

普通高等教育“十二五”规划教材



材料概论

许并社 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

材 料 概 论

主 编 许并社
副主编 徐春花 曹晓卿
参 编 赵宇宏 郁 军
主 审 聂祚仁



机 械 工 业 出 版 社

本书是为普通高等学校材料科学与工程类本科专业基础课编写的教材。为了使学生在初步把握材料共性的同时了解材料的个性,本书着重于材料科学与工程的基本问题和共性问题,较全面地介绍了金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料方面的基础知识。全书共8章,第1章为绪论,第2章为材料科学与工程纲要,第3章为金属材料,第4章为无机非金属材料,第5章为高分子材料,第6章为复合材料,第7章为新材料,第8章为材料的选择。本书可作为高等院校、科研单位和工厂相关专业的学生、教师、研究人员和技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料概论/许并社主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-36374-3

I. ①材… II. ①许… III. ①材料科学—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第227750号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:冯春生 责任编辑:冯春生 罗子超

版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·384千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-36374-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

方洪渊	哈尔滨工业大学	王智平	兰州理工大学
朱世根	东华大学	许并社	太原理工大学
邢建东	西安交通大学	李大勇	哈尔滨理工大学
李永堂	太原科技大学	周 荣	昆明理工大学
聂绍珉	燕山大学	葛继平	大连交通大学

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田	兰州理工大学	文九巴	河南科技大学
王卫卫	哈尔滨工业大学(威海)	计伟志	上海工程技术大学
邓子玉	沈阳理工大学	刘永长	天津大学
刘金合	西北工业大学	华 林	武汉理工大学
毕大森	天津理工大学	许映秋	东南大学
闫久春	哈尔滨工业大学	何国球	同济大学
张建勋	西安交通大学	李 尧	江汉大学
李 桓	天津大学	李 强	福州大学
李亚江	山东大学	邹家生	江苏科技大学
周文龙	大连理工大学	武晓雷	中国科学院
侯英玮	大连交通大学	姜启川	吉林大学
赵 军	燕山大学	梁 伟	太原理工大学
黄 放	贵州大学	蒋百灵	西安理工大学
薛克敏	合肥工业大学	戴 虹	西南交通大学

秘 书 长 袁晓光 沈阳工业大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

金属材料工程专业教材编委会

主任委员 许并社 太原理工大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

文九巴 河南科技大学

何国球 同济大学

武晓雷 中国科学院

刘永长 天津大学

李 强 福州大学

蒋百灵 西安理工大学

委 员 (按姓氏笔画排序)

卫英慧 太原理工大学

马 勤 兰州理工大学

王章忠 南京工程学院

石巨岩 太原理工大学

刘宗昌 内蒙古科技大学

毕大森 天津理工大学

吴 波 福州大学

张厚安 厦门理工学院

李玉海 沈阳理工大学

陆 兴 大连交通大学

庞国星 北华航天工业学院

俞泽民 哈尔滨理工大学

赵玉涛 江苏大学

栾道成 西华大学

高聿为 燕山大学

马 臣 佳木斯大学

凤 仪 合肥工业大学

叶卫平 武汉理工大学

任凤章 河南科技大学

孙康宁 山东大学

严红革 湖南大学

张 志 河南理工大学

张春华 沈阳工业大学

肖平安 湖南大学

周细应 上海工程技术大学

范爱玲 北京工业大学

赵乃勤 天津大学

徐 江 南京航空航天大学

袁泽喜 武汉科技大学

靳惠明 扬州大学

秘 书 长 梁 伟 太原理工大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

前 言

本书是为普通高等学校材料科学与工程类本科专业基础课编写的教材，旨在让学生在初步把握材料共性的同时了解材料的个性。本书着重于材料科学与工程的基本问题、共性问题，在较全面地介绍金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料方面的基础知识的基础上，对各类材料进行了比较，并进而确定材料选择的原则。全书各章既相互独立又相互联系，语言简明精炼、通俗易懂。

全书共 8 章，包括材料科学与工程纲要、金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、新材料及材料的选择等。第 1 章由太原理工大学许并社编写，第 2 章由太原理工大学曹晓卿编写，第 3 章由中北大学赵宇宏编写，第 4 章和第 7 章由太原理工大学郁军编写，第 5 章、第 6 章和第 8 章由河南科技大学徐春花编写。太原理工大学许并社教授任主编，北京工业大学聂祚仁教授任主审。

