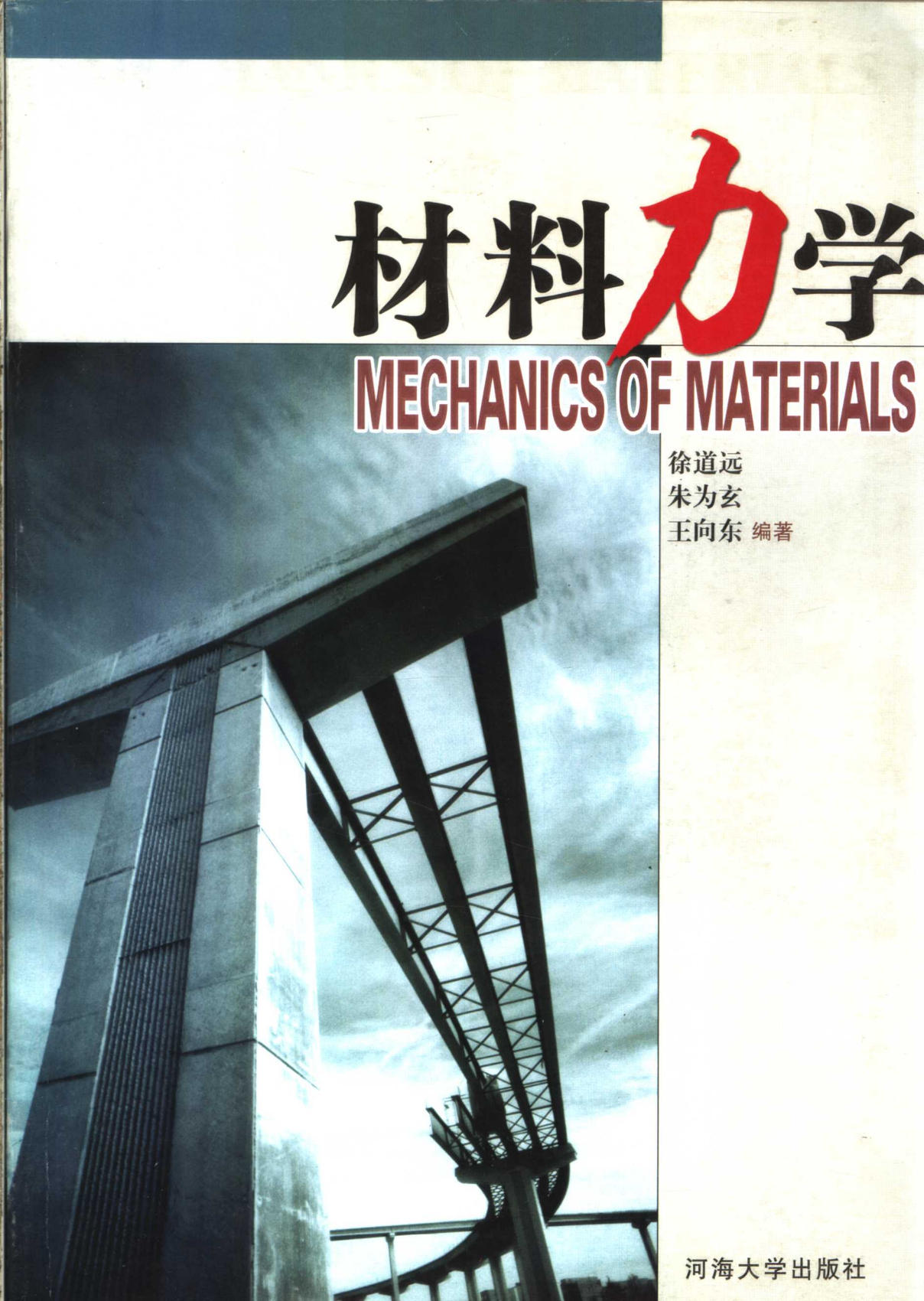




材料力学

MECHANICS OF MATERIALS

徐道远
朱为玄
王向东 编著

河海大学出版社

材 料 力 学

徐道远 朱为玄 王向东 编著

河海大学出版社
南京

内 容 提 要

本书按传统的材料力学体系,精选经典内容,适当增加了一些加深的内容和反映科技发展的新内容;突出基本概念、基本理论和基本方法;注意与前后相关课程的联系、贯通与渗透;精选例题和习题,以有利于启发式、互动式教学和培养学生解决实际问题及创新思维的能力。

