

133

TB3-43
L74

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

工 程 材 料

主编 刘天模 徐幸梓

主审 李建保



机械工业出版社

本书系统地介绍了机械工程常用的材料及其基础理论,从材料的共性上全面介绍了金属、陶瓷、高分子的结构特点,将各种材料的性能、制备、变形等进行了对比介绍,介绍了工程材料的破坏形式及其选用。

本书是根据教学体系改革的原则编写的。其特点是注重基础性、实践性,以培养学生的创造思维能力和解决实际问题的能力为主要目标;本书涉及面广,又非常实用,有利于提高学生的学习兴趣。

本书可以作为高等学校机械及近机类专业本科生或大专生教材,也可以作为有关科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/刘天模,徐幸梓主编. —北京:机械工业出版社,2001.8
国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材
ISBN 7-111-02695-0

I. 工... II. ①刘...②徐... III. 工程材料-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044182 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:王霄飞 张祖凤 版式设计:冉晓华 责任校对:唐海燕
封面设计:鞠 杨 责任印制:郭景龙
北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
1000mm×1400mm B5·7.625 印张·296 千字
0 001—5 000 册
定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

国家工科基础课程教学基地机械基础系列 教材编审委员会

主 任: 唐一科

副 主 任: 刘昌明 何玉林 黄茂林

顾 问: 杨叔子

主编人员: 丁 一 祖业发 黄茂林 龙振宇 刘天模 袁绩乾
赵月望 陈国聪 何玉林 吕仲文 杨学元 秦 伟
李文贵

审稿人员: 谢泗淮 西南交通大学

常 明 华中科技大学

张 策 天津大学

吴鹿鸣 西南交通大学

杨治国 四川大学

李建保 清华大学

林萍华 东南大学

张春林 北京理工大学

何援军 上海交通大学

谭建荣 浙江大学

(排名不分先后)

策划单位: 机械工业出版社 重庆大学

序

为了适应 21 世纪我国现代化建设的需要,培养高质量的工程科学技术人才,教育部从 1996 年开始实施了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”,接着又决定建设国家工科基础课程教学基地。这些措施推动了教育改革的深入发展,形成了一批有特色的课程体系和系列教材。由重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写、机械工业出版社出版的“国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材”就是其中之一。这套系列教材是国内众多资深教授的支持、指导和数十位长期从事教学和教学改革的教师辛勤劳动的结果,能够满足机械类专业人才培养的要求。

这套系列教材紧密结合“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”、“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”两个面向 21 世纪重大教学改革项目和国家工科基础课程机械基础教学基地建设,集中反映了重庆大学等高校围绕人才培养,在改革机械基础课程体系和教学内容方面所取得的成果。

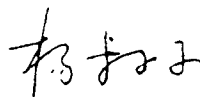
这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群。以拓宽基础、培养学生综合应用机械基础理论与现代设计分析方法进行机械设计和创新为宗旨,遵循认知规律,明确课程定位,突破各课程自身的传统体系,基本上实现了系列课程的整体优化。通过《机械认识实践》的实践教学,帮助学生建立机械的感性认识。制造基础课群则对原机械制造的冷、热加工专业课程进行了整合和改造,建立了适合宽口径大机械专业的三个知识点——“机械制造技术基础”、“材料成形工艺基础”和“工程材料”。设计基础课群对传统的“机械设计”及“机械原理”进行了大胆的尝试性整合;展示了在“机械创新设计”思维的引导下,运用“计算机图形学”、“机械 CAD/CAE 技术基础”等现代设计方法和手段进行机械设计主线。

这套系列教材较好地体现了面向 21 世纪机械类专业人才培养模式改革的思路,对机械类专业机械基础系列课程体系及教学内容的改革进行了富有成效的探索与实践。机械工业出版社出版这套教材,实为一件很有意义的事,其将为全国机械基础课程体系的教改与教学提供了又一套很有特色的教材。

当然,这套系列教材还需要在教学改革和教学实践中经受检验、不断完善;

以结出我国教育改革的硕果。是为序。

中国科学院院士
重庆大学机械传动国家重点实验室学术委员会主任
华中科技大学教授



2001 年 6 月 16 日

前 言

为了适应新世纪培养高素质、创造型机械科技人才的需要,重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写了机械基础系列教材。这套教材编写的整个过程就是我们完成教育部面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划中“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”、“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”两个项目的过程。我们按照新世纪机械专业人才应该具备的能力、素质和知识结构,研究制定了机械类专业人才培养方案及教学内容体系和与之相适应的机械基础系列课程体系及教学内容,并在 97、98、99 级本科教学中经过实践,所以这套教材反映了我们进行教学改革成果。

