



21世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

工程材料及应用

(第二版)

周凤云 主编
毛志远 主审

华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com



21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

工程材料及应用

(第二版)

主 编 周风云
主 审 毛志远
副主编 杨可传

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及应用(第二版)/周风云 主编
武汉:华中科技大学出版社,2002年11月
ISBN 7-5609-2012-8

I. 工…

II. ①周… ②杨…

III. 工程材料-应用-高等学校-教材

IV. TH14

21 世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业系列教材

工程材料及应用(第二版)

周风云 主编

责任编辑:徐正达 胡 艳

封面设计:潘 群

责任校对:蔡晓瑚

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:武汉大学出版社印刷总厂

开本:787×1092 1/16

印张:22.75

字数:450 000

版次:2002年11月第2版

印次:2004年9月第7次印刷

定价:26.80 元

ISBN 7-5609-2012-8/TH·105

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书在论述一般工程材料的原子键、晶体结构、凝固状态、相图相变、热处理原理和塑性变形等材料科学基本理论的基础上,系统地分析了常用的金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料的化学成分、组织结构、工艺方法、性能特点及其相互关系,列举了各类材料的应用实例,阐明了机械零件主要的失效形式、机械设计中的选材思路与选材的重要性,较全面地介绍了材料表面改性的新技术与新方法,提出了材料质量鉴别的重要性及基本鉴别方法。

全书共分 14 章,每章后还附有相应的思考与练习题,以便读者复习与巩固所学知识。本书可作为普通高等院校机械类或与机械类相关专业的教学用书及对应专业成人高等教育的教学用书,也可作为一般从事机械、船舶、车辆、动力、电力等装置设计、制造及质量控制方面的工程技术人员参考用书。

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问: 姚福生 (工程院院士) 黄文虎 (工程院院士) 张启先 (工程院院士)
谢友柏 (工程院院士) 宋玉泉 (科学院院士) 艾 兴 (工程院院士)
熊有伦 (科学院院士)

主任: 杨叔子 (科学院院士) 周 济 (工程院院士)

委员: (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王明智	毛志远	左武炘	卢文祥
朱承高	师汉民	刘太林	李培根	吴昌林
吴宗泽	何玉林	陈康宁	陈心昭	张春林
张福润	张 策	张健民	冷增祥	范华汉
周祖德	洪迈生	姜 楷	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴 同

秘书: 钟小珉 徐正达

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》”。这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效拓宽专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”，就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应，才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步，就得进一步明确指导思想，进一步合适地拓宽专业口径与专业基础，构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构，就得因史制宜、因地制宜、因势制宜，努力实现培养模式的多样化，切忌“千篇一律”、“千人一脸”，万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想，体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心，以机械技术与信息技术结合为龙头，以计算机辅助技术为主线，拓宽基础，强化实践”的总体改革思路，并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则，对课程的内容、体系进行了诸多重要改革，而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则，对原机械专业三门主要专业课（机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具）实行了整合和改造，编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程，将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程，减少了重复，拓宽了基础，突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系，不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合，也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线，重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构，在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化，在教学手段上全面引入多媒体技术，提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》，除紧密结合现代科技成就，讲解金属材料的基本理论及应用外，还讲解了其它各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》，加强了与信息获取、传输、存储、处理及应用有关的内容，并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》，精简了内容，强化了应用，并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上，较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有九本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有五本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“婴其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

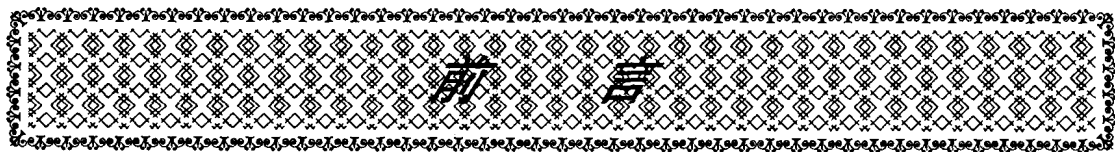
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 6 月 6 日

