



高等学校教材

高分子材料导论

张留成 主编

化学工业出版社

高等学校教材

高分子材料导论

张留成 主编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字039号

图书在版编目 (CIP) 数据

高分子材料导论/张留成主编. —北京: 化学工业出版社, 1993.5(1999.4重印)

高等学校教材

ISBN 7-5025-1076-1

I. 高… II. 张… III. 高分子材料-高等学校-教材
IV. TB324

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第15785号

高等学校教材

高分子材料导论

张留成 主编

责任编辑: 杨 菁

封面设计: 季玉芳

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里8号 邮政编码100029)

新华书店北京发行所经销

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本787×1092毫米1/16 印张15 字数350千字

1993年5月第1版 1999年4月北京第4次印刷

印数: 10801—13800

ISBN7-5025-1076-1/G·286

定 价: 16.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

目 录

第1章 材料科学概述	1
1.1 材料与材料科学	1
1.1.1 材料及材料化过程(材料工艺过程)	1
1.1.2 材料的类别	1
1.1.3 材料科学的范畴及任务	6
1.2 材料结构简述	7
1.2.1 原子结构	7
1.2.2 结合键	8
1.2.3 原子排列	9
1.2.4 非晶态结构	9
1.2.5 晶体结构	10
1.2.6 结构缺陷	11
1.3 材料的性能	15
1.3.1 特征性能	15
1.3.2 功能物性(效应物性)	16
1.4 材料工艺及其与结构和性能的关系	16
1.4.1 材料工艺过程(材料化过程)	16
1.4.2 材料工艺与材料结构及性能的关系	17
1.5 材料的强化机制	18
1.5.1 冷变形强化(应变硬化)	18
1.5.2 细晶强化	18
1.5.3 固溶强化	19
1.5.4 多相强化	19
1.5.5 分散强化	19
1.5.6 马氏体强化	19
1.6 高分子材料的发展	20
参考文献	20
第2章 高分子材料的结构与性能	22
2.1 高分子与高分子材料	22
2.1.1 基本概念	22
2.1.2 命名	22
2.1.3 分类	23
2.1.4 聚合反应	24

2.1.5 高分子材料的组成和成型加工	25
2.2 聚合物结构	25
2.2.1 大分子链的近程结构	25
2.2.2 大分子链的远程结构	28
2.2.3 聚合物聚集态结构	31
2.3 聚合物的分子运动及物理状态	37
2.3.1 聚合物分子运动的特点	37
2.3.2 聚合物的物理状态	38
2.3.3 聚合物的玻璃化转变及次级转变	40
2.3.4 聚合物熔体的流动	42
2.4 高分子材料的力学性能	46
2.4.1 力学性能的基本指标	46
2.4.2 高弹性能	48
2.4.3 粘弹性	50
2.4.4 聚合物的力学屈服	53
2.4.5 聚合物的力学强度	56
2.4.6 摩擦与磨耗	58
2.4.7 疲劳强度	59
2.5 高分子材料的物理性能	60
2.5.1 热性能	60
2.5.2 电性能	61
2.5.3 光性能	63
2.5.4 溶解性和渗透性	64
2.6 高分子材料的老化	67
2.6.1 光氧化	67
2.6.2 热氧化	68
2.6.3 化学侵蚀	68
2.6.4 生物侵蚀	68
2.7 高分子材料的燃烧特性	68
2.7.1 燃烧过程及机理	68
2.7.2 氧指数	70
2.7.3 聚合物的阻燃	70
2.8 力化学性能	71
2.8.1 力化学过程	71
2.8.2 力降解	72
2.8.3 力化学合成	73
2.8.4 力化学过程的应用前景	73
参考文献	74
第3章 塑料	75

