



国家级精品课程教材 普通高等教育精品教材

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料科学与工程基础

第三版

赵长生 顾宜 主编



化学工业出版社



ISBN 978-7-122-34841-8



9 787122 348418 >

定价：59.00元



国家级精品课程教材 普通高等教育精品教材

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料科学与工程基础

..... 第三版

赵长生 顾宜 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分5章：绪论、材料结构基础、材料组成与结构、材料的性能、材料的制备与成型加工。从材料科学与工程的基本原理出发，综合介绍了各种材料组成、结构、制备工艺、性能及应用的共性规律及金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料的个性特点和多种组分复合体系的基本特征。

本书可供材料类专业本科生使用，也可供研究生、教师和工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程基础 / 赵长生, 顾宜主编. —3版.
—北京: 化学工业出版社, 2019.10

国家级精品课程教材 普通高等教育精品教材 “十二
五”普通高等教育本科国家级规划教材 普通高等教
育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-122-34841-8

I. ①材… II. ①赵… ②顾… 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(2019)第137703号

责任编辑: 王婧 杨菁
责任校对: 王素芹

文字编辑: 于水
装帧设计: 刘丽华

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: 三河市航远印刷有限公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张27 字数627千字 2020年2月北京第3版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888

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: 59.00元

版权所有 违者必究

前言

四川大学的“材料科学与工程基础”课程于2004年评为国家级精品课程，于2013年作为“国家级精品资源共享课”上线，此课程的“中国大学MOOC”也于2019年上线。由四川大学主编的《材料科学与工程基础》于2002年4月正式出版发行，历经多次重印，获多所院校选用。2006年，《材料科学与工程基础》教材列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2011年《材料科学与工程基础》（第二版）出版发行，同年被评为国家级精品课程教材，2013年获得中国石油和化学工业出版物奖（教材奖）一等奖，2014年列入“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

第二版教材通过融入部分英文教材内容调整和完善教材体系，及增添例题、习题、小故事等方式，进一步提高了教学效果，受到教师和学生的广泛欢迎。然而，材料学科是当今世界上发展最为迅速和应用最为广泛的学科之一，新材料、新原理、新方法等层出不穷、日新月异，需要我们不断地对教材内容进行补充。另外，作为一本高水平的教材而言，第二版教材在文字描述、图表等方面仍存在着一些疏漏之处，需要进行修订改正。此外，涉及教材的可读性问题，与专著不同，教材的使用者是学生，因此，有必要将文字描述得更加通俗易懂、概念更加准确清晰。

与第二版教材相比，第三版主要在以下方面进行了修订：对部分章节的内容进行了补充或删减，使相关知识点更加完善和明晰；对部分图表进行了修正，使其更加准确；对全书文字描述进行了修订，提高了可读性和适应性；对章节后的小故事进行了更新，并采用扫描二维码的方式进行展示，增加了科学性和趣味性。

修订工作以2011年7月出版的《材料科学与工程基础》（第二版）为蓝本，以国家精品课程的课堂讲义内容为主线，由赵长生和顾宜提出修订大纲并统稿，其中大部分章节内容有所变动，部分章节未做变动。修订分工为：顾宜（第1章，第2章2.1节、2.2节、2.3节、2.4节）；赵长生（第4章4.1节）；冉起超（第3章3.2节、3.3节、3.5节，第4章4.5节、4.7节、4.8节，第5章5.1.1节、5.1.2节、5.2.1节）；凌红（第4章4.2节、4.4节、4.6节及习题）；杨坡（第3章3.4节，第4章4.3节，第5章5.1.3节）；谢邦互（第2章2.5节、2.6节、2.8节）；李曹（小故事）。

虽然该教材内容经过历次修订已不断完善，但是材料科学与工程所涉及的学科和知识面十分广阔，囿于我们的专业范围和知识水平，仍有可能存在疏漏之处，敬请各位同仁批评指正。

编者
2019年9月

第二版前言

由四川大学主编的《材料科学与工程基础》教材于2002年4月正式出版发行，之后多次重印，在多个学校获得使用。自2001年以来，四川大学对《材料科学与工程基础》课程进行了一系列改革，于2004年评为国家级精品课程，2006年《材料科学与工程基础》教材列入“十一五”国家级规划教材进行修订。在课程建设过程中，我们引进了William D. Callister, Jr.编写的《Fundamentals of Materials Science and Engineering》(Fifth Edition) (2001, John Wiley & Sons, Inc., New York)，将中英文教材的内容相结合，组织实施“双语”教学，建立了新的课程体系，编写了相应的讲义、课件、习题集；并在多年教学实践的基础上，按照新的课程内容体系完成了教材的修订。

