

矿物材料与工程

KUANGWUCAILIAOYUGONGCHENG



主 编 余志伟

副主编 邓慧宇 钱 勇



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

矿物材料与工程

主 编 余志伟

副主编 邓慧宇 钱 勇



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

矿物材料与工程/余志伟主编. —长沙:中南大学出版社,
2012. 12

ISBN 978-7-5487-0720-2

I. 矿... II. 余... III. ①矿物-材料②工艺矿物学
IV. ①P574. 1②P579

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 274391 号

矿物材料与工程

主编 余志伟

☐责任编辑 刘颖维

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 24.25 ☐字数 628 千字

☐版 次 2012 年 12 月第 1 版 ☐2012 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0720-2

☐定 价 48.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

前 言

非金属矿是与人类生产、生活密切相关的重要矿产资源之一。伴随着国民经济的发展,非金属矿物材料在国民经济中的地位越来越重要。《矿物材料与工程》涉及多学科基础理论和专业知识内容,是随着现代科技的发展而发展起来的一门新的学科,是材料学科的一个重要组成部分。它是以矿物加工工程专业和无机非金属材料专业为基础,多学科交叉结合而形成的新型综合性学科。在理论研究与工程应用上都具有十分重要的意义。

本教材是在东华理工大学自1996年以来为材料科学与工程专业和材料化学专业讲授《应用矿物学》和《非金属矿深加工技术》专业课程讲义的基础上,结合课程体系改革,构建适合人才培养目标和要求的课程体系和知识结构,对《应用矿物学》和《非金属矿深加工技术》两门专业课程进行整合、精简和完善而编写完成的。

本教材内容主要包括矿物材料的基本性质、矿物加工工程、矿物材料3部分。矿物材料的基本性质主要论述了矿物材料的化学组成、矿物材料的光学、热学、力学、电磁学性质和表面性质。矿物加工工程部分重点论述矿物材料的超细粉碎与分级技术、选矿与化学提纯技术、表面改性技术和热处理技术等内容。矿物材料部分则对一些重要的非金属矿物材料的组成、结构、性质、应用和综合加工技术进行系统论述。本教材在内容的安排上,既充分考虑矿物材料的加工与矿物材料应用两方面的知识体系,又尽最大可能满足材料学专业教学与材料工程中实际应用的要求。本教材适用于地质、矿业、建材类高校的材料学专业教学,也可作为其他从事矿物材料加工与应用研究的科技工作者的参考书。

本教材的前言、绪论、第二篇矿物加工工程和第三篇矿物材料部分由余志伟编写;第一篇矿物材料的基本性质部分由邓慧宇编写;钱勇参加了第二篇矿物加工工程和第三篇矿物材料部分章节的编写。由余志伟,钱勇负责全书图表的整理工作,邓慧宇负责完成全书内容的校核。教材出版经费主要由东华理工大学学科建设和教材建设项目资助。本书在编写过程中得到了东华理工大学各级领导的关怀和帮助,另外还得到中南大学出版社的大力协助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

2012年11月于南昌

目 录

绪 论	(1)
-----------	-----

第一篇 矿物材料的基本性质

第一章 矿物的化学组成	(9)
第一节 矿物化学组成的一般规律	(9)
第二节 胶体矿物化学组成的特点	(10)
第三节 水在矿物中的存在形式	(10)
第四节 矿物的化学式与计算	(12)
第二章 矿物的物理性质	(14)
第一节 矿物的光学性质	(14)
第二节 矿物的热学、力学性质	(18)
第三节 矿物的电、磁学性质	(25)
第三章 矿物的表面性质	(27)
第一节 矿物的表面与吸附性	(27)
第二节 矿物的润湿性	(30)
第三节 矿物表面官能团及电性	(34)
第四节 矿物断裂面及表面键性	(39)

第二篇 矿物加工工程

第四章 超细粉碎与分级	(45)
第一节 超细粉碎	(45)
第二节 超细分级	(63)
第五章 磁选矿	(79)
第一节 概述	(79)
第二节 磁选基本原理	(80)
第三节 磁选设备	(83)
第六章 浮选	(96)
第一节 概述	(96)
第二节 浮选基本原理	(96)
第三节 浮选药剂及应用	(101)
第四节 浮选机	(109)

第五节 浮选工艺	(115)
第七章 化学提纯	(119)
第一节 矿物的酸、碱提纯	(119)
第二节 矿物漂白提纯	(129)
第三节 矿物化学提纯工艺与设备	(134)
第八章 矿物材料表面改性	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 表面改性理论	(138)
第三节 表面改性剂	(139)
第四节 表面改性工艺方法与设备	(158)
第九章 矿物材料的高温处理	(170)
第一节 高温处理的基本理论	(170)
第二节 高温脱水处理	(171)
第三节 高温膨胀处理	(179)
第四节 热分解处理	(182)
第五节 高温熔融	(183)

