

高等学校教材

CAILIAO LIXUE XUEXI ZHIDAO

材料力学学习指导

蒋永莉 梁小燕 王正道 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

第2版

中国矿业大学北京 力学系 力学教研室 力学教研室 力学教研室 力学教研室

材料力学学习指导

主编 王勖 副主编 王勖 王勖 王勖

中国矿业大学北京出版



中国矿业大学北京出版

高等学校教材

材料力学学习指导

蒋永莉 梁小燕 王正道 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
• 北京 •

内 容 简 介

本书是学习材料力学和准备报考硕士研究生读者的参考书,介绍了材料力学学习过程中应掌握和了解的基本概念及主要知识点,需要重点研究的问题及其解析的理论依据、解题思路和方法。全书共14章,包括构件基本变形的强度计算和刚度计算、应力状态与强度理论、能量方法、静不定系统、动载荷、压杆稳定、模拟试卷及解答。各章都包括基本概念及知识要点、重点和难点及解析方法、典型问题解析、自我测试及答案四部分,最后一章是三套模拟试卷。

本书可作为工科各专业的学生、准备报考硕士研究生的读者,以及电大、函授大学、夜大及自学考试等学生学习材料力学的参考书,亦可作为教师的教学参考书。

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

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学学习指导/蒋永莉,梁小燕,王正道编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2006.6

(高等学校教材)

ISBN 7-81082-756-1

I. 材… II. ①蒋… ②梁… ③王… 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(2006)第 041891 号

责任编辑:黎 丹

出 版 者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印 刷 者:北京东光印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:17 字数:378千字

版 次:2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷

书 号:ISBN 7-81082-756-1/TB·10

印 数:1~4 000册 定价:24.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质检组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前言

材料力学是研究构件的强度、刚度和稳定的学科,可以为实际工程提供既安全又经济的设计理论和方法。材料力学是工科各专业的重要专业基础课。本书是配合课堂教学使用的教学参考书,介绍了学生在学习材料力学时应掌握和了解的基本概念及主要知识点、重点和难点及其解析方法,可引导初学者掌握所学材料力学及工程力学中材料力学部分的基本理论,提高分析和解决实际问题的能力。

本书是在校内讲义的基础上编写的,原校内讲义主要是针对我校本科生培养计划和学生认知能力、知识水平及采用多媒体电子讲义讲授的教学特点,大量采用了电子讲义中的典型例题,使学生在高度参与课堂教学的同时,可以拥有系统、详细的课下学习资料,方便复习和自学。本书在此基础上还进行了适当的扩充,为希望了解、提高学习深度和难度的读者、准备参加研究生入学考试的读者,提供了具有一定深度和难度、概念性强、涉及多个知识点综合应用的内容及相关典型问题解析。

本书在编写过程中,借鉴了近年来国内外一些著名的材料力学教材及参考书,各章顺序基本上与当前国内各工科院校广泛选用的教材一致。全书共分14章,包括构件基本变形的强度计算和刚度计算、应力状态与强度理论、能量方法、静不定系统、动载荷、压杆稳定、模拟试卷及解答。本书根据教学基本要求,介绍了各章主要基本概念及知识要点,明确了学习重点和难点及解析基本思路、方法,精选了相关的典型问题进行详细解答和解题指导,每一章最后的自我测试及答案可以帮助学生了解其学习效果,明确概念,纠正错误。本书最后一章的模拟试卷内容摘自于北京交通大学近几年的材料力学、工程力学及硕士研究生入学考试试卷。

本书可作为土木、机械、交通运输、管理、环境、航空航天等工科各专业正在学习材料力学的初学者、准备报考硕士研究生的读者的学习参考书,亦可作为教师的教学参考书。

本书由北京交通大学蒋永莉、梁小燕、王正道共同编写。梁小燕负责第1~7章的编写,蒋永莉负责第8~14章的编写。由蒋永莉和王正道负责全书的统稿。本书编写过程中得到了北京交通大学土建学院、工程力学研究所的大力支持,得到了“北京交通大学教材出版基金”的资助,在此一并致以衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者指正。

