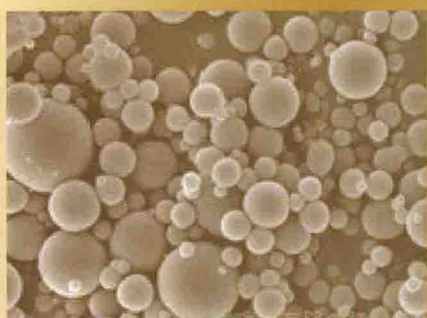
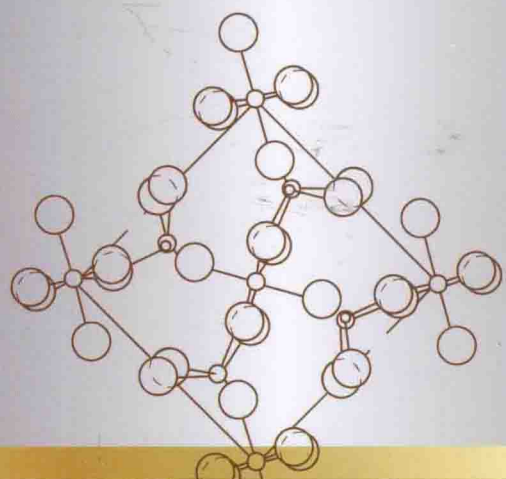


第二版

非金属矿物材料

FEIJINSHU
KUANGWU
CAILIAO

郑水林 孙志明 编著



化学工业出版社

第二版

非金属材料

FEIJINSHU
KUANGWU
CAILIAO

郑水林 孙志明 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统论述了非金属矿物材料的定义与特征、分类、用途、主要研究内容和发展趋势；对非金属矿物材料原材料的结构和性能进行了全面介绍；并按照材料的功能性系统论述了非金属矿物填料和颜料、摩擦材料、密封材料、保温隔热材料、电功能材料、胶凝与流变特性调节材料以及非金属矿物吸附、催化与环保材料、生态修复与健康材料、聚合物/黏土纳米复合材料等非金属矿物材料的结构、性能、加工、应用及其加工和应用基础。有关内容较第一版在广度和深度上做了相当大的拓展。全书共 11 章。

本书可供从事非金属矿物材料、矿物材料、无机非金属材料、复合材料、功能材料以及矿物加工、非金属矿深加工、化工、轻工、环境工程等相关专业领域的科研和工程技术人员以及大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

非金属矿物材料/郑水林, 孙志明编著. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2016. 4
ISBN 978-7-122-26224-0

I. ①非… II. ①郑…②孙… III. ①非金属矿物-工
程材料 IV. ①TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 022823 号

责任编辑: 朱 彤
责任校对: 边 涛

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 620 千字 2016 年 6 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: 85.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

非金属矿物材料是近十多年来发展迅速的新型无机功能材料,广泛应用于航空航天、电子信息、机械、冶金、建筑、建材、生物、化工、轻工、食品、环境保护、生态修复、快速交通、通信等现代产业领域,是21世纪各国着力开发的新型无机功能材料或非金属矿深加工材料。《非金属矿物材料》第一版自2007年5月出版以来,受到业内专家学者和工程技术人员喜爱,作者表示感谢。鉴于该领域的快速发展,修订和再版出版以适应广大读者的新需求是必要的,也是很有意义的。

本次新修订的《非金属矿物材料》(第二版)总体上继承了初版的结构和特点,根据非金属矿物材料领域近十年的科技进展和生产实践主要做了如下修订工作。

(1) 结构方面 增加了生态修复与健康材料(第10章);调整了第3章,将初版3.3节(非金属矿物填料的表面改性)和3.4节(非金属矿物颜料的表面改性)合并为一节;同时增加典型非金属矿物填料和颜料的制备与改性(3.4节);各章节的标题也由按材料名称设置改为按材料功能设置,以材料功能性为主线;删除了原书建筑装饰材料(第10章)。

(2) 内容方面 新增生态修复与健康材料(第10章);第2章增补了石墨烯和蛋白土;第3章增补了典型非金属矿物填料和颜料的制备与改性;第4章中增补了蛇纹石减磨材料;第6章增补了相变储能材料;第7章增补了抗静电材料和电子塑封料;第8章增补了石灰和镁质胶凝材料;第9章增补了硅藻土负载纳米零价铁复合材料、沸石负载 TiO_2 复合材料、氮掺杂纳米 TiO_2 /凹凸棒石复合材料、纳米 TiO_2 /海泡石复合光催化材料以及农药与化肥载体等内容。同时,对本书第一版第3章3.3节(非金属矿物填料的表面改性)和3.4节(非金属矿物颜料的表面改性)的内容进行合并和精简,对3.2节(非金属矿物填料与颜料的制备)进行了凝练和精简;对其余各章节均进行了不同程度的修订,特别是第9章的硅藻土选矿和硅藻矿物材料,补充、完善了我国“十二五”科技支撑计划重点项目课题的研究成果。