杨叔子



本书是根据“工程制图与机械基础面向 21 世纪课程体系及教学内容改革”教育部重大课题要求而编写的系列教材之一。

众所周知,材料、能源、信息是当今世界发展科技和生产力的三大支柱。而材料这一支柱又是社会经济的先导,因为任何产品的制造、任何工程的建设离开了材料,都将是无法实现的,并且它们的使用寿命又与材料品质的优劣及设计选材是否得当息息相关。此外,随着现代高科技的迅速发展,材料的品种、类型及应用不断创新,在工程领域中,除采用金属材料外,非金属材料、复合材料的应用也日趋广泛。这就要求从事工程技术工作的人员必须较全面地掌握材料科学的基本理论及材料的分类、应用、改性等相关知识。

基于上述原因,也为了推进教学改革,适应 21 世纪“知识经济”时代的需要及高等学校人才培养目标的需要,编者根据多年的教学实践,并参考了近年来国内外有关的教材及文献,编写了这本书,以指导机械类与近机类专业的学生对“工程材料学”、“金属材料及热处理”课程的学习,并为后续“材料加工成形”、“机械零件”、“机械设计制造”等课程的学习打下基础。

本书自 1999 年第一版出版以来,已重印过两次。现利用再版的机会,编者根据已征集的部分读者(包括授课教师、学生及同行资深专家)的意见,对第一版作了必要的修改与订正:删去了某些叙述累赘的内容;严格了同一概念在书中前后的表达;在绪论中引入了当今人们颇为关注的纳米材料简介;为强化读者的材料质量意识与社会责任感,新增了第十四章“材料的显微组织鉴别”,编入了与全书内容相通的实验三个;还补充和调整了每章的思考与练习题。

本书的特点如下。

1. 编写思路明确。全书内容围绕一条思路,即工程材料的化学成分—组织结构—性能特点—改性方式—工程应用—产品质量控制,从而有利于读者理清头

绪,掌握课程的知识要点。

2. 内容选择适度。在阐述材料科学理论(如原子结合键、晶体结构、晶体缺陷、相图相变、热处理原理、塑性变形与强化等)的基础上,讲解了四类工程材料各自固有的特性、相互差异及应用状况,进而指明机械设计中的选材原则、选材方法以及提高材料整体与表面性能的新技术,反映了科学研究的新成果,为读者构建了材料科学的内涵与体系,保证了知识的深度与广度。

3. 理论结合实际。通过列举多组机械产品实例来讨论机械设计与用材的关系,分析选材不当引起的失效现象,为读者学会合理选材、提高机械产品质量、树立工程实践意识等作了全面的训练。

4. 叙述深入浅出。全书语言流畅,图文并茂,通俗易懂。200余幅插图的直观解疑,使读者不至感到书的内容抽象、玄奥、枯燥,有利于自学。

此外,书中给出的思考与练习题及三个不同内容的实验,不仅有利于读者理解内容重点,也有助于教学过程的组织与实施。

5. 书中计量单位统一采用SI单位制表达;材料的牌号、成分、力学性能及热处理名词、术语等都按最新(近)的国家标准予以表示及说明,其中附录B和附录C还用图表及口诀对钢的热处理工艺与组织间繁杂的关系作了简明的归纳,更便于读者记忆与理解。

全书共分14章,皆由华中科技大学教师编写。其中前言,绪论及第一、二、三、四、六、八、九、十、十一、十二、十四章及附录A、D、E由周风云编写,第五、七两章由杨可传、娄德春编写,杨可传完成了第十三章与附录B、C的编写及第四、八、十二章中部分内容的修订。全书由周风云任主编,杨可传任副主编,浙江大学毛志远教授主审。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中的错误与疏漏之处在所难免,恳请同仁及读者批评指正。

编 者

2002.5 于武汉



工程材料及应用

绪论	(1)
第一章 材料的原子结合方式及性能	(5)
第一节 固态物质的原子结合键	(5)
一、晶体与非晶体	(5)
二、原子间的结合能	(6)
三、原子结合键的类型	(6)
第二节 工程材料的分类	(9)
一、金属材料	(9)
二、高分子材料	(10)
三、陶瓷材料	(11)
四、复合材料	(11)
第三节 材料的性能	(11)
一、力学性能	(11)
二、物理化学性能	(22)
三、工艺性能	(25)
思考与练习	(26)
第二章 材料的晶体结构	(27)
第一节 晶体结构基本知识	(27)
一、晶格与晶胞	(27)
二、晶格常数与晶系	(28)
三、纯金属的晶体结构	(29)
第二节 立方晶系中的晶向与晶面	(34)
一、晶向指数的标定	(34)
二、晶面指数的标定	(34)
三、晶向及晶面的原子密度	(35)

