

高等学校材料类精品教材

材料学概论

胡 珊 李 珍 谭 劲 梁玉军 编

C AILIAOXUE

G AILUN



化学工业出版社

高等学校材料类精品教材

材料学概论

胡 珊 李 珍 谭 劲 梁玉军 编



化学工业出版社

·北京·

全书共7章。第1章讲述材料与材料科学研究的内容及任务,材料的类别、性质、应用、发展现状及趋势。第2~4章分别讲述金属材料、无机非金属材料、高分子材料的基础知识、结构、生产方法、性能特点及应用。第5章讲述矿物材料基本概念、性能特点,矿物材料的加工及应用。第6章讲述复合材料的基础知识,增强材料的特性,复合材料的性能特点、生产工艺及应用。第7章介绍能源、环境、生物、智能、纳米等新型材料的特点、发展及应用。本书可作为材料及相关专业的教材,同时可作为材料研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

材料学概论/胡珊,李珍,谭劲,梁玉军编. —北京:
化学工业出版社,2012.5
高等学校材料类精品教材
ISBN 978-7-122-13810-1

I. 材… II. ①胡…②李…③谭…④梁… III. 材料
科学-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第046954号

责任编辑:杨菁
责任校对:王素芹

文字编辑:林丹
装帧设计:杨北

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:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数384千字 2012年9月北京第1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:29.00元

版权所有 违者必究

前 言

材料是科技进步和社会发展的物质基础，是人类文明的重要支柱。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，而信息和能源的发展又依赖于材料科学的进步。20世纪80年代，以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。到了21世纪，各种高科技的新型材料不断涌现，加强基础、拓宽知识、增强学科的社会适应性以及提高学生的创造力已成为材料类专业改革的方向。为此，我们在多年教学和科研的基础上，编写了这本教材。该书既讲述了传统材料的基础理论知识，又发挥中国地质大学的特色，介绍了矿物材料的基础理论知识，同时，结合国内外材料学的发展，增加了新材料最新研究成果内容。

全书共7章。第1章为绪论。主要讲述材料与材料科学研究的内容及任务，材料的类别、性质、应用、发展现状及趋势。第2章为金属材料。主要讲述金属材料的基本概念，金属及合金晶体结构、相图，金属材料的结晶过程，金属材料的性能，金属的热处理，常见新型金属材料特点及应用。第3章为无机非金属材料。主要讲述无机非金属材料的概念及分类，陶瓷的概念及分类，陶瓷的显微结构与性能，普通陶瓷的生产过程及用途，特种陶瓷的制备工艺，各种结构陶瓷和功能陶瓷的特点，耐火材料的主要特性；玻璃的概念、特点及分类，玻璃的结构和性质，普通玻璃的生产过程，特种玻璃的特性及应用；胶凝材料的定义、分类及发展，水泥的生产、组成、凝结与硬化，水泥的主要性能及用途。第4章为高分子材料。主要讲述聚合物材料的基本概念、结构、物理状态、性能及应用；塑料的特性、成型加工及应用；橡胶的主要性质、配方组成、生产工艺；纤维的指标、结构与性能；胶黏剂的组成、粘接机理；涂料的特性；常见功能高分子的特点及应用。第5章为矿物材料。主要讲述矿物材料概念、特点、分类及发展趋势，矿物材料的加工，单晶矿物材料及应用，矿物材料的开发及应用。第6章为复合材料。主要讲述复合材料的基本概念、分类、性能特点、发展现状与趋势，复合材料的复合原理与增强机理，增强材料的特性，聚合物基复合材料、金属基复合材料、无机非金属基复合材料的性能特点、生产工艺及应用；常见功能复合材料的特点及应用。第7章为新型材料。介绍了新型能源材料、磁性材料、压电材料、信息材料、智能材料、生态环境材料、生物材料、纳米材料的特点及应用。

当前，随着现代科学技术和生产的飞跃发展，不管是传统材料还是先进材料，都得到了迅猛发展。新材料产业的发展在市场上占有重要的地位。材料类人才的需求量增加，适应社会发展的材料类人才培养也显得越来越重要。由此，该书不仅可以作为在校材料类专业学生的教材，还可以作为相关从业人员的重要参考书。

本书由胡珊、李珍、谭劲、梁玉军编写。其中，第1、4、7章由胡珊编写，第5、6章由李珍编写，第3章由谭劲编写，第2章由梁玉军编写，全书由胡珊负责统稿。

本书得到中国地质大学（武汉）“十二五”规划精品教材建设项目资助，在此表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中不足和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