3.1 概述	75
3.1.1 类型及特性	75
3.1.2 塑料的组分及其作用	76
3.1.3 塑料的成型加工方法	78
3.2 热塑性塑料	82
3.2.1 聚烯烃塑料	82
3.2.2 聚氯乙烯塑料	88
3.2.3 聚偏氯乙烯塑料	90
3.2.4 聚乙烯醇及其衍生物塑料	90
3.2.5 丙烯酸塑料	91
3.2.6 纤维素塑料	92
3.3 工程塑料	93
3.3.1 聚酰胺	94
3.3.2 聚碳酸酯	97
3.3.3 聚甲醛	98
3.3.4 聚苯醚	98
3.3.5 聚对苯二甲酸丁二醇酯及乙二醇酯	99
3.3.6 聚酰亚胺	99
3.3.7 氟塑料	101
3.3.8 聚砒	101
3.3.9 聚苯硫醚	102
3.3.10 聚芳酯	102
3.3.11 聚苯酯	103
3.3.12 聚醚醚酮	103
3.3.13 氟化聚醚	104
3.4 热固性塑料	104
3.4.1 酚醛塑料	104
3.4.2 氨基塑料	105
3.4.3 呋喃塑料	106
3.4.4 环氧塑料	106
3.4.5 不饱和聚酯塑料	107
3.4.6 有机硅塑料	108
参考文献	108
第4章 橡胶	109
4.1 概述	109
4.1.1 橡胶及其制品的分类	109
4.1.2 橡胶的主要性能指标	110
4.2 结构及其与性能的关系	111
4.2.1 结构特征	111

4.2.2 结构与性能的关系	111
4.3 配方	113
4.3.1 橡胶制品的原材料	113
4.3.2 橡胶制品的配方	115
4.4 橡胶加工工艺	115
4.4.1 塑炼	115
4.4.2 混炼	116
4.4.3 压延和压出	116
4.4.4 成型	117
4.4.5 硫化	117
4.5 天然橡胶	118
4.5.1 天然橡胶的品种	118
4.5.2 天然橡胶的组成与结构	119
4.5.3 天然橡胶的性能与用途	120
4.6 合成橡胶	121
4.6.1 二烯类橡胶	121
4.6.2 氯丁橡胶	124
4.6.3 聚异丁烯和丁基橡胶	125
4.6.4 以乙烯为基础的橡胶	127
4.6.5 其它合成橡胶	129
4.7 热塑性弹性体	130
4.7.1 结构特征	130
4.7.2 聚烯烃类热塑性弹性体	130
4.7.3 苯乙烯类热塑性弹性体	130
4.7.4 聚酯型热塑性弹性体	131
4.7.5 热塑性聚氨酯弹性体	131
4.7.6 其它热塑性弹性体	131
4.8 微孔高分子材料	131
参考文献	131
第5章 纤维	133
5.1 概述	133
5.1.1 纤维的分类	133
5.1.2 纤维的主要性能指标	133
5.2 纤维加工的一般过程	135
5.2.1 纤维加工的一般工艺	135
5.2.2 纤维加工过程中结构的变化	140
5.3 结构与性能的一般关系	142
5.3.1 分子结构	142
5.3.2 形态结构	143

5.4 天然纤维和人造纤维	146
5.4.1 天然纤维	146
5.4.2 人造纤维	146
5.5 合成纤维	148
5.5.1 聚酰胺纤维	149
5.5.2 聚酯纤维	150
5.5.3 聚丙烯腈纤维	152
5.5.4 其它纤维	152
参考文献	155
第6章 胶粘剂、涂料与功能高分子	157
6.1 胶粘剂	157
6.1.1 胶粘剂的分类及组成	157
6.1.2 胶接及其机理	158
6.1.3 各类材料的胶接	161
6.1.4 环氧树脂胶粘剂	162
6.1.5 酚醛树脂胶粘剂	163
6.1.6 丙烯酸酯类胶粘剂	164
6.1.7 其它常用胶粘剂	165
6.2 涂料	166
6.2.1 涂料的组成	166
6.2.2 涂料的类型	167
6.2.3 油基树脂漆	167
6.2.4 合成树脂漆	169
6.2.5 水性树脂涂料	170
6.2.6 粉末涂料	170
6.3 功能高分子	171
6.3.1 螯合树脂及配位高分子	171
6.3.2 离子交换树脂	173
6.3.3 感光性高分子	175
6.3.4 高分子催化剂	178
6.3.5 医用高分子	179
6.3.6 高吸水性树脂	179
6.3.7 导电性高分子材料	179
参考文献	180
第7章 聚合物共混材料	181
7.1 聚合物共混物及其制备方法	181
7.1.1 基本概念	181
7.1.2 制备方法	182
7.2 形态结构	186

