


# 矿物材料及其 加工工艺



黄万抚 著

 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

国家重点基础研究发展计划  
国家自然科学基金  
江西理工大学优秀学术著作出版基金

---

联合资助

# 矿物材料及其加工工艺

黄万抚 著

北京  
冶金工业出版社  
2012

## 内 容 简 介

本书第1章至第4章介绍了矿物材料的概念、性质、加工工艺和其在各个领域中的应用,第5章至第9章重点介绍了石墨材料、云母材料、黏土矿物、电气石、蛇纹石等用作矿物材料的性质、特点、分类、加工工艺和用途。

本书可供高等院校、科研院所从事矿物加工研究的人员使用,也可供矿物加工工程、非金属材料专业的工程技术人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿物材料及其加工工艺/黄万抚著. —北京:冶金工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-5024-5850-8

I. ①矿… II. ①黄… III. ①矿物—材料—加工  
IV. ①TD91

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第013927号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 美术编辑 李新 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5850-8

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销  
2012年1月第1版, 2012年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32; 7.5印张; 202千字; 228页

25.00元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

材料工业是现代人类文明社会的支柱产业之一。新材料的开发、性能和产量已经成为衡量一个国家现代化程度的标志。矿物材料作为最古老而又新型的材料，是研究直接将矿物作为材料加以应用，可见，矿物材料要求要尽量保留其天然矿物本身的主要特性，因其具有许多特殊功能，矿物材料被纳入功能材料的研究范围。

矿物材料是一类天然的、储量丰富，且具有独特结构的矿物。因其纯度、性状的不同，其用途也大不相同。矿物材料的传统应用领域主要为造纸、橡胶填料、涂料等。如何提高矿物材料的性状，使其具有更广阔的用途和更高的附加值，是各矿物学家乃至材料学家急需解决的主要问题。

本书将努力以科学的视角，表述矿物材料及其加工工艺，以及所获产品的性状特点，揭示矿物与所制备的各类功能材料间的内在关联。加之，近年来，有关传统天然矿物制备各类功能材料、复合材料的报道越来越多，我们希望在本书中能有所反映。

全书共分9章，第1章主要介绍矿物材料的特点，包括矿物材料的基本性质、研究开发工艺和分类；第2章主要介绍矿物材料的性质，包括矿物材料的颗粒特性、光学性质、力学性质、热学性质、电磁学性质；第3章主要介绍矿物材料的常用加工工艺，包括矿物材料提纯工艺、颗粒形态处理工艺、热处理工艺、界面处理及改性工艺、改型处理、产品的成形及后处理等；第4章主要介绍各领域中的应用矿物材料情况，包括矿物保温材料、绝缘矿物材料、填料矿物材料、

## II 前言

农用矿物材料、药用矿物材料、环保矿物材料、研磨矿物材料、宝石矿物材料、矿物功能材料等；第5章主要介绍石墨材料，包括石墨的性质、石墨坩埚、石墨层间化合物、氟化石墨和柔性石墨、胶体石墨、石墨烯；第6章主要介绍云母材料，包括片状云母及云母纸的加工工艺、云母粉、云母陶瓷、云母塑料、珠光云母；第7章主要介绍黏土矿物，包括黏土和黏土矿物、黏土矿物的物理化学性质、高岭石、蒙脱石、坡缕石、海泡石、累托石、硅藻土、伊利石；第8章主要介绍电气石，包括电气石的物理化学性质、水溶液特性及其在水处理中的应用；第9章主要介绍蛇纹石，包括蛇纹石的物理化学性质、分类、鉴定特征、用途、综合利用等。

本书是作者多年讲学和开展相关科研工作的成果汇总，相关研究内容先后获得“国家重点基础研究发展计划”（2011CB411913）、“国家自然科学基金”（50864005）和“江西理工大学优秀学术著作出版基金”等资助，在此作者对各资助单位及为本书写作、出版提供了无私帮助的各位表示衷心的感谢。

本书力图详细介绍矿物材料及其加工工艺，但由于作者水平和视野所限，加上矿物材料领域的发展日新月异，很多新方法、新工艺、新用途不断出现，难以全面阐述，书中不足之处恳请读者指正和赐教。

