

高等学校教材

# 无机非金属材料概论

李博文 李洪志 编

321

地质出版社

# 无机非金属材料概论

李博文 李洪志 编

地质出版社

· 北京 ·

## 内 容 提 要

本书以无机非金属材料科学与工程为主要内容,较系统地介绍了学科特点、材料分类、原料制备、工艺方法和制品结构、性能及应用;分类介绍了主要类型的材料;对高技术新材料及其发展趋势进行了专门介绍;对非金属矿物、岩石及其工业制品有所侧重。

本书可作为无机非金属材料、矿物材料专业大学生的专业基础教材使用,也可供与材料学科相关各专业的大学生、研究生以及从事无机非金属材料、非金属矿产开发应用、建材、硅酸盐工程等工作的科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料概论/李博文,李洪志编.-北京:地质出版社,1997.8

ISBN 7-116-02434-4

I. 无… II. ①李… ②李… III. 无机材料:非金属材料-概论-高等学校-教材 IV. TB321

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第18210号

### 地质出版社出版

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:伊仁麟 王 璞

\*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张:7.75 字数:179000

1997年8月北京第一版·1997年8月北京第一次印刷

印数:1—2000册 定价:14.00元

ISBN 7-116-02434-4

# 前 言

无机非金属材料科学与工程是一门涉及面广、应用性很强的学科。随着现代科学技术的发展，材料的研究—开发—生产—销售一体化的趋势更加明显。我国的经济建设迫切需要培养基础扎实、知识面宽、面向生产实际的应用型材料技术人才。为了适应这种新形势，我们为无机非金属材料专业编写了这本入门教材。初稿内部印刷后，中国地质大学及福州大学、山东建材学院、阜新矿业学院等院校试用了三年。根据各校使用的意见，我们对初稿进行了较大的修改与补充。

本书以无机非金属材料科学与工程为主要内容，较系统地介绍了其学科特点、材料分类、原料制取、工艺方法和制品结构、性能及应用；分类介绍了主要类型的材料；对高技术新材料及其发展趋向进行了专门介绍；对非金属矿物、岩石及其工业制品有所侧重。在编写过程中尽力体现以下几个原则：一是综合国内外无机非金属材料生产和科研的主要成果，内容广泛，有较强的系统性；二是强调材料科学与工程的一致性，突出知识的实用性；三是将矿物学、岩石学知识与材料科学知识融合一体，体现地质科学与材料科学的交叉和渗透；四是注意吸收材料科学研究的最新成果，保持教材应有的先进性；五是通俗易懂，便于自学。

本书可作为无机非金属材料、矿物材料专业大学生的专业基础教材使用，也可供与材料学科相关各专业的大学生、研究生以及从事无机非金属材料、非金属矿产开发应用、建材、硅酸盐工程等工作的科技人员参考。

本书由马鸿文教授主审。在编写和修改过程中，还得到了许多同志的热情鼓励和大力帮助，他们是：中国地质大学翁润生、周珣若、陈代璋、沈上越、廖立兵教授，鲁安怀、袁家铮副教授和王宁、王冰、周平、杨翔等同志；福州大学张师教授及汤德平副教授等；清华大学谢志鹏副教授；中国科学院地质研究所郭竞雄教授；山东建材学院刘曙光副教授等；西南工学院郑自立副教授；阜新矿业学院商平老师。陶春华、王晓玲同志帮助完成了本书的录入排版工作。书中引用了许多著作者的资料。值此本书出版之际，对上述诸同志一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中错误和疏漏之处在所难免，恳切期待读者批评指正。

编者

1997年6月

# 目 录

第一章 绪 论	1
一、人类生活中的材料	1
二、固体的键性与材料的基本类型	2
三、材料的应用和发展过程	7
四、材料科学与材料工程	8
五、陶瓷、硅酸盐材料与无机非金属材料	9
六、矿物材料	10
第二章 无机非金属材料的分类	12
第三章 原料选用与粉料制备	18
一、天然原料与合成原料	18
二、原料的选择原则和方法	20
三、原料的颗粒化与粒度分级作业	23
四、选矿与提纯	27
五、原料的煅烧处理	29
六、超细粉的制备	29
七、粉体的表面改性	32
八、粉料的性能与评价	33
第四章 工艺过程与方法	36
一、配料	36
二、泥料的混练和塑化处理	39
三、熔融工艺	40
四、成型工艺	40
五、干燥工艺	45
六、烧结方法和过程	46
七、成品加工与性能改善	48
八、外观装饰	49
九、质量检验与质量标准	50
第五章 材料的物质组成与显微结构	52
一、材料的物质组成	52
二、材料的结构	53
三、材料的结构性质	58
第六章 材料的性能及其意义	59
一、化学性能	60

