

FEIJINSHUKUANG  
JIAGONG YU YINGYONG

# 非金属矿 加工与应用 第二版

◆ 郑水林 编著

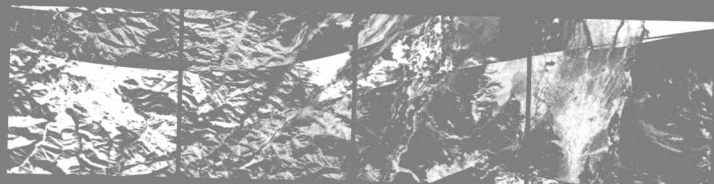


化学工业出版社

FEIJINSHUKUANG  
JIAGONG YU YINGYONG

# 非金属矿 加工与应用 第二版

◆ 郑水林 编著



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、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。

本书可供从事矿物加工与矿物材料、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. —2版. —北京:  
化学工业出版社, 2008. 11  
ISBN 978-7-122-03700-8

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 (2008) 第 141081 号

---

责任编辑: 朱 彤  
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 冯国庆  
装帧设计: 张 辉

---

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 377 千字 2009 年 1 月北京第 2 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: 33.00 元

版权所有 违者必究

## 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

# 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

# 目 录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第 1 章 绪论          | 1  |
| 1.1 现代产业发展与非金属矿   | 1  |
| 1.2 非金属矿的分类与用途    | 2  |
| 1.3 非金属矿加工技术的主要内容 | 4  |
| 1.3.1 颗粒制备与处理技术   | 5  |
| 1.3.2 非金属矿物材料加工技术 | 6  |
| 1.3.3 非金属矿物化工技术   | 7  |
| 1.4 非金属矿加工的特点     | 7  |
| 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 |
| 2.1 破碎与筛分         | 10 |
| 2.1.1 破碎          | 10 |
| 2.1.2 筛分          | 13 |
| 2.2 磨矿与分级         | 13 |
| 2.2.1 磨矿          | 13 |
| 2.2.2 分级          | 17 |
| 2.3 选矿提纯          | 19 |
| 2.3.1 概述          | 19 |
| 2.3.2 拣选          | 21 |
| 2.3.3 洗矿          | 21 |
| 2.3.4 重选          | 22 |
| 2.3.5 浮选          | 23 |
| 2.3.6 磁选          | 24 |
| 2.3.7 电选          | 27 |
| 2.3.8 其他选矿方法      | 28 |
| 2.4 超细粉碎与精细分级     | 32 |
| 2.4.1 概述          | 32 |
| 2.4.2 超细粉碎设备      | 33 |
| 2.4.3 精细分级设备      | 39 |
| 2.5 表面改性          | 42 |
| 2.5.1 概述          | 42 |
| 2.5.2 表面改性工艺      | 43 |
| 2.5.3 表面改性设备      | 45 |
| 2.5.4 表面改性剂       | 46 |
| 2.5.5 表征与评价方法     | 47 |
| 2.6 脱水方法及设备       | 47 |

|            |              |    |
|------------|--------------|----|
| 2.6.1      | 概述           | 47 |
| 2.6.2      | 沉淀浓缩         | 47 |
| 2.6.3      | 过滤           | 48 |
| 2.6.4      | 干燥           | 48 |
| <b>第3章</b> | <b>碳酸盐矿物</b> | 51 |
| 3.1        | 方解石、白垩       | 51 |
| 3.1.1      | 矿石性质与矿物结构    | 51 |
| 3.1.2      | 应用领域及技术指标要求  | 51 |
| 3.1.3      | 加工技术         | 52 |
| 3.2        | 石灰石          | 56 |
| 3.2.1      | 矿石性质与矿物结构    | 56 |
| 3.2.2      | 应用领域及技术指标要求  | 56 |
| 3.2.3      | 加工技术         | 57 |
| 3.3        | 白云石          | 60 |
| 3.3.1      | 矿石性质与矿物结构    | 60 |
| 3.3.2      | 应用领域与技术指标要求  | 60 |
| 3.3.3      | 加工技术         | 62 |
| 3.4        | 菱镁矿          | 63 |
| 3.4.1      | 矿石性质与矿物结构    | 63 |
| 3.4.2      | 应用领域与技术指标要求  | 63 |
| 3.4.3      | 加工技术         | 64 |
| <b>第4章</b> | <b>硅酸盐矿物</b> | 67 |
| 4.1        | 石英及石英岩       | 67 |
| 4.1.1      | 矿石性质与矿物结构    | 67 |
| 4.1.2      | 应用领域与技术指标要求  | 67 |
| 4.1.3      | 加工技术         | 69 |
| 4.2        | 长石及霞石正长岩     | 72 |
| 4.2.1      | 矿石性质与矿物结构    | 72 |
| 4.2.2      | 应用领域与技术指标要求  | 72 |
| 4.2.3      | 加工技术         | 74 |
| 4.3        | 高岭石          | 74 |
| 4.3.1      | 矿石性质与矿物结构    | 74 |
| 4.3.2      | 应用领域与技术指标要求  | 76 |
| 4.3.3      | 加工技术         | 77 |
| 4.4        | 膨润土          | 81 |
| 4.4.1      | 矿石性质与矿物结构    | 81 |
| 4.4.2      | 应用领域与技术指标要求  | 81 |
| 4.4.3      | 加工技术         | 83 |
| 4.5        | 伊利石          | 88 |
| 4.5.1      | 矿石性质与矿物结构    | 88 |
| 4.5.2      | 应用领域与技术指标要求  | 89 |
| 4.5.3      | 加工技术         | 89 |

