

高等院校教材

工程力学

(第二版)

屈本宁 主 编
张曙红 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

TB12/53=2

2008

高等院校教材

工 程 力 学

(第二版)

屈本宁 主 编

张曙红 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等工科本科理论力学课程基本要求(中学时)中静力学的要求和材料力学课程基本要求(中学时),以及教育部工科力学课程教学指导委员会面向 21 世纪工科力学课程教学改革的要求编写而成的。全书共两篇 15 章,分别阐述静力学和材料力学的基础理论和方法,并以材料力学内容为主。注重与工程实际相结合,深入浅出地通过大量例题阐述分析问题、解决问题的思路及方法。每章附有多种形式的思考题和习题,书后附有习题参考答案。

本书可作为高等院校工科非机械类、非土建类各专业本科生或专科生 70~80 学时工程力学课程的教材,也可供成人教育学生、自学者以及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/屈本宁主编. —2 版. —北京:科学出版社,2008

(高等院校教材)

ISBN 978-7-03-020515-5

I. 工… II. 屈… III. 工程力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006337 号

责任编辑:余 江 于宏丽 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 1 月第 二 版 印张: 25 3/4

2008 年 1 月第四次印刷 字数: 486 000

印数: 7 501—11 500

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈文林〉)

第二版前言

本书第一版于 2003 年出版,在经过了几年的教学实践,听取了教师和读者的意见之后,为更好地满足教学需要,编者决定对本书进行修订使之进一步完善。在保持教材主要内容、体系和叙述风格的基础上,在以下几个方面进行了修订:

(1) 静力学的章节编排进行了部分调整,使结构更明确、紧凑。

(2) 更换了部分例题,增加部分讨论题,重绘了部分图形。

(3) 在实验指导中增加了电子万能试验机的使用介绍。

(4) 对全书的其他内容进行了必要的增删和修改,精练了文字叙述,统一了名称,力求达到精准。

全书由屈本宁任主编,并修订前言、绪论和第 1、2、3 章;张曙红任副主编,并修订第 12、13、14、15 章;杨邦成修订第 4 章;郑辉中修订第 8、9 章及型钢表;蓝虹修订第 5、6、7、10、11 章及索引;文宏光修订力学实验部分。

本书虽经修订,但由于编者水平有限,书中的不足之处仍在所难免,敬请读者批评指正。

特别感谢科学出版社给予的热情帮助和大力支持,以及责任编辑付出的大量辛勤劳动。

编 者

2007 年 9 月

第一版前言

本书根据教育部高等工科本科理论力学课程基本要求(中学时)中静力学的要求和材料力学课程基本要求(中学时)以及教育部工科力学课程教学指导委员会面向 21 世纪工科力学课程教学改革的要求在原有讲义基础上编写而成。全书内容涵盖了工程力学的全部基本内容。书中的物理量符号、名称和计量单位均采用国际单位制。

在编写中对与物理重复的部分以及课程自身重复部分进行了精简和重组,提高了起点;而且以学习力学基本知识和能力培养为目标,吸取了现行教材之所长和编者多年的教学经验。在叙述方面,深入浅出,注重概念引入的工程背景以及分析和解决问题的思路和方法。书中安排了较多的例题,精选各种类型的思考题和习题,难度适中。习题均附有答案,既适合课堂教学又便于自学。

本书可作为工科非机械类、非土建类各专业本科、专科 70~80 学时工程力学课程的教材,也可供电大学生、自学者,以及工程技术人员参考。

全书共分两篇十五章。由屈本宁任主编并编写前言、绪论、第一~三章,张曙红任副主编并编写第十二~十五章,李鹏程编写第四章,郑辉中编写第八、九章及型钢表,蓝虹编写第五~七章、第十、十一章及索引,文宏光编写力学实验部分。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 11 月

