

土木工程与工程力学系列

PEARSON
Prentice
Hall

材料力学

Mechanics of Materials

[美] R. C. Hibbeler 著

汪越胜 等译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

土木工程与工程力学系列

材料力学

Mechanics of Materials

[美] R. C. Hibbeler 著

汪越胜 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是美国最受欢迎的工程力学系列教材之一,书中提供的简化分析方法和结果可直接用于工程结构的设计,已成为许多设计规范的内容,因而具有很强的实用性。全书主要讲述与材料相关的力学性质的研究,涉及应力、应变、材料的力学性能、轴向拉伸和压缩、扭转变形、弯曲、横向剪切、组合受力、应力变换、应变变换、梁和轴的设计、受弯构件的变形、压杆弯曲等内容,最后一章还介绍了能量法的应用。

本书编排巧妙、实例丰富、紧密联系工程实践,适合作为力学、土木、水利、机械、电力、航空航天等专业的基础教材,也可供工程技术人员参考。

Simplified Chinese edition Copyright © 2006 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Mechanics of Materials, ISBN: 0131245716 by R. C. Hibbeler. Copyright © 2003 by R. C. Hibbeler. All rights reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2004-5790

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/(美)希伯勒(Hibbeler, R. C.)著;汪越胜等译. -北京:电子工业出版社, 2006.8

(土木工程与工程力学系列)

书名原文: Mechanics of Materials

ISBN 7-121-02905-7

I. 材... II. ①希... ②汪... III. 材料力学-教材 IV. TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第080544号

责任编辑:许菊芳

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:43.75 字数:1120千字

印 次:2006年8月第1次印刷

定 价:65.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

译 者 序

任何一个在力学、土木、水利、机械、电力、航空航天等领域中从事教学、科研和工程建设的人都深知,《材料力学》对这些专业的本科生来说是一门极其重要的基础课程。一方面,这门课程直接涉及连续体变形理论的基本思想和方法,是一系列有关变形体力学高级课程的入门;另一方面,该课程提供的简化分析方法和结果可直接用于工程结构的设计,已成为许多设计规范的内容,因而具有很强的实用性。

正因为如此,《材料力学》课程的教学受到全世界理工科大学的高度重视,各种版本的教材也非常多,仅国内较流行的版本就不下十种。但根据译者们多年的教学经验发现,这本由 R. C. Hibbeler 教授主编的《材料力学》教材颇具独到之处,它至少拥有以下其他同类教材所不具备的优点:(1)讲解由浅入深,从力学的概念出发直到工程的应用,特别配有许多插图来表现力学的概念、分析方法和结果在实际工程问题中的应用,使得学生对工程背景能有感官上的认识;(2)对材料力学中的简化处理假设做了充分的说明,并配以示意图指出这些假设的依据和成立的条件,特别说明了假设所带来的误差,使初学者有一个非常直观的理解;(3)内容之丰富是任何其他教材无法相比的,书中包含了几乎所有可用材料力学方法简化处理的情况(包括非弹性、应力集中、残余应力、热应力、复合材料、冲击等复杂情况)以及各种简化处理的思想和方法,即使在计算机飞速发展的今天,这些方法中所包含的巧妙思想也是任何直接的数值方法所无法提供的,这些对促进人们利用简单直接的方法处理复杂的工程问题具有积极的推动作用;(4)教材内容虽多,但讲述的步骤清晰,并非泛泛而谈,且大多数内容可独立成章,非常方便教师根据情况有选择地授课,学生也可有选择地自学,甚至可以作为专业手册查阅;(5)书中每一节都配有“要点提示”和“分析步骤”,这对初学者尽快地掌握所学知识并用以处理问题具有极大的帮助;(6)书中所配习题由易到难,非常全面,特别给出了许多综合性的练习题。正是考虑到以上优点,我们认为该教材能够对从事有关专业学习、教学、科研以及工程设计的学生、教师、科学家和工程师提供很大的帮助,确实是一本重要的参考书。因此将其翻译成中文,以飨广大读者。

