

材料科学与工程本科专业系列教材

**CAILIAO GAILUN**

# 材料概论

雅 菁 主 编  
吴 芳 副 主 编  
周 彩 楼



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

# 材料概论

雅菁 主编

吴芳 副主编  
周彩楼

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

当今,材料、能源和信息并列为现代科学技术的三大支柱,材料作为现代文明的三大支柱之一,是冶金、机械、化工、土木建筑、信息、能源、航天航空等工业的支撑,是社会发展和进步的物质基础和技术先导。为了使读者全面了解和掌握材料的基本概念、特性、应用领域和发展趋势,本书分不同章节分别阐述了材料的基本概念、结构材料、电性材料、磁性材料、超导材料、智能材料、光学材料、新能源材料、生物医用材料、抗菌材料、环境材料、梯度功能材料、复合材料和纳米材料等的相关内容,重点突出各种材料的性能与应用。本书语言简洁、通俗易懂,内容涵盖面广、信息量大、科学性强,具有较强的实用性和可读性。

本书不仅可作为材料科学与工程专业导论课程以及理工、经管等非材料类专业大学通识教育基础课的教材,还是从事与材料相关领域的科研人员、管理人员以及生产技术人员不可多得的参考书籍。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料概论/雅菁主编. —重庆:重庆大学出版社,  
2006. 8

(材料科学与工程本科专业系列教材)

ISBN 7-5624-3772-6

I. 材... II. 雅... 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(2006)第 091781 号

### 材 料 概 论

雅 菁 主 编

吴 芳 副 主 编

周彩楼

责任编辑:周立李伟 版式设计:周立

责任校对:谢芳 责任印制:秦梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆师范大学印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:418千

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-5624-3772-6 定价:22.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

材料是人类社会生活的物质基础,材料的发展导致时代的变迁,推进人类的物质文明和社会进步。人类的历史可以说是材料的历史,连续不断地开发和使用材料构筑了当今社会的文明。当今,材料、能源和信息并列为现代科学技术的三大支柱,其作用和意义尤为重要。

当今世界,科学的突飞猛进,知识经济已见端倪,国力竞争日趋激烈。教育应与经济社会发展紧密结合,为现代化建设提供各类人才支持和知识贡献,这是 21 世纪教育改革和发展的方向。1998 年,教育部对我国高校本科专业进行了大幅度的调整,旨在改变以前专业划分过细、学生知识面过窄的局面,高等学校人才培养有了新的要求。教育应从以往的知识型、职业型、专业型、业务型人才培养模式转向学习型、创业型、复合型、人格型的人才培养模式。加强基础、拓宽专业面是材料类专业改革的方向。为此许多高校,特别是重点大学按照引导性专业目录完善了材料科学与工程专业,要求学生了解各类材料、了解现有材料的分类、特性、应用领域及其发展趋势,具有比较全面的材料科学与工程的综合知识。而现有的大部分教材几乎都是针对某一类材料的某一方面编写的,因而迫切需要能够使学生建立起对材料科学与工程整体与全貌认识的高质量导论课程教材。

为了适应新的形势,满足教学要求,拓宽材料知识,我们编写了这本《材料概论》。它可作为材料科学与工程专业导论课程以及理工、经管等非材料类专业大学通识教育基础课的教材,还可作为从事与材料相关领域的科研人员、管理人员以及生产技术人员的参考书籍。

本书共分 14 章,第 1 章由天津城市建设学院雅菁教授编写,第 2 章由重庆大学吴芳副教授编写,第 3 章、第 4 章由大连理工大学石勇博士编写,第 5 章由天津大学季惠明副教授编写,第 6 章由天津大学刘志锋博士编写,第 7 章由雅菁教授、

王丽丽博士编写,第8章由天津大学刘晓新博士编写,第9章由天津城市建设学院张宝莲副教授编写,第10章由天津城市建设学院魏冬青副教授编写,第11章由天津城市建设学院周彩楼高工、雅菁教授编写,第12章由天津大学梁崇博士编写,第13章由天津城市建设学院宁彩珍讲师、周彩楼高工编写,第14章由天津大学刘志锋博士、刘国奇博士编写。

