



面向 21 世纪 课程 教材  
Textbook Series for 21st Century

# 材 料 力 学

第 3 版

殷雅俊 范钦珊 主编

殷雅俊 范钦珊 王晶 孙伟 王单 李栋栋 王社民 编著

高等教育出版社



面向 21 世纪 课 程 教 材  
Textbook Series for 21st Century

# 材 料 力 学

第 3 版

殷雅俊 范钦珊 主编

殷雅俊 范钦珊 王晶 孙伟 王单 李栋栋 王社民 编著

高等教育出版社·北京

内容提要

本书第1版于1999年出版,是面向21世纪课程教材,体现了教育部“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的重要成果。第2版于2005年出版。第3版是在前两版的基础上进行修订的,是清华大学、南京航空航天大学 and 北京工业大学三校的“材料力学”教学团队,最近10多年来开展研究型教学的研究与实践的最新成果。

本书第3版分为基础篇和专题篇,共20章。基础篇所需教学时数为48~56学时;专题篇所需教学时数为16学时。基础篇包括材料力学导论,内力分析与内力图,轴向载荷作用下杆件的材料力学问题,正应力分析与强度设计(1)——与应力分析有关的截面图形的几何性质,正应力分析与强度设计(2)——一般情形下的正应力分析,正应力分析与强度设计(3)——基于最大正应力的强度设计,弹性杆件横截面上的剪应力分析(1)——弯曲剪应力,弹性杆件横截面上的剪应力分析(2)——圆轴扭转剪应力,弹性杆件横截面上的剪应力分析(3)——连接件的剪切与挤压计算,应力状态与应变状态分析,一般应力状态下的强度设计准则及其工程应用,梁的位移分析与刚度设计,压杆(柱)的稳定性分析与稳定性设计,共13章。专题篇包括:弹性杆件的能量原理(1)——虚位移原理,弹性杆件的能量原理(2)——虚力原理,简单的静不定系统,动载荷与动应力概述,疲劳强度与构件寿命估算概述,复合材料的力学性能简介,聚合物的黏弹性行为与伪弹性设计方法,共7章。

本书第3版增加了配套的数字资源,读者可以通过扫描书上的二维码链接相关的数字资源观看学习。为方便读者自主学习,三校还共同研发了材料力学自主学习系统,无偿供广大师生使用。

本书可供机械、土木、水利、航空航天、交通、动力工程等专业的材料力学课程教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/殷雅俊,范钦珊主编;殷雅俊等编著

--3版.--北京:高等教育出版社,2019.6

ISBN 978-7-04-051459-9

I. ①材… II. ①殷… ②范… 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(2019)第 038023 号

|      |     |      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 黄 强 | 责任编辑 | 黄 强 | 封面设计 | 王 洋 | 版式设计 | 杜微言 |
| 插图绘制 | 于 博 | 责任校对 | 张 薇 | 责任印制 | 刘思涵 |      |     |

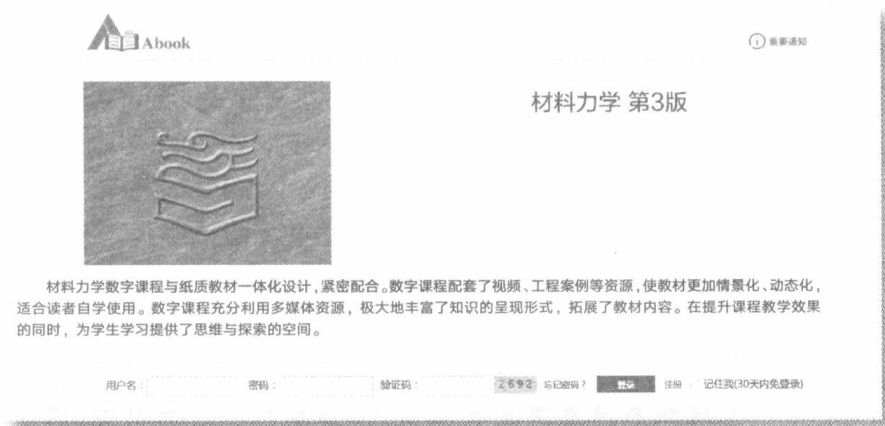
|      |                    |      |                                                                   |
|------|--------------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社            | 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>         |
| 社 址  | 北京市西城区德外大街4号       |      | <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>         |
| 邮政编码 | 100120             | 网上订购 | <a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a> |
| 印 刷  | 山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司 |      | <a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>       |
| 开 本  | 787mm×1092mm 1/16  |      | <a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>         |
| 印 张  | 44.75              | 版 次  | 1999年7月第1版                                                        |
| 字 数  | 970千字              |      | 2019年6月第3版                                                        |
| 购书热线 | 010-58581118       | 印 次  | 2019年6月第1次印刷                                                      |
| 咨询电话 | 400-810-0598       | 定 价  | 69.00元                                                            |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物 料 号 51459-00