本书共 16 章,内容包括绪论和基本概念、轴向拉压、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和应变状态分析、强度理论、组合变形、连接强度计算、压杆稳定、考虑材料塑性时杆的强度计算、能量法、动荷载和交变应力、开口薄壁杆件的约束扭转和按可靠度理论计算杆件的强度;附录包括平面图形几何性质、型钢表、薄壁截面扇性几何性质和概率统计基本知识。

本书可作为高等院校工科力学专业、水利、土木类专业以及其他专业的材料力学教材或参考书,也可供力学教师和工程技术人员阅读、参考,并可作为考研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/徐道远等编著. —南京:河海大学出版社,
2006. 1

ISBN 7-5630-1845-X

I. 材… II. 徐… III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 134287 号

书 名/材料力学

书 名/ISBN 7-5630-1845-X/O·108

责任编辑/周 萍

责任校对/李蕾蕾 宋 佳

出 版/河海大学出版社

地 址/南京西康路 1 号(邮编:210098)

电 话/(025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

经 销/江苏省新华书店

印 刷/丹阳教育印刷厂

开 本/787 毫米×960 毫米 1/16 28.5 印张 550 千字

版 次/2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价/46.00 元

前 言

随着教学改革不断深入和教改模式的多元化,针对不同类型、不同教学层次、不同专业的材料力学教材,已出现了百花齐放的繁荣景象。

河海大学在国家级力学教学基地建设中,已按基地编写工程力学系列教材的要求,编写了适用于水利、土木专业的《材料力学》(面向 21 世纪课程教材,徐道远、黄孟生、朱为玄、王向东编著,河海大学出版社,2004 年 1 月)教材。随着基地后续建设和精品课程建设的开展,编写一本与上述教材体系不尽相同,内容更为广泛和加深的材料力学教材,以满足有更高要求的专业教学之需,实有必要。

由河海大海钱济成、徐道远、刘丽丽、符晓陵编著的《材料力学》(河海大学出版社,1993)及其前身(校内非正式出版的讲义),曾在河海大学作为各专业的材料力学教材和考研参考书广为使用近 20 年,并流传至兄弟院校,深受欢迎。但是,从当前科学技术的发展和适应教学改革深度的角度来审视,该教材显然存在很多不足之处。为此,本书以该教材的内容体系为骨架,作了大范围、大幅度的增删和修改,以期尽量保留该教材之长而补其短。从这个意义上说,本书是对该教材的改编。

本书仍采用传统的材料力学内容体系,以杆件为研究对象,先按杆件的变形形式分章讲述杆件在拉压、扭转、弯曲时的内力、应力、变形分析和强度、刚度计算以及与之有关的问题,然后分章讲述应力状态和应变状态分析、强度理论、组合变形、连接强度计算、压杆稳定、能量法、动荷载和变应力等内容。在以上各章中,增加了几种新材料的力学性质、非对称弯曲梁的正应力、开口薄壁截面梁的切应力、异料复合梁、平面曲杆纯弯曲时的正应力、转角和挠度的通用方程、双切应力强度理论、按折算弹性模量理论分析非弹性失稳的压杆、钢结构构件的疲劳计算等新内容。此外,由于很多行业、部门已大量采用轻型结构和概率极限状态设计方法,作为其基础,本书还设章讲述了开口薄壁杆件的约束扭转和按可靠度理论计算杆件强度的内容。平面图形几何性质、薄壁截面扇形几何性质和概率统计基本知识则作为附录内容。原教材中的“杆件在基本变形下的强度和刚度计算”一章,已分散并入本书的有关章节中,另一章“计算机在材料力学中的应用”及某些章中的个别节,因已无必要论述或与后续课程重复而删去。

本书在编写上仍保持原教材的风格,力求严格、准确、精炼地阐述基本概念、基本理论和基本方法,尽量注意将材料力学与工程应用相联系,在论述中充分反映其工程应用背景,部分例题和习题则来自于工程问题的简化,还特别注意在讲述上便