全书由雅菁教授统稿。天津大学的靳正国教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见,作者对此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中得到多方面的支持和帮助,作者在此表示衷心感谢。然而鉴于材料科学涉及内容广泛,信息量大,加之新材料的不断涌现,难以收罗殆尽,以及编者水平和时间的限制,不妥乃至错误之处,在所难免,诚望专家和读者多多批评指正。同时,对书中所引用文献资料的中外作者致以衷心的感谢。

编者

2005年12月

## 教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后自行发回

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)	系	
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____人	_____年级	学时:
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail:(必填)			
您对本书的建议:	系主任签字    盖章		

请寄:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)  
重庆大学出版社市场部

邮编:400030

电话:023-65111124

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn)

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 材料的定义和分类 .....	1
1.2 材料的地位和作用 .....	2
1.3 材料的循环 .....	6
1.4 工程师与材料 .....	6
1.5 材料科学与工程的内涵 .....	7
1.6 材料科学与工程的发展趋势 .....	8
<b>第 2 章 结构材料</b> .....	11
2.1 材料的性能 .....	11
2.2 金属材料 .....	23
2.3 无机非金属材料 .....	34
2.4 高聚物材料 .....	47
<b>第 3 章 电性材料</b> .....	58
3.1 导体、半导体和绝缘体材料 .....	58
3.2 超导材料 .....	62
3.3 铁电、压电、热释电和介电材料 .....	64
<b>第 4 章 磁性材料</b> .....	71
4.1 材料的磁性 .....	71
4.2 物质磁性的分类 .....	75
4.3 磁性材料的分类 .....	76
4.4 几种新型的磁性材料及应用 .....	80
<b>第 5 章 超导材料</b> .....	82
5.1 超导的基本特征 .....	82
5.2 第一类超导体和第二类超导体 .....	86
5.3 超导材料的发展历史 .....	88
5.4 超导材料的应用与前景 .....	90

<b>第 6 章 智能材料</b> .....	97
6.1 概述 .....	97
6.2 形状记忆智能材料.....	101
6.3 电/磁流变液智能材料 .....	110
6.4 磁致伸缩智能材料.....	115
<b>第 7 章 光学材料</b> .....	120
7.1 光纤材料.....	120
7.2 光色材料.....	126
7.3 红外材料.....	129
<b>第 8 章 新能源材料</b> .....	134
8.1 概述.....	134
8.2 储氢材料和制氢材料.....	134
8.3 燃料电池.....	140
8.4 太阳能电池.....	143
<b>第 9 章 生物医用材料</b> .....	147
9.1 组织工程材料.....	148
9.2 血液净化材料.....	153
9.3 生物降解高分子材料.....	155
<b>第 10 章 抗菌材料</b> .....	161
10.1 概述 .....	161
10.2 抗菌机理 .....	169
10.3 抗菌塑料 .....	171
10.4 抗菌纤维和织物 .....	175
10.5 抗菌陶瓷 .....	176
10.6 抗菌金属 .....	177
10.7 抗菌材料的应用 .....	179
<b>第 11 章 环境材料</b> .....	181
11.1 概述 .....	181
11.2 材料的环境协调性评价 .....	183
11.3 材料的生态设计 .....	185



11.4	绿色包装材料	188
11.5	生态建材	190
11.6	环境降解材料	195
<b>第12章</b>	<b>梯度功能材料</b>	<b>199</b>
12.1	梯度材料的定义及分类	199
12.2	热防护梯度功能材料	201
12.3	梯度折射率材料	204
12.4	其他梯度功能材料	207
<b>第13章</b>	<b>复合材料</b>	<b>213</b>
13.1	概述	213
13.2	增强材料	214
13.3	纤维增强树脂基复合材料	218
13.4	金属基复合材料	222
13.5	陶瓷基复合材料	227
13.6	碳/碳复合材料	230
<b>第14章</b>	<b>纳米材料</b>	<b>232</b>
14.1	基本概念	232
14.2	纳米材料的研究进展	234
14.3	纳米材料的特异效应	235
14.4	纳米结构单元	237
14.5	纳米组装体系	243
14.6	纳米固体材料	244
14.7	纳米材料的应用	251
	<b>参考文献</b>	<b>255</b>

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 材料的定义和分类

材料一般是指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,即人类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。

材料多种多样,分类方法也没有一个统一的标准。依据材料的来源可将材料分为天然材料和人造材料两大类。目前大量使用的天然材料有木材、石材、橡胶、植物纤维等,但许多原先使用天然材料的领域正在日益被人造材料所取代。例如,各种人造复合板材和人造石在代替天然木材和天然石材用于建筑装饰;人造橡胶在代替天然橡胶;化学纤维在代替植物纤维等。

