

工程力学

屈本宁 主 编

张曙红 副主编



科学出版社

www.sciencep.com

工 程 力 学

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)及教育部工科学课程教学指导委员会面向 21 世纪工科学课程教学改革的要求编写而成。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,并附有答案。

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。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/屈本宁主编,张曙红副主编. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-011026-9

I. 工… II. ①屈… ②张… III. 工程力学 N. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 106305 号

策划编辑:童安齐 匡 敏/ 文案编辑:吴寅泰 吴伶伶
责任校对:钟 洋/ 责任印制:钱玉芬/ 封面设计:黄华斌

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>

双青印刷厂 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)

2003 年 2 月第一次印刷 印张: 25 3/4

印数: 1—4 000 字数: 517 000

定价: 29.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈兰各〉)

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)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及课程自身重复部分进行精简和重组,提高了起点,并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。此外,附录中给出了金属材料力学性能实验的基本内容。

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15章。由屈本宁任主编并编写前言、引言、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,郑辉中编写第八章和第九章及型钢表,蓝虹编写第五~七章、第十章和第十一章及索引,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。

目 录

前言

绪论..... 1

第一篇 静力学

第一章 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

第二章 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力 44

思考题 49

习题 50

第三章 力系的平衡方程及其应用 52

3.1 引言 52

3.2 空间任意力系的平衡条件和平衡方程 52

3.3 平面力系平衡方程的应用 56

3.4 物体系统的平衡 62

3.5 空间任意力系平衡方程的应用 71

3.6 考虑摩擦时的平衡问题 75

思考题 82

习题 84

第二篇 材料力学

第四章 材料力学的基本假设和基本概念	95
4.1 引言	95
4.2 材料力学的基本假设	96
4.3 外力与内力	97
4.4 应力的概念	99
4.5 应变	100
4.6 杆件变形的基本形式	101
思考题	102
习题	103
第五章 轴向拉压的应力与变形	106
5.1 引言	106
5.2 轴力与轴力图	107
5.3 轴向拉压杆的应力	111
5.4 拉压强度条件及应用	116
5.5 轴向拉压杆的变形	119
5.6 简单拉压超静定问题	123
思考题	127
习题	128
第六章 材料拉伸和压缩时的力学性能	133
6.1 引言	133
6.2 材料拉伸时的力学性能	133
6.3 材料压缩时的力学性能	139
6.4 应力集中与材料疲劳	140
6.5 失效与许用应力	142
思考题	143
习题	144
第七章 剪切	146
7.1 引言	146
7.2 连接件的实用计算	147
思考题	152
习题	152
第八章 杆件的扭转	155
8.1 引言	155
8.2 轴的扭力矩、扭矩及扭矩图	156

8.3	切应力互等定理·剪切胡克定律	159
8.4	圆轴扭转时的应力与变形	161
8.5	圆轴扭转的强度条件和刚度条件	166
8.6	矩形截面杆的自由扭转	170
	思考题	172
	习题	173
第九章	弯曲应力及弯曲强度	178
9.1	引言	178
9.2	剪力和弯矩与剪力图和弯矩图	179
9.3	剪力、弯矩与分布荷载集度之间的微分关系	188
9.4	弯曲正应力	195
9.5	惯性矩	201
9.6	梁的弯曲切应力	205
9.7	梁的弯曲强度计算	207
9.8	梁的合理强度设计	212
	思考题	216
	习题	219
第十章	弯曲变形	228
10.1	引言	228
10.2	梁变形的基本方程	229
10.3	计算梁变形的叠加法	235
10.4	简单超静定梁	240
10.5	梁的刚度条件与合理刚度设计	243
	思考题	246
	习题	247
第十一章	能量法	253
11.1	引言	253
11.2	杆件弹性变形能	253
11.3	莫尔定理	258
	思考题	264
	习题	265
第十二章	应力状态分析	269
12.1	引言	269
12.2	平面应力状态应力分析	271
12.3	应力圆	273
12.4	平面应力状态的极值应力与主应力	276