# 材料力学

## 第3版

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12201212>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在  
手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



扫描二维码  
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/12201212>

## 第3版序

本书作为教育部“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的重要成果,初版于1999年,是当时全国第一部面向21世纪课程教材,出版至今已有近20个年头。

现在呈现在读者面前的第3版,是清华大学、南京航空航天大学 and 北京工业大学三校的“材料力学”教学团队,最近10多年来开展研究型教学的研究与实践的最新成果。

秉持立德树人要义,教学团队全体成员坚守重视教学、研究教学、做好教学、改革教学、创新教学并全身心地投入“材料力学”的研究型教学第一线。

所谓研究型教学,一方面是教师“在教学中研究、在研究中教学”,在“注重基础、挖掘深度、适度扩展、面向未来”的思想指导下,创新教学内容,努力提升课程教学水平与学术水平。研究型教学的另一个重要方面就是引导和启发受教育者“在学习研究中研究,在研究中学习”,将传授知识,养成能力与激发智慧融为一体,以培育优秀创新人才。

基于上述理念,结合改革成果,第3版作了如下变动:

第一,关于内力分析与内力图,在传统方法的基础上,引入力系简化的概念和方法,简化了确定杆件横截面上内力以及绘制内力图的方法与过程,经过多年教学第一线的实践,证明新的方法简捷、易于理解、易于掌握,教学效果好。

第二,在正应力分析和圆轴扭转剪应力分析中,不采用“平面假定”,而是采用对称性分析和轴对称分析,得到杆件的变形特征,即横截面保持平面。

第三,在正应力分析中,直接由与正应力对应的三个内力分量(一个轴力和两个主轴平面的弯矩)所产生的变形效果,以及解析几何的概念,直接给出横截面保持平面的变形特征,导出应变方程,进而由弹性范围的应力-应变关系,以及静力学方程,导出上述三个内力分量(一个轴力和两个主轴平面的弯矩)共同作用下横截面上的正应力通用公式。

第四,在扭转剪应力分析中,对于闭口薄壁截面杆,采用了流体力学中连续性定理(质量守恒定律),导出了剪应力计算公式。

第五,在弯曲剪应力分析中,增加了薄壁截面杆弯曲时,连接处纵截面上剪力流的概念与分析方法,这是航空航天以及其他工程结构中连接件强度计算的基础。

第六,从拉压杆开始,严格区分杆件变形和位移两个概念。将传统教材“弯曲变形”一章改为“弯曲位移分析”。

第七,在压杆的稳定性分析与稳定性设计中,对于偏心载荷作用的情形,引入了“弯曲与屈曲共生问题”。考虑到理想情形(无初始曲率、对心加载)下,压杆不会产生弯曲变形,故不采用“纵横弯曲”的表述。

第八,连接件的挤压计算中,澄清了“有效挤压面”的概念和定义:挤压的实际接触面就是有效挤压面,所谓的假定计算,就是假定挤压应力在实际接触面上均匀分布。通过积分计算证明了挤压应力在实际挤压面上所形成的合力,等于挤压应力与实际挤压面在垂直于挤压方向上的投影面面积(此即传统论述中的有效挤压面)的乘积。

第九,在弯曲位移分析中,通过具体实例,论证了在两个不同的主轴平面内,虽然载荷作用在两个不同的主轴方向,其叠加的结果(矢量叠加),杆的轴线将不再是平面曲线,当然跟任意一个加载平面都不一致,因而梁的任意部分都不是平面弯曲。

第十,为了适应读者从事力学分析与力学研究的需要,将原来的“材料力学中的能量法”扩展为两章:“弹性杆件的能量原理(1)——虚位移原理”和“弹性杆件的能量原理(2)——虚力原理”。引入变分的概念,保持力不变,变分位移,导出虚位移原理,进而导出与之相关的其他能量原理,包括卡氏第一定理,势能驻值定理,最小势能原理以及互等定理。同样引入变分概念,保持位移不变,变分力,导出虚力原理,进而导出与之相关的能量原理,包括恩格赛第一定理、卡氏第二定理、单位虚力法、莫尔法以及工程上常用的图乘法。从而形成了弹性杆件能量原理比较系统的知识体系。

十一,新编了大量多种类型的例题,对习题作了少量变动。

10多年来,参与材料力学课程研究型教学的团队成员有清华大学的范钦珊、殷雅俊;南京航空航天大学的王立峰、唐静静、刘荣梅、李晨、孙伟、王单、李栋栋;北京工业大学的张亦良、王晶等。第3版教材实际上是这一团队研究的共同成果。

