



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料概论

第三版

周达飞 陆冲 宋鹂 编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料概论

第三版

周达飞 陆冲 宋鹂 编



化学工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书分为9章,分别是:材料与材料科学、材料的组成、结构与性能、材料的制备方法、材料成型、10种产品生产过程概述、材料应用、材料与环境、材料生态设计与材料再生、材料选用。

本书可作为材料科学与工程等工科专业材料物理课程的教材,也可作为相近专业研究生和本科生的教材和参考书以及材料科学工作者和材料工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料概论/周达飞,陆冲,宋鹂编.—3版.—北京:化学工业出版社,2015.3

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-122-22844-4

I. ①材… II. ①周…②陆…③宋… 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(2015)第015537号

责任编辑:杨菁

责任校对:王素芹

文字编辑:王琪

装帧设计:孙远博

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)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张26 $\frac{1}{4}$ 字数656千字 2015年5月北京第3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: 45.00 元

版权所有 违者必究

第三版前言

自2000年《材料概论》第一版面世以来，至今已经15年。15年来，我们迎来一批又一批对未来充满憧憬的学子，送走一届又一届意气风发的开拓者，《材料概论》始终陪伴着他们。

《材料概论》作为启蒙教材，就是要为他们开启一扇门，让他们去窥探一下神秘的、精彩纷呈的材料殿堂，初步了解学习对象，提高学习兴趣和学习的动力。

作为材料专业的公共基础课之一，本书强调从材料的四大要素：制备（合成与加工）、结构与性能、性质和应用，去认识和理解材料科学与工程中的问题，使学生在进入大学之始，初步建立“大材料”的概念，学习从四大要素出发，认识三大材料（金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料）的共通之处和各自特色。同时，材料是具体品种组成的，本书也通过具体材料（个性）介绍，以利于学生举一反三，了解材料在制备、结构与性能研究、开发和应用上的相互借鉴、相互替代、相互补充，为材料的研究与开发、选择和使用打下坚实的基础。

本书强调材料科学与工程是一个整体，材料的研究涉及多种学科。随着科技发展和全球经济一体化，现代科学与技术结合越来越紧密，基础研究与应用研究越来越难以分开；培养材料科学与工程综合型人才，是人类社会进步和科学技术发展的要求。让学生建立在材料研究、开发、应用和产业化过程中系统组织和全面协同，使材料科学与材料工程有机结合，才能转化为生产力的观念。

本书强调了工程实践，在介绍材料科学的基本原理和知识的同时，也介绍了典型产品的生产过程，配合工程类专业学生的认识实习，让学生到三大材料生产的大企业去体会一番，初步了解工业生产的组织与控制。

本书强调材料的环境问题。环境问题已经引起全人类的关注，材料在发展经济和美化生活上功不可没，同时，材料毕竟是资源消耗、能源消耗的大户，也对环境造成了严重影响；而且，材料也会受环境影响而发生劣化。建设节能型社会，节省资源，节约能源消耗，循环利用，材料大有可为。

本书强调了新材料的开发。能源、信息和材料是21世纪社会发展的三大支柱，而材料又是能源和信息的基础。随着经济技术的发展，对材料提出了许多新需求，人们期待材料科学与工程取得更多新成就、新进展。

然而，材料博大精深，我们的知识水平和认知能力有限，编写中的不足和疏漏在所难免，祈望得到同行和读者的指正，并希望继续得到各方面的支持。

全书由周达飞、陆冲、宋鹂编写。其中，第1章由周达飞编写，第2章、第3章、第5章5.1~5.5节及第6章6.1~6.4节由宋鹂编写，第4章、第5章5.6~5.10节、第6章6.5~6.8节及第7章、第8章、第9章由陆冲编写。

编者

2014年11月

第一版前言

人类生活在材料世界中。无论是经济活动、科学技术、国防建设，还是人们的衣食住行都离不开材料。材料是人类赖以生存并得以发展的基础和柱石。材料的多样性，决定了其分类的多样性，大处分有金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料；小处分又有黑色金属、有色金属、玻璃、陶瓷、水泥、耐火材料、塑料、橡胶、纤维、涂料、胶黏剂……，从应用领域和功能性分则有包装材料、建筑材料、农用材料、电子电器材料、汽车材料、宇航材料、能源材料、生物医用材料、环境工程材料……，以往的专业设置都是建立在这种分类基础上的。

材料的研究和开发正从宏观走向微观；从定性、半定量走向定量；从传统材料转向复合材料、功能材料、智能材料和低维材料。材料生产的节能、省时、低耗、无公害越来越受到人们的关注，环境友好材料（亦称绿色材料，或环保型材料、健康型材料）正向人类走来。

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。培养具有创新能力和创业精神的人才显得尤为重要。创新，是民族的灵魂；创造力是跻身世界强国的根本动力。加强基础、拓宽专业面是材料类专业改革的方向，坚决而又稳妥地加速向材料专业的过渡是当务之急，为此我们提出了构建材料类公共基础课程平台的改革设想，得到了华东理工大学领导和教务部门的支持，并列入学校教改试点。这一设想，也成为教育部面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划中由四川大学牵头，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《材料类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究》项目组的共识，决定编写三本材料类专业教材，《材料概论》正是其中之一，并确定该教材由华东理工大学主编，北京化工大学参编，教育部批准列入面向 21 世纪课程教材。