目前，国内外有关《材料科学与工程基础》类的教材从内容体系上主要有两大系列，一是传统的模式，将金属材料、无机非金属材料和高分子材料等三大类材料分别按照结构、特征和性质进行讨论，另一种是现代的、集成化的模式，将三大类材料整合在一起，讨论材料的结构、特征和性质的共性规律和个性特征。由四川大学主持编写、于2002年出版的《材料科学与工程基础》教材，正是一本按集成化方式编写的教材。该教材的内容体系由我们独立创建，但与英文教材(Fundamentals of Materials Science and Engineering, Fifth Edition, William D. Callister, Jr.)不谋而合。William D. Callister, Jr.教授先后编写了Fundamentals of Materials Science and Engineering教材五个版本，前四个版本都是按传统的模式编写的。在多年教学总结的基础上，他从更有利于教和学的角度，按照集成化的模式编写了第五版教材，受到了广泛的欢迎。

与2002年版教材相比，修订版的《材料科学与工程基础》教材发生了一些显著的变化。通过删减一些不必要的内容和融入国外同类高水平教材部分内容，进一步完善了教材内容，使之更具先进性、科学性、系统性和适应性；增设了教学例题，进一步丰富了习题和思考题，更有利于学生学习和理解教学内容；在章节后添加一些小故事，介绍材料科学与工程领域中的著名科学家、高新技术领域的新材料，可扩展学生的知识面，激发学生的学习热情。

修订工作以国家精品课程的课堂讲义内容为主线，以2002年版教材为蓝本，由顾宜和赵长生提出修订大纲并统稿，其中部分章节内容变动较大，部分章节未做变动。修订分工为：顾宜(第1章，第2章2.1、2.2、2.3、2.4、2.7，第3章3.1、3.2、3.3、3.4，第4章4.2，第5章5.1、5.2.1)；谢邦互(第2章2.5、2.6、2.8)；赵长生(第4章4.1、4.6)；汤嘉陵(第3章3.5，第4章4.7、4.8)；沈新元(第4章4.3、4.4、4.5)；蔡绪伏(第5章5.2.2)；李曹(习题和小故事)。

虽然该修订教材内容已经过多年教学实践不断完善，但是材料科学与工程所涉及的学科和应用领域十分广阔，囿于我们的专业范围和知识水平，仍难免存在不少错误，敬请各位同仁批评指正。

编者

2010年12月

第一版前言

材料科学是20世纪60年代初期创立的研究材料共性规律的一门科学，其研究内容涉及金属、无机非金属、有机高分子等材料的成分、结构、加工同材料性能及材料应用之间的相互关系。由于材料的获得、质量的改进与使材料成为人们可用的器件或构件都离不开生产工艺、制造技术和应用技术等工程知识，所以，人们往往把“材料科学”与“工程”相提并论，而称为“材料科学与工程”。国外大学的工学院已广泛把材料科学与工程作为大学低年级的一门公共必修课。

四川大学（原成都科技大学）高分子材料系自1989年始，按照教育部教学改革方针，为培养知识面广、适应面宽、基础扎实的高分子材料高级专业人才，在本专业主干课程《高分子材料导论》中讲授材料科学与工程的基本原理，并于1996年正式开设《材料科学与工程基础》课程。在由四川大学牵头，北京化工大学、华东理工大学、东北大学、武汉工业大学主持，东华大学、吉林工业大学参加的教育部面向21世纪高等工程教育内容和课程体系改革计划《材料类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》项目的五年研究中，项目组各校共同认识到：现代材料工业和科学技术的发展正推动着各类材料从多样化和单一性走向一体化和复合化；培养既掌握材料科学与工程基本原理，又通晓某一类材料制备与加工、组成与结构、性能与应用系统知识的宽专业人才，是21世纪材料类专业人才培养思路的重要内容。为此，决定设置材料科学与工程一级学科平台课程三门，并编写相应教材。《材料科学与工程基础》正是其中之一，该教材由四川大学主编，武汉工业大学和东华大学参编，教育部批准列入“面向21世纪课程教材”出版。

