



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIG AODENGYU ANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

配孙训方等编写材料力学 I、II(第四版)

材料力学

全程导学及习题全解

主编 李志萍

- ◆知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆习题详解 精确解答教材习题
- ◆提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House



21 世纪高
ERSHUYISHUJIGAO

TB301/8=2C2

2007

同步辅导
TONGBUFUDAO

配孙训方等编写材料力学 I、II(第四版)

材料力学

全程导学及习题全解

主编 李志萍

- ◆ 知识归纳 梳理主线重点难点
- ◆ 习题详解 精确解答教材习题
- ◆ 提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House

图书在版编目(CIP)数据

材料力学(I)(II)全程导学及习题全解 / 李志萍主编.

—北京: 中国时代经济出版社, 2007.9

(21 世纪高等院校经典教材同步辅导)

ISBN 978-7-80221-114-8

I. 材... II. 李... 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(2007)第 104007 号

材料力学(I)(II)全程导学及习题全解

李志萍 主编

出版者	中国时代经济出版社
地 址	北京东城区东四十条 24 号 青蓝大厦 11 层东办公区
邮 编	100007
电 话	(010)68320825 (发行部) (010)88361317 (邮购)
传 真	(010)68320634
发 行	各地新华书店
印 刷	北京地质印刷厂
开 本	880 × 1230 1/32
版 次	2007 年 9 月第 1 版
印 次	2007 年 9 月第 1 次印刷
印 张	15.375
字 数	320 千字
印 数	1~5000 册
定 价	19.00 元
书 号	ISBN 978-7-80221-114-8

版权所有 侵权必究

前 言

本书是孙训方等主编的普通高等教育“十五”国家级规划教材《材料力学(I)》、《材料力学(II)》(第四版)的配套辅导用书。各章均由知识要点概述,典型例题分析与讲解和习题全解三部分内容组成。知识要点概述部分是对本章知识的归纳和总结,有助于读者对重点知识巩固与理解;典型例题分析与讲解部分,作者精选了一些具有一定代表性的典型例题并进行讲解;习题全解部分是对配套教材课后的全部习题所做的详细解答。本书可以作为工科类专业大学本科、专科、专升本学生的学习辅导用书,也可以作为相关专业硕士研究生入学考试的复习资料。

本书由李志萍主编,各章节内容分别由以下同志编写:材料力学(I)中,第一,二,七章由王永跃编写;第三,四章及附录I由李志萍编写;第五,六章由王瑞凤编写;第八,九章由王跃龙编写。材料力学(II)中,第一,三章由胡耀国编写;第二,四,五章由王文艳编写;第六,七章由邢冰冰编写。

王永跃教授对书稿进行了审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此致以诚挚的感谢!

同时对《材料力学(I)》、《材料力学(II)》教材的作者,孙训方、方孝淑、关来泰、胡增强等教师表示衷心的感谢!由于编写时间仓促,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2007年7月

目 录

第一部分 材料力学(I)

第一章 绪论及基本概念	2
本章知识要点概述	2
第二章 轴向拉伸和压缩	4
本章知识要点概述	4
典型例题分析与讲解	8
习题全解	10
第三章 扭 转	35
本章知识要点概述	35
典型例题分析与讲解	38
习题全解	40
第四章 弯曲应力	59
本章知识要点概述	59
典型例题分析与讲解	63
习题全解	68
第五章 梁弯曲时的位移	151
本章知识要点概述	151
典型例题分析与讲解	152
习题全解	154
第六章 简单的超静定问题	192
本章知识要点概述	192
典型例题分析与讲解	192
习题全解	195

第七章 应力状态和强度理论	219
本章知识要点概述	219
典型例题分析与讲解	223
习题全解	225
第八章 组合变形及连接部分的计算	254
本章知识要点概述	254
典型例题分析与讲解	258
习题全解	262
第九章 压杆稳定	296
本章知识要点概述	296
典型例题分析与讲解	298
习题全解	299
附录 I 截面的几何性质	315
本章知识要点概述	315
典型例题分析与讲解	318
习题全解	320

第二部分 材料力学(II)

第一章 弯曲问题的进一步研究	337
本章知识要点概述	337
典型例题分析与讲解	338
习题全解	341
第二章 考虑材料塑性的极限分析	354
本章知识要点概述	354
典型例题分析与讲解	354
习题全解	355
第三章 能量法	363
本章知识要点概述	363