编者
2006年3月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 基本概念及知识要点	(1)
1.1.1 基本概念	(1)
1.1.2 知识要点	(1)
1.2 重点与难点及解析方法	(3)
1.3 典型问题解析	(3)
1.4 自我测试	(4)
自我测试答案	(5)
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	(6)
2.1 基本概念及知识要点	(6)
2.1.1 基本概念	(6)
2.1.2 知识要点	(6)
2.2 重点与难点及解析方法	(8)
2.3 典型问题解析	(9)
2.4 自我测试	(22)
自我测试答案	(25)
第 3 章 扭转	(27)
3.1 基本概念及知识要点	(27)
3.1.1 基本概念	(27)
3.1.2 知识要点	(27)
3.2 重点与难点及解析方法	(29)
3.3 典型问题解析	(30)
3.4 自我测试	(44)
自我测试答案	(46)

第4章 平面图形的几何性质	(48)
4.1 基本概念及知识要点	(48)
4.1.1 基本概念	(48)
4.1.2 知识要点	(48)
4.2 重点与难点及解析方法	(49)
4.3 典型问题解析	(50)
4.4 自我测试	(54)
自我测试答案	(56)
第5章 弯曲内力	(57)
5.1 基本概念及知识要点	(57)
5.1.1 基本概念	(57)
5.1.2 知识要点	(57)
5.2 重点与难点及解析方法	(58)
5.3 典型问题解析	(59)
5.4 自我测试	(70)
自我测试答案	(71)
第6章 弯曲应力	(72)
6.1 基本概念及知识要点	(72)
6.1.1 基本概念	(72)
6.1.2 知识要点	(72)
6.2 重点与难点及解析方法	(74)
6.3 典型问题解析	(75)
6.4 自我测试	(87)
自我测试答案	(89)
第7章 弯曲变形	(92)
7.1 基本概念及知识要点	(92)
7.1.1 基本概念	(92)
7.1.2 知识要点	(92)
7.2 重点与难点及解析方法	(94)
7.3 典型问题解析	(95)
7.4 自我测试	(108)
自我测试答案	(110)

第 8 章 应力状态 强度理论	(112)
8.1 基本概念及知识要点	(112)
8.1.1 基本概念	(112)
8.1.2 知识要点	(112)
8.2 重点与难点及解析方法	(114)
8.3 典型问题解析	(115)
8.4 自我测试	(122)
自我测试答案	(127)
第 9 章 组合变形	(129)
9.1 基本概念及知识要点	(129)
9.1.1 基本概念	(129)
9.1.2 知识要点	(129)
9.2 重点与难点及解析方法	(130)
9.3 典型问题解析	(131)
9.4 自我测试	(145)
自我测试答案	(150)
第 10 章 能量方法	(151)
10.1 基本概念及知识要点	(151)
10.1.1 基本概念及基本公式	(151)
10.1.2 知识要点	(151)
10.2 重点与难点及解析方法	(153)
10.3 典型问题解析	(155)
10.4 自我测试	(171)
自我测试答案	(176)
第 11 章 静不定结构	(178)
11.1 基本概念及知识要点	(178)
11.1.1 基本概念	(178)
11.1.2 知识要点	(178)
11.2 重点与难点及解析方法	(179)
11.3 典型问题解析	(180)
11.4 自我测试	(195)

自我测试答案	(198)
第 12 章 动载荷	(200)
12.1 基本概念及知识要点	(200)
12.1.1 基本概念	(200)
12.1.2 知识要点	(200)
12.2 重点与难点及解析方法	(201)
12.3 典型问题解析	(202)
12.4 自我测试	(215)
自我测试答案	(219)
第 13 章 压杆稳定	(221)
13.1 基本概念及知识要点	(221)
13.1.1 基本概念	(221)
13.1.2 知识要点	(221)
13.2 重点与难点及解析方法	(221)
13.3 典型问题解析	(222)
13.4 自我测试	(238)
自我测试答案	(242)
第 14 章 模拟试卷	(245)
模拟试卷 (一)	(245)
模拟试卷 (二)	(248)
模拟试卷 (三)	(251)
模拟试卷 (一) 参考答案	(253)
模拟试卷 (二) 参考答案	(255)
模拟试卷 (三) 参考答案	(259)
参考文献	(261)