二、力学性能.....	61
三、热学性能.....	66
四、作业性能.....	69
五、其它性能.....	69
<b>第七章 主要类型无机非金属材料概述.....</b>	<b>74</b>
一、高温材料.....	74
二、陶瓷.....	78
三、玻璃.....	81
四、无机涂层及搪瓷.....	86
五、无机胶凝材料及混凝土.....	87
六、铸石.....	92
七、墙体材料.....	94
八、切削和研磨材料.....	96
九、人工晶体材料.....	98
十、碳素材料.....	100
十一、复合材料.....	102
十二、天然石材.....	103
<b>第八章 材料工业中的环境保护和固体废物利用.....</b>	<b>106</b>
一、环境污染及其控制.....	106
二、环境材料.....	107
三、工业固体废物的利用.....	108
<b>第九章 高技术新材料及其发展.....</b>	<b>111</b>
一、高技术新材料及其意义.....	111
二、高技术新材料的发展趋势.....	112
<b>主要参考文献.....</b>	<b>117</b>

# 第一章 绪 论

材料与信息、能源构成现代文明的三大支柱。国家的昌盛、民族的兴旺、社会的进步、人民生活水平的提高，无不与材料密切相关。新材料被视为新技术革命的基础和先导。世界各发达国家对材料的研究、开发、生产和应用都极为重视，并把材料科学技术列为21世纪优先发展的关键领域之一。

材料科学技术是基础科学与工程科学融合的产物，涉及面十分广泛。随着科学技术的发展，原来各自相对独立的金属材料、陶瓷材料和高分子材料等，已经相互渗透、相互结合，多学科交叉是材料科学技术的重要特征。从材料的设计、制备、加工、检测到零件的制造、使用，直到材料的回收等，已形成了一个材料社会化的大循环，全社会都在自觉或不自觉地置身于这个大循环中。材料的重要性正在得到全社会的承认和重视。

## 一、人类生活中的材料

我们的周围到处都是材料，它们不仅存在于我们的现实生活中，而且也扎根于我们的文化和思想领域。事实上，材料是我们的衣食住行的必备条件，是人类一切生活和生产活动的物质基础，它先于人类存在，并且与人类的出现和进化有着密切的联系。自古以来，材料的发展水平就是人类社会文明程度的标志，人类文明史中的石器时代、铜器时代、铁器时代就是按当时生产活动中所使用的代表性材料作为依据划分的。天然材料和合成材料作为我们生活中不可分割的组成部分，司空见惯，垂手可得，以至于我们常常认为它们的存在是理所当然的。材料与食物、居住空间、能源和信息共同组成人类生活的基本资源，不仅在我们的日常生活中，而且对国家的繁荣和安全也起着举足轻重的作用。

究竟什么是材料呢？具体地说，材料是用来制造各种产品的物质，这些物质能用来生产和构成功能更多、更强大的产品。金属、陶瓷、玻璃、半导体、超导体、塑料、橡胶、纤维、砂子、石块，还有许多复合材料都属于材料的范畴。矿物燃料、空气和水虽也可看作是广义的材料，但通常还是把它们归入其它领域。

我们一般所称的材料包括三层含义，即原料、制品和中间产品。实际上制品在使用过程中往往并不是以终极产物出现，而是作为下一生产阶段的原材料或工具。

从广泛的意义上说，人类使用的材料可以看作是一个流动着的巨大循环体系，一个全球性的、时空无限的循环系统。通过钻探、挖掘、采矿或采集，从地下得到原材料，然后精选或加工成各种中间产品，如金属锭、精矿粉、木材等，并制成各种民用产品或工业产品，如钢材、陶瓷、电线、混凝土、胶合板等，以满足不同的社会需求。当这些材料按预定的目的使用后，就作为废料回到大地，或者更确切地说，它们将被处理或再生利用而重新进入循环。这种循环是往复无穷的。

材料循环的概念揭示了材料、能源和环境之间的许多密切的相互作用，这三者直接影响人类在地球上的生存质量，是国民经济和社会发展计划的组成内容，人类正在越来越多地给予它们以关注和重视。因此，材料循环是一个把自然资源和人类需要联系在一起的循

环系统，它不仅把地球上各个国家和各种经济彼此联系在一起，而且还把它们与自然物质本身联系在一起。

## 二、固体的键性与材料的基本类型

### (一) 物质的状态

世界上的一切物质都是由元素组成的。由单元素组成的物质不多，元素多以复合的形式存在，构成各种固体、液体和气体。

作为物质体系的基本组成单元，离子、原子或分子等粒子，在组成具体物质时，彼此之间产生相互作用力，存在相互作用的势能。粒子本身也处在不停的热运动中，因此具有动能。粒子之间相互作用，相互吸引，从而结合在一起。吸引力的大小与粒子间的距离有关。两粒子间的距离大于平衡距离时，距离越近，引力越大，结合力越大。

温度是粒子间作用力的主要影响因素。温度越高，粒子运动越剧烈，则彼此分离的趋势加大。所以，物质的状态取决于粒子间的相互作用和它们的热运动。随温度和压力等外界条件的不同，物质处于不同的状态。

气体是最简单的粒子体系。气体粒子相距很远，它们有确定的动能，其值远大于相互作用的势能，所以是彼此独立的。一个粒子受激发，整个体系的运动不会受到显著影响。

温度降低，粒子的不规则运动变慢，间距缩小，相互作用增强。在较低的温度和压力条件下，物质由气态过渡为凝聚态，粒子间的势能大于粒子的动能；一个离子被激发，将引起相邻粒子的类似激发而导致波动。