胡珊

2012. 1

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料科学与工程	1
1.2 材料的分类	2
1.3 材料的性能	2
1.3.1 力学性能	2
1.3.2 电学性能	4
1.3.3 热学性能	5
1.3.4 化学性能	5
1.4 材料的应用	6
1.5 材料在人类社会和国民经济发展中的地位与作用	8
第 2 章 金属材料	11
2.1 概述	11
2.1.1 金属材料的基本概念	11
2.1.2 金属材料的晶体结构	12
2.2 金属及合金的相图	16
2.2.1 二元合金相图	16
2.2.2 铁碳合金相图	24
2.3 金属材料的结晶	27
2.3.1 结晶的过程	27
2.3.2 结晶的热力学条件	28
2.3.3 形核	28
2.3.4 晶核的长大	33
2.4 金属材料的性能	36
2.4.1 物理性能	36
2.4.2 化学性能	37
2.4.3 力学性能	37
2.4.4 工艺性能	40
2.5 金属的热处理	41
2.5.1 退火和正火	42
2.5.2 淬火及回火	42
2.5.3 表面热处理	43
2.6 新型金属材料简介	43
2.6.1 形状记忆合金	44
2.6.2 其他金属功能材料	46

第 3 章 无机非金属材料	47
3.1 无机非金属材料概述	47
3.1.1 无机非金属材料的概念及分类	47
3.1.2 无机非金属材料主要性能及应用	47
3.2 陶瓷材料	48
3.2.1 陶瓷的概念及分类	48
3.2.2 陶瓷的显微结构与性能	49
3.2.3 普通陶瓷	53
3.2.4 特种陶瓷	54
3.2.5 耐火材料	61
3.3 玻璃	65
3.3.1 玻璃的概念、特点及分类	65
3.3.2 玻璃的结构	66
3.3.3 玻璃的性质	67
3.3.4 普通玻璃	69
3.3.5 特种玻璃	72
3.4 胶凝材料	76
3.4.1 胶凝材料的定义、分类及发展现状	76
3.4.2 普通水泥	77
3.4.3 特种水泥	83
3.4.4 石膏和石灰	85
第 4 章 高分子材料	87
4.1 概述	87
4.1.1 高分子材料的基本概念	87
4.1.2 高分子材料的命名	87
4.1.3 高分子材料的分类	88
4.1.4 聚合反应	88
4.1.5 高分子材料的成型加工	89
4.1.6 高分子材料的发展现状与趋势	90
4.2 高分子的结构与性能	91
4.2.1 高分子的结构	91
4.2.2 高分子的物理状态	94
4.2.3 高分子基本性能及特点	95
4.3 常用的高分子材料	99
4.3.1 塑料	99
4.3.2 橡胶	109
4.3.3 纤维	114
4.3.4 胶黏剂	116
4.3.5 涂料	119
4.4 功能高分子	120
4.4.1 离子交换树脂	121
4.4.2 高吸水性树脂	122

4.4.3	感光性高分子	123
4.4.4	导电高分子	123
第5章	矿物材料	125
5.1	概述	125
5.1.1	矿物材料概念	125
5.1.2	矿物材料学的特点	126
5.1.3	矿物材料分类	127
5.1.4	矿物材料的现状与发展趋势	127
5.2	矿物材料的加工	129
5.2.1	初加工	129
5.2.2	深加工	130
5.2.3	矿物材料深加工技术发展趋势	130
5.2.4	矿物材料制品	132
5.3	单晶矿物材料及应用	132
5.3.1	金刚石	132
5.3.2	石墨	134
5.3.3	刚玉	136
5.3.4	石英	136
5.3.5	高岭石	137
5.3.6	蒙脱石	138
5.3.7	硅灰石	141
5.3.8	电气石	142
5.4	矿物材料的开发及应用	143
5.4.1	环境矿物材料	143
5.4.2	保温、隔热、轻质矿物材料	148
第6章	复合材料	153
6.1	概述	153
6.1.1	复合材料概念	153
6.1.2	复合材料的命名与分类	153
6.1.3	复合材料性能特点	155
6.1.4	复合材料现状与发展趋势	157
6.2	复合材料的复合原理与增强机理	160
6.2.1	复合原理	160
6.2.2	复合材料增强机理	162
6.2.3	复合材料的增韧机理	165
6.2.4	复合材料界面	167
6.3	增强材料	170
6.3.1	玻璃纤维	171
6.3.2	碳纤维	172
6.3.3	硼纤维	173
6.3.4	碳化硅纤维	173

6.3.5	芳纶纤维	173
6.4	聚合物基复合材料	174
6.4.1	聚合物复合材料基体	174
6.4.2	聚合物基复合材料的成型方法	175
6.4.3	聚合物基复合材料的性能	176
6.4.4	聚合物基复合材料的应用	177
6.5	金属基复合材料	177
6.5.1	概述	177
6.5.2	金属基复合材料性能	178
6.5.3	金属基复合材料的种类	179
6.6	无机非金属基复合材料	180
6.6.1	陶瓷基复合材料	180
6.6.2	碳/碳复合材料	181
6.6.3	无机胶凝复合材料	182
6.7	功能复合材料	183
6.7.1	树脂基功能复合材料	184
6.7.2	金属基功能复合材料	184
6.7.3	陶瓷基功能复合材料	185
第7章	新型材料	187
7.1	新型能源材料	187
7.1.1	太阳能电池材料	187
7.1.2	储氢材料	188
7.1.3	锂离子电池材料	190
7.1.4	燃料电池材料	192
7.2	磁性材料	193
7.2.1	材料的磁性	193
7.2.2	磁性材料的种类及其特点	194
7.3	压电材料	195
7.3.1	压电陶瓷	195
7.3.2	压电高分子材料	196
7.4	信息材料	197
7.4.1	信息技术与信息材料	197
7.4.2	信息处理材料	197
7.4.3	信息存储材料	198
7.4.4	信息传递材料	199
7.4.5	信息显示材料	199
7.4.6	获取信息材料	200
7.5	智能材料	200
7.5.1	智能材料的定义及分类	200
7.5.2	智能材料的构成与功能	200
7.5.3	智能材料的应用	201
7.6	生态环境材料	201