该教材的翻译工作由汪越胜教授主持,是北京交通大学工程力学研究所的教师集体完成的。首先由以下人员进行了初译并完成了文字录入工作:王正道初译了前言和第 4、5 章,税国双初译了第 1、14 章,程哲初译了第 2、6、7、13 章,梁小燕初译了第 3、8~11 章,蒋永莉初译了第 12 章和附录。汪越胜对所有的初译稿进行了仔细的修改、审核和统一,然后返回原初译者进行了二次校对,个别地方还与初译者进行了反复的讨论才最终确定,在交付编辑部前再对译稿进行了审核。最后汪越胜又对编辑加工后的译稿进行了审校。尽管所有参加翻译的人员都是多年从事材料力学或工程力学教学的优秀主讲教师,但我们深知翻译好一本书不是一件容易的事情,终会因译者水平所限而使错误在所难免,对此我们深表歉意并恳请读者批评指正。

前言

本书系统、全面地为学生介绍了材料力学的基本原理及其应用。通过阐述材料在载荷作用下的力学行为及描述该行为的相关理论,使学生掌握该课程的基本原理,特别强调了满足平衡方程、变形协调方程和材料本构方程的重要性。

本书特色

以下是本书的一些主要特色。

- **总结。**“分析步骤”和“要点提示”部分分别对解题基本步骤和重要概念进行了专门介绍。
- **图片。**书中引用了大量图片来解释材料力学原理在现实生活中的应用。在许多章节中,利用图片显示了材料的变形和破坏过程,以加强学生对一些专业术语和概念的理解。
- **习题。**书中的习题兼顾了容易、中等难度和较大难度三者之间的平衡。此外,有些习题需要在计算机上完成。书中对问题的提出和解决给予了格外的关注,对其中所列的习题及答案都经过了仔细的检查 and 反复的核对,以确保习题内容简明清晰、答案准确可靠。

本书内容

本书共分 14 章。第 1 章首先对静力学中的一些重要概念进行了回顾,并给出了正应力和切应力的定义,分析了轴向拉(压)杆中的正应力和纯剪切时的平均切应力的计算方法;第 2 章给出了正应变和切应变的定义;第 3 章涉及材料的一些重要力学性质;第 4 章、第 5 章和第 6 章分别介绍了轴向拉压、扭转和弯曲变形,其中每一章涉及的材料力学性质均包括线弹性和弹塑性两种情况,此外还涉及到应力集中和残余应力的相关知识;第 7 章讨论了横向剪切,包括薄壁管的剪切、剪切流、剪切中心等相关知识;第 8 章主要介绍了组合加载的情况;第 9 章介绍了复杂应力状态的相关概念;第 10 章介绍了应变转换公式以及各种破坏理论;第 11 章介绍了怎样将前面讲述的知识应用于梁和轴的设计;第 12 章介绍了计算梁和轴变形的各种方法,包括静不定问题中约束力的计算;第 13 章分析了压杆稳定问题;最后在第 14 章介绍了冲击问题,以及如何运用各种能量方法计算变形值。

书中标有星号(*)的部分为拓展内容,在学时允许的情况下,其中部分内容可以在课堂上讲授。这些内容主要是为其他后续课程的学习提供一些基本原理,也可以作为布置一些课外自修项目的基础。

其他的教学方式。有些教师可能习惯于先介绍应力、应变变换公式,然后再讲授拉压、扭转、弯曲等各种变形情况。这样的话,可先介绍第 1 章和第 9 章中的应力概念及转换公式,然后再讲授第 2 章和第 10 章中前半部分的应变概念及转换公式。第 9 章和第 10 章在内容的讲解、例题及习题的安排上都考虑到了这种教学方式。其中第 3 章至第 8 章内容较独立,可以跳过,直接讲授第 9 章和第 10 章的内容。

章节特点

内容安排。为了使该书能够兼顾教师和学生双方的需要,每章的内容都被仔细划分成若干小节。在每一小节中,首先介绍本节的知识要点,然后再配有例题的分析及相关的课后习题。每一节的内容都用标题分成若干部分。这样安排的目的是尽可能条理清晰地引进一个新的定义或概念,以便于读者日后查阅和复习。

章节内容。每章开头都配有一张照片,以说明本章内容的实际应用背景。每章开头的“本章概述”中,对本章内容进行了简单的描述。

分析步骤。许多章节都给出了分析步骤,这是本教材的特色之一。学生在应用所学的知识解题时,该部分能向他们提供条理清晰的分析步骤和方法,并按照这种分析过程对例题和习题进行求解。然而必须指出,一旦掌握了相关知识并获得足够经验后,学生完全可以建立自己的分析步骤和方法。