在编写过程中，作者参阅了国内外出版的有关教材和资料，并得到了机械工业出版社的大力支持和帮助，在此一并致以诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言		
第1章 绪论	1	
1.1 材料的历史与发展	1	
1.2 材料的分类	3	
1.3 材料科学与工程及其发展	5	
1.4 先进材料	5	
思考与练习	7	
参考文献	7	
第2章 材料科学与工程纲要	8	
2.1 材料的成分	8	
2.2 材料的组织结构	8	
2.2.1 固体中的结合键与存在形式	9	
2.2.2 原子间结合键与材料类型	11	
2.2.3 固体材料的结构	12	
2.3 材料成分与组织结构的检测	17	
2.4 材料的合成与加工	18	
2.4.1 原材料的选用	18	
2.4.2 材料的制备	19	
2.4.3 材料的成形加工	21	
2.5 材料的性质与使用性能	27	
2.5.1 材料的物理性质及其表征	27	
2.5.2 材料的化学性质及其表征	30	
2.5.3 材料的力学性质及其表征	31	
2.6 材料设计	33	
2.7 结构材料的失效	34	
2.7.1 过量变形失效	34	
2.7.2 断裂失效	35	
2.7.3 表面损伤失效	37	
2.7.4 失效分析的主要方法	39	
思考与练习	39	
参考文献	40	
第3章 金属材料	41	
3.1 钢铁材料	41	
3.1.1 碳钢及铁碳合金相图	41	
3.1.2 钢的热处理	47	
3.1.3 合金钢	53	
3.1.4 铸铁	61	
3.2 铝及铝合金、镁及镁合金	64	
3.2.1 铝及铝合金	64	
3.2.2 镁及镁合金	67	
3.3 铜及铜合金、钛及钛合金	75	
3.3.1 铜及铜合金	75	
3.3.2 钛及钛合金	79	
思考与练习	83	
参考文献	83	
第4章 无机非金属材料	86	
4.1 无机非金属材料概述	86	
4.2 陶瓷	87	
4.2.1 陶瓷的定义及分类	87	
4.2.2 陶瓷的制备工艺	88	
4.2.3 陶瓷的结构与性能	90	
4.2.4 普通陶瓷	93	
4.2.5 特种陶瓷	95	
4.3 玻璃	99	
4.3.1 玻璃的概念与分类	99	
4.3.2 玻璃的形成	100	
4.3.3 玻璃的结构与性质	105	
4.3.4 常见玻璃简介	107	