按材料的用途分类,可分为建筑材料、电子材料、航空航天材料、能源材料、核材料、生物材料等。更常见、简便的分类方法有两种,一种是根据材料性质和用途,分为结构材料和功能材料两大类,前者是指以力学性能为主要要求,用以制造各种机器零件和工程构件的一类材料,是机械制造、建筑、交通运输、能源开发及有效利用的物质基础;功能材料则是利用物质独特的物理、化学特性或生物功能发展起来的一类材料。当然,结构材料对其他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,对性能的具体要求因材料的用途而异。另一种常见、简便的分类方法是将所有材料分为传统材料和新型材料(又称新材料、先进材料)。前者是指在工业中已批量生产并已得到广泛应用的材料,后者则是指刚刚投产或正在发展而且具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决然的界限,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。

根据材料的本性或其结合键的性质,可以把材料分为4类:金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。

1)金属材料是由金属元素或以金属元素为主形成的具有金属特征的一类材料,包括金属及其合金、金属间化合物以及金属基复合材料等。最简单的金属材料是纯金属,周期表中的金

属元素分为简单金属与过渡金属两类。

工业上把金属及其合金分成黑色金属和有色金属两大部分:黑色金属指铁及铁基合金(钢、铸铁和铁合金);有色金属指黑色金属以外的所有金属及其合金。

2)无机非金属材料是以某些元素的氧化物、氮化物、碳化物、氢化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料,是20世纪40年代以后,随着现代科学技术的发展从传统的硅酸盐材料演变而来的。

无机非金属材料就其组成物质的形态、性质可分为单晶体(各种宝石、工业用矿物晶体、人工合成晶体等)、多晶体(陶瓷、水泥、粉煤灰等)以及非晶质体(玻璃)3类物质状态。实际上许多无机非金属材料属于复杂的物质状态和复杂体系,其组成既可以有晶体,亦可有非晶体存在。欧美把无机非金属材料统称为陶瓷材料,狭义的陶瓷又称传统陶瓷。前苏联则笼统地称之为无机材料,日本将普通陶瓷统称为窑业制品,新型陶瓷又被称为精细陶瓷。

3)高分子材料是以高分子化合物为基础制得的材料。包括橡胶、塑料、纤维、涂料、胶粘剂和高分子复合材料。高分子是由成千上万个小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。

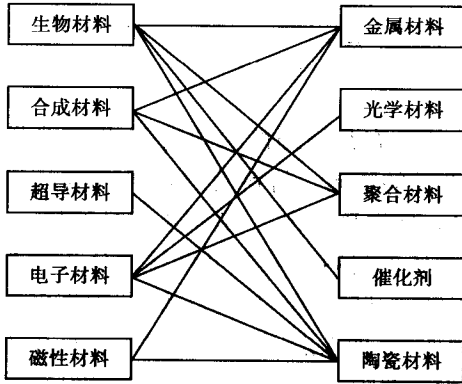


图 1.1 材料的 10 个分领域及相互关系

还有这样一种分类,1998年,美国科学院科学、工程与公共政策委员会(COSEPUP)一项研究报告(International Benchmarking of US Materials Science and Engineering 1998)把材料领域分成10个主要的分领域,如图1.1所示。图1.1中的连线表示这些材料分支的重叠性,例如,陶瓷可以作为磁性材料、电子材料等。

4)复合材料是一个比较宽泛的概念,一般认为,复合材料是由两种或两种以上化学本质不同的材料组合在一起构成。其结构为多相,一类组成(或相)是基体,起粘结作用,另一类为增强体或功能组元,起增加强度或功能的作用。复合材料具有组成这种复合物的每种材料的最优良的性质,同时,其总体性质又优于组成它的每一种材料。

还有这样一种分类,1998年,美国科学院科学、工程与公共政策委员会(COSEPUP)一项研究报告(International Benchmarking of US Materials