7.6.1	概述	201
7.6.2	材料的环境协调性评价	202
7.6.3	材料和产品的生态设计	203
7.6.4	金属材料的生态环境化	204
7.6.5	无机非金属材料的生态环境化	205
7.6.6	高分子材料的生态环境化	207
7.7	生物材料	208
7.7.1	概述	208
7.7.2	生物金属材料	209
7.7.3	生物医用无机非金属材料	209
7.7.4	生物医用高分子材料	210
7.7.5	生物医用复合材料	211
7.7.6	生物衍生材料	211
7.8	纳米材料	211
7.8.1	概述	211
7.8.2	纳米结构单元	213
7.8.3	纳米材料的制备	216
7.8.4	纳米材料的性能	217
7.8.5	纳米材料的应用	219
参考文献		221

第 1 章 绪 论

1.1 材料科学与工程

材料 (materials) 是人类用来制造有用的构件、器件或物品的物质。材料是现代科技和国民经济的物质基础。一个国家生产材料的品种、数量和质量是衡量其科技和经济发展水平的重要标志。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, 而信息和能源的发展又依赖于材料科学的进步。20 世纪 80 年代以高技术群为代表的新技术革命, 又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。

材料作为一门独立的学科始于 20 世纪 60 年代。材料科学是在金属学、陶瓷学、高分子科学的基础上发展起来的。不同材料尽管各有特点, 但它们之间却有相通的原理、共性和相似的研究、生产方法。不同类型材料统一考虑不但可以节约投资, 更重要的是可以相互借鉴、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。

材料科学是有关材料成分、组织与工艺流程对于材料性质与用途的影响规律的知识与运用。从这个意义上讲, 材料科学是一种近年来形成的交叉学科和应用科学, 与工程技术的联系较为密切, 所以人们往往把材料科学与工程联系在一起, 称为“材料科学与工程”(materials science and engineering)。近年来, 又称为“材料科学技术”(materials science and technology)。材料工程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。因此, 材料科学与工程是研究材料的组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及他们之间的关系。

材料科学与工程包括的内容有四个方面, 即材料的结构与成分 (structure and composition)、合成与加工 (synthesis and processing)、性质 (性能) (properties) 和效能 (performances), 可以用一个四面体来表示 (见图 1-1)。材料的性能决定于材料的成分与结构, 而这些又决定于制备工艺, 但性能好的材料, 在实际使用条件下不一定符合要求, 所以在上述三项之外, 又加入了效能这一项, 成为材料科学与工程的四要素。材料的结构与成分是指每个特定的材料都含有一个以原子和电子尺度到宏观尺度的结构体系, 对于大多数材料, 所有这些结构尺度上化学成分和分布是立体变化的

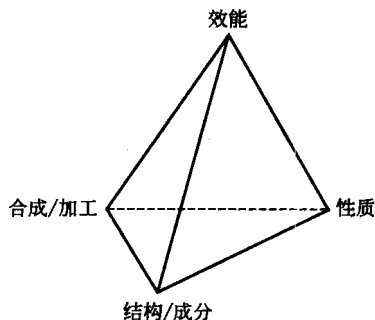


图 1-1 材料科学与工程四要素

的, 这是制造该种特定材料所采用的合成和加工的结果。材料的合成与加工是指建立原子、分子和分子聚集体的新排列, 在从原子尺度到宏观尺度的所有尺寸上对结构进行控制以及高效而有竞争力地制造材料和零件的演变过程。性质是材料功能特性和效用 (如电、磁、光、热、力学等性质) 的定量度量 and 描述, 材料的性质表示了其对外界刺激 (如电场、磁场、温度场、力场等) 的整体响应。材料的效能 (或称为使用性能或效果) 是指材料在使用条件下的表现, 包括环境影响、受力状态、材料特征曲线, 乃至寿命估计等。

材料科学是一门交叉性学科和应用科学, 它是物理、化学、冶金学、金属学、高分子科

学、计算科学等学科相互融合与交叉的结果，是与实际应用结合非常密切的科学，也是一个正在发展的科学，随有关学科的发展而得到充实和完善。它的根本任务是揭示材料组分、结构与性质的内在关系，设计、合成并制备出具有优良使用性能的材料，以满足工农业生产、国防建设和现代科学技术发展对材料日益增长的需要。

