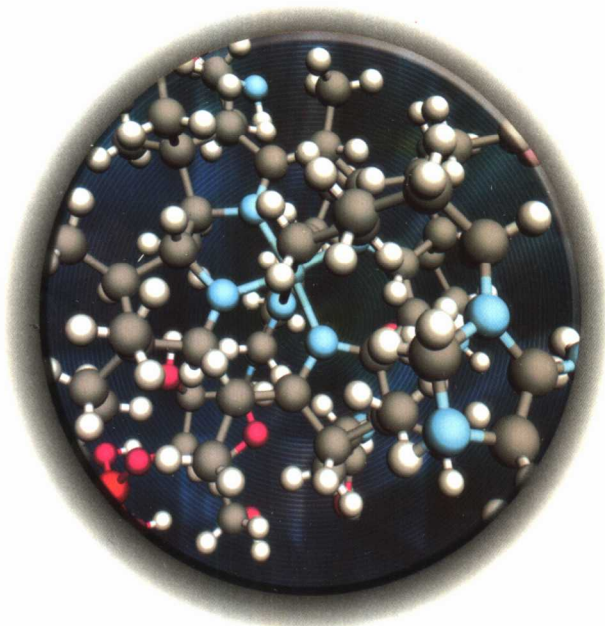


# 高分子材料基础

周冀 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 高分子材料基础

第二版



清华大学出版社  
Tsinghua University Press

# 高分子材料基础

周 冀 主编

李绍华 田忠利 薛沙燕 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以高分子结构—性能—应用为主线,联系其他材料科学,首先介绍材料科学的形成、材料的结构与性能、高分子材料的内容及研究范围以及发展趋势,然后介绍高分子的合成反应、聚合物的结构与性能、通用合成高分子材料、功能高分子材料、高分子材料助剂和聚合物基复合材料。书中内容涉及到了各类高分子材料的基础知识,包括材料的制备、性能、改性以及应用及发展前景等多方面的内容。

本书可以作为高等工院校材料及化学相关专业的教材和教学参考书,也可供从事高分子材料及其他材料科学的教学、科研和生产技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高分子材料基础/周冀主编.—北京:国防工业出版社,  
2007.7

ISBN 978-7-118-05192-6

I. 高... II. 周... III. 高分子材料 IV. TB324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 072715 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 482 千字

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,是所有科技进步的核心,是高新技术发展和社会现代化的先导,是一个国家科学技术和工业水平的反映和标志。先进材料及先进材料技术对人们的生活水平、国家安全及经济实力起着关键性的作用。材料科学是21世纪最活跃、最富有生命力、最有发展前途的学科之一。材料永远是一切科学和技术发展必不可少的基石。可以肯定,无论是传统的工业如建筑、机械、交通、纺织等,还是新兴的工业如航天、计算机、新能源、生命工程等,都将随材料科学的新成就、新发明而有飞跃的发展。一种新材料的出现,能为社会物质文明带来巨大变化,给新技术的发展带来划时代的突破。当前新材料已成为高新技术的三大支柱之一。能否研究与开发出高性能与特种功能、又具较高实用价值的新材料已成为决定高新技术革命成败的关键因素之一。发达国家竞相发展具有高性能与特种功能的新材料,许多发展中国家也把新材料看做重要的领域而给予高度的重视。

因此,20世纪70年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。80年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术及生物技术并列为新技术革命的重要标志,世界各先进工业国家都把材料作为优先发展的领域。

高分子材料科学是材料科学中的新秀,20世纪20年代,由极富有独创精神的德国学者 Herman Staudinger 所开创,继而形成一门独立的学科。高分子材料作为一门科学尽管只有几十年的历史,但在新材料的发展中尤其引人注目。在20世纪40年代~80年代的40年中,全世界钢的平均年增长率为5.7%、木材为1.6%、水泥为6.4%,而塑料为13.6%,并继续以大于10%的速度增长。许多新课题已被世界各国列为21世纪重点研究的课题。例如,21世纪材料科学的前沿是纳米(nm)级材料以及相应的复合功能材料。单独高分子链的凝聚颗粒,正好落在纳米级材料中。近年来的研究表明,两种或多种纳米级材料的复合有着灿烂的前景,纳米级复合材料的应用必将带来科学技术突破性的进展。