本书编写从材料科学与工程的基本原理出发，力求较全面地说明各种材料的共性规律及金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料的个性特点和多种组分复合体系的基本特征。本着材料科学的范畴，以物质结构为基础，按照从微观到宏观、从内部到表面、从静态到动态、从单组分到多组分的顺序，阐述原子结构、原子间相互作用和结合方式，与固体内部和表面原子的空间排列状态、聚集态结构及变化规律之间的相互关系，使学生对材料组成（成分）与物质结构的内在联系有较系统、深刻的理解。从材料的组成（成分）入手，详细阐述高分子材料、金属材料和无机非金属材料的聚集态结构和宏观组织结构特点；详细阐述由特性不同的各类材料相互复合而成的纳米级、微米级、粒子填充、纤维增强等复合材料的微观和宏观结构以及界面结构，使学生较系统地掌握不同类型材料从微观到宏观的结构变化特点。本着材料科学的基本原理与材料的工程应用相结合，用大量篇幅阐明了在应力、热、电、光、磁、化学介质、氧等外界因素的作用下，各类材料所表现出来的宏观性质、破坏形式及其内部结构的变化规律；讲述各类宏观物理性质的定义及测试和评价方法。使学生掌握材料结构与性能关系的基本规律，了解不同类材料的结构与性能特征，为材料的设计和应用奠定基础。并从原料出发，简要地讲述材料的制备原理和主要方法，及由各种材料的结构和性能特点，讲述其加工行为和主要加工方法，使学生在材料工程的基础上，建立材料制备-加工-

结构-性能关系的整体概念。本书在编写中注意引入材料科学中的新原理和新方法，例如在第4章增加了“纳米材料及效应”一节，以便学生对材料科学与工程发展中的前沿领域有一定的初步了解。

本书由顾宜、尹光福、淡宜、曾光廷、汤嘉陵、赵长生、蔡绪伏（四川大学）、沈新元（东华大学）和黄学辉（武汉工业大学）编写。以顾宜和樊渝江1996年编写的《高分子材料导论（上册）》为蓝本，由顾宜提出编写大纲和统稿。编写分工为：顾宜（第1章、第2章2.1、2.3、2.5.1、2.5.2、2.6.4、2.7、2.8、第4章4.2），黄学辉（第2章2.2、2.4、2.5.3、2.6、2.8.4），沈新元（第4章4.3、4.4、4.5），淡宜（第3章3.1、3.2，第5章5.1.3），尹光福（第3章3.4、第5章5.1.2），曾光廷（第3章3.3、第5章5.1.1、5.2.1），汤嘉陵（第3章3.5、第4章4.7、4.8），赵长生（第4章4.1、4.6），蔡绪伏（第5章5.2.2），王劲协助编写习题和制图。

该书稿于2000年12月汇稿并印制讲义供四川大学材料工程专业九九级学生试用一届后进行了修改并编写习题。材料科学与工程所涉及的学科和应用领域十分广阔，囿于我们的专业范围和知识水平，难免存在较多误漏，祈望读者指正，以利进一步修订。在此，对教育部领导，对支持本书编写的四川大学、武汉工业大学、东华大学以及北京化工大学、华东理工大学、东北大学、吉林工业大学的领导、同仁表示深切的谢意。

编者

2001年8月

目 录

1 绪论 001

1.1 材料的定义、分类及基本性质	001
1.1.1 金属材料	002
1.1.2 无机非金属材料	002
1.1.3 高分子材料	003
1.1.4 复合材料	004
1.2 材料科学与工程概述	005
1.2.1 材料科学的由来	005
1.2.2 材料科学与工程的性质与范围	006
1.2.3 材料科学在工程中的作用	007

2 材料结构基础 010

2.1 物质的组成、状态及材料结构	010
2.1.1 物质的组成和状态	010
2.1.2 材料结构的含义	012
2.2 材料的原子结构	013
2.2.1 量子力学的几个基本概念	014
2.2.2 原子核结构	016
2.2.3 原子核外电子	017
2.3 原子之间相互作用和结合	021
2.3.1 基本结合(化学键合)	022
2.3.2 派生结合(物理键合)	025
2.3.3 各种键性的比较	027
2.3.4 原子间距和空间排列	028
2.4 多原子体系中电子的相互作用 与稳定性	032
2.4.1 杂化轨道和分子轨道理论	033
2.4.2 费米能级	036
2.4.3 固体中的能带	039
2.5 固体中的原子有序	041
2.5.1 晶体的特点与性质	041

2.5.2 晶体几何学基础	042
2.5.3 晶体的类型	053
2.6 固体中的原子无序	064
2.6.1 固溶体	064
2.6.2 晶体结构缺陷	068
2.6.3 非晶体	074
2.6.4 扩散	078
2.7 固体中的转变	085
2.7.1 固体中的转变类型	085
2.7.2 平衡和相变	087
2.7.3 相图	091
2.8 固体的表面结构	098
2.8.1 表面力和表面力场	099
2.8.2 表面能和表面张力	099
2.8.3 表面结构及几何形状	101
2.8.4 固体表面的特性	102
习题及思考题	109

