

高等学校教材

# 工程材料及 成形技术基础

主编 任家隆 丁建宁

主审 温诗铸

高等教育出版社

高等学校教材

# 工程材料及成形技术基础

Gongcheng Cailiao ji Chengxing Jishu Jichu

主编 任家隆 丁建宁

主审 温诗铸

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书是根据教育部制订的《高等学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，结合工科院校课程改革以及编者多年教与学两方面的实践经验编写而成的。

本书将机械工程材料和热加工工艺基础的教学内容进行了有机结合，避免了教学内容的重复，建立了工程材料与材料成形工艺有机整合的教学内容体系。全书以绪论开始启发思考，分章节叙述，逐步推进，综述分析全书知识点在工程上的应用，同时注意教材的资料性作用。除绪论外全书共分9章，主要内容包括概论、机械工程材料基础、金属材料热处理及表面工程、常用工程材料、铸造、锻压、焊接、机械零件材料及成形工艺的选用、工程材料的应用。

本书可作为高等学校机械类各专业、近机械类相关专业的教材，也可作为机械类专科、职业大学、广播电视大学、成人教育或函授大学等的教学用书，还可供对机械工程类知识有兴趣的读者自学和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术基础 / 任家隆, 丁建宁主编.

--北京: 高等教育出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-04-041346-5

I. ①工… II. ①任… ②丁… III. ①工程材料-成型-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 253720 号

策划编辑 薛立华  
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 薛立华  
责任校对 殷然

封面设计 张申申  
责任印制 尤静

式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
开刷 三河市华润印刷有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 27.75  
字数 660千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版次 2014年12月第1版  
印次 2014年12月第1次印刷  
定价 43.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 41346-00

# 前 言

本书是根据教育部制订的《高等学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，以及“机械制造技术面向 21 世纪课程体系和教学内容、方法改革”研究成果的指导思想，并结合目前高等工科院校机械类课程的教学改革和编者几十年的教学实践经验编写而成的。

与其他同类教材相比，本书在内容上既考虑教学需要，又考虑知识体系结构的完整性；既努力将相关知识“归类并族”形成模块，又尊重学科知识规律，知识脉络清晰；既努力避免教学内容的重复，又力求符合人们认识事物的规律。全书以绪论开始启发思考，分章节叙述，逐步推进，综述分析全书知识点在工程上的应用，同时注意教材的资料性作用，有益于提高读者创造性思维，以期在更大程度、更大范围内满足教学和社会的需要。本书具有以下特点：

1) 充分考虑机械类专业为主要的教学时数需求。

2) 全书在知识体系上先以总概念启发思考，然后分章节叙述，以重点机械构件为背景，综述分析全书知识点在工程上的应用，有利于提高学习效果，注重知识的系统性。

3) 全书较好地处理了传统知识和新知识的关系，立足于基础知识宽厚的原则，各章又给出相关的新知识点，有利于从学科的角度来掌握知识，提高创新意识。

4) 全书采用最新国家标准，并贯彻可持续发展的观点，运用系统工程理论方法进行内容的编排，便于自学参考，有利于提高分析问题、解决问题的能力。

本书由任家隆、丁建宁主编，具体编写分工如下：绪论及第 3、8 章由任家隆编写，第 1 章由陈洪美编写，第 2、9 章由丁建宁编写，第 4 章由任家隆、陈洪美、任近静、樊玉杰、苏宇编写，第 5 章由张春燕、王波编写，第 6 章由吴爱胜、苏宇编写，第 7 章由赵礼刚、管小燕编写。

本书由清华大学温诗铸院士主审，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了江苏科技大学、常州大学、清华大学、东南大学、合肥工业大学、上海理工大学等单位有关领导及相关老师的支持和帮助，在此对各位领导、老师以及有关参考文献的作者表示深深的敬意和衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏，殷切希望读者提出宝贵意见。

编 者

2014 年 7 月

# 目 录

绪论 .....	1	2.4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	58
第1章 概论 .....	5	2.4.3 塑性变形金属在加热时组织和性能的变化 .....	59
1.1 材料的重要地位与作用 .....	5	2.4.4 塑性变形和再结晶的工程应用 .....	62
1.2 材料的分类 .....	7	2.5 二元合金及其相图 .....	65
1.3 金属材料的发展 .....	9	2.5.1 二元合金相图 .....	65
1.4 非金属材料的发展 .....	11	2.5.2 铁碳合金 .....	75
1.4.1 陶瓷材料 .....	11	复习思考题 .....	89
1.4.2 工程塑料 .....	12	第3章 金属材料热处理及表面工程 ...	91
1.5 复合材料的发展 .....	12	3.1 热处理的基本原理 .....	92
1.6 新材料的发展趋势 .....	15	3.1.1 钢在加热时的组织转变 .....	92
1.6.1 形状记忆合金 .....	15	3.1.2 钢在冷却时的转变 .....	95
1.6.2 非晶态合金 .....	16	3.2 热处理工艺方法及应用 .....	106
1.6.3 纳米材料 .....	17	3.2.1 钢的普通热处理 .....	106
复习思考题 .....	18	3.2.2 钢的表面热处理 .....	122
第2章 机械工程材料基础 .....	19	3.2.3 热处理零件结构工艺性与工艺文件 .....	133
2.1 材料的主要性能 .....	19	3.3 材料的表面工程及热处理新技术 .....	138
2.1.1 材料的力学性能 .....	19	3.3.1 材料的表面工程 .....	138
2.1.2 材料的耐磨性 .....	27	3.3.2 热处理新技术 .....	145
2.1.3 材料的高温和低温性能 .....	28	复习思考题 .....	148
2.1.4 材料的物理、化学、工艺性能 .....	29	第4章 常用工程材料 .....	149
2.2 金属与非金属材料的结构 .....	31	4.1 碳素钢 .....	149
2.2.1 金属的晶体结构 .....	31	4.1.1 碳素钢中常存杂质元素的影响 .....	149
2.2.2 合金的晶体结构 .....	38	4.1.2 碳素钢的分类 .....	150
2.2.3 非金属材料的结构 .....	40	4.1.3 碳素钢的编号和用途 .....	151
2.3 金属的结晶与铸锭 .....	44	4.2 合金钢 .....	156
2.3.1 结晶的基本概念及非晶体凝固 .....	44	4.2.1 合金元素在钢中的作用 .....	156
2.3.2 金属的结晶 .....	45		
2.3.3 材料的同素异构与同分异构 .....	48		
2.3.4 金属铸锭组织及金属铸件 .....	50		
2.4 金属的塑性变形与再结晶 .....	53		
2.4.1 金属的塑性变形 .....	54		