本书编写中，力求从材料的四大要素——制备（合成与加工）、结构与性能、性质和应用性能出发，阐释三大材料（金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料），力求使学生从材料的四大要素出发，去认识和理解材料科学与工程中的问题，使学生建立大材料的概念，为材料的研究与开发、选择和使用打下坚实的基础。为此，在“材料的组成、结构与性能”、“原材料选用”、“制造工艺过程与方法”、“材料成型”章节中，都力求表现它们的共性。然而，材料是具体品种组成的，也为配合认识实习，安排了“十种产品生产过程概述”一章，并设置了“材料应用”和“材料比较与选择”，以利学生在学习具体材料（个性）的基础上，做到举一反三，更深刻地了解各种材料的共同之处，了解材料开发和应用上的相互借鉴、相互替代、相互补充。环境问题已经引起了全人类的关注，材料在改造自然、美化环境上建立丰功伟业的同时，也对环境造成了严重影响，且也会受环境影响发生劣化，为此设立了“材料与环境”一章，并在其他章节有所提及。

本书由周达飞、宋鹂、陆冲（华东理工大学），励杭泉（北京化工大学）编写，各章节

的编写者第1章为周达飞，第2、3章及第5章1~5节、第6章1、3~5、8节为宋鹗，第4章、第5章6~10节、第6章2、6、7、9、10节为陆冲，第7、8章为励杭泉，全书由周达飞主编，宋鹗、陆冲为副主编，东华大学沈新元教授主审。

本书的编写，是一种尝试。囿于我们的专业范围和知识水平，错误在所难免，祈望读者指正，以利修订。同时，对教育部领导，对支持编写的华东理工大学、北京化工大学以及四川大学、东北大学、武汉工业大学、东华大学、吉林工业大学的领导、同仁表示深切的谢意。

编者

2000年5月

第二版前言

本书出版以后，受到各方面的欢迎和喜爱。在人类漫长的岁月中，材料总是给人神秘、给人惊奇；从事材料的研究、开发、生产和应用又总是充满诱惑、充满挑战。为了引领刚进大学校门的学子早日步入材料科学与工程殿堂，一些学校在低年级设置了材料概论课，也有一些学校对认识实习进行了改革，不仅时间上提前到一、二年级，而且面向整个材料行业，使学生早接触材料、早了解材料、早熟悉材料，这是其一；随着国民经济、科学技术和国防建设发展的需要，以前面向行业，培养满足本行业工作所需要的材料类人才的培养模式已经无法适应社会需求。培养具有材料科学与工程公共基础知识、材料科学与材料工程相结合的材料类人才，是高等学校材料类专业服务社会、服务国家的己任所在这是其二。

2006年本书又获准列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。于是，我们作了精心修订，在保持原有格局的基础上，根据建设资源节约型社会和可持续发展战略对材料的要求，增加了“环境友好材料与循环利用”一章，以供学生了解材料生产和使用过程中造成的对资源、能源和环境的损害及其对策。

本书各章节的编写者为第1章（周达飞）、第2、3及第5章1~5节、第6章1, 3~5, 8节（宋鹞），第4章、第5章6~10节、第6章2, 6, 7, 9, 10节、第9章（陆冲），第7、8章（励杭泉），全书由周达飞统稿。

编者

2008. 12

目 录

第 1 章 材料与材料科学	1	4.1.3 材料成型特性	112
1.1 材料的地位、作用与发展	1	4.2 自由流动成型	113
1.2 材料的定义和分类	7	4.2.1 金属砂型铸造	114
1.3 材料的要素	9	4.2.2 橡胶浸渍成型	115
1.4 材料科学与工程的发展趋势	13	4.2.3 陶瓷注浆成型	117
第 2 章 材料的组成、结构与性能	17	4.3 受力流动成型	121
2.1 材料的组成	17	4.3.1 塑料注射成型	122
2.1.1 材料组元的结合形式	17	4.3.2 玻璃吹制成型	124
2.1.2 材料的化学组成	20	4.4 受力塑性成型	126
2.2 材料的结构	24	4.4.1 金属锻造	127
2.2.1 材料中的化学键合	25	4.4.2 陶瓷挤压成型	131
2.2.2 晶体结构基础	28	4.4.3 橡胶压出成型	133
2.2.3 材料的结构	31	第 5 章 10 种产品生产过程概述	136
2.3 材料的性能	44	5.1 玻璃的生产	136
2.3.1 化学性能	45	5.1.1 玻璃的分类与发展历史	136
2.3.2 力学性能	48	5.1.2 玻璃的生产工艺	140
2.3.3 热学性能	52	5.2 陶瓷的生产	147
2.3.4 电性能	56	5.2.1 陶瓷的概念与分类及发展历史	147
2.3.5 磁性能	60	5.2.2 普通陶瓷生产的基本制备工艺	151
2.3.6 光学性能	62	5.2.3 特种陶瓷生产的基本工艺过程	156
第 3 章 材料的制备方法	65	5.3 水泥的生产	159
3.1 原材料的选用与合成	65	5.3.1 水泥的发展历史及其分类	159
3.1.1 天然矿物原料	65	5.3.2 水泥的组成	160
3.1.2 无机合成原料	71	5.3.3 原料	163
3.1.3 天然高分子化合物	75	5.3.4 水泥的生产方法	163
3.1.4 有机合成原料	76	5.3.5 水泥生产工艺流程	164
3.2 工艺过程与方法	87	5.3.6 生料的制备	164
3.2.1 气相法	87	5.3.7 熟料的煅烧	166
3.2.2 液相法	96	5.3.8 水泥的粉磨和包装	169
3.2.3 固相法	104	5.3.9 水泥生产与环境的关系	169
第 4 章 材料成型	110		
4.1 材料的成型加工	110		
4.1.1 成型方法	111		
4.1.2 加工方法	112		

