

配合主教材孙训方等编《材料力学》(第四版)(I, II)

材料力学学习指导

胡增强 编



高等教育出版社

配合主教材孙训方等编《材料力学》(第四版)(I,II)

材料力学学习指导

胡增强 编

高等教育出版社

860010

内容提要

本书是与孙训方等编《材料力学(I)、(II)》(第四版) (“十五”国家级规划教材, 2002年8月出版) 相配套的学习辅助书。本书旨在帮助使用者更好的理解和使用该套主教材, 从而更深入的理解材料力学的基本概念、基本理论和基本方法, 掌握材料力学的解题思路及其工程应用, 并在此基础上进一步扩展与延伸知识面。

本书按主教材《材料力学(I)》(第四版)的各章及《材料力学(II)》(第四版)中除“压杆稳定问题的进一步研究”和“材料力学性能的进一步研究”两章外的其余各章的章节编排, 每一章均包括“内容提要”、“学习指南”、“习题解析”三部分。

本书可作为学习材料力学的学生参考, 也可作为报考研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学学习指导/胡增强编. —北京: 高等教育出版社, 2003.9

ISBN 7-04-012882-9

I. 材... II. 胡... 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(2003)第 044865 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	河北新华印刷一厂		
开 本	787×960 1/16		
印 张	19.75	版 次	2003 年 9 月第 1 版
字 数	370 000	印 次	2003 年 9 月第 1 次印刷
插 页	1	定 价	25.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序 言

本书是与“十五”国家级规划教材:孙训方、方孝淑、关来泰编,孙训方、胡增强修订《材料力学(I)、(II)》(第四版)相配套的教学辅助书。编写本书的目的是:对于以主教材《材料力学(I)、(II)》第四版为教材的学生,能更好地理解和使用主教材,从而更深入地理解材料力学的基本概念、基本理论和基本方法,掌握材料力学的解题思路及其工程应用。同时,希望有助于引导学生在所学基础理论的基础上,扩展、延伸知识面,并激发学生自主学习的积极性,从而培养学生的分析、综合和创新能力。

本书不仅在章节编排及名词术语等方面与主教材保持一致,而且在内容取舍、表述及习题选取上与主教材紧密配合。本书分为两篇。第一篇各章与主教材《材料力学(I)》(第四版)各章相配合;第二篇除“压杆稳定问题的进一步研究”和“材料力学性能的进一步研究”两章外,其余各章与主教材《材料力学(II)》(第四版)有关各章配合。本书的每一章均包括“内容提要”、“学习指南”和“习题解析”三部分,其中:

“内容提要”以提纲挈领的形式,列出该章的基本概念和主要公式,以及相关的物理意义和注意事项。这一部分既是对该章内容的归结,也是对该章主要概念和公式的强调。希望有益于初学者的阶段性复习与巩固。

“学习指南”除了明确地提出了学习相关章节的基本要求之外,还包含有指导学习的方法、内容的内在联系,以及在教材中难以细述的内容(如两套应力分量正、负号规定的由来及其意义),或者拓展知识面的内容(如对称、反对称性的利用),以期有助于学生的学习和深化。

“习题解析”在主教材中例题、习题的基础上,选择一些概念性较强、具有一定启发思考性与扩展性的习题,作为主教材的补充和拓展。对于一些套用公式基本题及与主教材例题相同类型的题目,一般均不予选用;对于主教材中少量较难的习题,则选取相似的习题,或给出简要的分析求解思路。每道习题均予以解答,在解答中着重于解题思路和分析讨论,而简化数字运算过程。希望通过这些习题,能够藉以扩展视野、深化理解、提高求解与工程应用的能力,并对绝大多数学生以及有志于报考研究生的学生均有所裨益。

本书承北京航空航天大学单辉祖教授对书稿进行了审阅,并提出了很多宝

贵意见,为提高本书的质量作出了贡献,谨此致谢。限于编者水平,书中不妥之处恐难完全避免,敬希读者及同行专家批评、指正。

编 者

2003年1月

目 录

第一篇 [配合《材料力学(I)》(第四版)]