1.2 材料的分类

材料科学研究的具体对象很多，目前世界各国注册的材料有几十万种，并在不断增加之中。为了便于研究和应用，常将材料进行分类。材料可从不同的角度进行分类，见图 1-2。

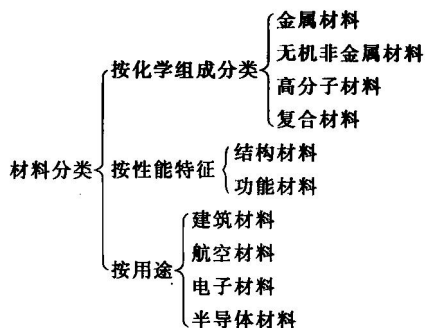


图 1-2 材料的分类

根据化学组成和显微结构特点，材料可以分为金属材料 (metal materials)、无机非金属材料 (inorganic non-metallic materials)、高分子材料 (polymeric materials) 和复合材料 (composite materials 或 composites)。金属材料包括纯金属和以金属为基体所构成的合金；无机非金属材料是由无机化合物构成的材料，包括陶瓷、玻璃、水泥、耐火材料等；高分子材料是由高分子化合物组成的材料，包括塑料、橡胶、纤维、胶黏剂、涂料、功能高分子等；复合材料是由两种或两种以上的材料经复合而成的材料，包括树脂基复合材料、金

属基复合材料、陶瓷基复合材料等。

根据性能特征，材料可分为结构材料 (structural materials) 和功能材料 (functional materials)。结构材料主要是使用其力学性能，这类材料是机械制造、工程建设、交通运输、能源利用等方面的物质基础。功能材料是利用物质的各种物理和化学特性发展起来的材料，在电子、红外、激光、能源、通信等方面起关键作用。例如，压电材料、光学功能材料、生物材料、智能材料、梯度功能材料等都属于功能材料。

根据用途，材料可分为建筑材料 (building materials)、航空材料 (aviation materials)、电子材料 (electronic materials) 和半导体材料 (semiconductor materials) 等。

1.3 材料的性能

1.3.1 力学性能

材料在力的作用下所表现出的特性即为材料的力学性能。通常把力的作用称为载荷或负荷。力学性能是一系列物理性能的基础。材料的力学性能包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳特性、耐磨性等。

(1) 应力-应变曲线 在一定条件下，在材料上作用以拉伸、压缩等外力时，会相应地发生内应力，按此应力的大小产生应变。应力和应变分别用 σ 和 ϵ 表示：

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1-1)$$

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (1-2)$$

式中， P 为载荷； A 为横截面积； L_0 为标距间的原始距离； L 是施加力 P 后标距间的距离。

应力与应变的关系可用应力-应变曲线加以表示。这种曲线按材料的种类不同,大体上可分为以下五种类型,见图 1-3。

曲线①的开始部分为直线,随后表现出屈服现象,随着应力的增加应变增大,直至断裂,如软钢等。曲线②在开始阶段接近于直线,但不像软钢那样出现屈服现象,随后曲线稍微向上凸出,突然断裂,如玻璃、硬石块、铸铁等。曲线③在开始时向上凸出,在接近断裂时应变急剧增大,如软石块、木材的压缩曲线、质硬而脆的塑料等。曲线④在开始阶段接近于直线或表现有向上凸的趋势,随后应力出现极大值,屈服后应力再次增加而断裂,如硬而黏性大的塑料。曲线⑤在开始阶段稍许趋于向下凹,在不大的应力下,发生很大的应变,曲线没有屈服点,呈现一段较长的平台,直到试样断裂前,曲线又出现急剧地上升,如软质橡胶。

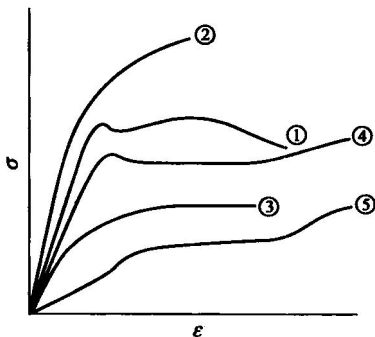


图 1-3 应力-应变曲线

(2) 弹性模量 弹性模量是指材料在弹性极限范围内,应力与应变的比值,用 E 表示,即:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1-3)$$

弹性模量 E 值与材料有关,反映了物体变形的难易程度,即刚度。 E 越大,刚度越大。纵向弹性模量一般也称为杨氏模量。如把材料看成弹性体时,在应力-应变曲线上弹性段的斜率即为弹性模量。

(3) 强度 在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。按作用方式的不同,材料的机械强度可分为拉伸强度(即抗张强度或抗拉强度)、屈服强度、压缩强度、弯曲强度、扭转强度、疲劳强度等。

抗拉强度是将试样在拉力机上施以静态拉伸负荷,试样直至断裂为止所承受的最大拉伸应力。拉伸强度 σ_t 按下式计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{bd} \quad (1-4)$$

