



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

机械工程材料

第2版

王章忠 主编



本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是机械工程类专业的技术基础课教材。本书主要讲授零件在不同工作条件下的性能要求以及工程技术人员必备的材料学基本理论和材料知识,介绍了各类工程材料的成分、组织结构与加工工艺及性能特点和应用范围,并结合实例说明了选用材料的原则和方法。全书共分14章,包括:材料的性能及应用意义、材料的结构、材料的凝固与结晶组织、材料的变形断裂与强化机制、铁碳合金相图及应用、钢的热处理、钢铁材料、有色金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料、功能材料、材料表面技术、工程材料的选用与发展。在附录中列出了材料工程相关标准名录和材料学主要相关 Internet 信息资源,各章后均附有分析应用型习题,全书引用最新国家标准,并力求教材体现“宽、精、新、应用”的特色,旨在重点培养学生选材用材的能力。

本书主要供机械工程、仪器仪表、能源动力工程、化学工程、兵器工程、航空航天、工程力学、管理工程、环境工程等各类专业大学本科生使用,也可作为高等专科学校、高等职业学院及业余职工大学的相关专业的教材和有关专业科技人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/王章忠主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2007.1(2011.6重印)
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-08796-0

I. 机… II. 王… III. 机械制造材料-高等学校-教材 IV. TH14
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 010290 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:高文龙 责任编辑:张祖凤 版式设计:冉晓华
责任校对:申春香 封面设计:姚毅 责任印制:李妍
北京振兴源印务有限公司印刷

2011 年 6 月第 2 版第 8 次印刷

184mm×260mm·18.75印张·462千字

标准书号:ISBN 978-7-111-08796-0

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版序

20世纪末、21世纪初,在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下,在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白炽化的挑战下,我国高等教育迅猛发展,胜利跨入了高等教育大众化阶段,使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化,正在逐步形成以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。在这个过程中,一大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起,超常发展,1999年已见端倪。当时我们敏锐地感到,这批应用型本科院校的崛起,必须有相应的应用型本科教材来满足她的教学需求,否则就有可能使她回到老本科院校所走过的学术型办学路子。2000年下半年,我们就和机械工业出版社、扬州大学工学院、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通工学院、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等12所高校及出版社在南京工程学院召开会议,讨论了策划编写出版机电类应用型本科系列教材问题,规划出版38种,并进行了分工,提出了明确的规范要求,得到江苏省各方面的支持和配合。2001年5月开始出书,到2004年7月已出齐38种,还增加了3种急需的教材,总册数已达45万册。每种至少有2次以上印刷,最多的印刷了5次、发行量达2.5万册。据调查,用户反映良好,并反映这个系列教材基本上体现了我在序言中提出的四个特点,符合地方应用型工科本科院校的教学实际,较好地满足了一般应用型工科本科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴,但更是对我们的鞭策和鼓励,实际上这一轮机电类教材存在的问题还不少,需要改进的地方还很多。我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴,同样,我们更应当为今后这些进步和成绩的进一步发展而正视自己,我们并不需要刻意去忧患,但确实存在值得忧患的现实而不去忧患,就很难有更美好的明天。今后怎么办?这是大家最关注的问题,也是我们亟待研讨和解决的问题。我们应该以对国家对人民对社会对受教育者高度负责的精神重新审视这一问题,以寻求更好的解决方案。我认为,必须在总结前一阶段经验教训的新起点上,坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导,坚持高标准、严要求,坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针,坚持高标准、严要求,把下一轮机电类规划教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强,为建设有中国特色的高水平的地方工科应用型本科院校做出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种新的办学类型,它除恪守大学教育的一般办学基准外,还应有自己的个性和特色,就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校,也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养,重点仍要思考如何与社会需求的对接。既要从学生的角度考虑,以人为本,以素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环节,实现人的全面发展;又要从经济建设的实际需求考虑,多类型、多样化地培养人才,但最根本的一条还是坚持面向工程实际,面向岗位实务,按照“本科学历+岗位技术”的双重标准,有针对

性地进行人才培养。根据这样的要求,“强化理论基础,提升实践能力,突出创新精神,优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用型人才的基本特征,也是本科应用型人才的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才的培养模式。而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型的人才培养必须依靠应用型的课程和内容,用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型的人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上,科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识等四类知识在纵向上应向应用前沿拓展,在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上,要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力,还要注重思维能力和创造能力的培养,使学生思路清晰、条理分明,有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作,创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法,还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸以促进学生思想道德素质、文化素质、专业素质和身体心理素质的全面提高。因此,要在素质教育的思想指导下,对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合,使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才,就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念,选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系,必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性,那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念和培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程。因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”移嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验之理性总结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会遗害一代青年学子。有人说:“时间是真理之母”。时间是对我们所编写教材的最严厉的考官。目前,我们的教材才使用了几年,还很难说就是好教材,因为前一阶段主要是解决有无