作者

2011年12月

# 目 录

<b>1 矿物材料概述</b> .....	1
1.1 矿物材料的概念 .....	1
1.2 矿物材料的特点 .....	3
1.3 矿物材料的基本性质 .....	4
1.3.1 光学性质 .....	4
1.3.2 力学性质 .....	4
1.3.3 热学性质和电磁学性质 .....	4
1.3.4 表面性质 .....	4
1.3.5 亲水性与憎水性 .....	5
1.3.6 吸湿性 .....	5
1.3.7 耐久性 .....	5
1.4 矿物材料的研究开发工艺 .....	5
1.5 矿物材料的分类 .....	6
1.5.1 按矿物材料中主要矿物名称分类 .....	6
1.5.2 按矿物材料的结构分类 .....	6
1.5.3 按矿物材料的功能分类 .....	8
1.5.4 按矿物材料的不同领域分类 .....	12
<b>2 矿物材料的性质</b> .....	13
2.1 矿物材料的颗粒特性 .....	13
2.1.1 颗粒的粒径和粒度 .....	13
2.1.2 颗粒的形状 .....	14
2.1.3 颗粒表面和比表面积 .....	17
2.1.4 吸附性 .....	18

## IV 目 录

2.1.5	表面电性 .....	19
2.1.6	矿物与液体的亲和性 .....	20
2.2	矿物材料的光学性质 .....	21
2.2.1	颜色 .....	22
2.2.2	折射率 .....	22
2.2.3	光泽 .....	23
2.2.4	白度 .....	23
2.2.5	透明度 .....	24
2.2.6	发光性 .....	24
2.2.7	条痕 .....	26
2.3	矿物的力学性质 .....	26
2.3.1	硬度与耐磨性 .....	26
2.3.2	解理、断口与裂开 .....	28
2.3.3	机械形变 .....	30
2.3.4	抗压强度、抗折强度和抗拉强度 .....	32
2.3.5	矿物的脆性与延展性 .....	33
2.4	矿物的热学性质 .....	33
2.4.1	导热性 .....	33
2.4.2	热膨胀性 .....	35
2.4.3	耐热性 .....	36
2.5	矿物材料的电磁学性质 .....	36
2.5.1	磁性 .....	36
2.5.2	导电性 .....	38
2.5.3	介电性 .....	39
2.5.4	压电性 .....	40
2.5.5	焦电性 .....	41
2.5.6	热电性 .....	41
3	矿物材料的常用加工工艺 .....	42
3.1	矿物材料提纯工艺 .....	42

3.1.1	石英的提纯 .....	43
3.1.2	氧化法除铁提纯高岭土 .....	44
3.2	矿物材料的颗粒形态处理工艺 .....	45
3.2.1	矿物材料的颗粒形态处理目的 .....	45
3.2.2	矿物材料的颗粒形态处理工艺方法 .....	46
3.3	矿物材料的热处理工艺 .....	48
3.3.1	脱除矿物中所含的水分 .....	48
3.3.2	热分解 .....	49
3.3.3	烧成 .....	50
3.3.4	熔融 .....	50
3.4	矿物材料的界面处理及改性工艺 .....	51
3.4.1	物理处理技术 .....	51
3.4.2	化学处理技术 .....	53
3.5	矿物材料的改型处理 .....	56
3.6	矿物材料产品的成形及后处理 .....	57
3.6.1	成形工艺 .....	57
3.6.2	固化工艺 .....	61
3.6.3	产品后处理工艺 .....	62
3.7	对矿物材料进行加工的意义 .....	63
<b>4</b>	<b>各领域中应用矿物材料概述 .....</b>	<b>64</b>
4.1	矿物保温材料 .....	64
4.1.1	保温材料 .....	64
4.1.2	矿物保温材料的分类 .....	66
4.1.3	矿物保温材料的研究与开发 .....	68
4.2	绝缘矿物材料 .....	68
4.2.1	绝缘材料 .....	68
4.2.2	绝缘矿物材料的分类 .....	70
4.2.3	绝缘矿物材料的研究进展 .....	70
4.3	填料矿物材料 .....	71



## VI 目 录

4.3.1	塑料填料矿物	71
4.3.2	橡胶填料矿物	74
4.3.3	纸张填料矿物	76
4.3.4	涂料填料矿物	77
4.4	农用矿物材料	79
4.4.1	肥料矿物材料	79
4.4.2	饲料矿物材料	81
4.4.3	农药用矿物材料	82
4.4.4	土壤改良矿物材料	83
4.5	药用矿物材料	84
4.5.1	药材矿物材料	84
4.5.2	药用助剂矿物材料	86
4.5.3	保健矿物材料	87
4.6	环保矿物材料	87
4.6.1	治理大气污染的矿物材料	88
4.6.2	治理水污染的矿物材料	88
4.6.3	处理放射性污染的矿物材料	90
4.7	研磨矿物材料	90
4.8	宝石矿物材料	91
4.8.1	宝石的特征	91
4.8.2	宝石的光学特征	92
4.8.3	宝石的瑕疵	93
4.8.4	宝石颜色的优化	94
4.8.5	人造宝石	94
4.9	矿物功能材料	96
4.9.1	矿物电学功能材料	97
4.9.2	矿物光学功能材料	98
5	石墨材料	100
5.1	石墨的性质	100

