

普通高等院校
基础力学系列教材

范钦珊 殷雅俊 编著

材料力学

清华大学出版社

普通高等院校基础力学系列教材

范钦珊 殷雅俊 编著

材料力学

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本套教材包括主教材——《材料力学》、学生学习指导书——《材料力学学习指导》、教师教学参考书——《材料力学教师用书》和供课堂教学使用的《材料力学电子教案》。

本书为《材料力学》主教材,全书分为基础篇和专题篇,共11章。基础篇包括反映材料力学基本要求的轴向拉压杆件、材料的力学性能、圆轴扭转、弯曲强度与刚度、应力状态与强度理论、压杆稳定等内容,共8章;专题篇包括能量法、动载荷与疲劳强度、新材料的材料力学等概述性的内容,共3章,供不同院校选用。

本书注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与繁琐的数字运算,引入了大量涉及广泛领域的工程实例以及与工程有关的例题和习题。

本套教材可作为高等院校理工科各专业中学时和少学时材料力学课程的教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/范钦珊,殷雅俊编著. —北京:清华大学出版社,2004.9

(普通高等院校基础力学系列教材)

ISBN 7-302-09322-9

I. 材… II. ①范… ②殷… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 087891 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 杨 倩

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 170×230 印 张: 21.25 字 数: 371 千字

版 次: 2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09322-9/O · 395

印 数: 1~3000

定 价: 28.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

普通高等院校基础力学系列教材

编委会名单

主 任：范钦珊

编 委：王焕定 王 琪

刘 燕 殷雅俊

PREFACE

普通高等院校基础力学系列教材

序

普通高等院校基础力学系列教材包括“理论力学”、“材料力学”、“结构力学”、“工程力学(静力学+材料力学)”以及“工程流体力学”。目前出版的是前面的3种,“工程力学(静力学+材料力学)”将在以后出版。

这套教材是根据我国高等教育改革的形势和教学第一线的实际需求,由清华大学出版社组织编写的。

从2002年秋季学期开始,全国普通高等学校新一轮培养计划进入实施阶段。新一轮培养计划的特点是,加强素质教育、培养创新精神。根据新一轮培养计划,课程的教学总学时数大幅度减少,为学生自主学习留出了较大的空间。相应地,课程的教学时数都要压缩,基础力学课程也不例外。

怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握力学的基本知识,又能了解一些力学的最新进展;既能培养学生的力学素质,又能加强工程概念。这是很多力学教育工作者所共同关心的问题。

现有的基础教材大部分都是根据在比较多的学时内进行教学而编写的,因而篇幅都比较大。教学第一线迫切需要适用于学时压缩后教学要求的小篇幅的教材。

根据“有所为、有所不为”的原则,这套教材更注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与繁琐的数字运算。这样做不仅可以满足一些专业对于力学基础知识的要求,而且可以切实保证教育部颁布的基础力学课程教学基本要求的教学质量。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本套教材在概念、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。

此外,为了帮助学生学习 and 加深理解以及方便教师备课和授课,与每门课

程主教材配套出版了学习指导、教师用书(习题详细解答)和供课堂教学使用的电子教案。

本套教材内容的选取以教育部颁布的相关课程的“教学基本要求”为依据,同时根据各院校的具体情况,作了灵活的安排,绝大部分为必修内容,少部分为选修内容。每门课程所需学时一般不超过 60。

范钦珊

2004 年 7 月于清华大学

FOREWORD

前言

本书是为普通高等院校理工科各专业中少学时“材料力学”课程而编写,同时对材料力学的深度和难度要求不高,但对材料力学的基础知识需要有一定了解的专业,可作为素质教育的一部分。

从力学素质教育的要求出发,本书更注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与繁琐的数字运算。

材料力学与很多领域的工程密切相关。材料力学教学不仅可以培养学生的力学素质,而且可以加强学生的工程概念。这对于他们向其他学科或其他工程领域扩展是很有利的。基于此,本书与以往的同类教材相比,难度有所下降,工程概念有所加强,引入了大量涉及广泛领域的工程实例和与工程有关的例题与习题。

本书内容的选取以教育部颁布的“材料力学教学基本要求”为依据,同时考虑到 20 世纪 60 年代以来,很多新材料不断涌现并且应用于广泛的工程实际,引入“新材料的材料力学”,目的是开阔学生的视野,增强适应性。