问题，用户还没有来得及去总结和反思，所以有的问题可能还没有来得及暴露。我们必须清醒地看到这一点。今后，更要坚持高标准、严要求，用航天人“一丝不苟”、“一秒不差”的精神严格要求自己，确保教材质量和特色。为此，必须采取以下措施：第一、高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍，必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求，实行主编招标和负责制，把好质量第一关；第二，教材要从一般工科本科应用型院校实际出发，强调实际、实用、实践，加强技能培养，突出工程实践，内容适度简练，跟踪科技前沿，合理反映时代要求，这就要求我们必须严格把好教材编写或修订计划的评审关，择优而用；第三、加强教材编写或修订的规范管理，确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和标准，实行环节负责制和责任追究制；第四、确保出版质量；第五、建立教材评价制度，奖优罚劣。对经过实践使用，用户反映好的教材要进行修订再版，切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须和多媒体课件配套，并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则，努力扩大教材使用范围，不断提高社会效益

下一轮教材编写和修订工作，必须加快吸收有条件有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加，以集中更多的力量，建设好应用型本科教材。同时，要相应调整编审委员会的人员组成，特别要注意充实省内外的优秀的“双师型”教师和企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在使用这套教材的省市有关高校建立教材使用质量跟踪调查，并建立网站，以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见，不断修改、充实和完善我们的教材编写和出版工作，实实在在地为教师和学生提供精品服务，实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批工科应用型本科院校高素质高水平的教师提供优良服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社，江苏省教育厅和各主编、主审和参加编写高校的大力支持和配合，在此，一并表示衷心感谢。今后，我们应一如既往地更加紧密地合作，共同为工科应用型本科院校教材建设作出新的贡献，为培养高质量的应用型本科人才作出新的贡献，为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育作出新的努力。

普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会
主任 教授 邱坤荣

第2版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是机械工业出版社出版的《机械工程材料》（王章忠主编，2001年5月第1版）的修订本。适用于机械工程、仪器仪表、能源动力工程、化学工程、兵器工程、航空航天、工程力学、管理工程、环境工程及其他相关专业大学本科必修的工程材料类课程的教材。

修订版的指导思想是：适应科学发展观要求的应用型人才培养模式，全面提高学生“理论联系实际、注重工程应用、发展终身学习、适应经济社会”的能力。本书在保持《机械工程材料》第1版的体系、结构、特色和主要内容的基础上，对原书第一、二、四、五、六、十二及第十四章重新编写。增加了材料的环境性能、离子晶体与共价晶体结构、材料的断裂、智能材料与结构、价值工程选材原则、材料与环境及新材料研究应用发展趋势等内容；进一步扩大了新材料、新工艺、新技术的知识面；强化了材料科学与社会学、经济学、资源环境及可持续发展间的关系；注重材料的广泛性和多样性，强调“大材料”的概念，全面介绍了金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料的共性与个性特点，并注意突出金属材料重点；倡导“大工程”意识，培育“材料、设计、制造”一体化理念；为便于持续学习，在附录中还列出了材料工程相关标准名录和材料学主要相关 Internet 信息资源。全书共分14章，建议教学时数为40~60学时。

编写和修改过程中，作者参阅了国内外出版的有关资料并列出了主要参考文献，但因条件所限，未能将所有参考文献全部列出，在此对全部文献的作者表示诚挚敬意和衷心感谢！

全书修订工作由王章忠教授完成，淮阴工学院丁红燕编写第五、六章。由东南大学潘冶教授、南京航空航天大学陶杰教授主审。由于编者水平有限，书中不妥与错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
于 南 京

第1版前言

本书为普通高等教育机电类规划教材，是根据全国高校“机械工程类专业教学指导委员会”对机械类专业《机械工程材料》的教学基本要求编写的。

为满足机械工程类专业的教学目标，适应专业教学改革，培养应用型人才的需要，本书重点强调培养学生合理选用材料、正确加工材料的能力，编写过程中力求体现“宽、精、新、应用”的特色。基础理论以应用为目的、以够用为度，教学内容选择宽而精，加强针对性与应用性。本书主要讲授零件在不同工作条件下的性能要求，以及机械工程技术人员必备的材料学基本理论和材料知识，介绍了各类工程材料（重点是金属材料）的成分、组织结构与加工工艺及性能特点和应用范围，并以实例说明了选用材料的原则、方法与步骤。

本书在内容处理上主要有以下几点说明：①全书始终贯彻执行正确选用材料，合理加工材料的指导思想，倡导“设计、材料、制造”一体化，侧重理论联系实际，强调材料应用技能。②考虑到此书为非材料工程专业用教材，故对某些基础理论进行了必要的精简。③注意增加了与高新技术或产业有关的新材料、新工艺及新技术，如功能材料、材料表面技术等，力求反映材料科学与工程发展的最新情况。④在教材内容选择与组织上，力争使其更具较强的理论性、系统性、先进性和应用性。⑤充分考虑了材料学与其他学科之间的关系，加强了材料选用、材料技术经济评价、材料与环境等方面的内容。