这套系列教材在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群。对原机械制造工艺、金属切削机床、金属切削刀具、夹具、铸造、锻压等专业课程进行了整合和改造,编写了适合宽口径机械专业的《机械制造技术基础》、《材料成形工艺基础》和《工程材料》;增设了以参观和实践为主的《机械认识实践》课程;《现代机械制图》把投影制图和计算机绘图作为重点,并将其贯穿于全书;以设计为主线,重新规划了机械设计基础的体系结构,把齿轮机构的原理与设计有机融合,放在《机械设计》教材中,将《机械原理》的重点定位于机构的运动学、动力学和机械系统运动方案的分析与设计,并将《机械设计》安排在《机械原理》之前开出。增加了《计算机图形学》、《机械 CAD/CAE 技术基础》等计算机应用技术基础教材,反映了现代科学技术的新发展,引导学生应用现代设计方法和手段进行机械设计;增加了《机械创新设计》,介绍创新方法,启发创新思维。

“工程材料”是一门机械类和近机类专业学生必修的技术基础课。多年来,随着材料科学与材料工程技术的发展和高等学校机械类、近机类专业教学计划的不断修改,原设的“金属材料及热处理”课程体系已经不能适应新的教学要求。各高校都已将其改为“工程材料”或“机械工程材料”,而课程学时数也大大减少,一般在 40~50 学时之间。为了适应这种教学形势的需要,我们编写了这本教材,以供教学使用。

本书编写中吸取了一些高等院校教学改革的经验及同类教材的优点,强调材料科学的共性,将不同类型材料的共性部分有机地融合在一起,让学生对不同材料的性能有一个总体的认识。在内容安排上,以材料的成分、工艺、组织和性能之间的关系为主线,并贯穿始终。课程内容围绕这条主线展开,力图给学生建立起

完整体系的概念。为了适应 21 世纪对工科人才的要求,本教材强调对各种新型材料的介绍,加强非金属材料章节的内容,并将其有机地融入整个教材体系中,以培养学生正确选用各种工程材料的能力。

本书在每章后面均附有习题与思考题,以期加强理论联系实际和培养学生分析问题、解决问题的能力。书中带*号的内容可根据需要选择讲解。

本书由刘天模、徐幸梓主编。编写者为西南交通大学的吴大兴(第六、八章),重庆大学的徐幸梓(第七章)、刘天模(绪论及第一、二、三、四、五、九、十、十一章)。全书由清华大学李建保主审。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 工程材料的分类及性能	4
第一节 机械制造与材料：结构—性能—加工工艺	4
第二节 材料的分类	5
第三节 材料的性能	6
思考作业题	14
第二章 材料的结构	15
第一节 材料的结合方式	15
第二节 金属及合金的结构	17
第三节 高分子聚合物的结构	27
第四节 陶瓷材料的结构	35
思考作业题	39
第三章 材料制备的基本过程	40
第一节 结晶过程	40
第二节 聚合物的合成	45
第三节 陶瓷材料的制备过程	48
第四节 粉末冶金工艺过程	50
思考作业题	50
第四章 二元相图及应用	52
第一节 二元相图的建立	52
第二节 二元相图的基本类型及应用	53
第三节 相图与合金性能之间的关系	60
第四节 铁碳合金相图	61
第五节 二元陶瓷相图	71
思考作业题	72
第五章 材料的变形	73
第一节 金属的塑性变形与再结晶	73
第二节 高分子材料的变形	81

第三节 陶瓷材料的变形	86
思考作业题	88
第六章 钢的热处理	89
第一节 热处理的基本概念	89
第二节 钢在加热时的转变	91
第三节 钢在冷却时的转变	94
第四节 钢的热处理基本工艺及应用	102
第五节 其它热处理方法简介	110
第六节 热处理工艺缺陷与零件结构	118
思考作业题	122
第七章 工业用钢	123
第一节 钢的分类	123
第二节 钢中的常存元素、隐存元素及合金元素对钢性能的影响	125
第三节 我国的钢材编号	131
第四节 常见工业用钢的性能及用途	133
思考作业题	163
第八章 铸铁	164
第一节 铸铁的石墨化	164
第二节 常用铸铁的牌号、组织与性能	166
第三节 铸铁的热处理	174
思考作业题	177
第九章 有色金属及其合金	178
第一节 铝及其合金	178
第二节 铜及其合金	186
第三节 滑动轴承合金	192
第四节 钛及其合金	194
思考作业题	197
第十章 常用非金属材料	198
第一节 高分子材料	198
第二节 陶瓷材料	204
第三节 复合材料	207
思考作业题	212
第十一章 工程材料的选用	213
第一节 零件的失效形式与提高材料性能的途径	213
第二节 零件选材的一般原则和方法	219

