



范钦珊 编著

材料力学

学习指导

清华大学出版社

普通高等院校基础力学系列教材

范钦珊 编著

材料力学

学习指导

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与主教材《材料力学》配套出版的学生学习用书,内容包括各章的教学要求与学习目标;理论要点;学习建议以及例题示范等。全书共分10章:材料力学概述,轴向载荷作用下杆件的材料力学问题与材料的力学性能,圆轴扭转时的强度与刚度计算,梁的强度问题,梁的变形分析与刚度问题,应力状态与强度理论及其工程应用,压杆的稳定问题,材料力学中的能量方法,动载荷与疲劳强度概述,新材料的材料力学概述等。

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》、教师参考用书 《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》。

本套教材可作为高等院校理工科各专业材料力学课程的教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学学习指导/范钦珊编著. —北京:清华大学出版社,2005.12

(普通高等院校基础力学系列教材)

ISBN 7-302-11962-7

I. 材… II. 范… III. 材料力学—高等学校—教学参考资料 IV. TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第116722号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:杨 倩

文稿编辑:佟丽霞

印 装 者:清华大学印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:170×230 印 张:16.5 字 数:305千字

版 次:2005年12月第1版 2005年12月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11962-7/O·499

印 数:1~3000

定 价:23.00元

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

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)”。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,学生自主学习空间将进一步增大。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;既能培养和提高学生学习力学的能力,又能加强学生的工程概念?这是很多力学教育工作者所共同关心的问题。

现有的基础力学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,尽量避免冗长的理论推导与繁琐的数学运算。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,本套教材一方面在叙述概念、原理时提出问题、分析问题和解决问题的角度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,特别是新增加的关于一些重要概念的例题分析帮助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。

IV 材料力学学习指导

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。

范钦珊

2005 年 7 月于清华大学

前言

“材料力学”主要研究杆件的受力和变形,以及由此而引起的强度、刚度和稳定问题。

“材料力学”对于建筑工程、机械制造、水利工程、电力工程、石油与化学工程、核反应堆工程,以及航空与宇航等工程专业的学生,是一门非常重要的基础课程。对于其他专业,包括非工程专业的学生,学习一点材料力学,不仅能使人懂得日常生产和生活中所发生的各种现象,而且可以提升自己的综合素质。

编写《材料力学学习指导》的目的是帮助读者应用材料力学的基本概念、基本理论以及基本方法分析和解决问题;同时通过解题过程加深对于相关概念、理论以及方法的认识和理解。本书既包含材料力学的基本内容,也包括了一些加深、加宽的内容。基本内容为在校学生以及在职的工程技术人员提供一个怎样学好材料力学中的基本概念、基本理论以及基本分析方法的导引。加深、加宽的内容,可供考研的同学和从事材料力学和工程力学教学的青年教师使用。

分析和解题过程,既是应用基本概念、基本理论和基本方法的过程,又是加深理解的过程。解题前应当对有关的基本概念、基本理论和基本方法有比较全面和正确的认识。解题时,首先要弄清已知条件是什么,待求的是什么,分析的问题属于什么性质;其次,根据问题的性质,分析解决这类问题需要应用哪些基本概念和基本理论;第三,在上述分析的基础上归纳出解题过程与步骤,算出所需的结果;最后,还需要应用有关的概念和理论去判断和检查所得结果是否正确。笔者在清华大学从事力学教育的实践经验表明:只有这样才能达到解题的目的,做到“举一反三”,通过解题而精通该题相关的力学理论,使学习者逐步掌握应用这些理论进行分析问题和解决问题的方法。

全书共分10章,包括:材料力学概述,轴向载荷作用下杆件的材料力学问题与材料的力学性能,圆轴扭转时的强度与刚度计算,梁的强度问题,梁的变

形分析与刚度问题,应力状态与强度理论及其工程应用,压杆的稳定问题,材料力学中的能量方法,动载荷与疲劳强度概述,新材料的材料力学概述。本书没有单独编写主教材《材料力学》第3章“材料的力学性能”的学习指导内容,其基本要求已在第2章中一并列出,书中第3章至第10章分别与主教材第4章至第11章相对应。