4.4 水泥	111	6.3.3 陶瓷基复合材料	195
4.4.1 通用硅酸盐水泥概述	111	6.4 复合材料的力学性能预测	202
4.4.2 硅酸盐水泥的生产工艺	112	6.4.1 定向连续长纤维复合材料的力学性能	202
4.4.3 硅酸盐水泥的水化和硬化	115	6.4.2 随机取向短纤维复合材料的力学性能	203
4.4.4 硅酸盐水泥的性能	119	思考与练习	203
4.4.5 其他品种的水泥	123	参考文献	204
思考与练习	124	第7章 新材料	205
参考文献	125	7.1 电性材料	205
第5章 高分子材料	126	7.1.1 电子功能陶瓷	205
5.1 高分子材料概述	126	7.1.2 电致变色玻璃	208
5.1.1 高分子材料的基本概念	126	7.2 磁性材料	210
5.1.2 高分子材料的命名	126	7.2.1 磁性陶瓷	210
5.1.3 高分子材料的分类	127	7.2.2 磁性高分子材料	211
5.2 高分子的合成	128	7.3 光学材料	212
5.2.1 高分子的合成原理	128	7.3.1 光学纤维材料	212
5.2.2 高分子的合成方法	129	7.3.2 非线性光学材料	214
5.2.3 高分子材料的组成	130	7.3.3 光功能高分子材料	216
5.3 高分子材料的结构与性能	131	7.4 其他新材料	217
5.3.1 高分子材料的结构	131	7.4.1 纳米材料	217
5.3.2 高分子材料的性能	136	7.4.2 新型碳材料	220
5.4 高分子材料的种类	141	7.4.3 梯度功能材料	224
5.4.1 塑料	141	7.4.4 智能敏感材料	225
5.4.2 橡胶	151	思考与练习	227
5.4.3 纤维	154	参考文献	227
5.4.4 粘合剂及涂料	156	第8章 材料的选择	229
5.5 高分子材料的成型加工	159	8.1 金属、陶瓷、高分子材料及复合材料的力学性能比较	229
5.5.1 塑料的成型加工	159	8.1.1 应力-应变曲线	229
5.5.2 橡胶的成型加工	162	8.1.2 弹性模量	229
5.5.3 合成纤维的纺丝工艺	164	8.1.3 材料的强度	230
思考与练习	166	8.1.4 材料的塑性	231
参考文献	166	8.1.5 材料的韧性	232
第6章 复合材料	168	8.1.6 材料的比模量、比强度	232
6.1 复合材料概述	168	8.2 金属、陶瓷及高分子材料的物理性能比较	233
6.1.1 复合材料的定义	168	8.2.1 电学性能比较	233
6.1.2 复合材料的命名与分类	169	8.2.2 磁学性能比较	235
6.2 增强材料及其界面	170	8.2.3 材料的透光性	235
6.2.1 复合材料的增强材料	170	8.3 材料的选择因素	236
6.2.2 复合材料的界面	177		
6.3 常用复合材料及其性能	179		
6.3.1 聚合物基复合材料	179		
6.3.2 金属基复合材料	189		



8.3.1 材料的性能	236	8.3.4 材料的社会因素	239
8.3.2 材料的价格	237	思考与练习	239
8.3.3 材料的货源	238	参考文献	239

第 1 章 绪 论

材料是指人类社会可接受的、能经济地制造有用器件的物质。这样的物质有天然生成的，如土、木、石、煤炭、橡胶等；也有人工合成的，如金属、陶瓷、半导体、超导体、磁石、光导纤维、塑料、复合材料等。

1.1 材料的历史与发展

人类历史就是一部制造材料和利用材料的历史，正是形形色色的材料构成了世间万物。人类的发明创造丰富了材料世界，而材料的不断更新与发展又推动了人类社会的进步。目前，世界上的传统材料已有几十万种，而新材料的品种正以每年大约 5% 的速度增长。

材料是人类社会进步的里程碑。追踪人类文明的历史，人们确信，人类社会的发展是由材料的发展及伴随着的生产力的提高控制的，材料的性质直接反映人类社会文明的水平。人类利用材料的历史，就是一部人类进化和进步的历史。每一种重要的新材料的发现和使用时，都将人类支配自然的能力提高到一个新的水平。材料科学技术的每一次重大突破，都会引起生产技术的重大变革，甚至引起一次世界性的技术变革，从而将人类的物质文明和精神文明推向前进。因此，历史学家常用决定当时生活条件的材料来命名人类生活的各个时代，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等（图 1-1）。而今，人类正跨进人工合成材料的新时代。迄今为止，人类使用材料的历史已经历了七个时代（表 1-1）。

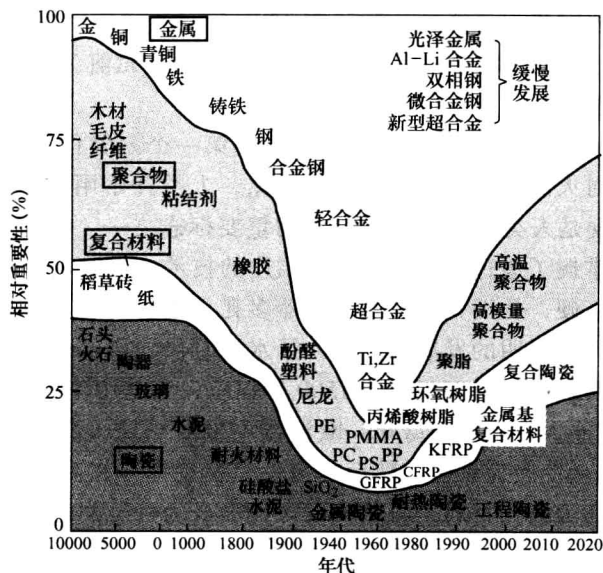


图 1-1 人类文明发展的不同时代

表 1-1 人类使用材料的七个时代的开始时间

公元前 10 万年	石器时代
公元前 3000 年	青铜器时代
公元前 1000 年	铁器时代
公元前 0 年	水泥时代
公元 1800 年	钢时代
公元 1950 年	硅时代
公元 1900 年	新材料时代