12.5 三向应力状态的最大主应力	281
12.6 广义胡克定律	283
12.7 三向应力状态下的应变能	285
思考题	286
习题	288
第十三章 复杂应力状态强度计算	293
13.1 引言	293
13.2 关于断裂的强度理论	294
13.3 关于屈服的强度理论	295
13.4 拉伸(压缩)与弯曲组合变形强度计算	298
13.5 扭转与弯曲组合变形强度计算	301
思考题	305
习题	307
第十四章 压杆稳定问题	311
14.1 引言	311
14.2 细长杆的临界压力	313
14.3 欧拉公式的适用范围及中、小柔度杆的临界应力	317
14.4 压杆的稳定实用计算及合理设计	321
思考题	324
习题	326
第十五章 动载荷	329
15.1 引言	329
15.2 杆件受冲击时的应力计算	329
15.3 交变应力与循环特性	333
15.4 材料的疲劳极限	335
15.5 影响构件疲劳极限的主要因素	337
思考题	341
习题	342
主要参考文献	346
附录 I 金属材料的力学性能试验	347
1.1 金属材料的拉伸实验	347
1.2 金属材料的压缩实验	350
1.3 扭转实验	353
1.4 梁的纯弯曲正应力实验	355
1.5 液压式万能材料试验机	358
1.6 电阻应变测量简介	360

附录Ⅱ 型钢规格表.....	366
附表 1 热轧等边角钢	366
附表 2 热轧不等边角钢	372
附表 3 热轧工字钢	377
附表 4 热轧槽钢	380
索引.....	383
习题参考答案.....	390

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专业课程的重要基础。

静力学研究力的基本性质、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。力系是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。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,是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。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。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、荷载重力、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,考察承受荷载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,行车大梁是否会发

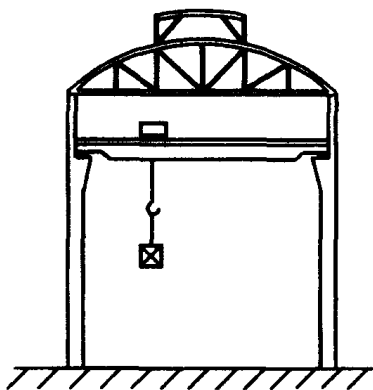


图 0.1 厂房结构

生过大弹性变形,等等。在设计过程或某些特定荷载作用下常需根据强度、刚度和稳定性条件进行校核。第三类问题是确定许可荷载,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荷载。

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,解决受力构件的第三类问题,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

第一章 静力学基础

1.1 引言

静力学理论是从静力学公理出发,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。本章介绍静力学基本概念、静力学公理、力矩、力偶及其性质、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,其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,我们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**。

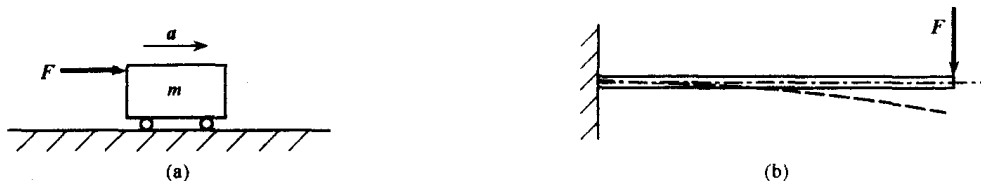


图 1.1

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)。

力的国际单位为牛顿(N)或千牛(kN)。

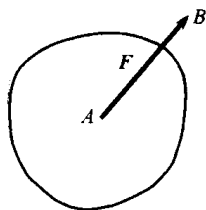


图 1.2

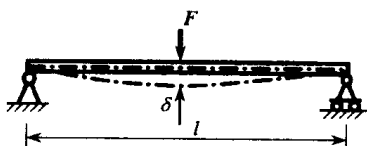


图 1.3

2. 刚体的概念

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或多或少发生变形,如果物体变形较小,在研究平衡或运动时不起主要作用,变形就可以略去不计。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,仍用梁原来的长度进行计算,不致引起显著的误差,这样使计算分析大为简化,又能满足工程精度要求。在工程中小变形的问题是很普遍的,因此为了突出问题的主要方面我们得到了刚体模型,即**刚体是在任何情况下,大小和形状都不改变的物体**。

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,简化分析计算过程。应当注意,刚体模型仅适用于小变形问题,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

静力学公理是人们在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。无需证明而被人们所公认。静力学公理是静力学的基础,下面首先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

$$F_1 = -F_2 \quad (1.1)$$

满足此公理并且作用于同一物体上的两力,是一个最简单的平衡力系。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。