5.4	黑色金属的生产	169	6.2.3	智能材料	258
5.4.1	黑色金属的概况	169	6.2.4	敏感材料	260
5.4.2	铁碳合金的基本组织	172	6.2.5	光功能材料	261
5.4.3	杂质元素和合金元素对钢铁性能的影响	174	6.2.6	梯度功能材料	264
5.4.4	炼铁的主要原料	176	6.3	生物材料	264
5.4.5	高炉炼铁工艺流程与基本原理	176	6.3.1	生物无机非金属材料	265
5.4.6	钢冶炼概述	179	6.3.2	医用高分子材料	265
5.5	有色金属的生产	184	6.3.3	医用金属材料	268
5.5.1	有色金属的分类及作用	184	6.3.4	生物复合材料	270
5.5.2	冶金和冶金方法简介	188	6.3.5	用于组织工程的相关材料	272
5.5.3	铜的冶炼	190	6.3.6	其他相关的生物材料	273
5.5.4	铝及铝合金的冶炼	191	6.4	纳米材料	274
5.6	合成丁苯橡胶及橡胶轮胎的生产	194	6.4.1	纳米材料的种类与制备	274
5.6.1	概述	194	6.4.2	纳米材料的特性与应用	278
5.6.2	合成丁苯橡胶的生产	197	6.5	复合材料	280
5.6.3	橡胶轮胎的生产	203	6.5.1	复合材料组成、分类和特点	281
5.7	聚烯烃生产	208	6.5.2	复合材料增强体	284
5.7.1	聚乙烯	208	6.5.3	复合材料基体	285
5.7.2	聚丙烯	217	6.5.4	复合材料应用	286
5.7.3	其他聚烯烃	220	6.6	能源材料	287
5.8	聚氯乙烯及聚氯乙烯电缆料生产	222	6.6.1	概述	287
5.8.1	聚氯乙烯树脂生产	223	6.6.2	能源与材料	287
5.8.2	聚氯乙烯电缆料生产	226	6.6.3	能源分类与能源结构	288
5.9	聚酯纤维的生产	232	6.6.4	能源危机	292
5.9.1	合成纤维的概述	233	6.6.5	新能源与新能源材料	293
5.9.2	聚酯纤维生产	235	6.7	航空航天材料	315
5.10	环氧树脂及其玻璃钢的生产	237	6.7.1	航空航天材料发展、分类与性能	315
5.10.1	环氧树脂生产	238	6.7.2	航空航天用金属材料	318
5.10.2	玻璃钢生产	242	6.7.3	航空航天用无机非金属材料	322
第6章	材料应用	247	6.7.4	航空航天用高分子材料	323
6.1	结构材料	247	6.7.5	航空航天用复合材料	324
6.1.1	高温结构材料	247	6.8	海洋工程材料	327
6.1.2	超硬结构材料	250	6.8.1	海洋环境的一般特征	328
6.1.3	高强高韧结构材料	251	6.8.2	海洋工程材料一般要求	329
6.2	功能材料	254	6.8.3	海洋工程中金属材料	330
6.2.1	电功能材料	254	6.8.4	海洋工程中无机非金属材料	331
6.2.2	磁功能材料	257			

6.8.5	海洋工程中高分子材料	332	8.1	材料生态设计	361
6.8.6	海洋工程中复合材料	332	8.1.1	金属材料生态设计	363
6.8.7	海洋工程材料的腐蚀与 防腐	332	8.1.2	无机非金属材料生态 设计	371
第7章	材料与环境	335	8.1.3	高分子材料生态设计	377
7.1	材料的环境污染	335	8.2	材料再生	382
7.1.1	环境污染	336	8.2.1	金属材料再生	384
7.1.2	金属材料的环境污染	338	8.2.2	无机非金属材料再生	391
7.1.3	无机非金属材料的环境 污染	339	8.2.3	高分子材料再生	395
7.1.4	高分子材料的环境污染	340	第9章	材料选用	399
7.2	材料在环境中的劣化	342	9.1	概述	399
7.2.1	金属材料的腐蚀	342	9.2	材料的使用性能	400
7.2.2	无机非金属材料 的侵蚀	350	9.2.1	工作环境	401
7.2.3	高分子材料老化	352	9.2.2	力学性能	403
7.3	材料的去污染与防护	355	9.2.3	物理性能	407
7.3.1	材料的去污染	355	9.3	材料的工艺性能	408
7.3.2	材料的防护	355	9.4	材料的经济性	408
第8章	材料生态设计与材料再生	360	9.5	环境与资源原则	409
			参考文献		410