本书的第10章(生态修复与健康材料)以及第4章4.4.3节(蛇纹石减磨材料)、第6章6.6节(相变储能材料)、第7章7.4节(抗静电材料)和7.5节(电子塑封材料)、第9章9.2.4节和9.2.5节、9.3.6节、9.4.6节、9.6.5节(海泡石农药与化肥载体)等由中国矿业大学(北京)孙志明博士撰写,其余部分由中国矿业大学(北京)郑水林教授修订和撰写。

非金属矿物材料学科目前仍处于快速发展之中,涉及的材料功能范围和应用领域较宽,近十年来国内外该领域的科学研究和技术创新非常活跃,许多新品种、新的加工与制备技术及新的用途和市场还在不断开发之中。面对这样一门新学科,虽然近15年来,非金属矿物材料一直是作者团队最主要的研究领域和方向,在本文的撰写过程中也结合长期科研和教学实践体会进行了认真的思考、总结、分析,提出了自己的观点。但书中肯定还存在不足之处,欢迎读者和专家学者批评斧正!

编著者
2015年12月

第一版前言

在现代工业和社会中随处可以见到非金属矿物材料的应用领域，从航空航天、微电子、通信等高新技术产业到建材、交通、电力、石油、化工、机械、轻工等传统产业；从节能、环保新技术领域到现代高速发展的材料工业。非金属矿物材料在现代产业和社会发展中的重要性是毋庸置疑的。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；在加工和应用过程中环境负荷小，污染轻。它是 21 世纪各国着力开发的新型无机非金属功能材料。非金属矿物材料开发和应用的程度和水平也从一个侧面反映了现代社会和工业的发达程度。

非金属矿物材料是从事矿物学、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。进入 21 世纪后非金属矿物材料的研究开发呈现出前所未有的热度。但什么是非金属矿物材料？它的内涵、范围及特征是什么？目前一直没有定论。在已公开出版的有关著作中，非金属矿物材料研究、开发和科研工作者，常常自觉或不自觉地将玻璃、陶瓷、耐火材料等纳入非金属矿物材料；也有一些著述中将矿物加工作为矿物材料的一部分进行论述。时至今日，虽然非金属矿物材料在国民经济各部门及社会生活中得到了广泛应用，在我国某些高等学校已作为专科或本科专业，矿物材料工程专业也已经作为一级学科矿业工程或材料科学与工程专业下设置的二级学科博士点和硕士点，但对于非金属矿物材料或矿物材料的定义、内涵及其特征目前尚未进行专门的讨论和规范。

本书作为一本系统论述非金属矿物材料的专著，参考国内外有关矿物材料和非金属矿物材料的论述和 2005 年非金属矿工业协会受我国科技部委托组织完成的《非金属矿物材料发展战略研究报告》，对非金属矿物材料进行了定义，并提出了非金属矿物材料的特征和主要研究内容。在此基础上，首先主要对非金属矿物材料原材料的结构和性能进行了较全面的介绍。然后，按照功能性将非金属矿物材料分为非金属矿物填料和颜料、非金属矿物基摩擦材料、非金属矿物基密封材料、非金属矿物保温隔热材料、非金属矿物基电功能材料、非金属矿物胶凝与流变材料、非金属矿物吸附、催化与环保材料、建筑装饰材料、聚合物/黏土纳米复合材料等 9 大类，分别对其结构、性能、品种、加工、应用等进行了系统论述。全书共 11 章。

本书在撰写过程中，着力考虑系统性、科学性和在研究开发及生产中的实用性。考虑到热力学性质是非金属矿物材料研究开发的重要基础数据，本书第 2 章收集整理了各种非金属矿物材料的主要热力学参数；在材料的加工技术中，尽量选择目前先进的工业化技术或中试生产技术，同时注意介绍材料的制备基础或加工原理；在加工设备中尽量介绍先进的工业化设备。另外，特别关注新技术和新材料的开发，如环境功能材料、黏土纳米复合材料等。

本书的第 1~10 章由郑水林撰写，第 11 章由杨敏撰写。在写作过程中，参考了大量前人和同行专家学者的相关著作、论文，对此，深表感谢！

非金属矿物材料是一门年轻的学科，涉及的领域较宽。许多新的品种、新的加工与制备技术及新的用途和市场还在不断开发中。与材料性能与应用相关的基础研究也在广泛开展；与此相关的论文、专利文献浩如烟海。对这样一门新学科，虽然作者在该领域的研究开发和教学方面做了一些工作，在本文的撰写过程中也做了认真的思考、分析，提出了自己的观点，但书中肯定还存在不足之处，欢迎读者和专家学者批评斧正！