第 1 章

绪 论

1.1 基本概念及知识要点

1.1.1 基本概念

强度、刚度、稳定性、外力、内力、应力、应变。

1.1.2 知识要点

1. 材料力学的任务

材料力学的任务是：为构件提供强度、刚度、稳定性的计算理论和方法，从而选用适宜的材料，选择合理的截面尺寸，确定许用载荷，达到既安全又经济的目的。

2. 构件承载能力的三项基本要求

- (1) **强度**。在外载作用下，构件应有足够抵抗破坏的能力。
- (2) **刚度**。在外载作用下，构件应有足够抵抗变形的能力。
- (3) **稳定性**。受压构件保持其原有平衡形态的能力。

3. 变形固体的基本假定

为使性质复杂的变形容易研究，对工程材料作简化假设，包括：连续性假设、均匀性假设、各向同性假设。

4. 外力

物体受到其他物体作用的力，包括外载荷和约束反力。按其作用性质，可以分为静

载荷和动载荷;按其作用方式,可以分为体积力和表面力。

5. 内力及应力

(1) 物体因外力作用而变形,物体内部各部分之间的相互作用力称为内力。应用截面法求内力。截面法的主要步骤如下:

第一步,在所求内力处用一假想截面将构件分为两部分,任取一部分作为研究对象;

第二步,用内力表示另一部分对所分析部分的作用力。

第三步,整体平衡,局部也平衡,利用平衡方程求解未知内力。

(2) 应力是指一点处内力的分布集度,其计算方法如下。

设微面积 ΔA 上内力为 ΔF , 其法向分量为 ΔF_N , 切向分量为 ΔF_S , 则

$$\text{正应力}(\sigma) = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_N}{\Delta A} = \frac{dF_N}{dA}$$

$$\text{切应力}(\tau) = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_S}{\Delta A} = \frac{dF_S}{dA}$$

应力的单位 $\text{N/m}^2(\text{Pa})$ 或 $\text{MN/m}^2(\text{MPa})$

6. 应变

设物体内 M 点 x 轴方向线段 MN 长 Δx , 变形后 $M'N'$ 长 $\Delta x + \Delta u$, 则定义该点处沿 x 轴方向的线应变为

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

设物体内 M 点处 MN 和 ML 夹角为 90° , 变形后 M 点在 xOy 平面内角应变或切应变定义为

$$\gamma = \lim_{\substack{MN \rightarrow 0 \\ ML \rightarrow 0}} \left(\frac{\pi}{2} - \angle L'M'N' \right)$$

如图 1-1 所示, 故常称为直角改变量。

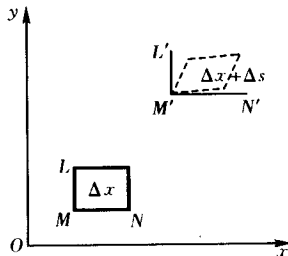


图 1-1

7. 杆件变形的形式

(1) 拉伸或压缩。外力合力的作用线与杆件轴线重合, 变形表现为沿轴线方向的伸长或缩短。

(2) 剪切。构件受间距非常近的一对横向力作用, 变形表现为两力之间的截面发生相互错动。

(3) 扭转。外力偶作用于端面, 变形表现为横截面绕轴线转动。

(4) 弯曲。外力为垂直于杆件轴线的横向力或横向力偶, 变形表现为轴线由直线变为平面曲线。

1.2 重点与难点及解析方法

(1) 材料力学研究的主要问题是构件的强度、刚度和稳定性。

(2) 对材料所作的基本假设是: 均匀性假设、连续性假设及各向同性假设。

(3) 内力与应力。内力是指在外力作用下, 物体内部各部分之间的相互作用力。内力与构件的强度、刚度密切相关; 用截面法确定内力, 它是材料力学的一种基本方法, 一定要重点掌握。而应力是内力的分布集度, 在平衡分析时应力不能直接代入平衡方程, 需用应力乘以作用面积后才能代入。

(4) 位移与应变。材料力学研究的是构件由于变形而引起的位移, 而应变反映一点的变形情况, 线应变和切应变是度量一点处变形程度的两个基本量。

1.3 典型问题解析

【例题 1.1】 一等截面直杆, 如图 1-2 所示, 关于其轴线在变形后的位置(图中虚线所示)有 4 种答案。根据构件受力和变形的特点, 试分析哪一种合理的?