于启发式、互动式教学和给学生留有思维空间,例题和习题除满足教学基本要求外,还包括了一些用以启发学生创新思维和能力的内容。本书还充分照顾到与前后相关课程的关系,在内容上力求衔接和避免不必要的重复,在很多问题的讲述上又尽量保持一致。

本书由徐道远(第1章、第5章、第11章、第15章、第16章和附录C、D)、朱为玄(第8~10章,第12~14章和附录A)、王向东(第2~4章,第6章、第7章和附录B)合作编写,并由徐道远担任主编。本书的选材主要参考了前述的两本教材,即由钱济成、徐道远、刘丽丽、符晓陵编著的《材料力学》(河海大学出版社,1993)和由徐道远、黄孟生、朱为玄、王向东编著的《材料力学》(河海大学出版社,2004),此外还参考了国内外一些材料力学教材,注意吸收了他们的许多长处。南京工业大学蒋桐教授对书稿进行了审阅,并提出了宝贵意见,为提高本书的质量作出了贡献,特此致谢。对各参考教材的作者们,也一并致以谢忱。

本书可作为高等院校工科力学专业材料力学教材,也可作为水利、土木或其他专业材料力学教材和参考书,为便于教学内容选择,在一些内容较深或较特殊的章节均注了*号。本书也可供力学教师和工程技术人员阅读、参考并可作为考研参考书。

限于编者水平,本书难免有不妥和疏漏之处,欢迎读者指正。

编 者

2005年8月

主要符号表

符号	含义	符号	含义
A	面积	r	循环特征
D, d	直径	S_y, S_z	面积矩, 静矩
E	弹性模量	T	扭转外力偶矩, 动能
F	集中力	t	时间
F_{bs}	挤压力	V	位能
F_{cr}	临界力	V_ϵ	应变能
F_d	动荷载	v_d	形状改变能密度
F_N	轴力	v_v	体积改变能密度
F_Q	剪力	v_ϵ	应变能密度
G	切变模量	W	重力, 外力功, 弯曲截面系数
I_y, I_z	惯性矩	W_p	扭转截面系数
I_p	极惯性矩	w	挠度
I_{yz}	惯性积	θ	梁横截面转角, 单位长度相对扭转角, 体积应变
i_y, i_z	惯性半径	φ	相对扭转角, 折减因数
k_d	动荷因素	γ	切应变
M, M_y, M_z	弯矩	Δ	位移
M_r	扭矩	Δl	伸长(缩短)变形
M_c	外力偶矩	δ	厚度, 延伸率
M_s	屈服弯矩	ϵ	线应变
M_u	极限弯矩	ϵ_u	极限应变
N	循环次数	λ	柔度
n	安全因素, 转速	μ	长度因数
n_r	疲劳安全因素	ν	泊松比
n_{st}	稳定安全因素	σ	正应力
p	总应力, 压强	σ_s	屈服极限
P	功率		
q	均布荷载集度		
R, r	半径		

符号	含义	符号	含义
σ_b	强度极限	σ_r	相当应力, 疲劳极限
σ_{bs}	挤压应力	σ_t	拉应力
σ_c	压应力	σ_u	极限应力
σ_{cr}	临界应力	σ_{-1}	对称循环疲劳极限
σ_d	动应力	$[\sigma]$	容许正应力
σ_e	弹性极限	τ	切应力
σ_p	比例极限	$[\tau]$	容许切应力