书中每一章都包括以下四部分:教学要求与学习目标,理论要点,学习建议以及例题示范等。

书中所选例题,包括以下三个方面:一是基本训练题;二是简单的工程实际题;三是近年来国外有关教材中较好的例题和习题。

本书可以与《材料力学》主教材配套使用,作为在校学生学习“材料力学”课程的辅助教材、考研者备考的主要参考书以及青年教师备课的教学参考书。

范钦珊

2005年5月

目录

第 1 章 材料力学概述	1
1.1 教学要求与学习目标	1
1.2 理论要点	1
1.2.1 关于弹性体理想化的基本假定.....	1
1.2.2 弹性体的受力与变形特点.....	2
1.2.3 关于刚体静力学模型与材料力学模型.....	2
1.2.4 关于刚体静力学概念与原理在材料力学中的可用性 与限制性.....	2
1.3 学习建议	3
1.4 例题示范	3
第 2 章 轴向载荷作用下杆件的材料力学问题与材料的力学性能	7
2.1 教学要求与学习目标	7
2.2 理论要点	7
2.2.1 拉伸与压缩杆件的应力与变形.....	7
2.2.2 拉伸与压缩杆件的强度设计.....	9
2.2.3 拉伸和压缩静不定问题	10
2.3 学习建议.....	11
2.3.1 用截面法计算内力	11
2.3.2 关于应力和变形公式的应用条件	12
2.3.3 拉伸与压缩杆件斜截面上的应力	13
2.3.4 求解拉、压杆件静不定问题的难点 及应当注意的问题	15
2.4 例题示范.....	16
2.4.1 轴向力与轴向力图	16

2.4.2	应力和变形计算	17
2.4.3	强度计算	21
2.4.4	简单的拉压静不定问题	29
第3章	圆轴扭转时的强度与刚度计算	33
3.1	教学要求与学习目标	33
3.2	理论要点	33
3.2.1	圆轴扭转时的应力变形计算公式	33
3.2.2	与圆轴扭转应力、变形公式有关的几何量	35
3.2.3	圆轴扭转时的强度条件与刚度条件	35
3.3	学习建议	36
3.3.1	圆轴扭转应力与强度计算中需要注意的几个问题	36
3.3.2	刚度条件中不等号两侧的计量单位应保持一致	37
3.4	例题示范	37
3.4.1	扭矩图、扭转应力与变形计算	37
3.4.2	强度计算与刚度计算	41
3.4.3	扭转静不定问题	46
3.4.4	非圆截面杆扭转时的应力、变形计算	49
第4章	梁的强度问题	51
4.1	教学要求与学习目标	51
4.2	理论要点	52
4.2.1	弹性体的平衡原理与截面法	52
4.2.2	内力与外力的相依关系	53
4.2.3	弯矩、剪力的符号规则	53
4.2.4	应用截面法确定梁指定截面上的弯矩和剪力	54
4.2.5	弯矩方程和剪力方程	55
4.2.6	弯矩、剪力与载荷集度之间的微分关系	55
4.2.7	有关梁弯曲的基本概念	57
4.2.8	纯弯梁正应力公式及其应用与推广	58
4.2.9	斜弯曲	60
4.2.10	一个主轴平面内的偏心载荷	61
4.2.11	薄壁梁横截面上的剪应力流与弯曲中心的概念	61
4.2.12	弯曲强度问题的特点及强度计算方法	63

4.3	学习建议	66
4.3.1	绘制弯矩图和剪力图时要注意的几个问题	66
4.3.2	正确理解正应力分析方法与过程,熟练地应用正应力公式	68
4.3.3	进行弯曲强度计算时需要注意的两个问题	69
4.3.4	关于剪应力流方向以及弯曲中心的判断	70
4.3.5	薄壁截面梁的变形与力的作用点位置以及作用线方向有关	70
4.4	例题示范	71
4.4.1	应用截面法和平衡条件确定指定截面上的弯矩和剪力	71
4.4.2	建立弯矩和剪力方程并根据方程绘制弯矩图与剪力图、确定弯矩和剪力的最大值	74
4.4.3	利用弯矩、剪力和载荷集度之间的微分关系绘制弯矩图和剪力图	78
4.4.4	曲杆的弯矩与剪力方程	82
4.4.5	平面刚架的弯矩图与剪力图	83
4.4.6	弯曲正应力计算	88
4.4.7	弯曲强度计算	97
4.4.8	弯曲剪应力计算	103
第5章	梁的变形分析与刚度问题	107
5.1	教学要求与学习目标	107
5.2	理论要点	107
5.2.1	弯曲时梁的微段变形	107
5.2.2	梁的总体变形与位移	108
5.2.3	计算梁位移的叠加法	109
5.2.4	梁的刚度设计准则	110
5.2.5	简单的静不定问题	110
5.3	学习建议	111
5.3.1	变形、位移及其相互关系	111
5.3.2	应用微分方程计算梁的挠度和转角的过程	112
5.3.3	关于梁的连续光滑曲线	113
5.3.4	叠加法的注意事项	113