第1章

材料与材料科学

1.1 材料的地位、作用与发展

材料是人类文明的里程碑，是人类赖以生存和得以发展的重要物质基础。正是材料的使用、发现和发明，才使人类在与自然界的斗争中，走出混沌蒙昧的时代，发展到科学技术高度发达的今天。因此，在材料学家看来，人类的文明史就是材料的发展史，并往往以不同特征的材料划分人类不同的历史时期，诸如石器时代、青铜器时代、铁器时代、高分子材料和硅材料时代等。

石器时代又分为旧石器时代和新石器时代，这是一个极其漫长的历史时期，大致可以追溯到250万年前。从树上下到地面、开始直立行走的人类祖先，为了生存——抵御猛兽袭击和猎取食物，逐渐学会使用天然的材料——木棒、石块等。然而，这种纯天然的材料，使用起来并不得得心应手，也不够犀利。于是，先民们开始人工打制石器——石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石球等。打制石器用的材料大多数是石英石，少部分是燧石（俗称火石）。燧石是一种发火材料，猛烈敲击能发出火星，引燃枯草、树叶、树皮、树枝等可燃物质。燧石的使用，是人类文明的一个重要里程碑。在此之前，人类不会自己生火，无法驾驭火。每当黑暗来临，先民们只能在野兽的嗥叫声中度过漫漫长夜，恐惧地等待着太阳的升起。学会了人工取火，结束了人类茹毛饮血的生活。熟食是人类的一大进步。火是人类社会和人类生活进步的原动力，可以毫不夸张地说，正是取火技术的进步和火的自如操控给人类带来了今天的文明，并将继续推动人类迈向更加辉煌灿烂的明天。

旧石器是利用一块较硬的石头砍砸另一块较软的石头打击而成，所以称为砍砸器，其形状既不规则，又不固定，加工十分粗糙。但不管怎么说，这是人类制造的第一种原始材料。这段时期，约一直延续到1万年前。1998年，在我国安徽繁昌县人字洞发现了众多的石制品和骨制品，据初步测定，估计距今200万~240万年，是目前在欧亚大陆发现最早的文化遗存；1954年，在山西襄汾县发掘的26400年前的丁村遗址，发现了一大批人工打制的200~1500g的石球；1954~1957年在西安市半坡村，对公元前4800~前4300年的新石器时代遗址考古时，又发现了240件石球和227件陶制弹丸，都是证明。人工打制的石球，光滑、缺棱少角，飞行时阻力小、速度快、命中率高，用其狩猎，打得又快又准。

新石器时代开始于1万年前。其标志是：打制的石器更加精美，陶器和玉器工艺品的出现，用石头和砖瓦作建筑材料。如湖北屈家岭文化遗址出土的距今约5000年的精细石铲、圭形石凿，还有钻了孔的石斧等，在钻孔中装上木柄，使用更方便。

随着火的利用，将黏土捏成各种形状，放在火中可烧成各种土器。先民们在枝条编织的容器上，涂抹泥土，用火烧制成最原始的陶器。陶是人类第一个人工制成的合成材料。陶的

出现，为保存、储藏粮食提供了可能，标志着人类从游猎生活进入农牧生活。江西万年县出土的距今 1 万多年前的残陶碎片，提供了直接的证据。西安城外骊山脚下，被誉为“世界第八大奇迹”、在地下历经 2000 余年、重现“秦王扫六合”的兵马俑所展示的庞大军阵，是我国古代陶文化的奇葩。在制陶的同时，先民们发现，为使陶器更精美，可在陶器上挂釉，并意外地发现了玻璃。公元前 7000 多年在埃及古代遗址中出土的青色玻璃球，标志着人类已学会玻璃的制造。玻璃，迄今仍极大地丰富着人类的生活。

在新石器时代，先民们用石头作建筑材料，用土制作砖瓦。早在 1 万年前，人类已学会使用稻草作增强材料，掺入黏土中，用太阳晒干制砖（可以认为这是最早出现的复合材料），以后又学会了火烧制砖。利用石头和砖瓦，先民们创造了辉煌的历史，如被誉为“古代世界七大奇迹”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、埃及亚历山大城的灯塔、小亚细亚埃弗兹城的月亮女神庙和摩索拉斯陵墓、地中海罗得岛上的太阳神巨像以及中国的万里长城。尽管它们中的绝大部分已湮没在浩瀚的历史长河中，但金字塔、狮身人面像和万里长城几千年来傲视人间，吸引了无数考古学家和一批又一批游览者，令人折服。