5.1.1	石墨的矿石类型 .....	100
5.1.2	石墨的物理化学性质 .....	101
5.1.3	石墨的用途 .....	104
5.2	石墨坩埚 .....	105
5.2.1	石墨坩埚的性质和用途 .....	105
5.2.2	石墨坩埚生产配方 .....	106
5.2.3	石墨坩埚的生产工艺 .....	107
5.2.4	首饰铸造石墨坩埚 .....	111
5.3	石墨层间化合物 .....	112
5.3.1	石墨层间化合物的结构和分类 .....	112
5.3.2	石墨层间化合物的制造方法 .....	114
5.3.3	石墨层间化合物的用途 .....	117
5.4	氟化石墨和柔性石墨 .....	120
5.4.1	氟化石墨 .....	120
5.4.2	柔性石墨 .....	123
5.5	胶体石墨 .....	124
5.5.1	胶体石墨的制取 .....	125
5.5.2	胶体石墨的应用 .....	125
5.6	石墨烯 .....	126
5.6.1	石墨烯的性质 .....	126
5.6.2	石墨烯的制备 .....	127
5.6.3	石墨烯的应用 .....	127
6	云母材料 .....	129
6.1	云母的特征 .....	129
6.1.1	云母的结构和组成 .....	129
6.1.2	云母的性质和用途 .....	131
6.2	片状云母及云母纸的加工工艺 .....	135
6.2.1	片状云母的加工工艺 .....	135
6.2.2	云母纸的制造工艺 .....	135

## VIII 目 录

6.2.3 云母纸的品种 .....	140
6.3 云母粉 .....	140
6.3.1 云母粉的性质及用途 .....	140
6.3.2 云母粉的生产工艺 .....	142
6.3.3 云母粉的质量标准 .....	143
6.4 云母陶瓷 .....	145
6.4.1 云母陶瓷的性质及应用 .....	145
6.4.2 云母陶瓷的生产工艺 .....	146
6.5 云母塑料 .....	150
6.5.1 云母塑料的特性 .....	150
6.5.2 云母塑料的制造方法和生产工艺 .....	152
6.6 珠光云母 .....	152
6.6.1 云母钛的生产工艺 .....	153
6.6.2 云母钛的用途 .....	155
7 黏土矿物 .....	156
7.1 概述 .....	156
7.1.1 黏土 .....	156
7.1.2 黏土矿物 .....	156
7.2 黏土矿物的物理化学性质 .....	158
7.2.1 吸附性 .....	158
7.2.2 膨胀性 .....	162
7.2.3 流变性 .....	166
7.2.4 可塑性和黏结性 .....	167
7.2.5 黏土矿物与有机质的相互作用 .....	169
7.2.6 催化性 .....	169
7.3 高岭石 .....	169
7.3.1 高岭石的物理化学性质 .....	170
7.3.2 高岭石的应用 .....	172
7.4 蒙脱石 .....	175

7.4.1	蒙脱石的物理化学性质 .....	176
7.4.2	蒙脱石的应用 .....	179
7.5	坡缕石、海泡石 .....	183
7.5.1	坡缕石、海泡石的物理化学性质 .....	184
7.5.2	坡缕石、海泡石的应用 .....	187
7.6	累托石 .....	191
7.6.1	累托石的物理化学性质 .....	191
7.6.2	累托石的应用 .....	193
7.7	硅藻土 .....	194
7.7.1	硅藻土的物理化学性质 .....	196
7.7.2	硅藻土的应用 .....	199
7.8	伊利石 .....	204
7.8.1	伊利石的物理化学性质 .....	204
7.8.2	伊利石的应用 .....	205
<b>8</b>	<b>电气石 .....</b>	<b>207</b>
8.1	概述 .....	207
8.2	电气石的物理化学性质 .....	207
8.3	电气石的水溶液特性 .....	209
8.3.1	电气石对水溶液中离子的吸附作用 .....	209
8.3.2	电气石对水 pH 值的调节 .....	209
8.3.3	电气石对水的电解作用 .....	210
8.4	电气石在水处理中的应用 .....	210
8.4.1	在废水治理中的应用 .....	210
8.4.2	改善饮用水的水质 .....	211
8.4.3	改善海水利于水产养殖 .....	212
8.4.4	使水的矿物质和微量元素提高 .....	212
<b>9</b>	<b>蛇纹石 .....</b>	<b>214</b>
9.1	蛇纹石的物理化学性质 .....	214