## 1.2 材料的地位和作用

### 1.2.1 材料是人类进步的里程碑

连续的历史时代,诸如石器时代、铜器时代、青铜器时代、铁器时代,这些时代的名称就反映出了材料对人类进步的重要性。所以,人类的文明史就是材料的发展史,人类正是连续不断地开发和利用新材料才构筑了今天的文明。也可以说,材料是社会进步的物质基础和先导,是人类进步的里程碑。自古以来,石器、铜、青铜、铁使人类制造出更新型、更好的农具、食品容器以及武器,当今核能和信息时代的产生与存在,分别归于铀和硅的发现及其进一步开发利用。每一种重要材料的出现,都伴随着人类达到更高的生活标准,在技术进步方面发生革命性的变

化,并实现从一个时代向另一个时代的过渡。

早在100万年以前,人类开始以石头做工具,使人类进入旧石器时代。1万年前人类进入新石器时代,打制的石器更加精美,发明了用黏土成型,再火烧固化成为陶器,同时出现了玉器工艺品。人类学会了使用稻草作增强材料,掺入黏土中,再火烧制砖。利用石头和砖瓦,人类创造了辉煌的历史,如被誉为世界古代七大奇迹的埃及金字塔、巴比伦空中花园、古希腊奥林匹亚的宙斯神庙。同时,人类开始用皮毛遮身;中国在8000年前就开始用蚕丝做衣服;印度人在4500年前开始种植棉花。人类使用的这些材料成为促进人类文明的重要物质基础。

后来,人类知道了使用天然金和铜,以后在寻找石料过程中认识了矿石,在烧制陶器过程中又还原出金属铜和锡,还发现在铜中加入部分锡,可使原来较软的铜制品变得更坚韧、更耐磨。这种色泽鲜艳、又能浇铸成型的铜锡合金——青铜,是最原始的合金,也是人类历史上发明的第一种合金,从此人类进入了青铜时代。中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了世界的顶峰。湖北随州市出土的64件重达2500余kg的古代乐器——铜编钟,其音域宽广悦耳动听,充分反映出当时中国在冶金方面已经达到相当高的工艺和技术水平。

远古时代,人类已经使用陨铁制作武器或其他器物。到了公元前13世纪,人类已开始用铁,在地中海东岸出现了很多铁器。由于铁比铜更容易得到,更好利用,在公元前10世纪铁工具已比青铜工具更为普遍,人类从此由青铜时代进入铁器时代。中国在春秋(公元前770—公元前476年)末期,冶铁技术有很大突破,遥遥领先于世界其他地区。如利用生铁经退火制造韧性铸铁及以生铁制钢技术的发明,标志着中国生产力的重大进步。这些发明对战国和秦汉农业、水利与军事的发展起了重大作用,成为促进中华民族统一和发展的重要因素之一。这些技术从战国至汉代相继传到朝鲜、日本和西亚、欧洲地区,推动了整个世界文明的发展。

随着18世纪蒸汽机的发明和19世纪电动机的发明,出现了第一次工业革命,大大促进了机械、纺织、造船等工业和铁路交通业的大发展,机械劳动逐渐在许多领域代替了笨重的体力劳动,使人类从手工艺时期跃进到机器工业时代。但是,不能忽略的是,蒸汽机的发明除了借助于物理学和机械学的发展外,它的物质基础是材料。没有钢铁材料的发展,也就没有蒸汽机的出现。在这次工业革命中,随着各种机械的发展以及对材料要求的不断提高,使钢铁材料也得到了发展。1855年和1864年先后发明了转炉和平炉炼钢工艺,使世界钢的产量从1850年的6万吨突增到1900年的2800万吨,实现了从普通钢铁到高合金钢,由低强度钢到高强度钢的发展,由此又对各种机械的结构提出了新的要求。

随着有机化学的发展,19世纪末,发明了人造丝。20世纪初,各种人工合成高分子材料相继问世,如1909年的酚醛树脂(胶木),1925年的聚苯乙烯,1931年的聚氯乙烯以及1941年的尼龙等,发展十分迅速。如今全世界每年的人工合成高分子材料产量达到1亿吨以上,论体积已超过了钢。而且高分子材料的性能不断提高,一些特种聚合物正向功能材料各个领域拓展,显示出巨大的发展潜力。

陶瓷材料最早用作容器、装饰品和建筑材料,到了20世纪50年代,通过合成化工原料或特殊制备方法,制造出了一系列的先进陶瓷。由于比重小、耐高温、耐磨损等特点,成为近几十年来非常活跃的材料研究领域,用途也在不断扩展。由于陶瓷材料脆性问题难以解决,且价格较高,所以作为结构材料不如钢铁或高分子材料那样应用广泛。