要点提示。该部分提供每节中的重要概念,并指出解题过程中的关键点。

概念理解。书中利用了大量图片和示例,帮助学生加深对一些重要概念的理解,并掌握公式中相关参量的物理意义。

例题。书中所有例题力求简洁明了,并在新版修订时对原有例题进行了一定的删补。

课后习题。本教材中,大量的习题都具有一定的工程实际背景。这样一方面能激发学生的学习兴趣,另一方面能培养学生将实际问题简化为力学模型的能力。

本书采用国际标准单位,习题尽可能按照从易到难的顺序安排。书后附有习题答案,但每隔三题将有一道题不给出答案。为了提醒读者,在题号前以星号(*)标出了所有未附答案的习题。本书所提供答案的有效数字精度均为三位,以保持统一。虽然该精度对一些材料参数来说不够精确,但这样做便于学生对所得结果进行验证。另外,书中所有习题及对应答案的准确性都经过仔细验证。题号前标有黑方块(■)的题表示需要利用数值分析方法或计算机求解。

附录。本书附录提供了一些原始资料供读者查阅,并以表格的形式提供了一些常用数据。附录 A 介绍了截面的形心和惯性矩,附录 B 和附录 C 提供了各种梁和轴的结构尺寸、挠度和转角。附录 D 则包含了一些典型的例题及部分解答,这些习题也可以用于准备课堂测验时的练习和复习。附录 E 是与材料力学相关的一些常用公式。

准确性。本书在编辑过程中经过了严格准确的检查和校对。除作者进行了必要的详细检查外,南佛罗里达州立大学的 Karim Nohra 和佛吉尼亚理工学院的 Scott Hendricks 也对该书进行了两次独立校对,并一起校对了教学指导书。

教辅资料。目前可得到的与本教材相关的教师用补充参考书有好几本,其中一本教学指导书经作者仔细校验后,即将与该书同时出版。另外,出版社还向采用本书作为教材的教师免费提供教辅资料(电子文件或 CD-ROM),其中包含了 ppt 和 pdf 格式的相关教学内容,并以 ppt 格式提供了书中所有的例题。

致谢

多年来,在本书编写过程中得到了许多同事的帮助,他们为本书的最终完稿提出了许多建设性的意见,在此一并表示感谢。

对下列审稿者表示感谢,他们是:密歇根州立大学的 Patrick Kwon、宾夕法尼亚州立大学的 Cliff Lissenden、肯塔基大学的 Ting-Wen Wu、德克萨斯理工大学的 Javad Hashemi、新泽西州立大学的 Assimina Pelegri。尤其要感谢南佛罗里达州立大学的 Karim Nohra 和佛吉尼亚理工学院的 Scott Hendricks,他们对教材和指导书进行了认真的校对。还要感谢所有曾使用过本书旧版本并提出过有益建议的学生。最后,感谢在本书出版过程中给予我大力支持的爱妻 Cornelia (Conny)。