考虑到教材建设的可持续发展,从第3版开始,本书的第一主编由殷雅俊担任,范钦珊改任第二主编。在健康许可的情形下,范钦珊将继续在教学第一线从事材料力学的研究型教学,参与后续教材的建设工作。同时,形成由殷雅俊、范钦珊、王晶、孙伟、王单、李栋栋、王社民组成的教材编写团队,长江后浪推前浪,一代更比一代强。

值此第3版教材出版发行之际,本书著者衷心感谢清华大学、南京航空航天大学 and 北京工业大学的有关部门与领导对于材料力学研究型教学的大力支持;感谢全国材料力学教学一线的老师 and 同学们对本书的关爱。

著者衷心希望,本书及与之配套的辅助教材和教学软件,能够改善目前材料力学课程教材与第一线教学要求不相适应的状况。同时,也真诚希望教学第一线的老师和同学们,提出你们的希望和要求。

承蒙北京市教学名师、北京工业大学张亦良教授审阅了全稿,并提出了一些宝贵的意见。藉本书出版之际,编写团队的全体成员谨向张教授表示诚挚谢意。

著者

2018年9月

于清华大学、南京航空航天大学、北京工业大学

## 第2版序

本书第1版问世到现在已经4年多了,这期间,高等学校的教育教学改革出现了一些新的情况,诸如:由于教学计划的调整,课程的教学时数大幅度减少;扩招后学生入学时的水平发生了变化;一大批青年教师进入教学第一线;教育技术的迅速发展和进步推动着教学方法的改革与更新;等等。面对这些新的情况,教材建设需要新思路。

我们的新思路是:实行课程教学资源的一体化设计,为教学第一线的教师和学生提供高水平、全方位的教学服务,着力提高课程的教学质量。因此,需要对原有关于教材的概念加以扩展,形成“课程教学质量的整体解决方案”。

“课程教学质量的整体解决方案”包括3大部分:资源主体(文字教材——主教材、教师用书和学生用书);网络课程与课程教学资源库。

为了实现上述“解决方案”,教材建设的理念、内容及与之相关的教学方法与技术都需要进行相应的调整和变革。

我们进行教材建设的理念之一是:服务于教学第一线的老师和同学,这是教材建设的灵魂。理念之二是:新时期的教材建设要实现立体化——不仅要有主教材,还要有辅助教材——辅助教和辅助学的教材;不仅要有文字教材,还要有电子教材、网络教材。理念之三是:要体现新的教学理念——既要充分发挥教师的主导作用,又要充分尊重学生在教学活动中的主体地位,要有利于启发、引导、师生互动。理念之四是:技术的应用要与课程整合,以利于提高课程的深度;利于学生走向外部世界、开阔眼界、联系实际;利于学生参与;利于教师们二次开发。

本书作为“高等教育百门精品课程教材建设计划”中的一个立项项目,我们努力将上述理念转变为现实。因此,与本书同时问世的还有:电子教材(与文字教材完全相同的pdf电子书);供老师们课堂教学使用的教学软件(中、英文版)和全部习题的详细解答;为同学们编写的学习指导(pdf格式的电子书),分步式解题指南(中、英文版);基于流媒体技术的网络课程。关于课程教学资源库,目前尚未列入计划。

考虑到一般院校的实际情况,本书删去了“开口薄壁杆件的内力与应力分析”一章,将有关“复合材料”及“黏弹性”的内容各合并为一章;降低了有关“正应力”分析内容的难度。同时,撤去了一个“材料力学问题求解器”的光盘。

此外,从素质教育的理念出发,本书更加注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与烦琐的数字运算,与以往的同类教材相比,难度有所下降,工程概念有所加强,引入了很多涉及广泛领域的工程实例及与工程有关的例题和习题。为了让学生更快地掌握最基本的知识,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。

全书分为基础篇和专题篇,共14章。基础篇包括基本概念、杆件的内力与内力图、最简单的材料力学问题、弹性杆件横截面上的正应力分析、弹性杆件横截面上的切应力分析、应力状态分析、一般应力状态下的强度失效分析与设计准则、复杂情形下的强度设计、弹性杆件的位移分析与刚度设计、压杆的弹性稳定性分析与稳定性设计,共10章;专题篇包括材料力学中的能量法、动载荷与疲劳强度概述、复合材料的力学性能简介,聚合物的黏弹性行为与伪弹性设计方法,共4章。