7.2.1	形态结构的基本类型	186
7.2.2	聚合物共混物的界面层	189
7.2.3	混溶性对形态结构的影响	189
7.2.4	制备方法的影响	192
7.2.5	形态结构的测定方法	192
7.3	聚合物共混物的性能	194
7.3.1	聚合物共混物性能与其组分性能的一般关系	194
7.3.2	力学松弛性能	195
7.3.3	模量和强度	196
7.3.4	聚合物共混物熔体的流变特性	198
7.3.5	其它性能	199
7.4	主要品种	200
7.4.1	以聚乙烯为基的共混物	200
7.4.2	以聚丙烯为基的共混物	201
7.4.3	以聚氯乙烯为基的共混物	201
7.4.4	以聚苯乙烯为基的共混物	203
7.4.5	其它聚合物共混物	204
	参考文献	204
第8章	聚合物基复合材料	205
8.1	概述	205
8.1.1	复合材料复合结构的类型	205
8.1.2	聚合物基复合材料的类型及特点	206
8.2	增强剂	206
8.2.1	主要品种	206
8.2.2	增强材料的表面处理	208
8.3	聚合物基体	210
8.3.1	塑料	210
8.3.2	橡胶	211
8.4	聚合物基复合材料的制造及成型方法	211
8.4.1	预浸料的制造	211
8.4.2	制件成型固化工艺	212
8.5	聚合物基复合材料的界面	213
8.5.1	界面的形成与界面结构	213
8.5.2	界面的作用	214
8.5.3	界面作用机理	215
8.6	聚合物基复合材料的性能	217
8.6.1	复合效果	217
8.6.2	弹性模量	218
8.6.3	强度	220

8.6.4 其它性能	222
8.7 聚合物基复合材料的应用	224
8.7.1 宇航和航空	224
8.7.2 造船	225
8.7.3 车辆制造	225
8.7.4 其它	226
参考文献.....	226
附录	227

第1章 材料科学概述

1.1 材料与材料科学

1.1.1 材料及材料化过程（材料工艺过程）

具有满足指定工作条件下使用要求的形态和物理性状的物质称为材料。这就是说，材料和物质这两个概念具有不同的涵义。对材料而言，可采用“好”或“不好”等字眼加以评价，对物质则不能这样。材料总是和一定的用场相联系的。材料可由一种物质或若干种物质构成。同一种物质，由于制备方法或加工方法的不同，可成为用场各异的不同类型的材料。例如：对矾土 Al_2O_3 ，将其作成单晶就成为宝石或激光材料；作成多晶体就成为集成电路用的放热基板材料、高温电炉用的炉管或切削用的工具材料；作成多孔的多晶体时，则可用作催化剂载体或敏感材料。但在化学组成上，它们是同一物质。又如化学组成相同的聚丙烯，由于制备方法和成型加工方法的不同，可制成纤维或塑料。

由化学物质或原料转变成适于一定用场的材料，其转变过程称为材料化过程或称为材料工艺过程。例如从 SiO_2 和 Na_2CO_3 制备玻璃的过程可由图1-1表示。

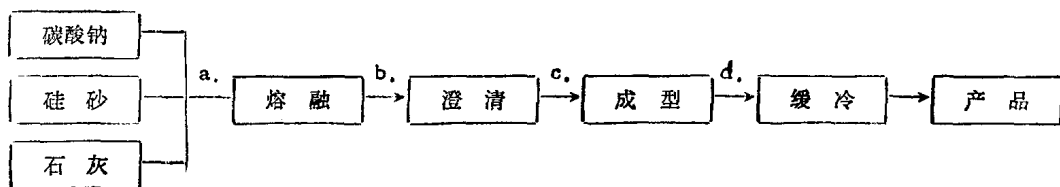


图 1-1 玻璃的制备过程

步骤 a. 中，碳酸钠分解为 Na_2O ， Na_2O 与 SiO_2 反应， Na^+ 离子把 $\text{Si}-\text{O}$ 键的一部分拆开，使体系粘度下降（发生化学反应即化学过程）这样就成为熔融态并转变成透明状（形态及物性变化，为材料化过程）。b. ~ d. 都属于材料化过程。b. 是除去熔融物中的气泡及杂质使透明性提高。c. 是赋予一定的形状。d. 是消除内应力以提高强度。可见，为适应某种使用目的，而对物质体系某种物性、强度、形状所进行的种种操作或加工就是材料化过程即材料工艺过程。