史前人类只会用天然的原材料，如皮革、木材、石块、燧石等，将它们加工成有用的器件使其能获得食物，提高人类安全性及生活条件。公元前 10 万年，人类开始利用石料制造各种打猎和耕作的工具，这一时期即所谓的石器时代（Stone Age）。石器时代又可细分为旧石器时代和新石器时代。四五十万年前的北京猿人群居洞穴，以狩猎为生，以制造粗糙的石器和骨器为工具，这一时期称为旧石器时代。到了新石器时代，人们逐渐掌握了从地层开采石料的技术，并对石料的选择、切割、磨制、钻孔、雕刻等工艺有了一定要求，获得了较为锐利的磨制石器。

人类根据长期的实践，到公元前 6000 年开始用天然矿石冶炼金属，创造了冶金术，在西亚出现了铜制品；公元前 3000 年，出现了添加锡、铅的铜合金（青铜）。青铜的熔点低，铸造性能良好，作为制造武器、生活用具及生产工具等物品的材料，在人类文明史上产生过重要影响。史学上所称的“青铜时代”（Bronze Age）是指大量使用青铜工具及青铜礼器的时期，保守地估计，这一时期主要从夏商周直至秦汉，时间跨度约为两千年左右，这也是青铜器发展、成熟乃至鼎盛的辉煌期。

大约在公元前 1500 年，人类发明了在高温下用木炭还原优质铁矿石生产铁的方法，并在半熔融状态下进行锻造，以制作各种器具，从而开创了铁器时代（Iron Age）。铁器具有与青铜不同的金属光泽，强度高，可加工性良好，除了可用于制作武器外，还用做结构材料制造器件。我国的铁器时代很可能是从公元前 2200 年开始的，中东国家约始于公元前 1200 年，地中海国家约始于公元前 1000 年，而中欧则约始于公元前 750 年。到了公元前 4 世纪至公元前 2 世纪，铁器已被普遍使用。

人类大约在公元前 50 万年发现了火，这是人类第一个划时代的发现。随着对土壤可塑性的感性认识，以及对火的使用和控制经验的积累，人类开始用粘土制作简单的原始陶器。陶器（Pottery）的出现是人类跨入新石器时代的重要标志之一。随着金属冶炼技术的发展，人类在公元元年左右掌握了通过鼓风提高燃烧温度的技术，并发现一些高温烧制的陶器由于局部熔化而变得更加坚硬，从而完全改变了陶器多孔与透水的缺点而成为瓷器，这是陶器发展过程的重大飞跃，人类文明的发展从此进入了水泥时代（Cement Age）。瓷器（Porcelain）是我国先民的伟大发明，比国外出现早了 1500 年以上，它是中华民族的宝贵历史遗产之一。

到了 17 世纪，炼铁生产趋向大型化。欧洲在中世纪出现了高炉，燃料还原剂由木炭发展为煤炭，到 18 世纪又发展为焦炭。随后，当人类发现钢铁在高温下也具有高强度这一事实后，便出现了以钢铁为结构材料，将蒸汽的热能转变为机械能的蒸汽机。从此，人类开始掌握了人工产生机械动力的方法，用来开动机械设备进行大规模生产，这使人类的思想和社会结构发生了巨大变革。钢铁的使用标志着社会生产力的发展，人类开始由农业经济社会进

入了所谓的工业经济的文明社会，人们称这一时期为钢时代（Steel Age）。

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。工业革命开始的标志是“珍妮纺纱机”的发明和使用，工业革命完成的标志则是蒸汽机的发明和使用。第二次产业革命是起源于19世纪70年代的工业革命，其主要标志是电气化。