注: 第 15 章和第 16 章(含附录 C, D)的符号有其特殊性, 未列入本表。请参见该两章(含两附录)。

目 录

第 1 章 绪论·基本概念	(1)
§ 1-1 材料力学的任务	(1)
§ 1-2 变形固体的概念及其基本假设	(2)
§ 1-3 杆件及其变形形式	(4)
§ 1-4 内力和应力	(5)
§ 1-5 位移和应变	(7)
§ 1-6 材料力学的特点	(9)
习题	(10)
第 2 章 轴向拉伸和压缩	(11)
§ 2-1 概述	(11)
§ 2-2 轴力及轴力图	(12)
§ 2-3 拉压杆件横截面上的正应力	(15)
§ 2-4 应力集中的概念	(17)
§ 2-5 拉压杆件的变形	(18)
§ 2-6 拉伸和压缩时材料的力学性质	(23)
§ 2-7 几种新材料的力学性质简介	(31)
§ 2-8 拉压杆件的强度计算	(33)
§ 2-9 拉压超静定问题	(37)
习题	(43)
第 3 章 扭转	(50)
§ 3-1 概述	(50)
§ 3-2 扭矩和扭矩图·传动轴外力偶矩的计算	(51)
§ 3-3 圆杆扭转时的应力	(53)
§ 3-4 圆杆扭转时的变形·扭转超静定问题	(60)
§ 3-5 扭转时材料的力学性质	(62)
§ 3-6 扭转圆杆的强度计算和刚度计算	(64)
§ 3-7 非圆截面杆的扭转	(66)
习题	(71)

第4章 弯曲内力	(75)
§4-1 概述	(75)
§4-2 剪力和弯矩	(77)
§4-3 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	(80)
§4-4 剪力、弯矩和荷载集度间的关系	(84)
§4-5 叠加法作弯矩图	(91)
习题	(92)
第5章 弯曲应力	(96)
§5-1 概述	(96)
§5-2 梁横截面上的正应力	(97)
§5-3 梁横截面上的切应力	(103)
§5-4 梁的强度计算和合理设计	(110)
§5-5 非对称弯曲梁的正应力	(118)
§5-6 开口薄壁截面梁的切应力·弯曲中心	(123)
* §5-7 异料复合梁	(127)
* §5-8 平面曲杆纯弯曲时的正应力	(131)
习题	(136)
第6章 弯曲变形	(144)
§6-1 梁的挠度和转角	(144)
§6-2 梁的挠曲线近似微分方程	(145)
§6-3 积分法计算梁的变形	(146)
§6-4 转角和挠度的通用方程	(151)
§6-5 叠加法计算梁的变形	(155)
§6-6 梁的刚度计算	(159)
§6-7 简单超静定梁	(161)
习题	(164)
第7章 应力状态和应变状态分析	(169)
§7-1 应力状态的概念	(169)
§7-2 平面应力状态分析	(170)
§7-3 基本变形杆件的应力状态分析	(179)
§7-4 三向应力状态分析	(182)
§7-5 广义胡克定律·体积应变	(185)
§7-6 应变能和应变能密度	(191)
§7-7 平面应变状态分析	(193)
习题	(199)

第 8 章 强度理论	(204)
§ 8-1 强度理论的概念	(204)
§ 8-2 4 种常用的强度理论	(205)
§ 8-3 莫尔强度理论	(207)
* § 8-4 双切应力强度理论	(210)
§ 8-5 强度理论的应用	(211)
习题	(218)
第 9 章 组合变形	(221)
§ 9-1 概述	(221)
§ 9-2 斜弯曲	(222)
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(229)
§ 9-4 偏心压缩(拉伸)	(232)
§ 9-5 截面核心	(236)
§ 9-6 弯曲与扭转的组合变形	(238)
习题	(242)
第 10 章 连接强度计算	(248)
§ 10-1 概述	(248)
§ 10-2 铆接强度计算	(249)
§ 10-3 其他连接件和连接的计算	(257)
习题	(262)
第 11 章 压杆稳定	(266)
§ 11-1 压杆稳定性的概念	(266)
§ 11-2 细长压杆的临界力	(268)
§ 11-3 压杆的柔度与压杆的非弹性失稳	(274)
§ 11-4 压杆的稳定计算及提高压杆稳定性的措施	(280)
* § 11-5 按折算弹性模量理论分析非弹性失稳的压杆	(288)
* § 11-6 纵横弯曲问题	(291)
习题	(293)
第 12 章 考虑材料塑性时杆的强度计算	(298)
§ 12-1 概述	(298)
§ 12-2 圆杆的极限扭矩	(299)
§ 12-3 梁的极限弯矩和残余应力的概念	(301)
§ 12-4 超静定拉压杆系的极限荷载	(307)
习题	(309)
第 13 章 能量法	(312)

