

高等院校力学系列教材

材 料 力 学

范钦珊摇主编

任文敏摇陈艳秋摇范钦珊摇编著

清华大学出版社摇施普林格出版社

内 容 简 介

摇摇本套教材包括主教材——《材料力学》、学生学习指导书——《材料力学学习指导与解题指南》、教师教学参考书——习题详细解答和供课堂使用的教学软件。

本书为《材料力学》主教材,根据 21 世纪我国高等教育新的培养计划,对材料力学的教学内容加以精选,同时采用融合和渗透的方法,一方面将传统的教学内容推陈出新,使之更加简练、富有新意;另一方面在保证基础的前提下,引入一些反映近代科技成果的新内容,广泛涉及诸多工程实际。全书共 15 章,前 12 章为基础内容,包括基本受力形式下杆件的内力、应力、变形、位移以及应力状态分析和失效判据与设计准则等。后 3 章为课程的加深内容,主要有疲劳强度简介、能量法、动载荷与动应力、复合材料力学基础以及材料的粘弹性与伪弹性设计方法等。各章所附习题均经过作者精心编选,有些章节编选了“选择类习题”,习题均附有答案。

本套教材可作为高等工科大学本科各专业多学时和中学时材料力学课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 范钦珊主编 汪文敏,陈艳秋,范钦珊编著—北京:清华大学出版社,2008
(高等院校力学系列教材)

Ⅰ. 范… Ⅱ. 范…②. 汪…③. 陈… Ⅲ. 材料力学—高等学校—教材 Ⅳ. 0344

Ⅰ 范… Ⅱ 范…② 汪…③ 陈… Ⅲ 材料力学—高等学校—教材 Ⅳ 0344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123456 号

出 版 者:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦

课 后 辅 导 网 址:www.tup.tsinghua.edu.cn

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

客户服务:010-62770175

组稿编辑:陈朝晖

文稿编辑:杨摇倩

封面设计:常雪影

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185mm×260mm 1/32 印张:10.5 插页:2 字数:250千字

版 次:2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

书 号:978-7-302-16345-6

印 数:1-2000 册

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 或 (010) 62770176

序

从 1998 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,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,课程的教学学时数都要压缩,材料力学课程也不例外。

怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握材料力学的基本知识,又能了解一些材料力学的最新进展;既能培养学生的材料力学素质,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。

近年来,包括材料力学在内的基础力学课程在教学内容、课程体系、教学方法以及教学手段等方面,进行了一系列改革,取得了一些很有意义的成果,并在教学实践中取得了明显的效果,受到高等教育界和力学界诸多学者的支持和肯定。

本套教材包括主教材——《材料力学》、学生学习指导书——《材料力学学习指导与解题指南》、教师教学参考书——习题详细解答和供课堂使用的教学软件。本书为《材料力学》主教材,作为面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革成果的一部分,对原有材料力学课程的教学内容、课程体系加以进一步分析和研究,在确保基本要求的前提下,删去了一些偏难、偏深的内容。目的是为了满足那些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须有一定了解的专业的要求。作为这些专业的素质教育的一部分,希望这本材料力学教材具有较大的适用面,能够被更多的院校、更多的专业所采用。

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。

材料力学与很多工程领域密切相关。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,以及与工程问题有关的例题和习题。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本书在概念、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,加深学生对于基本内容的了解和掌握。

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80年代以来,很多新材料不断涌现并且广泛地应用于工程实际,因而引入“复合材料力学基础”和“材料的粘弹性与伪弹性设计方法”,目的是开阔学生的视野,增强适应性。

本书由清华大学范钦珊、任文敏、陈艳秋编写。范钦珊负责编写序、第1章~第5章;任文敏负责编写第6章~第8章;陈艳秋编写第9章、第10章~第12章。

承蒙河海大学朱为玄教授详细地审阅了本书的初稿,提出了宝贵的修改意见,编者表示诚挚的谢意。

范钦珊

2000年国庆节于清华大学

主要符号表

符号摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇量的含义

粤	面积
葬	间距
遭	宽度
凿	直径
阅	直径
藻	偏心距
耘	弹性模量、杨氏模量
云	力
云 _粤 , 云 _葬	粤处铰约束力
云 _晕	法向约束力, 轴力
云 _粤	轴力
云 _葬	载荷
云 _粤	临界载荷、分叉载荷
云 _矩	剪力
云 _矩	合力, 主矢
云 _牵	牵引力, 拉力
云 _拉	拉力
云 _粤 , 云 _葬 , 云 _扎	力在 粤赠扎方向的分量
郧	切变模量
澡	高度
陨	惯性矩
隈	极惯性矩
隈	惯性积
噪	弹簧刚度系数
造	长度, 跨度
酝 _粤 , 酝 _葬 , 酝 _扎	弯矩
酝 _藻	外加扭转力偶矩
酝 _粤	扭矩
皂	质量
酝	力偶矩
酝 _粤 , 酝 _葬 , 酝 _扎	力对 粤赠扎轴之矩