水泥是无机材料中使用量最大，对人类生活影响最显著的建筑材料和工程材料，在水的作用下，它可与砂、石等材料形成坚硬的石状体（混凝土），是人工的石头（“砼”）。早在 2000 多年前，古希腊和古罗马人就将石灰和火山灰的混合物作建筑材料，这是最早应用的水泥。今日，它已发展成庞大的家族，是建房、修桥、筑路等领域的顶梁柱，有石材不可替代的优越性。

中国是玉器的故乡。玉器出现于新石器的中晚期，以浙江良渚文化、内蒙古红山文化等为代表，既作精美的装饰物，也是权利的象征。玉璋、玉璧、玉圭、玉环、玉珏、玉琮、玉刀、玉戈、玉雕人像、玉雕动物，千姿百态，栩栩如生。距今 3000 多年河南安阳殷墟妇好墓出土的玉器就达 700 多件；1968 年河北满城山中山王刘胜墓出土的“金缕玉衣”更是举世闻名，玉衣是用 2498 块玉、1.1kg 金丝穿起来的，全长 1.88m。

必须指出，有些考古学家认为，在石器时代之前，应有一个木器时代，因为来到地面的猿人，首先能得到并能使用的显然是棍、棒之类木质工具，只可惜有机质难以保存下来，无法得到明证；而在新石器时代和青铜器时代之间，我国还存在一个玉器时代。

在人类历史上，有过一个辉煌灿烂的青铜器时代。考古表明，青铜文明的源头在古代中国、美索不达米亚平原和埃及等。早在公元前 8000 年，先民们已发现并利用天然铜块制作铜兵器和铜工具。到公元前 5000 年，已逐渐学会用铜矿石炼铜。考古发现，我国湖北大冶铜绿山古铜矿遗址早在 3600 年前的殷商时期就开始开采铜矿石，从矿区四周 40 万吨炼铜废渣推算，我国古代先民们在此取走了 10 万吨铜。因此，铜是人类获得的第二种人造材料。铜（Cu）的英文名称是由当时炼铜较出名的塞浦路斯（拉丁语 cuprus）演变而来的。随着时间的推移，先民们发现，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。青铜——铜锡合金，这是最原始的合金，也是人类历史上发明的第一个合金。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了世界的顶峰。我国先民们的贡献可以说是全方位的，他们已掌握了冶炼六种不同铜、锡比例的青铜技术，其配比之精确与现代研究基本一致。并且知道含锡量 $1/6$ 的青铜韧性较好，可制作钟鼎；而含锡量 $2/5$ 的青铜较硬，可制作刀斧（用今日的话讲，先民们已掌握了组成与性能的关系）。

不仅如此，他们还为我们留下了一批精妙绝伦、震撼世界的杰作，如高 133cm、质量 832.84kg 商代文丁时期的遗物——后母戊鼎（原称司母戊方鼎），在当时，采用陶范法铸造

如此质量的后母戊鼎至少需要 1000kg 以上的原料、二三百名工匠的密切配合，足显商朝中期青铜铸造业规模的宏大；秦始皇陵墓陪葬坑新近出土的 212kg 的秦王鼎；湖北江陵望山一号楚墓出土的越王勾践用剑，徐州狮子山楚王陵出土的铜戟，西安秦始皇陵墓陪葬坑出土的铜剑（此剑发现时已被压在其上面的质量 200kg 的陶俑压弯，当抬走陶俑后，剑身竟不可思议地反弹平直了）和由 8 马、2 车、2 俑组成的质量达 1061kg 的铜马车，这些剑、戟铸造精美，虽深埋地下 2000 余年，但仍寒光闪闪、锋利如初，十几层厚的纸被其轻轻一划，竟一裂为二；四川广汉三星堆出土的世界上年代最久远、树枝最高、最大、形象神奇多彩、高约 4m 的青铜神树，高 2.6m 的青铜立人、青铜人头像和青铜面具等，更令世人惊叹；湖北随州市曾侯乙墓出土的 64 件、2500kg 的古代乐器——铜编钟，其音域之宽广堪与现代乐器媲美。1999 年 7 月 1 日香港回归的庆典上，用其演奏的《交响乐 1997》，更是轰动海内外。

远古时代，先民们已经使用陨铁制作武器或其他器物。河北藁城出土的商代中晚期铜钺刀口就是陨铁加热锻打而成的。陨铁来自天外，数量有限，只有当发明了从铁矿石中冶炼铁时，铁器时代来临了。小亚细亚的赫梯人约在公元前 1400 年开始了人工炼铁。我国在甘肃灵台的一座春秋早期墓葬中出土了一把铜柄铁剑，再加上干将、莫邪铸剑的传说，和湖北大冶铜绿山古铜矿遗址一处战国时期矿井内发现的宽 40cm、长 60cm、质量 32kg 的铁斧以及铁锤、铁砧、铁锄等，可以认为我国也是较早掌握炼铁术的国家之一，且很长一段时间里都处于世界冶金技术的前列。建于宋代嘉祐六年（1061 年）的湖北当阳玉泉寺山门外的砖身铁塔，高 17.9m，由质量为 38300kg 的 44 块铸件组成，其拼装得天衣无缝、浑然一体，铸造技术之高超令人叫绝。尽管当阳铁塔不如高 300m、质量 9000t 的法国巴黎埃菲尔铁塔闻名，但毕竟比其早了 800 多年。

