



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等院校基础力学系列教材

材料力学 (第2版)

范钦珊 殷雅俊 主编
虞伟建 殷雅俊 范钦珊 编著

清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>



普通高等教育“十一五”

普通高等院校基础力学系列教材

材料力学

(第2版)

范钦珊 殷雅俊 主编

虞伟建 殷雅俊 范钦珊 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12章。基础篇包括反映材料力学基本要求的轴向拉压杆件、材料的力学性能、连接件的剪切与挤压、圆轴扭转、弯曲强度与刚度、应力状态与强度理论、压杆稳定等教学内容,共9章;专题篇包括能量法、简单静不定系统、动载荷与疲劳强度等教学内容,共3章,供不同院校选用。根据不同院校的实际情况,基础篇所需教学学时数约为32~48;专题篇所需教学学时数约为16~24。

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,翻印必究。举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/范钦珊,殷雅俊主编;虞伟建等编著.—2版.北京:清华大学出版社,2008.7

(普通高等院校基础力学系列教材)

ISBN 978-7-302-17828-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 081791 号

责任编辑:佟丽霞 赵从棉

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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 装 者:北京市昌平环球印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:170×230 印 张:22.25

字 数:393 千字

版 次:2008 年 7 月第 2 版

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:027783-01

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 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,共为 6000 多名本科生授过课,培养硕士生和博士生 18 名。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 1964年生。1985年毕业于清华大学水利工程系水力机械专业。1988年获清华大学力学系固体力学专业硕士学位。1995—1998年,获日本政府奖学金,在广岛大学从事特别博士课程的学习和研究,1998年,在日本广岛大学机械系获工学博士学位。1998—2004年,先后任清华大学力学系助教、讲师、副教授。2004年至今,任清华大学航天航空学院力学系教授、博士生导师。现任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。

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。

PREFACE

普通高等院校基础力学系列教材

序

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扩大。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 and 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。

材料力学(第2版)范钦珊

范钦珊

2004年7月于清华大学

FOREWORD

前言

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学生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学生提供高水平、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

FOREWORD

第1版前言

本书是为普通高等院校理工科各专业中少学时“材料力学”课程而编写的,同时对材料力学的深度和难度要求不高,但对材料力学的基础知识需要有一定了解的专业,可作为素质教育的一部分。

从力学教学的要求出发,本书的编写更注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与烦琐的数字运算。

材料力学与很多工程问题密切相关。材料力学教学不仅有助于培养学生的科学素质,而且有助于加强学生的工程概念。这对于他们向其他学科或其他工程领域扩展是很有利的。基于此,本书与以往的同类教材相比,难度有所下降,工程概念有所加强,引入了大量涉及广泛领域的工程实例和与工程有关的例题与习题。

本书内容的选取以教育部颁布的“材料力学教学基本要求”为依据,同时考虑到20世纪60年代以来材料科学的发展和各种新材料不断涌现并且应用于广泛的工程实际的情况,特别增加了“新材料的材料力学概述”内容,目的是开阔学生的视野,增强适应性。

全书分为基础篇和专题篇,共11章。基础篇共8章,包括反映材料力学基本要求的轴向拉压杆件、材料的力学性能、圆轴扭转、弯曲强度与刚度、应力状态与强度理论、压杆稳定等内容;专题篇共3章,包括能量法、动载荷与疲劳强度、新材料的材料力学等概述性的内容。各院校可根据自身的情况选择讲授的内容。一般来说,基础篇所需教学时数约为32~48;专题篇所需教学时数约为16~24。

范钦珊

2004年7月于清华大学

主要符号表

符号	量的含义
A	面积
a	间距
b	宽度
d	直径、距离、力偶臂
D	直径
e	偏心距
E	弹性模量、杨氏模量
F	力
$F_{Ax}、F_{Ay}$	A 处铰约束力
F_N	法向约束力、轴力
F_{Nx}	轴力
F_P	载荷
F_{Per}	临界载荷、分叉载荷
F_Q	剪力
F_R	合力、主矢
F_S	牵引力、拉力
F_T	拉力
$F_x、F_y、F_z$	力在 $x、y、z$ 轴上的分量
G	切变模量
h	高度
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{yz}	惯性积
K_f	有效应力集中系数
K_t	理论应力集中系数
k	弹簧刚度系数
l	长度、跨度
$M、M_y、M_z$	弯矩
M_e	外加扭矩
M_x	扭矩
m	质量
M_O	力系对点 O 的主矩
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
M	力偶矩