第一章	绪论及基本概念	(3)
	内容提要	(3)
	学习指南	(4)
	习题解析	(5)
第二章	轴向拉伸和压缩	(9)
	内容提要	(9)
	学习指南	(17)
	习题解析	(18)
第三章	扭转	(31)
	内容提要	(31)
	学习指南	(38)
	习题解析	(39)
第四章	弯曲应力	(49)
	内容提要	(49)
	学习指南	(57)
	习题解析	(58)
第五章	梁弯曲时的位移	(82)
	内容提要	(82)
	学习指南	(86)
	习题解析	(88)
第六章	简单的超静定问题	(107)
	内容提要	(107)
	学习指南	(108)
	习题解析	(110)
第七章	应力状态和强度理论	(131)
	内容提要	(131)
	学习指南	(140)
	习题解析	(141)
第八章	组合变形及连接部分的计算	(159)

内容提要	(159)
学习指南	(165)
习题解析	(165)
第九章 压杆稳定	(183)
内容提要	(183)
学习指南	(187)
习题解析	(188)
附录 I 截面的几何性质	(203)
内容提要	(203)
学习指南	(207)
习题解析	(208)
 第二篇 [配合《材料力学(II)》(第四版)] 	
第一章 弯曲问题的进一步研究	(219)
内容提要	(219)
学习指南	(223)
习题解析	(224)
第二章 考虑材料塑性的极限分析	(234)
内容提要	(234)
学习指南	(236)
习题解析	(236)
第三章 能量法	(247)
内容提要	(247)
学习指南	(251)
习题解析	(252)
第四章 应变分析·电阻应变计法基础(主教材第五章)	(275)
内容提要	(275)
学习指南	(278)
习题解析	(279)
第五章 动荷载·交变应力(主教材第六章)	(288)
内容提要	(288)
学习指南	(291)
习题解析	(292)
材料力学课程内容的回顾	(305)
主要参考书目	(307)

第一篇

**[配合《材料力学(I)》
(第四版)]**

第一章 绪论及基本概念

内 容 提 要

一、保证构件正常工作应满足的要求

强度 在荷载作用下,构件应不发生破坏(断裂或塑性屈服)。

刚度 在荷载作用下,构件所产生的变形应不超过工程允许的范围。

稳定性 在荷载作用下,构件在其原有形态下的平衡应保持为稳定的平衡。

二、可变形固体的基本假设

连续性假设 认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质。

均匀性假设 认为从物体任一点处取出的体积单元,其力学性能完全相同。

材料性能假设

各向同性假设 认为材料沿各个方向的力学性能完全相同。

各向异性假设 材料沿不同方向的力学性能各不相同。

在材料力学中,主要讨论各向同性材料在微小变形下的问题。

三、杆件变形的的基本形式

轴向拉伸或压缩 在一对作用线与直杆轴线重合的外力作用下,直杆的主要变形为长度改变,如图 1-1a, b。

剪切 在一对相距很近的大小相等、指向相反的横向外力作用下,直杆的主要变形为横截面沿外力作用方向发生相对错动,如图 1-1c 所示。

扭转 在一对转向相反、作用面垂直于杆轴线的外力偶作用下,直杆的相邻横截面将绕轴线发生相对转动,如图 1-1d。

纯弯曲 在一对转向相反、作用面在包含杆轴线在内的纵向平面内的外力偶作用下,直杆的相邻横截面将绕垂直于纵向平面的某一横向轴发生相对转动,其轴线将弯成曲线,如图 1-1e。

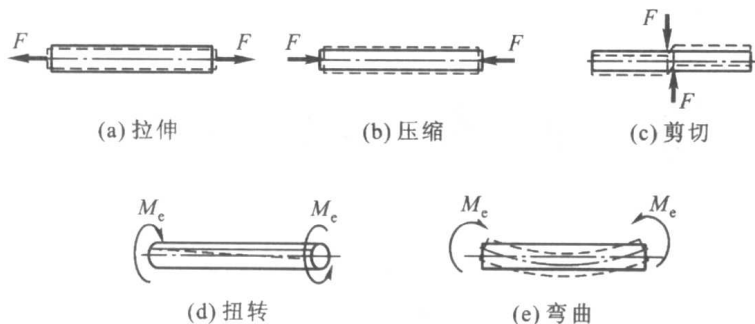


图 1-1

学习指南

一、基本要求

明确构件强度、刚度及稳定性要求的概念;理解可变形固体基本假设的意义及其合理性;初步了解杆件变形的形式。

二、材料力学的基本方法

力学问题的分析一般包括三个步骤:力的研究、运动的研究和力与运动间定律的应用。其中,运动可理解为两种类型,一是物体的整体位置随时间的变化,即整体运动;二是物体形状、大小的局部变化,即物体的变形。在材料力学中一般不研究物体的整体运动。因此,研究材料力学问题的基本步骤可归结为:

