物材料或制品的生产方法不同,工艺也是千差万别。追求工艺性能和操作参数的优化及降低能耗、物耗等是非金属矿物材料或制品工艺与设备发展的

主题。

1.3.3 非金属矿物化工技术

非金属矿物化工是以非金属矿为原料,通过对矿物分子结构的改变,提取矿物中某些化合物或有用元素的加工技术。如用含氟矿物萤石制备含氟酸的化合物;用含钡矿物重晶石生产钡盐系列产品;用含铝矿物铝土矿、高岭土等生产氯化铝、硫酸铝、氧化铝、分子筛等;用含硅矿物石英、蛋白石、硅藻土制备硅酸钠或水玻璃、沉淀二氧化硅或白炭黑等;用含镁矿物菱镁矿、白云石生产氯化镁、硫酸镁、氧化镁、轻质碳酸镁等;用石灰石生产氧化钙、轻质或沉淀碳酸钙等;用明矾石制备硫酸、硫酸钾等。

非金属矿物化工技术一般包括热化学加工、湿法分解或浸取、过滤分离、溶液精制、结晶、干燥、粉碎等工序。热化学加工可分为煅烧、焙烧、熔融等;湿法分解或浸取是用酸、碱、盐类溶液在水热条件下提取固体物料中有用组分的过程,一般伴有化学反应。

1.4 非金属矿加工与应用的特点

由于非金属矿的多样性,与金属矿及燃料矿物的加工相比,非金属矿加工与应用具有以下特点。

① 非金属矿选矿的技术指标在很多情况下,不是指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含量、高岭土的高岭石含量、石墨的晶质(固定)碳含量、蓝晶石的氧化铝含量、萤石的氟化钙含量等。

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 非金属矿粉脱水的特点是,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)及超细非金属矿粉的水分含量高,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粉还须在压滤过程中进行洗涤。为解决干燥后粉体,尤其是超细粉体的团聚问题,一般要在干燥设备中或干燥后设置解聚装置。

⑥ 多用途和相互替代性。即一种非金属矿具有多种(甚至几十种和上百种)用途,而一种用途又可以使用多种非金属矿。例如,膨润土的用途多达上百种,而作为脱色剂可以被凹凸棒土、海泡石等代替;作为造纸填料的非金属矿,可以使用滑石、碳酸钙、绿泥石、皂石、白云石、石膏等。

1.5 非金属矿加工技术的发展趋势

非金属矿是人类赖以生存和发展的重要矿产资源之一。非金属矿产品是现代工业的重要基础材料,也是支撑现代高新技术产业的原辅材料和节能、环保、生态等功能性材料,在现代经济和社会发展中扮演越来越重要的角色。非金属矿物材料在现代高技术与新材料、传统产业、环保与

生态建设等产业以及人类日常生活中的广泛应用是以前较高的技术含量为前提的,因此,高效综合利用和深加工是开发利用非金属矿的必由之路。而功能化则是非金属矿物材料发展的主题。

(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,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提纯技术的主要发展趋势,特别是石墨、金刚石、石英、长石、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、菱镁矿等非金属矿物和岩石。

(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。例如,部分高档纸张涂料要求重质碳酸钙的细度为 $-2\mu\text{m}\geq 90\%$,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 $d_{50}\leq 1\mu\text{m}$, $97\%\leq 5\mu\text{m}$ 。未来市场对各类非金属矿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。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。例如,高聚物基复合材料(塑料、橡胶、胶黏剂等)、多相复合陶瓷材料、涂料、吸附与催化材料、生物医学材料、功能纤维等要求非金属矿物粉体材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,但由于可显著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、环保材料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(界)面改性、活化和复合技术将成为非金属矿物粉体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、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 Related 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