式中, P 为拉伸实验中承受的最大负荷; b 为试样宽度; d 为试样厚度。

屈服强度是材料在外力作用下发生塑性变形的最小应力,用 σ_s 表示。工程上规定,试样产生 0.2% 塑性变形时的应力值为该材料的条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

弯曲强度是指采用简支梁法将试样放在两支点上,在两支点间的试样上施加集中载荷,使试样变形直至破裂时的载荷。弯曲强度 σ_b 的计算公式为:

$$\sigma_b = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (1-5)$$

式中, P 为破坏载荷; l 是试验时试样在支点间的跨度; b 和 d 分别是试样的宽度和厚度。

压缩强度是指在试样上施加压缩载荷至断裂(对脆性材料而言)或产生屈服现象(对非脆性材料而言)时,原单位横截面积上所能承受的载荷。

(4) 塑性 材料在断裂前发生永久变形的能力叫塑性。塑性以材料断裂后永久变形的大小来衡量。塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ :

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, L_0 与 F_0 分别为试样原始长度与原始截面积; L_1 与 F_1 分别为试样拉断后的长度与拉断处的截面积。 δ 值或 ψ 值越大, 材料的塑性越好。

(5) 硬度 材料能抵抗其他较硬物体压入表面的能力称为硬度。硬度是衡量材料软硬程度的指标, 反映材料表面抵抗微区塑性变形的能力。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

(6) 韧性 韧性是指材料抵抗裂纹萌生与扩展的能力。韧性与脆性是两个意义上完全相反的概念。材料的韧性高, 意味着其脆性低; 反之亦然。度量韧性的指标有两类: 冲击韧性和断裂韧性。冲击韧性是用材料受冲击而破断的过程所吸收的冲击功的大小来表征材料的韧性。此指标可用于评价高分子材料的韧性, 但对陶瓷等韧性很低的材料一般不使用。

材料的冲击韧性值 a_k 为

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (1-8)$$

式中, A_k 为试样在断裂过程中所吸收的能量; F 为试样缺口处的截面积; a_k 的单位为 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

陶瓷等脆性材料一般用断裂韧性来衡量, 是用材料裂纹尖端应力强度因子的临界值 K_{Ic} 来表征材料的韧性。由于裂纹的存在, 在外力作用下, 其尖端前沿必然存在应力集中。根据断裂力学的观点, 只要裂纹很尖锐, 顶端前沿各点的应力就按一定形状分布, 即外加应力增大时, 各点的应力按相应比例增大, 这个比例系数称为应力强度因子 K_I ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), 表示为

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a} \quad (1-9)$$

式中, Y 为几何因子; σ 为外加应力; a 为裂纹半长。

一定构件在外力增大或裂纹增长时, 裂纹尖端的应力强度因子也增大, 当 K_I 达到某临界值时, 裂纹突然失稳扩展, 发生快速脆断。这一临界值称为材料的断裂韧性, 用 K_{Ic} 表示, 它反映了材料抵抗裂纹扩展的能力。

(7) 疲劳强度 疲劳强度是指被测材料抵抗交变载荷的性能。交变载荷是指大小和(或)方向重复和循环变化的载荷。在交变载荷作用下, 即使交变应力小于 σ_s , 材料经较长时间的工作也会发生断裂, 这种现象称为疲劳。材料在无数次的交变载荷作用下而不致破裂的最大应力, 称为疲劳强度。

1.3.2 电学性能

(1) 导电性能 材料导电性的量度为电阻率或电导率, 电阻率的倒数为电导率。电阻 R 与导体的长度 l 成正比, 与导体的截面积 S 成反比, 即:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中, ρ 称为电阻率, 表示单位长度、单位面积导体的电阻。 ρ 可用于评定材料的导电性能, 其单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。电阻率的倒数为电导率 σ 。

显然, 电阻率越小, 导电性能就越好。根据电阻率的大小, 可将材料分为超导体、导体、半导体和绝缘体四类。超导体的电阻率 ρ 在一定温度下接近于零, 导体的 ρ 为 $10^{-8} \sim 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$, 半导体的 ρ 为 $10^{-5} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{m}$, 绝缘体的 ρ 为 $10^7 \sim 10^{18} \Omega \cdot \text{m}$ 。

一般来说, 金属材料及部分陶瓷材料和部分高分子材料是导体, 普通陶瓷材料与大部分高分子材料是绝缘体。但是, 一些具有超导特性的材料是陶瓷。金属的电导率随温度的升高而降

低, 半导体、绝缘体、离子材料的电导率随温度的升高而增加。

(2) 介电常数 当电压加到两块中间是真空的平行金属板上时, 板上的电荷 Q_0 与施加电压成正比, $Q_0 = C_0 V$, 比例系数 C_0 就是电容。如果两板间放入绝缘材料, 在相同电压下, 电荷增加了 Q_1 , 则 $Q = Q_0 + Q_1 = CV$ 。电介质引起电容量增加的比例, 称为相对介电常数 ϵ 。

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} = \frac{Q_0 + Q_1}{Q_0} \quad (1-11)$$