随着科学技术的发展,各有关学科之间的相互渗透、相互依存和相互促进,在材料科学方面尤其明显,许多有重要价值的新现象、新概念和新理论逐渐被人们接受,新的应用领域不断被开拓,为新技术的突破提供关键材料是指日可待的。高分子材料科学作为一门学科已与金属材料、无机陶瓷材料并驾齐驱,在国际上被列为一级学科。

从上述发展来看,无机非金属材料专业增设高分子材料课程是非常有远见的举措。因为,21世纪的材料科学工作者,不能再拘泥于当今材料科学划分的格局。再不能将无机非金属材料、金属材料和高分子材料严格地区分开来。材料科学工作者应全面了解各

种材料,着眼于材料的复合和发展各种新材料。

本教材的特点在于减少高分子类课程门数和学时数,比较实用,突出基础性、系统性,综合高分子化学、高分子物理、高分子加工、复合材料等课程的主要内容,并加强了与其他材料科学的相互贯通。本书阐述了高分子的基础理论和基本知识,通过本书的学习,可以比较系统和全面地掌握高分子学科的主要内容,同时,也可以引导有更大专业兴趣的读者向更深层次进行学习研究。

编者

2007年5月

# 目 录

<b>第 1 章 材料科学概述</b> .....	1
1.1 材料与材料科学 .....	1
1.1.1 材料概述 .....	1
1.1.2 材料与材料科学的形成及其内涵 .....	2
1.1.3 开发新材料和发展高技术 .....	4
1.2 材料的结构与性能 .....	6
1.2.1 材料的性能 .....	6
1.2.2 材料的结构 .....	13
1.3 高分子材料概述 .....	20
1.3.1 高分子材料的内容及研究范围 .....	20
1.3.2 高分子材料的分类 .....	21
1.3.3 高分子材料发展趋势 .....	22
<b>第 2 章 高分子材料的合成反应</b> .....	25
2.1 自由基聚合反应 .....	25
2.1.1 概述 .....	25
2.1.2 自由基聚合机理 .....	28
2.1.3 阻聚和缓聚 .....	36
2.2 离子聚合反应 .....	39
2.2.1 离子聚合和自由基聚合的比较 .....	39
2.2.2 阴离子聚合反应 .....	40
2.2.3 阳离子聚合反应 .....	47
2.3 配位聚合反应 .....	54
2.3.1 配位聚合概述 .....	54
2.3.2 聚合物的立构规整性 .....	54
2.3.3 $\alpha$ -烯烃的配位聚合 .....	56
<b>第 3 章 高分子的结构与性能</b> .....	61
3.1 聚合物的结构 .....	61
3.1.1 高分子的链结构 .....	61
3.1.2 高分子聚集态结构 .....	63
3.1.3 高分子结构与松弛 .....	64
3.1.4 高分子结构与性能的关系 .....	68
3.2 聚合物的玻璃化转变 .....	68
3.2.1 高聚物的玻璃化温度 .....	69

3.2.2	影响玻璃化温度的因素	70
3.2.3	玻璃化温度以下的次级转变	73
3.3	高聚物的性能	74
3.3.1	电学性能	74
3.3.2	高聚物热性能及其老化	77
3.3.3	高聚物的流动特性	83
3.4	高分子溶液	86
3.4.1	高聚物的溶解过程	86
3.4.2	高分子溶液的特点	87
3.4.3	溶剂选择的基本原则	87
<b>第4章</b>	<b>通用合成高分子材料</b>	<b>89</b>
4.1	合成树脂和塑料	89
4.1.1	概述	89
4.1.2	塑料的种类及组成	89
4.1.3	热塑性塑料	90
4.1.4	热固性塑料	102
4.2	橡胶	128
4.2.1	从天然橡胶到合成橡胶	128
4.2.2	合成橡胶的种类	128
4.2.3	热塑性合成橡胶	131
4.3	纤维	135
4.3.1	合成纤维的性能	135
4.3.2	合成纤维的制备及应用	138
4.4	胶黏剂及涂料	144
4.4.1	胶黏剂	144
4.4.2	涂料	146
<b>第5章</b>	<b>功能高分子材料</b>	<b>149</b>
5.1	液晶高分子材料	149
5.1.1	高分子液晶的基本概念	149
5.1.2	高分子液晶的类型及其结构特点	149
5.1.3	液晶高分子的应用及发展前景	150
5.2	离子交换高分子材料	152
5.2.1	离子交换树脂的类型及其结构	152
5.2.2	离子交换树脂的制备	154
5.2.3	离子交换树脂的功能及应用	156
5.3	导电高分子材料	158
5.3.1	概述	158
5.3.2	结构型导电高分子	159
5.3.3	复合型导电高分子	171
5.3.4	导电高聚物的应用	174