书中有任何不足之处,欢迎指正。

Russell Charles Hibbeler
hibbeler@bellsouth.net

目 录

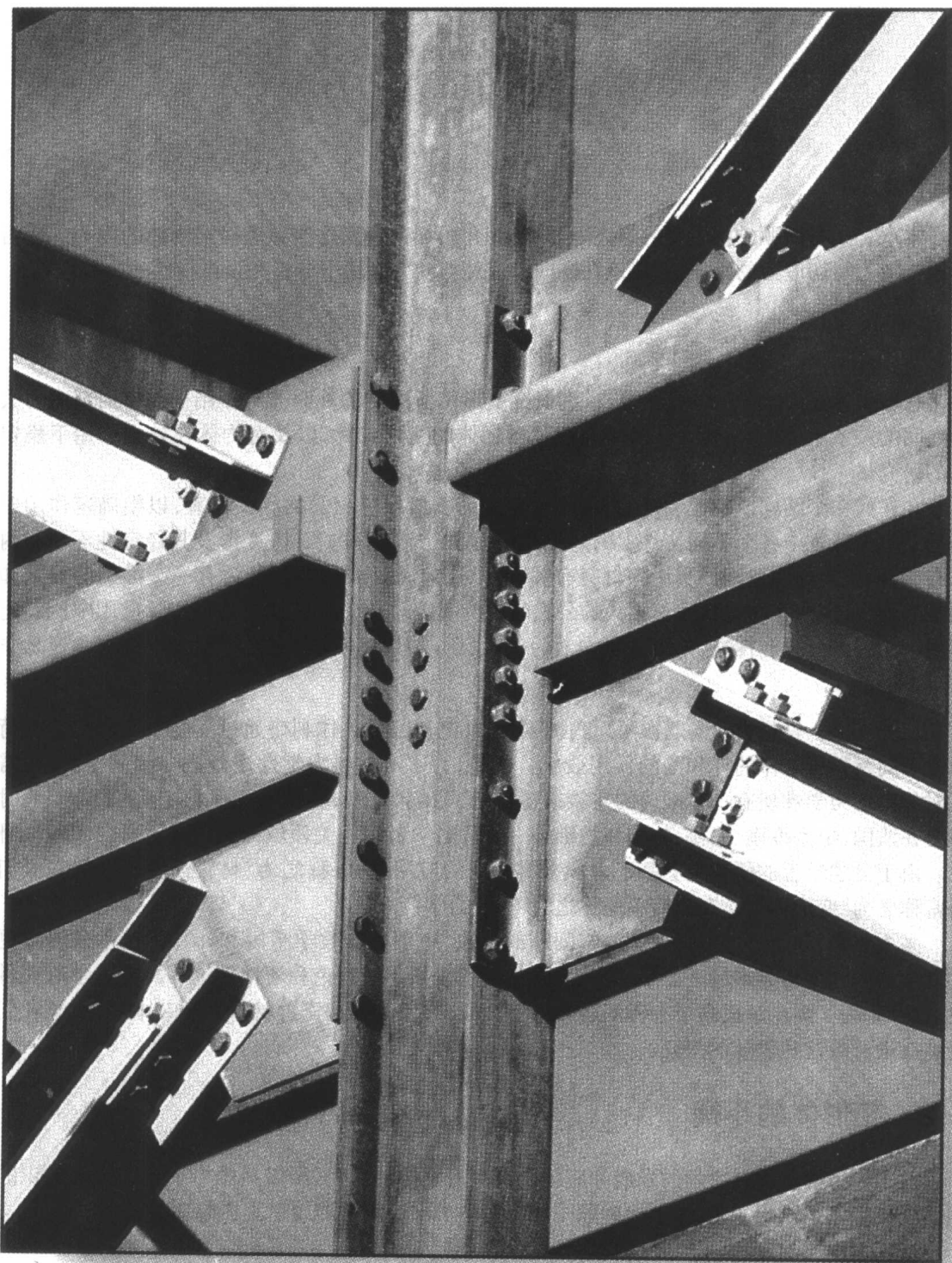
第 1 章 应力	2
1.1 引言	2
1.2 变形体的平衡	2
习题	12
1.3 应力	17
1.4 轴向载荷作用下杆件的平均正应力	18
1.5 平均切应力	24
习题	30
1.6 许用应力	37
1.7 简单连接件的设计	38
习题	45
复习题	50
第 2 章 应变	53
2.1 变形	53
2.2 应变	53
习题	59
第 3 章 材料的力学性能	65
3.1 材料拉压试验	65
3.2 应力-应变曲线	66
3.3 塑性和脆性材料的应力-应变特性	68
3.4 胡克定律	71
3.5 应变能	73
习题	77
3.6 泊松比	81
3.7 剪切应力-应变曲线	82
* 3.8 材料的蠕变与疲劳失效	85
习题	87
复习题	88
第 4 章 轴向拉伸和压缩	91
4.1 圣维南原理	91
4.2 轴向拉(压)杆的弹性变形	92
习题	98
4.3 叠加原理	103