介电常数是一个无因次的量, 它表示绝缘材料储存电能的能力。当要求电容器的单位体积内有较大的贮电能力时, 这就需要使用介电常数大的电介质。

1.3.3 热学性能

(1) 热容 热容表示 1mol 物质温度升高 1K 时所吸收的热量, 通常是用摩尔热容 $J \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 来表征。热容有物质体积恒定的定容热容 C_V 和物质处于恒压时的定压热容 C_p 两种。

定压热容 C_p 与定容热容 C_V 存在如下关系:

$$C_p - C_V = \frac{\alpha_V^2 V_0 T}{\beta} \quad (1-12)$$

式中, α_V 为体积膨胀系数; V_0 为摩尔体积; T 为热力学温度; β 为压缩率, $\beta = -(1/V)(dV/dp)$ 。

(2) 热传导 对在某一温度下处于热振动状态的质点, 由外部再加上能量更大的热振动时, 会依次引起邻接质点的热振动状态升高, 如此热振动状态高的波峰向低温方向移动, 将最初引入的大的热振动以质点为媒介不断传下去, 这种现象便是热传导, 即由于材料相邻部分间的温差而发生的能量迁移。热传导也就是热量从物体的一部分传到另一部分, 或从一个物体传到另一个相接触的物体, 从而使系统内各处的温度相等。

材料热传导能力的大小通常用热导率表示, 热导率为单位时间内在 1K 温差的 1cm^3 正方体的一个面向其所对的另一个面流过的热量。热传导的机制主要可分为三种, 即由自由电子的传导(金属)、晶格振动的传导(具有离子键或共价键的晶体)和分子或链段的传导(高分子材料)等。

(3) 热膨胀 热膨胀是由于温度变化而引起材料尺寸和外形的变化。材料受热时一般都会膨胀, 而膨胀系数就是表示材料这一特性的一个参数。热膨胀可分为线膨胀、面膨胀和体积膨胀。通常, 膨胀系数指的是温度变化 1K 时材料单位长度的变化量, 故也称为线膨胀系数 (K^{-1}), 以区别于表示材料单位体积变化量的体积膨胀系数。

线膨胀系数 α_l 和体积膨胀系数 α_V 分别表达为:

$$\alpha_l = \left(\frac{1}{l}\right) \left(\frac{dl}{dT}\right)_p \quad (1-13)$$

$$\alpha_V = \left(\frac{1}{V}\right) \left(\frac{dV}{dT}\right)_p \quad (1-14)$$

式中, 下标 p 表示恒压条件, V 和 l 分别为材料的体积和线尺寸。

1.3.4 化学性能

材料在使用过程中, 一般会与周围的环境发生一定程度上的气相-固相、液相-固相或固相-固相之间的反应, 随着反应的进行, 表面逐渐被侵蚀。因此, 材料的化学性能是指材料抵抗各种介质作用的能力。它包括溶蚀性、耐腐蚀性、抗渗人性、抗氧化性等, 可归结为材料的化学稳定性。同材料的化学性质有关的问题还有催化性、离子交换性等。

材料的化学稳定性依材料的组成、结构等而不同。金属材料主要是易被氧化腐蚀,硅酸盐类的材料由于氧化、溶蚀、冻结溶化、热应力、干湿等作用而被损坏;高分子材料则会因氧化、生物作用、虫蛀、溶蚀和受紫外线的照射老化降解而损害其耐久性。

1.4 材料的应用

材料的应用要考虑以下几个因素:一是材料的使用性能(performance);二是使用寿命(durability)及可靠性(reliability);三是环境适应性(environmental compliance);包括生产过程与使用期间;四是价格(cost)。材料的应用面极广,涉及农业、建筑、环境、国防、信息与通信、交通、能源、健康、制造等各个领域,材料的应用领域不同,对材料的要求也就各有其特点。

(1) 包装材料 包装材料是指用于制造包装容器和包装运输、包装装潢、包装印刷等有关材料和包装辅助材料的总称。根据包装所用材料的不同,可分为纸质包装(如纸板包装、瓦楞纸包装),木质包装(如木箱包装、木桶包装),玻璃包装(如玻璃瓶、罐),陶瓷包装,金属包装(如金属罐、桶、盒),塑料包装(如塑料薄膜包装、塑料容器包装)以及复合材料包装等。

在纸质材料、金属材料、玻璃、木材、塑料及其复合材料等包装材料中,纸质材料、塑料及其复合材料发展极为迅速。尽管人们责难塑料包装是白色污染的来源,但是由于塑料材料具有原料丰富、易于加工制造、重量轻、价格低、有适当的力学性能和优良的防水防潮性能、容易与其他材料复合等优秀品质而得到广泛使用。全世界塑料生产的年增长率高达10%~11%,其中一半以上用作包装材料。目前,用于包装材料的主要塑料品种有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)、聚酯(PET)、聚氨酯(PU)、聚醋酸乙烯酯(PVA)、聚酰胺(PA)等,其中,聚烯烃用量最大,约占70%。