4.2.2 合金钢的分类及编号	160	5.3.7 连续铸造	282
4.2.3 合金结构钢	162	5.3.8 实型铸造	282
4.2.4 合金工具钢	174	5.3.9 V法铸造	283
4.2.5 特殊性能钢	183	5.4 常用铸造方法的比较	284
4.3 铸铁	191	5.5 铸件结构的铸造工艺性	284
4.3.1 铸铁石墨化及组织	191	5.5.1 铸件结构的工艺性	285
4.3.2 铸铁的分类及组织性能	194	5.5.2 合金铸造性能对铸件结构的要求	286
4.3.3 常用铸铁	195	5.5.3 组合铸件的结构设计	291
4.3.4 合金铸铁	204	5.6 铸造技术的发展	292
4.4 有色金属及其合金	206	5.6.1 铸造新技术	292
4.4.1 铝及铝合金	206	5.6.2 计算机技术在铸造中的应用	293
4.4.2 铜及铜合金	211	复习思考题	295
4.4.3 钛及钛合金	219	<b>第6章 锻压</b>	296
4.4.4 镍及镍合金	219	6.1 金属塑性成形工艺基础	296
4.4.5 镁及镁合金	221	6.1.1 金属的锻造性能	297
4.4.6 轴承合金	221	6.1.2 锻造比及流线组织	299
4.5 其他常用工程材料	226	6.1.3 金属的塑性变形规律	300
4.5.1 塑料	227	6.2 常用锻造方法	301
4.5.2 橡胶	233	6.2.1 自由锻	301
4.5.3 陶瓷	235	6.2.2 胎模锻	304
4.5.4 复合材料	240	6.2.3 模锻	306
复习思考题	243	6.3 板料冲压	316
<b>第5章 铸造</b>	246	6.3.1 分离工序	316
5.1 铸造工艺基础	246	6.3.2 成形工序	318
5.1.1 合金的铸造性能	246	6.3.3 冲压模具	324
5.1.2 常用合金铸件的制造	256	6.3.4 板料冲压件结构工艺性	325
5.1.3 铸件的常见缺陷	263	6.4 挤压、轧制、拉拔及其他成形	326
5.2 砂型铸造	265	6.4.1 挤压成形	326
5.2.1 造型材料	265	6.4.2 轧制成形	328
5.2.2 造型方法选择	266	6.4.3 拉拔成形	330
5.2.3 铸造工艺设计	268	6.4.4 超塑性成形	331
5.2.4 铸造工艺文件编制	274	6.4.5 旋压成形	332
5.3 特种铸造	276	6.4.6 摆动辗压成形	334
5.3.1 金属型铸造	276	6.5 其他先进成形技术及发展趋势	335
5.3.2 熔模铸造	276	6.5.1 其他先进成形技术和应用	335
5.3.3 低压铸造	278	6.5.2 计算机技术在压力加工中的应用	337
5.3.4 压力铸造	279		
5.3.5 离心铸造	279		
5.3.6 陶瓷型铸造	280		

