

材料力学教程

俞永强 戚鸿宇 等编 华中科技大学出版社

材料力学教程

余永退 成鸿学 等编

责任编辑 杨志锋

•

华中工学院出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

•

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 13.375 字数: 293,000

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数: 1-1500

ISBN 7-5609-0033-X/TH·6

统一书号: 15255-092 定价: 2.20 元

内 容 简 介

本书对材料力学的几个主要问题，即简单形状变形物体的应力应变分析和材料的力学性能，分别进行了介绍，特点是深入浅出、概念清晰、理论联系实际，例题较多。对于应力状态理论、能量方法等在固体力学中应用较多的内容，也进行了详尽的介绍。在教程的最后一章里加进了材料力学中的电算方法，作为改革材料力学计算技术的一种尝试。

本书是根据一九八五年湖北省高等教育自学考试指导委员会办公室公布的《自学考试课程材料力学考试大纲》编写的。主要用作高等学校大专土建类各专业多学时材料力学课程的教材，也可供土建类本科学生和广大自学者参考。

前 言

近年来，由于工程建设对中级技术人员的需求大增，大专学生的数量有了较大的增长。然而，当前适合于大专学生使用的教材仍很缺乏。因此，我们认为，专门为大专学生编写一些教材，是十分必要的。这本《材料力学教程》的编写就是一个尝试。在编写本书的过程中，我们始终注意了要使本书具有取材恰当，由浅入深，阐述简明，理论联系实际，例题较多等特色；因此，本书除了可以作为正式教材外，也可以作为自学的课本。

材料力学也称为材料强度学，是变形固体力学的一个分支学科。在高等工科学校的大多数专业中，材料力学是学生必须学习的一门重要的技术基础课程，其知识的用途十分广泛。材料力学的内容，大致可以分为简单形状变形物体的应力应变分析和材料的力学性能等。在本书的各章中分别进行了介绍。对于某些在变形固体力学中应用较多的内容，例如，应力状态理论、能量方法等等，还作了比较详尽的介绍，可以为学生进一步学习更深入的内容打下基础。

随着电子计算机的出现和发展，电算技术已在各个科技领域中得到广泛的应用，因此，我们从第一至第十三各章中，抽出了一定数量的例题，编成程序，放在第十四章中供初学者学习和参考。是否也可以认为，这是改革材料力学计算技术的一种尝试。

本书共十四章，编写分工如下：余永遐——第二、第五、第六、第七、第八、第十、第十一章；成鸿学——第一、第九章；彭图让——第十二、第十三章；郭建华——第三、第四章；薛根生——第十四章。全书由余永遐校核。

粟一凡教授在百忙中审阅了本书的初稿，提出了许多宝贵的意见，对保证本书的质量起了重要作用。借此机会，谨向粟一凡教授表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，本书一定还有不少的缺点和错误，敬希广大教师、读者提出批评指正，以便今后改进。

编 者

一九八六年夏于武汉工业大学

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1-1 材料力学的基本任务	(1)
§ 1-2 变形固体及其基本假设	(2)
§ 1-3 杆件 变形固体的弹性和塑性	(3)
§ 1-4 外力及其分类	(4)
§ 1-5 内力 截面法	(6)
§ 1-6 应力的概念	(7)
§ 1-7 杆件的变形	(9)
第二章 简单拉伸和压缩	(13)
§ 2-1 概 述	(13)
§ 2-2 轴力和轴力图	(14)
§ 2-3 横截面和斜截面上的应力 剪应力互等定理.....	(18)
§ 2-4 材料的机械性质	(20)
§ 2-5 材料的容许应力 强度条件	(34)
§ 2-6 拉(压)杆件的变形	(38)
§ 2-7 拉伸(压缩)超静定问题	(43)
习题	(51)
第三章 剪切和挤压的实用计算	(58)
§ 3-1 概 述	(58)
§ 3-2 剪切和挤压的实用计算	(58)
§ 3-3 焊接连接计算	(63)
§ 3-4 木结构齿槽连接计算	(64)
习题	(65)

第四章 扭 转	(67)
§ 4-1 概 述	(67)
§ 4-2 扭矩和扭矩图	(68)
§ 4-3 等直圆杆扭转时的应力和变形	(70)
§ 4-4 扭转超静定问题	(78)
§ 4-5* 密圈螺旋弹簧的计算	(80)
习题	(83)
第五章 梁的内力及内力图	(87)
§ 5-1 概 述	(87)
§ 5-2 梁的内力 $M(x)$ 、 $Q(x)$ 和 $q(x)$ 间的微分关系	(89)
§ 5-3 剪力图和弯矩图	(93)
习题	(113)
第六章 截面的几何性质	(119)
§ 6-1 概 述	(119)
§ 6-2 截面的面积矩 形心	(119)
§ 6-3 惯性矩和惯性积	(124)
§ 6-4 不同坐标系的惯性矩或惯性积之间的关系	(127)
§ 6-5 截面的主惯性轴和形心主惯性轴 主惯性矩和形心主惯性矩	(133)
习题	(137)
第七章 梁的弯曲应力	(140)
§ 7-1 概 述	(140)
§ 7-2 弹性弯曲时梁内的正应力	(142)
§ 7-3 梁内剪应力	(147)
§ 7-4 梁的强度条件	(153)
习题	(159)
第八章 梁的变形	(164)
§ 8-1 概 述	(164)
§ 8-2 梁的挠曲线近似微分方程式	(165)