3 材料组成与结构 113

3.1 材料组成与结构的基本内容	113
3.2 金属材料的组成与结构	113
3.2.1 金属材料	113
3.2.2 合金材料	116
3.2.3 铁碳合金的基本知识	118
3.2.4 非铁金属及合金	129
3.2.5 非晶态合金	131
3.2.6 金属材料的再结晶	132
3.3 无机非金属材料的组成与结构	134
3.3.1 无机非金属材料的组成与结合键	134
3.3.2 无机非金属材料中的简单 晶体结构	135
3.3.3 硅酸盐结构	140
3.3.4 无机非金属材料非晶体结构	144

3.3.5 陶瓷	151	4.4.2 磁畴与磁滞回线	297
3.3.6 碳化合物	152	4.4.3 金属材料的磁学性能	300
3.4 高分子材料的组成与结构	157	4.4.4 非金属材料的磁学性能	302
3.4.1 高分子材料组成与结构的 基本特征	157	4.4.5 高分子材料的磁学性能	305
3.4.2 高分子链的组成与结构	158	4.5 材料的光学性能	306
3.4.3 高分子链的聚集态结构	165	4.5.1 电磁辐射及其与原子的相互作用	306
3.4.4 高分子材料的组成和织态结构及 微区结构	175	4.5.2 反射、吸收和透射	308
3.4.5 聚合物共混材料	179	4.5.3 材料的光学性质	313
3.5 复合材料的组成与结构	182	4.5.4 旋光性及非线性光学性	318
3.5.1 复合材料定义及分类	182	4.5.5 光泽	319
3.5.2 复合材料的组成	185	4.5.6 发光	319
3.5.3 复合材料的结构	188	4.5.7 光敏性	320
3.5.4 复合材料的界面	190	4.6 材料的耐腐蚀性	321
习题及思考题	198	4.6.1 物理腐蚀	322
		4.6.2 化学腐蚀	325
		4.6.3 电化学腐蚀	332
		4.7 复合材料的性能	336
		4.7.1 复合材料的特性	336
		4.7.2 复合材料性质的复合效应	337
		4.7.3 复合材料的力学性能	342
		4.8 纳米材料及效应	348
		4.8.1 纳米材料的结构	349
		4.8.2 纳米材料的基本物理效应	353
		4.8.3 纳米材料的表征与分析	356
		4.8.4 纳米材料的应用	356
		习题及思考题	358

4 材料的性能 200

4.1 固体材料的力学性能	200
4.1.1 材料的力学状态	200
4.1.2 应力和应变	203
4.1.3 弹性形变	208
4.1.4 永久形变	218
4.1.5 强度、断裂及断裂韧性	223
4.1.6 硬度	243
4.1.7 摩擦和磨损	247
4.1.8 疲劳	254
4.2 材料的热性能	258
4.2.1 热导率和比热容	259
4.2.2 热膨胀性	262
4.2.3 耐热性	265
4.2.4 热稳定性	266
4.2.5 高分子材料的燃烧特性	268
4.3 材料的电学性能	271
4.3.1 电导率和电阻率	271
4.3.2 材料的结构与导电性	275
4.3.3 材料的超导电性	285
4.3.4 材料的介电性	287
4.4 材料的磁学性能	293
4.4.1 物质的磁性	293

5 材料的制备与成型加工 364

5.1 材料制备原理及方法	364
5.1.1 金属材料的制备	364
5.1.2 无机非金属材料的制备	372
5.1.3 高分子材料的制备	389
5.2 材料的成型加工性	394
5.2.1 金属材料的加工工艺性	394
5.2.2 聚合物的成型加工特性及 成型加工方法	402
习题及思考题	422

参考文献 423

绪论

在人类的生产和生活中，材料是必需的物质基础。历史学者曾将人类的历史按石器时代、铜器时代、铁器时代来划分。新材料的使用对人类历史的发展起到重要的作用。20世纪70年代，人们曾把材料、信息、能源归纳为现代文明的三大支柱，现在又预言新的技术革命即将来临，并且把信息技术、生物技术和新型材料作为这次技术革命的重要标志。材料科学是一门以材料为研究对象的科学，是发展国民经济和实现国防现代化的具有全局性的重要科学技术领域之一。因此，作为材料工作者，系统学习材料科学与工程基本理论，学习和掌握各类材料的共性与个性、结构、性能及应用的特点，具有十分重要的意义。

