

机械工程材料

● 主编 陈文凤

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械工程材料

主编 陈文凤

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是为了适应高等教育发展的需要而编写的机电一体化、数控技术规划教材之一。全书共分 11 章,系统地介绍了金属的性能、纯金属与合金的晶体结构、纯金属与合金的结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金、金属材料表面处理简介、高分子材料及其他非金属材料等方面的知识。本书采用国家最新标准,突出实践性、实用性和先进性。

本书既可作为高等院校数控技术应用专业、机电一体化专业、模具设计与制造、机械制造及自动化专业或相关专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员的参考用书及企业培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/陈文凤主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5682-4644-6

I. ①机… II. ①陈… III. ①机械制造材料-高等学校-教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 196019 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 294 千字

版 次 / 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 张旭莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

—图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

高等教育是以培养社会急需的实用技能型人才，为本地区经济建设和社会发展需求服务为目的的，高校毕业生不但要具备一定的专业理论知识，更要具备过硬的实践动手能力。机电专业是机械和电子两个专业方向有机结合的一个新兴专业。近年来传统机械行业与电子电气、自动控制、计算机等技术的相互融合不仅催生了机电专业并使其得到日新月异的发展，中国作为全球最大的制造业基地对机电专业技术人才的需求持续升温。所有这些在为高等院校机电专业的发展提供了机遇的同时也对高等院校机电教师的专业素质提出了很高的要求。

为了加强对高校学生实践动手能力的培养，各级教育主管部门都在积极推进以就业为导向、以技能为核心的高等教育课程改革；各高等院校也在积极探索各种课程改革措施，并通过实践总结出很多行之有效的课改措施，如近年来在机电专业教学中被广泛推崇的模块化教学、一体化教学等。

基于以上实际情况并根据高等院校金属材料及热处理课程在机电一体化、数控技术等专业知识总框架中所处的地位及教学基本要求，同时结合机电一体化、数控技术等专业的发展需求，我们在编写过程中更加重视了案例和生产实践经验的作用，新的教学法的引入以及更为实用的知识结构，力求做到“让学生能轻松学习，让教师轻松教学”的“双轻松”，同时本书紧扣新的教学理念，努力做到“紧跟课改、理念先进、内容实用、教师好教、学生爱学”的编写宗旨，面向生产，面向岗位，为培养社会生产型人才尽微薄之力。

本书共分 11 章，全面细致地介绍了金属的性能、纯金属与合金的晶体结构、纯金属与合金的结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金相图与碳素钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金、金属材料的表面处理、高分子材料及其他非金属材料等内容。

本书在修订过程中力求体现如下特点：

1. 突出实践的因素。如在每章加入生产实践经验，让学生更加明确对于该章节内容的学习目的；让教师的教学过程更加生动活泼，更具趣味性，也更能突出教学重点；
2. 每章均有与该章内容息息相关的案例作为教学前导，引导学生的学习兴趣和目标；
3. 每章均配有练习题和思考题，以供学生复习巩固该章所学知识，方便教师检查教学成果。

本书既可作为高等院校数控技术专业、机电一体化专业、机械制造与自动化专业、模具设计与制造专业等相关专业的教学用书，也可作为相关工程技术人员的参考用书以及企业培

训教材。

参加本书编写的有陈文凤（第2章、第3章、第4章、第5章、第7章、第10章）、莫微君（绪论、第1章、实验）、姜慧芳（第6章）、刘跃鹏（第8章、第9章）、王卫红（第11章），由陈文凤担任主编。