|        |             |     |
|--------|-------------|-----|
| 4.6    | 滑石          | 89  |
| 4.6.1  | 矿石性质与矿物结构   | 89  |
| 4.6.2  | 应用领域与技术指标要求 | 90  |
| 4.6.3  | 加工技术        | 94  |
| 4.7    | 叶蜡石         | 95  |
| 4.7.1  | 矿石性质与矿物结构   | 95  |
| 4.7.2  | 应用领域与技术指标要求 | 96  |
| 4.7.3  | 加工技术        | 98  |
| 4.8    | 云母          | 100 |
| 4.8.1  | 矿石性质与矿物结构   | 100 |
| 4.8.2  | 应用领域与技术指标要求 | 101 |
| 4.8.3  | 加工技术        | 102 |
| 4.9    | 石棉          | 105 |
| 4.9.1  | 矿石性质与矿物结构   | 105 |
| 4.9.2  | 应用领域与技术指标要求 | 106 |
| 4.9.3  | 加工技术        | 108 |
| 4.10   | 硅灰石         | 109 |
| 4.10.1 | 矿石性质与矿物结构   | 109 |
| 4.10.2 | 应用领域与技术指标要求 | 109 |
| 4.10.3 | 加工技术        | 109 |
| 4.11   | 透辉石和透闪石     | 111 |
| 4.11.1 | 矿石性质与矿物结构   | 111 |
| 4.11.2 | 应用领域与技术指标要求 | 111 |
| 4.11.3 | 加工技术        | 112 |
| 4.12   | 蓝晶石、红柱石、硅线石 | 112 |
| 4.12.1 | 矿石性质与矿物结构   | 112 |
| 4.12.2 | 应用领域与技术指标要求 | 113 |
| 4.12.3 | 加工技术        | 114 |
| 4.13   | 蛭石          | 115 |
| 4.13.1 | 矿石性质与矿物结构   | 115 |
| 4.13.2 | 应用领域与技术指标要求 | 116 |
| 4.13.3 | 加工技术        | 117 |
| 4.14   | 珍珠岩、黑曜岩、松脂岩 | 118 |
| 4.14.1 | 矿石性质与矿物结构   | 118 |
| 4.14.2 | 应用领域与技术指标要求 | 118 |
| 4.14.3 | 加工技术        | 119 |
| 4.15   | 沸石          | 122 |
| 4.15.1 | 矿石性质与矿物结构   | 122 |
| 4.15.2 | 应用领域与技术指标要求 | 123 |
| 4.15.3 | 加工技术        | 124 |
| 4.16   | 海泡石         | 124 |
| 4.16.1 | 矿石性质与矿物结构   | 124 |
| 4.16.2 | 应用领域与技术指标要求 | 125 |
| 4.16.3 | 加工技术        | 127 |