第三节 实际金属晶体结构的特点	(37)
一、多晶体结构	(37)
二、晶体中的缺陷	(38)
思考与练习	(41)
第三章 材料的凝固与相图	(42)
第一节 概论	(42)
一、凝固与结晶	(42)
二、凝固状态的影响因素	(42)
第二节 纯金属的结晶	(43)
一、结晶时的过冷现象	(43)
二、结晶的条件	(44)
三、结晶的过程	(45)
四、结晶后的晶粒大小	(46)
第三节 合金的结晶	(50)
一、合金的相结构及性能	(50)
二、合金相图的建立	(54)
三、二元合金相图与结晶分析	(55)
四、合金性能在相图上的反映	(63)
思考与练习	(65)
第四章 铁碳合金	(66)
第一节 铁碳合金系相图	(66)
一、铁碳合金系组元的特性	(66)
二、铁碳双重相图	(67)
三、Fe-Fe ₃ C 相图的特征	(68)
第二节 铁碳合金平衡结晶过程分析	(72)
一、铁碳合金的分类	(72)
二、钢和白口铸铁的平衡结晶过程	(73)
第三节 碳对铁碳合金的影响	(81)
一、碳对室温平衡组织的影响	(81)
二、碳对力学性能的影响	(82)
第四节 碳钢	(83)
一、钢铁材料的生产过程	(83)
二、钢锭的组织及缺陷	(84)
三、碳钢的分类、牌号及应用	(85)

第五节 铸铁	(90)
一、 铸铁的石墨化过程及组织	(90)
二、 影响铸铁石墨化的因素	(91)
三、 铸铁的分类	(92)
四、 各类铸铁的特点及应用	(93)
思考与练习	(99)
第五章 钢铁热处理	(101)
第一节 钢在加热时的组织转变	(102)
一、 奥氏体的形成过程及其影响因素	(103)
二、 奥氏体晶粒度及其影响因素	(104)
第二节 钢在冷却时的组织转变	(105)
一、 过冷奥氏体的等温冷却转变图	(106)
二、 过冷奥氏体的连续冷却转变图	(113)
三、 TTT 图与 CCT 图的比较	(114)
第三节 钢的整体热处理	(114)
一、 退火	(115)
二、 正火	(116)
三、 淬火	(117)
四、 回火	(121)
五、 钢的淬透性与淬硬性	(125)
第四节 钢的表面热处理	(127)
一、 表面淬火	(127)
二、 气相沉积	(130)
第五节 钢的化学热处理	(131)
一、 概述	(131)
二、 渗碳	(131)
三、 氮化(渗氮)	(134)
四、 碳氮共渗	(135)
五、 常规表面热处理与化学热处理工艺的比较	(135)
第六节 铸铁的热处理	(136)
一、 普通灰铸铁的热处理	(136)
二、 球墨铸铁的热处理	(137)
第七节 热处理与机械零件设计制造的关系	(138)
一、 热处理对零件结构形状的要求	(138)

二、热处理对切削加工工艺的要求	(139)
三、热处理技术条件的标注	(140)
思考与练习	(143)
第六章 金属材料的塑性变形	(145)
第一节 单晶体金属的塑性变形	(145)
一、滑移变形的概念	(145)
二、滑移与切应力	(147)
三、滑移与位错的运动	(148)
第二节 多晶体金属的塑性变形	(150)
一、多晶体塑性变形的特点	(150)
二、塑性变形对金属的影响	(151)
第三节 变形后金属的加热变化	(154)
一、回复	(154)
二、再结晶	(154)
三、晶粒长大	(155)
第四节 金属的热塑性变形	(157)
一、热加工与冷加工的分	(157)
二、热加工对金属组织与性能的影响	(157)
三、材料塑性变形抗力的提高	(158)
思考与练习	(160)
第七章 合金钢	(161)
第一节 合金钢基本知识	(161)
一、合金钢的分类及编号	(161)
二、合金元素在钢中的作用	(163)
第二节 合金结构钢	(167)
一、低合金高强度结构钢	(167)
二、渗碳钢	(169)
三、调质钢	(171)
四、微合金非调质钢	(174)
五、弹簧钢	(176)
六、滚动轴承钢	(178)
七、易切削钢	(181)
八、低淬透性钢	(182)
第三节 合金工具钢	(183)
一、刃具钢	(183)