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论..... 1

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学基础..... 5

1.1 引言 5

1.2 静力学基本概念及静力学公理 5

1.3 力在坐标轴上的投影 9

1.4 力矩 12

1.5 力偶和力偶矩 16

1.6 物体的受力分析及受力图 18

思考题 26

习题 29

第 2 章 力系的简化 32

2.1 引言 32

2.2 汇交力系的合成 32

2.3 力偶系的合成 34

2.4 任意力系向任意一点简化、主矢和主矩 35

2.5 力系简化结果讨论 38

2.6 平行力系的中心和重心 44

思考题 48

习题 49

第 3 章 力系的平衡方程及其应用 51

3.1 引言 51

3.2 空间任意力系的平衡条件和平衡方程 51

3.3 平面力系平衡方程的应用 55

3.4 空间任意力系平衡方程的应用 69

3.5 考虑摩擦时的平衡问题 73

思考题 80

习题 82

第二篇 材料力学

第4章 材料力学的基本假设和基本概念	93
4.1 引言	93
4.2 材料力学的基本假设	94
4.3 外力、内力与截面法	95
4.4 应力的概念	97
4.5 应变	99
4.6 杆件变形的基本形式	100
思考题	102
习题	103
第5章 轴向拉压杆的应力与变形	105
5.1 引言	105
5.2 轴力与轴力图	106
5.3 轴向拉压杆的应力	109
5.4 拉压强度条件及应用	115
5.5 轴向拉压杆的变形	118
5.6 简单拉压超静定问题	122
思考题	125
习题	126
第6章 材料拉伸和压缩时的力学性能	131
6.1 引言	131
6.2 材料拉伸时的力学性能	131
6.3 材料压缩时的力学性能	136
6.4 应力集中	138
6.5 失效与许用应力	139
思考题	140
习题	141
第7章 剪切	143
7.1 引言	143
7.2 连接件的实用计算	144
思考题	148
习题	149
第8章 杆件的扭转	151
8.1 引言	151
8.2 轴的扭力矩、扭矩及扭矩图	152

8.3	切应力互等定理·剪切胡克定律	155
8.4	圆轴扭转时的应力与变形	157
8.5	圆轴扭转的强度条件和刚度条件	162
8.6	矩形截面杆的自由扭转	166
	思考题	168
	习题	169
第9章	弯曲应力及弯曲强度	174
9.1	引言	174
9.2	剪力、弯矩与剪力图、弯矩图	175
9.3	剪力、弯矩与分布载荷集度之间的微分关系	183
9.4	弯曲正应力	190
9.5	惯性矩	195
9.6	梁的弯曲切应力	199
9.7	梁的弯曲强度计算	201
9.8	梁的合理强度设计	207
	思考题	210
	习题	213
第10章	弯曲变形	222
10.1	引言	222
10.2	梁变形的基本方程	223
10.3	计算梁变形的叠加法	229
10.4	简单超静定梁	236
10.5	梁的刚度条件与合理刚度设计	239
	思考题	242
	习题	243
第11章	能量法	248
11.1	引言	248
11.2	杆件弹性变形能	248
11.3	莫尔定理	253
	思考题	259
	习题	260
第12章	应力状态分析	264
12.1	引言	264
12.2	平面应力状态应力分析	267
12.3	应力圆	269
12.4	平面应力状态的极值应力与主应力	271

12.5	三向应力状态的最大主应力	276
12.6	广义胡克定律	278
12.7	三向应力状态下的应变能	280
	思考题	282
	习题	284
第 13 章	复杂应力状态强度计算	288
13.1	引言	288
13.2	关于断裂的强度理论	289
13.3	关于屈服的强度理论	291
13.4	拉伸(压缩)与弯曲组合变形强度计算	294
13.5	扭转与弯曲组合变形强度计算	297
	思考题	300
	习题	302
第 14 章	压杆稳定问题	306
14.1	引言	306
14.2	细长杆的临界压力	308
14.3	欧拉公式的适用范围及中、小柔度杆的临界应力	312
14.4	压杆的稳定实用计算及合理设计	316
	思考题	320
	习题	322
第 15 章	动载荷	325
15.1	引言	325
15.2	杆件受冲击时的应力计算	325
15.3	交变应力与循环特性	329
15.4	材料的疲劳极限	331
15.5	影响构件疲劳极限的主要因素	333
	思考题	337
	习题	338
	参考文献	342
	附录 I 金属材料的力学性能试验	343
I.1	金属材料的拉伸实验	343
I.2	金属材料的压缩实验	346
I.3	金属材料的扭转实验	349
I.4	梁的纯弯曲正应力实验	351
I.5	电子万能试验机	354
I.6	液压式万能材料试验机	356

I.7 电阻应变测量简介	358
附录 II 型钢规格表	363
附表 1 热轧等边角钢(GB 9787—88)	363
附表 2 热轧不等边角钢(GB 9788—88)	369
附表 3 热轧工字钢(GB 706—88)	374
附表 4 热轧槽钢(GB 707—88)	377
索引	380
习题参考答案	385

绪 论

工程力学由静力学和材料力学两部分内容组成,主要研究物体的受力分析、平衡条件及构件的强度、刚度和稳定性。随着现代科学技术的发展,力学的应用已渗入到许多学科领域。作为一般工程专业的一门技术基础课,工程力学课程所介绍的力学基本概念、基本理论和基本方法,既可以直接用于解决工程实际问题又是学习一系列后续技术基础课和专业课程的重要基础。

静力学是研究力的基本性质、力系的简化方法及力系平衡的理论,并用于对物体进行受力分析和计算,是工程力学的基础部分。力系指作用在物体上的一群力;平衡是机械运动的特殊情况,指物体相对地球保持静止或匀速直线运动。而机械运动是物体在空间的位置随时间改变的现象。静力学侧重研究物体的外力以及这些外力之间的平衡关系,因此忽略物体的变形,将物体简化为**刚体**来研究。