第三篇 矿物材料

第十章 单质矿物材料	(186)
第一节 金刚石	(186)
第二节 石墨	(192)
第十一章 硅酸盐矿物材料	(202)
第一节 云母	(202)
第二节 沸石	(209)
第三节 硅灰石	(217)
第四节 石棉	(224)
第五节 红柱石、蓝晶石、矽线石	(231)
第六节 滑石	(236)
第七节 叶蜡石	(241)
第八节 蛭石	(245)
第九节 珍珠岩	(250)
第十二章 氧化物与氢氧化物	(254)
第一节 刚玉	(254)
第二节 石英	(259)
第三节 粉石英	(272)
第四节 水镁石	(279)

第十三章 碳酸盐矿物	(285)
第一节 方解石	(285)
第二节 菱镁矿	(295)
第三节 白云石	(299)
第十四章 硫酸盐矿物	(302)
第一节 石膏和硬石膏	(302)
第二节 重晶石	(313)
第十五章 黏土矿物	(318)
第一节 高岭石	(318)
第二节 蒙脱土	(327)
第三节 坡缕石	(340)
第四节 累托石	(348)
第十六章 其他矿物材料	(354)
第一节 萤石	(354)
第二节 电气石	(358)
参考文献	(367)

绪 论

一、矿物材料的定义

矿物材料包括以下内容：主要指以非金属矿物和岩石为主要原料；利用矿物和岩石的物理性质、化学性质和物理-化学效应，而不取决于其中某一元素的性质（与金属材料的区别）；矿物材料可以是经过初步加工，但是这些初步加工产物必须能够直接反映天然矿物和岩石本身的性质和效应。即便是用到其他材料中（如有机高分子材料），也不能取代天然矿物和岩石的固有性质和决定地位（与无机化工材料和有机高分子材料的区别）；矿物材料必须经过一定方式的加工处理，才能被工农业生产和人民生活直接使用，以此区别于天然矿物和岩石；矿物材料经过加工，必须能够取得一定的经济效益或社会效益，随加工程度的加深，产生的经济效益越大。

根据上述基本原则定义的矿物材料，存在广义与狭义两种解释。

1. 狭义矿物材料

狭义矿物材料主要或重要组分为天然非金属矿物与岩石，或以天然矿物与岩石为原料加工制备而成的，在组成、结构和性能上保留天然矿物与岩石的特征的材料。它是从天然矿物与岩石本身的物理、化学性能出发，通过优化其物理、化学性能，得到更充分地开发和利用。它不包括硅酸盐材料、部分人工晶体材料和特种陶瓷材料等。

狭义矿物材料是目前国内矿物材料产业和研究者比较认同的矿物材料概念。

2. 广义矿物材料

广义矿物材料主要或重要组分为传统意义的矿物和岩石。它不仅包含狭义矿物材料，还包含不是以天然矿物与岩石为原料加工制备而成的矿物材料或以天然矿物与岩石为主要原料加工制备的矿物材料，但其组成、结构、性能和使用效能与天然矿物原料存在很大差别。这些材料在加工制备过程中，矿物原料已发生复杂的物理-化学变化，所生成的矿物岩石在组成、结构上也发生了根本性变化。广义矿物材料还包括严格意义上的硅酸盐材料、人工晶体材料和特种陶瓷材料等。

二、矿物材料的本质特征

矿物材料以矿物为本质特征，矿物的组成和结构决定了矿物材料的性能。与金属材料、高分子材料、化工原料和一些无机非金属材料相比，矿物有如下共同本质特点：①从材料组成上看，矿物材料一般指在材料物质组成的质量分数上是以矿物为主（通常指含量大于50%）的材料。同时，也包括那些尽管材料的主要组分不是矿物（通常指含量小于50%），但以矿物为重要组分的材料，其重要性在于矿物对材料的相关性能起决定性的作用。矿物材料的矿物组成特点有助于将它与金属材料、高分子材料、化工原料等区分开来，因为它们不是以矿物为主要或重要组分。②从材料性能上看，矿物材料的主要物理与化学性能和使用效能都源于矿物。③从矿物材料自身特点看，矿物材料中的矿物，既包括天然矿物又包括人工矿物；既包括严格矿物学意义上的矿物又包括这些矿物的衍生矿物。④从材料晶体特征看，矿物材料主要是由矿物多晶