限于编者水平有限，本书难免在内容上有欠缺和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	3
第 1 章 金属的性能	7
1.1 金属的物理性能和化学性能	8
1.2 金属的力学性能	12
1.3 金属的工艺性能	23
本章小结	25
思考题	25
习题	26
第 2 章 纯金属与合金的晶体结构	27
2.1 纯金属的晶体结构	28
2.2 合金的晶体结构	31
本章小结	33
思考题	34
习题	34
第 3 章 纯金属与合金的结晶	35
3.1 纯金属的结晶	36
3.2 合金的结晶	39
本章小结	42
思考题	42
习题	42
第 4 章 金属的塑性变形与再结晶	43
4.1 金属的塑性变形	44
4.2 冷塑性变形对金属性能与组织的影响	46
4.3 回复与再结晶	48
4.4 金属的热塑性变形	49
本章小结	51
思考题	51
习题	51
第 5 章 铁碳合金相图与碳素钢	53
5.1 铁碳合金的组织	54
5.2 铁碳合金相图	57

5.3 碳素钢	66
本章小结	72
思考题	72
习题	72
第6章 钢的热处理	73
6.1 概述	74
6.2 钢在加热时的转变	75
6.3 钢在冷却时的转变	77
6.4 退火与正火	83
6.5 淬火	85
6.6 回火	91
6.7 表面淬火	93
6.8 化学热处理	95
6.9 热处理新工艺简介	100
6.10 零件的热处理	101
本章小结	104
思考题	104
习题	104
第7章 合金钢	107
7.1 合金元素在钢中的主要作用	108
7.2 合金钢的分类和牌号	109
7.3 合金结构钢	110
7.4 合金工具钢	115
7.5 特殊性能钢	118
本章小结	121
思考题	121
习题	121
第8章 铸铁	123
8.1 铸铁的石墨化	124
8.2 灰铸铁	125
8.3 可锻铸铁	128
8.4 球墨铸铁	129
8.5 其他铸铁	131
本章小结	133
思考题	134
习题	134
第9章 有色金属及硬质合金	135
9.1 铜及其合金	136



9.2 铝及其合金	141
9.3 钛及钛合金	144
9.4 轴承合金	146
9.5 硬质合金	148
本章小结	150
思考题	150
习题	150
第 10 章 金属材料的表面处理	153
10.1 金属表面强化处理	154
10.2 金属表面防腐处理	155
10.3 金属表面装饰处理	156
本章小结	158
思考题	158
习题	158
第 11 章 高分子材料及其他非金属材料	159
11.1 高分子化合物的基本知识	160
11.2 高分子材料	162
11.3 陶瓷材料	168
11.4 复合材料	169
本章小结	171
思考题	171
习题	171
实验	173
附录	186
参考文献	192

本门课程对应岗位:

工程材料是机械类或近机械类各专业学生必修的技术基础课。本课程的任务是使学生获得有关工程材料的基本理论和基本知识;掌握常用工程材料成分——加工工艺——组织——性能——应用之间关系的一般规律;熟悉常用工程材料;具有根据机械零件的工作条件和失效形式,合理选用工程材料的初步能力。本书既可作为职业技术学院数控技术专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业以及相关专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员的参考用书及企业培训教材。

岗位需求知识点:

1. 掌握工程材料的性能、典型组织和结构的基本概念。
2. 掌握工程材料的成分、组织结构变化对性能的影响。
3. 掌握热处理的基本类型及简单热处理工艺的制定。
4. 掌握合金钢的种类、牌号、热处理特点及应用。
5. 掌握铸铁的种类、牌号、热处理特点及应用。
6. 了解有色金属及硬质合金的种类、牌号及应用。
7. 了解工程材料的表面处理。
8. 了解高分子材料及其他非金属材料的种类、性能及应用。



绪论

【本章知识点】

1. 材料的发展简史及工程材料的概念。
2. 工程材料的分类。
3. 学习本课程的目的、要求和方法。

材料是人类生产和生活所必需的物质基础。从日常生活用具到高、精、尖的产品，从简单的手工工具到技术复杂的航天器、机器人，都是由不同种类、不同性能的材料加工成的零件组合装配而成。每一种新材料的出现和使用，都使社会生产和生活发生重大的变化，并推动着人类文明的进步。

目前，人们把信息、材料、能源和生物工程称为现代技术的四大支柱，而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步。因此，许多国家都把材料科学作为重点发展学科之一，使之成为新技术革命提供坚实的基础。