灶	转速
[灶 _藏	稳定安全因数
责	压力
孕	功率
择	均布载荷集度
砾 _则	半径
则	矢径
泽	路程,弧长
怎	水平位移、轴向位移
[怎	许用轴向位移
增	畸变能密度
增	体积改变能密度
增	应变能密度
灾	应变能
宰	功,重量,弯曲截面模量
宰 _责	扭转截面模量
α	倾角,线膨胀系数
β	角
θ	梁横截面的转角,单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
γ	剪应变
Δ	变形,位移
δ	厚度
ε	线应变
$\varepsilon_{\text{藻}}$	弹性应变
$\varepsilon_{\text{责}}$	塑性应变
$\varepsilon_{\text{灾}}$	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
$\sigma_{\text{垣}}$	拉应力
$\sigma_{\text{原}}$	压应力
$\bar{\sigma}$	平均应力

$\sigma_{\text{遭}}$	强度极限
$\sigma_{\text{槽}}$	挤压应力
$[\sigma]$	许用应力
$[\sigma]_{\text{垣}}$	许用拉应力
$[\sigma]_{\text{原}}$	许用压应力
$\sigma_{\text{槽制}}$	临界应力
$\sigma_{\text{藻}}$	弹性极限
$\sigma_{\text{责}}$	比例极限
$\sigma_{\text{园园}}$	条件屈服应力
$\sigma_{\text{泽}}$	屈服应力
τ	剪应力
$[\tau]$	许用剪应力
憎	挠度
$\sigma_{\text{枣}}$	纤维中的实际应力
$\sigma_{\text{皂}}$	基体中的实际应力
$\sigma_{\text{原园}}$	对称循环时的疲劳极限
$\sigma_{\text{蟬}}$	应变速率
η	粘度
运 _集	有效应力集中因数
运 _减	理论应力集中因数
β	表面加工质量系数
ε	应变,尺寸系数

目 录

第 1 章 引 论	1
1.1 什么是“材料力学”	1
1.2 材料力学与工程设计	4
1.3 关于材料的基本假定	5
1.4 作用在构件上的载荷	8
1.5 弹性体受力与变形特征 材料力学分析问题的方法	12
1.6 应力、应变及其相互关系	15
1.7 材料力学发展历史简述	16
1.8 结论与讨论	17
习 题	18
第 2 章 拉伸与压缩	20
2.1 拉伸与压缩杆件的内力与应力	20
2.2 拉伸与压缩杆的位移与变形	25
2.3 材料的力学试验与材料的力学性能	28
2.4 材料在单向拉伸状态下的失效判据与设计准则	30
2.5 胡克定律与拉压杆的变形	32
2.6 简单的拉伸与压缩静不定问题	35
2.7 拉压杆的应变能	38
2.8 结论与讨论	40
习 题	41

第 猿章 扭转与剪切	猿
扭转轴的外力、扭矩与扭矩图	猿
扭转剪应力、剪应力互等定理、剪应变与剪切胡克定律	猿
扭转圆截面杆件的扭转剪应力与强度条件	源
扭转圆杆扭转时的变形及刚度条件	源
扭转简单的扭转超静定问题	缘
扭转扭转的应变能	缘
扭转非圆截面杆件扭转简介	缘
扭转连接件的实用计算	缘
扭转结论与讨论	源
习题	源
第 源章 梁的内力与内力图	源
梁平衡概念与平衡方法及其应用	源
梁剪力方程与弯矩方程	源
梁载荷集度、剪力、弯矩之间的微分关系	源
梁的剪力与弯矩图	源
梁刚架的内力与内力图	愿
梁结论与讨论	愿
习题	愿
第 缘章 梁的强度计算	愿
梁工程中的弯曲构件	愿
梁与应力分析相关的截面图形几何性质	愿
梁平面弯曲时梁横截面上的正应力	愿
梁平面弯曲正应力公式应用举例	愿
梁的强度计算	愿
梁开口薄壁截面梁横截面上的剪应力流与弯曲中心	愿
梁斜弯曲	愿
梁弯矩与轴力同时作用时横截面上的正应力	愿
梁结论与讨论	愿
习题	愿