在凝聚态下，当粒子间的引力能保证粒子受热冲击而不分散，但不保证粒子在长距离内有序排列时，物质处于液态。液体像是高度压缩了的气体，但其中的粒子在熔点和沸点之间发生局部有序排列，只是随时间不断变化。

当粒子间距很小，相互作用的势能比粒子的动能大得多时，物质处于固态。按粒子排列的特点，固体可分为非晶体(无定形体)和晶体两大类。非晶体实际上是一种过冷的液体，如玻璃和塑料等，其中粒子的排列短程有序。这类物质没有固定的熔点，但这一般不影响其工程性能。大多数固体是晶体，组成它的离子、原子或分子在三维空间作有规则的周期性重复排列，延长的距离大大超过原子或分子的尺寸，贯穿整个体积，即长程有序。工程上应用最广泛的材料多为晶体。

除气态、液态和固态三种基本状态外，还有一些介于气态、液态和固态之间的过渡状态的物质，如液晶、粉体等。液晶(液态晶体)是介于晶体和液体之间的特殊凝聚体，它的特点是在一定的温度范围内既有液体的流动性和连续性，同时又保留晶体的有序排列。这类物质是一种新型材料，有重要的工程价值。

材料体系也和力学体系一样，能量越低，体系越稳定。从热力学的观点看，凝聚体只有当其原子间距为平衡距离，作规则排列，形成晶体，对应于最低能量分布时，才处于稳定状态。

### (二) 固体中的结合键

在固体状态下，不同类型的原子之间产生不同性质的结合键。化学键是由电子运动使



原子聚集的结合力，是固体中的主要结合键，分为离子键、共价键和金属键三种，其键强与原子的结构有关。此外还有属于物理键的分子键和氢键，为聚集过程中不发生电子运动的结合力。与键性相对应，固体可分为离子晶体、共价晶体、金属晶体和分子晶体等。

### 1. 离子键和离子晶体

离子键是在正电性离子和负电性离子之间产生的静电引力。两种离子的引力和斥力相等时即形成稳定的离子键。离子键没有饱和性和方向性，但要求正负离子相间排列，而且要使异性离子之间的引力最大，同性离子间的斥力最小。这些特征使离子晶格一般呈最紧密堆积，有较高的配位数。氯化钠是典型的离子晶体(图1-1)。

离子键的结合力很大，因此离子晶体的硬度高、强度大、热膨胀系数小，但脆性大。离子键中很难产生可以自由运动的电子

，所以离子晶体都是良好的绝缘体，但熔化后可以导电。由于构成离子晶体的原子外层电子比较牢固，可见光的能量一般不足以使其受激发，因而离子晶体一般不吸收可见光，折射率和反射率都较低，所以典型的离子晶体是无色透明的。

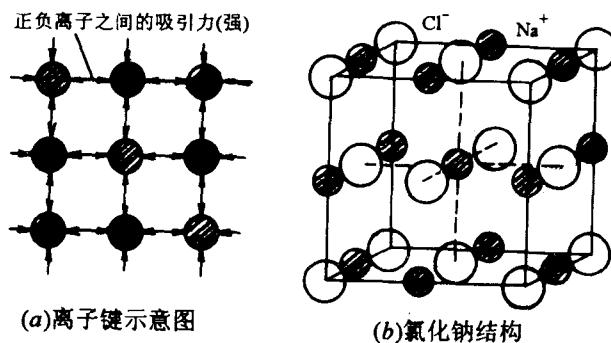


图1-1 离子键 (a) 和离子晶体 (b)  
(引自郑明新, 1991)

### 2. 共价键和共价晶体

处于元素周期表中间位置的三、四、五价元素，得失电子的几率大致相等，当这些元素的原子相互之间或与邻近元素的原子形成分子或晶体时，以共用电子方式实现结合(图1-2)。共价晶体中的粒子为中性原子，故也称原子晶体。共价键有明显的饱和性和强烈的方向性，因此在原子晶体的晶格中，原子不一定呈最紧密堆积，配位数较低。

最有代表性的共价晶体是由碳原子组成的金刚石。硅、锗、锡等元素也可构成共价晶体。属于共价晶体的还有 SiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、BN 等化合物。有些元素，如 Te、Se、As、Sb、Bi 等的原子之间存在近似的共价结合。H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、Cl<sub>2</sub> 等单质分子和 HCl、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub> 等化合物也是靠共价键来结合的。

共价键的结合力很大，所以共价晶体强度高、硬度高、脆性大、熔点高、沸点高、挥发性低，

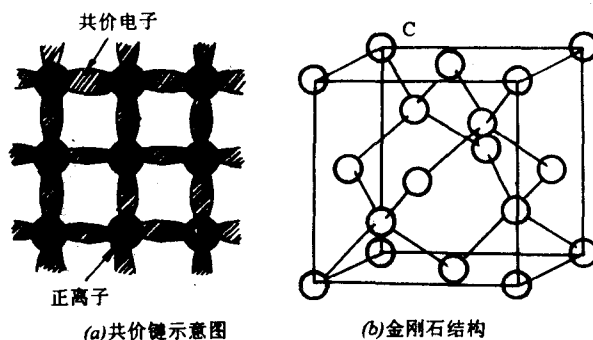


图1-2 共价键 (a) 和共价晶体 (b)  
(引自郑明新, 1991)