5.3.5 导电高聚物的发展展望 .....	179
5.4 感光高分子材料 .....	181
5.4.1 概述 .....	181
5.4.2 感光性高分子的合成 .....	184
5.4.3 感光高分子的应用 .....	189
5.5 医用高分子材料 .....	196
5.5.1 概述 .....	196
5.5.2 作为医用高分子材料的条件 .....	198
5.5.3 医用高分子材料的应用 .....	203
5.5.4 医用高分子材料的发展方向 .....	212
<b>第6章 高分子加工助剂</b> .....	<b>214</b>
6.1 概述 .....	214
6.1.1 高分子加工助剂的类别和作用 .....	214
6.1.2 助剂的发展现状 .....	218
6.1.3 助剂的发展趋势 .....	220
6.2 增塑剂 .....	221
6.2.1 概述 .....	221
6.2.2 增塑机理 .....	221
6.2.3 增塑剂结构与性能的关系 .....	222
6.2.4 增塑剂的种类及用途 .....	223
6.3 交联剂 .....	232
6.3.1 概述 .....	232
6.3.2 交联剂的种类及特性 .....	232
6.3.3 交联剂的作用 .....	238
6.4 稳定剂 .....	242
6.4.1 热稳定剂 .....	242
6.4.2 光稳定剂 .....	247
6.5 固化剂 .....	252
<b>第7章 聚合物基复合材料</b> .....	<b>257</b>
7.1 聚合物基复合材料的组成 .....	257
7.1.1 聚合物基复合材料的分类及组成 .....	257
7.1.2 聚合物基复合材料的各相及特点 .....	258
7.2 聚合物基复合材料的特性及其结构设计 .....	286
7.2.1 聚合物基复合材料的特性及种类 .....	286
7.2.2 聚合物基复合材料结构设计 .....	293
7.3 纤维增强复合材料 .....	306
7.3.1 玻璃纤维增强复合材料 .....	306
7.3.2 碳纤维复合材料 .....	311
7.4 聚合物基纳米复合材料 .....	315
7.4.1 纳米粒子添加共混改性聚合物 .....	315

7.4.2 纳米增强、增韧聚合物基复合材料·····	317
7.4.3 纳米改性聚合物基复合材料的性能·····	320
7.4.4 聚合物基纳米复合材料的应用·····	321
<b>参考文献</b> ·····	<b>325</b>

# 第 1 章 材料科学概述

## 1.1 材料与材料科学

### 1.1.1 材料概述

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。材料与人类的出现和进化有着密切的联系，因而材料的名字已被认为是人类文明的一种标志。人类经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代，今天，正跨进先进材料的新时代。天然材料和人造材料已经成为人们生活中不可分割的组成部分，以至于人们常常认为它们的存在是理所当然的。人们的周围到处都是材料，材料不仅存在于人们的现实生活中，而且也扎根于人们的文化和思想领域。材料已与食物、居住空间、能源和信息并列一起组成人类的基本资源。现在，人们把信息、材料、能源作为社会文明的基础，又把新材料与信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。