编者
2007 年 2 月

目 录

1 绪论	1
1.1 非金属矿物材料的定义与特征	1
1.2 非金属矿物材料的用途与分类	1
1.2.1 非金属矿物材料的用途	1
1.2.2 非金属矿物材料的分类	2
1.3 非金属矿物材料的主要研究内容	3
1.4 非金属矿物材料的发展趋势	4
2 非金属矿物原材料的结构与性能	6
2.1 碳酸盐矿物	6
2.1.1 方解石	6
2.1.2 白云石	8
2.1.3 菱镁矿	9
2.2 硫酸盐矿物	11
2.2.1 石膏	11
2.2.2 重晶石与天青石	17
2.2.3 明矾石	18
2.3 碳质非金属矿物	19
2.3.1 石墨	19
2.3.2 石墨烯	23
2.3.3 金刚石	23
2.4 层状硅酸盐矿物	26
2.4.1 滑石	27
2.4.2 云母	29
2.4.3 叶蜡石	32
2.4.4 高岭土	35
2.4.5 膨润土	37
2.4.6 绿泥石	42
2.4.7 纤蛇纹石石棉	43
2.4.8 蛭石	45
2.4.9 伊利石	45
2.5 链状结构硅酸盐矿物	46
2.5.1 硅灰石	46
2.5.2 透辉石	49
2.5.3 透闪石	50
2.5.4 硅线石	51
2.5.5 凹凸棒石	52
2.5.6 海泡石	53
2.6 架状结构硅酸盐矿物	54
2.6.1 石英	54
2.6.2 长石	57
2.6.3 沸石	60
2.7 岛状结构硅酸盐矿物	63

2.7.1	红柱石和蓝晶石	63
2.7.2	锆英石	68
2.7.3	石榴子石	70
2.7.4	电气石	72
2.8	其他非金属矿物	73
2.8.1	硅藻土	73
2.8.2	蛋白土	74
2.8.3	水镁石	76
2.8.4	三水铝石	76
2.8.5	金红石	77
3	填料与颜料	79
3.1	非金属矿物填料与颜料的作用和性能	79
3.1.1	非金属矿物填料的作用和性能	80
3.1.2	非金属矿物颜料的作用和性能	85
3.2	非金属矿物填料与颜料的制备	87
3.2.1	粉碎与分级	87
3.2.2	选矿提纯	90
3.2.3	超细粉碎与精细分级	91
3.3	非金属矿物填料与颜料的表面改性	95
3.3.1	有机表面改性	95
3.3.2	无机表面改性	99
3.4	典型非金属矿物填料和颜料的制备与改性	101
3.4.1	碳酸钙	101
3.4.2	高岭土与煅烧高岭土	104
3.4.3	硅灰石	108
3.4.4	云母	109
3.4.5	滑石	114
3.4.6	硅微粉	115
3.4.7	硫酸钡	118
3.4.8	复合无机非金属矿物填料	119
3.4.9	钛白粉的无机表面改性	120
4	摩擦材料	123
4.1	摩擦材料及分类	123
4.2	摩擦材料的结构、组成及技术要求	124
4.2.1	摩擦材料的结构与组成	124
4.2.2	摩擦材料的技术要求	127
4.3	石棉基摩擦材料	128
4.3.1	石棉摩擦制品原料	128
4.3.2	石棉摩擦材料的制备	130
4.3.3	石棉摩擦材料的品种与配方	134
4.4	润滑减摩材料	137
4.4.1	胶体石墨	137
4.4.2	石墨轴承及自润滑材料	141
4.4.3	蛇纹石减磨材料	142
5	密封材料	145
5.1	石棉基密封材料	145
5.1.1	石棉垫片	145

5.1.2	石棉盘根	150
5.1.3	橡胶石棉垫圈	153
5.2	石墨基密封材料	153
5.2.1	可膨胀石墨	153
5.2.2	膨胀石墨	155
5.2.3	柔性石墨密封材料	159
6	保温隔热材料	163
6.1	概述	163
6.2	矿物纤维型保温隔热材料	163
6.2.1	岩棉及其制品	163
6.2.2	矿渣棉及其制品	165
6.2.3	矿棉吸声板	166
6.2.4	硅酸铝耐火纤维	167
6.3	石棉基保温隔热材料	168
6.3.1	石棉纺织制品	168
6.3.2	石棉保温制品	174
6.4	多孔型保温隔热材料	177
6.4.1	膨胀珍珠岩及其绝热制品	177
6.4.2	膨胀蛭石及其制品	183
6.5	微孔硅酸钙及其制品	187
6.5.1	微孔硅酸钙材料的组成	188
6.5.2	生产工艺	188
6.5.3	产品性能与质量标准	189
6.6	相变储能材料	191
6.6.1	相变储能材料的分类及特点	192
6.6.2	多孔非金属矿复合相变储能材料的制备及性能	193
6.6.3	相变储能材料的应用	197
7	电功能材料	198
7.1	石墨基电功能材料	198
7.1.1	石墨电极	198
7.1.2	显像管用石墨乳	201
7.1.3	氟化石墨	203
7.2	云母基电功能材料	205
7.2.1	云母纸	205
7.2.2	云母纸制品	209
7.3	石棉基电绝缘材料	212
7.3.1	石棉绝缘带	212
7.3.2	电绝缘石棉纸	212
7.3.3	绝缘石棉橡胶板	213
7.4	抗静电材料	213
7.4.1	概述	213
7.4.2	纳米 SnO_2 /硅灰石复合抗静电材料	214
7.4.3	其他纳米金属氧化物/非金属矿复合抗静电材料	217
7.5	电子塑封材料	218
8	胶凝与流变特性调节材料	221
8.1	石膏基胶凝材料	221
8.1.1	β 型半水石膏(建筑石膏)	221