1. 材料的发展史

人们对材料的认识是逐步深入的。1863年第一台金相光学显微镜问世，促进了金相学的研究，使人们步入材料的微观世界。1912年发现了X射线，开始了晶体微观结构的研究。1932年发明的电子显微镜以及后来出现的各种先进的分析工具，把人们带到了微观世界的更深层次。一些与材料有关的基础学科（如固体物理、量子力学、化学等）的发展，又有力地推动了材料研究的深化。所以，材料科学是研究材料的化学组成和微观结构与材料性能之间关系的一门科学。同时它还研究制取材料和使用材料的有关课题。

我国的金属材料发展史可追溯至史前。早在4000年前，我国就开始使用青铜，例如殷商祭器后母戊大方鼎，其体积庞大，鼎重875 kg，花纹精巧，造型精美。这充分说明了远在商代（前1562—前1066年），我国就有了高度发达的青铜冶炼技术。在春秋时期，我国发明了冶铁技术，开始用铸铁作农具，这比欧洲早1800多年。明代科学家宋应星所著《天工开物》一书，内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一，充分反映了我国劳动人民在材料及金属加工方面的卓越成就。

近数十年来，金属材料等工程材料，已成为生产和现代科学技术发展的重要物质基础。例如在能源开发方面，深井和海上钻井以及核反应堆，都和现代材料密切相关；在建筑业，摩天大楼和高速公路中都可看到现代金属材料的应用；在生物医药领域，金属材料的应用，使机体修复和器官再造达到了新的水平。材料的应用已渗透到国民经济的各个领域。在许多场合，科学和技术的继续发展都依赖于金属等现代工程材料的发展。

2. 工程材料的分类

工程材料是指工程上使用的材料，其种类繁多，有许多不同的分类方法。若按用途分，可分为建筑工程材料、机械工程材料、电工材料等；若按原子聚集状态分，可分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料；若按材料的化学成分、结合键的特点分，可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是目前应用最广泛的工程材料，它包括纯金属及其合金。在工业上，把材料分为两大类：一类是黑色金属，它是指铁、锰、铬及其合金，其中以铁为基的合金（钢和铸铁）应用最广；另一类是有色金属，是指除黑色金属以外的所有金属及其合金。按照特性的不同，有色金属又分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。

非金属材料是近几十年来发展很快的工程材料，今后还会有更大的发展。非金属材料包括有机高分子材料和无机材料两大类。有机高分子材料的主要成分是碳和氢，按其应用可分为塑料、橡胶、合成纤维。无机材料是指不含碳、氢的化合物，其中以陶瓷应用最广。



材料的发展史



复合材料是一种新型的、具有很大发展前景的工程材料，它是把两种或两种以上的不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而构成的。它不仅保留了组成材料各自的优点，而且具有单一材料所没有的优异性能。

3. 课程介绍

目前，机械工业正向着高速、自动、精密化方向迅速发展，在产品设计与制造过程中，遇到材料与材料加工的问题越来越多，机械工业的发展与“工程材料”这门课程之间的关系愈加密切。本课程除解决正确选择材料的问题外，还涉及部分的加工工艺问题，尤其是热处理工艺。因此，正确地选用材料，并施以合适的热处理方法，就能充分发挥材料本身的性能潜力，显著提高产品的质量，更好地满足不同使用条件下的要求。

工程材料课是机械类各专业的技术基础课。本课程的目的是使学生了解工程材料的一般知识，了解常用材料的成分、组织、性能与加工工艺之间的关系及其用途，使学生初步具有合理选用材料、正确确定加工方法及工艺的能力。

本课程是一门理论性和实践性很强的课程，而且叙述性的内容较多。大部分学生缺乏实际生产经验和感性知识，因此讲授时应注意教学方法，尽可能列举学生能接受的生产应用实例，辅以课堂讨论，强化实验，加深学生对课程内容的理解。学生应充分运用以前学过的知识，课后及时复习，认真完成实验和课外作业，尽力消化和理解工程材料的基本理论知识，达到能初步运用的目的。