伴随着钢时代的发展，电子技术也得到了极大的发展。1883年爱迪生发现的爱迪生效应（热电子的发射）是电子工业的基础。利用这一原理，1904年英国工程师 John A. Fleming 发明了二极管；1906年美国发明家 Lee de Forest 制成了世界上第一只三极管，开创了电子管时代，出现了无线电报、电话、导航、测距、雷达、电视等产品，甚至出现了“ENIAC”第一代电子计算机。但是，电子管的体积较大，无法适应电子器件小型化的要求。20世纪中叶，随着硅、锗半导体材料的出现，人类进入了硅时代（Silicon Age）。第三次工业革命的标志是微电子技术和普遍应用。

进入20世纪90年代，人类不断地发展和研制新材料，这些新材料具有一般传统材料所不可比拟的优异性能或独特性能，是发展信息、航天、能源、生物、海洋开发等高新技术的重要基础，也是整个科学技术进步的突破口，人类从此进入了新材料时代（Era of New Materials）。新材料的广泛应用给社会带来了有目共睹的进步。

毋庸置疑，材料在人类社会发展中具有不可替代的作用和地位。人们往往用材料的发展和水平来衡量一个国家国力的强弱、科学技术的进步程度和人们生活水准的高低。材料在过去、现在和将来都必然是一切科学技术，尤其是高新技术发展的先导和支柱。

1.2 材料的分类

材料种类繁多，为了便于认识和应用，可以从不同角度对其进行分类。

(1) 按化学成分、生产过程、结构与性能特点分类 材料可分为三大类，即金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料。三大类材料相互交叉、互相融合，如图1-2所示。由三大类材料中任意两种或两种以上复合而成的材料称为复合材料。实际上，某一类材料中的不同材料也可构成复合材料，如铝板与铜板可通过爆炸复合成铝铜层叠复合材料。

1) 金属材料是目前用量最大、使用最广泛的工程材料，包括钢铁材料（黑色金属）和非铁（有色）金属材料两大类。钢铁材料包括纯铁、钢和铸铁。非铁金属材料是指钢铁材料以外的所有金属和合金，主要有铝、铜、钛、镁、镍及其合金等。其中，铝、铜合金应用最为广泛，钛合金主要用于航空航天等部门。

2) 无机非金属材料是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、卤化物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料，主要包括陶瓷、水泥、玻璃及非金属矿物材料。其中，陶瓷是应用历史最悠久、应用范围最广泛的无机非金属材料。陶瓷狭义上为“用火烧成的制品”，后来发展到泛指整个硅酸盐类，包括陶器、瓷器、水泥、玻璃、耐火

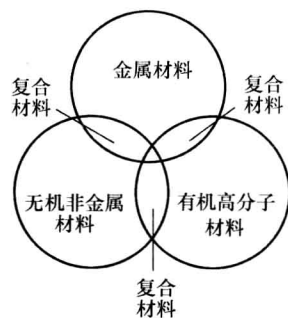


图 1-2 三大类材料及其相互交叉与融合

材料、粘土制品等。近年来，随着无机非金属材料的发展，近代陶瓷的含义已扩展为“经高温处理工艺所合成的无机非金属材料”，其应用已渗透到各种工程技术领域。

3) 有机高分子材料又称为高聚物，是以高分子化合物为主要组分的材料，主要包括天然高分子材料和人工合成高分子材料。其中，天然高分子物质有蚕丝、羊毛、纤维素、天然橡胶以及存在于生物组织中的淀粉、氨基酸、蛋白质等，工程上的高分子材料主要是人工合成的各种聚合物，如塑料、合成橡胶及合成纤维等。有机高分子材料、金属材料和无机非金属材料一起构成现代工程材料的三大支柱。

4) 复合材料。F. L. Matthews 和 R. D. Rawlings 认为，复合材料是两个或两个以上组元或相组成的混合物，并应满足以下三个条件：①组元含量大于 5%；②复合材料的性能显著不同于各组元的性能；③通过各种方法混合而成。

复合材料与一般材料的简单混合有着本质区别，它既保留原组成材料的重要特色，又通过复合效应获得原组分所不具备的性能。可以通过材料设计使原组分的性能相互补充并彼此关联，从而获得更优越的性能。