高分子材料、先进陶瓷与金属材料,各有互不可替代的性能和功能。所以,当前乃至整个

21 世纪,将是多种材料并存的时代。今后更有发展前途的是复合材料,因为这类材料具有每种单质材料所不具备的性能,而且可以节约资源。事实上,几乎所有生物体,如内脏、牙齿、皮肤以及木材等都是以复合材料的方式构成的,人类也很早就在利用复合材料。如泥巴中混入碎麻或麦秆用以建造房屋;钢筋水泥是将脆性材料与韧性材料相结合;玻璃钢是玻璃纤维与树脂的复合;还有碳纤维增强的树脂基复合材料。现在人们还在发展更高级的复合材料,如金属基、陶瓷基复合材料等。

随着科学技术的发展,除了前面提到的结构材料,功能材料也愈来愈重要,特别是半导体材料出现以后,促进了现代文明的加速发展。1948 年发明了第一只具有放大作用的晶体管,10 年后又研制成功集成电路,使计算机的功能不断提高,体积不断缩小,价格不断下降;加之高性能的磁性材料不断涌现,激光材料与光导纤维的问世,使人类社会进入了“信息时代”。信息技术的不断发展给社会带来巨大变化。随着 Internet 得到广泛应用,使之成为许多个人、企业、社会生活中不可或缺的一部分。根据麦特可非定律,随着使用网络人数增加,网络产生的价值成正比增加,而网络价值增长的速度比应用网络人数增加的速度要快得多。因此信息技术已经深深融入到每个人的工作、生活,每个企业的运作当中,对人类的生活方式产生重大影响,改变着整个世界的面貌。

应该指出,木材、砖瓦、石料、水泥、玻璃、陶瓷、钢铁、塑料等传统材料,一直占有十分重要的地位,因为这些材料资源丰富,性能价格比在所有材料中最有竞争能力。这些传统材料是国民经济的基础,量大面广,与人民基本生活的关系甚为密切,即使有一点改进,收益也很可观。例如,美国道路与桥梁的使用寿命增加 1%,其收益可达 300 亿美元。因此,各国对传统材料都给予了足够的重视。材料和其他商品一样,是否受到重视或得到发展,取决于其性能价格比。汽车制造业是许多国家的传统支柱产业,因此,汽车材料也不断推陈出新。如果单从性能来看,以碳纤维增强树脂基复合材料制作车体当然十分理想,但由于其价格与成型工艺等原因,虽然全复合材料汽车制造成功已有 20 多年,但至今仍难以推广。

### 1.2.2 材料是社会现代化的物质基础与先导

人类社会的进步,几乎无不与材料密切相关。特别是先进材料与现代文明的关系十分密切,而且先进材料是先进技术的先导。没有半导体和其他功能材料,就不会有今天的信息社会;没有高温和超高温材料及高比强度、高比刚度材料,就不会有今天的航空航天技术。相反,有些技术,因为没有合适的材料而进展迟缓。如太阳能是一种永恒能源,量大面广,又无污染,但是由于还没有效率高、寿命长、价格低廉的光电转换材料而使太阳能在能源中的地位一直很低;磁流体发电装置的效率可达 50% ~ 60%,远远高于现有热机,而且可以燃烧劣质燃料,污染也小,但是由于有些关键材料没有得到解决,至今未能实现工业化。如此种种,都说明新材料的研究与开发、材料科学与技术的基础和应用研究至关重要。另一方面,当一种新材料应用于生产时将给社会生活和经济带来何等程度的影响是人们希望能够预知的,但以往的事实证明这确实又是无法明确的。例如,仅仅在 30 年前人们才认识到光学玻璃纤维可作为通信媒体,现在光纤通信已给国际通信交流带来了巨大的变化,光导纤维成为了电信工业部门的关键材料。正如硅材料带动了半导体工业一样,是光导纤维推动了电信工业的发展。再比如,自 1986 年超导材料的研究有了重大突破,现在仅从电力运输上看,按美国的计算,如其国内用超导电缆可节约 750 亿 kW 的电能,至少每年可节省 50 亿美元,日本已宣布采用超导材料的磁