本书适用于机械、土木水利、航空航天、交通、动力工程等专业的材料力学课程教学。基础篇所需教学时数为48~56学时;专题篇所需教学时数为16学时左右。

本书稿由大连理工大学郑芳怀教授审阅,提出了宝贵意见,在此致以衷心感谢。

著者衷心希望,本书及与其配套的辅助教材和教学软件的出版发行能够改善目前材料力学课程教材与第一线教学要求不够适应的状况。同时,也真诚希望教学第一线的老师和同学们,提出你们的宝贵意见。

著 者

2005年1月

于清华大学,北京交通大学

# 第1版序

本书是教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”中“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的成果之一,也是作者们多年来从事力学系列课程教学内容与体系改革以及力学科学研究的结晶。

对于高等院校开设力学课程的有关专业,力学课程是指理论力学、材料力学和结构力学;对于力学及相关专业还包括弹性力学以及流体力学。这里所指的力学系列课程是指前面三门联系比较密切的力学课程。

作为力学系列课程改革项目的牵头单位,根据21世纪对高层次人才素质的要求,以及学科的发展趋势,我们提出了面向21世纪力学系列课程改革的总体目标是:学时要少,内容要新,水平要高,效果要好。在改革进行的过程中,我们进一步认识到改革教学方法和教学手段,对于培养学生的创新精神,提高教育质量的重要性,因而在教学内容和课程体系改革的实践中,重视学生在学习过程中的主体地位,实行启发式教学,同时采用多媒体技术,改革陈旧的教学手段。力求使力学课程做到:内容新,体系新,方法新,手段新。

## (一)

材料力学起源于17世纪。这一时期的材料力学是以木材、石头等脆性材料为研究主体,因而不可避免地具有很大的局限性。例如,根据伽利略(Galileo)石梁破坏试验结果得出的关于梁横截面上正应力分布的结论,既不完全满足平衡条件,也不满足变形条件。这主要由于脆性材料的变形很小,在当时的条件下是无法观察到的。

19世纪中叶,材料力学开始形成以钢材为主体的材料力学。钢材的特点,使均匀连续、各向同性等基本假定以及线弹性问题的胡克定律成为当今材料力学的基础。

20世纪的材料力学,在19世纪的基本体系的基础上形成两大流派:一是以美国斯坦福大学教授铁木辛柯(Timoshenko, S.P.)1930年所著的《材料力学》为代表的欧美材料力学课程体系,全书共分两册,第Ⅰ册是供本科生采用的;第Ⅱ册是供研究生和工程师们采用的,即通常所称的高等材料力学。这一套教材到1955年共出版了3版,1956—1978年重印了13次。另一派是苏联工科院校的材料力学课程体系,其代表作是圣彼得堡铁道学院教授别辽耶夫(Беляев, Н.М.)1932年所著《材料力学》教材。该书到1976年时,出版了15版。这两大流派的材料力学,从教学内容上看,没有太大差别,只是前者比较简明,而后者无论在内容的深度和广度方面,还是在推理证明理论方面都显得非常严密和完善,因而教材篇幅很大。

我国在1952年院系调整之前主要采用铁木辛柯《材料力学》的中译本;1952年之后则主要采用别辽耶夫《材料力学》的中译本或在此基础上编写的各类《材料力学》教材。这些教材都各有特色,但是,在内容和体系方面没有太大变动。

## (二)

20 世纪 60 年代以来,工业技术高度发展,特别是航空航天工业的崛起;计算机的出现以及迅速地更新换代;各种新型材料不断问世并应用于广泛的工业部门;实验设备日趋完善、实验技术水平不断提高。所有这些进展,使得材料力学所涉及的领域更加宽阔、知识更加丰富多彩。这表明,材料力学仍然处于新的发展之中,特别是面向 21 世纪这样的信息时代,材料力学的改革面临新的问题、新的机遇。归纳起来有以下几个方面:

**1. 必须突破以钢铁为主体的材料力学课程内容体系,引入新材料。**

20 世纪 50 年代以来,一些具有良好性能的结构材料,例如复合材料、高分子材料、结构陶瓷、耐热合金等,不断从军事工业与高科技领域扩展到许多工业部门。这些材料的使用大大减轻了结构重量,而结构的强度和寿命却几倍以至十几倍增长。据估计,到 2000 年,汽车制造业所采用的非金属材料将占到总重量的 70% 以上。

这些材料的力学性能如何,由这些材料制造的零件和部件应当按怎样的准则进行设计,这是材料力学不能回避的问题。

**2. 必须突破均匀连续,各向同性的假定,引入各向异性、缺陷对强度的影响。**

很多新材料,例如纤维增强复合材料,已不再是各向同性的,而是各向异性的。不突破各向同性,这些新材料便无法引入。此外,传统材料力学所讨论的失效与设计准则,都是以均匀连续即材料中无缺陷为前提的。这对于一般碳素钢这样对缺陷不敏感的材料是有意义的,但是对于某些高强度结构钢,由于对缺陷(例如微细裂纹)非常敏感,这些材料制成的结构常常在很低的应力水平下发生脆性断裂。这是传统的强度失效理论所无法解释的。