第三节 典型零件的选材及应用实例	223
思考作业题	229
附录	230
附录 A 国内外常用钢号对照表	230
附录 B 常用钢的临界点	233
参考文献	234

绪 论

人类的周围到处都是材料，它们不仅存在于人类的现实生活中，而且也扎根于文化和思想领域。事实上，材料与人类的出现和进化有着密切的联系，因而它们的名字已经作为人类文明的标志，例如，石器时代、青铜器时代和铁器时代。目前，天然材料和人造材料已经成为人类生活中不可分割的组成部分，材料已经与食物、居住空间、能源和信息并列一起组成人类的基本资源。材料确实是人类社会不可缺少的一部分，它们不仅对人类的日常生活，而且对国家的昌盛和安全也起着举足轻重的作用。因此，世界各国对材料科学都非常重视，并使之成为衡量一个国家科学技术、经济水平及综合国力的重要标志之一。

中国是世界文明古国之一，早在殷商时代，已大量使用青铜，并已具有高超的冶铸技术和精湛的艺术造诣；春秋战国时期即已出现了铁器，铸铁的生产比欧洲约早 1000 多年，在世界材料发展史中写下了光辉的篇章。中华人民共和国成立以后，我国一直把材料工业作为重点发展领域之一，特别是改革开放以后，材料工业有了迅速发展。我国已按实际情况制定和完善了钢铁新标准，建立了符合我国资源特点的合金钢系统，新钢种正在日益发展。目前，我国已能生产所有类型的有色金属，非金属材料的研制和发展也很迅速。

材料是宇宙万物中的一部分，但更具体地说，材料指的是那样一些物质，这些物质的性能使其能用于结构、机器、器件或其它产品。例如，金属、陶瓷、半导体、超导体、聚合物(塑料)、玻璃、介电材料、纤维、木材、砂子、石块、复合材料等都属于材料的范畴。

人类使用的材料可以看作是流动在一个巨大的材料循环(一个全球性的、自始至终的循环系统)之中。通过采矿、钻探、挖掘或采集，从地下得到原材料；然后变为大块材料，如金属锭、碎石、石油化工材料和木材；接着再制成工程材料，如钢材、有色金属材料、塑料、胶合板和混凝土等，以满足社会对最终产品的要求；最后，当这些材料按预定的目的为人类使用过后，就作为废料又回到大地中，或者更确切地说，它们将为再加工和下一次被利用而重新进入循环，直到最后废弃为止。

材料的种类繁多，用途广泛。工程方面使用的材料有机械工程材料、土建工程材料、电工材料、电子材料等。工程材料按属性可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四类。按使用性能分类，则可分为主要利用其力学性能的结构材料和主要利用其物理性能的功能材料。结构材料用量大，仅钢材全球每

年的需求量就达 8 亿多吨；功能材料用量虽然小得多，但对社会文明的进步起了重大作用。

金属材料是目前用量最大、使用最广的材料。金属材料具有许多优良的使用性能(如力学性能、物理性能、化学性能等)和加工工艺性能(如铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、机械加工性能等)，矿藏丰富，还可以通过不同成分的配制和不同工艺方法来改变其内部组织结构，从而改善其性能。

金属材料包括两大类型：钢铁材料和有色金属材料。有色金属主要包括铝合金、铜合金、钛合金、镍合金等。在机械制造业(如农业机械、电工设备、化工和纺织机械等)中，钢铁材料占 90% 左右，有色金属约占 5%。在汽车制造业中，有色金属与塑料的比例稍多些，其中，钢铁材料约占 60% ~ 75% (其中 15% ~ 20% 为低合金高强度钢)，铝合金 5% ~ 10%，塑料 10% ~ 20%，还有少量其它材料。因此，金属材料，特别是钢铁材料，仍然是机械制造业中使用最广泛的材料。

随着科学技术的进步，非金属材料也得到了迅速的发展。非金属材料具有一些金属所不具备的许多性能和特点，如耐腐蚀、绝缘、消声、质轻、加工成形容易、生产率高、成本低等，所以非金属材料在工业中的应用日益广泛。比如高分子材料常常取代金属材料用作化工管道、盐业泵零件、汽车结构件等。而古老的陶瓷材料也突破了传统的应用范围，成为高温结构材料和功能材料的重要组成部分。