8.1.2	α 型半水石膏(高强石膏)	227
8.1.3	过烧石膏和多相石膏的生产方法与设备	230
8.2	膨润土基胶凝材料	232
8.2.1	胶体级膨润土浆料	232
8.2.2	膨润土凝胶	238
8.2.3	有机膨润土	239
8.3	其他胶凝材料	245
8.3.1	凹凸棒石胶凝材料	245
8.3.2	海泡石胶凝材料	247
8.3.3	累托石胶凝材料	249
8.3.4	石灰	249
8.3.5	镁质胶凝材料	254
9	吸附、催化与环保材料	256
9.1	概述	256
9.2	硅藻土吸附、催化与环保材料	256
9.2.1	硅藻精土	256
9.2.2	硅藻土助滤剂	259
9.2.3	硅藻土催化剂载体	260
9.2.4	纳米 TiO_2 /硅藻土复合光催化材料	262
9.2.5	硅藻土负载纳米零价铁复合材料	265
9.2.6	农药与化肥载体	266
9.3	膨润土吸附、催化与环保材料	267
9.3.1	活性白土	267
9.3.2	柱撑蒙脱石	272
9.3.3	钠化膨润土	274
9.3.4	锂化膨润土	277
9.3.5	其他膨润土吸附材料	277
9.3.6	农药与化肥载体	278
9.4	沸石吸附、催化与环保材料	279
9.4.1	沸石吸附、催化与环保材料的应用	279
9.4.2	活性沸石	280
9.4.3	改型与人工合成沸石	280
9.4.4	无机抗菌型除味剂	284
9.4.5	沸石负载 TiO_2 复合材料	284
9.4.6	沸石农药与化肥载体	286
9.5	凹凸棒石吸附、催化与环保材料	286
9.5.1	热活化改性	286
9.5.2	界面活化改性	287
9.5.3	酸活化改性	288
9.5.4	氮掺杂纳米 TiO_2 /凹凸棒石复合材料	288
9.6	海泡石吸附、催化与环保材料	290
9.6.1	酸处理	290
9.6.2	离子交换改性	291
9.6.3	有机金属配合物改性	292
9.6.4	纳米 TiO_2 /海泡石复合光催化材料	292
9.6.5	海泡石农药与化肥载体	294
9.7	高岭土基吸附与催化材料	294

9.7.1	4A 沸石	294
9.7.2	石油精炼催化剂	295
9.8	电气石基环保材料	296
9.8.1	电气石的主要应用领域	296
9.8.2	电气石的加工	297
9.9	交联累托石	299
9.10	有机插层蛭石	300
10	生态修复与健康材料	302
10.1	概述	302
10.2	矿区生态修复与沙漠治理材料	302
10.3	防渗矿物材料	303
10.4	负离子释放材料	306
10.5	室内调湿材料	307
10.5.1	非金属矿物调湿材料	308
10.5.2	非金属矿物复合调湿材料	310
10.6	硅藻泥	312
11	聚合物/黏土纳米复合材料	315
11.1	聚合物/黏土纳米复合材料及其分类	315
11.2	聚合物/黏土纳米复合材料的制备方法	316
11.2.1	有机黏土的制备	316
11.2.2	插层剂的选择	317
11.2.3	插层的有机化合物	319
11.2.4	原位插层聚合原理	319
11.2.5	黏土插层方法	321
11.3	聚酰胺/黏土纳米复合材料	323
11.3.1	聚酰胺	324
11.3.2	尼龙 6/蒙脱土纳米复合材料	325
11.3.3	应用及前景	328
11.4	环氧树脂/黏土纳米复合材料	328
11.4.1	环氧树脂	329
11.4.2	环氧树脂/蒙脱土纳米复合材料	330
11.4.3	应用及前景	332
11.5	聚烯烃/黏土纳米复合材料	332
11.5.1	聚丙烯/黏土纳米复合材料	333
11.5.2	聚乙烯/黏土纳米复合材料	334
11.5.3	应用及前景	336
11.6	聚酯/蒙脱土纳米复合材料	336
11.6.1	聚酯	336
11.6.2	PET/蒙脱土纳米复合材料	337
11.6.3	PBT/蒙脱土纳米复合材料	340
11.6.4	应用及前景	341
	参考文献	343