结构也比较稳定。由于相邻原子所共有的电子不能自由运动，共价晶体的导电能力较差。

### 3. 金属键和金属晶体

元素周期表中 I、II、III 族元素的原子聚集为固体时，大部分原子将失去电子，形成电子云(图1-3)。在金属晶体内，价电子弥漫在整个晶体体积内，所有的金属离子皆处于相同的环境之中，全部粒子都可被看成是有一定体积的圆球，所以金属键无方向性和饱和性，因而晶格常作最紧密堆积，原子有较高的配位数。

由于自由电子的存在，金属晶体为良导体，具高反射率，不透明，有延展性，硬度一般较小。

#### 4. 分子键和分子晶体

分子键由色散力、诱导力和取向力三者构成。在分子晶体中，一般都是色散力起主要作用。大部分有机化合物的晶体和  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$  等在低温下形成的晶体都是分子晶体。分子键一般没有方向性和饱和性。分子晶体的结构主要取决于几何因素，并趋向于紧密排列(图1-4)。由于分子键力很弱，所以分子晶体的结合力很小，熔点很低，热膨胀系数大，导热率小，硬度也很低。分子键也存在于由其它化学键形成的晶体中，但常可忽略不计。

#### 5. 氢键和氢键晶体

在一定的条件下，含氢的物质特别是含氢的聚合物中，一个氢原子可以同时和电负性大的、半径较小的两个原子(F、O、N 等)相结合，形成一种特殊类型的物理键——氢键。氢键有方向性，比一般的分子键强得多，但比离子键、共价键小得多。它在许多情况下起很重要的作用。冰的晶体和磷酸二氢钾晶体等就是靠氢键结合起来的。

大多数晶体并非由单一键性的化学键结合而成的，而往往是几种键的混合结合。若以四种典型键为顶点做成一个四面体，则各种固体材料的结合键均位于四面体的棱上、面中或体内(图1-5)。

### (三) 材料的基本类型

材料有各种不同的分类方法。按材料的性质和用途，可将材料大致分为结构材料(Structural Materials)和功能材料(Functional Materials)两大类。结构材料(或称工程材料, Engineering Materials)是指要求强度、韧性、塑性等机械性能的材料，砖瓦、钢筋混凝土、木材等建筑材料是典型的结构材料。功能材料是指那些要求以光、电、磁、热、

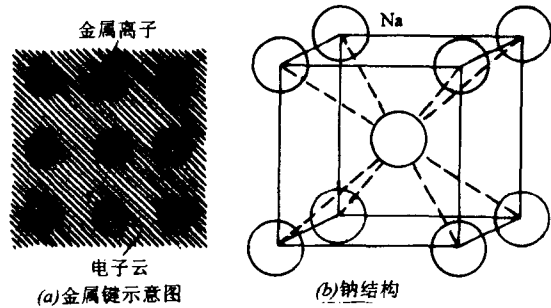


图1-3 金属键(a)和金属晶体(b)

(引自郑明新,1991)

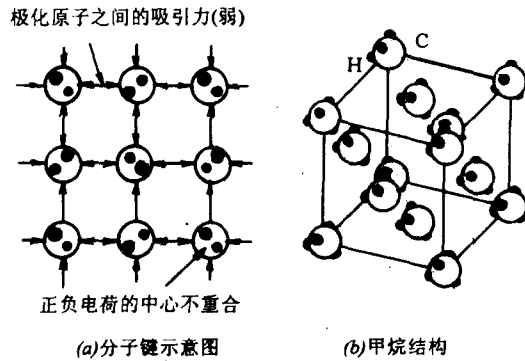


图1-4 分子键(a)和分子晶体(b)

(引自郑明新,1991)

声、核辐射等特殊性能为主要功用的材料，光导纤维、磁盘是常见的功能材料。

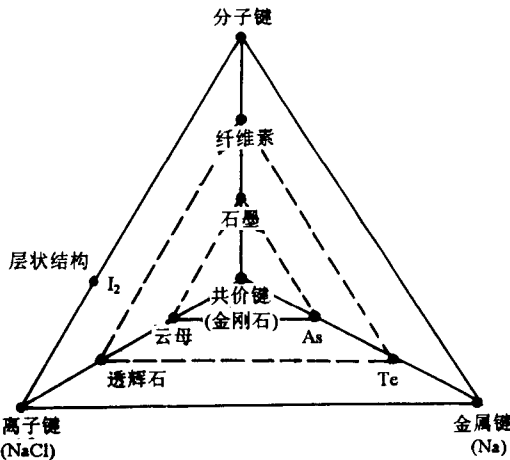


图1-5 键的四面体  
(引自郑明新, 1991)

根据构成材料的化学结合键的类型，一般将材料分为金属材料、无机非金属材料和高分子材料三大类。三类材料因原子间的相互作用不同，在各种性能上表现出极大的差异。它们相互配合，取长补短，“三足鼎立”，构成现代工业的三大材料体系。由上述三类材料相互之间复合而成的复合材料介于三者之间，有时也将其单独做为一类(图1-6)。这种分类方法，也是材料科学与工程学科划分的依据。