材料一般是指人们用以制造生活和生产所需的物品、器件、构件、机器和其他产品的物质。材料是物质，但不是所有的物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不算是材料。只有那些可为人类社会接受而又能经济地制造有用器件的物质，才叫做材料。但是这个定义也并不那么严格，如炸药、固体火箭推进剂，有人便称之为“含能材料”。

由于材料的种类繁多，用途广泛，因此它有许多不同的分类方法。依据材料的来源可将材料分为天然材料和人造材料两类。目前正在大量使用的天然材料只有石料、木材、橡胶等，并且用量也在逐渐减少，许多原先使用天然材料的领域正在日益被人造材料取代。如铁道上的钢筋水泥轨枕在代替枕木，合成橡胶在代替天然橡胶，化学纤维在代替植物纤维等。

按物理化学属性将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料四大类。金属材料、无机非金属材料、高分子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，构成现代工业的三大材料体系。复合材料则是由上述三类材料相互之间复合而成，它结合了不同材料的优良性能，在强度、刚度、耐腐蚀性等使用性能方面比单一材料优越，具有广阔的发展前景。

按材料的用途分类，可分为电子材料、航空航天材料、建筑材料、核材料、生物材料等。

更常见的分类方法有两种。一种是从材料的使用性能考虑，将材料分为结构材料和功能材料两类，结构材料以力学性能为基础，用于制造以受力为主的构件。当然，结构材料对物理性能和化学性能也有要求，如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化能力

等。对性能的要求因材料用途而异。功能材料则主要是利用物质独特的物理性质、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。另一种是分为传统材料和新型材料（又称新材料、先进材料）。传统材料是指在工业中已批量生产并已得到广泛应用的材料，新型材料则是指刚刚投产或正在发展而且有优异性能和应用前景的一类材料。新型材料与传统材料之间并没有绝对的界限，传统材料可以发展成为新型材料，新型材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新型材料的基础，而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展。

随着现代科学技术的发展，材料的分类方法也在发展。现在，人们常将能源的开发、转换、运输、储存所需的材料统称为能源材料。信息储存和传播方面的进展，一点也离不开材料的发展。今天的社会，信息与材料也是相互依靠的，为了强调这种关系，也常将信息的接收、处理、储存和传输所需的材料统称为信息材料，与传统意义上的功能材料不同，人们又将通过光、电、磁、力、热、化学、生物化学等作用后具有特定功能的新材料称为功能材料。这种材料涉及面很广，大致有电、磁功能，光功能，分离功能，生化功能，形状记忆功能材料等。这一新兴功能材料的应用，对航天、导弹等先进技术的发展起着重要作用。

### 1.1.2 材料与材料科学的形成及其内涵

“材料”是早已存在的名词，但“材料科学”的提出只是 20 世纪 60 年代初的事。1957 年，苏联人造卫星首先上天，美国朝野上下为之震惊，认为自己落后的主要原因之一是先进材料落后，于是在一些大学相继成立了十余个材料研究中心，采用先进的科学理论和实验方法对材料进行深入地研究，取得了重要成果。从此，“材料科学”这个名词便开始流行。

#### 1. 材料科学的形成实际是科学技术发展的结果

首先，固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展，对物质结构和物理性能的深入研究，推动了人们对材料本质的了解；同时，冶金学、金属学、陶瓷学、高分子科学的发展也使人们对材料本身的研究大大加强，从而对材料的制备、结构与性能，以及它们之间的相互关系的研究也越来越深入，这为材料科学的形成打下了比较坚实的基础。

其次，在材料科学这个名词出现以前，金属材料、高分子材料与陶瓷材料都已自成体系，目前复合材料也获得广泛应用，对它的研究也逐步深入。但它们之间存在着颇多相似之处，对不同类型材料的研究可以相互借鉴，从而促进学科的发展。如马氏体相变本来是金属学家提出来的，而且广泛地被用来作为钢热处理的理论基础，但在氧化铁陶瓷中也发现了马氏体相变现象，并用来作为陶瓷增韧的一种有效手段。又如材料制备方法中的溶胶—凝胶法，是利用金属有机化合物的分解而得到纳米级高纯氧化物粒子，从而成为改进陶瓷性能的有效途径。虽然不同类型的材料各有其专用测试设备与生产装置，但各类材料的研究检测设备与生产手段有颇多共同之处。例如显微镜、电子显微镜、表面测试及物理性能与力学性能测试设备等。在材料生产中，许多加工装置的原理也有颇多相通之处，可以相互借鉴，从而加速材料的发展。