解 根据构件受力和变形的特点, (C)图是合理的。

受力分析如图 1-3 所示, 点 A 处约束反力为向下的 F_P , 点 B 处约束反力为向上的力 $2F_P$, 在这两个力及点 C 处的外加载荷 F_P 的作用下, 杆件将发生上凸下凹的变形, 而又因为是弹性的, 所以变形应该是光滑连续的曲线。答案(A)和(B)中的杆件在 AB 段都没有变形, 当然是错误的; 答案(D)中 AB 段的变形与受力不一致, 也是错误的。答案(C)中梁的变形与受力状况一致, 而且是一条光滑连续的曲线, 符合变形协调一致的要求, 所以这一答案是正确的。

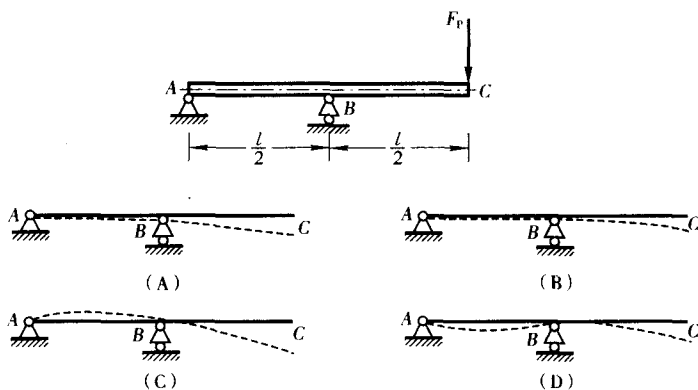


图 1-2

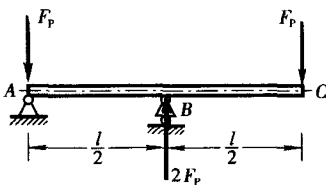


图 1-3

1.4 自我测试

- 各向同性假设认为, 材料内部各点的 () 是相同的。
(A) 力学性质 (B) 外力 (C) 变形 (D) 位移
正确答案是_____。
- 根据小变形条件, 可以认为 ()。
(A) 构件变形 (B) 构件不变形
(C) 构件仅发生弹性变形 (D) 构件的变形远小于其原始尺寸
正确答案是_____。
- 在一截面的任意点处, 正应力 σ 与切应力 τ 的夹角 ()。
(A) $\alpha=90^\circ$ (B) $\alpha=45^\circ$ (C) $\alpha=0^\circ$ (D) α 为任意角
正确答案是_____。
- 根据材料的主要性能作如下 3 个基本假设: _____、_____、_____。
- 材料在使用过程中提出 3 个方面的性能要求, 即 _____、_____、_____。

6. 构件的强度、刚度和稳定性 ()。

- (A) 只与材料的力学性质有关 (B) 只与构件的形状尺寸有关
(C) 与二者都有关 (D) 与二者都无关

正确答案是_____。

7. 用截面法求一水平杆某截面的内力时, 是对 () 建立平衡方程求解的。

- (A) 该截面左段 (B) 该截面右段
(C) 该截面左段或右段 (D) 整个杆

正确答案是_____。

8. 如图 1-4 所示, 设虚线表示单元体变形后的形状, 则该单元体的剪应变为 ()。

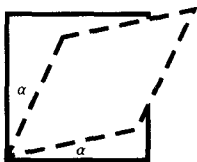


图 1-4

- (A) α (B) $\frac{\pi}{2} - \alpha$ (C) 2α (D) $\frac{\pi}{2} - 2\alpha$

正确答案是_____。

自我测试答案

1. (A)
2. (D)
3. (A)
4. 均匀性假设、连续性假设及各向同性假设
5. 强度、刚度和稳定性
6. (C)
7. (C)
8. (C)

第 2 章

拉伸、压缩与剪切

2.1 基本概念及知识要点

2.1.1 基本概念

轴力、拉（压）应力、力学性能、强度失效、拉压变形、胡克定律、应变、变形能、静不定问题、剪切、挤压。

以上概念是进行轴向拉压及剪切变形分析的基础，应准确掌握和理解这些基本概念。

2.1.2 知识要点

1. 轴向拉压的内力、应力及变形

(1) 横截面上的内力。由截面法求得横截面上内力的合力沿杆的轴线方向，故定义为轴力 F_N 。符号规定：拉力为正，压力为负。工程上常以轴力图表示杆件轴力沿杆长的变化。