1.1 材料的定义、分类及基本性质

材料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，是组成生产工具的物质基础。

世界各国注册的材料有几十万种，并在不断增加。材料可有多种分类方法。按状态来分，材料有气态、液态和固态三大类。工程技术中最普遍使用的是固态材料。按材料组成和结合键的性能，把材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷（无机非金属材料）以及半导体材料四大类。价键四面体（图1-1）清晰地表示出各类材料之间的本质区别和内在联系。

按照材料特性，可将其分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三类。金属材料包括各种纯金属及其合金。塑料、合成橡胶、合成纤维等称为有机高分子材料。还有许多材料，如陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料等，既不是金属材料，又不是有机高分子材料，人们统称它们为无机非金属材料。此外，人们还发展了一系列将两种以上的材料通过特殊方法结合

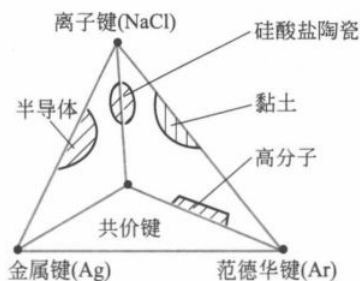


图1-1 价键四面体

起来而构成的复合材料。按照材料所起的作用，可分为结构材料和功能材料两类。按照使用领域的不同，又可将它们分为建筑材料、电子材料、医用材料、仪表材料、能源材料等。

1.1.1 金属材料

金属材料通常分为黑色金属材料 and 有色金属材料（非铁材料）两类。黑色金属材料包括钢和铸铁。钢按照化学成分分为碳素钢和合金钢；按照品质分为普通钢、优质钢和高级优质钢；按照冶炼方法分为平炉钢、转炉钢、电炉钢和奥氏体钢；按照用途分为建筑及工程用钢、结构钢、工具钢、特殊性能钢及专业用钢。铸铁通常分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和特殊性能铸铁等。钢铁是现代工业中的主要金属材料，在机械产品中占整个用材消耗的60%以上。有色金属材料是指除Fe以外的其他金属及其合金。这些金属有八十余种，分为轻金属（相对密度小于4）、重金属（相对密度大于4.5）、贵金属、类金属和稀有金属五类。工程上最重要的有色金属是Al、Cu、Zn、Sn、Pb、Mg、Ni、Ti及其合金。有色金属材料的消耗虽然只占金属材料总消耗的5%，但是因为它们具有优良的导电、导热性，同时密度小、化学性质稳定、耐热、耐腐蚀，因而在工程上占有重要地位。

金属材料的基本特性：

- ① 结合键为金属键，常规方法生产的金属为晶体结构；
- ② 金属在常温下一般为固体，熔点较高；
- ③ 具有金属光泽；
- ④ 纯金属范性大，展性、延性也大；
- ⑤ 强度较高；
- ⑥ 自由电子的存在，金属的导热和导电性好；
- ⑦ 多数金属在空气中易被氧化。

1.1.2 无机非金属材料

无机非金属材料又称硅酸盐材料，主要包括陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料四类。它们的主要原料是天然的硅酸盐矿物和人工合成的氧化物及其他少数化合物。它们的生产过程与传统的陶瓷的生产过程相同，需经过原料处理→成型→煅烧三个阶段。在这四类材料中，陶瓷是最早使用的无机材料，因此无机非金属材料又常常被统称为“陶瓷”（ceramics）。

按照成分、化学结构和用途，无机非金属材料的分类如图1-2。

陶瓷是含有玻璃相和气相的晶体。绝大多数陶瓷是一种或几种金属元素与非金属元素组成的化合物。陶瓷分为传统陶瓷和特种陶瓷。传统陶瓷以天然硅酸盐矿物为原料，经粉碎、成型和烧结制成，主要用作日用陶瓷。建筑陶瓷和卫生陶瓷（部分传统陶瓷也作为工程陶瓷使用），要求烧结后不变形、外观美，但对强度要求不高。特种陶瓷是以人工化合物（氧化物、氮化物、碳化物、硼化物等）为原料制成的，主要用于化工机械、动力、电子、能源和某些新技术领域。工程陶瓷主要指的是特种陶瓷。



图1-2 无机非金属材料分类

无机非金属材料（以陶瓷为例）的基本特性：

- ① 结合键主要是离子键、共价键以及它们的混合键；
- ② 硬而脆、韧性低、抗压不抗拉、对缺陷敏感；
- ③ 熔点较高，具有优良的耐高温、抗氧化性能；
- ④ 自由电子数目少、导热性和导电性较小；
- ⑤ 耐化学腐蚀性好；
- ⑥ 耐磨损；
- ⑦ 成型方式为粉末制坯、烧结成型。