全书共14章，由南京工程学院王章忠编写绪论、第一章、第十二至十四章及第七章的第一至六节，淮海工学院乔斌编写第二至四章及第七章第七节，江南学院刘新佳编写第五、六章，扬州大学姜世杭编写第八至十一章。全书由王章忠主编，东南大学潘冶教授主审。

编写过程中，作者参阅了国内外出版的有关教材和资料，得到了南京工程学院左健民教授的有益指导，在此一并表示衷心感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2001年1月于南京

目 录

第 2 版序	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
绪论	1
第一章 材料的性能及应用意义	6
第一节 材料性能依据	6
第二节 材料的使用性能	7
第三节 材料的工艺性能	21
第四节 材料的环境性能	22
习题	23
第二章 材料的结构	25
第一节 结合键	25
第二节 晶体结构理论	26
第三节 晶体缺陷理论	30
习题	34
第三章 材料的凝固与结晶组织	35
第一节 概述	35
第二节 纯金属结晶	36
第三节 合金的结晶与相图	40
第四节 铸态组织与冶金缺陷	51
习题	53
第四章 材料的变形断裂与强化机制	55
第一节 材料的塑性变形	55
第二节 金属的冷塑性变形	58
第三节 金属的热塑性变形	64
第四节 金属强化理论简介	67
第五节 材料的断裂	69
习题	71
第五章 铁碳合金相图及应用	72
第一节 纯铁和铁碳合金中的相	72
第二节 铁碳合金相图分析	73
第三节 铁碳合金成分、组织与性能的关系及应用	81
习题	84
第六章 钢的热处理	85
第一节 钢的加热及组织转变	85
第二节 钢的冷却及组织转变	90
第三节 退火和正火	99
第四节 淬火与回火	102
第五节 钢的表面热处理和化学热处理工艺	110
第六节 热处理新技术和新工艺	117
习题	120
第七章 钢铁材料	122
第一节 钢中常存杂质元素对其性能的影响	122
第二节 合金元素在钢中的主要作用	123
第三节 钢的分类与牌号	126
第四节 结构钢	129
第五节 工具钢	144
第六节 特殊性能钢	154
第七节 铸铁	162
习题	172
第八章 有色金属材料	174
第一节 铝及其合金	174
第二节 铜及其合金	179
第三节 其他有色金属及合金	182
第四节 轴承合金	185
习题	186
第九章 高分子材料	187
第一节 概述	187
第二节 高分子材料的性能	190
第三节 常用高分子材料	191
习题	200
第十章 陶瓷材料	201
第一节 概述	201
第二节 陶瓷材料的结构和性能	201
第三节 陶瓷的生产工艺与粉末冶金	202
第四节 常用陶瓷材料	204
习题	207
第十一章 复合材料	209
第一节 概述	209

第二节 增强材料及复合增强原理.....	210	第五节 气相沉积技术.....	247
第三节 常用复合材料.....	213	第六节 高能束表面技术简介.....	249
习题.....	219	习题.....	251
第十二章 功能材料	220	第十四章 工程材料的选用与发展	252
第一节 概述.....	220	第一节 零件失效分析.....	252
第二节 电功能材料.....	222	第二节 材料选择原则.....	254
第三节 磁功能材料.....	225	第三节 典型零件选材与工艺分析.....	265
第四节 热功能材料.....	227	第四节 材料与环境及可持续发展.....	275
第五节 传感器用敏感材料.....	229	第五节 新材料研究的发展趋势.....	277
第六节 智能材料与结构.....	231	习题.....	280
习题.....	235	附录	281
第十三章 材料表面技术	236	附录 A 材料工程主要相关国家标准	
第一节 概述.....	236	名录(摘)	281
第二节 电镀和化学镀.....	238	附录 B 材料学主要相关 Internet 信	
第三节 化学转化膜技术.....	240	息资源(摘)	283
第四节 表面涂敷技术.....	242	参考文献	287

绪 论

一、材料与材料科学

材料是人类文明与社会进步的物质基础与先导，是实施可持续发展战略的关键。材料作为能制造有用器件的物质，与能源和信息共同构成了人类社会赖以生存与发展的基本资源，故材料、能源和信息并列为现代科学和现代文明的三大支柱，且材料又是最重要的基础。

历史学家把人类社会的发展按其使用的材料类型划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代，而今，正在跨入人工合成材料的新时代。

从古猿到原始人类，石器一直是主要的工具，约在原始社会的末期，中华民族的祖先最早使用了火烧制陶器，到东汉时期又出现了瓷器，并先后传至世界各国，对人类文明产生了极大的影响，已成为中国古代文化的象征。