(2) 轴力在横截面上均匀分布，引起了正应力，其值为

$$\sigma = \frac{F_N}{A}$$

正应力的符号规定：拉应力为正，压应力为负。常用的单位为 MPa、Pa。

(3) **强度条件。**强度计算是材料力学研究的主要问题之一。轴向拉压时, 构件的强度条件是

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \leq [\sigma]$$

可解决3个方面的工程问题, 即强度校核、设计截面尺寸及确定许用载荷。

(4) **胡克定律。**线弹性范围内, 杆的变形量与杆截面上的轴力 F_N 、杆的长度 l 成正比, 与截面面积 A 成反比; 或描述为线弹性范围内, 应力与应变成正比, 即

$$\Delta l = \frac{F_N l}{EA}, \quad \sigma = E\epsilon$$

式中, E 称为材料的弹性模量, EA 称为抗拉压刚度。

胡克定律揭示了在比例极限内应力和应变成正比, 这是材料力学最基本的定律之一, 一定要熟练掌握。

2. 材料在拉压时的力学性能

材料力学性能的研究是解决强度和刚度问题的一个重要方面。材料力学性能的研究一般是通过实验方法实现的, 其中拉压实验是最主要、最基本的一种实验, 由它所测定的材料性能指标有:

E ——材料抵抗弹性变形能力的指标;

σ_s, σ_b ——材料的强度指标;

δ, ψ ——材料的塑性指标。

低碳钢的拉伸实验是一个典型的实验。详见教材, 应理解本部分知识。

3. 简单拉压静不定问题

(1) 未知力的个数超过静力平衡方程个数的问题称为静不定问题, 其中未知力可以是结构的约束反力或构件的内力。

(2) 解决静不定问题, 除列出静力平衡方程外, 还需列出一定数量的补充方程。这些补充方程可由结构各部分变形之间的几何关系及变形和力之间的物理关系得到, 将补充方程和静力平衡方程联立求解, 即可得出全部未知力。

(3) 静不定结构还有一个特性, 即由于杆件在制造中的误差, 将引起装配应力; 由于温度变化会引起温度应力。

4. 应力集中的概念

实际工程中, 由于结构上和使用上的需要, 有些零件必须有切口、切槽和螺纹等。在构件尺寸的突变处, 发生局部应力急剧增加的现象, 称为应力集中现象。

5. 剪切和挤压的实用计算

(1) 工程中经常使用连接件, 如铆钉、销钉、键或螺栓等。连接件一般受剪切作用, 并伴随有挤压作用, 因而连接件应同时满足剪切强度和挤压强度。有时还要考虑被

连接部分的拉伸强度问题。

(2) 两作用外力之间发生相互错动的面称为剪切面。剪切面上的切应力为

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

其中, F_s 为剪力, A 为剪切面的面积, 即假设切应力在剪切面上均匀分布。

剪切强度条件为

$$\tau = \frac{F_s}{A} \leq [\tau]$$

(3) 产生相互挤压的表面称为挤压面。挤压面上的挤压应力为

$$\sigma_{bs} = \frac{F}{A_{bs}}$$

式中, F 为挤压力, A_{bs} 为挤压面积, 即假设挤压应力在挤压面上均匀分布。

挤压强度条件为

$$\sigma_{bs} = \frac{F}{A_{bs}} \leq [\sigma_{bs}]$$

2.2 重点与难点及解析方法

1. 轴向拉压的应力、强度计算及变形计算

强度计算是本章的重点内容, 它能够解决三类工程问题; 而胡克定律是联系力与变形的基本定律, 应重点掌握。

解析方法:

(1) 对等截面直杆, 横截面上的正应力最大, 强度计算时必须明确在哪个截面进行强度计算; 而纵向截面上的应力等于零。

(2) 应用胡克定律计算变形时, 内力应以代数值代入。求解结构上节点的位移时, 设想交于该节点的各杆沿各自的轴线自由伸缩, 从变形后各杆的终点作各杆轴线的垂线, 这些垂线的交点即为节点新的位置。

2. 简单拉压静不定问题

解静不定问题的关键是列出正确的变形几何关系。在列变形几何关系时, 注意假设