

彩色版



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学985名优教材立项资助



普通高等院校基础力学系列教材

材料力学 (第3版)

范钦珊 殷雅俊 唐靖林 编著

清华大学出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学985名优教材立项资助

普通高等院校基础力学系列教材

材料力学

(第3版)

范钦珊 殷雅俊 唐靖林 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为基础篇和专题篇,共 17 章。基础篇包括反映材料力学基本要求的轴向载荷杆件、材料的力学性能、连接件强度的工程假定计算、圆轴扭转、弯曲强度与刚度、应力状态与应变状态、强度设计准则、压杆稳定等教学内容,共 13 章;专题篇包括能量法、简单静不定系统、动载荷与动应力、疲劳强度与构件寿命等内容,共 4 章,供不同院校选用。根据不同院校的实际情况,基础篇所需教学时数为 32~48 课时;专题篇所需教学时数 16~24 课时。

本书注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与烦琐的数字运算,引入了大量涉及广泛领域的工程实例以及与工程有关的例题和习题。

本教材可作为高等院校理工科各专业材料力学课程的教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学:彩色版/范钦珊,殷雅俊,唐靖林编著. —3 版. —北京:清华大学出版社,2015

普通高等院校基础力学系列教材

ISBN 978-7-302-38793-0

I. ①材… II. ①范… ②殷… ③唐… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 283572 号

责任编辑:佟丽霞

封面设计:何凤霞

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25

字 数:607 千字

版 次:2004 年 9 月第 1 版 2015 年 1 月第 3 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:79.00 元

产品编号:061393-01

普通高等院校基础力学系列教材

编委会名单

主 任：范钦珊

编 委：王焕定 王 琪 刘 燕

祁 皓 殷雅俊

主 编 简 介

范钦珊 清华大学教授,博士生导师。享受政府特殊津贴。首届国家级教学名师奖获得者。历任教育部工科力学课程教学指导委员会副主任、基础力学课程指导组组长。

长期从事“非线性屈曲理论与应用”、“反应堆结构力学”等方面的研究。同时从事“材料力学”、“工程力学”等课程本科生教学工作与教学软件研制。在高等教育的岗位上已经工作47年,现在仍然活跃在本科教学第一线,为清华大学、北京交通大学、南京航空航天大学、河海大学、南京工业大学等院校的本科生讲授“材料力学”和“工程力学”课程。

主持教育部面向21世纪“力学系列课程改革项目”,2000年通过鉴定;在全国26个省、市、自治区作300多场关于教学改革的报告与示范教学。主持全国性研讨会、培训班15次,培训青年教师150多人。主持清华大学“211”工程、世行贷款项目、“985”力学教学项目建设,取得了一批创新性成果,受到国内评审专家和世行官员的一致好评。

创建清华大学材料力学精品课程,以及国家工科基础课程(力学)教学基地。

在国内外发表论文70余篇。出版教材、专著与译著30余部,课堂教学软件10多套;研制“新世纪网络课程”——工程力学(1)、(2);创建我国第一个多媒体“工程力学”教学资源库;建立了清华大学力学教学基地网站。

获全国优秀科技图书奖1项;国家级优秀教学成果奖2项;北京市优秀教学成果奖2项;省部级科技进步二等奖2项,一等奖1项;优秀教材二等奖2项,一等奖1项;全国高校自然科学二等奖1项;国家科技进步二等奖1项。

目前从事江苏省科技成果转化基金项目——“高强度高韧性球墨铸铁的产业化”,以及“锂离子动力电池产业化”研究。同时致力于教育部“高等学校教学质量与教学改革工程项目——在内容与体系改革的基础上推进课程的研究型教学”的研究与实践,取得了一些阶段性成果,受到力学界与教育界同行专家的认同。

殷雅俊 清华大学航天航空学院力学系教授、博士生导师。清华大学国家基础课程力学教学基地负责人、清华大学国家精品课程“材料力学”负责人、清华大学国家级力学实验教学示范中心常务副主任、教育部力学基础课程教学指导委员会秘书长。