1.1 非金属矿物材料的定义与特征

非金属矿物材料指以非金属矿物或岩石为基本原料或主要原料经加工、改造所获得的矿物材料或能直接应用其物理、化学性质的矿物或岩石。非金属矿物材料是具有一定功能的材料,如填料、颜料、摩擦材料、密封材料、保温隔热材料、电功能材料、催化剂载体、吸附材料、生态修复材料、废水处理材料、空气净化材料、阻燃材料、胶凝与流变材料、建筑装饰材料等。现代非金属矿物材料具有以下主要特征。

① 原料或主要组分为非金属矿物或岩石或经过选矿加工的非金属矿物或岩石。

② 非金属矿物材料没有完全改变非金属矿物原料或主要组分的物理、化学性质或结构特征,除了保有原料的天然功能或禀赋外,通过提纯、超细、改性、复合等深加工优化了原矿的性能或具有新的功能。

③ 非金属矿物材料具有环境友好属性,与现代人类社会追求的健康、环保、节能、低碳愿景高度契合。

1.2 非金属矿物材料的用途与分类

1.2.1 非金属矿物材料的用途

非金属矿物材料是人类利用最早的材料。原始人使用的石斧、石刀等就是用非金属矿物或岩石材料制备的。但是,在现代科技革命和新兴产业发展之前的人类文明进化过程中,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、人类生活品质的提高和环境保护意识的觉醒开创了应用非金属矿物材料的新时代。

当今世界,非金属矿物材料广泛应用于化工、机械、能源、汽车、轻工、食品、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修复等领域。

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。石墨、云母、石英、锆英石、金红石基矿物材料等与电子信息产业相关;石墨、重晶石、膨润土、硅质矿物材料等与新能源开发有关;石墨、石棉、云母、石英等与航空航天产业有关。

化工、机械、能源、汽车、轻工、冶金、建材等传统产业的技术进步与产业升级也与非金属矿物材料密切相关。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)的技术进步以及塑钢门窗等高分子基复合材料的兴起每年需要数千万吨活性碳酸钙、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、乳胶漆等高档涂料以及防腐蚀和辐射、道路发光等特种涂料需要大量的超细和

高白度碳酸钙及超细和高白度高岭土、煅烧高岭土、云母粉、珠光云母、着色云母、超细二氧化硅、针状超细硅灰石、有机膨润土等非金属矿物颜料、填料和助剂；冶金工业的技术进步和产业结构调整需要高品质的以白云石、石灰石、菱镁矿等为主要成分的精炼渣、保护渣等辅料；新型生态健康建材和节能产品的发展需要大量的石膏板材与饰面板、花岗岩和大理岩板材与异形材、微孔硅酸钙板、膨胀珍珠岩、硅藻土等保温隔热材料以及石棉制品、人造石材、硅藻泥或硅藻壁材等；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催化剂载体以及以膨润土、凹凸棒石、海泡石等为原料的活性白土、有机黏土及胶凝材料；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、云母等无机功能填料以生产出有益于人类健康的功能纤维。

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。许多非金属矿物和岩石，如硅藻土、沸石、膨润土、凹凸棒石、海泡石、电气石、蛋白土、膨胀蛭石、膨胀石墨、膨胀珍珠岩等为原料制备的环保功能材料具有选择性吸附有害及各种有机和无机污染物的功能，而且具有单位处理成本低、本身与环境友好、不产生二次污染等优点；膨润土、珍珠岩、蛭石等还可用于固沙和改良土壤；以超细水镁石、水菱镁石等为原料制备的无机阻燃功能填料用作高聚物基复合材料的阻燃材料具有低烟、无卤、环境友好等特点。

1.2.2 非金属矿物材料的分类

非金属矿物和岩石原料种类繁多，因此非金属矿物材料的种类也很多。目前的分类方法主要有两种：一种是按非金属矿物材料成分结构和加工特点分类和按非金属材料功能进行分类（见表1.1）；另一种是按矿物材料成分结构和加工特点可分成天然矿物材料、加工改造矿物材料、复合矿物材料和人工合成矿物材料四类。

表 1.1 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 μm ）、超细粉（0.1～10 μm ）、超微细粉或一维、二维纳米粉（0.001～0.1 μm ）、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、多孔隙轻质粉体等	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、大理岩、石英岩、锆英砂、高岭土、长石、金刚石、铸石、石榴子石、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、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、红柱石、蓝晶石、硅线石等	石棉布、石棉片、石棉板、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、保温涂料、耐火材料、碳/石墨复合材料、储热材料等	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

