



21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材
数控技术

机械

工程材料

■ 主编 陈文凤

Jixie
gongcheng cailiao

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

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

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职业技术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、金属材料的表面处理简介、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。

本书既可作为职业技术教育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, 2006. 8
ISBN 7-5640-0767-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 090808 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 11.25

字 数 / 216 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 18.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空
间，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级，各行业对高素质技能人才的需求不断上升。经济的迅猛发展要求职业技术教育迅速培养一大批具有必备的理论知识、专业知识、创业精神和良好的职业道德，面向生产、建设、服务、管理第一线，从事机电一体化技术、数控技术等专业领域的具有综合职业能力的高等技术应用型人才。

旨在配合高等职业技术教育的发展，加强机电一体化和数控技术应用型人才的培养，北京理工大学出版社组织具有丰富教学经验及具备企业实践经验的骨干教师编写了本书。

本书共分为 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及高分子材料及其它非金属材料等内容。

本书是根据高等职业技术学院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结构总框架中所处的地位及教学基本要求，并结合机电一体化、数控技术等专业的发展需求编写的。本教材保持了行业针对性强和注重实用性的特点，采用了国家最新标准、法定计量单位、最新名词及术语，突出了理论和实践的结合，以够用为度、实用为本、应用为主，努力体现创新精神和实践能力的培养，形成了一个新的特色教材。

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和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。

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

本书在编写过程中，得到了江苏联合职业技术学院无锡机电分院、无锡机电高等职业技术学院领导的大力支持，编者在此表示衷心的感谢。

限于时间、篇幅及编者的业务水平，在内容上难免有缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

绪论	(1)
第1章 金属的性能	(3)
1.1 金属的物理性能和化学性能	(3)
1.1.1 金属的物理性能	(3)
1.1.2 金属的化学性能	(6)
1.2 金属的力学性能	(7)
1.2.1 强度	(8)
1.2.2 塑性	(11)
1.2.3 硬度	(12)
1.2.4 韧性	(15)
1.2.5 疲劳强度	(18)
1.3 金属的工艺性能	(20)
习题	(21)
第2章 纯金属与合金的晶体结构	(22)
2.1 纯金属的晶体结构	(22)
2.1.1 晶体结构	(22)
2.1.2 常见的晶格类型	(23)
2.1.3 金属晶体结构的缺陷	(24)
2.2 合金的晶体结构	(25)
2.2.1 合金的基本概念	(25)
2.2.2 合金的结构	(26)
习题	(27)

第3章 纯金属与合金的结晶	(28)
3.1 纯金属的结晶	(28)
3.1.1 纯金属的冷却曲线及过冷度	(28)
3.1.2 纯金属的结晶过程	(28)
3.1.3 晶粒大小对金属力学性能的影响	(29)
3.2 合金的结晶	(30)
3.2.1 二元合金相图的建立	(31)
3.2.2 铅铋二元合金相图分析	(31)
习题	(33)
第4章 金属的塑性变形与再结晶	(34)
4.1 金属的塑性变形	(34)
4.1.1 单晶体的塑性变形	(34)
4.1.2 多晶体的塑性变形	(35)
4.2 冷塑性变形对金属性能与组织的影响	(36)
4.3 回复与再结晶	(38)
4.3.1 回复	(38)
4.3.2 再结晶	(39)
4.3.3 晶粒长大	(39)
4.4 金属的热塑性变形	(39)
4.4.1 热加工与冷加工的区别	(39)
4.4.2 热加工对金属组织和性能的影响	(40)
习题	(41)
第5章 铁碳合金相图与碳素钢	(42)
5.1 铁碳合金的组织	(42)
5.1.1 纯铁的同素异构转变	(42)
5.1.2 铁碳合金的基本相	(43)
5.2 铁碳合金相图	(45)
5.2.1 Fe - Fe ₃ C 相图分析	(46)
5.2.2 铁碳合金的分类	(47)
5.2.3 典型铁碳合金的结晶过程	(47)
5.2.4 含碳量对钢组织和性能的影响	(52)

5.2.5	Fe - Fe ₃ C 相图的应用	(53)
5.3	碳素钢	(54)
5.3.1	常存元素对钢性能的影响	(54)
5.3.2	碳素钢的分类	(55)
5.3.3	碳素钢的牌号及用途	(56)
	习题	(60)
第6章	钢的热处理	(61)
6.1	概述	(61)
6.2	钢在加热时的转变	(62)
6.2.1	钢在加热时的组织转变	(62)
6.2.2	奥氏体晶粒长大	(63)
6.2.3	加热时常见的缺陷	(64)
6.3	钢在冷却时的转变	(64)
6.3.1	过冷奥氏体等温转变	(65)
6.3.2	过冷奥氏体连续冷却与 C 曲线的关系	(67)
6.3.3	过冷奥氏体冷却转变后的组织及性能	(68)
6.4	退火与正火	(71)
6.4.1	退火和正火的目的	(71)
6.4.2	退火和正火工艺及应用	(72)
6.5	淬火	(74)
6.5.1	淬火加热温度的选择	(74)
6.5.2	淬火冷却介质	(75)
6.5.3	淬火方法	(76)
6.5.4	淬硬性与淬透性	(77)
6.5.5	淬火缺陷	(79)
6.6	回火	(80)
6.6.1	回火目的	(80)
6.6.2	回火对钢性能的影响	(80)
6.6.3	回火时钢的组织变化	(81)
6.6.4	回火温度	(81)
6.7	表面淬火	(82)
6.7.1	火焰加热表面淬火	(83)
6.7.2	感应加热表面淬火	(83)