材料力学研究构件在外力作用下的变形、受力与破坏的规律。为合理设计构件截面形状和尺寸,选择适当的材料提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论和方法。与静力学不同,材料力学研究物体内部的受力与变形,并将构件视为**弹性变形体**。

所谓**构件**,指机械或工程结构的每一组成部分;构件要实现预定的功能,必须具备一定的承载能力。而构件的承载能力包括**强度**、**刚度**和**稳定性**三个方面的能力。其中,**强度**指构件在外力作用下抵抗破坏的能力;**刚度**指构件在外力作用下抵抗变形的能力;**稳定性**指构件在外力作用下保持原有平衡形态的能力。研究构件这三个方面的能力是材料力学的主要内容。

工程实际中,为保证构件能正常工作,需要对其进行承载能力方面的计算。例如,图 0.1 所示的厂房结构,由立柱、屋顶、行车梁等构件组成,承受各个构件的自重、载荷重力、风雪的压力、地基的支承力等。在计算结构的承载能力时,工程力学中通常归结为三类问题:一类问题是设计问题。无论是厂房的总体结构还是其构件,在建造或制造前都要根据结构承载要求 and 经济条件进行设计。比如立柱,要保证满足强度条件、稳定性和经济性,必须合理选择材料,合理确定截面形状和尺寸等,这些都是设计时要解决的问题。第二类问题是校核问题,即在给定的载荷作用下,考察承受载荷的构件能否安全正常工作。比如起吊重物,钢丝绳会不会被拉断? 行车梁是否

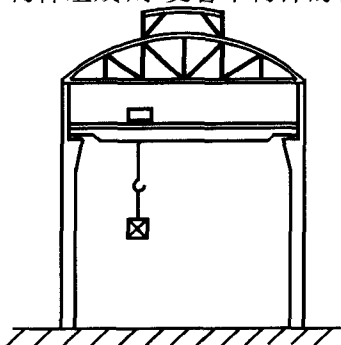


图 0.1 厂房结构

会发生过大弹性变形等。在设计过程或某些特定载荷作用下常需要根据强度、刚度和稳定性条件进行校核。第三类问题是确定许可载荷,即确定结构或构件在满足安全性的前提下所能承受的最大载荷。

解决这三类问题,首先都要对结构或构件进行受力分析和计算,以确定构件所受的外力。这就需要应用静力学理论和方法,对各个构件的受力进行分析,并应用平衡方程计算各个构件(如组成屋架的各杆件、吊车梁、立柱、基础等)上所受外力的大小。其次对结构或构件进行强度、刚度和稳定性方面的计算,解决受力构件的三类问题,这就要用到材料力学的理论和方法。由此可见,材料力学以静力学为基础,二者相互联系和衔接,形成了工程力学。因此在学习过程中,既要注意每部分在研究对象、内容和方法上的区别,又要注意后面部分对前面部分的理论和方法的应用,这样才能学好这门课。

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学基础

1.1 引 言

静力学理论从静力学公理出发,以静力学基本概念和力的作用效应为基础,经逻辑推理和数学演绎而得到的。因此本章介绍静力学基本概念、静力学公理、力矩、力偶、物体受力分析方法和受力图,侧重研究力的基本性质。

1.2 静力学基本概念及静力学公理

1.2.1 力和刚体的概念

静力学中的两个基本概念是力的概念和刚体的概念。

1. 力的概念

力的概念是人们从生产实践中总结出来的。定义为:力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。如放在直线轨道上的小车,开始是静止的,在一水平力作用下,由静止变为运动,其运动状态发生了改变[图 1.1(a)]。又如跳水运动员用的跳板,当运动员站上去时跳板产生了变形,如图 1.1(b)所示,其轴线由直线变为曲线。一般情况下,力使物体的运动状态和形状同时发生

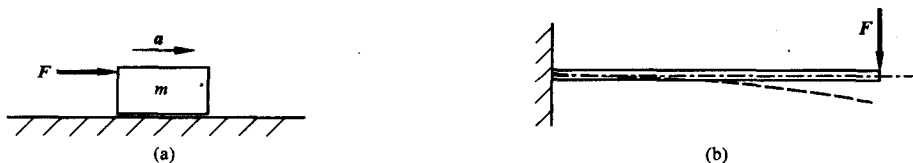


图 1.1

改变。在实际工程中,研究力对物体的作用效应应根据研究内容有所侧重,如上述小车的运动,运动状态的改变是主要的,而对于跳板,变形是主要的。对应于两种效应,将力使物体运动状态的改变称为力的外效应,而将力使物体形状的改变称为力的内效应。