第三，许多不同类型的材料可以相互替代和补充，这能更充分发挥各种材料的优越

性，达到物尽其用的目的。但长期以来，金属、高分子及无机非金属材料自成体系，缺乏沟通，这不利于发展创新，对复合材料的发展也极为不利。

此外，材料科学的形成有益于人才培养。由于扩大了专业知识面，使学习本专业的青年专家的综合素质、创新精神与应变能力得以全面提高，进而有利于材料科学与工程学科乃至科学技术与经济建设整体发展。

## 2. 从材料发展需要和共性来看，有必要形成一门材料科学与工程学科

材料科学所包括的内容往往被理解为研究材料的组成、结构与性质的关系，探索自然规律。这些属于基础研究。实际上，材料是面向实际、为经济建设服务的，是一门应用科学，研究与发展材料的目的在于应用，而材料又必须通过合理的工艺流程才能制备出具有实用价值的材料来，通过批量生产才能成为工程材料。所以，在材料科学这个名词出现后不久，就提出了材料科学与工程。工程是指研究材料在制备过程中工艺和工程技术问题。由美国麻省理工学院的科学家主编，英国 Pergamon 自 1986 年陆续出版的《材料科学与工程百科全书》对材料科学与工程的定义为：材料科学与工程就是研究有关材料组成、结构、制备工艺流程与材料性能和用途关系的知识的产生及其运用。换言之，材料科学与工程是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及它们之间的关系。因而把组成与结构 (composition-structure)、合成与制备 (synthesis-processing)、性质 (properties) 及使用效能 (performance) 称为材料科学与工程的 4 个基本要素 (basic elements)，把四要素连接在一起，便形成一个四面体 (tetrahedron)，如图 1-1 所示。

在四要素中的组成和结构并非同义词，相同成分或组成通过不同的合成或加工方法，可以得出不同结构，从而材料的性质或使用效能都不会相同。因此，我国有人提出一个 5 个基本要素的模型，即成分 (composition)、合成/加工 (synthesis / processing)、结构 (structure)、性质 (properties) 和使用效能 (performance)。如果把它们连接起来，则形成一个六面体 (hexahedron)，如图 1-2 所示。

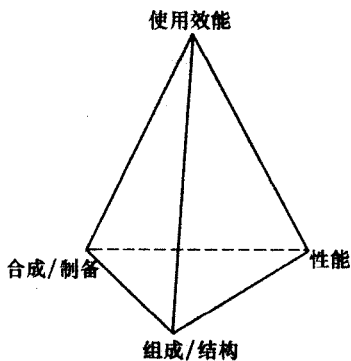


图 1-1 材料科学与工程四要素

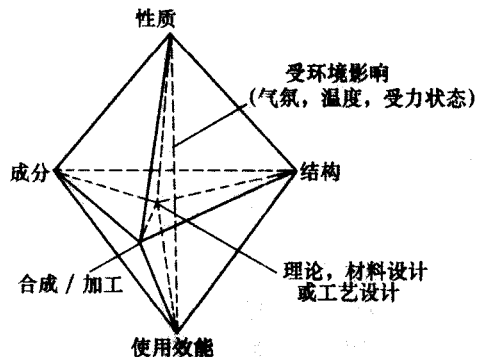


图 1-2 材料科学与工程五要素

材料科学与工程五要素模型的特点主要有两个：一是性质与使用效能有一个特殊的联系，材料的使用效能便是材料性质在使用条件下的表现。环境对材料性能的影响很大，如受力状态、气氛、介质与温度等。有些材料在一般环境下的性能很好，而在腐蚀介质下性能却下降显著；有的材料在光滑样品时表现很好，而在有缺口的情况下性能大为下