4.4	静不定轴向拉压杆	104
4.5	轴向拉(压)杆的力分析方法	109
	习题	111
4.6	热应力	117
	习题	120
4.7	应力集中	123
* 4.8	非弹性轴向拉(压)变形	127
* 4.9	残余应力	131
	习题	134
	复习题	137
第 5 章	扭转变形	140
5.1	圆杆扭转变形	140
5.2	扭转公式	142
5.3	功率传输	149
	习题	150
5.4	扭转角	155
	习题	163
5.5	静不定扭转受力杆件	169
	习题	172
* 5.6	非圆实心杆	174
* 5.7	闭口薄壁管	176
	习题	182
5.8	应力集中	185
* 5.9	非弹性扭转	188
* 5.10	残余应力	193
	习题	196
	复习题	199
第 6 章	弯曲	202
6.1	剪力图和弯矩图	202
6.2	绘图法作剪力图和弯矩图	210
	习题	219
6.3	直构件的弯曲变形	224
6.4	弯曲公式	227
	习题	235
6.5	非对称弯曲	242
	习题	250
* 6.6	组合梁	252
* 6.7	钢筋混凝土梁	257
* 6.8	曲梁	259
6.9	应力集中	266

习题	268
* 6.10 非弹性弯曲	273
* 6.11 残余应力	281
习题	283
复习题	286
第 7 章 横向剪切	290
7.1 直杆中的剪切	290
7.2 剪切公式	291
7.3 梁中的切应力	293
习题	302
7.4 组合构件中的剪力流	306
习题	311
7.5 薄壁杆件中的剪力流	314
* 7.6 剪切中心	319
习题	323
复习题	326
第 8 章 组合受力	330
8.1 薄壁压力容器	330
习题	333
8.2 组合受力时点的应力状态	335
习题	343
复习题	350
第 9 章 应力变换	353
9.1 平面应力变换	353
9.2 平面应力变换的一般公式	356
9.3 平面主应力和最大面内切应力	359
习题	366
9.4 莫尔圆——平面应力	372
9.5 轴力和扭矩作用下轴的应力	380
9.6 等截面梁内的应力变化	382
习题	384
9.7 绝对最大切应力	387
习题	393
复习题	395
第 10 章 应变变换	398
10.1 平面应变	398
10.2 平面应变变换的一般公式	399
* 10.3 莫尔圆——平面应变	405
习题	410

* 10.4	绝对最大切应变	412
10.5	应变花	414
	习题	417
10.6	材料物性关系	418
	习题	424
* 10.7	强度理论	427
	习题	435
	复习题	438
第 11 章	梁和轴的设计	441
11.1	梁设计的基础知识	441
11.2	等截面梁的设计	442
	习题	449
* 11.3	等强度梁	453
* 11.4	轴的设计	456
	习题	459
	复习题	462
第 12 章	受弯构件的变形	465
12.1	挠曲线	465
12.2	求梁位移和转角的积分法	468
	习题	478
* 12.3	间断函数法	481
	习题	487
* 12.4	求转角和挠度的静矩-面积法	489
	习题	497
12.5	叠加法	500
	习题	504
12.6	静不定梁和轴	507
12.7	静不定梁和轴的积分法	508
	习题	510
* 12.8	静不定梁和轴的静矩-面积法	511
	习题	516
12.9	静不定梁和轴的叠加法	516
	习题	524
	复习题	526
第 13 章	压杆屈曲	529
13.1	临界载荷	529
13.2	铰支理想压杆	530
13.3	各种支撑下的压杆	535
	习题	540

* 13.4	正割公式	546
* 13.5	非弹性屈曲	552
	习题	554
* 13.6	同心受载压杆的设计	556
	习题	562
* 13.7	偏心受载压杆的设计	564
	习题	568
	复习题	570
第 14 章	能量法	573
14.1	外力功和应变能	573
14.2	不同载荷作用下的弹性应变能	576
	习题	584
14.3	能量守恒	586
	习题	589
14.4	冲击载荷	591
	习题	596
* 14.5	虚功原理	600
* 14.6	虚力方法应用于桁架结构	603
	习题	608
* 14.7	虚力方法应用于梁	610
	习题	614
* 14.8	卡氏定理	617
* 14.9	卡氏定理应用于桁架结构	618
	习题	621
* 14.10	卡氏定理应用于梁	622
	习题	626
	复习题	626
附录 A	截面几何性质	628
附录 B	型钢几何性质	643
附录 C	梁的转角和位移	647
附录 D	工程基础考试复习	649
附录 E	材料力学基本公式	667
	参考答案	670