第 远章摇梁的变形与梁的刚度	员源
远园摇梁挠曲线的微分方程	员源
远员摇确定挠度与转角的积分法	员远
远圆摇叠加法	员园
远猿摇梁的刚度条件	员源
远源摇梁的弯曲应变能	员源
远缘摇简单静不定梁	员缘
远远摇结论与讨论	员远
习题	员苑
第 苑章摇应力状态的基本概念	员园
苑园摇基本概念	员园
苑员摇平面应力状态任意方向面上的应力	员源
苑圆摇应力状态中的主应力与最大剪应力	员苑
苑猿摇莫尔应力圆及其应用	员员
苑源摇广义胡克定律	员缘
苑缘摇应变能与应变能密度	员怨
苑远摇结论与讨论	员园
习题	员猿
第 愿章摇强度失效判据与强度设计准则	员缘
愿园摇强度失效分析概述	员缘
愿员摇关于脆性断裂的失效判据与设计准则	员远
愿圆摇关于屈服的失效判据与设计准则	员愿
愿猿摇圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度计算	员员
愿源摇圆柱形薄壁容器强度设计简述	员缘
愿缘摇结论与讨论	员苑
习题	员愿
第 怨章摇压杆的稳定分析与设计	员园
怨园摇压杆稳定的基本概念	员园
怨员摇两端铰支压杆的临界载荷 欧拉公式	员园
怨圆摇不同刚性支承对压杆临界载荷的影响	员源
怨猿摇临界应力与临界应力总图	员缘

第 1 章 弹性屈曲的实验验证	苑苑
第 2 章 压杆稳定性设计的安全因数法	园园
第 3 章 压杆稳定性计算与设计示例	园园
第 4 章 结论与讨论	园缘
习题	园怨
 第 5 章 交变应力作用下构件的疲劳强度与寿命概述	园源
第 1 节 引言	园源
第 2 节 影响疲劳寿命的因素	园园
第 3 节 基于有限寿命设计方法的疲劳强度	园园
第 4 节 基于线性累积损伤理论的无限寿命设计	园缘
第 5 节 结论与讨论	园怨
习题	园园
 第 6 章 能量方法及其应用	园猿
第 1 节 基本概念	园猿
第 2 节 互等定理	园远
第 3 节 应用于弹性杆件的虚位移原理	园愿
第 4 节 计算位移的莫尔积分	园员
第 5 节 计算莫尔积分的图乘法	园源
第 6 节 卡氏定理	园愿
第 7 节 结论与讨论	园猿
习题	园源
 第 7 章 动载荷作用下构件的应力计算	园怨
第 1 节 构件作等加速度直线运动时的惯性力与动应力	园怨
第 2 节 旋转构件的受力分析与动应力计算	园园
第 3 节 构件上的冲击载荷与冲击应力计算	园源
第 4 节 结论与讨论	园愿
习题	园怨
 第 8 章 复合材料力学基础	园员
第 1 节 引言	园员
第 2 节 单层纤维复合材料	园圆

第 1 章 纤维增强效应	1
第 2 章 结论与讨论	2
习题	3

第 3 章 材料的粘弹性与伪弹性设计方法	3
第 4 章 引言	4
第 5 章 聚合物的粘弹性行为	5
第 6 章 非线性粘弹性构件设计的工程方法	6
第 7 章 结论与讨论	7
习题	8

附录 型钢规格表	9
----------------	---

附录 习题答案	10
---------------	----

附录 索引	11
-------------	----

参考文献	12
------------	----

第 1 章

引 论

材料力学主要研究变形体受力后发生的变形,以及由于变形而产生的附加内力。

分析方法上,材料力学与理论力学也不完全相同。建立在实验基础上的假定、简化计算,是材料力学分析方法的主要特点。

本章介绍材料力学的基本概念、研究方法、材料力学的发展简史以及材料力学对于工程设计的重要意义。

什么是“材料力学”

材料力学(或称固体力学)的研究内容分属于两个学科。第一个学科是固体力学(或称弹性力学),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(或称弹性分析)。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(或称梁)。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(或称材料力学),即研究材料在外力和温度作用下所表现出的力学性能(或称材料力学性能)和失效(或称材料破坏)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(或称机械工程设计)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