金属材料中的铸造、热处理、焊接、机加工等，聚合物材料中的各种成型加工过程等，都属于材料化过程。

1.1.2 材料的类别

材料可从不同的角度进行分类。按化学组成分类，可分为金属材料、无机材料和有机材料（高分子材料）三类。按状态分类，有气态、液态和固态三类。一般使用的大都是固态材料。固态材料又分为单晶、多晶、非晶及复合材料等。按材料所起的作用分类，可分为结构材料 and 功能材料两种类型。对结构材料主要是使用其机械力学性能。这类材料是机械制造、工程建筑、交通运输、能源利用等方面的物质基础。功能材料是利用其各种物理

和化学特性，在电子、红外、激光、能源、通讯等方面起关键作用。例如，铁电材料、压电材料、光电材料、超导材料、声光材料、电光材料等都属于功能材料。此外，也可按照使用领域分为电子材料、耐火材料、医用材料、耐蚀材料、建筑材料等不同种类。材料的分类可概括如图1-2。

但是，为便于阐明材料结构-性能-用途之间的关系，通常都是把材料分成金属材料、无机材料、高分子材料和复合材料四种类别。

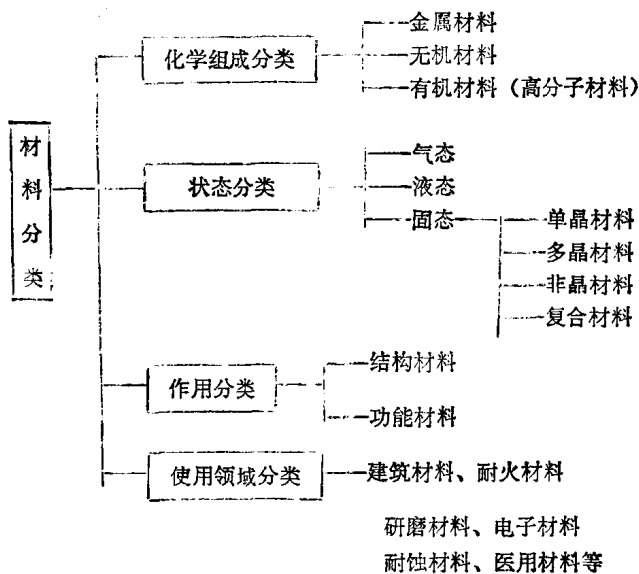


图 1-2 材料分类

（1）金属材料

金属材料有两种。一种是利用其固有特性以纯金属状态使用的，如作导体用的铜和铝。另一种是由几种金属组成或加入适当的杂质成分以改善其原有特性而使用的，如合金钢、铸铁等。金属的键合无方向性，其结晶多是立方、六方的最密堆砌结构，富于展性和延性、良好的导电及导热性、较高的强度及耐冲击性。用各种热处理方法可以改变金属及合金的组织结构从而赋予各种特性。这些特点使金属材料成为用途最广、用量最大的材料。

在工业上，通常将金属材料分成黑色金属（铁基合金）和有色金属两种类型。

黑色金属主要是以铁-碳为基的合金，包括普通碳钢、合金钢、不锈钢和铸铁。钢的性能主要是由渗碳体的数量、尺寸、形状及分布决定的。而渗碳体的数量、尺寸、形态又是不同的热处理工艺所决定。合金元素的最重要功能是改善这些热处理能力或有助于产生的组织结构在高温下更加稳定。不锈钢至少含12%Cr，这种钢暴露在氧气中时，形成一层薄的氧化铬，对表面起保护作用，因而具有优异的耐蚀性。铸铁为铁-碳-硅合金，典型的铸铁含有2~4%的碳和0.5~5%的硅。不同的铸造工艺可生成不同类型、不同用途的铸铁。

有色金属是除铁之外的纯金属或以其为基的合金。常用的有铝合金、镁合金、铜合金、钛合金等。

铝是一种轻金属，密度仅为钢的 $\frac{1}{3}$ 。采用不同的强化机制，如固溶强化、弥散强化、时效强化等与少量Mn、Mg等制成铝合金后，强度可比纯铝高出30倍。铝合金广泛用于飞机及汽车制造业。由于铝熔点较低，高温性能不好，耐疲劳性、硬性及耐磨性也都不如钢材好。