组成的材料,同时也包括由矿物单晶组成的材料,以及部分非晶材料,如以珍珠岩加工制备的膨胀珍珠岩保温隔热材料等。⑤从材料类型上看,许多矿物材料是由非金属矿物加工制备而成的矿物材料,它们往往具有无机非金属材料的某些特征。但是,这并不意味着矿物材料完全等同于无机非金属材料。因为,有的金属矿物同样可以制备矿物材料,如用做润滑材料的辉钼矿,具有压电性能的闪锌矿等。同时,从某种角度看,有的以矿物为重要组分的矿物-聚合物复合材料也可以归入矿物材料的范畴。显然,矿物材料不仅仅限于非金属矿物材料,一些矿物材料也并不属于无机非金属材料。这也是矿物材料区别于无机非金属材料的重要特征之一。⑥从材料原料上看,矿物材料主要是以天然矿物和岩石为主要原料加工制备而成,同时也可以是以其他原料加工制备而成。当矿物材料以天然矿物岩石为主要原料时,需通过一定的加工工艺转化而成;未经过加工的天然矿物岩石一般不属于矿物材料,而只是矿物原料或岩石原料,它们一般又分别叫做工业矿物或工业岩石。因此,矿物材料与工业矿物、工业岩石是不同的概念。⑦从材料加工制备上看,矿物材料加工制备主要有矿物的提纯、粉碎、改型、改性、改造、复合、人工合成等,既有物理加工制备,也有化学加工制备,以及物理-化学加工制备;既包括简单加工,也包括复杂加工制备,而且许多属于高新技术范围。⑧从材料作用上看,矿物材料主要是功能材料,同时也有结构材料;既有传统材料(如各种非金属矿制品等),也有属于当今高科技领域重点发展的新材料。

三、矿物材料的主要用途

1. 矿物材料的应用领域

(1)建筑矿物材料。传统的建筑矿物材料是沙、石英、方解石等;装饰材料为花岗石和大理石。目前世界上主要发展节能、隔热、隔音、轻型和镀层新型建筑矿物材料,如石膏板材、蛭石、珍珠岩和陶粒页岩板材。国内在20世纪90年代也引进石膏板材生产线,力图在轻型建筑材料上有所发展。矿物材料异形镀和喷涂是装饰材料的研究方向。

(2)化工矿物材料。化工主要矿物材料为磷、硫、钾盐、天然碱和芒硝等。近年来,氢氧化铝、锑白粉、硼化物、溴化物和有机磷等阻燃矿物材料加入到塑料中,可以制造各种阻燃塑料制品;钛白粉、赤铁矿、镉红、铬黄等矿物可制备无机染料;石棉、硅灰石、云母、石膏、石墨、滑石、重晶石、长石、高岭土、霞石、灰岩和正长岩作为聚合物的添加剂原料;化妆品用矿物材料为滑石和叶蜡石等。

(3)冶金工业矿物材料。冶金辅助材料主要为黏土、菱镁矿、硅石、灰岩、白云石和锰矿。近年来,叶蜡石、蓝晶石、红柱石、矽线石、莫来石等高铝矿物及膨润土、蛭石、珍珠岩、蛇纹岩和硅藻土也作为冶金辅助矿物材料,特别是堇青石、莫来石、刚玉-莫来石、刚玉-锆石、刚玉-锆石-堇青石等新型合成矿物材料,在耐火材料生产中的用量稳步增长。我国冶金工业使用的低档耐火材料,如镁碳砖、铝碳砖、铝锆碳砖已接近发达国家研究水平,对于高铝-尖晶石碳砖、堇青石-莫来石砖、刚玉-莫来石砖和刚玉-尖晶石砖等耐火材料与国外研究水平有较大差距,特别是对非氧化物和氧化物复合矿物材料开发水平远远落后于发达国家研究水平。

(4)机械工业矿物材料。矿物材料在机械工业中主要用于研磨、润滑、密封、铸造、焊接和轮机叶片等方面,研磨使用的矿物材料为金刚石、刚玉和石榴石等,对刚玉与长石、硼玻璃和滑石结合产生的新耐磨材料研究特别关注,铸造业精模铸粉主要使用硅质、石膏和石墨等矿物材料;密封材料主要使用叶蜡石和莫来石等矿物,轮机叶片目前主要用莫来石陶瓷。

(5)填料矿物材料。矿物填料是矿物材料一个重要的应用领域,用做填料的矿物材料主要

有方解石、大理石、白垩、滑石、叶蜡石、伊利石、石墨、高岭土、云母、硅灰石、透辉石、硅藻土、蒙脱土、皂石、海泡石、凹凸棒土、金红石、长石、重晶石、石膏、石英、石棉、水镁石、沸石、透闪石等。主要是将矿物材料加工成各种不同细度的矿物粉体,经过表面改性粉体、高纯超微细复合粉体、高长径比超细针状粉体和大径厚比超细片状粉体材料等,主要用于塑料、橡胶、胶黏剂、化纤、油漆、涂料阻燃材料、胶凝材料、造纸、化工建材等的填充材料和增强材料。

(6)环境保护矿物材料。该领域概括为黏土矿物材料对生物的给养、保养、抗病、防病和净化环境等。近年来主要研究各种黏土矿物肥料增效剂、土壤调节及保持肥料的有效性等,并有明显进展。利用含钾岩矿石资源,使矿物钾活化成为植物能吸收的有效钾;高氟地区利用沸石吸附作用可降低水中的含氟量;利用珍珠岩作净化水、饮料有机液体的过滤剂和工业污水的去污剂;利用膨润土良好的吸附能力,作为消毒防护及核废料处理的原料;海泡石作为放射性废物和有毒气体的优良吸附剂等。目前涉及环境保护和人体健康的矿物学研究已发展成为独立的分支学科,即环境矿物材料学。