实践证明力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三要素。三要素可以用矢量来概括,如图 1.2 所示,即

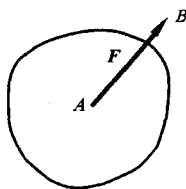


图 1.2

矢量的长度表示力的大小,箭头表示方向,矢尾端 A 表示作用点(有时也可用矢端表示力的作用点)。

力的国际单位为牛(N)或千牛(kN)。

2. 刚体的概念

刚体是在任何情况下,大小和形状都不改变的物体。刚体是对实际受力物体的力学抽象。自然界中任何物体受力后都要发生变形。如果物体变形较小,在研究平衡或运动时不起主要作用,变形可以略去不计。如图 1.3 所示的横梁,在力 F 的作用下其挠度 δ 仅为梁长度 l 的千分之几。在考察横梁平衡时可以略去因挠度引起的梁长度的微小变化,仍用梁的原长进行计算,这样不致引起显著的误差,却使计算过程大为简化,又能满足工程精度要求。

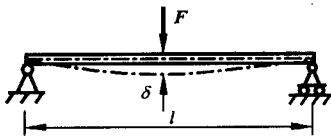


图 1.3

显然,刚体模型的引入,既反映了问题的主要方面又能保证精度,简化计算过程。应当注意,刚体模型仅适应于小变形问题,不适用于大挠度、大应变和与变形有关的问题。

静力学以刚体为研究对象。

1.2.2 静力学公理

静力学公理是人们经过长期生产实践中总结并经实践反复检验的关于力的性质的客观真理。无需证明而为人们所公认。静力学公理是静力学的基础,下面介绍几个有关的公理。

1. 二力平衡公理

作用在刚体上两个力平衡的必要与充分条件是两个力的大小相等、方向相反并作用于同一直线上。如图 1.4 所示,即有

$$F_1 = - F_2 \tag{1.1}$$

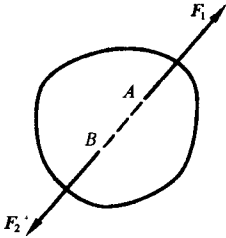


图 1.4

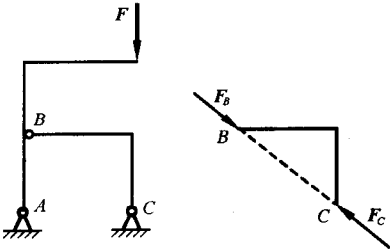


图 1.5

满足此公理并且作用于同一物体上的两力,是最简单的平衡力系。二力平衡条件对于刚体是必要与充分条件,而对于变形体仅为必要条件而不是充分条件。

在工程中常有作用两个力而平衡的构件,称之为二力构件,如图 1.5 所示的无重弯杆 BC 及如图 1.6 所示的无重刚杆 AB 均为二力构件。

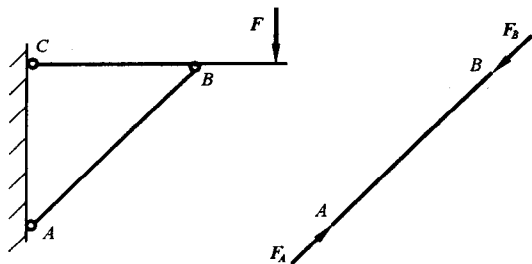


图 1.6

2. 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。

平行四边形法则是力的合成方法,称为矢量加法。合力称为两分力的矢量和或几何和[图 1.7(a)],表示为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.2)$$

此关系也可用平行四边形的一半表示,称为力三角形,如图 1.7(b)所示。对于复杂的共点力系,可以运用这一规则将各力两两合成得到合力。应用此法则也可将一个力分解为两个力。另外,此公理无论对刚体还是变形体都是适用的。

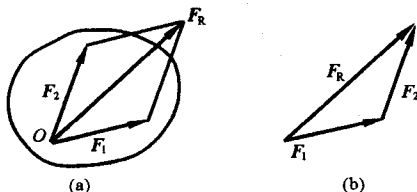


图 1.7

3. 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系上加上或减去任意平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效应。

此公理表明,加、减平衡力系后的新力系与原力系等效。此公理只适用于刚体不适用于变形体。如图 1.8 所示的变形体在已知的力系 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{F}'$ 上加上一对平衡力系 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}'_1$,很显然,加平衡力系前后变形量是不相同的,因而不能等效。

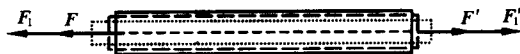


图 1.8

由此公理可以得到两个有用的推理。

推理 1(力的可传性原理) 作用在刚体上某点的力,可沿其作用线移到刚体的任意点而不改变该力对刚体的作用。