镁轻于铝，熔点较低，强度/重量比与铝相当。镁合金用于宇航、高速机器、运输和材料处理装置等方面。镁易于燃烧故不宜用在铸造和机加工方面。镁对强化机制的响应性也比较差。

钛比铝轻，刚性比钢高。钛合金具有很高的强度/重量比，其性能可以保持到高温，是极好的工程材料。其缺点是价贵、性脆且有毒，制造技术复杂。

铜合金重于钢，具有抗疲劳、抗蠕变和耐磨的优点。许多铜合金也具有极好的延展性、耐蚀性、导电及导热性。纯铜为红色，添加锌可成黄色，加镍可生成银色，因此可制成各种装饰色彩。工业纯铜用于电气，加少量铜或银可改善其高温硬度，加碲或硫可改善其加工性能，加 Al_2O_3 可提高铜的硬度而不致使导电性明显下降。常用的铜合金有：铜锌合金(黄铜)、锰青铜、锡青铜、铝青铜、硅青铜等。

镍和钴合金具有高熔点、高强度、耐蚀等特点，用于阀、泵、叶轮、热交换器及化工设备等方面。

钛合金质轻、强度/重量比高，具有极好的耐蚀性和优异的高温性能。

(2) 无机材料

无机材料是由无机化合物构成的材料，其中包括诸如锗、硅、碳之类的单质所构成的材料。硅和锗是主要的半导体材料，由于其重要性，已独立成为材料的一个分支。

主要的无机材料是硅酸盐材料。硅酸盐是地壳上存在量最大的矿物，折合成 SiO_2 约占造岩氧化物的60%。与 SiO_2 结合组成硅酸盐的氧化物主要有 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 等。以硅酸盐为主要成分的天然矿物，由于分布广、容易采取，很早即被人类作为材料使用。在石器时代，直接用它制成各种工具，在史前时期用它制成了陶器，随后发展到用它制成了玻璃、瓷器、水泥等各种硅酸盐材料。

以硅酸盐为主要成分的材料有玻璃、陶瓷和水泥三大类。硅酸盐材料在发展过程中，使用的原料除以硅酸盐为主要成分的天然硅石、粘土外，也采用了其它不含 SiO_2 的氧化物和以碳为主要成分的石墨等，按同样的工艺方法制成了各样制品。虽然这些材料已不是硅酸盐，但习惯上仍归属于硅酸盐材料。

20世纪40年代以来，由于新技术的发展，在原有硅酸盐材料基础上相继研制成了许多新型的无机材料，如用氧化铝制成的刚玉制品，用焦炭和石英砂制成的碳化硅制品以及钛酸钡铁电体材料等。常把这些称作新型无机材料以与传统的硅酸盐材料相区别。在欧美各国常把无机材料通称为陶瓷材料，因此也称上述的新型无机材料为“新型陶瓷”。

无机材料一般硬度大、性脆、强度高、抗化学腐蚀、对电和热的绝缘性好。

(3) 高分子材料

高分子材料是由脂肪族和芳香族的C—C共价键为基本结构的高分子构成的，也称为有机材料。人们使用有机材料的历史很早，自然界的天然有机产物，如木材、皮革、橡胶、棉、麻、丝等都属于这一类。自20世纪20年代以来，发展了人工合成的各种高分子材

料。高分子材料的一般特点是质轻、耐腐蚀、绝缘性好、易于成型加工，但强度、耐磨性及使用寿命较差。因此高强度、耐高温、耐老化的高分子材料是当前高分子材料的重要研究课题。

高分子材料有各种不同的分类方法。例如，按来源可分为天然高分子材料及合成高分子材料。按大分子主链结构可分为碳链高分子材料、杂链高分子材料及元素有机高分子材料等。最常用的是根据高分子材料的性能和用途进行分类。

根据性能和用途，高分子材料可分为橡胶、塑料、纤维、粘合剂、涂料、功能高分子材料以及聚合物基复合材料等不同的类别。

(4) 复合材料

由两种或两种以上，物理和化学性质不同的物质，用适当的工艺方法组合起来，而得到的具有复合效应的多相固体材料称之为复合材料。所谓复合效应就是指通过复合所得的产物性能要优于组成它的材料或具有新的性能特点。多相体系和复合效应是复合材料区别于化合物材料和混合材料的两个特点。