复合材料主要由基体相和增强相两部分组成。按基体材料的不同可分为树脂基、金属基、陶瓷基等复合材料，目前使用较多的是树脂基复合材料；按增强材料的种类和形态可分为纤维增强、颗粒增强和层叠增强复合材料等，其中纤维增强复合材料的应用较为广泛。

(2) 按使用性能分类 材料可分为结构材料和功能材料两大类。结构材料是以力学性能为基础，以制造受力构件所用的材料，当然，结构材料对物理或化学性能也有一定要求，如光泽、热导率、抗辐照、耐腐蚀、抗氧化等；功能材料是指具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、化学、生物医学功能，以及特殊的物理、化学、生物学效应，能完成功能相互转化，主要用来制造各种功能元器件，被广泛应用于各类高科技领域的高新技术材料。

功能材料是新材料领域的核心，它涉及信息技术、生物工程技术、能源技术、纳米技术、环保技术、空间技术、计算机技术、海洋工程技术等现代高新技术及其产业。功能材料不仅对高新技术的发展起着重要的推动和支撑作用，还对我国相关传统产业的改造和升级，实现跨越式发展起着重要的促进作用。

功能材料种类繁多，用途广泛，正在形成一个规模宏大的高技术产业群，有着十分广阔的市场前景和极为重要的战略意义。世界各国均十分重视功能材料的研发与应用，它已成为世界各国新材料研究发展的热点和重点，也是世界各国高技术发展中战略竞争的热点。在全球新材料研究领域，功能材料约占 85%。我国高技术（863）计划、国家重大基础研究（973）计划、国家自然科学基金项目中有许多功能材料技术项目（约占新材料领域的 70%），并取得了大量研究成果。

(3) 按用途分类 材料可分为航空航天材料、信息材料、电子材料、能源材料、生物材料、建筑材料、包装材料、机械材料等。

(4) 按应用和发展分类 可将材料分为传统材料和新型材料两大类，两者互相依存、互相促进、互相转化、互相替代。传统材料指的是生产技术成熟，可大量工业化生产的材料，如钢铁、水泥、塑料等，其特征是需求量大、生产规模大；而新型材料是建立在新思路、新概念、新工艺、新技术基础之上，以性能优异、品质高、稳定性高为优势，其显著特征是投资强度较高、更新换代快、风险大、知识和技术密集程度高、不以规模取胜。



1.3 材料科学与工程及其发展

材料科学的目的是研究不同尺度下材料的结构（包括电子结构、晶体结构、微观结构和宏观结构）对其性能的影响；而材料工程则着重于确定材料的结构、加工技术与功能特性间的关系，以及材料选择与形成用于复杂制造系统所需的结构和功能的工艺过程间的关系，如图 1-3 所示。因此，材料工程的发展是当代人类生活质量的重要的决定性因素。

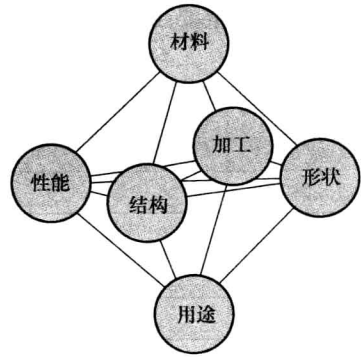


图 1-3 产品的材料、加工与功能间的相互关系

20 世纪 50 年代末，材料科学作为一门独立的学科分支出现，主要是继续工业革命开始时创建的物理冶金方面的传统研究，从而顺利地转化为材料技术，并进一步转化为材料科学，并同时在材料技术、材料工程及应用科学间建立起相应的联系。20 世纪末，各种学科分支间重要的整合造就了材料工程的成就，使得 21 世纪的材料科学在许多纯科学学科交叉基础上发展成为一个跨科学的领域，这些纯学科主要有固体物理学、化学、数学和加工工程，还有力学、机械工程、生态学、经济学、管理学和计算机应用科学，甚至还有生物学和医学。在激烈的市场竞争及对质量、可靠性、寿命与价格高要求的条件下，利用这些学科的成就给出具有最佳性能的材料，以最佳方式来适应人们对使用的产品或物品提出的越来越高的要求。