5.3.5	有关求解静不定的几个问题	114
5.3.6	静不定结构的特性	114
5.4	例题示范	115
5.4.1	用积分法求梁的挠度和转角	115
5.4.2	叠加法求梁的挠度和转角	120
5.4.3	弯曲刚度计算	123
5.4.4	简单的静不定梁	125
第6章	应力状态与强度理论及其工程应用	131
6.1	教学要求与学习目标	131
6.2	理论要点	132
6.2.1	一点应力状态及其表示方法	132
6.2.2	确定平面应力状态中任意斜截面上的应力	132
6.2.3	主应力、主平面、最大剪应力	133
6.2.4	应力圆及其应用	134
6.2.5	广义胡克定律	136
6.2.6	建立复杂受力时强度条件的思路与方法	137
6.2.7	几种常用的强度理论	138
6.2.8	圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度计算	139
6.2.9	圆柱形薄壁容器的应力状态分析与强度设计	142
6.3	学习建议	143
6.3.1	应力状态分析的重点和难点	143
6.3.2	应用强度理论时需要注意的几个问题	143
6.3.3	工程应用中的综合性	145
6.4	例题示范	145
6.4.1	微单元体的取法及其各个面上应力的确定	145
6.4.2	微单元任意方向面上的应力分析、应力圆的应用	147
6.4.3	主应力、主方向与最大剪应力	150
6.4.4	广义胡克定律的应用	155
6.4.5	强度理论的应用	160
第7章	压杆的稳定问题	167
7.1	教学要求与学习目标	167
7.2	理论要点	167

7.2.1	平衡构形的稳定性和不稳定性·····	167
7.2.2	临界状态与临界载荷·····	168
7.2.3	三种类型的压杆的不同临界状态·····	168
7.2.4	细长压杆的临界载荷——欧拉公式·····	169
7.2.5	长细比的概念 三类不同压杆的判断·····	170
7.2.6	压杆的稳定性设计·····	173
7.3	学习建议 ·····	174
7.3.1	正确判断杆件是否受压,是否存在稳定问题 ·····	174
7.3.2	正确确定压杆的长细比,判断压杆的类型 ·····	175
7.3.3	正确应用欧拉公式·····	175
7.3.4	稳定性设计时应注意的问题·····	176
7.3.5	注意综合性问题·····	176
7.4	例题示范 ·····	177
7.4.1	压杆临界载荷公式的推导·····	177
7.4.2	应用欧拉公式计算临界载荷·····	179
7.4.3	压杆稳定安全校核·····	182
7.4.4	综合性问题·····	184
第8章	材料力学中的能量方法·····	189
8.1	教学要求与学习目标 ·····	189
8.2	理论要点 ·····	189
8.2.1	作用在弹性杆件上的力所作的常力功和变力功·····	189
8.2.2	杆件的弹性应变能·····	190
8.2.3	功的互等定理·····	191
8.2.4	位移互等定理·····	191
8.2.5	应用于弹性杆件的虚位移原理·····	192
8.2.6	莫尔方法与莫尔积分·····	193
8.2.7	图形互乘法·····	194
8.3	学习建议 ·····	194
8.3.1	计算应变能需要注意的问题·····	194
8.3.2	功的互等定理及其应用·····	194
8.3.3	应用莫尔积分的解题步骤·····	194
8.3.4	图形互乘法中需要注意的几个问题·····	195
8.3.5	关于单位力·····	195

8.4	例题示范	196
8.4.1	应变能的计算及能量方法的简单应用	196
8.4.2	功的互等定理的应用	200
8.4.3	虚位移原理在确定约束力时的简单应用	201
8.4.4	莫尔积分的应用	203
8.4.5	图形互乘法	204
第9章	动载荷与疲劳强度概述	211
9.1	教学要求与学习目标	211
9.2	理论要点	211
9.2.1	等加速度运动时构件的应力计算方法	211
9.2.2	冲击载荷作用下的应力计算方法	212
9.2.3	交变应力的几个概念	213
9.2.4	疲劳破坏特征、疲劳破坏过程与破坏原因	214
9.2.5	应力-寿命曲线与疲劳极限	217
9.2.6	影响疲劳寿命的因素	217
9.3	学习建议	218
9.3.1	正确进行速度和加速度分析,正确应用达朗贝尔 原理	218
9.3.2	应用机械能守恒定律时需要注意的问题	218
9.3.3	确定动荷因数时要区分不同的动载荷和不同的加载 方式	219
9.3.4	分析疲劳问题时需要注意的问题	219
9.4	例题示范	220
9.4.1	等加速度运动时构件的应力计算	220
9.4.2	旋转杆件的动应力计算	221
9.4.3	冲击载荷与冲击应力计算	223
9.4.4	疲劳问题中应力比的计算	228
第10章	新材料的材料力学概述	231
10.1	教学要求与学习目标	231
10.2	理论要点	231
10.2.1	复合材料的基本知识	231
10.2.2	单层纤维复合材料的弹性模量	232