### 1.金属材料

金属材料是最重要的工程材料，包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。元素周期表中的金属元素分简单金属和过渡族金属两类。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素，均属于简单金属。内电子壳层未完全填满的元素属过渡族金属。简单金属的结合键完全为金属键，过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合键，但以金属键为主。所以，以金属为主体的金属材料，原子间的结合键基本上为金属键，皆为金属晶体材料。

金属材料是最重要的工程材料，包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。元素周期表中的金属元素分简单金属和过渡族金属两类。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素，均属于简单金属。内电子壳层未完全填满的元素属过渡族金属。简单金属的结合键完全为金属键，过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合键，但以金属键为主。所以，以金属为主体的金属材料，原子间的结合键基本上为金属键，皆为金属晶体材料。

工业上把金属及其合金分为以下两大部分。

- (1) 黑色金属 铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金)。
- (2) 有色金属 黑色金属以外的所有金属及其合金。

黑色金属材料的工程性能比较优越，价格也比较便宜，是最重要的工程用金属材料。以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的90%以上。

按照性能的特点，有色金属可分为轻金属、易熔金属、贵金属、铂金属、稀土金属和碱土金属。它们是重要的特殊用途材料。

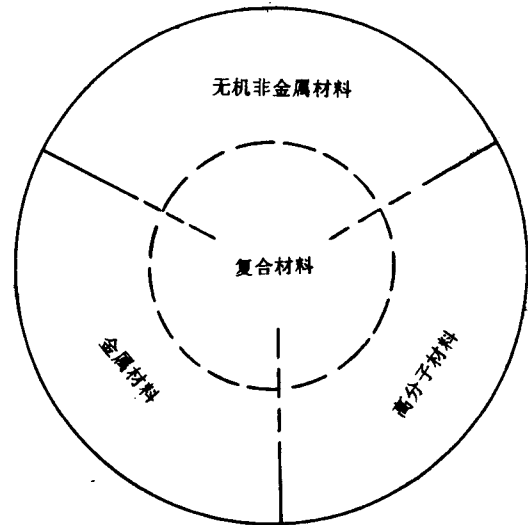


图1-6 材料的基本类型

### 2.无机非金属材料

无机非金属材料是一种或多种金属元素同一种非金属元素(如O、C、N等，通常为O)的化合物，主要为金属氧化物和金属非氧化物，不含C—H—O链。其中尺寸较大的氧原子为主体，尺寸较小的金属原子(或半金属原子如Si等)处于氧原子之间的空隙中。氧

原子同金属原子化合时形成很强的离子键，同时也存在一定成分的共价键，但离子键是主要的。如 MgO 晶体中离子键占84%，共价键占16%。也有一些特殊陶瓷以共价键为主，如 SiC。

无机非金属材料是人类应用最早的材料，也是用量最大、用途最为广泛的一类材料。它脆性大，但坚硬、稳定，一般都有良好的绝缘、绝热性能，可以制造各种工具、用具，可以用作结构材料，是工程结构体中应用最广的一类材料，在现代高技术领域中也是重要的功能材料。陶瓷器、玻璃、水泥、耐火材料等都是无机非金属材料的重要成员。

无机非金属材料是本书的主体内容。有关无机非金属材料的具体分类等，将在以后的章节中详细讨论。

### 3. 高分子材料

高分子材料是由大量分子量特别高的大分子化合物组成的有机材料，亦称聚合物。在 高分子材料中，每个大分子都包含有大量结构相同、相互连接的链节。有机物质主要以碳元素(通常还有氢)为主，在大多数情况下碳元素构成大分子的主链。大分子内的原子之间由很强的共价键结合，而大分子与大分子之间由结合力较弱的分子键相连。由于大分子链很长，大分子间的接触面比较大，特别是当分子链交缠时，大分子之间的结合力可以是很大的，所以高分子材料的强度较高。在分子中存在氢时，氢键会加强分子间的相互作用力。

高分子材料具有较高的强度，良好的韧性和塑性，较强的耐腐蚀性，很好的绝缘性及重量轻等优良性能，是发展最快的一类结构材料。但这类材料的耐久性和耐高温性能普遍较差。

高分子材料按其分子链排列有序与否，可分为结晶聚合物和无定形聚合物两类。结晶聚合物的强度较高，结晶度决定于分子链排列的有序程度。

高分子材料的种类很多，广义的高分子材料包括天然高分子材料和合成高分子材料。天然的高分子材料有皮、毛、丝、天然橡胶、植物纤维、木材等；合成高分子材料，根据机械性能和使用状态，一般将其分为塑料、橡胶和合成纤维三大类。

(1) 塑料 包括通用塑料和工程塑料。主要指强度、韧性和耐磨性较好的、可制造某些机器零件或构件的聚合物，以工程塑料为主，按其加热性质分热塑性塑料和热固性塑料两种。前者可经反复加热多次塑化成型，如聚乙烯、聚酰胺等；后者经热固化成型后再次加热即失去可塑性，如酚醛塑料等。