|                   |             |     |
|-------------------|-------------|-----|
| 4.17              | 凹凸棒石        | 128 |
| 4.17.1            | 矿石性质与矿物结构   | 128 |
| 4.17.2            | 应用领域与技术指标要求 | 129 |
| 4.17.3            | 加工技术        | 131 |
| 4.18              | 锆英石         | 132 |
| 4.18.1            | 矿石性质与矿物结构   | 132 |
| 4.18.2            | 应用领域与技术指标要求 | 132 |
| 4.18.3            | 加工技术        | 133 |
| 4.19              | 石榴石         | 134 |
| 4.19.1            | 矿石性质与矿物结构   | 134 |
| 4.19.2            | 应用领域与技术指标要求 | 135 |
| 4.19.3            | 加工技术        | 137 |
| 4.20              | 累托石         | 138 |
| 4.20.1            | 矿石性质与矿物结构   | 138 |
| 4.20.2            | 应用领域与技术指标要求 | 138 |
| 4.20.3            | 加工技术        | 139 |
| 4.21              | 电气石         | 139 |
| 4.21.1            | 矿石性质与矿物结构   | 139 |
| 4.21.2            | 应用领域与技术指标要求 | 140 |
| 4.21.3            | 加工技术        | 140 |
| 4.22              | 硅藻土         | 141 |
| 4.22.1            | 矿石性质与矿物结构   | 141 |
| 4.22.2            | 应用领域与技术指标要求 | 141 |
| 4.22.3            | 加工技术        | 142 |
| <b>第5章 硫酸盐矿物</b>  |             | 146 |
| 5.1               | 重晶石         | 146 |
| 5.1.1             | 矿石性质与矿物结构   | 146 |
| 5.1.2             | 应用领域与技术指标要求 | 146 |
| 5.1.3             | 加工技术        | 148 |
| 5.2               | 天青石         | 151 |
| 5.2.1             | 矿石性质与矿物结构   | 151 |
| 5.2.2             | 应用领域与技术指标要求 | 151 |
| 5.2.3             | 加工技术        | 151 |
| 5.3               | 石膏          | 153 |
| 5.3.1             | 矿石性质与矿物结构   | 153 |
| 5.3.2             | 应用领域与技术指标要求 | 154 |
| 5.3.3             | 加工技术        | 154 |
| 5.4               | 明矾石         | 157 |
| 5.4.1             | 矿石性质与矿物结构   | 157 |
| 5.4.2             | 应用领域与技术指标要求 | 158 |
| 5.4.3             | 加工技术        | 158 |
| <b>第6章 碳质非金属矿</b> |             | 159 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 6.1 石墨 .....              | 159        |
| 6.1.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 159        |
| 6.1.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 160        |
| 6.1.3 加工技术 .....          | 164        |
| 6.2 金刚石 .....             | 173        |
| 6.2.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 173        |
| 6.2.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 175        |
| 6.2.3 加工技术 .....          | 177        |
| <b>第7章 其他非金属矿 .....</b>   | <b>179</b> |
| 7.1 萤石 .....              | 179        |
| 7.1.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 179        |
| 7.1.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 179        |
| 7.1.3 加工技术 .....          | 180        |
| 7.2 金红石、钛铁矿 .....         | 182        |
| 7.2.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 182        |
| 7.2.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 182        |
| 7.2.3 加工技术 .....          | 183        |
| 7.3 磷矿 .....              | 186        |
| 7.3.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 186        |
| 7.3.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 186        |
| 7.3.3 加工技术 .....          | 188        |
| 7.4 硼矿 .....              | 189        |
| 7.4.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 189        |
| 7.4.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 190        |
| 7.4.3 加工技术 .....          | 192        |
| 7.5 钾矿 .....              | 193        |
| 7.5.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 193        |
| 7.5.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 194        |
| 7.5.3 加工技术 .....          | 194        |
| 7.6 水镁石 .....             | 195        |
| 7.6.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 195        |
| 7.6.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 196        |
| 7.6.3 加工技术 .....          | 197        |
| <b>第8章 天然复合非金属矿 .....</b> | <b>199</b> |
| 8.1 麦饭石 .....             | 199        |
| 8.1.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 199        |
| 8.1.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 199        |
| 8.1.3 加工技术 .....          | 200        |
| 8.2 玄武岩、辉绿岩 .....         | 200        |
| 8.2.1 矿石性质与矿物结构 .....     | 200        |
| 8.2.2 应用领域与技术指标要求 .....   | 200        |
| 8.2.3 加工技术 .....          | 201        |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 8.3 浮石、火山灰 .....        | 203 |
| 8.3.1 矿石性质与矿物结构 .....   | 203 |
| 8.3.2 应用领域与技术指标要求 ..... | 204 |
| 8.3.3 加工技术 .....        | 206 |
| 8.4 铝土矿 .....           | 206 |
| 8.4.1 矿石性质与矿物结构 .....   | 206 |
| 8.4.2 应用领域与技术指标要求 ..... | 207 |
| 8.4.3 加工技术 .....        | 208 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 211 |
|------------|-----|

# 第1章 绪 论

## 1.1 现代产业发展与非金属矿

非金属矿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原(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 世纪的朝阳工业之一。

人类在进入 21 世纪后,以电子信息、生物、航空航天、海洋开发以及新材料和新能源为主的高技术与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或矿物材料密切相关。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;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产业有关;石墨、石棉、云母、石英等与航空航天技术及产业有关。因此,高技术和新材料产业与非金属矿密切相关,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;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与高岭土基催化剂、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。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，环境保护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、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。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，超细水镁石用作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，其用途又多种多样。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很多方案，但从分类的原则而言，大体上有三种：以地质成因分类原则；以产品价值分类原则；以工业用途分类原则。

目前多按非金属矿的工业用途进行分类，我国分为 6 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 14 类：磨料、陶瓷原料、化工原料、建筑材料、电子及光学材料、肥料矿产、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归纳分类。

表 1-1 主要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、凹凸棒土、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、隔音材料 | 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、大理石、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(10~1000 $\mu\text{m}$ )、超细粉(0.1~10 $\mu\text{m}$ )、超微细粉或一维、二维纳米粉(0.001~0.1 $\mu\text{m}$ )、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、胶凝材料、造纸、建材等     |
| 2  | 力学功能材料 | 石棉、石膏、石墨、花岗岩、大理石、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、蛋白土等                               | 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、贮热材料、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、通讯、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                                                        | 偏光镜片、折光镜片、聚光镜片、光学玻璃、光导纤维、滤光片、偏振材料、荧光材料等                  | 通讯、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、油污染处理剂、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、虎珀石、绿松石、金刚石、月光石、磷灰石等 | 装饰石材、珠光云母、彩石、各种宝玉石、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、化妆品添加剂                      | 制药业、生物化学工业、农业、畜牧业、保健饮料、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(包括宝石、玉石)。若不计宝石、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