§ 13-1 概述	(312)
§ 13-2 杆件的弹性应变能计算	(312)
§ 13-3 卡氏定理	(317)
§ 13-4 莫尔定理	(323)
* § 13-5 功的互等及位移互等定理	(326)
习题	(328)
第 14 章 动荷载和交变应力	(331)
§ 14-1 概述	(331)
§ 14-2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力	(332)
§ 14-3 构件受冲击时的应力和变形	(337)
§ 14-4 交变应力和疲劳破坏	(344)
§ 14-5 对称循环下的疲劳极限及其影响因素	(347)
§ 14-6 对称循环下构件的疲劳强度计算	(351)
* § 14-7 非对称循环下的疲劳极限和疲劳强度计算	(353)
§ 14-8 钢结构构件的疲劳计算	(357)
习题	(359)
* 第 15 章 开口薄壁杆件的约束扭转	(364)
§ 15-1 概述	(364)
§ 15-2 开口薄壁杆件约束扭转的正应力	(365)
§ 15-3 开口薄壁杆件约束扭转的切应力	(371)
§ 15-4 开口薄壁杆件约束扭转的微分方程	(374)
§ 15-5 开口薄壁杆件的组合变形	(380)
习题	(386)
* 第 16 章 按可靠度理论计算杆件的强度	(387)
§ 16-1 概述	(387)
§ 16-2 可靠度的基本知识	(389)
§ 16-3 按可靠度理论计算杆件的强度	(389)
§ 16-4 杆件概率极限状态计算方法简介	(395)
习题	(397)
附录 A 平面图形几何性质	(398)
附录 B 型钢表	(413)
* 附录 C 薄壁截面扇性几何性质	(421)
* 附录 D 概率统计基本知识	(428)
习题答案	(433)
参考文献	(445)

绪论 · 基本概念

作为绪论,本章将介绍材料力学的任务、研究范畴、研究对象、研究的基本方法以及材料力学课程的特点。

在材料力学中,将物体作为变形固体,研究的对象是杆件。因此,本章还将介绍变形固体的基本假设,杆件变形的基本形式,受力杆件中的内力、应力、变形、位移和应变等重要的概念。

§ 1-1 材料力学的任务

建筑物、机器等是由许多部件组成的,例如建筑物的组成部件有梁、板、柱和承重墙等,机器的组成部件有齿轮、传动轴等。这些部件统称为**构件**(member)。为了使建筑物和机器能正常工作,必须对构件进行设计,即选择合适的尺寸和材料,使之满足一定的要求。这些要求是:

(1) **强度**(strength)要求 构件抵抗破坏的能力称为强度。构件在外力作用下必须具有足够的强度才不致发生破坏,即不发生**强度失效**(failure)。

(2) **刚度**(rigidity)要求 构件抵抗变形的能力称为刚度。在某些情况下,构件虽有足够的强度,但若刚度不够,即受力后产生的变形过大,也会影响正常工作。因此设计时,必须使构件具有足够的刚度,使其变形限制在工程允许的范围内,即不发生**刚度失效**。

(3) **稳定性**(stability)要求 构件在外力作用下保持原有形状平衡的能力称为稳定性。例如受压力作用的细长直杆,当压力较小时,其直线形状的平衡是稳定的;但当压力过大时,直杆不能保持直线形状下的平衡,称为**失稳**。这类构件须具有足够的稳定性,即不发生**稳定失效**。

一般说来,强度要求是基本的,只是在某些情况下,才对构件提出刚度要求。

至于稳定性问题,只有在一定受力情况下的某些构件才会出现。

为了满足上述要求,一方面必须从理论上分析和计算构件受外力(external force)作用产生的内力(internal force)、应力(stress)和变形(deformation),建立强度、刚度和稳定性计算的方法;另一方面,构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性质(mechanical properties)有关,而材料的力学性质需要通过试验确定。此外,由于理论分析要根据对实际现象的观察进行抽象简化,对所得结果的可靠性也要用试验来检验。材料力学(mechanics of materials)的任务就是从理论和试验两方面,研究构件的内力、应力和变形,在此基础上进行强度、刚度和稳定性计算,以便合理地选择构件的尺寸和材料。必须指出,要完全解决这些问题,还应考虑工程上的其他问题,材料力学只是提供基本的理论和方法。