(2) 橡胶 常指经硫化处理的、弹性特别优良的聚合物，有通用橡胶和特种橡胶两种。常用的合成橡胶有丁苯橡胶、顺丁橡胶、异戊橡胶和乙丙橡胶等。

(3) 合成纤维 指由单体聚合而成的、强度很高的聚合物，通过机械处理所获得的纤维材料。合成纤维有数十种之多，主要的有涤纶、锦纶、腈纶、维尼纶和芳纶等。

此外还有树脂和合成胶粘剂等。

### 4. 复合材料

复合材料的概念来自有机材料，几经演变，其涵义逐渐扩大。目前所称复合材料仍有广义复合材料和狭义复合材料之分。狭义的复合材料是指有机纤维与其它有机材料复合而成的材料(如玻璃钢)。广义的复合材料则泛指两种或两种以上不同材料的组合材料。它可以由各种不同种类的材料复合而成。

复合材料的特点是结合键非常复杂，但它结合了不同材料的优良性能，取长补短，使

复合后的材料在强度、刚度、耐腐蚀性等使用性能方面比单一材料优越。这是一类特殊的材料，有广阔的发展前景。

### 三、材料的应用和发展过程

在人类发展史中，最先使用的工具是石头。在由古猿到原始人的漫长进化过程中，石器一直是人类使用的主要工具。燧石和石英岩质地坚硬，但性脆，易于加工，破碎后棱角尖锐锋利，且资源丰富，因此是当时制造石器的主要原料。约50万年前，人类学会了用火。在原始社会末期，我们的祖先开始用火烧制陶器。新石器时代的仰韶文化和龙山文化时期，制陶技术已经发展到能在温度达950℃的氧化性炉气的窑中烧制红陶，在温度达1050℃的还原性炉气中烧制薄胎黑陶与白陶。3000多年前的殷、周时期发明了釉陶，窑炉温度提高到了1200℃。东汉时期出现了瓷器，并于9世纪传到了非洲东部和阿拉伯国家，13世纪传到日本，15世纪传至欧洲(据郑明新, 1991)。瓷器成了中国文化的象征，对世界文明产生了极大的影响。

制陶技术的发展，为冶炼和铸造技术的产生准备了必要的条件。我国在夏朝以前就开始了青铜的冶炼，虽然晚于古埃及和西亚地区，但发展较快，到殷、西周时期已发展到很高的水平，可制造各种工具、食器、兵器。司母戊鼎、越王宝剑、大冶铜矿遗址、战国编钟等都是我国青铜时代的杰作。我们的祖先在春秋战国时代就已认识到了青铜的性能与成分之间的关系，在青铜材料的冶炼和应用方面达到了当时世界最高水平。

由青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展，我国从春秋战国时期开始大量使用铸造铁器。战国时期开始使用铁模铸造，西汉时期用煤作炼铁燃料，汉代出现庞大复杂、带有鼓风装置的冶铁炉及稍后的炼钢技术，都反映出我国从西汉到明朝的一千五六百年间，钢铁生产技术远远超过世界各国。

铁器在公元前1000年前在亚洲出现，以后在文明古国巴比伦、埃及和希腊也逐渐得到了广泛应用。经过许多世纪的发展，西欧和俄国后来居上，创造了不少冶炼技术，使以钢铁为代表的材料的生产和应用跨入了一个新的阶段。但是，由于材料的问题太复杂，直到17世纪的科学革命和18、19世纪的工业革命时期，人们对材料的认识仍然是非理性的，还主要停留在工匠、艺人的经验技术的水平上。

18世纪后，由于工业的迅速发展，对材料特别是钢铁的需求急剧增长，在物理学、化学、材料力学等学科的基础上，金属学应运而生。它明确提出了金属的外在性能决定于内部结构的概念，并以研究它们之间的关系为自己的主要任务。近一百多年来，由于显微镜、X射线技术、电子显微镜等新仪器和新技术的相继出现和发展，金属学得到了长足的进步。

高分子材料的早期发展较为缓慢。人类最初使用的高分子材料是天然的木材、皮革和纤维，后来发明了造纸、养蚕、制胶技术，19世纪开始生产橡胶。直到20世纪后才有了快速发展。

进入20世纪以来，现代科学技术和生产飞速发展，材料、能源与信息作为现代技术的三大支柱，发展格外迅猛。在三大类材料中，非金属材料的发展神速，人工合成高分子材料的发展最快。本世纪早中期是金属材料的黄金时代，在材料发展中占主导地位。但从60年代到70年代，有机合成材料每年以14%的速度增长，而金属材料的年增长率仅为4%。到70年代中期，全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等。除了用作结构材料代替钢铁

外，目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。无机非金属材料的发展同样十分引人注目，它除因具有许多特殊性能而作为重要的功能材料(如磁记录材料、激光晶体、超导材料等)外，其脆性和抗热震性正在逐步得到改善，是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构也不再只用金属制造了。最近20多年来，金属与非金属、有机材料与无机材料相互渗透、相互结合，组成了一个完整的材料体系。

由此可见，人类对材料的应用和认识经历了一个漫长的历史过程。古代人类使用的材料主要是天然产品。随着科学技术的发展，人们不仅扩大了开发和利用自然资源的范围，而且制造了各种金属材料、无机非金属材料和高分子材料，并创造出了各种新型合成材料和复合材料。现代科学技术的发展，对材料的要求越来越高、越来越复杂，促使新材料的不断涌现。目前，人们已经有能力按照预定成分、结构、性能设计和制造材料，使人类进入了人工合成材料的新时代。