(7)农业矿物材料。农业需要大量的矿物材料,如泥炭、海绿石、钾长石和霞石等为农业廉价的肥料;石灰、沸石、蒙脱土和蛭石可以改善土壤的性能;硅藻土、坡缕石和叶蜡石可作为农药载体;蒙脱土、海泡石、沸石、皂石、高岭土、方解石、泥灰岩和岩盐作为饲料添加剂,提供生物所需的营养元素和微量元素,改进它们的消化和代谢功能;蒙脱土、沸石和坡缕石可作畜禽用铺垫物,用来除臭和净化环境;沸石、蒙脱土和坡缕石尚可用于改善蔬菜和粮食的保存条件和湿度调节。

(8)陶瓷原料矿物材料。陶瓷是由黏土、长石和石英等矿物材料混合而成,现已广泛应用于无线电、原子能、火箭、半导体、医学等工业生产及技术领域,如电子陶瓷(透辉石高频陶瓷),金属陶瓷(由金属和陶瓷原料制成新型材料,兼有金属和陶瓷的优点),压电陶瓷、磁性陶瓷(分为尖晶石型铁氧体、石榴石型铁氧体和磁铅石型铁氧体),电容器陶瓷(分金红石瓷、钛酸钙瓷),超导陶瓷,生物陶瓷和微晶陶瓷。用于陶瓷业的矿物材料:土器以黏土矿物为原料;陶器由杂质较多的黏土制成;瓷器用质地较细,通常由黏土、石英和长石制作;炆器用适当的黏土矿物材料制成。

(9)电子、光电工业矿物材料。云母主要在电工和电子管生产作绝缘材料。开发莫来石、透辉石、堇青石、刚玉等二元至多元复合材料是电子工业和光电工业的热门研究课题。

2. 矿物材料在国民经济建设中的作用

(1)矿物材料是国民经济建设的重要基础材料。矿物材料是基础工业和消费品工业的原材料。矿物材料对现代社会发展的重要影响主要表现为:一是产值的快速增长,我国由于国民经济的高速发展,工业矿物和岩石的消费量也相应快速发展,远大于全世界同期的平均增长速度。二是与其有关的某些工业在国民经济发展过程中具有超前性,世界各国经济建设的发展过程中具有超前性,这种超前性一方面体现了这些工业是国民经济发展的前提和基础,也表明在经济建设发展过程中,对工业矿物与岩石的需求量会大大提高。三是工业矿物材料与当代的技术革命密切相关,21世纪,新技术在世界范围兴起,主要标志是信息技术、新能源、新材料、生物工程和宇航工程等新技术的广泛开发利用。新材料又是新技术革命的核心之一,是其他新技术的基础。一些新材料如技术陶瓷、光导纤维、激光材料、陶瓷基复合材料等都在一定程度上与矿物材料有关。

由此可见,矿物材料的开发是工业技术革命的基础,随着科学技术的发展,它们对人类社会的重要性也将与日俱增,其种类和用途也在不断变化与扩大。

(2) 矿物材料是高新技术发展不可缺少的辅助材料。人类进入 21 世纪后, 随着产业结构的调整, 除了以高新技术改造和提升传统产业之外, 以微电子、信息、生物、航空航天、海洋开发, 以及新材料、新能源为主的高技术和新材料产业将逐渐壮大。这些高技术和新材料产业与非金属矿物材料密切相关。例如, 高纯石英等硅基材料是集成电路芯片、塑封料、抛光料及光纤型、激光光源和辐射光源型透明石英玻璃管、耐高温型石英玻璃管及单晶硅生产用坩埚的主要材料。用石墨制成的材料具有优良的隔热、耐高温(3000℃以上)、减摩润滑和防辐射等性能, 广泛用做核反应堆的中子减速剂和防原子辐射的外壳火箭、导弹、航天飞机和宇航设备零件等; 胶体石墨广泛用做显像管和真空管的导电涂料, 以及示波管、高真空阴极射线管的外部涂覆剂、制造玻璃器皿和高温运转机械的润滑剂等。许多矿物材料与新材料, 是功能材料发展不可缺少的辅助材料。例如, 蒙脱土是当今工业上制备纳米塑料或纳米复合材料的重要辅助材料之一; 高纯、超细石墨和膨胀石墨是前景看好的新能源材料, 是新型绿色建材的主要原料; 与生物技术及其产业发展息息相关。

(3) 矿物材料是环保和生态建设的廉价高效材料。环境保护和生态建设是人类进入 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和全球对环保标准及要求的提高, 环保产业将成为 21 世纪最重要的新兴产业之一。许多矿物材料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保材料; 用于固沙、改良土壤、垃圾填埋场及放射性废料的处理。此外, 大多数矿物材料还是环境友好材料。可见, 矿物材料是环保产业和生态建设的最理想的廉价、高效材料。