在选择构件的尺寸和材料时,还要考虑经济要求,即尽量降低材料的消耗和使用成本低的材料;但为了安全,又希望构件尺寸大些,材料质量高些。这两者之间存在着一定的矛盾,材料力学则正是在解决这些矛盾中产生并不断发展的。

材料力学的发展是与社会生产发展密切相关的,材料力学的知识是从生产实践中产生,并逐渐从低级向高级发展起来的。在古代,虽然已有舟车、房屋、堤坝等机械和结构的建造和制作,并已逐渐对构件的受力特点、材料的力学性能和正确使用积累起丰富的经验,但一直到16世纪前,在结构和机械的设计中,仍然主要是根据经验或模仿,还没有上升到科学理论的水平。

材料力学作为一门科学,一般认为是在17世纪开始建立的。此后,随着生产的发展,各国科学家对与构件有关的力学问题进行了广泛深入的研究,使材料力学这门学科得到了长足的发展。长期以来,材料力学的概念、理论和方法已广泛应用于土木、水利、船舶与海洋工程、机械、化工、冶金、航空与航天等工程领域。计算机以及实验方法和设备的飞速发展和广泛应用,为材料力学的工程应用提供了强有力的手段。

§ 1-2 变形固体的概念及其基本假设

固体在外力作用下所产生的物理现象是各种各样的,而每门学科仅从自身的特定目的出发去研究某一方面的问题。为了研究方便,常常需要舍弃那些与所研究的问题无关或关系不大的特征,而只保留主要的特征,将研究对象抽象成一种理想的模型(model)。例如在理论力学中,为了从宏观上研究物体的平衡和机械运动的规律,可将物体看作为刚体。在材料力学中,所研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题,这就必须考虑物体的变形,即使变形很小,也不能把物体看作为刚体。研究变形固体

的力学称为固体力学或变形体力学。材料力学是固体力学中的一个分支。

变形固体的组织构造及其物理性质是十分复杂的,为了抽象成理想的模型,通常对变形固体作出下列基本假设:

(1) **连续性假设**(assumption of continuity) 假设物体内部充满了物质,没有任何空隙。而实际的物体内部当然存在着空隙,而且随着外力或其他外部条件的变化,这些空隙的大小会发生变化。但从宏观方面研究,只要这些空隙的大小比物体的尺寸小得多,就可不考虑空隙的存在,而认为物体是连续的。

(2) **均匀性假设**(assumption of homogeneity) 假设物体内部各处的力学性质是完全相同的。实际上,工程材料的力学性质都有一定程度的非均匀性。例如金属材料由晶粒组成,各晶粒的性质不尽相同,晶粒与晶粒交界处的性质与晶粒本身的性质也不同;又如混凝土材料由水泥、砂和碎石组成,它们的性质也各不相同。但由于这些组成物质的大小和物体尺寸相比很小,而且是随机排列的,因此,从宏观上看,可以将物体的性质看作各组成部分性质的统计平均量,而认为物体的性质是均匀的。

(3) **各向同性假设**(assumption of isotropy) 假设材料在各个方向的力学性质均相同。金属材料由晶粒组成,单个晶粒的性质有方向性,但由于晶粒交错排列,从统计观点看,金属材料的力学性质可认为是各个方向相同的。例如铸钢、铸铁、铸铜等均可认为是各向同性材料。同样,像玻璃、塑料、混凝土等非金属材料也可认为是各向同性材料。但是,有些材料在不同方向具有明显不同的力学性质,如经过辗压的钢材、纤维整齐的木材以及冷扭的钢丝等,这些材料是各向异性材料。在材料力学中主要研究各向同性的材料。

变形固体受外力作用后将产生变形。如果变形的大小较物体原始尺寸小得多,这种变形称为**小变形**(small deformation)。材料力学所研究的构件,受力后所产生的变形大多是小变形。在小变形情况下,研究构件的平衡以及内部受力等问题时,均可不计这种小变形,而按构件的原始尺寸计算。