1993—1994年,作为Research Fellowship访问荷兰Delft大学。2000—2001年,受Japan Trust基金会和Japan Key Technology Center的资助,任日本石川岛重工(IHI)基础技术研究所海外研究员。先后获清华大学教学优秀奖、宝钢教育基金会优秀教师奖、北京市高等教育教学成果一等奖和国家级高等教育教学优秀成果二等奖。主要从事固体力学和生物力学研究。1998—2003年,从事细观损伤力学研究,主攻研究方向为材料的细观损伤本构理论及其应用。2003年至今,从事生物力学研究,主攻研究方向为微纳米生物力学与几何学和超级碳纳米管力学与分形几何学。在国际刊物上发表SCI论文30多篇。

本书第2版自2008年问世至今已经走过6个年头,承蒙很多高校材料力学教学第一线的老师和同学以及业余读者的关爱和支持,已经连续印刷了10次。2012年获得清华大学优秀教材特等奖;同年,相应的教学成果获得北京市高等学校优秀教学成果一等奖。2012年本书第3版被列入“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;2013年被批准为清华大学“985”三期名优教材建设项目立项。

最近的6年里,著者秉承不断提高课程重量、着力培养学生创新思维能力的教育与教学理念,先后在清华大学、南京航空航天大学、北京工业大学以及北京邮电大学从事“材料力学”研究型教学的研究与实践,坚持全过程讲授这门课程,授课对象每年约200名。在同事和同学们的支持与帮助下,对于教育和教学改革又有了一些新的体会和收获。材料力学(第3版)将着重反映6年来我们在研究型教学方面所取得的成果。主要有:怎样在基于普遍提高教学质量的基础上,培养学生的创新思维能力;怎样提高课程的吸引力,增强课程教学的学术性;怎样挖掘基本教学内容的深度;怎样对传统内容中的某些概念、理论和方法加以改革和更新,突出挑战性。基于此,本书第3版修订的主要内容有以下几方面。

第一,调整了部分章节,将材料的力学性能从“第2章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题”中独立出来,形成“第3章 常温静载下材料的力学性能”;重写了“剪力图与弯矩图”作为第6章;将原来的第6章分为3章:“第7章 平面弯曲正应力分析与强度设计”和“第8章 弯曲剪应力分析与弯曲中心的概念”以及“第9章 斜弯曲、弯曲与拉伸或压缩同时作用时的应力计算与强度设计”;将原来的第8章分为:“应力状态与应变状态分析”和“一般应力状态下的强度设计准则及其工程应用”,分别列为第11章和第12章;将原来的第12章也分为两章:“动载荷与动应力概述”和“疲劳强度与构件寿命估算概述”,分别列为第16章和第17章。

第二,增加了部分教学内容,主要有:部分非金属材料的力学性能;梁的位移叠加法中的逐段刚化法;应变分析;细长压杆实验结果;线性累积损伤与疲劳寿命估算等。

第三,将力系简化的方法引入横截面的内力分析,改革传统剪力图与弯矩图的画法。

第四,正确处理变形与位移概念的联系与区别,将确定梁的转角和挠度的章节名改为“梁的位移分析与刚度设计”。

第五,在部分章节引入“反问题”:相对于正问题,反问题的解答不是唯一的,通过对于反问题的思考,一方面可以加深对于正问题的理解;另一方面可以激励创新思维。

第六,在部分章节设计了“开放式思维案例”作为学生课外学习和研究的资源。最近几年的教学实践表明,这对于刺激思维鼓励创新是一种有效的措施。

第七,增加了若干工程案例以及灾难性工程事故的力学解析。

第八,增加和改变了部分例题和习题。

随着课程研究型教学在更多高校开展、深入和发展,材料力学的课程教学以及教材建设还会遇到一些新问题,我们将一如既往地坚持“在教学中研究,在研究中教学”,以不断提高人才培养质量为己任,在教学实践的基础上,不断提高材料力学教材的质量。