**3. 必须突破与时间无关的线弹性问题,引入与时间有关的线性和非线性黏弹性问题。**

经典材料力学主要讨论钢铁一类材料在常温、静载作用下弹性范围的应力变形问题,因而其应力-应变保持线性关系且与时间无关。但是,对于高分子材料、结构陶瓷以及高温条件下工作的耐热合金等,它们的应力-应变关系都与时间有关,当然有些是线性的,有些是非线性的。

**4. 必须突破局限于简单验证性实验的实验教学模式,引入与新材料、新结构以及新的测试技术有关的新实验。**

传统的材料力学实验已经延续了 30 多年,而且大都比较简单,缺乏思考性与启发性,加上测试技术也比较陈旧,因而学生兴趣不大,收获也不大。改造和更新实验内容,是材料力学课程内容更新的重要组成部分。

**5. 必须突破过于陈旧的、仅仅依靠作业的训练方式,引入理解分析讨论式训练和文献报告式训练。**

教师为了保证教学质量,给学生布置各种类型的不同习题,这是必要的。但是,作业数量都比较大,学生课后忙于应付作业,很少有时间去深入思考问题,很少有时间去阅读参考书。

这种仅仅依靠作业的训练方式不仅使学生学习负担过重,学习质量不高,而且使

教学效率大大降低。这个问题不解决,课程内容更新是很困难的。

应当说,必要的基本训练是很重要的,但是计算工具已从计算尺到计算器到个人电脑,很多复杂问题不必要再用人工的方法去计算和求解。在这种情形下还要不要让学生去做那些烦琐的作业,这个问题值得研究。

我们认为作业是要做的,但应限于那些与基本概念、基本理论、基本方法有关的习题,着重加深学生对概念的理解,培养学生分析问题的能力。在每章或每篇(几章)结束时,可以组织一些报告和讨论,培养学生的综合能力与自己研究问题的能力。

由于所有的材料力学计算问题都可以编制成计算机软件,因此可以这样理解,新时期材料力学中计算能力的培养,除了上述基本训练之外,还要使学生学会将实际问题简化为力学模型,并能正确应用计算机求得问题的解答。

## 6. 必须突破传统的单一教学模式,在课程中引入分层次教学,为优秀学生成长创造良好条件。

传统的单一教学模式是计划经济体制下的产物。它以中等或中等以下水平学生为依据制定课程教学计划、安排教学内容,这是教学效率低下的又一个因素,这也是课程内容更新的障碍。为了清除这一障碍,必须针对不同层次的学生,安排不同的教学内容,形成课程的模块结构。

### (三)

根据以上分析,目前上述力学系列课程形成了4种模式:一是贯通式的工程力学,是将原属于理论力学、材料力学课程的内容,加以融合、贯通和相互渗透,形成新的工程力学课程体系;二是理论力学与材料力学仍然独立设课,但同样体现贯通、融合与相互渗透;三是将理论力学、材料力学和结构力学组合成一门贯通式的课程;四是理论力学、材料力学和结构力学依然单独设课。

无论是哪一种模式,其共同目标:都要做到学时少、内容新、水平高、效果好;都要消除课程之间相互重叠的内容;都要注意教学方法的改革和教学手段更新对教材的要求;都要实行启发式教学,为学生的创新思维留出足够的空间,以利于培养创新精神。

本书作为第二种模式,可与本作者主编的《理论力学》配套使用;作为第四种模式,可与本作者主编的《理论力学》和龙驭球、包世华主编的《结构力学教程》或由王焕定、章梓茂、景瑞编著的《结构力学》配套使用。

### (四)

对于工科各专业的学生,加强学生的工程概念,对于培养学生的创新精神是非常重要的。因此,我们在教材中特别注意加强工程概念,并且不只是某个专业的工程概念(例如土木或机械工程的概念),而是广义的工程概念。包括与工程力学密切相关的建筑、桥梁、飞机、舰船、运载火箭、航天飞机、空间站;也包括以其他学科为主,但也对工程力学提出大大小小的问题的工程,例如核反应堆容器、舰载飞机、计算机硬盘驱动器;还包括一些非工业工程,例如体育工程,等等。强调广义工程概念,就是强调基础力学教育属于素质教育。这对于拓宽学生的工程知识面、增强学生的适应性也是非常重要的。