#### 四、材料科学与材料工程

材料是早已存在的名词，但材料科学(materials science)概念的提出是在本世纪60年代初。1957年原苏联人造卫星上天，美国朝野上下大为震惊，认为材料落后是重要原因之一，自1960年起，相继成立了十几个“材料研究中心”，不少大学建立了材料科学系或材料科学与工程系。材料研究中心的成立，是把各类材料统一考虑的开始。材料科学系的建立，把材料的整体视为自然科学的一个分枝。这对材料科学的发展来说是一次质变。

材料科学是在金属学、陶瓷学和高分子科学的基础上发展起来的。不论什么材料，尽管种类不同，各有特点，但却具有很多相通的原理、共性和相似的研究、生产方法。材料科学强调这种共性，强调各种材料之间的内在联系和相互借鉴。把不同类型的材料统一考虑，不但可以节约投资，更重要的是相互借鉴、相互启发、相互代用，充分发挥各类材料的优越性，加速材料及材料科学的发展。如马氏体相变原本是金属学家提出来的，但在氧化物陶瓷材料中被用做增韧的有效手段之一。在材料制备中利用金属有机化合物在一定条件下的分解，形成了制备高纯纳米级氧化物微粒的凝胶法，成为改善陶瓷脆性的有效途径。

材料科学有别于物理学、化学、数学和力学等基础科学，是一门应用科学，主要任务是揭示材料成分、结构、制造工艺与性能之间的关系(图1-7)，并以此指导研制具有新性质、新功能的新材料及其应用，但其研究对象却是一切固体材料。研究内容也包括化学组成、矿物组成、显微结构、性能、制造方法等诸多方面。

材料工程(materials engineering)是指运用材料科学的理论知识和经验知识，为满足各种特定需要而发展、制备和改进各种材料的工艺技术。

材料科学与工程的知识来自于基础科学和社会实践经验两个方面。需要指出的是，材料科学集中于认识材料的本质，提出有关的理论和描述，说明材料结构是如何与其成分、性能及行为相联系的。而材料工程则瞄准基础科学和经验知识的综合和

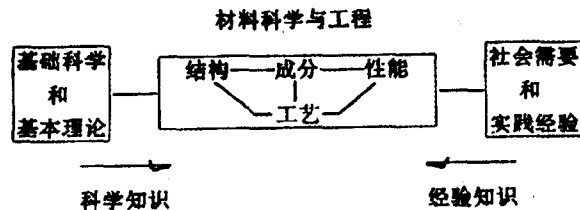


图1-7 材料科学与工程的中心环节  
(据弗莱克, 1984)

运用，以便发展、制备、改善和使用材料，满足具体需要。材料科学与材料工程之间很难划出明确的界线，二者的主要区别在于着眼点的不同或者说各自强调的中心不同。因此，一般将其合称为材料科学与工程(materials science and engineering, 简称为MSE)或材料科学与技术(materials science and technology)。现代材料学界强调科学与工程的一体化。

无机非金属材料是材料科学与工程研究的重要内容之一。它的学科理论基础是固体物理学、结晶化学和物理化学。有了这方面的理论指导和研究手段，就可以探索和认识材料的组成、结构与性能之间的相互联系及其规律，从而为合成具有预定性能的新型材料打下基础。量子化学在无机非金属材料的研究中，近年已引起学术界的重视，并进行过一些应用量子化学的理论和方法来处理、计算具体材料的特定性能尝试，取得了一些成果。

## 五、陶瓷、硅酸盐材料与无机非金属材料

陶瓷(ceramic、pottery、porcelain)一词在国内外广泛应用，但经长期演变，形成了狭义和广义多重含义。狭义的陶瓷一般仅为陶器和瓷器的合称，即指以可塑性粘土为主要原料，加入瘠性的石英和助熔剂长石，经烧制而成的制品，故有三组分陶瓷之称(triaxial pottery 或 triaxial ceramics)。制品按性质及所用原料、烧成制度的不同分为土器、陶器、炆器、瓷器等，按用途不同分为日用、建筑、卫生、电工、美术陶瓷等类。近代发展了不含硅酸盐化合物的陶瓷，如非硅酸盐氧化物、碳化物、氮化物、硼化物、硅化物和其它无机非金属材料制成的陶瓷。此外还有金属陶瓷和纤维增强陶瓷等。这些陶瓷由于化学组成、显微结构以及性能不同于普通陶瓷，故称特种陶瓷。广义的陶瓷包括普通陶瓷和特种陶瓷。

就名称来说，目前“陶瓷”一词有明显的不确定性，内涵和外延模糊，引用也较混乱。本书除特别注明外，所称“陶瓷”一词只限于陶器和瓷器。

“硅酸盐”一词按严格的化学概念是指由二氧化硅和金属氧化物所形成的盐类。硅酸盐在自然界种类繁多，分布极广，是构成地壳岩石、土壤和许多矿物的主要成分。以这类矿物为主要原料，经高温处理制成的制品或材料称为硅酸盐制品(silicate products)或硅酸盐材料(silicate materials)。制造这类制品或材料的工艺过程称为硅酸盐工艺(ceramic process)。生产这种制品或材料的工业称为硅酸盐工业(silicate industry)。传统的硅酸盐制品有陶瓷、砖瓦、玻璃、耐火材料、水泥、搪瓷等，一般都含有硅酸盐，是无机非金属材料的主要构成部分。在硅酸盐物质中，硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 是它的基本结构单元。由于硅—氧化学键强度大，结合牢固，因此硅酸盐制品或材料一般都具有良好的化学稳定性，较高的机械强度和耐高温性能。