降、特别是有些高强度材料表现尤为突出，但凡有一个划痕，就会造成灾害性破坏。因此，环境因素的引入对工程材料来说十分重要。二是材料理论和材料设计或工艺设计有了一个适当位置，它处在六面体的中心。因为这5个要素中的每一个要素，或几个相关要素都有其理论，根据理论建立模型（modeling），通过模型可以进行材料设计或工艺设计，以达到提高性能及使用效能、节约资源、减少污染或降低成本的最佳状态。这是材料科学与工程最终努力的目标。有人设想提出性能指标或使用效能要求，可以通过材料配方，采用最佳工艺，就可制备出符合要求的材料或器件。应该说明，目前国际流行的仍是四要素模型，五要素模型在国际上也有人引用。

根据以上所述，材料科学有3个重要属性：一是多学科交叉，它是物理学、化学、冶金学、金属学、陶瓷、高分子化学及计算科学相互融合与交叉的结果，如生物医用材料要涉及医学、生物学及现代分子生物学等学科；二是一种与实际使用结合非常密切的科学，发展材料科学的目的在于开发新材料，提高材料的性能和质量，合理使用材料，同时降低材料成本与减少污染等；三是材料科学是一个正在发展中的科学，不像物理学、化学已经有一个很成熟的体系，材料科学将随各有关学科的发展而得到充实和完善。

### 1.1.3 开发新材料和发展高技术

高技术在今社会的地位和作用十分重要，是不容置疑的。高技术的发展，使整个生产方式、组织形式都在发生本质性的变化，从而改变着产业结构，促进经济和社会的发展。高技术和高技术产业已经成为综合国力竞争的热点。无论是发达国家还是发展中国家，都全力以赴参与了高技术的竞争。为此，各国都在努力增加科技投入，加强科技尤其是高技术的宏观管理，并加速人才的培训，以适应时代的需要。

新材料是发展高技术的基础和先导，新材料研制与开发本身又是高技术的一部分。因此，发展高技术，必须重视开发新材料。根据目前的情况，新材料的发展重点主要有以下几种类型。

#### 1. 复合材料

复合材料是结构材料发展的重点。其中，主要包括树脂基与高强度、高模量纤维的复合，以及金属基复合材料、陶瓷基复合材料和碳基复合材料等。表面涂层或改性是另一类复合材料，量大面广，经济实用，具有更大的发展前景。对有机材料来说，分子复合是提高性能的有效途径，也将会有很大发展。另外，由于复合材料的设计自由度大，特别有利于发展新型功能复合材料和多功能复合材料。

#### 2. 功能材料

功能材料与器件相组合，并趋向于小型化与多功能化。特别是外延技术与超晶格理论的发展，使材料与器件的制备可以控制在原子尺度，将成为今后发展的重点。其他信息功能材料发展也很快，品种日益增加，性能不断提高。这里主要指的是半导体、激光、光电子、液晶、敏感及磁性材料等。它们是发展信息产业的基础，在材料中无疑占有十分重要的地位。特别是高温超导材料将会继续得到重视。一方面是使氧化物超导体达到实用化乃至产业化，另一方面是探索更高温度（如室温）下有超导性能的材料。

#### 3. 低维材料和亚稳材料

低维材料具有目前主体材料所不具备的性质。如作为纤维的纳米级金属颗粒是电的

绝缘体及吸光的黑体；以纳米微粒制成的陶瓷具有较高的韧性和超塑性；纳米级金属铂的硬度为块体铝的 8 倍，等等。这些都是待开发的领域。作为一维材料的高强度有机纤维、光导纤维，作为二维材料的金刚石薄膜、超导薄膜都已显示出广阔的前景。非晶材料是亚稳材料的一种，具有很多优异性能，将会得到很大发展。

#### 4. 生物材料

这类材料将得到更多的重视。一是生物医学材料，用以代替或修复人的各种器官、血液及组织等；二是生物模拟材料，即模拟生物的机能，如反渗透膜、高效率的物质能量转换，以改变现行工业流程。前者有些已达到实用化或产业化的程度，而后者大部分处于探索阶段。