早在 4000 年以前，我们的祖先就已开始使用天然存在的纯铜，至殷、商时代，我国的青铜冶炼与铸造技术便已发展到了较高的水平，到春秋、战国时期，我国人民认识并总结了青铜的成分、性能和用途之间的关系与规律。如在《周礼·考工记》中对青铜的成分和用途描述出来的“六齐”规律，是世界上最早的关于金属材料合金化工艺的总结。

到了汉代，我国“先炼铁后炼钢”的技术已居世界领先地位；从西汉到明朝，我国的钢铁生产技术、钢铁热处理技术及钢铁材料的应用都已达到了相当高的水平。西汉司马迁的《史记·天官书》、东汉班固的《汉书·王褒传》、明代宋应星的《天工开物》等科学史书中都有这方面的详细记载与论述。

18 世纪以欧洲为中心的世界工业迅速发展，对材料的品质、数量都提出了越来越高的要求，形成并推动了材料工艺的进一步发展。1863 年光学显微镜首次应用于金属的微观研究，出现了“金相学”，并在化学、物理、材料力学的基础上产生了一门新学科“金属学”。随着 1912 年 X 射线衍射技术和 1932 年电子显微分析技术及后来出现的各种谱仪的应用，“金属学”便日趋完善，大大推动了金属材料及其学科的研究与发展。

20 世纪以来，随着现代科学技术和生产的迅速发展，对材料的要求也越来越高。在大量发展高性能金属材料的同时，又迅速发展和应用了高性能的高分子材料、陶瓷材料和复合材料，并正在进入人工合成材料的新时代。因此，在一些与材料有关的学科（如化学、物理等）的基础上，逐步形成了跨越金属学、高分子科学、陶瓷学等多学科的材料科学。

材料科学是研究各种材料的成分、组织、性能和应用之间的关系及其规律的一门科学，它包含四个基本要素：材料的成分组织结构、材料的制备合成与加工工艺、材料的固有性能和材料的使用行为。这说明材料科学不仅着眼于基础理论的研究，也考虑了应用实践。这一关系与规律的表达最早来自且应用于金属材料，但现也同样应用于其他材料，对各种材料而言，其研究原理、思路与方法基本相通的。

多数发达的国家都非常重视材料科学研究。如美国的研究机构、企业和大学均有许多课题进行材料研究，据 1972 年美国国家科学院的白皮书报告，全美科技人员有 25% 从事材料问题的研究，而且还有 25% 以某种形式参与材料的研究；1986 年《科学的美国人》杂志在

专题讨论有关材料研究的文章中指出“材料科学的进展决定了经济关键部门增长速率的极限范围”；1990年美国总统的科学顾问更是明确地说“材料科学在美国是最重要的学科”；美国的许多技术性问题正是通过采用新开发的材料来解决的，如高性能飞机就是突出的例子。在世界范围内，高新材料技术是高科技发展的一个关键领域，起着先导和基础的作用，常被视为高技术发展的突破口。

1978年我国科学大会将材料科学技术列为8个新兴的综合性的科学技术领域之一，此后各个五年计划中，一直把材料科学技术作为重点发展的领域之一；在“863国家高技术研究发展计划”、“973国家重点基础研究发展规划”中都给予了高度重视。新材料作为高新技术产业的组成部分，在1999年颁布并实施《当前国家优先发展的高技术产业化重点领域指南》中得到重点扶持，并在2000年开始执行《国家计委关于组织实施新材料高技术产业化专项的公告》中明确其发展对国民经济有重要支撑作用。“十五规划”确定，有选择地加快信息技术、生物工程和新材料等三个高新技术产业，新材料列为最重要的发展领域之一。

二、材料的分类与概况

工程材料是指固体材料领域中与工程（结构、零件、工具等）有关的材料，主要应用于机械制造、航天航空、化工、建筑与交通等部门，依据不同的分类方法，工程材料的种类繁多。按其应用领域可分为机械工程材料、建筑工程材料、电子工程材料、航空材料等。按其性能特点可分为结构材料和功能材料：结构材料以力学性能为主，兼有一定的物理、化学性能；功能材料是以特殊的物理、化学性能为主，如电、磁、光、热、声学、生物等功能和效应及其转换特性的材料。结构材料用量极大，是当代社会的主要材料，亦是本书讨论的重点；功能材料目前用量虽小，但却是高新技术的关键，是知识密集、技术密集、附加值高的新材料。