复习思考题 .....	338	的选用 .....	390
<b>第7章 焊接</b> .....	340	8.1 机械零件的失效分析 .....	390
7.1 焊接工艺基础 .....	340	8.1.1 机械零件的失效形式 .....	390
7.1.1 焊接冶金过程 .....	340	8.1.2 失效分析方法 .....	392
7.1.2 焊接接头的组织和性能 .....	342	8.1.3 机械零件失效原因综述 .....	392
7.1.3 焊接应力与变形 .....	343	8.1.4 机械零件的失效分析 .....	394
7.1.4 金属材料的焊接 .....	345	8.2 机械零件选材的一般原则 .....	399
7.2 常用焊接方法 .....	349	8.2.1 使用性能原则 .....	399
7.2.1 焊条电弧焊 .....	349	8.2.2 工艺性能良好的原则 .....	401
7.2.2 埋弧焊 .....	354	8.2.3 经济性原则 .....	408
7.2.3 气体保护焊 .....	357	复习思考题 .....	410
7.2.4 氧乙炔气焊 .....	361	<b>第9章 工程材料的应用</b> .....	411
7.2.5 压焊 .....	362	9.1 航空航天器用材简介 .....	411
7.2.6 电渣焊 .....	367	9.1.1 航空航天器用材的特点 .....	411
7.2.7 钎焊 .....	368	9.1.2 航空航天器用材 .....	412
7.2.8 高能束熔焊 .....	369	9.2 舰船用材简介 .....	417
7.2.9 其他焊接方法 .....	372	9.2.1 舰船用材的特点 .....	417
7.3 焊接结构设计的工艺性 .....	376	9.2.2 舰船用材 .....	417
7.3.1 焊接结构材料的选择 .....	377	9.3 石油化工设备用材简介 .....	422
7.3.2 焊接方法 .....	377	9.3.1 石油化工设备用材的特点 .....	422
7.3.3 焊接接头的选择与设计 .....	380	9.3.2 石油化工设备用材 .....	423
7.3.4 焊缝的设计 .....	383	9.4 汽车用材简介 .....	425
7.3.5 焊接热处理工艺规范 .....	384	9.5 汽轮机与机床用材简介 .....	429
7.3.6 机械焊接结构 .....	385	9.5.1 汽轮机用材 .....	429
7.4 焊接技术的发展 .....	388	9.5.2 机床用材 .....	430
复习思考题 .....	389	复习思考题 .....	432
<b>第8章 机械零件材料及成形工艺</b>		参考文献 .....	433

# 绪 论

## 1. 工程材料与成形技术的社会地位和经济作用

工程材料是机械制造业的基础,机械制造业担负着向国民经济各部门提供技术装备的任务。国民经济各部门的生产技术水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所能提供装备的技术性能、质量和可靠性。因此,机械制造业的技术水平和规模是衡量一个国家工业化程度和国民经济综合实力的重要标志。

现代科学技术的发展,更新了机械制造的概念,使得传统的机械制造过程有了较大改变。材料的选用及成形技术是机械制造过程的重要组成部分,两者是紧密相关的。不同的产品应选择与其相应的材料,采用与之相适应的成形方法及加工过程。材料只有经过各种加工,包括材料的成形、改性、连接等,最终形成产品,才能体现其功能利用价值,推动经济发展和社会进步。

材料是人类生产和生活的物质基础,材料直接反映人类社会的文明程度。从原始社会以来,人类经历的石器时代、青铜器时代、铁器时代等,就是以材料作为划分时代的标志。在材料生产及其成形工艺的历史上,我们的祖先有过辉煌的成就,为人类文明做出了重大贡献。我国在原始社会后期开始有陶器,在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术已相当成熟;青铜冶炼始于夏代,至商周时代(公元前16世纪—公元前8世纪)冶铸技术已达到很高的水平,形成了灿烂的青铜文化;公元前7世纪—公元前6世纪的春秋时期,我国已开始大量使用铁器,白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现,比欧洲国家早1800多年;在大约3000年前,我国已采用铸造、锻造、淬火等技术生产工具和各种兵器。河南安阳武官村出土的商代司母戊鼎,重达832 kg,在大鼎四周,有蟠龙等组成的精致花纹;湖北江陵楚墓中发现的埋藏了2000多年的越王勾践的宝剑,至今仍异常锋利,金光闪闪;陕西临潼秦始皇陵出土的大型彩绘铜车马,由3000多个零、部件组成,综合采用了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光及各种连接工艺,结构复杂,制作精美;明朝(1368—1644年)宋应星所著《天工开物》一书,记载了冶铁、铸钟、锻铁、焊接(锡焊和银焊)、淬火等多种金属成形及改性方法,并附有123幅工艺流程插图,是世界上有关金属加工工艺最早的科学论著之一;现存于北京大钟寺内明朝永乐年间制造的大钟(重46.5 t),其上遍布经文20余万字,其浑厚悦耳的钟声至今仍伴随着华夏子孙辞旧迎新……这些均显示出中华民族在材料、成形方法及热处理等方面的卓越成就,以及对世界文明和人类进步所做出的显著贡献。

新中国成立以后,特别是近几十年来,材料及成形技术的发展推动了我国机械制造业的发展,促进了国民经济形势的稳定和发展。我国自行设计、生产的12000 t水压机,是制造大型发电机、大型轧钢机、大型化工容器和大型动力轴等类型锻件的必备设备。我国人造地球卫星、洲际弹道导弹及长征系列运载火箭的研制成功,均与机械制造工艺水平的发展密切相关。我国是世界上少数拥有运载火箭和第三个实现人类探测器地外天体软着陆的国家。



这些飞行器的壳体均选用铝合金、钛合金、复合材料或特殊合金薄壳结构,并采用钨极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊和电阻焊等方法焊接而成。我国成功生产了世界上最大的轧钢机机架铸钢件(重 410 t)和长江三峡巨型水轮发电机组特大型零、部件,锻造了 196 t 汽轮机转子,进行了超大型船舶、15 MPa 氢反应器及大型电站锅炉钢结构的焊接和建造。

如今,人类已经跨入可根据需要设计材料、合成材料的新时代。材料的质量、品种和数量已成为衡量一个国家科学技术、经济水平以及国防力量的重要标志之一。世界各国对新材料的开发都非常重视。光电子信息材料、先进复合材料、先进陶瓷材料、新型金属材料+高性能塑料、超导材料等不断涌现,并迅速投入使用,给社会生产和人们的生活带来了巨大变化。近年来,近净成形(near-net shape technique)和净成形(net shape technique)技术迅速发展,国际机械加工技术学会预测,精密成形与磨削加工相结合,将逐渐取代大部分中、小零件的切削加工。