悬浮列车试验时速已达到 581 km/h,10 年、20 年后超导材料给人类社会带来的变化很可能会远远超乎人们现在的想像。

因此,新材料的研究、开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平,世界各国莫不予以足够的重视。美国国防部早在 1991 年提出的 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,美国白宫发布了美国国家关键技术项目,共 6 个领域 23 项关键技术,材料是其中的一个领域,有材料合成与加工、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 项关键技术。美国的“国家关键技术报告”认为:材料领域的进展几乎可以显著改进国民经济所有部门的产品性能,提高它们的竞争能力。只是因为先进材料与制造技术是未来国民经济与国防力量发展的基础,是各种高、新技术成果转化为实用产品与商品的关键。日本一向对材料十分重视,在 2001 年依据《科学技术基本法》制定的第二期《科学技术基本计划》中,纳米技术与材料研究被明确规定为最优先发展的,关系到日本未来前途的四个重大科学技术领域之一。而材料研究领域基本规定在以下三个大的方面:原子及分子水平物质构造、性状及控制,表面及界面控制;节省能源及循环再生材料;保障安全生活材料。中国把材料的研究与开发也一直放在重要位置,从而保证了国防工业与国民经济的发展。20 世纪 90 年代以后,材料的地位进一步加强,如在国家“八五”攻关计划、高技术发展计划、重大基础研究攀登计划中,材料研究均占据了较大的比例。目前,中国在新材料研究方面,有些已处于国际先进水平。下面就现代科学技术的发展与新材料的关系举几个典型例子予以说明。

材料引领技术进步的一个典型例子发生在航空航天领域。在极端条件下工作的航空航天产品对所用的材料提出了苛刻的性能要求,首先是对材料的比密度和比强度。因为飞机的重量直接影响到它的机动性能和油耗,而空间站和卫星的重量决定了对运载工具的要求和运送的成本。飞机发动机每减重 1 kg,飞机可减重 4 kg;航天飞行器每减重 1 kg,就可使运载火箭轻 500 kg。每减少 1 kg 材料的重量,可分别为商用飞机和航天器带来不少于 300 美元和 30 000 美元的经济效益。各种轻质、高强、耐热合金的不断发展,不但提高了战斗机的性能,而且为今天大型客机的安全及有效载荷的提高、续航时间的延长以及飞机与发动机的长寿命提供了可能性。另外,航天飞机在返回地面的过程中,由于飞船与大气层的强烈摩擦所产生的温度在几分钟内可达到 1 600 °C,这将熔化所有现有机身使用的金属材料,所以美国的太空飞船外部在经受 400 °C ~ 1 260 °C 温度的区域,由大约 30 000 片陶瓷片来保护,陶瓷片的表面再覆以硼硅酸盐玻璃;在达到 1 600 °C 的区域,表面是 C/C 复合材料(由碳树脂基质包裹碳纤维构成),没有这种材料,飞船的再次使用是不可能的。

材料为技术突破提供媒介也同样发生在通信领域上。过去通常采用微波、电缆来传输电信号,现在这一方式正逐渐被光传输所替代,实现光信号传输靠的就是高质量透明 SiO<sub>2</sub> 纤维,即光导纤维。光通信比电气通信的通信容量大得多,一根比头发丝还细的光纤就可以传输好几万路电话或上千路电视。而且,光纤不怕电磁干扰,保密性强,耐腐蚀,柔软而易于铺设,还能节省大量金属铜,从而减少了铜矿开采对环境造成的负面影响。1976 年出现国际上第一条试验性光纤通信线路。到 1980 年初,光通信的容量就超过了同轴电缆。1988 年建成第一条横贯两洋的海底光缆,其造价只是 1956 年所建同轴电缆的 1%。1990 年,一条光纤每秒可传输 10 亿比特的数据信息,2000 年这个速率跃升到 1 万亿比特,提高了 1 千倍,这使互联网得到广泛应用。正是由于光导纤维的研制成功,改变了整个通信体系,为信息的传输做出了重要贡献。