目前包装材料与技术总的发展趋势是高效、节能、环保等,除了开展高附加值的功能性材料研究外,对降解、再生塑料和减量包装材料与技术的研究也非常重视。在研究与开发新的包装材料时,成本是一个非常重要的因素。在未来发展中,节省资源的包装、科技(信息)含量高的包装、有利于降低物流成本的包装是主要的发展趋势。

(2) 建筑材料 建筑材料是建造建筑物时所用的各种材料的总称,它包括结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、绝热材料、吸声材料以及装饰材料等。

目前墙体材料是以砖为主,以砌块、轻质板材为辅的多元化的产品结构。常见的有石材、木材、水泥、砖瓦、混凝土、钢筋、墙地砖等。墙地砖包括釉面内墙砖(简称釉面砖)、外墙砖、地砖、陶瓷锦砖等品种。

防水密封材料的重要用途之一是解决房屋的渗漏和地下工程的止水堵漏问题。防水材料现已改变了过去单纯以纸胎油毡为主的局面,形成了包括沥青油毡、高分子防水卷材、防水涂料、密封材料和刚性防水材料等五大类产品。

热导率小的材料可用作保温材料。建筑上,保温隔热材料夏天起阻隔热能进入室内、冬天防止室内热能损失的作用。发展各种高效保温隔热材料的除满足工业上的各类窑炉的隔热要求外,主要是降低建筑能耗。为提高门窗的保温隔热性,必须重点推广塑料门窗,并开发铝塑复合窗、玻璃钢窗等新品种。此外,发展高效节能(如低辐射玻璃)或智能调光的玻璃窗户材料。

建筑装饰材料按其在建筑物不同的装饰部位有不同的材料。外墙装饰材料包括外墙、阳台、台阶、雨篷等建筑物全部外露的外部结构装饰所用的材料,如铝合金型材及门窗,塑钢门

窗、管道等；内墙装饰材料包括内墙墙面、墙裙、花架等全部内部构造装饰所用的材料，如矿棉吸音板、墙纸/布、涂料等；地面装饰材料包括地面、楼面、楼梯等结构的全部装饰材料，如化纤地毯和复合木地板、塑料地板等；吊顶装修材料主要指室内顶棚装饰用材料；室内装饰用品及配套设备包括卫生洁具、装饰灯具、家具、空调设备及厨房设备等。

(3) 电子电器与信息材料 金属材料主要作为结构材料、骨架材料、导电材料、功能材料等应用于电子电器与信息领域。如电线电缆中金属导体、低压或高压电器中导体、各种电子线路板中导体、电机电器结构件、骨架等。

高分子材料在电子电器与信息产业中主要应用于电子电器绝缘体、电器设备结构件、电子元件封装件等。

无机非金属材料在电子电器工业中应用非常广泛，特别是高性能结构陶瓷和功能陶瓷在电子信息领域中占有重要地位。

制作各种陶瓷电容器、多层陶瓷片式电容器、晶体管、保险丝管、电瓷、电阻、石英晶体元器件、热敏电阻、热敏元件、压电晶体器件及其他频率元件、发光器件、PTC陶瓷热敏元件、工控及计算机芯片等。用于各种滤波器、谐波器、谐振器、振荡器及其他精密检测仪；集成电路、发声器、换能器件、变压器、温度传感器、散热器；彩电、计算机显示器；电话机、卫星接收器、通信设备等各类电子仪器产品等。

(4) 航天航空材料 以铝合金、钢、钛合金为主（包括金属基复合材料）的金属材料，用作航天航空领域的主体材料、结构材料等。由于金属材料具有优良的力学性能、工艺性能和较低成本，在航天航空应用中占有重要地位。而纤维增强金属基复合材料，如铝合金基、钛合金基、镁合金、镍铝化合物基等，由于其优异的高比强度和比模量及抗氧化和抗腐蚀性能优良，成为一种理想的航空、宇航材料。各种纤维增强金属基复合材料主要用于制作机身部件、飞机齿轮箱壳体、电子设备、飞机蒙皮、直升机旋翼桨叶以及重返大气层运载工具的防护罩和涡轮发动机的压气机叶片、航空发动机叶片（如风扇叶片等）和飞机或航天器蒙皮的大型壁板等。

高分子材料在航天航空上应用主要以复合材料的形式出现，以纤维为增强体，以树脂为基体制成的纤维增强结构件，在航空和宇航上得到了广泛的应用，被大量作为结构件使用，例如雷达罩、副翼、平尾、垂尾、机翼、机身壁板等。

另外，塑料还在透明件、耐烧蚀件及其他结构件上也有广泛应用。如飞机透明件，包括风挡、座舱盖和窗玻璃等，要求具有良好的光学性能，足够的结构强度和使用寿命。

塑料在航空和宇航上的应用，远不止上述的结构件及特殊用途的零部件，几乎所有的热塑性和热固性塑料及其增强塑料都可以在航空和宇航上找到自己合适的地位，发挥作用。内部装饰件是塑料在飞机上应用的另一重要方面，如行李舱架、地板、衬垫、座椅、窗框、隔音绝热材料等。