6.8	化学热处理	(85)
6.8.1	渗碳	(85)
6.8.2	渗氮(氮化)	(88)
6.8.3	碳氮共渗	(89)
6.8.4	其他化学热处理	(90)
	习题	(90)
第7章	合金钢	(91)
7.1	合金元素在钢中的主要作用	(91)
7.2	合金钢的分类和牌号	(92)
7.2.1	合金钢的分类	(92)
7.2.2	合金钢的牌号	(93)
7.3	合金结构钢	(94)
7.3.1	低合金结构钢	(94)
7.3.2	合金渗碳钢	(95)
7.3.3	合金调质钢	(96)
7.3.4	合金弹簧钢	(98)
7.3.5	滚动轴承钢	(99)
7.4	合金工具钢	(99)
7.4.1	合金刀具钢	(100)
7.4.2	合金模具钢	(102)
7.4.3	合金量具钢	(103)
7.5	特殊性能钢	(103)
7.5.1	不锈钢	(103)
7.5.2	耐热钢	(104)
7.5.3	耐磨钢	(104)
	习题	(105)
第8章	铸铁	(106)
8.1	铸铁的石墨化	(107)
8.1.1	化学成分的影响	(107)
8.1.2	冷却速度的影响	(107)
8.2	灰铸铁	(108)
8.2.1	灰铸铁的组织与性能	(108)

8.2.2	灰铸铁的孕育处理	(109)
8.2.3	灰铸铁的牌号及应用	(109)
8.2.4	灰铸铁的热处理	(109)
8.3	可锻铸铁	(110)
8.3.1	可锻铸铁的组织与性能	(110)
8.3.2	可锻铸铁的牌号及用途	(111)
8.4	球墨铸铁	(112)
8.4.1	球墨铸铁的组织与性能	(112)
8.4.2	球墨铸铁的牌号、性能特点及用途	(112)
8.4.3	球墨铸铁的热处理	(113)
8.5	其他铸铁	(114)
8.5.1	蠕墨铸铁	(114)
8.5.2	合金铸铁	(115)
	习题	(116)
第9章	有色金属及硬质合金	(117)
9.1	铜及其合金	(117)
9.1.1	铜	(117)
9.1.2	铜合金	(118)
9.2	铝及其合金	(122)
9.2.1	铝	(122)
9.2.2	铝合金	(123)
9.2.3	铝合金的热处理	(125)
9.3	钛及钛合金	(125)
9.3.1	钛	(126)
9.3.2	钛合金	(126)
9.4	轴承合金	(127)
9.4.1	锡基轴承合金 (锡基巴氏合金)	(127)
9.4.2	铅基轴承合金 (铅基巴氏合金)	(128)
9.4.3	铝基轴承合金	(129)
9.5	硬质合金	(129)
9.5.1	硬质合金的性能特点	(129)
9.5.2	常用的硬质合金	(130)
	习题	(131)

第 10 章 金属材料的表面处理简介	(132)
10.1 金属表面强化处理	(132)
10.2 金属表面防腐处理	(133)
10.2.1 金属的腐蚀	(133)
10.2.2 金属腐蚀的防护方法	(133)
10.3 金属表面装饰处理	(134)
习题	(135)
第 11 章 高分子材料及其他非金属材料	(136)
11.1 高分子化合物的基本知识	(136)
11.1.1 高分子化合物(高聚物)的含义	(136)
11.1.2 高分子化合物的合成	(137)
11.1.3 高分子化合物的分类	(137)
11.1.4 高分子材料的老化与防老化	(138)
11.2 高分子材料	(138)
11.2.1 塑料	(138)
11.2.2 橡胶	(141)
11.2.3 纤维	(143)
11.2.4 胶粘剂	(143)
11.3 陶瓷材料	(145)
11.3.1 陶瓷的分类与性能	(145)
11.3.2 常用陶瓷的种类及应用	(145)
11.4 复合材料	(146)
11.4.1 复合材料的概念和性能特点	(146)
11.4.2 复合材料的分类	(146)
11.4.3 常用复合材料简介	(146)
习题	(147)
实验	(148)
附录	(161)

绪 论

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。材料的利用情况标志着人类文明的发展水平。

20世纪70年代，人们把材料、能源、信息称为现代技术的三大支柱，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

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，例如殷商祭器司母戊大方鼎，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，这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。毫无疑问，材料的重要性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 and 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，而无机材料是指不含碳、氢的化合物，其中以陶瓷应用最广。

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料，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，遇到的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。课程教学本身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

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/m^3)；

m ——物质的质量 (kg)；

V ——物质的体积 (m^3)。

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（重量）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/°C	热导率 λ / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	线胀系数 α_t (0 ~ 100 °C) / ($10^{-6} \cdot \text{°C}^{-1}$)	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	8.90×10^3	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。

合金的熔点决定于它的成分，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。熔点对于金属和合金的冶炼、铸造、焊接是重要的工艺参数。