面向21世纪的课程教材不仅要内容新、体系新而且方法也要新。所谓方法新,是

指采用启发式的方法,对既定的教学内容加以组织和表达。为此,我们**首先注意处理好一般与特殊、分解与综合之间的关系,不囿于一个模式**。这样做,一方面是为了提高课程教学起点,另一方面是为了给学生的思维留出一定的空间。

为改变课程内的某些大同小异的罗列现象,我们在教材中采用既有分解又有综合,既有特殊到一般又有一般到特殊的表达和叙述方法。例如,我们没有采用传统的拉、压、剪、扭、弯的罗列叙述,而是根据处理工程问题的要求,加强内力分析、应力分析、应力状态分析、失效分析与静力设计这样的常规工程设计思路。

为了给学生积极思维创造必要的条件,使其有问题可想、有问题可以研究,在很多内容的表达上,不采用面面俱到的办法,而是突出重点,其余则点到为止,让学生去举一反三。比如,过去对拉、压、扭、弯的内力图都要加以详细论述,现在我们在新教材里,用很少的篇幅讲述内力图的共性的内容。例如,正负号规则,平衡微分方程等,重点讲述弯曲内力图。而拉伸内力图只作为一道例题,扭转内力图连例子都没有,只是作为复杂载荷作用下内力图的一部分。

为了加强启发性和研讨性,在新编教材中,我们采用类似于科学研究论文和报告的写法,在每一章的最后都安排一节“结论与讨论”,编写了大量具有思考性和研究性的内容。这些内容中,既有前面没有深入阐述的结论,也有推理过程中没有详细涉及的问题,还有关于已讲授内容的可扩展性与可延伸性。采用这种开放式的表达方法,一方面可以培养学生的综合能力,另一方面也为学生创新思维开辟了较大的空间。

面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系的改革,关键在于转变教学思想。其中最重要的是,要重视学生在学习活动中的主体地位,不能将学生单纯视为传授知识的对象,更不能将他们视为“灌输的对象”,要尊重学生的自主学习精神。基于此,我们在编写教材的过程中,除注意对教学内容加以精选外,还注意给学生留出一定的思维空间,启发他们去思考,去研究,去寻找结论,包括某些重要的结论。全书除新编了一些基本训练题外,在教材中还为不同层次的学生准备了一些问题,初步形成了“学习研究问题集”,引导学生对所学的知识加以扩展、延伸和综合,学习撰写论文和报告,以利于培养他们的创新能力、联想能力、综合能力和表达能力。

信息技术的高速发展使课程教学改革有可能达到有史以来最新水平。因此,我们今天进行的课程教学改革不能不充分利用信息技术,不能不充分利用计算机。

根据课程的特点,我们在课程中引入计算机分析,将烦琐的数字运算、重复的迭代运算、矩阵运算等内容交给计算机实现。

研制开发计算机辅助分析教学软件“材料力学问题求解器”,制成光盘随本书发行。这一软件系统的开发成功,不仅有利于课程内容更新,删除那些陈旧过时的内容,大大压缩课程时数,而且可以使学生从烦琐的数学运算中解脱出来,集中精力加强基本概念、基本理论与基本方法;同时大大扩大了解决实际问题的范围。我们的思想是:

**将烦琐交给机器,**

**将时间和精力留给我们自己,**

**去发挥创造性。**

## (五)

本书的大部分内容已在清华大学讲授 3 年。部分内容先后由作者在北京交通大学、石家庄铁道学院、北京工业大学、上海大学、上海交通大学、内蒙古工业大学、甘肃理工大学、华南理工大学、西北工业大学、西安公路交通大学、河海大学、东南大学、南京航空航天大学、华东船舶工业学院、四川大学、重庆大学、长沙铁道学院、东北电力学院、沈阳工业学院、沈阳建筑工程学院、大连理工大学、东北大学、郑州工业大学、河北建筑工程学院、天津城建学院、北京建筑工程学院、武汉工业大学、哈尔滨建筑大学等兄弟院校作了示范教学。