一般，对复合材料的含义有两种广义的指由两个或多个物理相组成的固体材料，如玻璃纤维增强塑料、钢筋混凝土、橡胶制品、石棉水泥板、三合板、泡沫塑料、多孔陶瓷等都可归入复合材料的范畴。狭义的指用玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、陶瓷纤维、晶须、芳香族聚酰胺纤维等增强的塑料、金属和陶瓷材料。

从不同的角度可将复合材料分成若干的类别。

A. 按构成的原料进行分类，如表1-1所示。

表 1-1 按原材料对复合材料进行的分类

分散材料	基体	金属材料	无机材料		高分子材料			其 它
			陶 瓷	水 泥	木 材	塑 料	橡 胶	
金属材料		FRM, 包层金属	FRC, 夹网玻璃金属陶瓷	钢筋混凝土		FRC, FP	轮胎	
无机材料	陶瓷	FRM, 弥散强化金属	FRC, 压电陶瓷, 陶瓷磨具	GRC		FRP, 砂轮, FP	多层玻璃, 轮胎	玻璃纤维, 增强碳
	水泥				石棉胶合板	树脂混凝土	乳胶水泥	
	其它	碳纤维增强金属		石棉水泥板		CFRP, 树脂石膏, 摩擦材料	炭黑补强橡胶	碳-碳复合材料
高分子材料	木材			石棉胶合板		装饰板, WPC, FP		
	塑料	铝-聚乙烯复合薄膜			装饰板, WPC	复合薄膜, 合成皮革		
	橡胶							
其它						泡沫塑料, 人造革	橡胶布	漆布

注：FRM—纤维增强金属；FRC—纤维增强陶瓷；FRP—纤维增强塑料；CFRP—碳纤维增强塑料；FP—填充塑料；WPC—木材-塑料复合材料；GRC—玻璃纤维增强水泥。

根据构成原料在复合材料中的形态，可分成基体材料和分散材料。基体是构成连续部

的材料，它把纤维或颗粒等分散材料固结成一体。现在习惯上常把复合材料归入基体所属类的材料中，例如把以金属材料为基体的复合材料归入金属材料的范畴，把以聚合物为基体的复合材料归入高分子材料的范畴等。但是，对于象包层金属、胶合板之类的复合材料就分不出哪个是基体，哪个是分散材料。

根据这种分类的方法，复合材料有三种命名方法：一是以基体为主，如塑料基复合材料、金属基复合材料等；二是以分散材料为主，如玻璃纤维增强复合材料、碳纤维增强复合材料等；三是基体和分散材料并用，如不饱和聚酯——玻璃纤维层压板、木材——塑料复合材料等。

B. 按复合材料的形态和形状进行分类，可分为颗粒状、纤维状及层状三类。

在颗粒增强复合材料中，分散的硬质颗粒均匀地弥散在软而具有延性的基体之中。根据颗粒的大小及其对复合材料性能产生的影响，颗粒状复合材料有两类，即弥散强化复合材料及真正颗粒状复合材料。

弥散强化复合材料的颗粒很小，直径在 $100\text{Å} \sim 2500\text{Å}$ 。由于小颗粒阻碍了位错运动，因此产生显著的强化作用，少量弥散颗粒就可得到显著的强化效应。弥散相通常是坚硬稳定的氧化物，必须能有效地阻止滑移。弥散颗粒必须有最佳的尺寸、形状、分布及数量。弥散相在基体中溶解度必须很小以保证多相结构的形成。这类复合材料的典型例子有含14% Al_2O_3 的烧结铝，用1~2% ThO_2 增强的镍、钨等合金。

真正颗粒状复合材料含有大量的粗大颗粒，这些颗粒并不能有效的阻止滑移，其目的往往不是为了提提高强度而是为了获得不同寻常的综合性能。这类复合材料的例子有陶瓷颗粒分散于金属基体中而得到的硬质合金。将 Al_2O_3 、 SiC 、金刚石颗粒用聚合物或玻璃粘在一起而制成的各种磨料，各种填充聚合物，用炭黑增强的橡胶等。

将强度高、刚性好的纤维加入到柔软、有延性的基体中可得到具有较高强度、抗疲劳、刚度及强度/重量其值大的纤维增强复合材料。这类复合材料的例子有：钢筋混凝土、轮胎、玻璃钢等。