当前,积极研究和探寻有效利用资源、最低程度地减少废弃物的“再制造工程”正在各国兴起,将大量相似的单生命周期结束的产品,作为再制造的“毛坯”,利用高新技术对其进行批量化修复、性能升级,经过检测后,成为在技术性能和产品质量上都能达到甚至超过原产品水平的再制造新产品,体现了产品多生命周期的价值。

尽管各种新技术、新工艺应运而生,新的制造理念不断形成,但铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术。因此,常规工艺的不断改进和提高,并通过各种途径实现高效化、精密化、轻量化和绿色化,具有很大的技术经济意义。本课程是学习上述基本知识的入门课程。

## 2. 本教材知识在人才培养中的地位和作用

“工程材料及成形技术基础”是机械类专业一门重要的技术基础课,是进行机械设计与制造工作的起点,任何一位想了解或从事机械工程领域的工程技术人员,都必须首先了解和学习工程材料及成形技术知识,因此工程材料及成形工艺的理论及专业知识是机械工程领域工程技术人员的必备基础。

从人才培养的角度看,随着新世纪教育改革的深入和信息时代对人才知识结构提出的新要求,课程体系在原有框架内不可避免内容膨胀,通过增加学时来解决问题显然已不可能。因此,必须着重从专业内涵的建设和发展的角度,推动课程体系、教学内容等改革,以落实学生创新精神、能力培养和素质教育三大新的目标。

以机械设计制造及自动化专业为例,根据四年制本科教育大系统对专业知识的要求,必然归并压缩原课程和教学内容,本着减少重复的原则,科学地组织知识结构,建立融课堂教学、实验教学、实践教学为一体的机械制造技术课程体系(机械类)和近(非)机械类的机械制造技术课程体系,如图 1 所示。

机械设计制造及自动化专业的技术基础课主要以识图制图、机械设计、机械制造三个系列的课程作为专业基础,识图制图系列课程的目的是为了设计和交流,机械设计的对象是产品及零件等,产品和零件总是由一定的工程材料组成,由成形技术加工成毛坯。因此,在机械工程领域,作为一名工程技术人员,其工作性质无论是侧重于设计还是制造、运行、维护等,都必然要面对工程材料及成形工艺的选择、使用等问题。

在产品及零件设计过程中不仅要确定产品及各种零、部件的结构,还必须同时确定所用

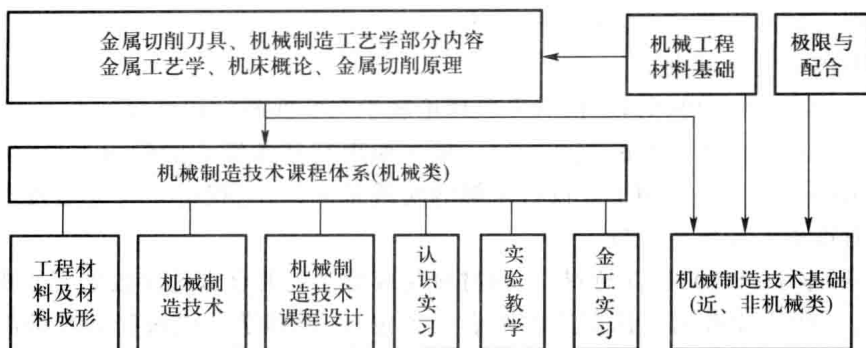


图1 机械制造技术课程体系

的材料、相应的加工方法。设计、选材、加工三者之间是相互关联的,不能割裂,设计时往往需要在预先确定的范围内将几种方案进行分析比较。每一种结构都要选择相应化学成分的材料来满足性能的要求;而每种材料的性能又不是一成不变的,它取决于材料的组织结构,凡能改变组织结构的加工和使用过程,也必然改变材料的性能。因而,材料加工工艺方法与所选用的材料及所具有的结构相适应。这样,结构的设计、材料的选择及加工工艺方法的选择就成了相互关联的综合性的技术问题。

将设计好的零件进行加工制造,装配成产品,其过程常常包括成形工艺、连接、切削、加工、特种加工、改性处理、装配、检测、调试等加工工序,合理选择不同的加工工艺方法并安排好工艺路线,使产品最终达到技术经济指标要求,就必须具备工程材料及成形技术知识。

综上所述,工程材料及成形技术知识在机械制造和人才培养中占有十分重要的地位。

### 3. 本书的主要内容和学习方法

#### (1) 本书的教学内容

本书主要介绍工程材料及成形技术的基本理论和知识。在工程材料及成形技术的基本理论方面,主要明确材料的成分、结构、微观组织与使用性能的关系。在材料改性及表面强化工艺中,要了解材料在平衡过程中成分、组织及性能之间的关系;热处理是在非平衡过程中,基于基本不变的材料成分,解决材料组织、性能间的关系。在材料成形工艺中,要学会分析温度、力等环境、工艺因素对材料成形后组织、性能间的影响或它们之间的关系。

在工程材料及成形技术的基本知识方面,包括下列问题:

1) 各类工程材料的基本特点及应用,包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料;在金属材料中除表达了碳素钢、合金钢、有色金属的铝合金、铜合金和轴承合金外,相比同类教材增加了钛合金、镍合金、镁合金,以增加学生对航空航天、舰船、石油化工等行业用材的知识需求。

2) 热处理工艺及表面改性工艺方法种类、特点及应用,着重掌握温度、时间、加热和冷却速度在非平衡状态下对材料组织和性能的影响。

3) 各种成形工艺的特点与应用,着重分析影响获得优良成形件的条件、困难和解决措施等方面的知识。

4) 通过零件失效分析,掌握选择工程材料及成形工艺的基本原则;掌握航空航天、舰船、石油化工、汽车、机床等行业或特殊机件选择材料及工艺的基本知识,初步具有对工程材

料选用及改性与成形工艺合理性的分析能力。

### (2) 本书内容的学习方法

本书是一门实践性很强的教材,应采取理论教学和实践教学相结合的方法,工程材料与成形技术的工程应用是本教材的核心内容。基本原理与基本知识的学习,要落实在机械设计与机械制造的具体工程应用上。没有足够的实践基础,对工程材料与成形技术知识的工程应用很难有准确的理解和把握。

同时,学习本书内容时要注意:把工程材料与成形工艺的合理选用放到现代机械制造这个系统中去,以期让读者用现代制造的观点去考虑、认识和学习机械制造所必需的基础知识;从整体上考虑成形工艺在工艺流程中的合理位置,掌握各种成形零件的结构工艺性。

本书首先概述了工程材料的作用和发展,第2、3章是工程材料及应用的理论知识,支撑后续第5、6、7章成形工艺基础及应用知识的学习,第4章主要是工程材料介绍,第8、9章是综合及应用。掌握本书内容和章节之间的逻辑关系,有利于更好地学习本书内容。

通过实验、实习、设计及工厂调研等实践性教学环节,能加深对课程内容的理解,通过本课程及后续课程的学习,反复地实践和认识,才能逐步掌握好工程材料及成形技术的知识,为将来实际工作打下坚实的基础,为机械工业的振兴与发展做出贡献。

本书与作者在高等教育出版社出版的《机械制造基础》(第2版,2009年)冷加工内容、《机械制造工艺与专用夹具设计指导书》(2014年)为系列教材,主要用于机械类专业教学;作者在机械工业出版社出版的《机械制造技术》(2012年)与上述《机械制造工艺与专用夹具设计指导书》(2014年)组成系列,主要用于近、非机械类专业教学。各类学校、不同专业在应用本教材时,可以根据需要对内容进行取舍。本书的有些章节,可以和实践环节穿插进行。

# 第1章 概 论

## 1.1 材料的重要地位与作用

材料是人类赖以生存的物质基础,人类最早使用的材料是石头、泥土、树枝、兽皮等天然材料。由于火的使用,人类发明了陶器、瓷器,其后又发明了青铜器、铁器。因此,历史学家常根据材料的使用,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。人类文明的发展史,相当于一部学习利用材料、制造材料、创新材料的历史,材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的标志。如今,人类已经跨入可根据需要设计材料、合成材料的新时代。金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

在人类的发展史上,中华民族为材料的发展和应用做出了重大的贡献。早在新石器时代(公元前6000—公元前5000年)的磁山(河北省)、裴李岗(河南省)文化时期,中华民族的先人们用黏土烧制成陶器(图1-1)。在东汉时期发明了瓷器(图1-2),成为最早生产瓷器的国家。



图1-1 陶器

我国劳动人民还创造了灿烂的青铜文化。我国青铜的冶炼在夏朝以前就开始了,到殷、西周时期已发展到很高的水平。青铜主要用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达832 kg,外形尺寸为1.33 m×0.79 m×1.12 m,是迄今世界上最古老的大型青铜器(图1-3),制造时采用了精湛的铸造技术,在泥模塑造、陶范翻制、合范、熔炼、浇注等铸造全过程中,充分体现了中国古代劳动人民的聪明才智和高超技艺。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑,长0.557 m,宽0.046 m,保存完好,基本上没有腐蚀,金光闪闪,锋利异常,剑体满饰了菱形花纹,剑上铭刻八字“越王勾践,自作用剑”,是我国青铜器的杰作(图1-4)。从湖北隋县出土的战国青铜编钟共计64枚,分3层悬挂,造型