M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴之矩
n	转速
$[n]_{st}$	稳定安全因数
p	内压力
P	功率
q	均布载荷集度
R, r	半径
s	路程、弧长
u	水平位移、轴向位移
$[u]$	许用轴向位移
u_d	畸变能密度
u_v	体积改变能密度
u	应变能密度
V_e	应变能
W	功、重量、弯曲截面模量
W_p	扭转截面模量
w	挠度
α	倾角、线膨胀系数
β	角、表面加工质量系数
θ	梁横截面的转角、单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
γ	剪应变
Δ	变形、位移
δ	厚度
ε	正应变、尺寸系数
ε_e	弹性应变
ε_p	塑性应变
ε_v	体积应变
λ	长细比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	密度、曲率半径
σ	正应力
σ^+	拉应力
σ^-	压应力
$\bar{\sigma}$	平均应力
σ_b	强度极限
σ_c	挤压应力
$[\sigma]$	许用应力

$[\sigma]^+$	拉伸许用应力
$[\sigma]^-$	压缩许用应力
σ_{cr}	临界应力
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
σ_s	屈服应力
τ	剪应力
$[\tau]$	许用剪应力
σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限

CONTENTS

目录

基础篇

第 1 章 材料力学概述	3
1.1 “材料力学”的研究内容	3
1.2 杆件的受力与变形形式	4
1.3 工程构件静力学设计的主要内容	5
1.4 关于材料的基本假定	6
1.5 弹性体受力与变形特征	7
1.6 材料力学的分析方法	9
1.7 内力与内力分量	9
1.8 应力及其与内力分量之间的关系	10
1.9 应变以及应力-应变关系	11
1.10 结论与讨论	13
习题	14
第 2 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题	17
2.1 轴力与轴力图	17
2.2 轴向载荷作用下杆件横截面上的应力	20
2.3 最简单的强度问题	22
2.4 轴向载荷作用下的变形分析与计算	26
2.5 两种典型材料拉伸时的力学性能	29
2.6 两种典型材料压缩时的力学性能	34
2.7 结论与讨论	35
习题	40

第3章 连接件的剪切与挤压强度计算	47
3.1 铆接件的强度失效形式及相应的强度计算方法	47
3.2 焊缝强度的剪切假定计算	51
3.3 结论与讨论	55
习题	55
第4章 圆轴扭转时的强度与刚度计算	59
4.1 外加扭力矩、扭矩与扭矩图	59
4.2 剪应力互等定理 剪切胡克定律	61
4.3 圆轴扭转时横截面上的剪应力分析与强度设计	62
4.4 圆杆扭转时的变形及刚度条件	70
4.5 结论与讨论	72
习题	74
第5章 梁的剪力与弯矩图	77
5.1 工程中的弯曲构件	77
5.2 梁的内力及其与外力的相互关系	78
5.3 剪力方程与弯矩方程	81
5.4 剪力与弯矩图	84
5.5 载荷集度、剪力、弯矩之间的微分关系	87
*5.6 刚架的内力与内力图	91
5.7 结论与讨论	93
习题	95
第6章 梁的应力分析与强度计算	99
6.1 与应力分析相关的截面图形几何性质	99
6.2 平面弯曲时梁横截面上的正应力	105
6.3 梁的强度计算	116
*6.4 弯曲剪应力分析	122
6.5 斜弯曲的应力计算与强度设计	130
6.6 弯矩与轴力同时作用时横截面上的正应力	135
6.7 结论与讨论	139
习题	145
第7章 梁的变形分析与刚度问题	151
7.1 梁的变形与梁的位移	151
7.2 梁的小挠度微分方程及其积分	153

7.3 叠加法确定梁的挠度与转角	158
7.4 梁的刚度问题	166
7.5 简单的静不定梁	168
7.6 结论与讨论	171
习题	174
第8章 应力状态与强度理论及其工程应用	179
8.1 应力状态的基本概念	179
8.2 平面应力状态任意方向面上的应力	181
8.3 应力状态中的主应力与最大剪应力	184
8.4 应力圆及其应用	189
8.5 一般应力状态下的应力-应变关系	193
8.6 一般应力状态下的应变能密度	194
8.7 强度理论概述	196
8.8 关于脆性断裂的强度理论	197
8.9 关于屈服的强度理论	199
8.10 圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度计算	202
8.11 圆柱形薄壁容器的应力分析与强度设计简述	207
8.12 结论与讨论	209
习题	212
第9章 压杆的稳定问题	217
9.1 压杆稳定的基本概念	217
9.2 两端铰支压杆的临界载荷 欧拉公式	219
9.3 不同刚性支承对压杆临界载荷的影响	221
9.4 临界应力与临界应力总图	222
9.5 压杆稳定性设计的安全因数法	228
9.6 结论与讨论	231
习题	234

专 题 篇

第10章 材料力学中的能量方法	241
10.1 基本概念	241
10.2 互等定理	244