力的研究 力的合成、分解,以及处于平衡状态的平衡条件,即静力学方面。

变形的研究 构件局部与整体或结构各部分变形之间的几何相容条件,即几何学方面。

力与变形间关系的研究 与构件变形形式和材料性能有关的力与变形间的物理关系,即物理学方面。

综上所述,考虑静力、几何、物理三方面方法是分析材料力学问题的基本方法,不论是研究材料力学的有关内容,还是求解其具体问题,都是这三方面的考虑。对于初学者来说,认识到这一点,并在今后的学习中经常注意到这三方面的应用,是有裨益的。

三、力学模型的建立

材料力学是一门紧密联系工程实际的学科。在对工程实际结构(或构件)进行分析、计算前,需要对实际问题进行简化或理想化,例如约束的理想化、固体性能的理想化(可变形固体的基本假设及线弹性范围、小变形限制等),以及略去一些次要因素的影响(如次要变形、自重等),建立力学模型。总的来说,一个好的力学模型,既要对于分析尽可能的简单,又要尽可能地反映问题的真实状态。实际上,建立一个好的力学模型是困难的,有赖于我们不懈地学习和经验的积累。希望引起学习者的注意,以提高解决工程实际问题的能力。

习题解析

1-1 构件受力后,由于塑性屈服引起塑性变形而导致其丧失正常工作能力。试问这种情况是属于强度、刚度、还是稳定性问题?

解 构件受力后因塑性屈服引起塑性变形,是构件破坏的一种型式。因此,属于强度问题。刚度问题中的变形,一般是指弹性变形。稳定性问题中的原有平衡形态,是指与所受外力相应的变形形式下的平衡形态。

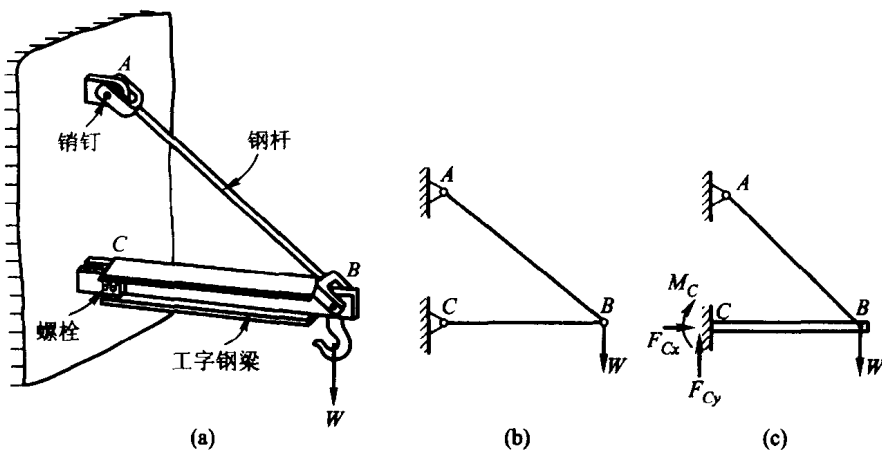
1-2 根据可变形固体的均匀性假设,从物体任一点处任意方向取出的体积单元,其力学性能均相同。因此,均匀性假设实际上包含了各向同性假设,试问上述说法是否正确?

解 不正确。均匀性假设是指从物体任一点处任意取出的任一体积单元的力学性能与物体的力学性能相同,而并不涉及沿各个方向的力学性能是否相同。各向同性假设是指物体沿各个方向的力学性能相同,两者是有区别的。

1-3 三角形构架 ABC 用于支承重物 W,如图 a 所示。构架中杆 AB 为钢杆,两端用销钉连接,构件 BC 为工字钢梁,在 B 处销接而在 C 处用四个螺栓连接。试问杆 AB 和构件 BC 将分别产生哪些变形?

解 1. 建立力学模型

首先,可以认为重量 W 位于构架 ABC 平面内,因此可作为平面力系问题来处理。其次,销钉 B, C 将传递一个通过销钉中心的力。假如在销钉周面上存在摩擦力,则在该平面内还将传递一个摩擦力矩,其值等于摩擦力(fF_N)乘以销钉半径。对于一个典型的摩擦因数 1/3,最大的摩擦力矩应为销钉所传递的力乘销钉半径的 1/3,在本例的几何条件下显然可忽略不计。因此,销钉 B, C 可理想化为光滑销钉,而不计摩擦力矩的影响。最后, C 处的螺栓连接,其约束既不像光滑销钉可自由转动,也不像固定端那样毫无转动的可能,而是介于两者之