(4) 矿物材料在对外贸易中占有举足轻重的地位。在我国的非金属矿产资源中, 石墨、滑石、菱镁矿、重晶石、萤石、膨润土、硅藻土、硅灰石、高岭土等许多矿种的储量和产量居世界前列, 不仅能满足国内经济发展的需求, 而且发展出口的潜力很大, 其中: 石墨、滑石、菱镁矿、重晶石、萤石、花岗石等非金属矿产品, 已成为我国重要的出口创汇商品, 出口量居世界第一位。但是, 我国目前非金属矿加工技术和非金属矿物材料发展的水平还比较低, 在大量出口的非金属矿产品中, 廉价的原矿和初加工产品仍占很大比重, 而国内急需的某些非金属矿物材料仍需从发达国家高价进口。我国非金属矿产品进出口贸易中“低出高进”的现象比较严重。因此, 充分利用我国丰富的非金属矿产资源, 研究开发国际市场急需的矿物材料, 不仅是满足国内传统产业和高新技术发展的需求, 减少对发达国家的技术依赖问题, 同时也是改善出口商品结构, 提高出口产品档次、均价, 提高经济效益, 解决对外贸易中矿产品“低出高进”问题的关键。

(5) 有利于促进国民经济的可持续发展。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。工业发达国家的发展经验表明, 一个国家工业发展的水平, 往往以非金属矿在国民经济中的开发利用程度为标志。在经济和社会发展到一定程度后, 非金属矿的消费量和产值必然要大于金属矿, 其对国民经济的贡献也将越来越大。我国是一个经济正在迅速发展的世界大国, 高新技术产业的快速发展、传统产业的技术进步与结构调整、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, 将给我国矿物材料带来前所未有的挑战和发展机遇。紧紧抓住这一难得的历史机遇, 加速非金属矿物材料的研发和生产, 不仅可以满足我国经济、科技和社会发展对非金属矿物材料日益增长的需求, 促进非金属矿产资源的综合利用, 全面提升我国矿物材料加工应用的水平, 而且还将成为国民经济发展的新增长点, 促进我国高新技术产业、传统产业及环保产业的全面发展和进步。

四、矿物材料学研究内容

1. 矿物材料应用技术研究

由于矿物材料的种类繁多,性质各异,加工途径和加工目不同,所以对加工工艺的研究显得尤为重要。许多矿物材料自身具有光、热、电、磁、声等功能,加强对矿物材料潜在功能的研究开发,对充分发挥矿物材料潜在工业价值和经济价值具有重要意义。

(1)矿物材料组成与结构研究。矿物材料的物化性质和工艺性能均与其自身化学组成和晶体结构有密切关联,研究矿物材料本身的化学组成和结构特征,阐明矿物材料所具有的各种特质,可为矿物材料加工和应用提供科学依据。

(2)矿物材料物化性能研究。矿物材料的物化性质主要研究矿物材料的化学性质(耐酸性、耐化学腐蚀性、化学稳定性等);物理性质(光学、热学、力学、电磁学性质),表面与界面性质等。

研究矿物材料对酸、碱、氧、催化、吸附以及电、磁、声、热和力等物化能力的相互作用特性及变化规律,如蛭石的热膨胀性,它是层状结构的硅酸盐矿物。受热后,其层间水分子变成蒸汽时产生的蒸汽压而使各结构单元层迅速撑开所致。

(3)矿物材料深加工技术研究。通过深加工可以优化矿物材料的性能,获得特定性能和功能的,能够满足工业使用的矿物材料(产品),实现对矿物的增值和提高矿物材料的经济价值。矿物深加工的方法包括超细粉碎、超细分级、超纯分离和提取、表面活化改性、结构改性、加热、煅烧、辐射、纳米材料制备等。矿物的深加工技术属于高技术范畴,很难突破,一旦取得进步,社会效益和经济效益会得到大幅度提升。

(4)矿物材料功能开发研究。随着科学技术的进步和社会经济建设发展需要,对矿物的研究也不断加深,需要不断挖掘矿物的潜在功能,开发矿物的新品种,开拓矿物应用的新领域,提高矿物的工业价值和资源利用率。

主要研究内容包括:各种矿物材料的结构和性能;矿物材料的制备工艺和设备;原料配方、制备工艺等与矿物材料结构和性能的关系;矿物材料制备工艺的自动控制等。具有吸附、交换、催化、增强、生物相容性等功能的矿物材料,特别是具有感知、响应、预警等信息功能(如湿敏、热敏、压敏、光敏、隐身、抗菌、除臭、红外辐射、光电转换、磁电转换、化学泵等功能)的矿物材料,将会受到高度重视和研发应用。

(5)人工合成矿物材料研究。主要用于解决某些天然矿物资源在数量和质量上的不足,以及性能上的缺陷。例如,人造金刚石、刚玉(红宝石)、4A分子筛、人造水晶、合成硅酸钙等产品,都是采用人工合成的方法制备,而且在合成工艺技术上已获得很大的成功;近年来发展起来的神奇材料——纳米材料,仅依靠机械设备对天然矿物原料进行超细粉磨分级加工很难达到纳米尺度,甚至是不可能达到,只有采用人工合成的方法才能获得纳米材料。