二、 模具钢	(188)
三、 新型高性能模具钢简介	(192)
四、 量具钢	(192)
第四节 特殊性能钢	(195)
一、 不锈钢	(195)
二、 耐热钢	(200)
三、 其它特殊钢	(202)
思考与练习	(204)
第八章 非铁金属材料	(206)
第一节 铝及铝合金	(206)
一、 纯铝	(206)
二、 铝合金	(207)
第二节 铜及铜合金	(217)
一、 纯铜	(217)
二、 铜合金	(218)
第三节 钛及钛合金	(223)
一、 纯钛	(223)
二、 钛合金	(225)
第四节 铸造轴承合金	(228)
一、 轴与轴瓦的配合	(228)
二、 轴承合金的性能与组织	(228)
三、 铸造轴承合金简介	(229)
思考与练习	(231)
第九章 高分子材料	(232)
第一节 高分子材料基本知识	(232)
一、 主要术语及概念	(232)
二、 高分子化合物的合成方法	(234)
三、 高分子化合物的分类及名称	(237)
第二节 高分子材料的结构	(237)
一、 大分子链的化学组成	(238)
二、 大分子链的链接方式	(238)
三、 大分子链的形态	(238)
四、 大分子链的构象	(239)
五、 大分子的聚集态结构	(240)
第三节 高分子材料的物理状态及性能	(242)

一、高聚物的三态	(242)
二、不同高聚物的三态变化	(243)
三、高聚物的基本性能	(244)
第四节 工程高分子材料	(247)
一、塑料	(247)
二、合成橡胶	(252)
三、合成纤维	(254)
思考与练习	(255)
第十章 陶瓷材料	(256)
第一节 陶瓷材料基本知识	(256)
一、陶瓷材料的含义	(256)
二、陶瓷材料的结合键	(256)
三、陶瓷材料的制取	(257)
第二节 陶瓷材料的组织与结构	(257)
一、晶体相	(257)
二、玻璃相	(261)
三、气相	(261)
第三节 陶瓷材料的性能及应用	(261)
一、力学性能	(262)
二、物理性能	(263)
三、化学性能	(264)
第四节 工程陶瓷简介	(264)
一、氧化铝陶瓷	(264)
二、氮化硅陶瓷	(265)
思考与练习	(266)
第十一章 复合材料	(267)
第一节 复合材料基本知识	(267)
一、复合材料的含义	(267)
二、复合材料的分类	(268)
三、复合材料中的增强材料	(268)
第二节 复合材料的特性及增强原理	(270)
一、性能特点	(270)
二、增强原理	(272)
三、复合材料的界面结合	(272)
第三节 复合材料应用简介	(273)

一、工程复合材料	(273)
二、应用概况	(275)
思考与练习	(276)
第十二章 机械设计与选材	(277)
第一节 机械设计与选材的关系	(277)
一、机械产品的设计过程	(277)
二、设计与制造工艺路线	(278)
第二节 机械产品的失效问题	(278)
一、机械产品失效的原因	(278)
二、机械构件失效的形式	(279)
第三节 选材的思路与程序	(280)
一、选材的思路	(280)
二、选材的程序	(281)
第四节 选材的典型实例分析	(282)
一、工程材料的使用概况	(282)
二、轴类零件的用材选择	(283)
三、齿轮类零件的用材选择	(285)
四、发动机主要构件的用材选择	(286)
五、壳体类零件的用材选择	(287)
六、汽车及动力装置的用材选择	(288)
七、建筑工程的用材选择	(288)
思考与练习	(292)
第十三章 材料表面改性技术	(294)
第一节 涂敷及堆焊技术	(294)
一、热喷涂技术	(294)
二、热喷焊技术	(300)
三、堆焊技术	(301)
第二节 镀覆与沉积技术	(304)
一、普通电镀	(304)
二、化学镀	(305)
三、复合镀及电刷镀	(307)
四、金属表面防护法简介	(310)
五、气相沉积	(311)
第三节 高能束强化技术	(314)
一、激光表面强化	(314)