在中国，以青铜器铸造为主的青铜器时代，持续约 2000 年，创造了灿烂的商周青铜文化；在生铁冶铸的基础上的铁器时代，形成了有特色的中国古代钢铁文化，也有 2000 多年。西方也大致如此。

炼铁技术和制造技术的发展，开创了人类文明的新时代。以蒸汽机发明为起点，近 200 年来，人类经历了四次技术革命。新的技术革命一次比一次迅猛，对人类的影响也一次比一次深远，进入 20 世纪，人类科学技术发明和创造之和超过了以往 2000 年的总和。

蒸汽机的发明，是人类文明史上又一重要里程碑。第一台蒸汽机出现于英国达德利城堡，时间为 1712 年，由铁匠纽可门和集铅管匠、釉匠和锡匠于一身的卡利制造，用于煤矿排除积水。然而，其效率极低，只利用了热量的 1%。1777 年苏格兰格拉斯哥大学机匠瓦特对蒸汽机做了重大改进，热量利用效率大大改善。从此，蒸汽机的普及走上了坦途。

第一次技术革命发端于 18 世纪后期，以蒸汽机的发明及广泛应用为主要标志，实现了高炉、转炉、平炉制造优质钢材的工业化。由此引发的纺织工业、冶金工业、机械工业、造船工业等的工业大革命，是这次技术革命的产物，使人类从手工工艺时期跃进到机器工业时代，开创了工业社会的文明。

第二次技术革命开始于 19 世纪末，以电的发明和广泛应用为标志，由于远距离送电材料以及通信、照明用的各种材料的工业化，实现了电气化。其结果是石油开采、钢铁冶炼、化工、飞机制造工业、电气工业、电报电话等迅猛发展，组成了现代产业群，使人类跨进了一个新的时代，实现了向现代社会的转变，促进了国际关系的最终形成。

第三次技术革命始于 20 世纪中期，以原子能应用为主要标志。1942 年 12 月，意大利物理学家费米在美国建立了第一个核反应堆，实现了控制核裂变，使核能利用有了可能，实

现了合成材料、半导体材料等大规模工业化、民用化，把工业文明推到顶点，开启了通向信息社会文明的大门。

20 世纪 70 年代开始，人类进入了一个新的阶段——第四次技术革命，它是以计算机，特别是微电子技术、生物工程技术 and 空间技术为主要标志，新型材料、新能源、生物工程、航天工业、海洋开发等新兴技术是主攻方向。1946 年世界第一台电子计算机诞生，用 18000 个电子管，总质量 30t，占地 180m²，运算速度为每秒 5000 次，比人工运算快 1000 倍至数千倍。今天，用大规模集成电路制成的台式个人计算机每秒可运算 4.5 亿次。目前世界上最快的计算机是运算速度为每秒 1000 万亿次的超级电脑。人类实现了 DNA 的人工合成和克隆技术，登上了月球、火星，实现了遨游太空。这是人类历史上规模最大和最深刻的一次革命，它对国际关系已经并将继续产生极其深远的影响。

在相当一段时间里，金属有过辉煌的地位，直到 20 世纪 50 年代，以钢铁为代表的金属材料仍居统治地位。随着无机非金属材料（尤其是特种陶瓷和硅材料）、高分子材料及先进复合材料的出现和发展，钢铁老大的地位受到了挑战。高分子材料在今天发挥的作用越来越大，从 1909 年第一个人工合成的酚醛塑料算起，至今约 100 年。然而，20 世纪 90 年代初塑料产量已逾 1 亿吨，按体积计，已超过钢铁产量。因此，有人曾经将这段时期称为高分子材料时代。从年增长率看，塑料也远远大于钢铁，例如，20 世纪 40~80 年代 40 年间，平均年增长率，塑料为 13.6%，钢为 5.7%，木材为 1.6%，水泥为 6.4%，塑料的年增长率分别为钢、木材和水泥的 2.4 倍、8.5 倍和 2.1 倍。因此，出现了以塑钢比替代以往用钢产量衡量一个国家综合实力的统计方法。例如，美国的塑钢比在 40% 左右，中国的塑钢比在 15% 左右。值得一提的是，得益于晶体硅制造技术的进步，计算机极大普及，因特网走进千家万户，人类社会发生了深刻的变化。因此，这段时期亦有人称为硅材料时代。新型功能陶瓷的形成产业，满足了电力电子技术和航天技术的发展和需要。在 20 世纪，高分子材料、硅材料功不可没，然而，钢铁材料，特别是各类特种钢和合金材料仍然占据着重要地位，并且各类新材料不断问世，可以预期，今后相当长的时期内金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料及其它们的复合材料将争奇斗艳、异彩纷呈。所以，人们更倾向于将当前的时代称为新材料时代。