## X 目 录

9.2 蛇纹石的分类 .....	215
9.3 蛇纹石的鉴定特征 .....	216
9.4 蛇纹石的用途 .....	217
9.5 蛇纹石的综合利用 .....	217
9.5.1 制造耐火材料 .....	217
9.5.2 蛇纹石陶瓷 .....	219
9.5.3 提取氧化镁 .....	219
9.5.4 提取硫酸镍 .....	220
9.6 蛇纹石矿的其他综合利用 .....	222
参考文献 .....	223



# 1 矿物材料概述

## 1.1 矿物材料的概念

矿物材料学是一门新型学科，它是介于矿物学、选矿学、材料学之间的边缘学科，研究将自然界的矿物如何直接作为材料而加以利用。所谓矿物材料是将矿物直接作为材料应用，其最大的特点是保留矿物本身的主要特性。矿物材料是以天然矿物（主要是非金属矿物）和岩石为主要原料，以利用其技术物理性能和化学性能为主要目的，经过必要的加工处理和制备后所获得的材料产品。

通常将矿物分为三类：金属矿物、非金属矿物和燃料矿物。金属矿物是指通过冶炼提取其中的金属元素为最终利用目的的矿物，如铁矿物是通过冶炼后提取利用其中的铁元素，钨矿物则是通过冶炼提取利用其中的钨。非金属矿物则大多数是指直接利用其天然矿物所固有的物理化学特性的一些矿物，如高岭土、石英等，都是直接用作材料应用的矿物。燃料矿物是指通过热化学反应，提取利用其中的热能的矿物，如煤主要是通过燃烧后获取其中的热能。显然，传统意义上的金属矿物和燃料矿物的利用手段是以改变矿物原有的化学结构来达到利用的目的，即改变了矿物本身的微观结构，来实现矿物的价值；非金属矿物则利用了其宏观结构的技术物理特性，大多不改变矿物的微观结构。根据矿物材料的定义可知，矿物材料与目前应用的非金属矿物相近，但又包含了金属矿物和燃料矿物，即只要是不破坏目前应用的金属矿物或燃料矿物原有的微观结构，且保留其宏观的技术物理特性而加以利用，则这种金属矿物或燃料矿物也属于矿物材料，如赤铁矿可直接用作铁红，此时的赤

## 2 1 矿物材料概述

铁矿即是矿物材料。所以，矿物材料的范畴比目前的非金属矿物的范畴大。广义地说，矿物材料包含了自然界中的各种矿物，包括金属矿物、非金属矿物和燃料矿物。

矿物材料的应用可以说是最古老的。远在石器时代，人类就使用了天然矿物制作工具，但当时只是一种无意识的应用。随着社会的发展，人类逐渐掌握了金属的冶炼技术，金属材料的应用也逐渐得到了发展，并渐渐超过了天然矿物的应用，到了铜器时代和铁器时代，已经是金属材料占绝对优势。但在近代，随着研究手段的发展及人类对天然矿物性质的深入了解，人们发现天然矿物有许多性质是人造物品所无法与之相比的。如耐高温材料，人类至今也未能造出可达到石墨矿的耐高温性能的材料，石墨矿熔点为  $3850^{\circ}\text{C}$ ，汽化温度为  $4500^{\circ}\text{C}$ ，在  $7000^{\circ}\text{C}$  的超高温条件下加热 10s 的质量损失为 0.8%，而人造的最耐高温金属材料在此条件下的质量损失为 12.9%，并且在  $2500^{\circ}\text{C}$  时石墨的强度反而比室温时的强度提高一倍。又比如耐腐蚀抗氧化性能方面，许多天然矿物也大大优于金属材料的耐腐蚀抗氧化性能。正因为如此，对天然矿物的开发和利用又重新受到了人们的重视，并获得了迅速地发展。现在对矿物材料的开发应用程度已是衡量一个国家工业化程度的标志。有人曾说 21 世纪将是人类的第二个石器时代，这是指在 21 世纪人类将大量地开发应用矿物材料。还有人说当一个国家的经济中矿物材料的产值首次超过金属矿物的产值时，即是这个国家工业成熟的界线。矿物材料的产值超过金属矿物产值的现象在英国、美国两个国家中出现的时间为：英国在 20 世纪初，美国在 1934 年，到了 20 世纪 70 年代这两个国家中矿物材料与金属矿物的产值比达到 2:1，到 1986 年达到 3:1。世界范围内，自 20 世纪 50 年代开始，矿物材料的消耗量每十年增长 50%~60%，目前年总产值超过 800 亿美元，其中各国的出口量约 300 亿美元，年增长率约 3%。