无机非金属材料，特别是新型的结构陶瓷材料，具有质量轻、压缩强度高（接近或超过某些金属材料）、耐高温、耐磨性好、硬度高、化学稳定性好，且有很好的耐蚀性、绝缘、绝热性好。因此，常用作航空航天中的耐烧蚀件。

(5) 汽车材料 金属材料主要应用于各种汽车结构件上，如车架、车身、发动机、传动系统等，及各种结构件与内外装件的支撑、骨架材料。所用材料有各种优质钢板、钢材、铜、合金等。

随着汽车向舒适、安全、美观、轻量化、节能等方向的发展，高分子材料在汽车上应用越来越广泛，主要有塑料、橡胶、涂料、合成纤维等。目前，许多通用塑料、工程塑料及其增强塑料，都能在不同程度上取代钢、铜、不锈钢、铝合金、无机玻璃等材料，用作汽车结构件或内外装件。

塑料用作汽车结构件与内外装件。在汽车上，橡胶主要用于轮胎、密封件、车用电气电线保护层等。涂料主要应用于汽车的外表涂装（如车身、底盘、塑料件的涂装等）；合成纤维可用于汽车内饰件，如脚垫等。

无机非金属材料在汽车上应用相对较少，主要用于挡风玻璃、灯具以及发动机中表面涂层和某些陶瓷活塞等。

(6) 船舶材料 金属材料在船舶制造业，特别是大型船舶、军用船舶及各种特殊用途船舶中占有绝对地位，主要制作船体、船舶结构件。所用材料以钢铁材料为主，如碳钢（普通碳素钢与优质碳素钢）、合金钢（普通低合金钢、合金结构钢和特殊性能钢）、铸铁等，有色金属及其合金也常用于某些特殊要求的部件。

高分子材料在船舶上应用主要体现在三个方面：船体、船舶结构件上的应用。

在船舶结构件上的应用主要为船舶轴承（尾轴承和辅助轴承）。尾轴承通常选用酚醛布质层压板、酚醛木质层压塑料、酚醛-环氧碎布塑料、尼龙等作为基材。辅机轴承，以前大多采用铜合金材料，用铜量大，使用中容易咬死或导致轴颈磨损。采用塑料轴承，特别是采用尼龙材料，不仅可以节省大量有色金属，而且耐磨耗性优良，运转中噪声小，即使塑料轴承烧坏，也不会影响轴颈。主要用作水泵轴承、水密门梢轴衬套、舵轴承和喷涂塑料轴承。另外还应用于各种结构零件，如螺旋桨、活塞环、齿轮、摩擦片、滑块、滑轮、手柄、罩壳等。

涂料在船舶上应用也十分广泛，主要有各种普通涂料、防腐蚀涂料、耐高温涂料等。防腐蚀涂料主要应用于船舶外表，防止海水等腐蚀。

无机非金属材料在船舶上应用不如高分子材料那样广泛，主要应用于各种透明件，如挡风玻璃、视镜、灯具及各种装饰件。

1.5 材料在人类社会和国民经济发展中的地位与作用

材料是人类从事生产和生活的物质基础，是人类文明的重要支柱，人类社会的历史就是一部利用材料和制造材料的历史，人类的发明创造丰富了材料世界，材料的进步取决于社会生产力和科学技术的进步，同时材料的发展又会推动社会经济和科学技术的发展以及人类社会的进步，因此，材料对于人类和社会具有极为重要的影响。材料的利用情况标志着人类文明的发展水平，历史学家常常根据人类所使用的材料种类将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代以及当今的人工合成材料新时代。

从古猿到原始人的漫长进化过程中，主要工具是石头。石器时代可分为旧石器时代和新时期时代。旧石器时代是使用打制石器为主的时期，打制石器是将石头先打制成毛坯，再加工成一定形状的石器，这期间的石器形状不规则，加工很粗糙。到了一万年前的新石器时代，人们逐渐掌握了从地层里开采石料的技术，对石料的选择、切割、磨制、钻孔、雕刻等工序已有一定的要求，获得较为锐利的磨制石器。利用石头和砖瓦作建筑材料。新石器时代，还发明了用黏土成型，再用火烧制成的陶器。在石器时代后期，人类从铜矿石中冶炼出青铜，青铜器的广泛使用标志着人类进入了奴隶社会。

我国商代青铜器已经盛行，并将青铜器的冶炼和铸造技术推向世界的顶峰，青铜器普遍用于制备各种工具、食器、兵器。春秋战国时期，随着人类烧火技术的进步，可以达到铁矿还原的温度，人们得到铁，出现了铁器，铁器的广泛使用标志着人类进入了封建社会。

炼铁技术和制造技术的发展，开创了人类文明的新时代。钢铁材料的广泛应用，导致了大规模的机械化生产，极大地丰富了人类社会的物质文明，引起了第一次产业革命，即工业革命。18世纪蒸汽机的发明、19世纪电动机的发明等对金属材料提出了更高要求，且由于工业