工程上通常按材料的化学属性将材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等四大类。

（一）金属材料

金属材料是用量最大、用途最广的主要工程材料，历来占据材料消费的主导地位，并预计在未来的相当长时间内还将延续下去。它包含两大类型：黑色金属和有色金属。

1. 黑色金属 指铁及铁基合金材料，即钢铁材料，它占金属材料总量的95%以上。钢铁材料又分为钢与铸铁两种，其中钢占90%以上。在20世纪30~50年代，钢铁材料处于最鼎盛时期，是材料科学技术的中心。随着钢铁材料的强度和质量的提高，以及现代高新技术对特殊性能材料（如陶瓷、高分子、复合材料）的需求增加，钢铁材料虽已走过了它最辉煌的时代，但因其具有良好的力学性能、工艺性能和低成本等综合优势，使之在21世纪仍占据主导地位，故绝不是“夕阳产业”。

2. 有色金属 指除铁基合金之外的所有金属及其合金材料（又称非铁合金）。它又可分为轻金属（如铝、镁、钛），重金属（如铅、铋），贵金属（如金、银、镍、铂）和稀有金属等。其中以铝及其合金、铜及其合金应用最广。

（二）高分子材料

高分子材料又称聚合物，是由相对分子质量很大的大分子组成，其主要原料是石油化工产品。按其性能用途和使用状态，又分为塑料、橡胶、合成纤维、涂料和胶粘剂等类型。

塑料是最主要的高分子材料，常分为通用塑料和工程塑料。通用塑料主要用于制作薄

膜、容器和包装用品，占塑料生产的 70% 左右，聚乙烯是其典型代表。工程塑料是指力学性能较高的聚合物，聚酰胺（尼龙）是这类材料的代表。由于高分子材料具有金属材料所不具备的某些优异性能（如重量轻，电绝缘性、隔热保温性、耐蚀性好等），故其发展速度相当快。

（三）陶瓷材料

陶瓷材料是指硅酸盐、金属与非金属元素的化合物（主要是氧化物、氮化物、碳化物等）。工业上常分为三大类，其一是传统陶瓷，由粘土、石英、长石等组成，主要成分是天然硅、铝的氧化物及硅酸盐，常用作建筑材料使用；其二是特种陶瓷（新型陶瓷），主要成分是人工氧化物、碳化物、氮化物和硅化物等的烧结材料，常用作工业上耐热、耐蚀、耐磨等零件；其三是金属陶瓷，即金属粉末与陶瓷粉末的烧结材料，主要用作工具、模具等。

陶瓷具有许多优异的性能，如高硬度、高耐磨性、高的抗压强度、高的耐热性和耐蚀性能，其最大缺点是塑性低易脆断且不易加工成形，故限制了它作为结构材料的使用范围；对陶瓷结构材料的增强增韧是今后的主要研究课题。此外，由于陶瓷具有独特的光、电、热等物理性能，因而是主要的功能材料之一。

（四）复合材料

金属、高分子、陶瓷材料各有优缺点，若将以上两种或两种以上的材料微观地组合在一起形成的材料，便是复合材料。复合材料发挥了其组成材料的各自长处，又在一定程度上克服了它的弱点，因而是一种新型的优异材料。按其基体不同，复合材料常分为三大类型：树脂基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料。现代工业中，树脂基复合材料（如玻璃钢）已处于成熟应用阶段，而金属基复合材料和陶瓷基复合材料因其制造工艺复杂，成本高昂因而尚处于研制开发阶段。

三、材料科学与机械工程

机械工程是一个含义极广的概念，它几乎涉及了国民经济各个领域中的所有机械产品。随着经济高速高效的发展及科学技术的不断进步，机械工程将朝着大型及微型、高速、耐高低温、耐高压、耐恶劣环境影响等方向发展，这就要求机械产品的技术功能优异，质量高而稳定，寿命长而可靠，成本低而效益高。优质的机械产品是合理的材料、优良的设计和正确的加工这三者的整体配合，而材料又是其基础。

（一）材料与产品质量

材料为产品提供了必要的基本功能，是产品质量的重要保证。大量事实说明：在设计与加工过程中，许多材料及其工艺问题是我国机械产品功能差、质量低、寿命短的主要原因之一，故要求机械工程技术掌握必要的材料科学与材料工程知识。

（二）材料与机械设计

机械设计涉及广泛的学科领域，其中数学、材料科学、工程力学和工业造型是其重要支柱。在设计某一具体产品时，设计者首先进行的是功能设计和结构设计，通过精确的计算和必要的试验，以确定决定产品功能的技术参数和整机及零件的形状、尺寸，上述参数的选定及零件尺寸形状的设计质量如何，往往比较直观且容易评定和校验。至于每一零件根据其不同的服役条件选用何种材料，经过哪些加工工艺制成，最后在使用状态下的显微组织是什么，能否在规定寿命期限内正常工作等问题的处理方法，则随设计者的材料科学知识水平与技能的不同，有着很大的差别。在我国工程界，机械设计师多半是依据经验来套用而非选用