由于材料制备、质量的改进和将材料加工成人们可用的器具或构件，都离不开生产工艺和制造技术等工程知识，人们往往把“材料科学”与“材料工程”相提并论，统称为“材料科学与工程”。

伴随着现代科学技术的飞速发展及新材料的不断涌现，人们将各类材料和有关合成加工技术及现代分析测试技术作为一个整体考虑，形成了材料的“大学科”，以满足材料科学与工程发展的要求。考虑到很多跨学科的因素，当代材料科学与工程的研究热点可浓缩为表 1-2 中所列的项目。

表 1-2 材料科学与工程的研究热点

主题范围	追求的目标与采用的方法
材料的合成与加工	在材料中较大规模地将原子、组分排成具有所需构形的体系
材料的化学组成与微观结构	评价化学成分与微观结构对材料行为的影响
材料的现象与性能	研究在材料工艺和操作过程中发挥作用的机制，用于解释这些现象以及对材料性能的影响
使用条件下材料的行为	评价材料在各种应用场合中的适用性
材料设计与其耐用性和/或寿命预测	采用理论方法和计算机的辅助以及人工智能方法预测材料的化学组成、性能以及服役条件下的耐用度或寿命

1.4 先进材料

随着科学技术的发展，对材料的需求也在不断发生变化，新的材料不断出现。表 1-3 列

出了美国 8 个重要工业部门对材料的要求。

表 1-3 美国 8 个重要工业部门对材料的要求

所需特性	工业部门							
	航空航天	汽车	生物材料	化工	电子	能源	金属	通信
质轻高强	✓	✓	✓					
耐高温	✓			✓		✓	✓	
耐腐蚀	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
迅速开关					✓	✓		✓
高效加工	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
近净成形	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
材料回收		✓		✓			✓	
预测使用寿命	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
预测物理性能	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
材料数据库	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

先进材料也就是新材料，必须具备以下条件之一：

- 1) 新出现或正在发展中的具有传统材料所不具备的优异性能的材料。
- 2) 高技术发展需要，具有特殊性能的材料。
- 3) 由于采用新技术（工艺、装备），使材料性能比原有性能有明显提高或出现新功能的材料。

新材料可以按成分分为金属材料、无机非金属材料（如陶瓷、砷化镓半导体等）、有机高分子材料及先进复合材料四大类；按材料性能分为结构材料和功能材料两大类。结构材料主要是利用材料的力学和理化性能，以满足高强度、高刚度、高硬度、耐高温、耐磨、耐腐蚀、抗辐照等性能要求；功能材料主要是利用材料具有的电、磁、声、光、热等效应，以实现某种功能，如半导体材料、磁性材料、光敏材料、热敏材料、隐身材料和制造原子弹、氢弹的核材料等。新材料在高新技术的发展和国防建设上作用重大，例如，超纯硅、砷化镓的研制成功，导致大规模和超大规模集成电路的诞生，使计算机运算速度从每秒几十万次提高到现在的每秒百亿次以上；航空发动机材料的工作温度每提高 100℃，推力可增大 24%；隐身材料能吸收电磁波或降低武器装备的红外辐射，使敌方探测系统难以发现，等等。

21 世纪科技发展的主要方向之一是新材料的研制和应用。新材料的研究，是人类对物质性质认识和应用向更深层次的进军。以半导体材料和光电子材料为代表的信息功能材料仍是最活跃的领域；可再生能源的迅速开发、核能的新发展、最重要的节能材料——超导材料的室温化、作为能源使用的磁性材料的继续发展、对贮能材料的高度重视、提高燃效减少污染的燃料电池的开发等，将使能源功能材料取得突破性进展；以医用生物材料、仿生材料和工业生产中的生物模拟为代表的生物材料在生命科学的带动下将有很大发展；智能材料与智能结构系统将受到更大重视；随着资源的枯竭、环境的恶化，环境材料日益受到重视；高性能结构材料的研究与开发将是永恒的主题；材料制备工艺和测试方法则是制约材料广泛应用的重要因素；21 世纪将逐渐实现按需设计材料；纳米材料科学技术成为 21 世纪初最活跃的领域。



材料概论是材料科学与工程专业的第一门专业课，目的是使学生初步认识材料世界的概貌。本书按金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料和新材料的顺序扼要介绍各类材料的化学成分、生产过程、组织结构、性能及应用，并提出对不同构件或零件选材的原则与方法，为后续课程的学习提供必要的基本知识。