10.2.3	纤维的增强效应·····	235
10.2.4	聚合物的粘弹性行为·····	236
10.2.5	伪弹性设计方法·····	238
10.3	学习建议·····	239
10.3.1	学会从经典的方法引申出解决现代问题的方法·····	239
10.3.2	单向铺层复合材料的弹性常数及其相互关系·····	240
10.3.3	关于粘弹性模型与本构方程·····	241
10.3.4	需要注意各种粘弹性模型处理问题的范围·····	241
10.4	例题示范·····	241
10.4.1	复合材料弹性模量的计算·····	241
10.4.2	线性粘弹性问题·····	243
10.4.3	伪弹性设计方法的应用·····	244
参考文献 ·····		247

材料力学概述

1.1 教学要求与学习目标

1. 正确理解关于弹性体理想化的几个基本假定：
 - (1) 材料均匀、连续假定；
 - (2) 各向同性假定。
2. 正确理解弹性体受力与变形的特点。
3. 正确理解刚体静力学的基本原理在材料力学中的适应性与限制性。

1.2 理论要点

1.2.1 关于弹性体理想化的基本假定

1. 各向同性与各向异性弹性体

弹性体在所有方向上均具有相同的物理和力学性能,称为各向同性,这类弹性体称为**各向同性弹性体**。

弹性体若在不同方向上具有不同的物理和力学性能,则称为各向异性,这类弹性体称为**各向异性弹性体**。

实际物体属于哪一类弹性体,取决于组成物体的材料。

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,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。

2. 各向同性弹性体的均匀连续性

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,则可以认为

在所考察的物体的全部体积内,材料是均匀、连续分布的。这实际上是一种理想化的情形,称为均匀连续性假定。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。

1.2.2 弹性体的受力与变形特点

由于整体平衡的要求,对于弹性体假想用一截面截开的每一部分也必须是平衡的。因此,作用在每一部分上的外力必须与截面上分布内力相平衡,组成平衡力系。这是弹性体受力、变形的第一个特征。这表明,弹性体由变形引起的内力不能是任意的。

在外力作用下,弹性体的变形应使弹性体各相邻部分,既不能断开,也不能发生重叠的现象,图 1-1 中为从一弹性体中取出的两相邻部分的变形前和三种变形状况,其中图 1-1(a)为变形前的情形;图 1-1(b)和(c)所示的是两种变形不协调的情形,对弹性来说是不正确的;只有图 1-1(d)中所示的变形是协调的,因而是正确的。这表明,弹性体受力后发生的变形也不是任意的,而必须满足协调一致的要求。这是弹性体受力、变形的第二个特征。此外,弹性体受力后发生的变形还与物性有关,这表明,受力与变形之间存在确定的关系,称为物性关系。

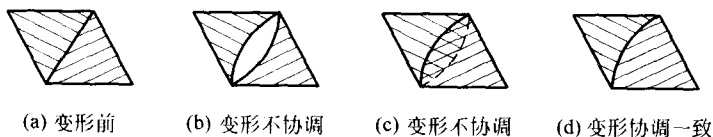


图 1-1 弹性体变形后各相邻部分之间的相互关系

1.2.3 关于刚体静力学模型与材料力学模型

所有工程结构的构件,实际上都是可变形的弹性体,当变形很小时,变形对物体运动效应的影响甚小,因而在研究运动和平衡问题时一般可将变形略去,从而将弹性体抽象为刚体。从这一意义上讲,刚体和弹性体都是工程构件在确定条件下的简化力学模型。

1.2.4 关于刚体静力学概念与原理在材料力学中的可用性与限制性

工程中绝大多数构件受力后所产生的变形相对于构件的尺寸都是很小