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
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、非线性电阻、云母电容器、云母纸、云母板、煅烧高岭土、硅微粉、球形硅微粉等	电力、微电子、通信、计算机、机械、航空、航天、航海等
5	光功能材料	石英、水晶、冰洲石等	偏光、折光、聚光镜片、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、滑石、硅藻土、石英、高岭土、石墨、重晶石、膨润土、电气石等	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、消光剂等	核工业、军工、化妆(护肤)品、民(军)用服装、农业、涂料、皮革等
7	催化剂载体	沸石、硅藻土、高岭土、海泡石、凹凸棒石、地开石、膨润土等	分子筛、石油催化-裂化剂载体、钒催化剂载体、纳米光催化剂载体等	石油、化工、农药、医药、环保等
8	吸附与环保材料	沸石、硅藻土、海泡石、凹凸棒石、高岭土、地开石、膨润土、皂石、珍珠岩、蛋白土、石墨、蛭石、石灰石、水镁石、水菱镁石等	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、脱硫剂、油污染处理剂、核废料处理剂、固沙材料等	啤酒、饮料、食用油、食品、工业油脂、制药、化妆品、烟气脱硫、家用电器、化工等
9	流变材料	膨润土、皂石、海泡石、凹凸棒石、水云母等	有机膨润土、触变剂、防沉剂、增稠剂、凝胶剂、流平剂、钻井泥浆等	涂料、黏结剂、清洗剂、采油、地质勘探等
10	黏结材料	膨润土、海泡石、凹凸棒石、水云母等	团矿黏结剂、硅酸钠、胶黏剂、铸模材料、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、云母、叶蜡石、蛋白土、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、硅藻土、蛇纹石、高岭土、方解石等	天然装饰石材(大理石、花岗岩板材和异型材)、人造石材(人造大理石、花岗石等)、珠光云母、彩石、各种宝玉石、观赏石、内墙涂料、壁纸等	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、硅藻土、麦饭石、高岭土、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、化妆品添加剂等	制药业、生物化学工业、农业、畜牧业、化妆品等

1.3 非金属矿物材料的主要研究内容

非金属矿物材料的研究内容主要包含以下五个方面。

(1) 非金属矿物材料物理化学

包括非金属矿物原材料的物理、化学性质、热力学性质，材料加工或制备过程的物理化学原理等。

(2) 非金属矿物材料的结构与性能

包括非金属矿物材料的物相、微观结构、孔结构、颗粒大小与形状、比表面积与孔体积以及材料的热、电、磁、声、力、化、流变学等性能；材料结构与性能（包括使用性能）的关系；材料结构与性能的特征等。

(3) 非金属矿物材料加工工艺与装备

包括非金属矿物材料的加工工艺和设备，原材料配方、原材料性质及工艺条件对非金属矿物材料结构和性能的影响；非金属矿物材料制备过程的自动控制等。其核心技术是原料配方、复合技术和加工工艺与设备。功能优化、环境友好或无害化是非金属矿物材料配方技术的主要研究内容；而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加工工艺与设

备研发的主要内容。

(4) 非金属矿物材料的应用

应用技术是非金属矿物材料最重要的研究内容之一。非金属矿物材料既是一种传统基础材料,也是现代高新技术领域中应用的新型功能材料,其应用性能和应用技术有待于通过应用研究去挖掘、完善和提高。通过应用研究还可以促进非金属矿物材料加工技术的进步。非金属矿物材料应用研究的主要内容包括应用性能、应用配方、应用工艺与设备以及检测、评价技术与标准及检测仪器设备等。

(5) 非金属矿物材料的环境服役行为与失效机理

包括材料损伤、失效的诊断和检测的原理与方法;材料损伤、失效过程的环境影响因素,各影响因素的作用规律,失效过程的动力学;控制材料损伤、失效演化过程的物化原理及实用技术;材料使用可靠性、寿命预测和评价的方法和技术;材料实际服役环境的实验模拟技术方法等。

非金属矿物材料涉及结晶学与矿物学、矿物加工、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、化工、环保、生物、机械、电子、自动控制、现代仪器分析与测试等学科。

1.4 非金属矿物材料的发展趋势

非金属矿物材料是现代高温、高压、高速工业的基础材料,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。因此,非金属矿物材料工业是现代社会的朝阳工业之一。中国是全球非金属矿物与岩石资源品种较多、储量较为丰富的国家之一,许多矿种,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将大于金属矿及金属材料。中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以及环境友好型社会发展目标的全面实施将给非金属矿物材料工业带来前所未有的发展机遇。适逢这一难得的历史机遇,中国的非金属矿物材料产业将以较快的速度持续发展。在未来的发展过程中将逐步提升行业的工艺和装备水平,优化产品结构和提高产品技术含量和性能,特别是根据高技术、新材料发展的需要生产适用性好的非金属矿物材料;根据环境保护和循环经济发展的要求提高资源的综合利用率;通过技术、标准等要素促进产品质量的提高和稳定。同时,在国家产业政策的引导和行业协会的推动下,加快集约化经营的步伐,通过协作和竞争催生具有较强自主研发能力、自主知识产权、竞争力较强的大型企业集团。