图示钢结构连接处的螺栓承受应力作用,本章将讨论工程师如何设计这样的连接及其紧固件。

第1章 应 力

本章概述

本章首先将回顾一些重要的静力学原理,并介绍如何利用这些原理确定物体的内力。然后介绍正应力与切应力的概念,并讨论在轴向力或纯剪切力作用下分析和设计构件的一些应用。

1.1 引言

材料力学是力学学科的一个分支,它研究变形体所受到的外载荷与作用于物体内部内力大小之间的关系。另外,材料力学的研究还包括物体的变形计算,以及对物体在外力作用下稳定性的研究。

在任何一个结构或机械装置的设计中,首先需要应用静力学的相关原理,以便确定作用于结构或机械装置中各个不同构件上的外力和内力。由于构件的尺寸、变形及其稳定性不仅与内力有关,而且还与制造构件所用的材料有关,所以还应对材料的力学行为有一个准确的确定和根本的理解,这在推导材料力学相关的公式时尤为重要。在工程设计规范和实际应用中所制定和使用的许多公式和标准,都以材料力学为基础,所以对材料力学相关原理的理解与掌握是非常重要的。

历史发展。材料力学的起源可以追溯到17世纪初,当时,伽利略通过实验手段研究了载荷对由不同材料所制作的杆和梁的作用效应。但是,为了对材料力学性质做进一步的了解,还需要对材料的力学性质有一个准确的实验描述。到了18世纪初,实验手段有了显著的提高。当时主要在法国,由圣维南、泊松、拉梅和纳维等一些著名学者在相关领域开展了实验研究和理论研究。由于上述学者的研究主要基于力学在材料中的应用,所以称之为“材料强度”,但现在人们通常称之为“变形体力学”,或简单地称之为“材料力学”。

多少年来,随着许多材料力学基本问题的解决,应用高等数学手段和计算机技术来解决更加复杂的问题变得越来越必要了,因此又派生出了诸如弹性理论和塑性理论等高等力学研究科目。然而,为了满足解决高级工程问题的需要,以及为了改进和完善材料力学基本理论,学者们仍然在进行着这些领域的研究。

1.2 变形体的平衡

由于静力学在材料力学的发展和应用中扮演着重要的角色,所以对静力学相关基础知识的掌握就显得非常重要。为此,下面回顾一些将在本书中用到的静力学主要原理。

外载荷

虽然物体可能受到几种不同类型的外载荷,但是这些外载荷可以分为面力和体力两类,如图1.1所示。

面力。正如其名称所表明的一样,面力是一个物体与另一个物体通过表面直接接触所引起的力。在任何情况下,这些力分布于物体间的接触面上。若接触面的面积与物体的整体表面积

相比较小的话,则这个面力就可以理想化为一个作用于物体上一点的集中力。例如,在研究自行车所受的载荷时,地面对自行车车轮的作用力就可以看成集中力。若面力作用在一个狭长的区域内,则该面力就可以理想化为线分布载荷 $w(s)$ 。线分布载荷用沿载荷分布区域内单位长度上力的大小来度量,并用沿线段 s 分布的一系列箭头表示。线分布载荷 $w(s)$ 的合力 $\mathbf{F}_R$ ^①大小等于分布载荷曲线下所围区域的面积,并通过该区域的形心 C ,即几何中心。沿梁长度方向分布的载荷是这种理想化线分布载荷的典型实例。

体力。体力是物体间没有直接的物理接触时,一个物体施加于另一个物体的力,例如地球的引力场或电磁场所引起的作用力。虽然体力作用于组成物体的每个质点上,但通常将这些作用于每个质点上的力简化为一个作用在物体上的集中力,例如在重力场中,这个集中力称为物体的重力,作用点位于物体的重心。