典型例题分析与讲解	365
习题全解	368
第四章 压杆稳定问题的进一步研究	439
本章知识要点概述	439
典型例题分析与讲解	440
习题全解	441
第五章 应变分析·电阻应变计法基础	451
本章知识要点概述	451
典型例题分析与讲解	453
习题全解	453
第六章 动荷载·交变应力	463
本章知识要点概述	463
典型例题分析与讲解	465
习题全解	467
第七章 材料力学性能的进一步研究	481
本章知识要点概述	481
习题全解	482



第



部分

材料力学(I)

第一章 绪论及基本概念

本章知识要点概述

一、材料力学的任务

为了保证整个结构或机械的正常工作,构件必须具有足够的强度、刚度且满足稳定性要求。材料力学的任务是在满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,尽可能合理的选择材料、确定截面的形状和尺寸,为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

二、变形固体的基本假设

1. 连续性假设:认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的整个几何空间。
2. 均匀性假设:认为固体内各点处的力学性质是相同的。
3. 各向同性假设:认为材料沿不同方向具有相同的力学性质。
4. 小变形假设:变形与本身的尺寸相比很小。

材料力学的研究对象是连续、均匀、各向同性的变形固体,且大多数情况下是在弹性范围内的小变形问题。

三、构件变形的基本形式及其受力和变形特点

1. 轴向拉伸或压缩

在一对作用线与直杆轴线重合且大小相等的外力作用下,直杆的主要变形是长度的改变[图 1-1(a),(b)]。

2. 剪切

在一对相距很近的大小相等、方向相反的横向外力作用下,杆件的横截面将沿外力方向发生错动[图 1-1(c)]。

3. 扭转

在一对大小相等、方向相反、位于垂直杆轴线的两平面内的力偶作用下,杆的任意两横截面将发生相对转动[图 1-1(d)]。

4. 弯曲

在一对大小相等、方向相反、位于杆的纵向平面内的力偶作用下，杆件将在纵向平面内发生弯曲变形[图 1-1(e)]。

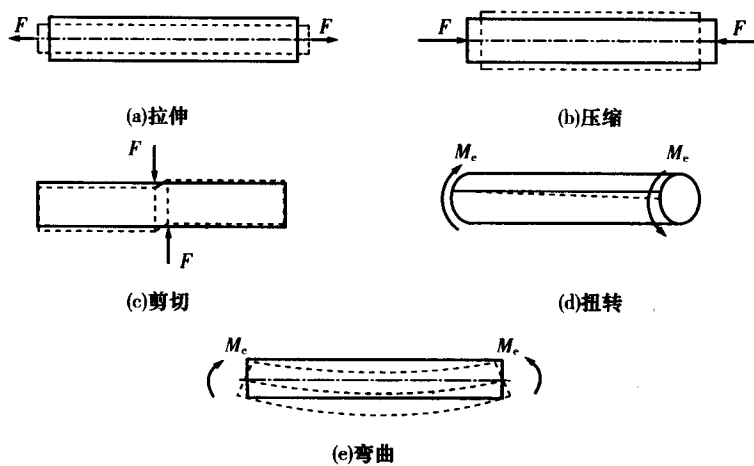


图 1-1

第二章 轴向拉伸和压缩

本章知识要点概述

一、轴向拉伸和压缩的概念

在一对作用线与直杆轴线重合且大小相等的外力作用下,直杆在轴线方向发生拉伸(或压缩)变形,与轴线垂直方向发生缩短(或伸长)变形[图 1-1(a),(b)]。

二、内力·截面法·轴力及轴力图

内力:在外力作用下,构件内部各质点间的相对距离发生改变而引起的附加相互作用力,称为“附加内力”,简称内力。如图 2-1 所示,用截面法求内力的步骤为:

- (1)在需要求内力的截面处,将杆件截成两部分;
- (2)取某一部分为脱离体,用内力代替另一部分对其的作用;
- (3)建立脱离体的平衡条件,并求该截面的内力。

轴力:轴向拉压时,杆件横截面上内力的合力的作用线与杆件轴线重合,称为轴力,用 F_N 表示。规定当杆件轴向伸长时轴力为正,称为拉力;当杆件轴向缩短时轴力为负,称为压力。作轴力图的步骤为:以杆的端点为坐标原点,取平行杆轴线的坐标轴为 x 轴,称为基线,其值代表截面位置,取 F_N 轴为纵坐标轴,其值代表对应截面的轴力值。正值绘在基线上方,负值绘在基线下方。