1.1.3 高分子材料

高分子化合物以C、H、N、O等元素为基础，由许多结构相同的小单位（链节）重复连接组成，含有成千上万个原子，分子量很大，并在某一范围内变化着。

目前高分子材料（化合物）的分类方法很多，根据来源可分为天然和人工合成两类；根据使用性质可分为塑料、橡胶、纤维、黏合剂、涂料等类；根据高分子化合物的主链结构可分为碳链、杂链、元素高聚物三类；根据其对热的性质又可分为热塑性、热固性及热稳定性高聚物三类。如果按照材料的用途，又可分为高分子结构材料、高分子电绝缘材料、耐高温高聚物、导电高分子、高分子建筑材料、生物医用高分子材料、高分子催化剂、包装材料等多个品种。

塑料是极重要的一类高分子材料，除树脂外，塑料还含有增塑剂、填料、防老剂、固化剂等各种添加剂。从使用的角度，塑料分为通用塑料和工程塑料。通用塑料是指产量大、用途广、价格低的一类塑料，主要包括六大品种，即聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、酚醛塑料和氨基塑料。工程塑料一般是指具有高强度、高模量，并能在较高温度下长期使用的塑料，如拉伸强度大于49MPa、拉伸和弯曲模量超过2GPa，并能在一定载荷作用下于100℃以上长期使用的塑料。常见的工程塑料有耐冲击的ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚体）、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等。而聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚芳醚砜、聚芳醚酮、聚芳酯、聚芳酰胺等聚合物具有更高的强度、模量和耐热性，称为特种工程塑料。

高分子材料的基本特性：

- ① 结合键，分子链内为共价键，分子间为范德华键和氢键；
- ② 分子量大，无明显的熔点，有玻璃化转变温度、黏流温度，并有热塑性和热固性两类；
- ③ 力学状态有玻璃态、高弹态和黏流态，强度较高；
- ④ 重量轻；
- ⑤ 具有良好的电绝缘性；
- ⑥ 良好的化学稳定性；
- ⑦ 成型方法较多。

1.1.4 复合材料

由两种或两种以上组分组成，并具有与其组分不同的新性能的材料称为复合材料。

复合材料按性能分为结构复合材料和功能复合材料。目前研究比较充分、应用较多的主要是前者。而后者近年来发展迅速。

根据增强剂形状及增强原理，可分为粒子增强复合材料和纤维增强复合材料。后者复合效果最突出，研究最多，应用最广。

复合材料根据所用增强体和基体不同，可有许多种类，见表1-1。

其中，连续纤维增强的聚合物基复合材料的基本特点如下：

- ① 比强度和比模量高；
- ② 良好的抗疲劳性能；
- ③ 耐烧蚀性和耐高温性好；
- ④ 结构件减振性能好；
- ⑤ 具有良好的减摩、耐磨和自润滑性能。

■ 表1-1 复合材料的种类

增强体 \ 基体		金属	无机非金属材料				有机材料			
			陶瓷	玻璃	水泥	碳素	木材	塑料	橡胶	
金属		金属基复合材料	陶瓷基复合材料	金属网嵌玻璃	钢筋水泥	无	无	金属丝增强塑料	金属丝增强橡胶	
无机非金属材料	陶瓷	金属基超硬合金	增强陶瓷	陶瓷增强玻璃	增强水泥	无	无	陶瓷纤维增强塑料	陶瓷纤维增强橡胶	
	碳素	碳纤维增强金属	增强陶瓷	陶瓷增强玻璃	增强水泥	碳/碳复合材料	无	碳纤维增强塑料	碳纤维炭黑增强橡胶	
	玻璃	纤维粒料	无	无	增强水泥	无	无	玻璃纤维增强塑料	玻璃纤维增强橡胶	
有机材料	木材		无	无	无	水泥木丝板	无	无	纤维板	无
	有机纤维		无	无	无	增强水泥	无	塑料合板	有机纤维增强塑料	有机纤维增强橡胶
	橡胶胶粒		无	无	无	无	无	橡胶合板	高聚合物合金	高聚合物合金

1.2 材料科学与工程概述

1.2.1 材料科学的由来

材料非常重要，发展也很快，但是就研究材料整体来说，认为它已构成一门科学，还是近40多年的事。在20世纪50年代末、60年代初，美国学者首先提出材料科学这个名词。由于材料的获得、质量的改进与使材料成为人们可用的器件或构件都离不开生产工艺和制造技术等工程知识，所以，人们往往把“材料科学”与“工程”相提并论，而称为“材料科学与工程”。这里所指的材料，包括金属材料、陶瓷材料（无机非金属材料）、有机高分子材料以及由几种材料组合在一起的复合材料。将这些原来分属不同学科的知识融为一体，形成新的学科，是材料应用水平和科学技术发展的必然结果。