层状复合材料包括很薄的涂层、较厚的保护性表面层、包覆层、双金属、层压板等。很多层状复合材料是为在保持价格低、强度高、质量轻的同时又具有高的耐蚀、耐磨以及好的外观。这类材料的例子有：层压板、包覆金属、双金属等。

C. 按复合性质分类，可分为合体复合（物理复合）和生成复合（化合复合）两种。合体复合在复合前后原材料的性质、形态、含量大体上没有变化。常见的复合材料，如玻璃纤维增强塑料等，都属这类复合。化学复合前后，组成材料的性质、形态、含量等均发生显著变化，其特点是通过化学过程形成多相结构。例如动物、植物组织等天然材料即属这类复合材料，目前已应用的人生成复合材料为数尚少。

D. 按复合效果分类，可分为结构复合材料和功能复合材料两大类，如图 1-3 所示。

结构复合材料亦称力学复合材料，是以提高力学性能为目的的复合材料。目前大量生产和应用的复合材料一般都是结构复合材料。

功能复合材料是指除力学性能以外，其它性能复合的复合材料，这是近几年开始发展的一类复合材料。研究表明，功能复合材料的效能常优于一般单质功能材料。以压电型功能复合材料为例，以锆钛酸铅粉末与高分子树脂复合可制成易于加工成型的复合压电材料，而且压电系数提高，远优于单一的锆钛酸铅。这类复合材料的发展前景是十分广阔的。

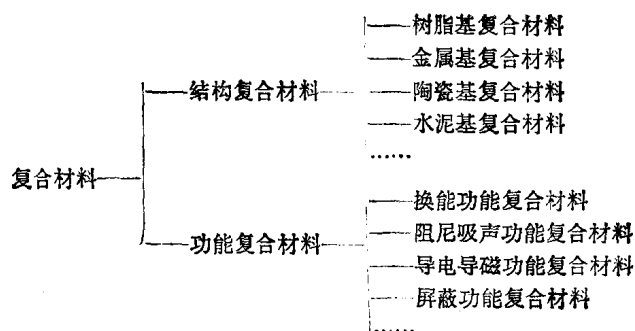


图 1-3 复合效果分类

1.1.3 材料科学的范畴及任务

70年代人们把能源、信息和材料归纳为现代物质文明的三大支柱，而其中，材料又是一切技术发展的物质基础。材料的使用和发展与生产力和科学技术水平密切相关。人类的历史也可以说是按使用的材料种类来划分的，由史前的“石器时代”经过了“青铜时代”、“铁器时代”，发展到了今天，材料的品种正日新月异的增加。事实上，一个国家使用的材料品种和数量是衡量这个国家科学和经济发展水平的重要标志。

以炼金术为开端发展起来的化学工业为人类以人工方法制备和合成各种材料奠定了基础，开辟了广阔的前途。继铜和铁之后，又冶炼出各种金属材料。利用天然石灰石、粘土烧制出了水泥。用石英砂、石灰石和苏打熔制出了玻璃。在此基础上建立了冶金和硅酸盐工业的庞大工业体系。近30多年来，随着石油化工和合成化学的发展又人工合成了橡胶、塑料、纤维、涂料等一系列高分子材料。

最初，各种材料的发展是分别进行，互不相关的。随着科学技术的发展，人们对材料的认识不断深化，积极吸取了近代物理、化学，特别是固体物理、量子化学等基础理论并应用各种先进分析仪器和尖端技术来研究和阐明材料的本性，为认识材料的性能—结构—应用之间的关系和探索新材料提供了理论基础。这样就在各种基础学科的渗透和现代科学仪器的帮助下，从20世纪60年代开始形成了一门新的综合性学科——材料科学。

材料科学是一门以材料为研究对象，介于基础科学与应用科学之间的应用基础科学。材料科学的内容：一是从化学的角度出发，研究材料的化学组成、键性、结构与性能的关系规律；二是从物理学角度出发，阐述材料的组成原子、分子及其运动状态与各种物性之间的关系。在此基础上为材料的合成、加工工艺及应用提出科学依据。因此材料科学是一门多学科性的综合性应用基础科学。