金属材料和非金属材料在性能上各有其优缺点，如把两种材料组合在一起，发挥各自的长处，又可在一定程度上克服它们各自固有的弱点，这就产生了复合材料。复合材料可分为三大类型：高分子基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料。目前应用得最多的是高分子基复合材料，如玻璃纤维增强树脂基复合材料(玻璃钢)；金属基复合材料也应用于航天领域中；而陶瓷基复合材料还处于开发阶段。可以预期，复合材料在机械工业中的应用将会越来越广泛。

在上述三种基本类型材料中，金属材料有良好的导电性、高的塑性与韧性；陶瓷材料则有高的硬度和脆性，且大多是电的绝缘材料；而高分子材料的弹性模量、强度、塑性都很低，多数也是不导电的。这些材料的不同性能都是由其内部结构决定的。从使用的角度看，一个机械产品，人们总是力求其使用性能优异、质量可靠、制造方便、价格低廉。而产品的使用性能又与材料的成分和组织，以及加工工艺之间的关系非常密切。

从材料学的角度看，材料的性能取决于内部结构，而材料的内部结构又取决于成分和加工工艺。所以，正确地选择材料，确定合理的加工工艺，得到理想的组织，获得优良的使用性能，是决定机械制造中产品性能的重要环节。因此，本书以材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系为主线，重点介绍材料

的本质，提出有关的理论和描述，说明材料结构是如何与其成分、加工工艺、性能以及行为相联系的。

学习本课程的目的，是使学生获得常用工程材料的种类、成分、组织、性能和改性方法的基本知识。通过对基础科学和知识的综合和运用，初步具备根据零件的服役条件合理选择和使用材料，正确制定热处理工艺方法和妥善安排工艺路线的能力。

第一章 工程材料的分类及性能

材料是通过它所具备的性能服务于人类的，工程师将材料加工成产品时总要力图选择最佳性能的材料。材料的性能是一种参量，用于表征材料在给定外界条件下的行为，而材料的性能和行为取决于它们的内部结构。本章所介绍的材料在力学、电学和热学等方面的性能和特征，将作为以后各章中研究结构与性能关系的基础。

第一节 机械制造与材料：结构—性能—加工工艺

每一个应用科学家和工程师(机械的、土木工程的、电气的或其它方面的)都必不可少地要用到材料，不论产品是桥梁、计算机、宇宙飞船、心脏起搏器、核反应堆，还是汽车的排气装置，工程师们都必须完全了解他们所用材料的性能和行为特征。以汽车为例，汽车制造中要使用各种各样的材料：钢铁、玻璃、塑料、橡胶等。而仅仅对钢材一项而言，就有 2000 多种不同种类和型号的品种。面对如此之多的材料种类，要制造一个特定的零件，应根据什么原则来选择材料呢？

在进行材料选择时，设计师必须首先考虑强度、导电性或导热性、密度及其它性能，然后，再考虑材料的加工性能和使用行为(其中材料的可成形性、机械加工性、电稳定性、化学持久性及辐照行为是重要的)以及成本和材料来源。例如生产变速齿轮用的钢必须是易机械加工的，但又要有足够的韧性以经受猛烈的冲击。生产车身连接件的金属必须是易成形的，但又要有抗冲击形变的能力。电线必须能经受过高或过低的温度，而半导体必须在长时期内保持稳定的伏安特性。

许多设计的改进取决于新材料的发展。比如，几十年前晶体管还不能用当时已有的材料制成，现在已经可以在很小的晶体上集成成千上万个晶体管了；激光技术的发展得益于晶体和玻璃材料的发展；燃气轮机的设计虽然已经大有改进，但仍然需要一种既便宜又能承受高温的材料来作为涡轮机的叶片。

一、内部结构与性能

要求工程师或科学家们对成千上万种已有材料都具有详细的知识，并始终能与新材料的发展保持并驾齐驱的状态显然是不可能的，因此，他们必须牢牢地把握住支配各种材料性能的基本原则。这个原则就是材料的性能来源于该材料的成分和内部结构，这是对工程师和科学家们最具有重要价值的一个原则。

材料的内部结构包括原子种类、原子与原子之间的结合方式和排列方式、显

微结构等。技术人员在生产和使用材料时必须了解这些结构，就好像机械工程师在设计齿轮箱时必须了解齿轮箱内齿轮的大小、齿数和排列一样。

二、加工工艺与性能

材料必须经过加工才能满足工程师对所设计产品的要求。最常见的加工方法是单纯改变材料的几何形状，例如机械加工或锻造。当然，材料的性能对加工过程是十分重要的。特别硬的材料会损坏切削工具的刀刃，而像铅那样的软材料又会“粘住”锯条、砂轮及其它工具。同样，高强度材料尤其是脆性材料是不适合于塑性形变的。例如，制造汽车挡板的金属板如果不用最软的钢板，那必定是极大的浪费。