最近几十年来，“硅酸盐材料”一词的概念有过一些变化。以不含硅的氧化物(如 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等单一氧化物和 $\text{BaTiO}_3$ 等复合氧化物)、碳化物、硼化物、卤化物、硫化物、碳素及其它非金属单质为主要成分的材料，是二次世界大战后出现的非硅酸盐类新材料。我国自50年代后期起，曾一度把它们都纳入硅酸盐材料范畴之内(40年代中期至50年代初期曾一度使用“陶业”一词)，与国际上广义的“陶瓷”(ceramics)及日本的“窑业”具同一涵义，使广义的硅酸盐材料几乎包括了所有的无机非金属材料。80年代以来，由于非硅酸盐类新材料的大量涌现，这种广义的概念已很少有人使用。

## 六、矿物材料

矿物岩石材料(mineral and rock materials)是80年代由地质学工作者提出的新概念。经过十多年的发展,矿物岩石材料学已很快成为一门相对独立的学科,但至今尚未达成公认的定义。

矿物岩石材料包括矿物材料和岩石材料两部分,但因岩石是由一种或多种矿物(有时为玻璃物质)组成的集合体,故也将矿物岩石材料简称为矿物材料(mineral materials)。

有人认为,矿物材料是指从天然矿物和岩石(包括部分人造矿物和岩石)的物理、化学性质及物理化学效应出发,经过适当的加工处理或深加工处理,使之成为能被工农业生产和日常生活各个领域直接使用的材料或制品材料。也有人认为,矿物材料是以非金属矿物为原料,通过一定的配方、一定的生产工艺生产出的具有一定性能的非金属材料(据邱克辉等,1996;董发勤,1996)。

笔者认为可将矿物材料定义为:在工农业生产和日常生活中具有应用价值的天然矿物、岩石及其制品和仿制品。其含义包括4个方面:①能被直接利用或稍经加工处理(如破碎、选矿、切割、改性等)即可利用的天然矿物、岩石;②以天然的非金属矿物、岩石为主要原料,通过物理化学反应(如焙烧、熔融、烧结、胶结等)制成的成品或半成品材料;③人工合成的矿物或岩石;④这些材料的直接利用目标主要是其自身具有的物理或化学性质,而不局限于其中的个别化学元素。显然,矿物材料属于无机非金属材料范畴,但涉及范围却十分广泛。

对于矿物材料学,可做如下定义:矿物材料学是一门应用学科,它以矿产资源的有效利用为目的,从矿物学和岩石学角度出发,利用天然矿物、岩石及其深加工产物研制和开发新型无机非金属材料,改造传统材料;其研究对象包括与矿物应用有关的所有无机非金属材料。研究内容不仅包括制品及其原料的成分、结构、性能和制备工艺,也包括这些制品及其原料与人类、与环境的相互协调关系。

矿物材料这一概念虽然在材料科学界尚存争议,但它的提出对活跃学术气氛,拓展传统地质学为国民经济服务的领域,促进地质科学和材料科学两大学科的相互交叉渗透,填补学科之间的空白,推动非金属矿产资源的利用和新型材料的开发,无疑有着重要的意义。

材料科学和地质科学都以物质实体为研究对象。它们对物质的成分、结构、性能的研究方法和内容在很多方面是相通或相似的。地质科学已有200多年的发展历史,其中的矿物学、岩石学作为地质科学的基础学科早已形成了系统、完整、独特的理论和方法体系,积累了丰富的资料和经验。地球物质本身就是一种材料体。天然形成的晶体、石材等也早已为人类直接利用,很多无机非金属材料实际上是天然矿物、岩石的再造物或仿制品。本世纪以来,学科间的交叉渗透已成为科学发展的一个显著特征。在物理学、化学尺度上,或者更准确地说,在原子、分子尺度上研究物质的成分、结构、性质及其形成机理,并将其定量化、模型化,是当今地质科学和材料科学共同面临的前沿课题。任何学科,只有从其它学科的成就中汲取营养,才具有活力。重要的问题是两大学科如何相互借鉴,优势互补,共同建立和完善新的学科体系,推动天然资源的合理、高效的利用。

这里应当提到的是工艺岩石学(也称工业岩石学, industrial petrology 或 applied petrology)。它作为岩石学的分支学科,从岩石学中派生出来后,经过几十年的发展,形成了一门独立的学科。它将硅酸盐制品及其副产品(包括玻璃、水泥、陶瓷、铸石、耐火材



料、烧结矿、球团矿、各种炉渣、尾矿、粉煤灰等)视作人造岩石,并应用岩石学的理论和方法研究各类硅酸盐材料的物相组成、结构构造、生产工艺及其使用性能之间的关系,取得了许多重要成果,在硅酸盐工业中发挥了重要作用,并得到了硅酸盐工业界的认同和重视。