三、应力·拉(压)杆内的应力

1. 应力的概念

应力是截面上一点处分布内力的集度。

总应力确切地反映了 K 点内力分布的强弱程度,也是一个矢量。

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-1)$$

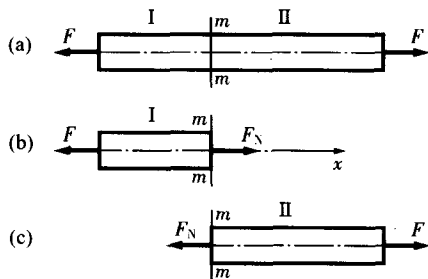


图 2-1

正应力为总应力垂直于截面的应力分量

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_N}{\Delta A} \quad (2-2)$$

切应力为总应力相切于截面的应力分量

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_S}{\Delta A} \quad (2-3)$$

2. 拉(压)杆横截面上的应力

根据平面假设,杆件的任一横截面变形后仍保持为平面且仍垂直于杆的轴线。横截面上各点处的正应力都相等。而轴力为分布内力的合力,所以有

$$F_N = \int_A \sigma dA = \sigma \int_A dA = \sigma A$$

于是得到拉(压)杆横截面上的正应力的计算公式

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \quad (2-4)$$

3. 拉(压)杆斜截面上的应力

斜截面上的总应力为

$$p_\alpha = \frac{F_\alpha}{A_\alpha} = \frac{F}{A} \cos \alpha = \sigma \cos \alpha \quad (2-5)$$

总应力可以分解为沿截面法线方向的正应力 σ_α 和沿截面切线方向的切应力 τ_α (图 2-2), 它们分别为

$$\sigma_\alpha = p_\alpha \cos \alpha = \sigma \cos^2 \alpha \quad (2-6)$$

$$\tau_\alpha = p_\alpha \sin \alpha = \frac{1}{2} \sigma \sin 2\alpha \quad (2-7)$$

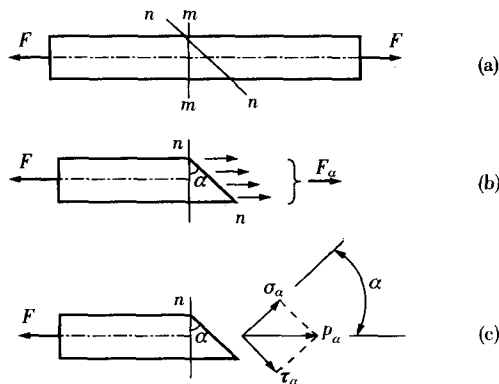


图 2-2

四、拉(压)杆的变形·胡克定律

图 2-3 为轴向拉杆,杆件的纵向伸长和横向缩短分别为

$$\Delta l = l_1 - l$$

$$\Delta d = d_1 - d$$

线应变指单位长度的伸长或缩短,用 ϵ 表示。

拉(压)杆的纵向线应变和横向线应变分别为

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2-8)$$

$$\epsilon' = \frac{\Delta d}{d} \quad (2-9)$$

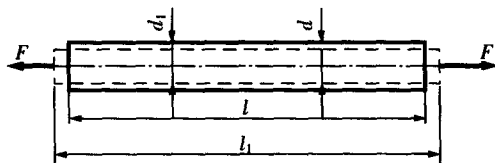


图 2-3

胡克定律为

$$\Delta l = \frac{F_N l}{EA} \text{ 或 } \epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2-10)$$

其适用于材料在线弹性变形范围内,其中 E 称为弹性模量, EA 称为杆的抗拉(压)刚度。横向线应变与纵向线应变之间保持一定的比例关系

$$\epsilon' = -\nu \epsilon \quad (2-11)$$

其中 ν 称为泊松比。

五、拉(压)杆内的应变能

应变能是随着弹性变形而改变的能量。对于轴向拉伸的杆件,有

$$V_\epsilon = \frac{F_N^2 l}{2EA} \quad (2-12)$$

应变能密度即单位体积的应变能为

$$v_\epsilon = \frac{E\epsilon^2}{2} \quad (2-13)$$

六、材料在拉伸和压缩时的力学性能

1. 低碳钢拉伸时的力学性能

低碳钢的变形分为四个阶段(图 2-4):