材料；更有甚者，连套用都做不到而是随意取用，盲目性极大；至于正确决定使用状态的显微组织，则更是做不到。由此而造成的产品质量与寿命问题，已被大量的产品事故所证实。

因此，机械工程师不仅要能进行优良的功能设计和结构设计，同时还要能做好材料设计——即正确选择材料及其加工工艺，它的任务是通过选定适当化学成分的材料，经合理的加工工艺过程来获取满足产品使用要求的内部组织结构。产品的功能设计、结构与材料设计应是紧密结合而完全融为一体的。

（三）材料与机械制造

机械制造是将材料经济地加工成最终产品的过程。依据机械制造的各种工艺的作用，可将其分为两大类。

1. 改形工艺 即以保证设计所要求的结构形状与尺寸为主要目的之工艺，又称成形工艺，它包括切削成形（如车、铣、刨、磨、钻等）、流动成形（如铸造成形、塑性成形等）、连接成形（如焊接、铆接、粘接等）三大类。改形工艺的难易程度（即工艺性能）既受材料性能的影响，反过来改形工艺过程又会不同程度地影响到零件的内部组织，进而影响材料的使用性能；其中铸造成形、塑性成形与焊接成形过程对材料的组织与性能的影响程度极大，应予以高度重视。

2. 改性工艺 即以保证设计所要求的零件组织性能为目的之工艺，此为本课程的重点之一，它包括材料整体处理工艺（如退火、正火、淬火、回火、时效等）和材料表面改性处理工艺。表面处理工艺是近代材料科学研究的重要方向之一，它对提高产品质量和寿命，挖掘现有传统材料的潜力均具有突出的技术经济效益，特别是对提高零件疲劳性能、耐磨性、耐蚀性等方面有更为显著的效果，故应得到广泛的重视和应用。

在机械制造过程中，不同的材料有着各自适宜的加工工艺，这直接关系到产品的生产效率，也影响了产品的性能与质量，故要求在材料设计的同时，就必须考虑其加工工艺方法。材料科学与工程进步，既保证了优质高效产品的实现，也推动着机械制造工艺的不断发展，并导致了新兴产业的形成；反过来，先进的制造技术与装备，也推动着材料科学的发展。材料是机械工程的基础，要改变“重整机、轻零件，重设计与制造、轻材料”的错误倾向，这既是一种技术改革，更重要的是一种观念的更新。

四、本课程的目的、内容与学习要求

机械工程技术人员在从事产品设计、制造、运行、维护等工作时，都必然要对工程材料的选择、应用与加工等问题进行科学系统的分析并予以全面正确的解决。这就要求同时具备两方面的材料学知识：其一是应了解材料的成分、结构、工艺及外界条件（如载荷、温度、环境介质等）改变时对其性能的影响，其二是应该掌握各种工程材料（重点是金属材料）的基本特性和应用范围。“机械工程材料”课程正是为实现这一要求而设置的。

“机械工程材料”是机械类专业的一门重要技术基础课，其目的是使学生获得有关工程结构与机械零件常用的各种工程材料的基本理论知识和性能特点，从而使其初步具备合理选择材料和使用材料，正确选择加工方法及安排制订加工工艺路线的能力，且为后继有关课程的学习奠定必要的材料学基础。

本课程的内容包括：①材料的各种性能及应用意义（第一章）。②材料科学与工程的基本理论和基本知识（第二至第六章、第十三章）。③常用各种工程材料的基本知识、特性与应用（第七至十二章）。④工程材料的选用（第十四章）。

“机械工程材料”课程是一门理论性和实践应用性很强的课程。它以物理、化学、工程力学及金属工艺学和金工教学实习为基础，在学习时应注意联系上述课程的有关内容，并结合生产应用实际，注重分析、理解与运用，强调前后知识的整体联系与综合应用，以达到提高发现问题、分析问题和解决问题的独立创新工作能力。此外，还应加强材料科学与社会科学之间的联系，以丰富和提升该课程的学习价值。

第一章 材料的性能及应用意义

材料是人类社会经济地制造有用器件的物质。所谓有用，是指材料满足产品使用需要的特性，即使用性能，它包括力学性能、物理性能和化学性能；制造是指将原材料变成产品的全过程，材料对其所涉及的加工工艺的适应能力即为工艺性能，它包括铸造性能、塑性加工性能、切削加工性能、焊接性能和热处理性能等。全面地理解材料性能及其变化规律，是机械设计、选材用材、制订加工工艺及质量检验的重要依据；作为材料性能的两个方面，使用性能和工艺性能既有联系又有区别，两者有时是统一的，但更多的情况下却是互相矛盾的。合理地解决两者间的矛盾并使之不断改善和创新，是材料研究与应用的主要任务之一。