全书分为基础篇和专题篇,共 11 章。基础篇共 8 章,包括反映材料力学基本要求的轴向拉压杆件、材料的力学性能、圆轴扭转、弯曲强度与刚度、应力状态与强度理论、压杆稳定等内容;专题篇共 3 章,包括能量法、动载荷与疲劳强度、新材料的材料力学等概述性的内容,供不同院校选用。根据不同院校的实际情况,基础篇所需教学时数约为 32~48;专题篇所需教学时数约为 16~24。

范钦珊

2004 年 7 月于清华大学

主要符号表

符号	量的含义
A	面积
a	间距
b	宽度
d	直径、距离、力偶臂
D	直径
e	偏心距
E	弹性模量(杨氏模量)
f_s	静摩擦因数
F	力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力
F_N	法向约束力, 轴力
F_P	载荷
F_{Pcr}	临界载荷、分叉载荷
F_Q	剪力
F_R	合力、主矢
F_S	牵引力、拉力
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
G	切变模量
h	高度
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{xy}	惯性积
k	弹簧刚度系数
K_t	有效应力集中因数

K_t	理论应力集中因数
l	长度、跨度
M, M_y, M_z	弯矩
M_e	外加扭转力偶矩
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
M	力偶矩
M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴之矩
M_f	滚动阻力偶
n	转速
$[n]_{st}$	稳定安全因数
p	内压力
P	功率
q	均布载荷集度
R, r	半径
r	矢径
s	路程, 弧长
u	水平位移、轴向位移
$[u]$	许用轴向位移
v_d	畸变能密度
v_v	体积改变能密度
v	应变能密度
V_e	应变能
w	挠度
W	功、重量、弯曲截面系数
W_p	扭转截面系数
α	倾角, 线膨胀系数
β	角, 表面加工质量系数
θ	梁横截面的转角、单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
γ	切应变

Δ	变形、位移
δ	厚度
ϵ	线应变, 尺寸系数
ϵ_e	弹性应变
ϵ_p	塑性应变
ϵ_v	体积应变
λ	柔度、长细比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	密度、曲率半径
σ	正应力
σ^+	拉应力
σ^-	压应力
$\bar{\sigma}$	平均应力
σ_b	强度极限
σ_c	挤压应力
$[\sigma]$	许用应力
$[\sigma]^+$	许用拉应力
$[\sigma]^-$	许用压应力
σ_{cr}	临界应力
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
σ_s	屈服应力
τ	剪应力
$[\tau]$	许用剪应力
σ_f	纤维中的实际应力
σ_m	基体中的实际应力
σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限
$\dot{\epsilon}$	应变速率
η	粘度

基 础 篇

- 第 1 章 材料力学概述
- 第 2 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题
- 第 3 章 轴向载荷作用下材料的力学性能
- 第 4 章 圆轴扭转时的强度与刚度计算
- 第 5 章 梁的强度问题
- 第 6 章 梁的变形分析与刚度问题
- 第 7 章 应力状态与强度理论及其工程应用
- 第 8 章 压杆的稳定问题

材料力学概述

材料力学主要研究变形体受力后发生的变形、由于变形而产生的附加内力以及由此而产生的失效和控制失效的准则。在此基础上导出工程构件静力学设计的基本方法。

材料力学与理论力学在分析方法上也不完全相同。材料力学的分析方法是在实验基础上,对于问题作一些科学的假定,将复杂的问题加以简化,从而得到便于工程应用的理论成果与数学公式。

本章介绍材料力学的基础知识、研究方法以及材料力学对于工程设计的重要意义。

1.1 “材料力学”的研究内容

材料力学(strength of materials)的研究内容分属于两个学科。第一个学科是固体力学(solid mechanics),即研究物体在外力作用下的应力、变形和能量,统称为应力分析(stress analysis)。但是,材料力学所研究的仅限于杆、轴、梁等物体,其几何特征是纵向尺寸(长度)远大于横向(横截面)尺寸,这类物体统称为杆或杆件(bars 或 rods)。大多数工程结构的构件或机器的零部件都可以简化为杆件。第二个学科是材料科学(materials science)中的材料的力学行为(behaviours of materials),即研究材料在外力和温度作用下所表现出的力学性能(mechanical properties)和失效(failure)行为。但是,材料力学所研究的仅限于材料的宏观力学行为,不涉及材料的微观机理。