图 1-2 瓷器

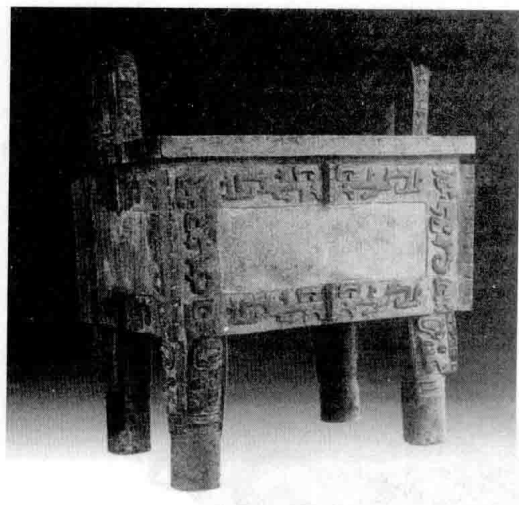


图 1-3 司母戊鼎

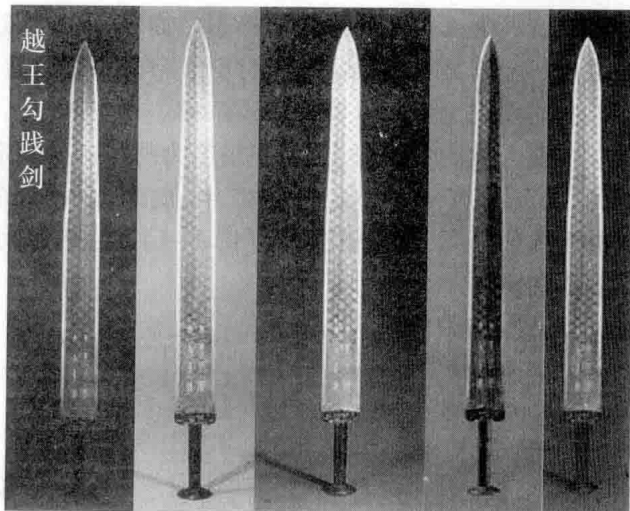


图 1-4 越王勾践剑

壮观,音频准确,铸造精美,音律齐全,音域宽广,音色和美,乐律铭文珍贵,是我国古代文化艺术高度发达的见证(图 1-5)。

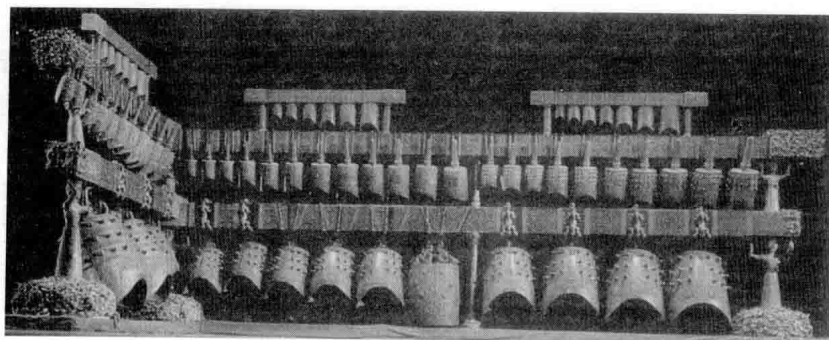


图 1-5 编钟

我国从春秋战国时期开始大量使用铁器,明朝科学家宋应星在其所著的《天工开物》一书中就记载了古代的渗碳热处理等工艺,这说明早在欧洲工业革命之前,我国在金属材料及热处理方面就已经有了较高的成就。新中国成立后,我国先后建起了鞍山、攀枝花、宝钢集团等大型钢铁基地,钢产量由 1949 年的 15.8 万吨上升到现在的一亿吨,成为世界钢产量大国之一。原子弹、氢弹的爆炸,卫星、飞船的上天等都说明了我国在材料大开发、研究及应用等方面有了飞跃的发展,并达到了一定的水平。我国的载人飞船已成功飞行(图 1-6),探月卫星也成功发射(图 1-7),航空航天事业的迅速发展,带动了航天材料的发展。

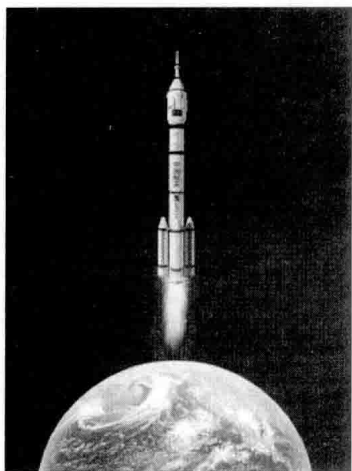


图 1-6 “神舟”十号

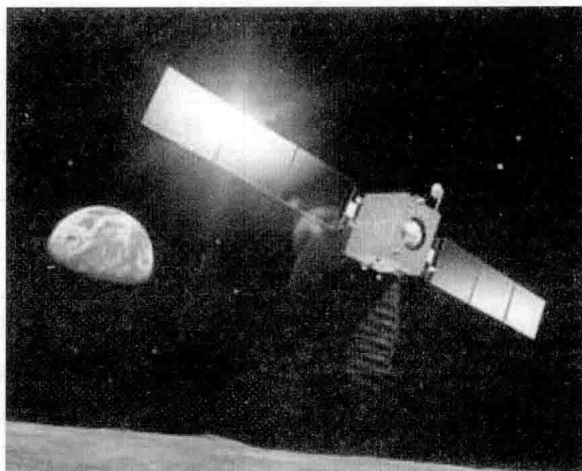


图 1-7 探月卫星“嫦娥二号”

在现代社会生产中,材料、能源和信息是三大支柱,而能源和信息的发展又依赖于材料的进步。因此,世界各国都把对材料的研究开发放在突出的位置。新材料对高科技和新技术具有非常关键的作用,掌握新材料是一个国家在科技上处于领先地位的标志之一,没有新材料,也就没有发展高科技的物质基础。例如:没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;没有高温高强度的结构材料,就不可能有今天的航空工业和宇航工业;没有低消耗的光导纤维,就没有现代的光纤通信。进入 21 世纪,重视新型金属材料的研发,开发非晶合金材料,发展在分子水平上设计高分子材料的技术,继续发掘复合材料和半导体硅材料的潜在价值,大力发展纳米材料、信息材料、智能材料、生物材料和高性能陶瓷材料等,成为新型工程材料的发展趋势。