本章主要介绍工程材料各种性能（重点是力学性能）的物理意义、技术指标及其应用。

第一节 材料性能依据

材料的性能是一种参量，用于表征材料在给定的外界条件下所表现出来的行为。材料本身是一个复杂的系统，它包含材料的化学成分和内部结构。材料的化学成分和内部结构是性能的内部依据，而性能则是指确定成分和结构的材料的外部表现。这里的结构是一个广泛的概念，它包括原子结构、结合键、原子排列方式（晶体、非晶体与晶体缺陷）以及组织（显微组织与宏观组织）等四个层次。由于材料的性能一般必须量化表示，因而它通常是依照标准规定通过不同的试验来测定表述的，这便是我们从材料手册或设计资料上获得的性能参数。实际工件的性能首先取决于材料的性能，但须考虑到工件的形状尺寸、加工工艺过程和使用条件对其重要的影响。

材料科学与工程是依据“工艺→结构→性能”这条思路去控制或改变材料的性能，即工艺影响结构、结构决定性能。在此，“工艺”主要是指材料的制备和加工工艺，但也应考虑材料在使用过程中结构的可能变化以及由此而对性能产生的影响。

在改变结构时，应注意它的可变性以及因这种改变对于性能改变的敏感性。有些结构是难于改变的，如原子结构；有些结构虽然可以通过工艺来改变，但性能改变的敏感性却不同。某些性能如熔点、弹性模量主要取决于成分而对其结构改变不敏感，便称之为结构不敏感性能，而强度、塑性、韧性等性能对结构的改变非常敏感，则称之为结构敏感性能。这是选择材料和制订加工工艺所必须考虑的问题。

例如，弹簧的弹性、刚性及疲劳强度是其主要要求，选择不同成分（碳及合金元素含量）的弹簧钢并经过不同的加工工艺（如冷热塑性加工、热处理、表面喷丸等）来改变内部结构，弹簧的弹性与疲劳性能有着明显的不同，而其刚性却差异甚微。这说明对弹簧而言，试图用工艺去改变组织结构不敏感性的性能——刚性，显然是徒劳无功的，即便是将碳素弹簧钢改选成合金弹簧钢，刚性也无明显改善，其原因是碳钢与合金钢均是以 Fe 为主的材料，而材料的刚性主要取决于其内主要成分，次要成分的微小变化对它影响不大。

第二节 材料的使用性能

材料是在不同的外界条件下使用的，如在载荷、温度、介质、电磁场等作用下将表现出不同的行为，此即材料的使用性能，包括力学性能、物理性能和化学性能。由于工程结构与机器零件以传递力和能、实现规定的机械运动为主要功能，故力学性能是最主要的。

一、力学性能

力学性能是指材料在载荷（外力）作用下所表现出的行为，通过不同的标准试验测定的相关参量的临界值或规定值，即可作为力学性能指标。力学性能的类型依据载荷特性不同而不同，若按加载方式不同可分为拉伸、压缩、弯曲、扭转与剪切等性能，若按载荷的变化特性不同又可分为静载荷力学性能和动载荷力学性能等。不论何种情况，材料在外力作用下均会产生形状与尺寸的变化——变形。依照外力去除后变形能否恢复，变形可分为弹性变形（可恢复的变形）和塑性变形（不可恢复的残余变形）。当变形到一定程度而无法继续进行，材料便发生断裂。断裂前有明显宏观塑性变形的称为韧性断裂，反之则称为脆性断裂。

材料的变形与断裂是其受到外力作用时所表现出的普遍力学行为，试验测定的力学性能指标也很多，常用的有强度、塑性、刚性、弹性、硬度、韧性、疲劳性能和耐磨性等。

（一）强度

广义的强度是指材料在外力作用下对变形与断裂的抵抗能力。若将断裂看成为变形的极限，则可将强度简称为变形的抵抗能力。通常强度是依据相关标准规定进行静拉伸试验而得的。

在拉伸试验中，通过自动记录仪可得到试样上所受力 F 与其绝对伸长量 ΔL 的关系曲线，即力 - 伸长曲线。为排除试样原始尺寸对 $F - \Delta L$ 曲线的影响，经数学处理后即可得到工程上常用的应力 σ 和应变 ϵ 的关系曲线，即应力 - 应变曲线。图 1-1a、b 分别为典型的力 - 伸长曲线和应力 - 应变曲线。

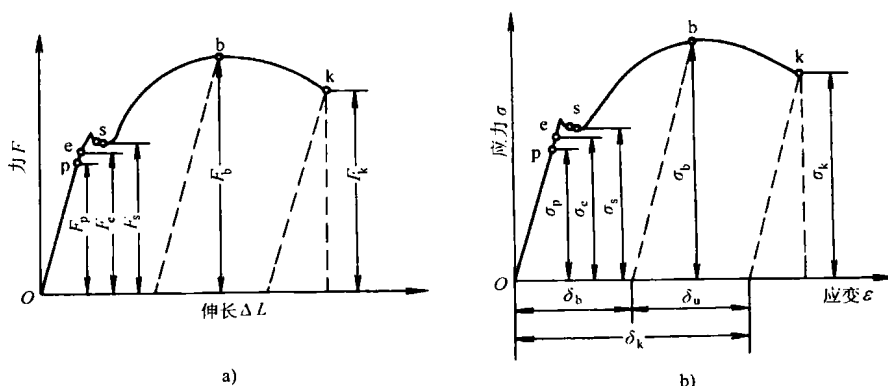


图 1-1 拉伸试验曲线

a) 典型力 - 伸长曲线 b) 应力 - 应变曲线

由图 1-1 可知：在力较小的 Oe 段，试样的变形（ ΔL 和 ϵ ）随力增加而线性增加，若除去外力后则变形完全恢复，故 Oe 阶段为弹性变形阶段。外力超过 F_e （ σ_e ）点后，试样进