通常，在机械加工或塑性形变时，不只是包含材料形状的改变，而且也伴随着材料性能的改变。例如，一根金属丝当它通过模具拉拔时，它的直径减小了，同时金属丝本身也被强化和变硬了。在一般作为导电体用的铜丝中是不希望这种硬化的；而在制造子午线轮胎中的钢丝时，工程师们恰恰是利用这个过程来实现材料的强化。但是，不管愿望如何，只要制造过程中改变了材料的内部结构，那么它的性能也必定随之而改变。材料在形变时，它的内部结构发生了变化，因而其性能也跟着发生变化。

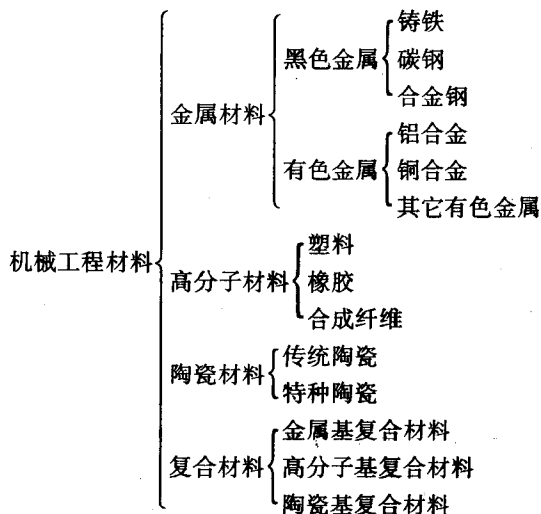
热加工工艺也同样影响材料的内部结构，它们包括退火、淬火及其它热处理。我们的目的是要了解结构变化的本质，以便于制定适当的工艺流程。

三、使用行为

在成品中的材料具有一整套满足设计要求的性能——强度、硬度、导电性、密度等。倘若在使用过程中，材料的内部结构没有变化，那么它将永远保持这些性能。但是，如果遇到使材料内部结构发生变化的使用情况，材料的性能与行为也会发生相应的变化。这就解释了为什么当橡胶暴露在阳光和空气中时会逐渐地硬化；铝为什么不能用在超音速飞机中；为什么金属在周期性载荷的作用下会产生疲劳；为什么普通钢的钻头不能像高速钢钻头那样飞快地切削；为什么磁体在射频场中会失去它的磁性；又为什么半导体在核辐射下会损坏。这类例子是数不清的。所以，在材料的选用中，不仅要考虑初始要求，而且还要考虑那些将使材料内部结构发生变化、从而导致材料性能发生变化的使用条件。

第二节 材料的分类

材料的种类繁多，用途广泛。工程方面使用的材料有机械工程材料、土建工程材料、电工材料、电子材料等。在工程材料领域中，用于机械结构和机械零件并且主要要求力学性能的工程材料分类如下：



金属材料具有许多优良的使用性能和加工工艺性能。特别可贵的是，金属材料可通过不同成分配制、不同工艺方法来改变其内部组织结构，从而改善性能。加之金属矿藏丰富，因而在机械制造业中，金属材料仍然是应用最广泛、用量最多的材料。在机械设备中约占所用材料的 90% 以上，其中又以钢铁材料占绝大多数。

随着科学技术的发展，非金属材料也得到迅速的发展。非金属材料除在某些力学性能上尚不如金属外，它具有金属所不具备的许多性能和特点，如耐腐蚀、绝缘、消声、质轻、加工成形容易、生产率高、成本低等，所以在工业中的应用日益广泛。作为高分子材料的主体——工程塑料(如聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、ABS 塑料、环氧塑料等)已逐渐替代一些金属零件，应用于机械工业领域中。古老的陶瓷材料也突破了传统的应用范围，成为高温结构材料和功能材料的重要组成部分。

金属材料和非金属材料在性能上各有其优缺点。近年来，金属基复合材料、树脂基复合材料和陶瓷基复合材料的出现，为集中各类材料的优异性能于一体开辟了新的途径，在机械工程中的应用将日益广泛。

第三节 材料的性能

一、力学性能

材料力学性能是指材料在受力时的行为。描述材料力学性能的主要指标是强度、塑性和韧性。其中，强度是使材料破坏的应力大小的度量；塑性是材料在破坏前永久应变的数值；而韧性却是材料在破坏时所吸收的能量的数值。