能够对材料组成及结构进行精确控制的材料制备技术的发展,不断促进着以硅为代表的半导体材料的发展,使晶体管的微型化技术以及半导体工业得到快速发展。自1947年科学家发明了第一只锗晶体管、1958年诞生世界上第一块集成电路以来,集成电路的集成度不断提高。10年以后,科学家已经可以在米粒大小的硅片上集成1000多个晶体管,这就是大规模集成电路。又一个10年过去后,人类已能在一片米粒般大的硅片上集成15.6万个晶体管,这就是我们所说的超大规模集成电路。正像摩尔定律所述,在过去30年中,一个集成电路芯片上可装配的晶体管数量每12~18个月就增加1倍。现在一个手机芯片比一根火柴还要小,这在几年前还是不敢想像的。同时芯片的成本也在不断下降,每兆存储介质的成本从1954年10000美元,降到1998年100美元,2000年更降到了10美元,到2004年只有3.5美元。所有这些进步都与硅单晶的生长和晶片的加工技术密切相关,即对单晶纯度与缺陷的要求不断提高,单晶直径不断增加,晶片的加工精度和表面质量不断提高。集成电路的发明与发展,产生了计算机、蜂窝电话、MP3等各种各样的电子产品,不断影响着人类现代生活的各个方面。

### 1.3 材料的循环

人类使用的所有被开采、种植的各种资源都来源于地球,这些矿石、原油、植物等原始原料必须要经过一个诸如浓缩、精炼或纯化的粗加工过程,由此形成金属(锭或粉末)、化学品、纤维或其他物质,再经过进一步加工,制成具有更合适组成、更高纯度或更适宜形状合金、陶瓷或高聚物之类的工程材料,进一步制造或装配成整体,完成最终的产品供人们使用,如汽车、计算机、电子消费品、机械工具及运动器械等。当这些产品因为磨损或损坏被停止使用,或者当这些产品落伍了,能有更高效廉价的产品来替代它们,这时,这些产品就成为垃圾而被丢弃,成为地球上垃圾的一部分,完成了材料的循环过程。而如今,人们更多的是将这些垃圾物品循环使用或回收其中的有价值物质,这不仅是出于经济效益的考虑,更重要的是环境因素的使然。人类现在越来越注重通过产品或材料的再循环利用,尽量不造成材料的循环短路,从而减少材料整个生命周期对环境所造成的压力。

### 1.4 工程师与材料

工程师与科学家的工作目的是有区别的。由于工程基本上是一项整体的活动,所以工程师要使用直觉的、全面的、甚至常常是经验的方法去解决问题,而科学家正与此相反,他们把问题分解成最基本的单元,以阐明其中蕴含着的基本原理。换句话说,科学原理为人们提供了解决问题的大思路,但如何通过技术去解决问题,则在很大程度上取决于经验。工程师的目的在于设计实际环境下的应用效果,因此,在各个工程领域,材料都是工程师们最关心的问题之一。在选择最适宜的材料时,最佳方法是先确定系统所需要达到的性能指标,然后弄清所用材料在最低成本下需要满足哪些性能。

工程师对成本一词要有明确的认识,它并不是简单地对应材料的最初成本。有时最初成本可能较高,但从整个寿命周期看,将各种因素考虑进去以后,总体成本也许并不高。设计部

件整体寿命的一种通常方法是参考寿命周期成本分析,其影响因素包括可靠性、替换成本、停工检修期成本、环境清洁或处理成本,以及其他必须要考虑的因素,材料在一个部件的生命周期评价中起着关键作用。例如,考虑用树脂基碳纤维复合材料来制造网球拍和滑雪板。虽然这类产品最初成本较高,但它们非常耐用,从整个寿命周期来看,它们比用金属或木质材料有更低的成本。

一般来讲,没有不好的材料,只有在特定领域不正确地使用了材料。所以作为工程师,树立材料的选择不能只单一地看性能这种观点也是非常重要的。例如,电气工程师要设计一个元件,所用材料的基本性能是要能导电,但同时他也必须注意,这种材料还要能很经济地制造成需要的形状,要不易碎裂,要有保证性能随时间的稳定性,等等。因此,在多数情况下,材料的选择包括一整套考虑多种因素(包括经济因素)的复杂的权衡过程。对于某个特定的应用,材料的选择很少只有唯一的“正确”结论。换言之,一个材料的选择问题,常常可以有多种正确结论,在进行最终选择之前,工程师必须了解各种结论采用后将带来的可能的结果。另外,材料的选择是一个系统工程。在一个部件或者装置中,所选用的各种材料要能够在一起使用,而不能因相互作用而降低对方的性能。因此,在大多数情况下,材料的选择是一个反复权衡的复杂过程。在某种意义上,其重要性不亚于材料本身的研究开发。