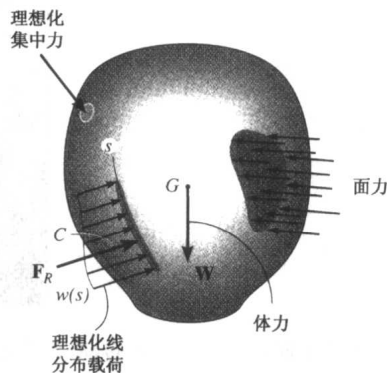


图 1.1

支座约束反力

支座处或物体间接触点处的面力称为约束反力。对于二维问题,即物体只受到平面力系的作用,表 1.1 给出了常见的约束及约束反力。要特别注意表示每种支座的符号以及支座对与之接触构件的约束反力类型。一般情况下,可以通过考察与支座相接触的构件在某个特定方向的移动或转动趋势来确定支座约束反力的类型。若支座限制了构件在某一给定方向的移动,则构件在这个方向上一定受到一个力的作用。同理,若构件的转动被限制,则它一定受到一个力偶矩的作用。例如滚动铰支座只能限制垂直于接触面方向的移动,因此滚动铰支座对构件作用一个通过接触点的法向力 $\mathbf{F}$ 。由于构件可绕滚动铰支座自由转动,所以构件不受力偶矩的作用。

表 1.1

连接类型	约束反力	连接类型	约束反力
柔索	一个未知力: F	固定铰支座	两个未知力: F_x, F_y
滚动铰支座	一个未知力: F	铰链连接	两个未知力: F_x, F_y
光滑接触	一个未知力: F	固定端	三个未知力: F_x, F_y, M

① 本书按原书:矢量用正粗体表示,标量和微分符号用斜体表示。——编者注



为了在连接处能够自由转动,许多机器的构件都为铰链连接,构件受到约束力的作用,没有力矩。

平衡方程

物体的平衡要求它受到的是平衡力系和平衡力偶系的作用。平衡力系使物体没有移动,或者没有沿直线或曲线的加速运动;平衡力偶系使物体没有转动。这两种平衡状态可分别用两个矢量方程表示

$$\begin{aligned}\Sigma \mathbf{F} &= \mathbf{0} \\ \Sigma \mathbf{M}_O &= \mathbf{0}\end{aligned}\quad (1.1)$$

其中 $\Sigma \mathbf{F}$ 为作用于物体上所有力的矢量和, $\Sigma \mathbf{M}_O$ 为所有力对于物体内部或物体外任意一点 O 的力矩矢量和。在以点 O 为坐标原点的 x, y, z 坐标系中,力和力矩矢量可以分解为沿坐标轴的分量,于是上述的两个矢量方程就可以用 6 个标量形式的方程表示,即

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_y &= 0 & \Sigma F_z &= 0 \\ \Sigma M_x &= 0 & \Sigma M_y &= 0 & \Sigma M_z &= 0\end{aligned}\quad (1.2)$$

通常在工程实践中,作用于物体上的载荷可以表示为平面力系。若这些力都位于 $x-y$ 平面内,则物体的平衡状态可以只用 3 个标量平衡方程表示,即

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \\ \Sigma M_O &= 0\end{aligned}\quad (1.3)$$

此时,若点 O 为坐标原点,则力矩始终沿 z 轴的方向,即垂直于力系所在的平面。

要成功地应用平衡方程,需完整地分析出作用于物体上的所有已知力和未知力。分析这些力最好的办法是画出物体的受力图。显然,若受力图正确,则在列平衡方程时,就可以正确地考虑到所有作用于物体上的力和力偶矩。

内力

静力学在材料力学问题分析中最重要的应用之一是能够据此确定作用于物体内部的合力和合力矩,这些合力和合力矩使物体在外载荷的作用下仍保持为一个整体。例如,考察如图 1.2(a)所示的物体,它在 4 个外力的作用下处于平衡状态^①。为了获知作用在物体内部某一特定区域的内力,

① 假定物体的质量非常小,与其他外载比较起来可以忽略,因此没有考虑重力。

需采用截面法,即用假想的截面在需要求解内力的地方截开,把物体一分为二,其中一部分的受力如图 1.2(b)所示。可以观察到,实际上被截开截面上作用着分布的内力,这些力就是物体上半部分材料对下半部分相邻材料的作用力。