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。

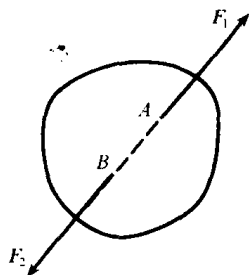


图 1.4

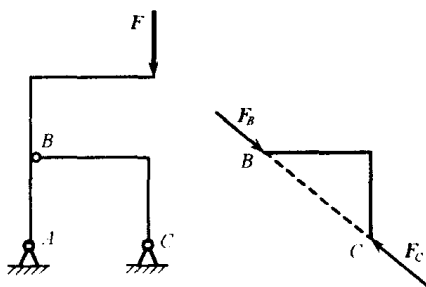


图 1.5

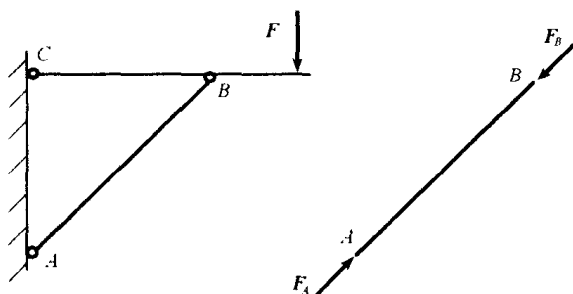


图 1.6

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,此法则无论对刚体还是变形体都是适用的。

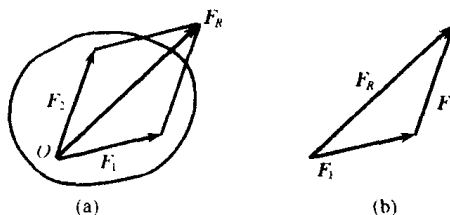


图 1.7

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。

由此公理可以得到以下两个有用的推理:



图 1.8

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。

设有一力 F 作用于刚体上 A 点,在 F 作用线上某点 B 处加上一对平衡力,如图 1.9 所示,并使 $F = F_1 = -F_2$,据此公理,不改变力 F 对刚体的作用。此时又可将 F 和 F_2 看做是一对平衡力,又据此公理,可以去掉,因此图 1.9(a)和 1.9(c)所示的情形等效。

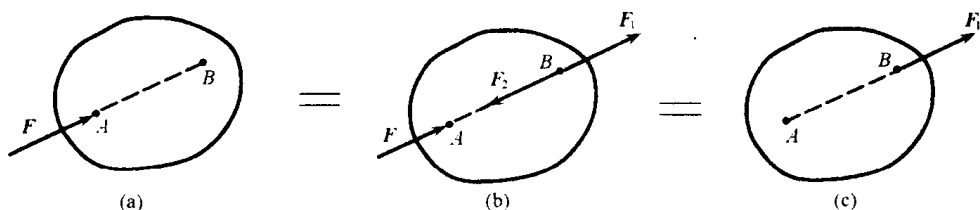


图 1.9

由图 1.9(a)和图 1.9(c)所示的两情形中可知,力 F 被由点 A 沿其作用线移到了点 B ,由于 B 点是任取的,于是推理成立。

力的可传性使力对刚体作用效应的三要素成为力的大小、方向和作用线。因此对于刚体,力是滑动矢量。

对于变形体,力的可传性原理不能成立。如图 1.10 所示,变形体在图 1.10(a)中轴向力的作用下,产生拉伸变形,若将 A 端的力沿其作用线移到 B 端而将 B 端的力沿其作用线移到 A 端,如图 1.10(b)所示,此时变形体产生压缩变形,显然与移动前不等效。

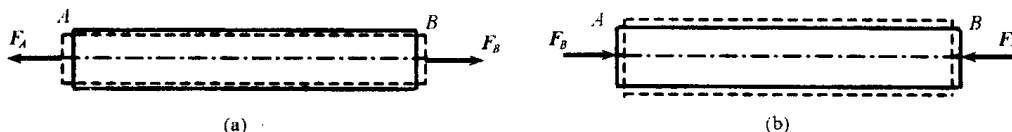


图 1.10

推理 2 (三力平衡汇交定理):作用于刚体上的三个相互平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。

如图 1.11 所示,在刚体上 A 、 B 、 C 三点处作用有三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 和 F_3 。将力 F_1 和 F_2 沿其作用线移至汇交点 O 并按平行四边形法则求得合力 F_{12} 。力 F_{12} 位于 F_1 和 F_2 构成的平面,此时刚体受两力 F_{12} 和 F_3 的作用而平衡。由二力平衡公理,两力必共线,故 F_3 必通过 F_1 与 F_2 的汇交点, F_{12} 与 F_3 也必在同一平面内,即三力 F_1 、 F_2 、 F_3 共面。推理得证。

4. 作用与反作用定律

两物体间作用力与反作用力总是同时存在,两力的大小相等方向相反,沿着同