弹性阶段:卸除荷载后可以恢复原长,应力与应变成正比的最高的应力为材料的比例极限 σ_p ,弹性阶段的最高的应力值为材料的弹性极限 σ_e 。

屈服阶段:超过弹性极限以后,应力变化不大,应变急剧地增加的阶段,该阶段的最低应力值为材料的屈服极限 σ_s 。

强化阶段:应力经过屈服阶段后,由于材料在塑性变形过程中不断发生强化,使试件主要产生塑性变形,应力达到最大值,称为其强度极限 σ_b 。

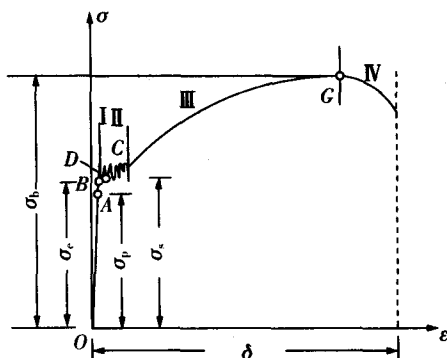


图 2-4

局部变形阶段:当应力达到强度极限后,试件某一段内的横截面面积显著地收缩,出现“颈缩”现象,最后导致试件在颈缩处断裂。

伸长率是衡量材料塑性的一个重要指标,

$$\delta = \frac{\Delta l_1}{l} \times 100\% \quad (2-14)$$

断面收缩率是衡量塑性性质好坏的另一个重要指标,

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% \quad (2-15)$$

式中, A_1 表示试样在拉断后断口处的最小横截面面积。

2. 低碳钢压缩时的力学性能

低碳钢在压缩时,其弹性模量、弹性极限及屈服极限等值与拉伸时基本相同,但过了屈服阶段后,由于试件的横截面面积越压越大,试件不可能产生断裂,所以低碳钢试件的压缩强度极限无法测定。

七、强度条件·安全因数·许用应力

材料在拉伸(压缩)时的许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n} \quad (2-16)$$

其中, σ_u 为材料的极限应力, n 为安全系数。

对于塑性材料有

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} \quad (2-17)$$

对于脆性材料有

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b} \quad (2-18)$$

式中, σ_s 为塑性材料的屈服极限, σ_b 为脆性材料的强度极限, n_s 和 n_b 分别为塑性材料和脆性材料的安全因数。

为了确保拉(压)杆件不致因强度不足而破坏,其强度条件为

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{N, \max}}{A} \leq [\sigma] \quad (2-19)$$

强度条件可以解决下列三种强度计算问题:

(1) 强度校核 已知荷载、杆件尺寸及材料的许用应力, 根据式(2-19)检验杆件能否满足强度条件。

(2) 截面选择 已知荷载及材料的许用应力, 按强度条件选择杆件的横截面积或尺寸, 即确定杆件所需的最小横截面积。将式(2-19)改写为

$$A \geq \frac{F_{N, \max}}{[\sigma]} \quad (2-20)$$

(3) 确定许用荷载 已知杆件的横截面积及材料的许用应力, 确定许用荷载。先由式(2-19)确定最大轴力, 即

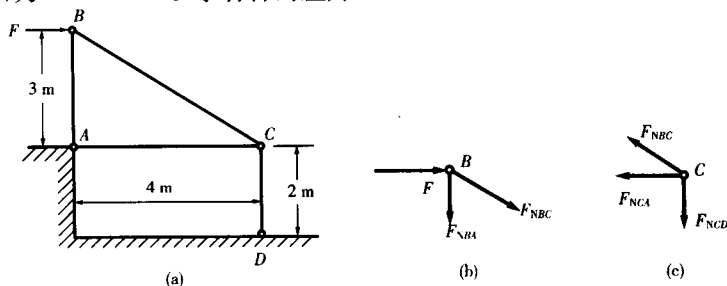
$$F_{N, \max} \leq [\sigma]A \quad (2-21)$$

八、应力集中

应力集中是由杆件截面骤然变化(或几何外形局部不规则)而引起的局部应力骤增现象。

典型例题分析与讲解

例 2-1 在图(a)结构中, 所有各杆都是钢制的, 横截面积均等于 $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 力 $F = 100 \text{ kN}$ 。求各杆的应力。