本书稿承蒙大连理工大学郑芳怀教授和东南大学胡增强教授审阅,提出宝贵意见。刘卫丹、环翮等同学对书中的习题解答、彩页设计以及初稿审校等方面都付出辛勤劳动。

在本书出版之际,谨向所有关心和支持力学系列课程改革的人们,致以谢忱。

著 者  
1999 年教师节  
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                 | $M$             | 力偶矩                    |
| $a$              | 间距                 | $M_x, M_y, M_z$ | 力对 $x, y, z$ 轴之矩       |
| $b$              | 宽度                 | $M_f$           | 滚动阻力偶                  |
| $d$              | 直径、距离、力偶臂          | $n$             | 转速                     |
| $D$              | 直径                 | $[n]_{st}$      | 稳定安全因数                 |
| $e$              | 偏心距                | $p$             | 内压力                    |
| $E$              | 弹性模量、杨氏模量          | $P$             | 功率                     |
| $f_s$            | 静摩擦因数              | $q$             | 均布载荷集度                 |
| $F$              | 力                  | $R, r$          | 半径                     |
| $F_{Ax}, F_{Ay}$ | $A$ 处铰约束力          | $r$             | 矢径                     |
| $F_N$            | 法向约束力、轴力           | $s$             | 路程、弧长                  |
| $F_P$            | 载荷                 | $u$             | 水平位移、轴向位移              |
| $F_{Pcr}$        | 临界载荷、分叉载荷          | $[u]$           | 许用轴向位移                 |
| $F_Q$            | 剪力                 | $v_d$           | 畸变能密度                  |
| $F_R$            | 合力、主矢              | $v_V$           | 体积改变能密度                |
| $F_S$            | 牵引力、拉力             | $v$             | 应变能密度                  |
| $F_T$            | 拉力                 | $V_\varepsilon$ | 应变能                    |
| $F_x, F_y, F_z$  | 力在 $x, y, z$ 轴上的分量 | $W$             | 功、重量、弯曲截面系数、<br>弯曲截面模量 |
| $G$              | 切变模量               | $W_P$           | 扭转截面系数、扭转截面<br>模量      |
| $h$              | 高度                 | $\alpha_l$      | 线胀系数                   |
| $I$              | 惯性矩                | $\beta$         | 角                      |
| $I_P$            | 极惯性矩               | $\theta$        | 梁横截面的转角、单位长<br>度相对扭转角  |
| $I_{xy}$         | 惯性积                | $\varphi$       | 相对扭转角                  |
| $k$              | 弹簧刚度系数             | $\gamma$        | 剪应变                    |
| $l$              | 长度、跨度              | $\Delta$        | 变形、位移                  |
| $M, M_y, M_z$    | 弯矩                 | $\delta$        | 厚度                     |
| $M_e$            | 外加扭转力偶矩            | $\varepsilon$   | 线应变                    |
| $M_x$            | 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    |                 |                        |

| 符号              | 量的含义    | 符号                  | 量的含义       |
|-----------------|---------|---------------------|------------|
| $\varepsilon_e$ | 弹性应变    | $\sigma_e$          | 弹性极限       |
| $\varepsilon_p$ | 塑性应变    | $\sigma_p$          | 比例极限       |
| $\varepsilon_v$ | 体积应变    | $\sigma_{0.2}$      | 条件屈服应力     |
| $\lambda$       | 长细比     | $\sigma_s$          | 屈服应力       |
| $\mu$           | 长度因数    | $\tau$              | 剪应力        |
| $\nu$           | 泊松比     | $[\tau]$            | 许用剪应力      |
| $\rho$          | 密度、曲率半径 | $w$                 | 挠度         |
| $\sigma$        | 正应力     | $\sigma_f$          | 纤维中的实际应力   |
| $\sigma^+$      | 拉应力     | $\sigma_m$          | 基体中的实际应力   |
| $\sigma^-$      | 压应力     | $\sigma_{-1}$       | 对称循环时的疲劳极限 |
| $\bar{\sigma}$  | 平均应力    | $\dot{\varepsilon}$ | 应变速率       |
| $\sigma_b$      | 强度极限    | $\eta$              | 黏度         |
| $\sigma_c$      | 挤压应力    | $K_f$               | 有效应力集中因数   |
| $[\sigma]$      | 许用应力    | $K_t$               | 理论应力集中因数   |
| $[\sigma]^+$    | 许用拉应力   | $\beta$             | 表面加工质量因数   |
| $[\sigma]^-$    | 许用压应力   | $\varepsilon$       | 应变、尺寸因数    |
| $\sigma_{cr}$   | 临界应力    |                     |            |