首先，各种材料的制造和应用发展到一个崭新的阶段。18世纪蒸汽机的发明和19世纪电动机的发明，使材料在新品种开发和规模生产等方面发生了飞跃。如1856年和1864年先后发明了转炉和平炉炼钢，使世界钢的产量从1850年的6万吨突增到1900年的2800万吨，大大促进了机械制造、铁路交通的发展。随之不同类型的特殊钢种也相继出现，如1887年高锰钢、1903年硅钢及1910年镍铬不锈钢等的问世，使人类进入了钢铁时代。在此前后，铜、铅、锌也得到大量应用，而后铝、镁、钛和稀有金属相继问世，从而使金属材料在20世纪中占据了材料的主导地位。20世纪初，人工合成高分子材料问世，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，且发展十分迅速，如今世界年产量在1亿吨以上，论体积已超过了钢。有些工业发达国家如美国，高分子材料的体积已是钢的两倍。而有些材料如木材、砖瓦、石料、水泥及玻璃等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。20世纪50年代，通过合成化工原料或特殊制备方法，制造出一系列先进陶瓷。由于其资源丰富、相对密度小、耐高温、耐磨等特点，很有发展前途，成为近70年来研究工作的重点，且用途在不断扩大，有人甚至认为“新陶瓷时代”即将到来。

其次，固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展，以及现代分析测试技术和设备的发展，对物质结构和物性的深入研究，推动了对材料本质的了解；同时，冶金学、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、结构与性能，以及它们之间的相互关系的研究也越来越深入，为材料科学的形成打下了比较坚实的基础。

第三，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，目前复合材料也正在形成学科体系。但它们之间存在着颇多相似之处，不同类型的材料可以相互借鉴，从而促进本学科的发展。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。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，成为改进陶瓷性能的有效途径。复合材料更需要借鉴、利用其他材料的基础知识和制备方法。

第四，各类材料的研究设备与生产手段有颇多共同之处。虽然不同类型的材料各有

其专用测试设备与生产装置，但许多方面是相同或相近的，如显微镜、电子显微镜、表面测试及物性与力学性能测试设备等。在材料生产中，许多加工装置也是通用的，如挤压机，对金属材料可以用来成型及冷加工以提高强度；而某些高分子材料，在采用挤压成丝工艺以后，可使有机纤维的比强度和比刚度大幅度提高。研究设备与生产装备的通用不但节约资金，更重要的是相互得到了启发和借鉴，加速材料的发展。

第五，从应用而言，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。但长期以来，金属、高分子及无机非金属材料相互分割，自成体系。由于互不了解，习惯于使用金属材料的，便想不到采用高分子材料，即使想用，又因对其不太了解，而不敢用；相反，习惯于用高分子材料的，也想不到用金属材料或陶瓷材料来代替。设计人员的“因循守旧”，对采用异种类型的新材料持怀疑态度，这既不利于材料的推广，又有碍于使用材料行业的发展。

第六，复合材料在多数情况下是不同类型材料的组合，特别是出现超混杂复合材料以来更为如此。如果对不同类型材料没有一个全面的了解，复合材料的发展必然受到影响，而复合材料又是今后新材料发展重点之一。因此，发展材料科学，对各种类型材料有一个更深入的了解，是复合材料发展的必要基础。