思考与练习

1. 为什么说材料是人类社会进步的里程碑？
2. 人类使用材料的历史经历了哪些时代？
3. 请根据材料的化学组成对材料进行分类。
4. 什么叫结构材料？什么叫功能材料？
5. 什么叫传统材料？什么叫先进材料？传统材料与先进材料有何关系？
6. 简要分析材料科学与材料工程间的相互关系。

参考文献

- [1] William D. 材料科学与工程基础（英文影印版）[M]. 5版. 北京：化学工业出版社，2004.
- [2] 许并社. 材料科学概论 [M]. 北京：北京工业大学出版社，2002.
- [3] 何庆复. 机械工程材料及选用 [M]. 北京：中国铁道出版社，2001.
- [4] 闫康平. 工程材料 [M]. 北京：化学工业出版社，2001.
- [5] 周达飞. 材料概论 [M]. 北京：化学工业出版社，2001.
- [6] 冯端，师昌绪，刘治国. 材料科学概论 [M]. 北京：化学工业出版社，2002.
- [7] 郑明新. 工程材料 [M]. 北京：清华大学出版社，1997.
- [8] Leszek A. Dobrzański. Significance of materials science for the future development of societies [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 175: 133-148.
- [9] 涂铭旌. 材料发明学 [M]. 北京：化学工业出版社，2000.
- [10] 赵新宇. 纳米世纪 [M]. 广州：广州出版社，2001.

第 2 章 材料科学与工程纲要

材料的成分、组织结构、合成加工、性质与使用性能是材料科学与工程的四个基本要素，这四个方面的构成了材料科学与工程的基础。使用性能是研究材料的出发点和目标。结构材料的使用性能主要由它们的强度、硬度、弹性模量、伸长率等力学性能指标衡量；功能材料的使用性能主要由相关的物理学参量衡量。材料的化学成分、组织结构是影响其各种性质的直接因素，合成加工则是通过改变材料的组织结构而影响其性质。而改变化学成分又会改变材料的组织结构，从而影响其性质。图 2-1 所示为这四个方面间的相互关系，其中，组织结构是核心，性能是研究工作的落脚点。不论是何种材料，不论材料的形状尺寸如何，其宏观性能都是由材料的化学成分和组织结构决定的。只有从不同的微观层次上准确了解材料的成分和组织结构与性能间的关系，才能有目的地、有选择地制备和使用材料。

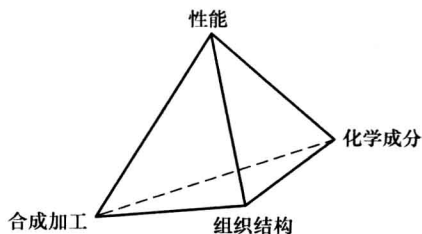


图 2-1 材料科学与工程的四要素

本章简要介绍材料成分与组织结构的含义，材料的合成与加工方法，影响材料使用性能的主要力学性能指标、物理学参量和化学行为，以及如何根据材料的使用性能要求进行材料设计并预测材料的失效。

2.1 材料的成分

材料的成分是指组成材料的元素种类及其含量，通常用质量分数 (w) 表示，有时也用摩尔分数 (x) 表示。

材料的成分不等同于材料的组元，也与材料的相不同。材料的组元是指组成材料最基本、独立的物质，可以是纯元素，也可以是稳定的化合物。而相是指材料中具有同一化学成分并且结构相同的均匀部分，一个相必须在物理性质和化学性质上都是完全均匀的，但不一定只含有一种物质。相与相之间有明显的界面，可以用机械方法将它们分离开，在界面上，从宏观的角度来看，性质的改变是突变的。

2.2 材料的组织结构

材料的组织是指材料内部的微观形貌，是由各个晶粒或各种相所形成的图案，它能反映各组成相的形态、尺寸及分布。只含一种相的组织为单相组织，由多种相构成的组织为复相组织或多相组织。材料的组织分为微观组织与宏观组织。

材料的结构是指材料的组成单元（原子、离子或分子等）之间相互吸引和排斥作用达