这一版的初稿于2012年下半年—2013年上半年在国内完成;2013年7—8月在加拿大多伦多定稿。定稿期间,得到旅加的赵渊先生和范心明女士的大力支持和协助,在本书出版之际,著者谨表诚挚谢意。

诚挚地感谢广大读者对本书的关爱,希望大家对本书的缺点和不足提出宝贵意见。

范钦珊

2014.1.11

本书第1版自2004年出版以来受到很多教学第一线的教师和同学以及业余读者的厚爱,已连续印刷了6次。同时,广大读者也提出了一些宝贵的修改要求和具体意见。

著者最近几年在全国7个大区(东北在哈尔滨工业大学、西北在西北工业大学、华北在北京交通大学、中南在华中科技大学、西南在重庆大学、华南在华南理工大学、华东在南京航空航天大学)讲学的同时,对我国高等学校“材料力学”的教学状况和对“材料力学”教材的需求进行了大量调研,与全国500多名基础力学教师以及近2000名同学交换关于“材料力学”教材使用和修改的意见。通过上述调研,我们进一步认识到,当初编写教材的理念基本上是正确的,这就是:在面向21世纪课程教学内容与体系改革的基础上,进一步对教学内容加以精选,尽量压缩教材篇幅,同时进行包括主教材、教学参考书——教师用书和学生用书、电子教材——电子教案与电子书等在内的教学资源一体化的设计,努力为教学第一线的教师和同学提供高水平、全方位的服务。

本书是在上述调研的基础上,根据新的培养计划和教学基本要求,从一般院校的实际情况出发,删去大部分院校不需要的教学内容。在面向21世纪课程教学内容与体系改革的基础上,对于传统内容进一步加以精选,大大压缩教材篇幅,以满足60学时左右“材料力学”课程的教学要求。

修订的主要内容有三个方面:第一,删去了“新材料的材料力学概述”一章;新增“简单的静不定系统”一章;将原来的第2、3两章合并为一章,新增加“连接件的剪切与挤压强度计算”作为第3章;将“梁的强度问题”一章分解为两章——“梁的剪力图与弯矩图”和“梁的应力分析与强度计算”。第二,改写了部分章节,主要有:“材料力学概述”一章中,增加了内力分量以及内力分量与应力的关系等内容;“梁的应力分析与强度计算”一章中增加了弯曲剪应力的分析过程;“材料力学中的能量方法”一章中重写了虚位移一节。第三,替换了部分例题和习题,进一步降低了难度。

修订后本书依然分为基础篇与专题篇,共12章。基础篇共9章,包括:第1章材料力学概述,第2章轴向载荷作用下杆件的材料力学问题,第3章连接件的剪切与挤压强度计算,第4章圆轴扭转时的强度与刚度计算,第5章梁的剪力图与弯矩图,第6章梁的应力分析与强度计算,第7章梁的变形分析与刚度问题,第8章应力状态与强度理论及其工程应用,第9章压杆的稳定问题;专题篇共3章,包括:第10章材料力学中的能量方法,第11章简单的静不定系统,第12章动载荷与疲劳强度概述。其中带*的章节教师可根据情况选用。

为了保持教材建设的连续性,本书第2版由清华大学航天航空学院殷雅俊教授担任第

2 主编。殷雅俊教授系清华大学“国家基础课程力学教学基地”负责人、“国家力学实验教学示范中心”副主任、国家精品课程“材料力学”负责人,长期坚持教学与科研结合,坚持教学内容与教学方法改革,在教学与科学研究领域取得了一些创新性成果。他的加入将会确保不断提高本书质量,不断反映“材料力学”教学的最新成果。同时,还邀请南京航空航天大学虞伟建副教授参与第2版的编著工作,因此,本书第2版也反映了最近几年南京航空航天大学力学教育与教学的成果。