## 1.5 材料科学与工程的内涵

长期以来,人们对材料本质的认识是表面的、肤浅的。最初,每种材料的发展、制造和使用都是靠工匠人的经验,如看火候,听声音或靠祖传秘方等等。后来,随着经验的积累出现了“材料工艺学”,这比工匠的经验进了一大步,但它只记录了一些制造过程和规律,一般还是知其然不知其所以然。因此,长期以来,材料的发展十分缓慢。直到20世纪60年代初,美国为了加强其在先进材料研究领域的实力,在一些大学相继成立了十余个材料科学研究中心。从此“材料科学”这个名词开始被广泛地引用了。材料科学所包括的内容往往容易理解为研究材料的组织、结构与性质的关系,探索自然规律,这属于基础研究。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的工艺和工程问题。1986年英国 Pergamon 出版的《材料科学与工程百科全书》对材料科学与工程学科的定义为: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的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、性能、生产流程和使用效能以及它们之间的关系(见图1.2)。

可见,材料科学与工程这一宽广的学科领域要寻求解释与控制的至少为下列4个基本要素之一:

- 材料的组成与结构,包括原子类型及其在长度尺寸(纳、介、微、宏观)范围内的排列
- 获得特殊原子排列的合成方法与制备工艺
- 由原子及其排列所决定的材料性质
- 材料的使用效能,即考虑经济的、社会的、环境的成本和效益



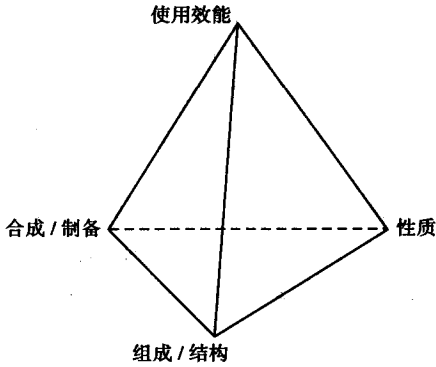


图 1.2 材料科学与工程要素图

4 个要素反映了材料科学与工程研究中的共性问题,在这 4 个要素上,各种材料相互借鉴、相互补充、相互渗透。抓住了这 4 个要素,就抓住了材料科学与工程研究的本质。而各种材料,是其特征所在,反映了该种材料与众不同的个性。材料科技工作者可以依据这 4 个基本要素,以新的或更有效的方式研制和生产材料。同时,也可依此来识别和跟踪材料科学与工程研究的主要发展趋势。

事实上,“材料科学”的形成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,对物质结构和物性的深入研究,推进了人们对材料本质的认识;金属学、陶瓷学、高分子科学等的发展也使对材料本身的研究大大加强,从而对材料的制备、结构、性能以及它们之间的相互关系的研究也更加深入,为材料科学的形成奠定了基础。

其次,在“材料科学”这个名词出现以前,金属材料、陶瓷材料与高分子材料都已自成体系,目前,复合材料也正在形成学科体系。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,从而促进本学科的发展。如非晶态理论本来主要针对无机玻璃结构,但人们在聚合物中也发现具有相似的非晶态结构特征;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热处理钢的理论基础,但在氧化锆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;虽然不同类型的材料各有其专用测试设备,但许多方面是相同或相近的,如光学显微镜、电子显微镜、表面测试及物性与力学性能测试设备;在材料的生产中,许多加工设备原理也是相通的。如注射成型机,本来用以成型高分子材料,现在又被用在粉末冶金和陶瓷领域,实现了小尺寸复杂形状金属和陶瓷部件的近净尺寸成型,开发出了一系列的材料新用途。

第三,许多不同类型的材料可以相互代替和补充,能更充分发挥各种材料的优越性,达到物尽其用的目的。

综上所述,材料科学有三个重要属性:一是多学科交叉,它是物理学、化学、冶金学、金属学、陶瓷学、高分子化学等学科与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;二是与实际使用结合非常密切,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,同时降低材料成本和减少污染等;三是材料科学是一门正在发展中的科学,将随着各有关学科的发展而不断得到充实和完善。

## 1.6 材料科学与工程的发展趋势

材料科学与工程目前的发展趋势有:

①材料的复合化。由于多种材料多学科的交叉、融合,使材料的复合化成为发展新材料的一种重要手段。可以利用多种基体与增强体的复合、多种层次的复合以及利用非线性复合效应创造出全新的性能的材料。目前复合材料的发展以树脂基复合材料为主,特别是热固性材