现代高新技术和新材料的发展是以较高的科技含量、较低的环境负荷和更适应社会发展的需要为前提的,非金属矿物材料也不例外。未来只有适应相关应用领域技术进步和产业发展和环保要求的非金属矿物材料才有可能赢得稳定的市场。因此,未来非金属矿物材料加工技术的发展趋势将是交叉、融合矿物学、矿物加工、化工、材料、机械、电子、信息以及相关应用领域的不同学科,采用超细粉碎、精细分级、提纯、改性、改型、复合等精、深加工技术,发掘和提升非金属矿物材料的功能和应用性能。

功能化是未来非金属矿物材料的主要发展趋势。未来将重点发展与航空航天、海洋开发、生物化工、电子信息、节能节水、环境保护、生态建设、新型建材、新能源、特种涂料、快速交通工具等相关的功能性非金属矿物材料。如石墨密封材料、石墨润滑材料、石墨储能材料、摩擦材料、石墨插层化合物、石墨烯、云母珠光颜料、高温润滑涂料、辐射屏蔽材料、催化剂载体、高性能吸附材料、增强填料、抗菌填料、阻燃填料、化妆品填料和颜料等。与高新技术产业相关的高纯超细石墨粉、石墨密封和润滑材料、石墨、石墨插层化合物、黏土层间化合物

及复合材料、云母珠光与改性颜料、辐射屏蔽材料、高性能磨料与摩擦材料等，与环境保护（废气与废水处理）相关的以硅藻土、蛋白土、膨润土、海泡石、凹凸棒石、沸石等为载体、填料或颜料选择性吸附和光催化活性材料的新型纳米 TiO_2 /多孔矿物复合材料，以非金属矿物为载体、填料或颜料基料的道路标志、防酸雨、抗氧化、防火、耐候、防污、保温隔热等特种涂料；新型轻质、保温、防火、阻燃、节能建材、异型装饰石材和人造石材，具有耐高温、耐冻、耐磨等功能的路面沥青改性填料以及与快速交通工具相关的高性能非金属矿物摩擦材料具有广阔的发展前景。

非金属矿物原材料的结构与性能

2.1 碳酸盐矿物

碳酸盐矿物主要包括方解石、石灰石、冰洲石、白云石和菱镁矿等。碳酸盐矿物材料主要是用于塑料、橡胶、涂料、油墨、造纸的填料和颜料以及耐火材料的原料，无色透明的方解石（冰洲石）因其具有极强双折射率和偏光性能，还可制成各种光学材料，如偏光显微镜的棱镜、偏光仪、光度计、化学分析用的比色计、测距仪等的光学器件，在现代产业发展中起重要作用。

2.1.1 方解石

方解石的主要化学成分是 CaO 和 CO_2 。其理论组成为 CaO 56.03%， CO_2 43.97%，但常含有少量的 MgO 、 SiO_2 、 FeO 等杂质。这些杂质不仅直接影响用方解石加工的矿物填料（重质碳酸钙）的白度指标，而且对重质碳酸钙的应用性能有重要影响。

方解石属三方晶系，其晶体结构（图 2.1）可以与 NaCl 结构对比。如果将 NaCl 的单位晶胞沿三次轴压缩，并将三次轴直立起来，将 Na^+ 代之以 Ca^{2+} ，将 Cl^- 代之以 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 即形成方解石的结构。 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 阴离子团三角四面体皆垂直于三次轴，使整个结构中 O^{2-} 亦成层分布，在相邻的层中 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 的三角形方向相反。 Ca 的配位数为 6。这样与 NaCl 型结构相比，所选取的晶胞呈纯菱面体状，但它不是方解石的单位晶胞。从图 2.1 可见，垂直 $[\text{CO}_3]$ 平面通过对称中心和这种菱面体晶胞的角顶连接图中的 1 和 4 的直线，不难看出，它将依次贯穿两个方向相反的 $[\text{CO}_3]^{2-}$ ，点 1 和点 4 体现了这个方向的重复周期，而连接纯菱面体状晶胞角顶的线段，只相当于该重复周期的一半。因此，这个纯菱面体不是方解石的真正的单位晶胞。而以点 1、4 为角顶的菱面体才是方解石的单位晶胞。

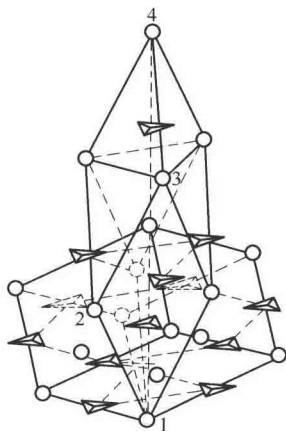


图 2.1 以菱面体晶胞表示的方解石的晶体结构

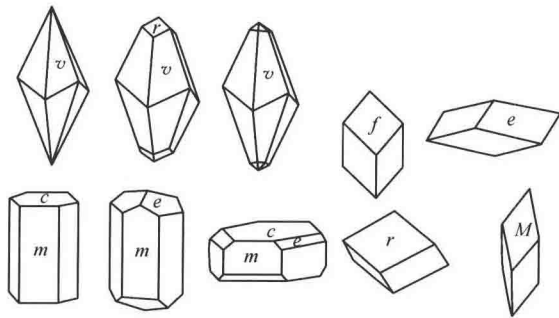


图 2.2 方解石的晶体形态

方解石的晶体结构决定了它具有 $(10\bar{1}1)$ 的完全解理，因为这一方向与 NaCl 的 (100)