虽然内力在截面上的确切分布情况未知,但可以通过平衡方程将作用在物体上的外力与分布内力关于截面上任意点 O 的主矢 $\mathbf{F}_R$ 和主矩 $\mathbf{M}_{R_O}$ 联系起来,如图 1.2(c)所示。在内力简化时应注意,虽然主矢 $\mathbf{F}_R$ 的作用点为 O 点,但它的大小与该点的位置无关。而主矩 $\mathbf{M}_{R_O}$ 却与简化中心点的位置有关,因为受力图中每个外力的力臂为力作用线过 O 点的垂线。后面将会看到,点 O 通常选在截面的形心处。所以以后除非特别说明,一般都将该形心作为点 O 的位置。另外对细长构件(如杆和梁),一般取所研究的截面垂直于构件的纵向轴线方向,该截面称为横截面。

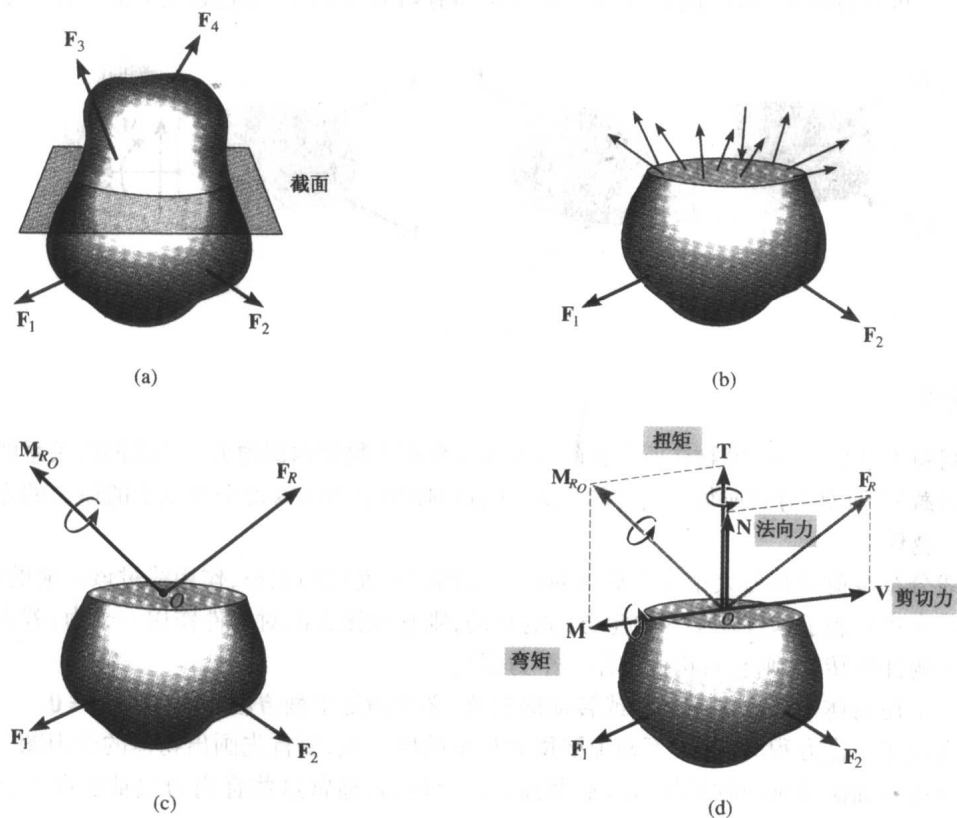


图 1.2

三维情况。在本书的后面章节中,将推导主矢 $\mathbf{F}_R$ 和主矩 $\mathbf{M}_{R_O}$ 与截面上内力分布的关系,并由此得出分析与设计中需要用到的方程。为此,需考虑主矢 $\mathbf{F}_R$ 和主矩 $\mathbf{M}_{R_O}$ 垂直于截面以及位于截面内的分量,如图 1.2(d)所示,从而可以定义如下四种不同的内力。

- ① 法向力 N 。法向力垂直于截面。当外载荷对物体的两部分有拉伸或压缩的趋势时,就会产生法向力。
- ② 剪切力 V 。剪切力位于截面所在的平面内。当外载荷使物体的两部分有相对滑动的趋势时,就会产生剪切力。
- ③ 扭矩 T 。当外载荷使物体的一部分相对于另一部分有扭转的趋势时,就会产生扭矩。
- ④ 弯矩 M 。当外载荷使物体有绕截面内某一轴弯曲的趋势时,就会产生弯矩。