21 世纪新事物层出不穷,没有也不应该有一成不变的教材,我们将努力跟上时代的步伐,以不断提高“材料力学”课程教学质量为己任,不断地从理念、内容、方法与技术等方面对“材料力学”教材加以修订,使之日臻完善。

衷心希望关爱本书的广大读者继续对本书的缺点和不足提出宝贵意见。

范钦珊

2007 年 7 月

于清华大学,南京航空航天大学

普通高等院校基础力学系列教材包括“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”、“工程力学(静力学+材料力学)”。这套教材是根据我国高等教育改革的形势和教学第一线的实际需求,由清华大学出版社组织编写的。

从2002年秋季学期开始,全国普通高等学校新一轮培养计划进入实施阶段。新一轮培养计划的特点是:加强素质教育、培养创新精神。根据新一轮培养计划,课程的教学总学时数大幅度减少,学生自主学习空间进一步增大。相应地,课程的教学时数都要压缩,基础力学课程也不例外。

怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握力学的基本知识,又能了解一些力学的最新进展,既能培养和提高学生力学学习的能力,又能加强学生的工程概念,这是很多力学教育工作者所共同关心的问题。

现有的基础力学教材大部分都是根据在比较多的学时内进行教学而编写的,因而篇幅都比较大。教学第一线迫切需要适用于学时压缩后教学要求的小篇幅的教材。

根据“有所为、有所不为”的原则,这套教材更注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与烦琐的数字运算。这样做不仅可以满足一些专业对于力学基础知识的要求,而且可以切实保证教育部颁布的基础力学课程教学基本要求的教学质量。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本套教材在概念、原理的叙述方面作了一些改进。一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论;另一方面通过较多的例题分析,特别是新增加了关于一些重要概念的例题分析。著者相信这将有助于读者加深对于基本内容的了解和掌握。

此外,为了帮助学生学习和加深理解以及方便教师备课和授课,与每门课程主教材配套出版了学习指导、教师用书(习题详细解答)和供课堂教学使用的电子教案。

本套教材内容的选取以教育部颁布的相关课程的“教学基本要求”为依据,同时根据各院校的具体情况,作了灵活的安排,绝大部分为必修内容,少部分为选修内容。

范钦珊

2004年7月于清华大学

主要符号表

符号	量的含义	符号	量的含义
A	面积	s	路程、弧长
a	间距	u	水平位移、轴向位移
b	宽度	$[u]$	许用轴向位移
d	直径、距离、力偶臂	u_d	畸变能密度
D	直径	u_V	体积改变能密度
e	偏心距	v	应变能密度
E	弹性模量、杨氏模量	V_e	应变能
F	力	W	功、重量、弯曲截面模量
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力	W_p	扭转截面模量
F_N	法向约束力、轴力	w	挠度
F_{Nx}	轴力	α	倾角、线膨胀系数
F_P	载荷	β	角、表面加工质量系数
F_{Pcr}	临界载荷、分叉载荷	θ	梁横截面的转角、单位长度相对扭转角
F_Q	剪力	φ	相对扭转角
F_R	合力、主矢	γ	剪应变
F_S	牵引力、拉力	Δ	变形、位移
F_T	拉力	δ	厚度
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 轴上的分量	ε	正应变、尺寸系数
G	切变模量	ε_e	弹性应变
h	高度	ε_p	塑性应变
I	惯性矩	ε_V	体积应变
I_p	极惯性矩	λ	长细比
I_{yz}	惯性积	μ	长度系数
K_f	有效应力集中系数	ν	泊松比
K_t	理论应力集中系数	ρ	密度、曲率半径
k	弹簧刚度系数	σ	正应力
l	长度、跨度	σ^+	拉应力
M, M_y, M_z	弯矩	σ^-	压应力
M_e	外加扭矩	$\bar{\sigma}$	平均应力
M_x	扭矩	σ_b	强度极限
m	质量	σ_c	挤压应力
M_O	力系对点 O 的主矩	$[\sigma]$	许用应力
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩	$[\sigma]^+$	拉伸许用应力
M	力偶矩	$[\sigma]^-$	压缩许用应力
M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴之矩	σ_{cr}	临界应力
n	转速	σ_e	弹性极限
$[n]_{st}$	稳定安全因数	σ_p	比例极限
p	内压力	$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
P	功率	σ_s	屈服应力
q	均布载荷集度	τ	剪应力
R, r	半径	$[\tau]$	许用剪应力
		σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限