2. 矿物材料加工技术研究

矿物材料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。

矿物材料加工技术主要包含粉碎与分级技术、选矿提纯技术、矿物的表面改性技术、热处理技术等4个方面。

(1)矿物材料超细粉碎与分级。粉碎与分级是以满足应用领域对粉体材料粒度大小及粒度

分布要求为目的的粉体加工技术。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、粉磨与分级及超细粉磨与精细分级,最终获得 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 的超细粉体产品。

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,许多应用领域要求矿物材料的粒度微细(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。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 $D_{50} \leq 1 \mu\text{m}$, $97\% \leq 5 \mu\text{m}$ 。

因此,为了满足相关应用领域对矿物材料超细化、窄分布和大批量生产的要求,将重点发展超细粉碎和精细分级技术。注重矿物结构的开发,根据矿物的结构特点,开发出高长径比和高径厚比的超微细粉体产品;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;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、适用范围宽的超细粉碎技术和设备;发展用于生产高长径比及大径厚比超微细粉体产品的粉碎、分级技术与设备。进一步完善粒度检测方法和仪器。

(2) 矿物材料选矿提纯。利用矿物的密度、粒度和形状、磁性、电性、颜色(光性)、表面润湿性以及化学反应等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。矿物材料的选矿提纯是以满足现代高技术和新材料对矿物材料纯度要求为目的的重要的矿物材料加工技术之一。

由于绝大多数矿物材料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矿物材料的纯度提出更高的要求。而随着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。为了满足相关应用领域对矿物材料高纯化的要求,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。

(3) 矿物材料表面改性。表面改性是以满足应用领域对粉体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。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,改性主要使用表面涂覆改性、表面偶联改性、沉淀反应改性、插层改性等技术。

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,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、功能纤维等要求矿物粉体材料表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污染物、无机污染物及重金属离子等有选择性吸附的能力等。由于矿物粉体材料表面改性可显著提高或改善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、功能性纤维等的性能具有重要意义。

因此,矿物粉体材料表面改性技术将成为矿物粉体材料最主要的深加工技术之一。矿物粉体材料表面改性技术,要在重视改性机理研究的基础上,发展适应性强、改性效果好、改性产品质量稳定、能耗少成本低、操作工艺简单的改性技术和设备,特别是发展超细粉体及纳米粉体的改性技术和设备,同时发展应用性能好,价格低廉的表面改性剂。

(4)矿物材料热处理。指通过加热,使某些矿物材料的成分、结构或表面状态发生一定程度的变化,从而使其物理和技术性能得以改善,以满足一定使用要求。矿物材料热处理包括煅烧脱水、热膨胀、热分解与高温熔融等技术。

脱水是指在加热过程中,使矿物材料中的结晶水、结构水排出,提高矿物材料的反应活性、电绝缘性、白度和亮度,例如高岭土、石膏等含水矿物材料,经过煅烧后,失去结晶水和结构水,脱水后的产物主要有熟石膏、煅烧高岭土、陶瓷钛白粉、莫来石等材料。热分解是指通过加热处理,使矿物发生分解等反应而形成的材料,例如,方解石、白云石、菱镁矿等碳酸盐类矿物经加热处理,分解出 CO_2 , 形成石灰、轻质碳酸钙、菱苦土、氧化镁等新的材料。热膨胀是指矿物或岩石在急剧加热的过程中,挥发性组分蒸发,产生巨大的蒸气压,使矿物急剧膨胀而形成的结构疏松、质轻多孔的材料,例如,膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、膨胀石墨等。高温熔融是指天然矿物材料熔融体在冷却过程中发生重结晶、共结晶或直接冷凝而形成的材料。例如,矿物原料按一定配比,经高温熔融、再结晶而成的单晶或多晶(人工刚玉、人造宝石、微晶玻璃等),或经高温熔融、再快速冷凝而成的非晶质材料(熔融石英、玻璃纤维、岩棉、硅铝纤维等)。

五、21 世纪矿物材料研究方向

21 世纪矿物材料的研究方向,主要包括纳米矿物材料、环境矿物材料、能源矿物材料、功能矿物材料、深加工及其制品等几个方面。

1. 纳米矿物材料

纳米技术的开发和应用已风靡全球,是 21 世纪材料领域的研究热点。纳米科技在矿物材料领域的应用起步较晚,但是,天然矿物中的各种纳米级结构,早已引起人们的重视。1994 年,施倪承等提出了纳米矿物材料的概念,为矿物学与纳米材料学的结合奠定了良好的基础。天然矿物的纳米孔道结构(如沸石、硅藻土等矿物),具有离子交换、吸附性能;层状结构矿物(如蒙脱石、高岭石等黏土类矿物)的层间结构可被扩充或压缩;许多天然矿物具有纳米尺度的掺杂结构等,都是研究纳米矿物材料的基础。