以上两方面的结合使材料力学成为工程设计(engineering design)的重要组成部分,即设计出杆状构件或零部件的合理形状和尺寸,以保证它们具有足够的强度(strength)、刚度(stiffness)和稳定性(stability)。

1.2 杆件的受力与变形形式

实际杆件的受力可以是各式各样的,但都可以归纳为 4 种基本受力和变形形式:轴向拉伸(或压缩)、剪切、扭转和弯曲,以及由两种或两种以上基本受力和变形形式叠加而成的组合受力与变形形式。

拉伸或压缩(tension or compression)——当杆件两端承受沿轴线方向的拉力或压力载荷时,杆件将产生轴向伸长或压缩变形,分别如图 1-1(a)、(b)所示。图中实线为变形前的位置;虚线为变形后的位置。

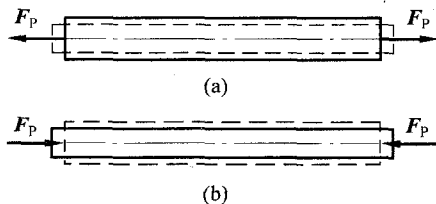


图 1-1 承受拉伸与压缩的杆件

剪切(shearing)——在平行于杆横截面的两个相距很近的平面内,方向相对地作用着两个横向力,当这两个力相互错动并保持二者之间的距离不变时,杆件将产生剪切变形,如图 1-2 所示。

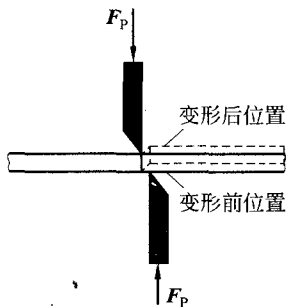


图 1-2 承受剪切的构件

扭转(torsion)——当作用在杆件上的力组成作用在垂直于杆轴平面内的力偶 M_e 时,杆件将产生扭转变形,即杆件的横截面绕其轴相互转动,如图 1-3 所示。

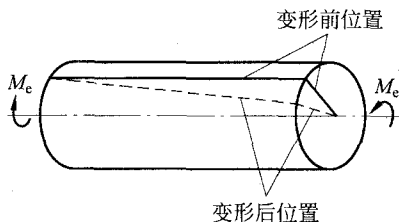


图 1-3 承受扭转的圆轴

弯曲(bend)——当外加力偶 M (图 1-4(a)) 或外力作用于杆件的纵向平面内(图 1-4(b))时,杆件将发生弯曲变形,其轴线将变成曲线。

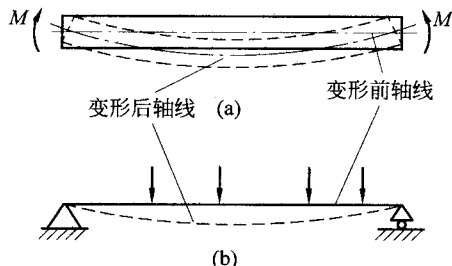


图 1-4 承受弯曲的梁

组合受力与变形(complex loads and deformation)——由上述基本受力形式中的两种或两种以上所共同形成的受力与变形形式即为组合受力与变形,例如图 1-5 中所示杆件的变形,即为拉伸与弯曲的组合(其中力偶 M 作用在纸平面内)。组合受力形式中,杆件将产生两种或两种以上的基本变形。

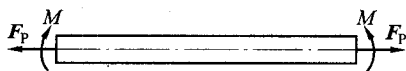


图 1-5 组合受力的杆件

实际杆件的受力不管多么复杂,在一定的条件下,都可以简化为基本受力形式的组合。

工程上将承受拉伸的杆件统称为拉杆,简称杆(rods);受压杆件称为压杆或柱(column);承受扭转或主要承受扭转的杆件统称为轴(shaft);承受弯曲的杆件统称为梁(beam)。

1.3 工程构件静力学设计的主要内容

工程设计的任务之一就是保证结构和构件具有足够的强度、刚度和稳定性。

强度(strength)是指构件或零部件在确定的外力作用下,不发生破坏或过量塑性变形的能力。

刚度(rigidity)是指构件或零部件在确定的外力作用下,其弹性变形或位移不超过工程允许范围的能力。

稳定性(stability)是指构件或零部件在某些受力形式(例如轴向压力)下其平衡形式不会发生突然转变的能力。

例如,各种桥的桥面结构,采取什么形式才能保证不发生破坏,也不发生过大的弹性变形,即不仅保证桥梁具有足够的强度,而且具有足够的刚度,同时还要具有重量轻、节省材料等优点。