第1章

金属的性能

【本章知识点】

1. 掌握金属材料的力学性能，包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等概念及各力学性能的衡量指标。
2. 了解金属材料的工艺性能。
3. 了解金属材料的物理、化学性能。

先导案例

1912年4月10日，当时世界上最大的豪华客轮，被称为“永不沉没的船”的泰坦尼克号，开始了从英国南安普敦出发，目的地为美国纽约的“梦幻客轮”的处女航。4月14日晚11点40分，泰坦尼克号在北大西洋撞上冰山，两小时四十分钟后沉没。由于缺少足够的救生艇，1500人葬身海底，造成了当时最严重的一次航海事故，也是迄今为止最为人所知的一次海难。若当时造船使用材料的性能能达到现代高科技时代材料性能水平，这次事故是否可以避免呢？

金属材料是现代机械制造业的基本材料，广泛应用于制造各种生产设备、工具、武器和生活用具。金属材料之所以获得广泛的应用，是由于它具有许多良好的性能。

金属的性能可分为物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能等。

物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

化学性能表现为材料在室温、高温下抵抗各种化学作用的性能，如耐腐蚀性等。

力学性能是指材料在受力作用时所表现出来的各种性能。它们是通过一系列标准试验来测定的。

工艺性能即材料对某种加工工艺的适应性，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

1.1 金属的物理性能和化学性能

1.1.1 金属的物理性能

1. 密度

某种物质单位体积的质量称为该物质的密度。金属的密度即是单位体积金属的质量。密度的表达式如下：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——物质的密度，(kg/m³)；

m ——物质的质量，(kg)；

V ——物质的体积，(m³)。

密度是金属材料的特性之一，不同金属材料的密度是不同的。在体积相同的情况下，金属材料的密度越大，其质量也就越大。金属材料的密度，直接关系到由它所制成设备的自重和效能。



常用金属的密度如表 1-1 所示。一般将密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 ρ (20°C) / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	熔点/ $^\circ\text{C}$	热导率 λ / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	线胀系数 α_t ($0 \sim 100^\circ\text{C}$) / ($10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	电阻率 ρ (0°C) / ($10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$)
银	Ag	10.49×10^3	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96×10^3	1 083	393.5	17	1.67 (20°C)
铝	Al	2.7×10^3	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74×10^3	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3×10^3	3 380	166.2	4.6 (20°C)	5.1
镍	Ni	8.9×10^3	1 453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87×10^3	1 538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3×10^3	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19×10^3	1 903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508×10^3	1 677	15.1	8.2	42.1~47.8
锰	Mn	7.43×10^3	1 244	4.98 (-192°C)	37	185 (20°C)

利用密度公式可以计算大型零件的质量，测量金属的密度可以鉴别金属和确定某些金属铸件的致密程度。

例：有一块质量为 $5 \times 10^{-2} \text{ kg}$ 的形似黄金的金属，投入盛有 $125 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 水的量筒中，水面升高到 $128 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 的地方，问这块金属是纯金的吗（金的密度为 $19.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）？

解：已知：金属的质量 $m = 5 \times 10^{-2} \text{ kg}$

金属的体积 $V = 128 \times 10^{-6} \text{ m}^3 - 125 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

代入公式 (1.1) $\rho = \frac{5 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-6}} = 16.7 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

求得此金属的密度与黄金的密度不符，故知这块金属不是纯金。

2. 熔点

金属和合金从固态向液态转变时的温度称为熔点。金属都有固定的熔点。常用金属的熔点如表 1-1 所示。

合金的熔点取决于它的成分，例如钢和生铁虽然都是铁和碳的合金，但由于含碳量不同，熔点也不同。熔点是金属和合金的冶炼、铸造、焊接等生产过程的重要工艺参数。

熔点高的金属称为难熔金属（如钨、钼、钒等）。可以用来制造耐高温零件，如在火