习题 1-3 图

间,并与螺栓的紧固程度有关。为此,理想化为两种极端情况进行分析比较:一是将 C 处理想化为光滑销钉,于是将力学模型如图 b 所示;另一是将 C 处理想化为固定端,其力学模型如图 c 所示。

2. 构件的变形形式

对于图 b 所示的力学模型,杆 AB 和 BC 均为二力杆,可见杆 AB 将产生轴向拉伸,而杆 BC 将产生轴向压缩;对于图 c 所示的力学模型,杆 AB 仍为二力杆,将引起轴向拉伸。构件 BC 在 C 处固定端将有反力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 和反力偶矩 M_C (其值按超静定解法求解),将引起轴向压缩和弯曲(称为横力弯曲)的组合变形。

1-4 一长度为 $2l$ 的很轻但很刚硬的木板条支承在两根刚度系数为 k 的相同弹簧上,如图 a 所示。弹簧的自由长度均为 h ,两弹簧的间距为 $2a$ 。假设一个重量为 W 的人跨上板条的中点并慢慢地向一端走去。试求在板一端(如右端 B)刚和地面接触时,这个人能走过的距离 x 。

解 1. 建立力学模型

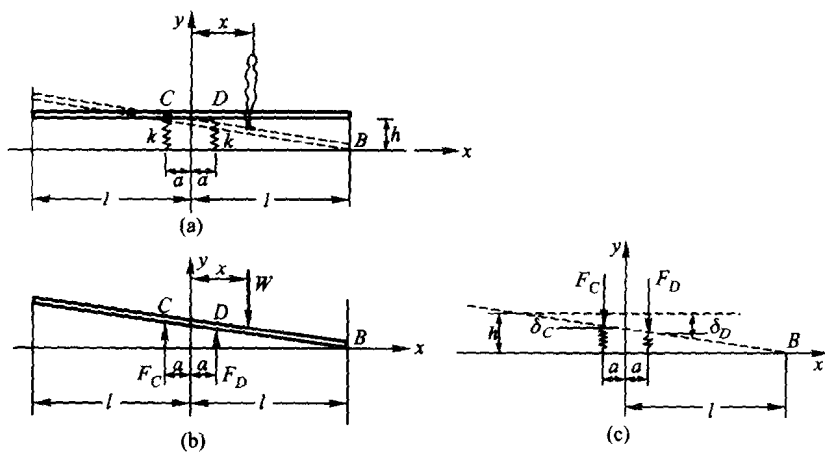
由于板条的重量和变形可略去不计,因而弹簧在加力前的长度为自由长度 h ,且板条始终保持平直。人的体重 W 作用在距板条中点为距离 x 处,而当板条刚好与地面接触的极限情况下,板条右端 B 处没有力作用,并假设弹簧 c 和 d 均为受压。于是,可得力学模型如图 b 和 c 所示。

2. 静力学关系

由平衡条件

$$\begin{aligned}\sum F_y = 0, \quad F_c + F_d &= W \\ \sum M_c = 0, \quad F_d \times 2a &= W(a + x)\end{aligned}$$

解得



习题 1-4 图

$$F_D = \frac{W}{2a}(a+x) \quad (1)$$

$$F_C = \frac{W}{2a}(a-x) \quad (2)$$

3. 变形的几何相容条件

由图 c 中的相似三角形, 两弹簧变形后的长度具有下列比值

$$\frac{h - \delta_C}{h - \delta_D} = \frac{l + a}{l - a} \quad (3)$$

4. 力与变形间的物理关系

由于两弹簧的刚度系数相同, 故得弹簧的受力与变形间的关系为

$$F_C = k\delta_C, \quad F_D = k\delta_D \quad (4)$$

5. 求距离 x

将力与变形间关系式(4)代入变形几何相容条件式(3), 得

$$\frac{h - F_C/k}{h - F_D/k} = \frac{l + a}{l - a} \quad (5)$$

将式(1), (2)代入式(5), 即可解得

$$x = \frac{a^2}{l} \left(\frac{2kh}{W} - 1 \right) \quad (6)$$

讨论

若由式(6)确定的 x 值来计算弹簧的变形, 则可得

$$\delta_C = \frac{W}{2k} \left(1 - \frac{x}{a} \right), \quad \delta_D = \frac{W}{2k} \left(1 + \frac{x}{a} \right)$$