## 1.2 材料的分类

世界各国对材料的分类各不相同,现代工程材料的分类更是千差万别。按照材料的使用性能,可以将材料分为结构材料、功能材料、生物材料、智能材料、生态环境材料、信息功能材料等;按照材料的维度,可以将材料分为三维块体材料、二维薄膜材料、一维纤维材料和零维纳米材料等;按照组成材料的尺度,可将材料分为毫米级材料、微米级材料、纳米级材料、分子和原子级材料等。

按照传统的分类方法,一般将工程材料分为金属材料、无机非金属材料(陶瓷)、高分子

材料和复合材料四个大类,如表 1-1 所示。

表 1-1 工程材料分类

工程材料	金属材料	黑色金属	钢:碳素钢、合金钢、特殊性能钢等
			铸铁:白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁等
		有色金属	铜及其合金:纯铜、黄铜、青铜、白铜
			铝及其合金:纯铝、变形铝合金、铸造铝合金
	其他:轴承合金、镁合金、钛合金、镍合金		
	高分子材料	纤维	天然纤维、合成纤维
		橡胶	通用橡胶、特种橡胶
		塑料	通用塑料、工程塑料、特种塑料、黏结剂
	无机非金属材料	水泥	
		玻璃	
		耐火材料	
		陶瓷	传统陶瓷、特种陶瓷
	复合材料	树脂基	颗粒增强、纤维增强、晶须增强、编织结构增强
金属基		颗粒增强、纤维增强、晶须增强、编织结构增强	
陶瓷基		颗粒增强、纤维增强、晶须增强、编织结构增强	

材料种类不同,不仅用途不同,性能差异巨大,而且制造工艺与材料成形技术也各不相同,但是不管哪种材料,它们在各自的应用领域都起着十分重要的作用。目前,机械工业生产中应用最广的是金属材料,尤其是钢铁材料,仍占首要地位。

金属材料常指工业上所使用的金属或合金的总称。对纯金属而言,自然界中目前存在的大约有 70 种,常见的金属有铁、铜、锌、铅、锡、镁、镍、钼、钛、金、银等。合金是指由两种以上的金属、金属与非金属结合而成的,且具有金属性质的材料。常见的合金有铁与碳形成的碳素钢、铜与锌所组成的黄铜等。

金属及合金具有下列共同的特性:① 固体状态下具有晶体结构;② 具有独特的金属光泽且不透明;③ 是电和热的良导体;④ 强度高。

金属材料包括钢铁、有色金属及其合金,由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及加工工艺性能,并能采用比较简单和经济的方法制成零件,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

无机非金属材料主要指水泥、玻璃、陶瓷材料和耐火材料等。它们不可燃,不老化,而且硬度高,耐压性能良好,耐热性和化学稳定性高,且原料丰富,在电力、建筑、机械等行业中有广泛的应用。

高分子材料指塑料、橡胶等以高分子化合物为主要组分的材料,它的突出特点是相对分子质量非常大,通常在  $10^4$  以上。因其具有原料丰富、成本低、加工方便等优点,发展极其迅速,在各个领域中得到广泛应用。塑料具有密度小、比强度高、耐腐蚀、电绝缘性好、耐磨和

自润滑性好以及透光、隔热、消声、吸振等优点,但强度低、耐热性差,容易蠕变和老化。橡胶具有高弹性,在外力作用下可产生很大的变形,外力去除后能恢复原状,在多次弯曲、拉伸、剪切过程中不容易受到损伤。此外,橡胶还具有不透水、不透气、耐酸碱、绝缘等一系列可贵的性能。

复合材料是由两种以上物理、化学性质不同的物质经人工合成的多相材料。复合材料的组成包括基体和增强材料两个部分。复合材料范围广,品种多,性能优异,有很大的发展前途,其应用领域在迅速扩大,品种、数量和质量都有了飞速发展。

### 1.3 金属材料的发展

人类早在 6000 年以前就发明了金属冶炼,约公元前 4000 年,古埃及人便掌握了炼铜技术。我国青铜冶炼约始于公元前 2000 年(夏代早期)。古埃及在 5000 年以前,就用含镍 7.5% 的陨石铁做成铁球。我国春秋战国时期已经大量使用铁器。铸铁的发展经历了 5000 年的漫长岁月,只是到了瓦特发明蒸汽机以后,由于在铁轨、铸铁管制造中的大量应用,才走上工业生产的道路。15 世纪到 19 世纪,从高炉炼铁到电弧炉炼钢,逐步奠定了近代钢铁工业的基础。

金属材料具有其他材料体系不可能完全取代的独特的性质和使用性能,这是由于金属材料主要通过金属键结合而成,这种键合特点使得金属有比高分子材料高得多的模量,比陶瓷高得多的韧度、可加工性、磁性和导电性,还可以用比较简便和经济的工艺方法制成零件。正是因为具有这些特点,使得金属材料迄今为止不仅难以被快速发展的其他材料体系所替代,而且不断地推陈出新,在工程材料中占有十分重要的地位。

金属材料是一种历史悠久、发展成熟的工程材料。我国早在商朝即有青铜器出现,春秋战国时代开始使用铁器,铝合金的运用亦已有一百年的历史,就连钛合金,都已发展六十多年。随着人类文明的演进,金属材料一直扮演着重要的角色。航天飞行器、航空飞机、水中舰船、地面上的火车、钢架结构的“鸟巢”、工程机械和各类生活用品几乎都使用金属材料制造,如图 1-8 所示。因此,当前人类还处于金属器时期,人类的生存已经离不开金属材料。