21 世纪纳米矿物材料重点研究的方向包括:矿物纳米级孔、层结构的改造;纳米矿物粉体的合成、制备、性能研究;纳米级矿物粉体、矿物纳米孔、层结构的应用。目前,纳米矿物材料是少数在实际中得到应用的纳米材料。

2. 环境矿物材料

具有净化环境和修复环境的矿物材料是理想的环境材料。例如,沸石、硅藻土、海泡石、坡缕石、蒙脱石、麦饭石、膨胀珍珠岩等具有选择性吸附、过滤性能的矿物材料,已被广泛用于环境污染治理;以蒙脱石、沸石等层状、多孔状矿物研制的抗菌材料已用于日用消费品。环境矿物材料研究重点是具有纳米或微米级尺度的多孔结构的矿物材料,用于载体、催化、过滤的矿物材料,对已有材料的“绿色化”改造。环境矿物材料主要应用领域有高危废物处置,废气、废水治理,工业用水净化,居室净化等领域。

3. 能源矿物材料

寻求新能源和节约现有的能源,是全人类面临的重要课题之一。能源矿物材料主要包括节能矿物材料、储能矿物材料两种类型。

节能矿物材料的节能主要体现在生产过程中能耗较低和使用过程中可减少能量损失。岩棉、矿棉、硅藻土、膨胀珍珠岩、微孔硅酸钙、泡沫玻璃等新型节能材料,以其优良的隔热性能,在工业热设施和房屋建筑得到广泛应用。这类材料仍将是隔热材料的主体,进一步提高材料强度、降低导热系数、减小容重、改善施工性能是今后的研究重点。储能矿物材料指矿物对热、光、燃气及化学能的储存。储能矿物材料主要研究矿物材料对能量的吸收、贮存、转换和输出性质,为开发新型能源材料的提供一个新的途径。具有微孔结构的矿物(沸石等),具有低温相变特点的矿物,将会得到优先应用。

4. 功能矿物材料

功能化是未来矿物材料的主要发展趋势。为了满足相关应用领域对功能化矿物材料的要求,矿物材料加工技术将重点发展与航空航天、海洋开发、生物医学、电子、信息、节能环保、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矿物材料的加工技术与设备。如石墨密封材料、石墨润滑材料、石墨导电材料、石棉和石墨摩擦材料、石墨插层化合物、高纯超细石墨粉、云母珠光颜料、高温润滑涂料、辐射屏蔽材料、催化剂、催化载体材料、高性能吸附材料、纳米材料、增强填料、抗菌填料、阻燃填料等。其中与高新技术产业相关的高纯超细石墨粉($\leq 2\ \mu\text{m}$)、石墨密封和润滑材料、石墨导电涂料、石墨插层化合物、黏土层间化合物、纳米黏土云母珠光颜料、辐射屏蔽材料、催化剂和催化材料等;与环境保护相关的硅藻土、膨润土、海泡石、凹凸棒石、3A沸石、4A沸石、5A沸石、13A沸石等具有高比表面积和选择性吸附活性的新型非金属矿物环保材料;以矿物材料为基料的道路标志、防酸雨、抗氧化、防火、耐候、防污、保温隔热等特种涂料;与节能和安全相关的轻质、保温绝热、防火、阻燃材料;与建材装饰相关的人造石和异形装饰石材;具有耐高温、耐冻、耐磨等功能的路面沥青改性填料;与快速交通工具相关的石棉和石墨等高性能摩擦材料等具有广阔的发展前景。

5. 矿物材料深加工及其制品

发达国家矿物材料深加工技术凭借现代化工业与科技的优势加快向成熟和具体化方向发展,其主要包括精细提纯技术、超细粉碎与精细分级技术、表面改性技术和矿物材料复合化技术。随着理论研究的深入和科技革命的发展,深加工技术更趋完善并形成了较完整的技术内容,如矿物层间域离子交换技术、矿物有机覆盖技术、微孔结构和微孔技术、扩大双电层结构技术、矿物的脱色和染色技术、改变矿物的比重和密度技术、超微细技术、矿物表面偶联和交联技术、黏土生物材料研制技术、人工合成矿物材料技术等。矿物材料深加工技术的发展促进了高新技术产品的开发与应用,其制品的发展趋势是多样化、系列化和标准化,并以高新技术矿物材料制品为主要方向,新型建材、功能材料、节能及环保产品前景广阔。