入弹性-塑性变形阶段,此时若除去外力,则变形不可完全恢复(弹性变形可恢复、塑性变形则成为不可恢复的永久变形)。当力达到 F_s (σ_s)时,试样产生屈服现象——外力不增加而变形量明显继续增加。超过s点后,随着应力的提高,塑性变形逐渐增加,并伴随着形变强化现象,即变形需要不断增加外力才能继续进行,在s~b点之间,试样发生的是均匀塑性变形。当力达到并超过 F_b (σ_b)点之后,试样开始产生不均匀的集中塑性变形即缩颈,并随着变形的继续伴有力下降现象。当达到k点时,试样于缩颈处发生断裂。

综上所述,典型的力-伸长曲线(如低碳钢试样)表征的力学行为可分为弹性变形阶段(Oe段)、弹塑性变形阶段(ek段)和断裂阶段(k点),其中弹塑性变形阶段又可细分为屈服塑性变形(es段)、均匀塑性变形(sb段)和不均匀集中塑性变形(bk段),但并非所有材料的力-伸长曲线均有以上明显的全部特征。如塑性极低的铸铁或淬火高碳钢、陶瓷等材料则几乎只有弹性变形阶段,这说明材料的成分和组织结构不同,在相同试验下所表现出来的力学行为有着明显的差异。

通过拉伸试验,可以从应力-应变曲线上得到一些有价值的临界或规定的点来确定材料的一系列强度指标。由于一般强度是指对塑性变形的抗力,依照塑性变形量的允许程度不同,则有以下强度指标。

1. 比例极限(σ_p) 在弹性变形阶段,应力和应变关系完全符合胡克定律的极限应力即为比例极限 σ_p 。如火炮炮筒,为保证炮弹的弹道准确性,则要求炮筒只能产生弹性变形且其变形与应力之间应严格保持正比关系,若 $\sigma > \sigma_p$,炮筒则会产生超过允许的微量塑性变形,炮弹就会偏离射击目标,故炮筒设计时应采用比例极限 σ_p 。

2. 弹性极限(σ_e) 弹性极限是指在完全卸载后不出现任何明显的微量塑性变形的极限应力值,当应力 $\sigma \leq \sigma_e$ 时,应变和应力之间可能已丧失了严格的正比关系,但变形基本上可恢复而微量残余变形不明显。因此,弹性极限 σ_e 受测量仪器的精度影响而难于确定,故国家标准一般规定以残余应变量为(即微量塑性变形量)为0.01%时的应力值作为“规定弹性极限”(或称“条件弹性极限”)。工程上,弹性元件(如汽车板簧、仪表弹簧等)均是按弹性极限 σ_e 来进行设计选材的。

3. 屈服点或屈服强度(σ_s 、 $\sigma_{0.2}$) 在外力作用下,材料产生屈服现象的极限应力值即为屈服点 σ_s 。屈服点标志着材料对起始塑性变形的抗力。若材料有明显的屈服行为,则以应力-应变曲线上的屈服平台对应的应力值作为 σ_s ;若材料无明显的屈服现象,国家标准则规定以残余应变量为0.2%的应力值来表征材料塑性变形的抗力,称为屈服强度,即所谓的“条件屈服强度”,记作 $\sigma_{0.2}$ 。

屈服点或屈服强度表示了材料由弹性变形阶段过渡到弹塑性变形的临界应力,这可认为是材料对明显塑性变形的抗力。绝大多数零件,如紧固螺栓、汽车连杆、机床丝杠等,在工作时都不允许明显的塑性变形,否则将丧失其自身精度或使与其他零件的相对配合受到影响,故屈服强度是其设计与选材的主要依据之一。

4. 抗拉强度(σ_b) 材料在受力过程中能承受的最大载荷 F_b 处对应的应力值即为抗拉强度。对塑性较好的材料, σ_b 表示了材料对最大均匀变形的抗力;而对塑性较差的材料,一旦达到最大载荷,材料迅即发生断裂,故 σ_b 也是其断裂抗力(断裂强度)指标。不论何种材料, σ_b 均是其最大允许承载能力的度量,且因 σ_b 易于测定,故适合于作为产品规格说