# 目 录

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 第 1 章 材料力学导论 .....                               | 1   |
| 1-1 材料力学简说 .....                                 | 1   |
| 1-2 材料力学维系人民生命和国家财产 .....                        | 2   |
| 1-3 学好材料力学从基本概念开始 .....                          | 4   |
| 1-4 学好材料力学需要掌握材料力学的分析方法 .....                    | 16  |
| 1-5 结论与讨论 .....                                  | 21  |
| 习题 .....                                         | 22  |
| 第 2 章 内力分析与内力图 .....                             | 25  |
| 2-1 内力分析是应力分析以及工程设计的基础 .....                     | 25  |
| 2-2 内力分量正负号规定的特殊性 .....                          | 25  |
| 2-3 弹性体平衡原理及其应用 .....                            | 27  |
| 2-4 确定内力分量的力系简化方法 .....                          | 28  |
| 2-5 拉压杆件的轴力图 .....                               | 30  |
| 2-6 受扭圆轴的扭矩图 .....                               | 31  |
| 2-7 承受弯曲变形杆件的剪力图和弯矩图 .....                       | 34  |
| 2-8 刚架的内力图 .....                                 | 48  |
| 2-9 结论与讨论 .....                                  | 53  |
| 习题 .....                                         | 66  |
| 第 3 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题 .....                     | 74  |
| 3-1 轴向载荷与轴向载荷作用下的杆件——拉压杆 .....                   | 74  |
| 3-2 工程中的拉压杆 .....                                | 76  |
| 3-3 拉压杆的应力分析与计算 .....                            | 79  |
| 3-4 拉压杆的变形分析与计算 .....                            | 81  |
| 3-5 拉压杆的位移分析与计算 .....                            | 85  |
| 3-6 拉压杆的强度设计 .....                               | 90  |
| 3-7 轴向载荷作用下材料的力学性能 .....                         | 94  |
| 3-8 简单的拉压静不定问题 .....                             | 98  |
| 3-9 结论与讨论 .....                                  | 103 |
| 习题 .....                                         | 108 |
| 第 4 章 正应力分析与强度设计(1)——与应力分析有关的截面图形的<br>几何性质 ..... | 116 |
| 4-1 为什么要研究截面图形的几何性质 .....                        | 116 |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 4-2 静矩、形心及其相互关系 .....                        | 118        |
| 4-3 惯性矩、惯性积、极惯性矩、惯性半径 .....                  | 121        |
| 4-4 惯性矩与惯性积的移轴定理 .....                       | 123        |
| 4-5 惯性矩与惯性积的转轴定理 .....                       | 124        |
| 4-6 主轴与形心主轴、主惯性矩与形心主惯性矩的概念 .....             | 126        |
| 4-7 组合图形的形心主轴与形心主惯性矩 .....                   | 127        |
| 4-8 结论与讨论 .....                              | 129        |
| 习题 .....                                     | 130        |
| <b>第5章 正应力分析与强度设计(2)——一般情形下的正应力分析 .....</b>  | <b>135</b> |
| 5-1 基本概念 .....                               | 135        |
| 5-2 应力分析的一般过程 .....                          | 138        |
| 5-3 两种分析方法——从特殊到一般与从一般到特殊 .....              | 140        |
| 5-4 一般情形下杆件横截面上的正应力分析 .....                  | 141        |
| 5-5 正应力通用公式应用中的关键和细节 .....                   | 145        |
| 5-6 正应力通用公式应用之一——平面弯曲 .....                  | 149        |
| 5-7 正应力通用公式应用之二——斜弯曲 .....                   | 157        |
| 5-8 正应力通用公式应用之三——轴力与弯矩共同作用的情形 .....          | 163        |
| 5-9 结论与讨论 .....                              | 168        |
| 习题 .....                                     | 173        |
| <b>第6章 正应力分析与强度设计(3)——基于最大正应力的强度设计 .....</b> | <b>181</b> |
| 6-1 基于最大正应力的强度设计准则与设计过程 .....                | 181        |
| 6-2 平面弯曲强度设计案例 .....                         | 182        |
| 6-3 非平面弯曲强度设计案例(1)——斜弯曲强度设计 .....            | 186        |
| 6-4 非平面弯曲强度设计案例(2)——轴力与弯矩共同作用时的强度设计 .....    | 189        |
| 6-5 结论与讨论 .....                              | 193        |
| 习题 .....                                     | 200        |
| <b>第7章 弹性杆件横截面上的剪应力分析(1)——弯曲剪应力 .....</b>    | <b>206</b> |
| 7-1 与剪应力分析有关的基本概念 .....                      | 206        |
| 7-2 分析弯曲剪应力的力学模型与分析方法 .....                  | 208        |
| 7-3 弯曲剪应力分析 .....                            | 210        |
| 7-4 开口薄壁杆件弯曲时横截面上的剪应力流 .....                 | 214        |
| 7-5 薄壁截面杆件的弯曲中心 .....                        | 217        |
| 7-6 实心截面杆件的弯曲剪应力公式 .....                     | 220        |
| 7-7 结论与讨论 .....                              | 222        |
| 习题 .....                                     | 229        |
| <b>第8章 弹性杆件横截面上的剪应力分析(2)——圆轴扭转剪应力 .....</b>  | <b>232</b> |
| 8-1 圆轴在工程中的应用 .....                          | 232        |