例题 2-1 图

【解】(1)以节点 B 为脱离体[图(b)],由节点 B 的平衡方程

$$\sum F_x = 0, F + F_{NBC} \times \frac{4}{5} = 0$$

$$\sum F_y = 0, -F_{NBA} - F_{NBC} \times \frac{3}{5} = 0$$

得

$$F_{NBC} = -125 \text{ kN (压)}, F_{NBA} = 75 \text{ kN (拉)}。$$

(2)以节点 C 为脱离体[图(c)],由节点 C 的平衡方程

$$\sum F_x = 0, -F_{NCA} - F_{NBC} \times \frac{4}{5} = 0$$

$$\sum F_y = 0, F_{NBC} \times \frac{3}{5} - F_{NCD} = 0$$

得

$$F_{NCA} = 100 \text{ kN (拉)}, F_{NCD} = -75 \text{ kN (压)}。$$

(3)各杆的应力

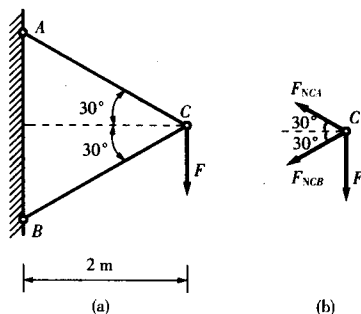
$$BC \text{ 杆: } \sigma_{BC} = \frac{F_{NBC}}{A} = \frac{-125 \times 10^3}{3 \times 10^{-3}} = -41.7 \text{ MPa}$$

$$BA \text{ 杆: } \sigma_{BA} = \frac{F_{NBA}}{A} = \frac{75 \times 10^3}{3 \times 10^{-3}} = 25 \text{ MPa}$$

$$CA \text{ 杆: } \sigma_{CA} = \frac{F_{NCA}}{A} = \frac{100 \times 10^3}{3 \times 10^{-3}} = 33.3 \text{ MPa}$$

$$CD \text{ 杆: } \sigma_{CD} = \frac{F_{NCD}}{A} = \frac{-75 \times 10^3}{3 \times 10^{-3}} = -25 \text{ MPa}。$$

例 2-2 图(a)中三角架 ABC 由 AC 和 BC 二杆组成。杆 AC 由两根 No. 12.6 的槽钢组成,许用应力 $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$;杆 BC 为一根 No. 22a 的工字钢,许用应力 $[\sigma] = 100 \text{ MPa}$ 。求荷载 F 的许可值 $[F]$ 。



例题 2-2 图

【解】(1)取节点 C 为脱离体[图(b)],由节点 C 的平衡方程

$$\sum F_x = 0, -F_{NCA} \cos 30^\circ - F_{NCB} \cos 30^\circ = 0$$

$$\sum F_y = 0, F_{NCA} \sin 30^\circ - F_{NCB} \sin 30^\circ - F = 0$$

得

$$F_{NCA} = F(\text{拉}), F_{NCB} = -F(\text{压}).$$

(2)分别由强度条件求两杆的许用轴力

对于 AC 杆,许用轴力为

$$\begin{aligned} [F_{NCA}] &= [\sigma]_{AC} A_{AC} = 160 \times 10^6 \times 15.69 \times 10^{-4} \times 2 \\ &= 502.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

对于 BC 杆,轴力为压力,取绝对值,则许用轴力为

$$[F_{NCB}] = [\sigma]_{BC} A_{BC} = 100 \times 10^6 \times 42 \times 10^{-4} = 420 \text{ kN}.$$

(3)确定许用荷载

由 AC 杆的许用轴力得

$$[F]_1 = [F_{NCA}] = 502.4 \text{ kN}$$

由 BC 杆的许用轴力得

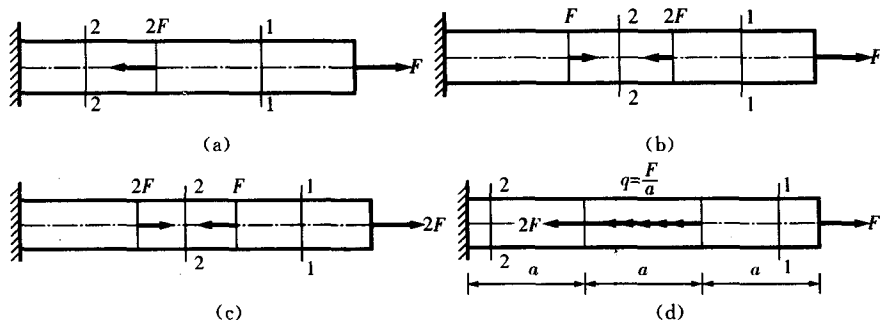
$$[F]_2 = [F_{NCB}] = 420 \text{ kN}$$

因此,结构中荷载 F 的许用值为

$$[F] = 420 \text{ kN}.$$

习题全解

2-1 试求图示各杆 1-1 和 2-2 横截面上的轴力,并作轴力图。



习题 2-1 图

【解】(a)首先对杆件进行受力分析,求出支反力 F_R 。由整个杆的平衡方程

$$\sum F_x = 0, -F_R - 2F + F = 0$$