电性中和面相类似。

方解石的晶体形态多种多样，不同的聚形多达 600 种以上。常见的单形有平行双面 c (0001)、六方柱 m (10 $\bar{1}$ 0)，菱面体 r (10 $\bar{1}$ 1)、 e (01 $\bar{1}$ 2)、 f (02 $\bar{2}$ 1)、 M (40 $\bar{4}$ 1)，复三方偏三角体 v (21 $\bar{3}$ 1) 和 t (21 $\bar{3}$ 4) 等 (图 2.2)。方解石常依 (0001) 形成接触双晶，依 (01 $\bar{1}$ 2) 形成聚片双晶 (图 2.3)。

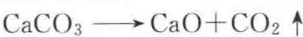
方解石的集合体形态也是多种多样的。有片状 (板状) 或纤维状的方解石，呈平行或近似平行的连生体，还有致密块状 (石灰岩)、粒状 (大理岩)、土状 (白垩)、多孔状 (石灰华)、钟乳状和鲕状、豆状、结核状、葡萄状等。

方解石一般为无色或白色，有些被 Fe、Mn、Cu 等元素或杂质染成浅黄、浅红、紫、褐黑色；莫氏硬度为 3，密度为 2.6~2.9g/cm³。

方解石不耐酸腐蚀，遇酸分解为 CO₂、水和盐，以硫酸为例，其反应式如下：



方解石在 800℃ 以上的高温下煅烧分解为 CaO 和 CO₂。



方解石的主要高温热力学性质如表 2.1 所列。图 2.4 所示为方解石及其他碳酸盐矿物的差热分析曲线。

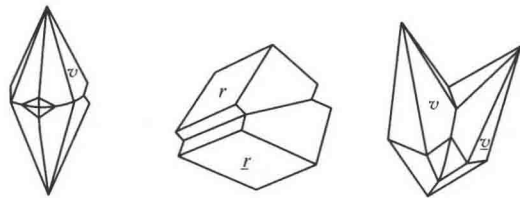


图 2.3 方解石双晶

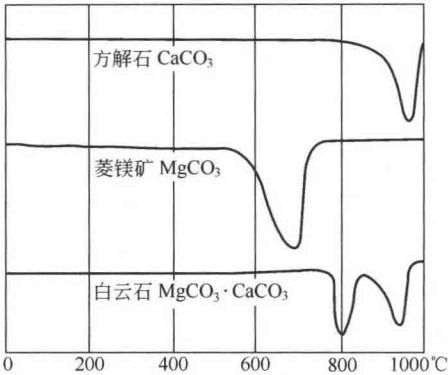


图 2.4 方解石及其他碳酸盐矿物的差热分析曲线

表 2.1 方解石的主要高温热力学性质

温 度 /K	H_T-H_{298} /kJ	S_T	$\frac{-(G_T-H_{298})}{T}$	由元素生成化合物		
			$\Delta H_{f,T}^\ominus$	$\Delta G_{f,T}^\ominus$	$\lg K_T$	
		/[J/(K·mol)]		/(kJ/mol)		
298.15	0.000	91.710	91.710	—1207.469	—1129.000	197.796
400	9.288	118.510	95.288	—1206.490	—1102.351	143.952
500	19.288	140.823	102.247	—1205.279	—1076.480	112.459
600	30.125	160.581	110.373	—1203.795	—1050.869	91.486
700	41.380	177.930	118.817	—1202.402	—1025.497	76.523
800	52.969	193.401	127.195	—1201.235	—1000.329	65.315
900	64.852	207.402	135.344	—1199.971	—975.286	56.604
1000	77.111	220.318	143.207	—1198.785	—950.371	49.642
1100	89.747	232.361	150.773	—1197.620	—925.370	43.954
1200	102.717	243.647	158.049	—1203.762	—900.370	39.192
1300	115.558	153.926	165.034	—1201.693	—875.134	35.163
1400	128.825	263.757	171.739	—1199.270	—850.144	31.719

注： $H_T - H_{298}$ 为温度 T 时的热焓； S_T 为温度 T 时的标准熵； $-(G_T - H_{298})/T$ 为温度 T 时自由能函数之负值； $\Delta H_{f,T}^\ominus$ 为温度 T 时的标准生成热； $\Delta G_{f,T}^\ominus$ 为温度 T 时的标准生成自由能； $\lg K_T$ 为温度 T 时以 10 为底的生成反应的平衡常数的对数值，量纲为 1 (以下同)。