(弹性模量、刚度(弹性模量和稳定性(弹性模量)。

材料力学与工程设计

工程构件

根据空间三个方向的几何特性,弹性体大致可分为:杆、板、壳、体四大类。

(杆——空间一个方向的尺度远大于其他两个方向的尺度,这种弹性体称为杆或杆件(或称梁)。

(板——空间一个方向的尺度远小于其他两个方向的尺度,且各处曲率均为零,这种弹性体称为板(或称板)。

(壳——空间一个方向的尺度远小于其他两个方向的尺度,且至少有一个方向的曲率不为零,这种弹性体称为壳(或称壳)。

(体——空间三个方向具有相同量级的尺度,这种弹性体称为体(或称体)。

工程结构是工程中各种结构的统称,包括:机械结构、土木结构、水利与水电结构、火电站与核电站结构、核反应堆结构、航空航天结构、化工结构以及电器、电子元件结构等等。工程结构的组成部分统称为结构构件(或称构件),简称为构件(或称构件),包括各种零件、部件、元件、器件等等。

根据构件的几何形状及几何尺寸可以将它们归属于杆、板、壳或体。材料力学只涉及杆类构件,简称为杆件(或称杆件)。

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,但都可以归纳为四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(或称拉伸或压缩)——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 所示。图中实线为变形前的位置,虚线为变形后的位置。

• 剪切(或称剪切)——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。

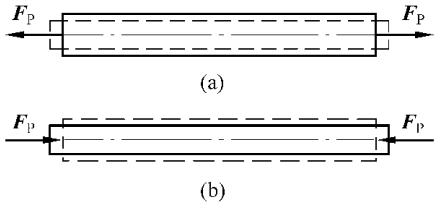


图 员圆承受拉伸与压缩的杆件

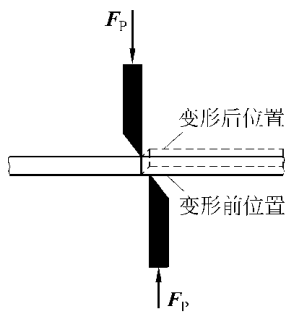


图 员圆承受剪切的构件

• 扭转(则)——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 时,杆件将产生扭转变形,即杆件的横截面绕其轴相对转动,如图 员所示。

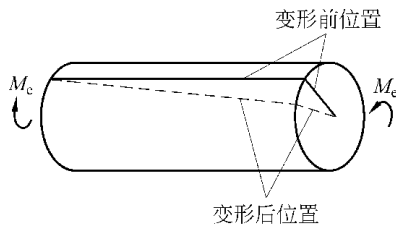


图 员圆承受扭转的圆轴

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

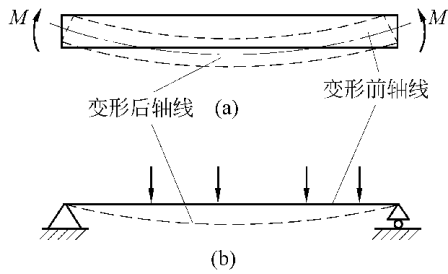


图 员圆承受弯曲的梁

• 组合受力与变形(——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 员所示杆件的变形,即为拉伸与弯曲的组合(其中力偶 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。

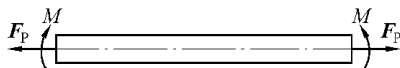


图 员-员 摇组合受力的杆件

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(则);受压杆件称为压杆或柱(则);承受扭转或主要承受扭转的杆件统称为轴(则);将承受弯曲的杆件统称为梁(则)。

员-员 摇材料力学——工程构件设计的基础

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(则)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(则)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(则)是指构件或零部件在某种受力形式(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。

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。

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。

员-2 摇关于材料的基本假定

员-2-1 摇各向同性假定

摇摇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(则)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(员源瑶增材料。

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(员源瑶增,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(员源瑶增。就总体的力学性能而言,这一假定也适用于混凝土材料。

有些材料,例如某些纤维织物增强复合材料(参见本书第员源章),既不是完全各向同性,也非完全各向异性,其板材在板所在平面内两个相互正交的方向,具有相同的力学和物理性能,这种性能称为正交各向异性(员源瑶增。

员源瑶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(员源瑶增。

根据这一假定,物体因受力和变形而产生的内力和位移都将是连续的,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。

员源瑶作用在构件上的载荷

员源瑶载荷

员源瑶作用在构件上的外力称为载荷(员源瑶。

作用在构件上的载荷,可以是相邻构件的作用力,例如传动机构中主动构件带动被动构件运动时作用在被动构件上的力。

作用在构件上的载荷也可以是气压力或水压力,例如热力供暖与发电系统中蒸汽对于锅炉和管道的压力、水利、水电系统中水对于水坝的压力。

作用在构件上的载荷还可以是自然因素对于构件的作用力,例如风、雪对于构件的作用力,这些力分别称为风载和雪载。