#### 5. 新金属材料

以其高性能价格比、成熟的工艺、现有装备的优势，以及新金属材料的不断涌现等原因，在今后若干年内仍将占有重要位置。美国联邦政府经过仔细调查分析认为，对材料的投资中用于金属材料的仍居首位（13%），依次为复合材料（11%）、电子材料（10%）及生物材料（10%），说明金属材料仍有很强的生命力。

#### 6. 高性能陶瓷

高性能陶瓷当前正处于发展阶段。随着热机的发展，对工程陶瓷的需求越来越迫切；信息功能材料的品种不断增加，性能不断提高，对功能陶瓷的研究越来越深入，因而高性能陶瓷研究与开发将成为今后重点之一。

#### 7. 高分子材料

高分子材料是以高分子化合物为基础制得的一类新型材料。包括橡胶、塑料、纤维、涂料、胶黏剂和高分子复合材料。高分子是由成千上万个分子单体通过加聚或缩聚反应以共价键结合起来的长链分子。独特的结构使高分子材料具有易改性、易加工性及许多其他材料所无法比拟和取代的优异性能。如新型高性能工程塑料，坚韧、力学性能高、使用温度范围广、耐低温又耐高温、介电性能优异、耐老化、对大多数化学介质稳定、成型加工性能好、用途广泛。因此，高分子材料近几十年来一直发展很快，今后还会有更优异性能的高分子材料出现。特别是功能高分子材料正待开发，将会有很大发展。

#### 8. 智能材料

这是近年提出来的一类新型材料。它可以具有类似于生物体反应的机能，既有感知，又有驱动的功能。有的本身就可以构成一个智能系统，有的需要加入反馈才能构成一个完整的智能系统。智能材料是今后新材料发展的热点之一。但在其初级阶段，目前发展的一般称之为机敏材料。这类材料也具有一定的感知与驱动功能。例如，透明压电陶瓷（PLZT）便集光性与压电性于一体，可作为核闪光保护镜，属于初级机敏材料。

#### 9. 其他发展中的新材料

20 世纪 90 年代  $C_{60}$  的出现为发展新材料开辟了一个崭新的途径。在今后的年代里，利用原子簇技术可能发展出更多的新材料。新发现的多孔硅在光学方面具有明显的特性，在发展可见硅光源、硅光电器件、太阳能电池等方面都可能找到用武之地，是一种正待开发的新材料。

新材料的开发，有些是理论突破的结果，有些是经验的总结，有些是偶然的新发现。如 1986 年氧化物超导体的出现，20 世纪 90 年代  $C_{60}$  的合成，以及多孔硅的发现，都属

于后一种。这些都是难以预料的，但是影响却很深远。

世界各国对新材料的研究与开发莫不予以足够的重视。如美国国防部于 1991 年所提出的 20 项关键技术中，有 5 项以材料为主，在其他项目中，有 2/3 与材料有关；同年，美国发布了美国国家关键技术项目，共 6 个领域 22 项关键技术，其中，材料是领域之一，材料合成与加工、电子和光子材料、陶瓷、复合材料以及高性能金属与合金等 5 项为关键技术。日本一向对材料十分重视，将超导材料、高性能陶瓷、用于苛刻环境中的高性能材料、光敏材料、非线性光电子材料及硅基高分子材料列为重点。

我国把材料的研究与开发一直放在重要位置，从而保证了国防工业与国民经济的发展。进入 20 世纪 90 年代以后，材料科学的地位进一步加强，如在“八五”攻关计划中，材料科学占了较大比例；在高技术发展计划中，材料科学是 7 个重点领域之一；在重大基础研究攀登计划中，30 个重大课题中，有 7 个与材料科学有直接联系。中国基础性研究工作的主要资助机构——国家自然科学基金委员会所资助的自由申请课题中，与材料科学有关的部分约占总量的 1/4。在研究设施上也有一定部署。如高能加速器、对撞机与直线加速器都为材料研究提供了条件。目前在建或已建的 150 多个国家重点实验室中，有关材料工艺、组织结构、表征与测试方面的就有 35 个，占总数的 1/5 以上。每年在材料科学方面培养的大学生与研究生数以万计。预计今后中国在材料科学技术方面将会有更大发展。目前，我国在新材料研究方面，有些已处于国际先进水平，今后将会取得更大的成就；在高度重视研究成果转化为生产力的指导思想下，材料工业的落后局面将迅速得到改善，以满足高技术及国民经济高速发展的需要。