#### 1. 金属材料的分类

金属材料包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。元素周期表中的金属元素分为简单金属和过渡族金属两类。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素均属于简单金属;内电子壳层未完全填满的金属属于过渡族金属。简单金属的结合键完全为金属键;过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合键,但以金属键为主。所以,以金属为主体的工程金属材料,原子间的结合键基本上为金属键,一般为金属晶体材料。

工业上把金属和其合金分为两大部分:

- (1) 黑色金属:铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金);
- (2) 有色金属:黑色金属以外的所有金属及其合金。

应用最广的是黑色金属。以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的 90% 以上。黑色金属的工程性能比较优越,价格也比较低,是最重要的工程金属材料。

按照性能特点,有色金属可以分为轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、铀金属、稀土金属和碱土金属等,它们是很重要的特殊用途金属。



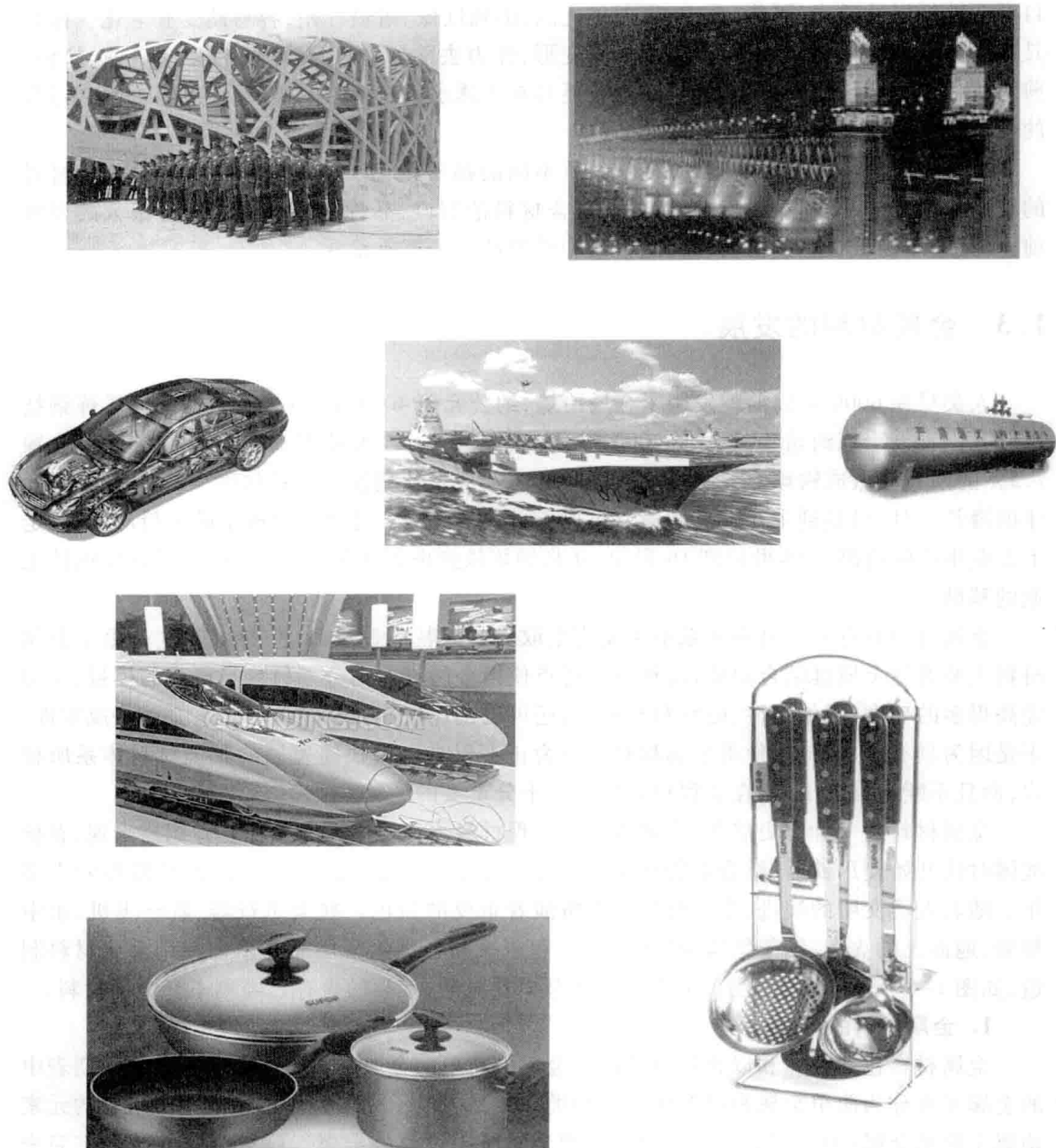


图 1-8 金属材料的各种用途

## 2. 金属材料的性能简介

金属材料的性能决定着材料的适用范围及应用的合理性。金属材料的性能主要分为四个方面：力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能。

### (1) 力学性能

金属在一定温度条件下承受外力(载荷)作用时,抵抗变形和断裂的能力称为金属材料的力学性能。金属材料承受的载荷有多种形式,可以是静态载荷,也可以是动态载荷,包括