当变形固体所受外力不超过某一范围时,若除去外力,则变形可以完全消失,并恢复原有的形状和尺寸,这种性质称为**弹性**(elasticity)。若外力超过某一范围,则除去外力后,变形不会全部消失,其中能消失的变形称为弹性变形,不能消失的变形称为**塑性**(plasticity)变形,或残余变形、永久变形。对大多数的工程材料,当外力在一定的范围内时,所产生的变形完全是弹性的。对多数构件,要求在工作时只产生弹性变形。因此,在材料力学中,主要研究构件产生弹性变形的问题,即弹性范围内的问题。

需要指出的是,在材料力学中,虽然研究对象是变形体,但当涉及到大部分平衡问题时,依然将所研究的对象(杆件或其局部)视为刚体。

§ 1-3 杆件及其变形形式

根据几何形状的不同,构件可分为3类:

(1) **杆(bar)** 一个方向的尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件称为杆或杆件,如图1-1(a)所示。杆的几何形状可用一根中心**轴线**(axis)和与中心轴线正交的**横截面**(cross section)表示。根据轴线的形状,可分为直杆和曲杆;根据横截面沿轴线变化的情况,可分为等截面杆和变截面杆。例如组成桁架的杆多为等截面直杆,起重机的吊钩为变截面曲杆。

(2) **板和壳**(plate and shell) 一个方向的尺寸(厚度)比其他两个方向的尺寸小得多的构件称为板或壳。平分厚度的面称为**中面**。当中面为平面时,该构件称为板(或平板),如图1-1(b)所示;当中面为曲面时,该构件称为壳(或壳体),如图1-1(c)所示。例如楼板为平板,有些建筑物的屋顶为壳体。

(3) **块体**(solid block) 三个方向的尺寸相差不很大的构件称为块体。例如机器底座为块体,图1-1(d)所示的坝体也是块体。

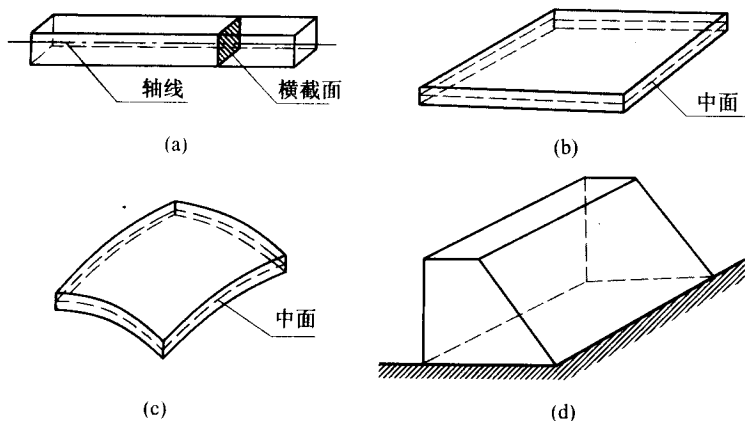


图 1-1 构件的分类

材料力学主要研究杆,其他几类构件的分析需用弹性力学的方法。

杆在各种形式的外力作用下,其变形形式是多种多样的,但不外乎是某一种基本变形(basic deformation)或几种基本变形的组合。杆的基本变形可分为:

(1) **轴向拉伸或压缩**(axial tension or compression) 直杆受到与轴线重合的外力作用时,杆的变形主要是轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或压缩,如图1-2(a)、(b)所示。

(2) **剪切**(shear) 直杆受一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向外力作用时,杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动。这种变形称为剪切,如图 1-2(c)所示。杆件在发生剪切变形的同时,通常还存在其他变形。

(3) **扭转**(torsion) 直杆在垂直于轴线的平面内,受到大小相等、方向相反的力偶作用时,各横截面发生相对转动。这种变形称为扭转,如图 1-2(d)所示。