第一篇

矿物材料的基本性质

第一章 矿物的化学组成

第一节 矿物化学组成的一般规律

矿物是由地质作用形成的天然单质或化合物。它们各自都有确定的化学组成，但在一定的小范围内变化，根据变化的程度可把矿物分成如下几种类型。

一、化学组成基本固定的矿物

这类矿物的化学组成基本固定不变，即使有变化。它们遵守化学上的定比定律和倍比定律，其化学组成可由确定的化学式表示，例如，金刚石 C 、重晶石 $BaSO_4$ 、石英 SiO_2 、赤铁矿 Fe_2O_3 、石盐 $NaCl$ 、白云石 $CaMg(CO_3)_2$ 、方解石 $CaCO_3$ 、黄铜矿 $CuFeS_2$ 。其中：金刚石属于单质；石盐、石英、赤铁矿属于简单化合物；黄铜矿属于复杂化合物；重晶石、方解石属于单盐；白云石属于复盐。

二、化学成分不固定的矿物

这类矿物的化学组成可以在一定范围内变化，而且引起这种变化的原因，不是由于外来机械混入物的存在，而是由于组成矿物本身的组分的变异所造成的。这一类主要有 3 种类型，即固溶体、胶体和含沸石水或层间水的矿物。后两种类型，由于它们有本身的特殊性，将在后面的章节介绍。

固溶体是指一种组分内“溶解”了其他组分。由此所组成的、呈单一结晶相的均匀晶体，即固溶体是由两种或两种以上的组分组成的矿物。矿物中常见的固溶体为类质同相混晶，这种固溶体是替位式固溶体，是指物质结晶时，其晶体结构中本应由某种离子或原子占有的配位位置，一部分被介质中性质相同的他种离子或原子所占有，但不引起键性和晶体结构形式发生质变的现象。

类质同相的现象在矿物中极为常见。从某种意义上讲，几乎所有的晶质矿物都是类质同相混晶。也就是说，实际上几乎所有的矿物都将是化学组成可变的矿物。但从实际应用上讲，对

于那些类质同相混入物的含量很少的矿物，完全可把它当做化学组成固定的矿物来看待。随着现代分析测试技术的发展，一些被认为的类质同相混晶的矿物，却被证明是不均匀的多相机械混入物，故又可认为类质同相混晶的分布范围不完全如上所述的那样广泛。

还有一些化学成分可变的特殊情况：某些矿物中所含金属阳离子的可交换性，如沸石、蒙脱石等矿物，它们形成后，其化学成分中的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等金属离子，还可以与所处溶液中的类似阳离子发生交换。即原来在晶格中的阳离子进入溶液，而溶液中的另一种阳离子则进入晶格，占据进入溶液的阳离子原来所占据的构造位置。

例如， $Mg_2(SiO_4)$ 镁橄榄石和 $Fe_2(SiO_4)$ 贵橄榄石，它相当于 Fe^{2+} 代替并占据了镁橄榄石晶体结构中部分 Mg^{2+} 的位置。它既含有镁橄榄石的成分，又含有贵橄榄石的成分，就好像在固体状态下， $Fe_2(SiO_4)$ 均匀地溶解于 $Mg_2(SiO_4)$ 之中而形成。

三、不符合化合比的矿物

即所谓的非化合比化合物，它是由于晶体结构中存在有某些缺陷所造成的。

第二节 胶体矿物化学组成的特点

胶体的一种细分散系，是由分散相和分散媒所组成的非单一相的混合物。所以，胶体矿物属于化学组成可变的矿物。胶体矿物实际上是指水胶凝矿物，其分散媒是水。

胶体粒子的粒径在 $1 \sim 10 \text{ nm}$ 之间，具有极大的比表面积，因而具有很大的表面能，故具有很高的吸附性。为降低表面能，一种方法是使胶体粒子合并；另一种方法是吸附其他的物质，在胶体粒子核的周围形成一个双离子层。

例如， $AgBr$ 胶体粒子，它具有 $NaCl$ 型结构。位于胶体内部的 Ag^+ 和 Br^- ，它们的电价与周围的异号离子达到平衡；位于胶体表面的离子，具有未饱和电价，这些剩余电荷将从胶体溶液中吸附一定数量的 Br^- ，在胶体周围形成一个 Br^- 离子层，并使整个胶体粒子带负电。此时，为了达到电荷的平衡，它还要吸附存在于溶液中的某些其他阳离子，从而使 Br^- 离子外层又形成一个阳离子层，构成双电层。这就是胶体吸附作用，也是胶体的重要性质。

所以，水胶凝体矿物化学组成的变异，一方面表现在分散相和分散媒含量比的差异上；同时还表现在所吸附物质的种类和数量的不同上。它们的变异范围较大。胶体的吸附作用是有选择的，它们只吸附一定的某些物质，而对其他物质则完全不吸附或吸附很少。

例如， MnO_2 胶体，仅选择吸附 Li^+ 、 K^+ 、 Ni^+ 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Ba^{2+} 等。

第三节 水在矿物中的存在形式

一、吸附水

许多矿物的化学组成中都含有水。但是在不同的矿物中，水的存在形式却可以不同。有些矿物，如石膏、沸石、蛋白石等矿物，水是以中性水分子的形式存在；而另一些矿物，如针铁矿、云母、水云母等，水是以 OH^- 或 H_3O^+ 等形式出现，只有当晶格破坏时，它们才结合成水释放出来。