基础篇

第 1 章 导论	3
1.1 “材料力学”的研究内容	3
1.2 工程设计中的材料力学问题	3
1.3 杆件的受力与变形形式	5
1.4 关于材料的基本假定	7
1.5 弹性体受力与变形特征	7
1.6 应力与应变及其相互关系	10
1.7 杆件横截面上的内力与内力分量	12
1.8 应力与内力分量之间的关系	13
1.9 材料力学的分析方法	14
1.10 结论与讨论	15
习题	16
第 2 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题	18
2.1 工程中承受拉伸与压缩的杆件	18
2.2 轴力与轴力图	20
2.3 拉伸与压缩时杆件的应力与变形分析	22
2.4 拉伸与压缩杆件的强度设计	27
2.5 简单的拉压静不定问题	30
2.6 结论与讨论	33
习题	37
第 3 章 常温静载下材料的力学性能	42
3.1 两种典型材料拉伸时的力学性能	42
3.2 两种典型材料压缩时的应力-应变曲线与力学性能	47
3.3 混凝土拉伸与压缩时的应力-应变全曲线	48
3.4 结论与讨论	48
习题	49

第4章 连接件强度的工程假定计算	51
4.1 铆接件的强度失效形式及相应的强度计算方法	51
4.2 连接件的剪切破坏及剪切假定计算	51
4.3 连接件的挤压破坏及挤压强度计算	52
4.4 连接板的拉伸强度计算	53
4.5 连接件后面的连接板的剪切计算	53
4.6 机械与建筑结构连接件的剪切强度计算	54
4.7 结论与讨论	55
习题	56
第5章 圆轴扭转时的强度与刚度设计	58
5.1 圆轴在工程中的应用	58
5.2 外加扭矩、扭矩与扭矩图	59
5.3 剪应力互等定理	61
5.4 圆轴扭转时横截面上的剪应力分析	62
5.5 圆轴扭转时的强度设计	66
5.6 相对扭转角计算与刚度设计	69
5.7 结论与讨论	71
习题	76
第6章 剪力图与弯矩图	79
6.1 承弯构件的力学模型与工程中的承弯构件	79
6.2 梁的内力及其与外力的相依关系	82
6.3 应用力系简化方法确定梁横截面上的剪力与弯矩	83
6.4 剪力方程与弯矩方程	86
6.5 剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系	88
6.6 梁的剪力图与弯矩图	90
6.7 刚架的内力与内力图	93
6.8 结论与讨论	96
习题	98
第7章 平面弯曲正应力分析与强度设计	103
7.1 与应力分析相关的截面图形几何性质	103
7.2 平面弯曲时梁横截面上的正应力	112
7.3 梁的强度计算	120
7.4 结论与讨论	125
习题	132
第8章 弯曲剪应力分析与弯曲中心的概念	138
8.1 弯曲剪应力分析方法	138
8.2 开口薄壁梁的弯曲剪应力分析	140