## 1.2 材料的结构与性能

### 1.2.1 材料的性能

材料的性能分为物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能等。物理性能包括密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等；化学性能表现为材料在高温下的抵抗各种化学作用的性能，如耐腐蚀性等；力学性能指材料在受力作用时所表现出来的各种性能，它们可通过标准的试验来测定；工艺性能是指材料对某种加工工艺的适应性，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

#### 一、材料的力学性能

##### (一) 强度和塑性

强度是指在静载荷作用下，材料抵抗变形和断裂的能力。材料的强度越大，材料所能承受的外力就越大。常见的强度指标有屈服强度和抗拉强度，它们是重要的力学性能指标，是设计、选材和评定材料的重要性能指标之一。

工业上使用的多数金属材料，在拉伸试验过程中，没有明显的屈服现象发生。按国标 GB228—87 规定，可用规定的残余应力  $\sigma_r$  表示，它表示材料在卸除载荷后，标距部分残余伸长率达到规定数值时的应力。如规定伸长率为 0.2% 时，则用  $\sigma_{r0.2}$  表示。



当应力超过屈服点时，整个试样发生均匀而显著的塑性变形，如图 1-3 所示。当达到  $B$  点时，试样开始局部变细，出现“颈缩”现象。以后，应力开始不断地下降，变形主要集中于颈部，直到最后在颈部处发生断裂。可见，当  $B$  点处的应力到达峰值时，此点所对应的  $\sigma_b$  称为材料的抗拉强度。此值反映了材料产生最大均匀变形的抗力。 $\sigma_b$  可用下式计算。

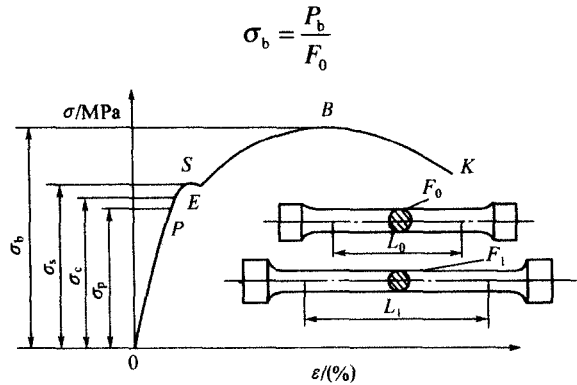


图 1-3 低碳钢应力应变和拉伸试样

塑性是指材料在外力作用下产生永久性变形而不断裂的能力。塑性指标用伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\Phi$  表示。即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\Phi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中： $L_1$  为试样拉伸后的长度； $L_0$  为试样的原始长度； $F_0$  为试样最初的截面积； $F_1$  为试样断裂处的截面积。

$\delta$  和  $\Phi$  越大，说明材料的塑性越好，由于伸长率与试样尺寸有关，因此，比较试样伸长率时要注意试样规格和单位的统一。金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工，同时材料具有一定的塑性以后可以提高零件使用的可靠性，防止突然的断裂。

## (二) 硬度

硬度是衡量材料软硬程度的指标。生产中测量硬度常用的方法是压入法，并根据压入的程度来测定硬度值。此时硬度可定义为材料抵抗表面局部塑性变形的能力。因此硬度是一个综合的物理量，它与强度指标和塑性指标均有一定的关系。硬度试验简单易行，可直接在零件上试验而不破坏零件。此外，材料的硬度值又与其他的力学性能及工艺性能有密切联系。

通常，硬度越高，耐磨性越好。故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。常用的硬度测量方法有布氏法、洛氏法和维氏法 3 种。

### 1. 布氏硬度

以一定大小的载荷  $P$  (kg) 把一直径为  $D$  (mm) 的淬火钢球或硬质合金球压头压入