合成高分子材料的问世，建立了以金属材料、无机非金属材料 and 合成高分子材料为主体的、完整的材料体系，形成了材料科学。

纵观材料的发展史，我们不难发现以下两点。

(1) 随着人类文明的不断进步，材料革命的周期日益缩短。旧石器时代以十万年，乃至百万年计；新石器时代以万年计；铜器时代和铁器时代各只有一二千年；而现代化和钢铁时代可能只是一个短暂的历史时期。当然，在今后一段时期内金属材料仍将占有十分重要的位置。

(2) 中国古代有一个辉煌灿烂的材料文明史，为人类社会的发展做出了不可磨灭的贡献。近代则落在了西方国家后面。随着改革开放，中国材料工业有了突飞猛进的发展，钢铁、有色冶金、水泥、玻璃、陶瓷、塑料、合成橡胶、合成纤维的产量已居世界第一或处于世界前列。但在新材料的研发上还存在不小差距。而以超级计算机、探月工程、海洋深潜技术等为代表的重大科技成果的实现，表明在新材料的研发上也正迎头赶上。

汽车工业是一个国家的支柱产业。1885 年，世界上第一辆汽车驶上街头。1908 年，美国人福特发明了 T 型汽车，随后又实现了汽车生产工艺的重大突破——汽车部件标准化和

生产装配流水化作业。汽车制造业已成为一个大型的、综合性的加工产业，汽车工业带动并促进了相关工业（如冶金、石油化工、机械、电子电气、轻工、纺织等）和相关社会服务行业（如交通运输、石油、保险、维修、商业等）的发展，其经济效益和社会效益十分巨大。就材料而言，汽车工业涉及 11 大类材料，包括钢板、特种钢、结构用塑料和复合材料、非结构用塑料和复合材料、橡胶、涂料、有色金属合金、铸件、陶瓷和玻璃、工具和模具、金属基复合材料，仅美国每年消耗的材料就在 6000 万吨左右，真可谓“牵一发动全身”。从汽车本身而言，能源替代、节能、安全、轻质、高速、舒适、美观是其追求的目标。汽车塑料件在 20 世纪 60 年代已开始实用化，首先采用的是以安全为目的的内饰件（以通用塑料为主）；70 年代后期发展到以安全、节能为目的的外装件（以工程塑料和复合材料为主）；80 年代以后向以节能、安全为目的的功能件发展（以工程塑料合金，尤其是高性能塑料和复合材料为主）。塑料件在轿车上的用量已接近 120kg。涉及的塑料主要有酚醛塑料、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、ABS、聚酰胺及高性能塑料等。

随着安全、节能要求的提高，汽车使用的原材料构成比例发生了变化：黑色金属（尤其是生铁和普通钢材）的比例在下降；而有色金属（尤其是铝合金、镁合金等轻金属）和非金属材料（尤其是塑料）的比例在增加，在塑料中 PP 和高性能塑料的比例增加，而 PVC 和 ABS 塑料的比例在下降；复合材料的使用量增长较快。国际石油价格居高不下，汽车工业节能（节省资源消耗、节省能源消耗）高效、替代燃料的呼声日益高涨，可以预期，一场新的汽车技术革命即将出现。

美国已开始生产并销售特斯拉电动汽车，其核心技术为锂电池。该公司将锂电池性能提高了 50%，充电速度提高了 5 倍。充电 30min，可连续行驶 480km，最高时速 209km/h，开启了世界无油汽车时代的大门。一种性能更高、充电一次可让汽车连续行驶 1000km 的电池正在开发。据统计，目前交通领域消耗全世界 50% 以上的石油。随着特斯拉电动汽车这场革命性变革的到来，石油和天然气消耗将极大减少，不仅工业和经济领域将发生极大变化，环境也会大幅度改善，近年谈虎色变的雾霾可能不再困扰人们（汽车排放的尾气是原因之一），而且世界社会、政治格局也会有改变，人类为争夺能源引起的战争、冲突和外交角逐很可能大为减少。

由上述我们不难看出，材料在人类发展中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，过去是、今天是，将来也必然是一切科学技术，尤其是高新技术发展的先导和柱石。

随着科学技术的发展，对材料的需求也不断发生变化，新的材料不断出现，新的构成发生极大的变化。表 1-1 为美国八个重要工业部门对材料的要求。

表 1-1 美国八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					√	√		√

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
高效加工	√	√	√	√	√	√	√	√
近无余量成型	√	√	√	√	√	√	√	√
材料回收		√		√			√	
预测使用寿命	√	√	√	√	√	√	√	√
预测物理性能	√	√	√	√	√	√	√	√
材料数据库	√	√	√	√	√	√	√	√