(4) **弯曲**(bending) 直杆受到垂直于轴线的外力或在包含轴线的平面内的力偶作用时,杆的轴线发生弯曲。这种变形称为弯曲,如图 1-2(e)所示。

杆在外力作用下,若同时发生两种或两种以上的基本变形,则称为**组合变形**(complex deformation)。

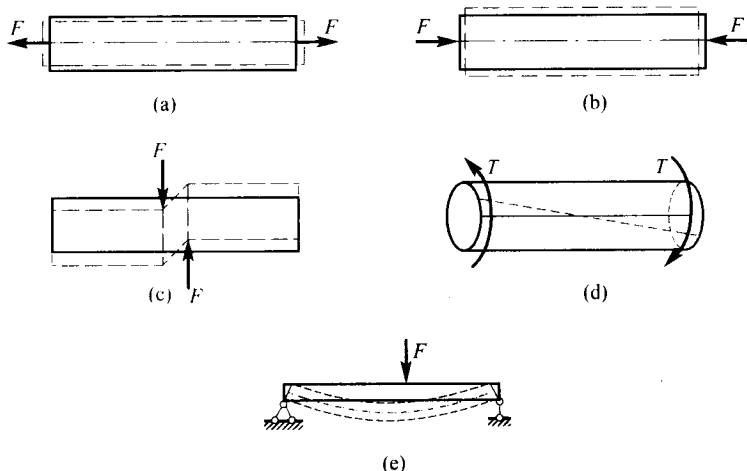


图 1-2 杆件的几种基本变形

本书先研究杆的基本变形问题,然后再研究杆的组合变形问题。

§ 1-4 内力和应力

一、内力

构件所受到的外力包括**荷载**(load)和**约束反力**(reaction of constraint)。外力可从不同的角度分类,这在理论力学中已有详述。构件在外力作用下发生变形的同时,将引起**内力**(internal force)。

在物理学中,物体内部相邻质点之间的相互作用力称为内力。物体未受外力作用时,内力已经存在,正是因为内力的存在,物体才能保持一定的形状。当外力作

用后,原有的内力会发生改变,这一改变量称为附加内力。材料力学中研究的就是这种附加内力,通常简称为内力。物体受外力作用产生变形的同时,引起了内力,而内力又力图使变形消失,当外力增加使内力超过某一限度时,材料就会破坏。

二、截面法

为了显示和计算内力,需将物体截开。如图 1-3(a)所示的直杆,假想在需求内力的截面 $m-m$ 处将杆截开为 A、B 两部分,留取任一部分,例如 A 部分(如图 1-3(b))。在 A 部分上除有外力 F_1 和 F_2 外,还有 B 部分对它的作用力。这些作用力在 $m-m$ 截面上是连续分布的,即为截面上的分布内力。一般情况下,截面上的分布内力可以合成为一个力(主矢)和一个力偶(主矩)。以后将截面上分布内力的合力(力和力偶)简称为内力。

对留取的部分, $m-m$ 截面上的内力就成为外力,因此,根据 A 部分的平衡方程可求出这些内力。同样,也可留取 B 部分,根据 B 部分的平衡方程也可求 $m-m$ 截面上的内力。根据作用与反作用定律,由 A 部分上求得的 $m-m$ 截面上的内力必与由 B 部分求得的该截面上的内力等值且反向。

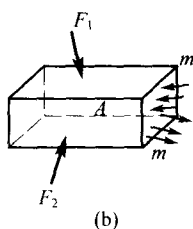
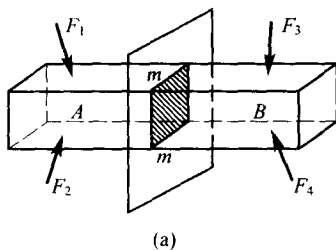


图 1-3 截面法原理

上述求内力的方法称为**截面法**(section method),其求解步骤为:

- (1) 假想在需求内力的截面处将物体截开为两部分,任取一部分为研究对象;
- (2) 在留取的部分上,除保留作用在这部分上的外力以外,还要加上移去部分对这部分的作用力,即截开截面上的内力;
- (3) 利用平衡方程,即可求得截面上的内力。

三、应力

实际的物体总是从内力集度最大处开始破坏的,因此只按理论力学中所述方法求出截面上分布内力的合力(力和力偶)是不够的,必须进一步确定截面上各点处分布内力的集度。为此,必须引入应力的概念。

在图 1-4(a)中受力物体某截面上某点 M 处的周围取一微面积 ΔA ,设其上分布内力的合力为 ΔF 。 ΔF 的大小和指向随 ΔA 的大小而变。 $\Delta F/\Delta A$ 称为面积 ΔA 上分布内力的平均集度,又称为平均应力。如令 $\Delta A \rightarrow 0$,则比值 $\Delta F/\Delta A$ 的极限值为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$