8.3	开口薄壁截面梁弯曲时横截面上的剪应力流	142
8.4	实心截面梁的弯曲剪应力公式	146
8.5	薄壁截面梁弯曲时的特有现象	148
8.6	结论与讨论	151
	习题	153
第9章	斜弯曲、弯曲与拉伸或压缩同时作用时的应力计算与强度设计	156
9.1	斜弯曲的应力计算与强度设计	156
9.2	弯曲与拉伸或压缩同时作用时的应力计算与强度计算	161
9.3	结论与讨论	164
	习题	167
第10章	梁的位移分析与刚度设计	171
10.1	基本概念	171
10.2	小挠度微分方程及其积分	174
10.3	工程中的叠加法	177
10.4	梁的刚度设计	184
10.5	简单的静不定梁	187
10.6	结论与讨论	191
	习题	194
第11章	应力状态与应变状态分析	198
11.1	基本概念与分析方法	198
11.2	平面应力状态分析——任意方向面上应力的确定	200
11.3	一点应力状态中的主应力与最大剪应力	202
11.4	分析应力状态的应力圆方法	206
11.5	三向应力状态的特例分析	210
11.6	复杂应力状态下的应力-应变关系 应变能密度	212
11.7	平面应变状态分析	216
11.8	承受内压薄壁容器的应力分析	224
11.9	结论与讨论	226
	习题	228
第12章	一般应力状态下的强度设计准则及其工程应用	232
12.1	强度设计的新问题	232
12.2	关于脆性断裂的设计准则	233
12.3	关于屈服的设计准则	235
12.4	圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度设计	238
12.5	圆柱形薄壁容器强度设计简述	243
12.6	结论与讨论	244
	习题	246

第 13 章 压杆(柱)的稳定性分析与稳定性设计	250
13.1 工程结构中的压杆(柱)	250
13.2 基本概念	252
13.3 两端铰支压杆的临界载荷 欧拉公式	254
13.4 不同刚性支承对压杆临界载荷的影响	256
13.5 临界应力与临界应力总图	257
13.6 压杆稳定性设计的安全因数法	262
13.7 结论与讨论	264
习题	269

专 题 篇

第 14 章 材料力学中的能量方法	275
14.1 基本概念	275
14.2 互等定理	278
14.3 莫尔方法	281
14.4 计算直杆莫尔积分的图乘法	286
14.5 卡氏定理	291
14.6 结论与讨论	295
习题	298
第 15 章 简单的静不定系统	302
15.1 静不定问题的概念与方法	302
15.2 力法与正则方程	306
15.3 对称性与反对称性在求解静不定问题中的应用	315
15.4 空间静不定结构的特殊情形	321
15.5 结论与讨论	322
习题	326
第 16 章 动载荷与动应力概述	330
16.1 达朗贝尔原理(动静法)	330
16.2 等加速度直线运动时构件上的惯性力与动应力	331
16.3 旋转构件的受力分析与动应力计算	332
16.4 构件上的冲击载荷与冲击应力计算	335
16.5 结论与讨论	339
习题	341
第 17 章 疲劳强度与构件寿命估算概述	344
17.1 疲劳强度概述	344
17.2 疲劳失效特征	347
17.3 疲劳极限与应力-寿命曲线	349

17.4 影响疲劳寿命的因素.....	350
17.5 基于无限寿命的疲劳强度设计方法.....	351
17.6 基于累积损伤概念的有限寿命估算.....	353
17.7 结论与讨论.....	357
习题.....	358
附录 A 型钢规格表.....	360
附录 B 习题答案.....	371
附录 C 索引.....	378
主要参考书目.....	382

基础篇

- 第 1 章 导论
- 第 2 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题
- 第 3 章 常温静载下材料的力学性能
- 第 4 章 连接件强度的工程假定计算
- 第 5 章 圆轴扭转时的强度与刚度设计
- 第 6 章 剪力图与弯矩图
- 第 7 章 平面弯曲正应力分析与强度设计
- 第 8 章 弯曲剪应力分析与弯曲中心的概念
- 第 9 章 斜弯曲、弯曲与拉伸或压缩同时作用时的应力计算与强度设计
- 第 10 章 梁的位移分析与刚度设计
- 第 11 章 应力状态与应变状态分析
- 第 12 章 一般应力状态下的强度设计准则及其工程应用
- 第 13 章 压杆(柱)的稳定性分析与稳定性设计