注：√表示有此项。

随着高新技术的发展，均一材质的材料往往已无法满足要求，复合材料应运而生。在欧美等国家，轿车上复合材料已超过 50kg，法拉利等高级跑车、全塑汽车等的车身是以复合材料制作的。在航空航天工业中，减轻自重可以使火箭、卫星、导弹等飞得更高、更远。例如，人造卫星质量每减少 1kg，就可使运载火箭减轻 500kg。喷气发动机每减轻 1kg，飞机可减轻 4kg，升限可提高 10m；而其工作温度每提高 100℃，推动力就可提高 15%。使用碳-碳复合材料的火箭与全金属材料的火箭相比，其射程可远至 950km。因此，有人认为 21 世纪复合材料势不可挡。

美国商业部曾对 2000 年时 12 项新兴技术做了预测，如表 1-2 所示。由表可知，先进材料的产值居首位，占 43%。据他们估算，全世界的先进材料为 4000 亿美元，占新兴技术 10000 亿美元的 40%。由此可见，材料对科学技术进步的重要性。

表 1-2 美国商业部对 2000 年时 12 项新兴技术的预测

项目	产值/亿美元	所占比例/%	分类
先进材料 ^①	1500	42.1	新兴材料
超导材料	50	1.4	
先进半导体器件	750	21.1	新兴电子与信息技术
数字图像技术	40	1.1	
高密度数据存储	150	4.2	
高性能计算机	500	14.0	
光电子	40	1.1	
人工智能	50	1.4	
柔性集成加工	200	5.6	新兴生产系统
传感技术	50	1.4	
生物技术	150	4.2	新兴生命科学技术
医疗与诊断装置	80	2.3	
合计	3560	100	

① 先进材料包括特种陶瓷、陶瓷基和金属基复合材料、金属间化合物与轻合金、先进塑料、表面改性材料、金刚石薄膜、膜材料及生物材料等。

1.2 材料的定义和分类

什么叫材料？

可以用多种不同的表述方式来定义材料。例如，材料是用来制造器件的物质；材料是经过工业加工的采掘工业、农业的劳动对象等。但不管怎么说，所谓材料必须具备如下几个要点。

① 一定的组成和配比 制品的使用性能主要取决于组成的化学物质（主要成分）及各成分（主要成分与次要成分）之间的配比，其中制品的力学性能、热性能、电性能、耐腐蚀性能、耐候性能等为组成该制品的主要成分所支配，而次要成分则用来改善其加工性能、使用性能或赋予某种特殊性能。次要成分包括熔制或合成时的助剂和加工时用的助剂。

② 成型加工性 作为制品应具有一定的形状和结构特征，形状和结构特征是通过成型加工获得的。因此，作为材料必须具备在一定温度和一定压力下可对其进行成型加工，并塑制成某种形状的能力。成型加工过程会影响混合程度、颗粒大小和分布、结晶能力、结晶形态、结晶的性能和取向程度等，从而影响了制品最终性能。所以，可以通过成型加工赋予制品一定的形状，也可以赋予制品所需的性能。成型加工包括熔融状态下的一次加工和冷却后车、钳、刨、削等的二次加工。通常亦将一次加工称为成型，二次加工称为加工。不具备成型加工性，就不能成为有用的材料。

③ 形状保持性 任何制品都是以一定的形状出现，并在该形状下使用。因此，应有在使用条件下，保持既定形状并可供实际使用的能力。即性价比要高。

④ 经济性 制得的制品应质优价廉，富有竞争性，必须在经济上乐于为社会和人们接受。

⑤ 回收和再生性 这是作为绿色产品、符合人类持续发展战略和建设资源节约型社会所必需的，并应满足已经确定的社会规范、法律等。作为一种绿色产品，其原料生产过程、生产过程、施工过程、使用过程和废弃物的处理过程五个环节，都应对维护健康、保护环境负责。然而，要完全满足五个环节的绿色产品，事实上是不存在的，更确切的说法应为环保型产品或健康型产品。随着资源的枯竭、环境的破坏，对材料制品的回收并再利用是必需的。这是材料的开发者，在研究中必须首先加以注意并考虑的。严重污染环境、不能回收再生的制品，一开始就不应生产。

所以，材料可以这样来表述：材料是由一种化学物质为主要成分并添加一定的助剂作为次要成分所组成的，可以在一定温度和一定压力下使之熔融，并在模具中塑制成一定形状（在某些特定的场合，也包括通过溶液、乳液、溶胶-凝胶等形成的成型），冷却后在室温下能保持既定形状，并可在一定条件下使用的制品，其生产过程必须实现最高的生产率、最低的原材料成本和能耗，最少地产生废弃物和环境污染，并且其废弃物可以回收、再利用。

材料的分类方法很多，通常是按组成、结构特点进行分类，可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料（常称高分子材料）和复合材料，每一类又可分为若干大类，如图1-1所示。

其实，这种分类方法是相当粗糙的，例如钢铁是钢和铁等黑色金属的总称，它们的区别主要在于含碳量（图1-1），而钢又可分为碳素钢、合金钢、特种钢等。组成不同，性能差异很大，生铁质硬而脆，杂质含量较大；钢的力学性能和工艺性能优于生铁，且杂质含量较低，金属元素的加入，改变了钢的组成和结构，使其获得不同的特性；工业纯铁则软而韧。