前已指出，物质并不等于材料。作为材料还必须经过一系列材料化过程（即材料加工工艺过程），使之满足一定条件下的使用要求。所以材料科学的内容不仅包含化学及物理学的科学问题，还包括材料制备工艺、材料性能表征及材料应用等技术性问题。整个材料科学体系见图1-4。

材料科学恰如一座桥梁将许多基础科学的研究结论与工程应用连接起来。材料科学的主要任务就是以现代物理学、化学等基础学科理论为基础，从电子、原子、分子间结合力、晶体及非晶体结构、显微组织、结构缺陷等观点研究材料的各种性能以及材料在制造和应用过程中的行为，了解结构—性能—应用之间的规律关系，提高现有材料的性能、

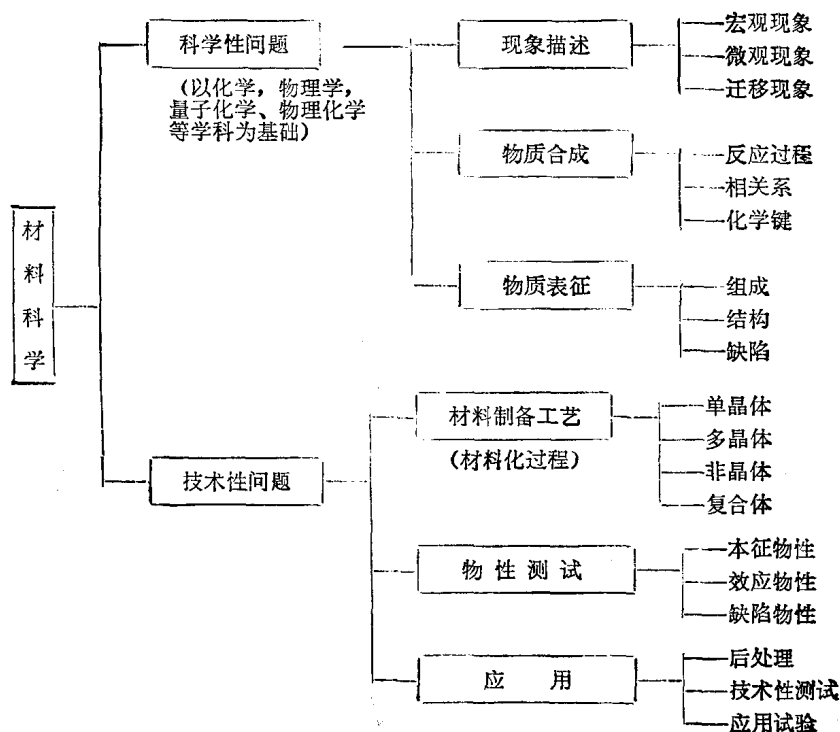


图 1-4 材料科学体系

发挥材料的潜力并能动地探索和发展新型材料以满足工农业生产、国防建设和现代技术发展对材料日益增长的需求。

1.2 材料结构简述

材料结构，从宏观到微观可分成不同的层次，即宏观组织结构、显微组织结构及微观结构。

宏观组织结构是用肉眼或放大镜能观察到的晶粒、相的集合状态。显微组织结构或称亚微观结构是借助光学显微镜、电子显微镜可观察到的晶粒、相的集合状态或材料内部的微区结构，其尺寸约为 $10^{-7} \sim 10^{-4} \text{m}$ 。比显微组织结构更细的一层结构即微观结构包括原子及分子的结构以及原子和分子的排列结构。因为一般分子的尺寸很小，故把分子结构列为微观结构。但对高聚物，大分子本身的尺寸可达到亚微观的范围。材料的性能依赖于材料本身的结构，了解材料的结构是了解材料性能的基础。材料内部的结构与材料的化学组成及外部条件密切相关，因此材料的性能与其化学组成及外部条件也是密切相关的。

1.2.1 原子结构

原子是由原子核及围绕原子核的电子组成。原子核由中子及带正电的质子组成。电子通过静电吸引被束缚于原子核周围。

原子的质量主要集中在原子核，电子的质量可以忽略。元素的原子序数等于原子中质子的数目。原子核内的结合是非常牢固的，这种结合力称为核力，它比万有引力大40个数量级，但其作用范围很小，不超过 10^{-6}nm 。在材料科学中，原子结构一般都指原子的电子结构。