可见, 当 $x < a$ 时, δ_C, δ_D 均为正, 即两弹簧均受压, 与假设一致; 当 $x = a$ 时, 弹

簧 C 的变形 δ_c 和受力 F_c 均为零,即人正好处于弹簧 D 的上方,全部荷载均由弹簧 D 支承;当 $x > a$ 时,弹簧 C 的变形 δ_c 和受力 F_c 均为负值,与假设相反,即弹簧 C 承受拉力并伸长。在计算中,弹簧 C 是伸长还是缩短可以任意假设,但变形 δ_c 与其受力 F_c 应该相容,即假设弹簧缩短,则弹簧承受压力。反之,假设弹簧伸长,则必须承受拉力。

比值 $W/2k$ 为人站在板条中点 ($x=0$) 时弹簧的变形,若该比值接近于 h , 则 $x \rightarrow 0$, 即弹簧非常柔软,人一站上板条,板条就将与地面相贴,而以上的分析就不再适用。

第二章 轴向拉伸和压缩

内容提要

一、轴向拉伸和压缩的力学模型

构件特征 构件为等截面的直杆(图 2-1)。

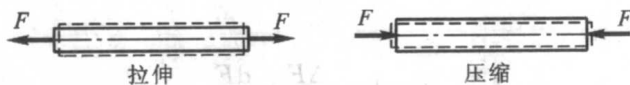


图 2-1

受力特征 外力(或外力合力)的作用线与杆件的轴线相重合。

变形特征 受力后杆件沿其轴线方向引起伸长(缩短),即杆件任意两横截面沿杆件轴线方向产生相对的平行移动。

二、内力 截面法

内力 由外力作用引起的、构件某一截面两侧各质点间相互作用力改变量的合成。

内力的特征

(1) 内力定义在物体的某一截面上,等效于截面两侧部分物体间的相互作用。

(2) 一般地说,在任意力系作用下,物体某一截面上的内力为矢量。内力的分量为标量,其正、负号按其所引起的变形趋势规定。

截面法 截面法是求内力的一般方法,其步骤为

(1) 截开 在需求内力的截面处,假想地将构件截分为二。

(2) 替代 任取一部分,其弃去部分对留下部分的作用,以作用在截开面上相应的内力(力或力偶)来代替。

(3) 平衡 考察留下部分的平衡,由平衡条件求解所求截面上的未知内力值。

轴力 轴向拉压杆横截面上的内力,其作用线必与杆件轴线重合(图 2-2)。轴力的记号为 F_N ,并规定以拉力为正,压力为负(实质上,轴力应理解为一般情况下的内力沿杆轴线方向的分量)。注意,列平衡方程时,力的正、负号以其使物体产生的运动趋势规定;内力的正、负号以其使物体产生的变形趋势规定。两者的意义不同,不可混淆。

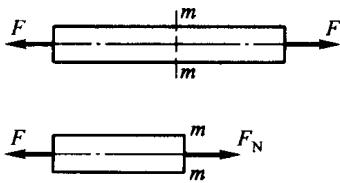


图 2-2

轴力图 表示沿杆件轴线各横截面上轴力变化规律的图线。注意,轴力图应与杆件轴线等长,且在图中标注各段轴力的正、负号和数值。

三、应力 拉(压)杆内的应力

1. 应力

应力的定义 由外力作用引起的、构件某一截面上某一点 M 处的内力集度(图 2-3)。

$$\text{全应力} \quad p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (2-1)$$

应力分量 正交力——垂直于截面的应力分量,记为 σ ;
切应力——相切于截面的应力分量,记为 τ 。

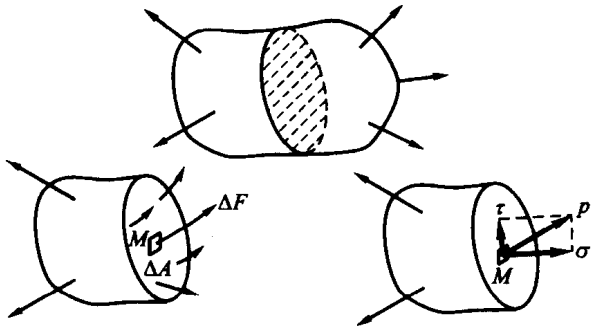


图 2-3

应力的特征

- (1) 应力定义在物体的截面或其边界上的一点处。
- (2) 应力为单位面积的力;应力的单位为 Pa ①。
- (3) 应力为矢量,等效于材料的一部分对另一部分的作用。但应力分量为

① $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。