与发达国家相比，我国对矿物材料的研究和开发时间较晚，

当前年出口额约 6 亿美元，仅占世界出口额的 2%，且大多为未加工的原材料。就我国的矿产资源而言，我国的矿产资源种类繁多，为资源品种大国，且有自身的特点，相当数量的矿产资源储量居于世界前列，如钨、稀土等矿物，因此，在矿物材料的研究和开发方面存在巨大的潜力，尤其是那些针对我国矿产资源特点的矿物材料研究开发工作，前景更加广阔。

## 1.2 矿物材料的特点

矿物材料具有以下特点：

(1) 多用性。多用性是指一种矿物具有多种用途。如纤维蛇纹石石棉有 3000 多种制品应用在不同的方面；以蒙脱石为主要成分的膨润土可用于石油钻井泥浆、铁矿球团黏结剂、食用油的脱色剂、石油的净化、酒和饮料的澄清、污水处理、防水密封、农药载体、化妆品原料等各个行业。

(2) 多样性。所谓多样性是指矿物种类繁多以及矿物性质的复杂性。已知的天然矿物达 3000 多种，成分结构非常复杂，而且每种矿物都具有各自独特的物理化学性质和工艺性质。在 20 世纪初人类开发应用的矿物材料不足 60 种，而现在已开发应用的矿物材料达 200 多种，可见，矿物材料仍有着巨大的研究开发应用潜力。研究开发矿物材料的原则是变无用为有用，变小用为大用。

(3) 储量大，价格低。矿物材料与人工合成材料相比较，一般都具有储藏量巨大，生产成本低的特点。

(4) 应用面广。目前矿物材料的应用几乎已涉及所有的工业领域，包括建材、冶金、化工、机械、轻纺、电子、农业、食品、医药、环保、宝石、工艺美术等各个领域和部门，尤其是那些需要抗高强、高速、耐高温、轻质、绝缘、耐腐蚀等特殊要求的地方，更是矿物材料大显身手的地方。

(5) 替代性强。替代性强是指那些具有相似性质的矿物在应用中可以相互替代。



(6) 经济效益显著。矿物材料的研究开发,可获得巨大的经济效益,且随着矿物材料的开发深度和广度不同,所得到的经济效益也不一样。如散装膨润土 30 美元/t,有机膨润土 2400~3600 美元/t,增值达 80~120 倍;石墨原矿 500 美元/t,石墨密封材料 7000 美元/t,增值达到 14 倍,而石墨乳为 10000 美元/t,增值达到 20 倍。

### 1.3 矿物材料的基本性质

矿物材料的基本性质包括矿物材料的光学性质、力学性质、热学性质、电磁学性质和表面性质等。

#### 1.3.1 光学性质

矿物材料的光学性质是指矿物性质中与光有关的性质,包括颜色、折射率、光泽、白度、透明度、发光性、反射性等,如宝石材料要求具有美丽的颜色,纸张填料要求具有高的白度,石材方面还要求具有一定的光泽度。所谓光泽度是指物质表面对光的反射量。白钨矿和萤石等在紫外线照射下会发出荧光。

#### 1.3.2 力学性质

矿物材料的力学性质是指矿物在外力作用下所表现出来的各种物理性质,包括矿物的密度、硬度、耐磨性、解理、机械形变、抗压强度、抗折强度、抗拉强度等。

#### 1.3.3 热学性质和电磁学性质

矿物材料的热学性质和电磁学性质是指矿物在受热状态中或处于电磁场中时所表现出来的各种性质,包括导热性、膨胀性、耐热性、磁性、导电性、介电性、压电性、焦电性等。

#### 1.3.4 表面性质

矿物材料的表面性质是指矿物材料颗粒的各种表面性质,