正是在这样的背景下，一门新的综合性学科——材料学科诞生了。

1.2.2 材料科学与工程性质与范围

材料科学与工程有以下几个特点：①材料科学是多学科交叉的新兴学科。作为每一类材料来说，各自早就是一门学科了，如与金属材料有关的物理冶金和冶金学等，有机高分子材料传统上是有机化学的一个分支，陶瓷材料则是无机化学中的一部分，都积累了丰富的专业知识和基础理论。材料科学理所当然地继承了其中的精粹部分。此外，材料科学与许多基础学科还有不可分割的关系，如固体物理学、电子学、光学、声学、固体化学、量子化学、有机化学、无机化学、胶体化学、数学与计算科学等。作为正在发展中的生物材料，当然脱离不开生物学，乃至医学。因此，材料科学的边界不十分固定，其范围随科学技术的发展而不断变化，研究对象的内涵也在变化。因此，材料科学工作者要有广阔而坚实的基础知识，也要有因需要而变更研究课题的能力和素质。②材料科学与工程技术有不可分割的关系。材料科学研究材料的组织结构与性能的关系，从而发展新型材料，并合理有效地使用材料；但是材料要能商品化，要经过一定经济合理的工艺流程才能制成，这就是材料工程。反之，工程要发展，也需要研制出新的材料才能实现。因此，材料科学与工程是相辅相成的。广义而言，控制材料的微观结构也是一种工程，例如分子工程是发展高分子材料最重要的手段，界面工程是当前控制陶瓷材料和复合材料韧性和结合力的一个有效途径。③材料科学与工程有很强的应用目的和明确的应用背景，这和材料物理有重要区别。研究材料中的基本规律，目的在于为发展新型材料提供新途径和新技术、新方法或新流程；或者为更好地使用已有材料，充分发挥其作用，进而能对使用寿命作出正确的估算。因此，材料科学与工程是一门应用基础科学，它既要探讨材料的普遍规律，又有很强的针对性。材料科学研究往往通过具体材料的研究找出带有普遍性的规律，进而促进材料的发展和推广使用。

根据上述的学科性质，可以把材料科学与工程定义为“关于材料组成、结构、制备

工艺与其性能及使用过程间相互关系的知识开发及应用的科学”，可用图 1-3 来表示。

图 1-3 中所说材料的性质是指材料对电、磁、光、热、机械载荷的反应，而这些性质主要取决于材料的组成与结构，不管它是固体、液体或气体，还是微观或宏观。使用性能是材料在使用状态下表现出的行为，它与设计、工程环境密切相关，有些材料的实验室性能很好，但在复杂的使用条件下，如在氧化与腐蚀、疲劳及其他复杂载荷条件下，就不能令人满意。使用性能包括可靠性、耐用性、寿命预测及延寿措施等。有的材料性能可能不尽如人意，但是通过优化设计，可以得到解决，如脆性很大的陶瓷材料，有可能通过设计而得到广泛应用。

合成与制备过程内容很丰富，既包括传统的冶炼、铸锭、制粉、压力加工、焊接等，也包括各种新发展的真空溅射、气相沉积等新工艺；从微观水平到宏观制品，从制取高纯单一元素到多种材料复合，各种化学的、物理的、机械加工的方法均应综合应用。这对实现新材料的生产应用往往起决定性的影响。进而言之，新工艺的出现又将促进产生一系列新型材料。现在对材料合成的理解更为深入，如制造“人造材料”，它包括材料在原子尺度上的合成，称之为电子材料的工艺过程。

材料科学与工程所包括的内容，除了用图 1-3 表达之外，还可用图 1-4 来表示，它把学科基础与应用对象都包括进来，更容易看清材料科学与工程所涉及的范围及相互关系。

图 1-4 说明通过基础学科已有的知识指导材料成分、结构与性能的研究，也指导了工艺流程的发展，通过工艺流程生产出可供使用的工程材料，而工程材料在使用过程中所暴露的问题，再反馈到成分、结构与性能的研究，进而改进工艺过程，得到更为合适的工程材料，这里所指工程材料包括结构材料和功能材料。如此反复，使材料不断改进而更加成熟。这就是材料科学与工程的内容与任务。

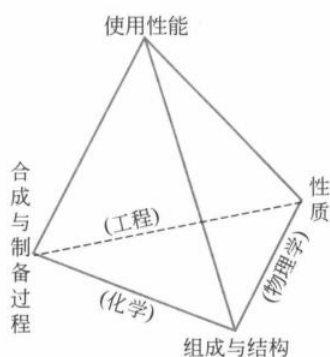


图1-3 材料科学与工程四要素的关系

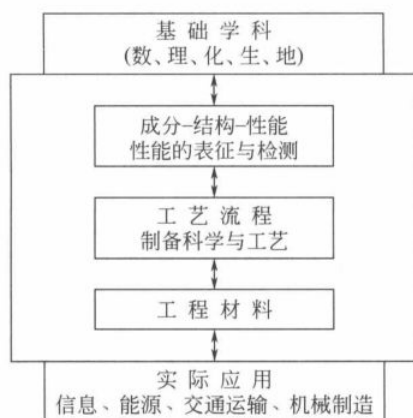


图1-4 材料科学与工程的范围及其与基础科学和应用的关系

1.2.3 材料科学在工程中的作用

材料科学在机电、能源、空间、激光、红外、环境保护、通信等各个技术领域已获得一系列重要的具体应用。

例如，机电工程技术人员常与各种材料打交道，虽然可在有关手册中查到使用的数据，但要运用自如地选用材料是不容易做到的。人们经常由于对材料的本质以及影响材