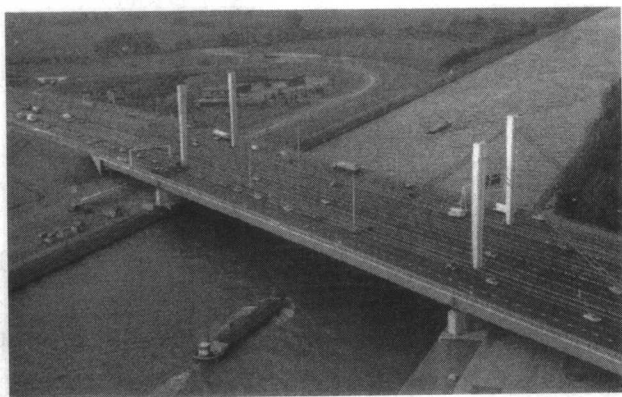


图 1-6 大型桥梁

又如,建筑施工的脚手架不仅需要有足够的强度和刚度,而且还要保证有足够的稳定性,否则在施工过程中会由于局部杆件或整体结构的不稳定性而导致整个脚手架的倾覆与坍塌,造成人民生命和国家财产的巨大损失。

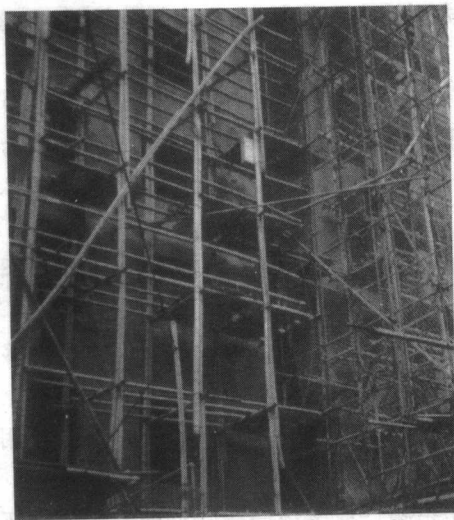


图 1-7 建筑施工中的脚手架

此外,各种大型水利设施、核反应堆容器、计算机硬盘驱动器以及航空航天器及其发射装置等也都有大量的强度、刚度和稳定性问题。

1.4 关于材料的基本假定

1.4.1 各向同性假定

在所有方向上均具有相同的物理和力学性能的材料,称为各向同性(isotropy)材料。

如果材料在不同方向上具有不同的物理和力学性能,则称这种材料为各向异性(anisotropy)材料。

大多数工程材料虽然微观上不是各向同性的,例如金属材料,其单个晶粒呈结晶各向异性(anisotropy of crystallographic),但当它们形成多晶聚集体的金属时,呈随机取向,因而在宏观上表现为各向同性。“材料力学”中所涉及的金属材料都假定为各向同性材料。这一假定称为各向同性假定(isotropy assumption)。就总体的力学性能而言,这一假定也适用于混凝土材料。

1.4.2 各向同性材料的均匀连续性假定

实际材料的微观结构并不是处处都是均匀连续的,但是,当所考察的物体几何尺度足够大,而且所考察的物体上的点都是宏观尺度上的点,则可以假定所考察的物体的全部体积内,材料在各处是均匀、连续分布的。这一假定称为均匀连续性假定(homogenization and continuity assumption)。

根据这一假定,物体因受力和变形而产生的内力 and 位移都将是连续的,因而可以表示为各点坐标的连续函数,从而有利于建立相应的数学模型,所得到的理论结果便于应用于工程设计。

1.5 弹性体受力与变形特征

弹性体受力后,由于变形,其内部将产生相互作用的内力。这种内力不同于物体固有的内力,而是一种由于变形而产生的附加内力,利用一假想截面将弹性体截开,这种附加内力即可显示出来,如图 1-8 所示。

根据连续性假定,一般情形下,杆件横截面上的内力组成一分布力系。

由于整体平衡的要求,对于截开的每一部分也必须是平衡的。因此,作用