§ 8-3	挠曲线方程式和挠度的求解	(167)
§ 8-4	梁的刚度条件	(186)
§ 8-5	简单超静定问题	(188)
习题		(192)
第九章	复杂应力状态	(198)
§ 9-1	应力状态的概念	(198)
§ 9-2	二向应力状态	(200)
§ 9-3	莫尔应力图	(204)
§ 9-4	梁的主应力 主应力迹线的概念	(210)
§ 9-5	三向应力状态的概念	(213)
§ 9-6	广义虎克定律	(215)
习题		(218)
第十章	能量方法	(222)
§ 10-1	概 述	(222)
§ 10-2	功 应变能 比能	(222)
§ 10-3	应变能、余能、比能、余比能的计算	(225)
§ 10-4	卡斯奇梁诺定理	(236)
§ 10-5	单位力法	(243)
习题		(246)
第十一章	强度理论	(251)
§ 11-1	概 述	(251)
§ 11-2	基本强度理论及其相当应力 强度条件	(252)
§ 11-3*	强度理论的进一步探讨	(261)
习题		(266)
第十二章	组合变形	(269)
§ 12-1	组合变形问题	(269)
§ 12-2	斜弯曲	(271)
§ 12-3	弯扭组合变形	(283)
§ 12-4	拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(291)

§ 12-5 偏心压缩杆件的强度计算及截面核心.....	(238)
习题	(309)
第十三章 压杆稳定	(316)
§ 13-1 工程中的稳定问题	(316)
§ 13-2 细长压杆临界力的确定	(318)
§ 13-3 不同杆端约束下细长压杆临界力的欧拉公式	(322)
§ 13-4 欧拉公式的应用范围 临界应力总图.....	(327)
§ 13-5 压杆的稳定计算	(332)
习题	(342)
第十四章* 材料力学的电算程序	(346)
§ 14-1 概 述	(346)
§ 14-2 材料力学中的电算程序举例	(346)
附录 I 常用截面的几何性质计算公式	(398)
附录 I 型钢规格表	(400)

标有“*”号的章节，大专学生可以不学。

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的基本任务

任何一座建筑物或一种机械，都是由许多构件(或零件)组合而成的。每一构件又都由某种材料制成，并承受某些荷载的作用。例如，吊车梁通常由钢或钢筋混凝土制成，而作用于吊车梁上的荷载有吊车和起吊物的重量。又如，车床主轴通常由碳素钢制成，而作用于主轴上的荷载有切削力、齿轮啮合力以及卡盘和工件的重力等。因此，要保证建筑物和机械能正常地工作，首先必须保证组成它们的每一构件能正常地工作。对构件能正常工作的要求可以归纳为以下三点：

1、构件在荷载作用下不发生破坏，即构件必须具有足够的强度。

2、构件在荷载作用下所发生的变形应限制在正常工作容许的范围内，即构件必须具有足够的刚度。

3、构件在荷载作用下保持其原有形状下的稳定平衡，即构件必须具有足够的稳定性。

一般地，设计构件时，选用较好的材料和较大的几何尺寸，上述三方面的要求，总是可以满足的。但是这样一来又可能造成材料的浪费，不符合经济原则。安全和经济形成一对矛盾。材料力学的基本任务之一，就是要解决这种矛盾。正是由于这种矛盾的不断出现和解决，促使材料力学向前发展。

为了既安全又经济地设计构件，必须通过材料性能试验来

测定各种材料的力学性能。因此，掌握材料力学性能的试验方法是学习材料力学的一个重要内容，必须注意。

综上所述，材料力学的基本任务是研究构件的强度、刚度和稳定性问题以及测定材料的力学性质。而试验研究和理论分析都是完成材料力学基本任务的重要手段。正确地进行理论分析和掌握材料的力学性能，能使我们合理地给构件选择恰当的材料和确定合适的几何尺寸，以达到安全与经济的设计目的。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

在材料力学中，制成各种构件的材料一般均为固体。在外力作用下固体将发生变形，因此将它们统称为变形固体。

对于用变形固体材料做成的构件进行强度、刚度或稳定性计算时，往往忽略变形固体的一些次要性质，而只根据其主要性质作出某些假设，将它们抽象为一种理想模型，这样，既便于进行理论分析，又可以简化计算。

在材料力学中对变形固体作如下基本假设：

1、连续性假设 认为组成物体的物质毫无空隙地充满在整个物体的体积内，其结构是密实的。从物质微观结构来说，组成变形固体的粒子之间实际上并不连续，然而它们间所存在空隙的大小和材料力学中所研究的构件尺寸相比，极其微小，因而可以忽略不计，这样就可以认为物体的结构是连续的。

2、均匀性假设 认为物体内部各处的力学性能完全相同。实际的变形固体，例如金属，组成金属的各个晶粒的力学性质，并不完全相同，但因材料力学所研究的构件，其中所包含的晶粒为数极多，而且无规则地排列着，其力学性能是所有各晶粒的性质的统计平均值，因而可以认为构件内部各处的性质

是均匀的。

3、各向同性假设 认为物体在各个方向上具有完全相同的力学性能。具有这种性能的材料称为各向同性材料。例如，工程上常用的金属，就其每一个晶粒来说，其力学性能是具有方向性的，但由于构件中所包含晶粒的数量极多，且晶粒排列方向是杂乱无章的，所以按统计学的观点也可以将金属假设为各向同性的材料。

在各个方向上具有不同力学性质的材料，称为各向异性材料，如胶合板、纤维织品和木材等。

4、小变形假设 材料力学中所研究的构件在承受荷载作用时，其变形与构件的原有尺寸相比较，数值很小，可以忽略不计。因此在研究构件的平衡和运动时，可忽略构件的变形，而按变形前的原始尺寸进行分析计算。

§ 1-3 杆件 变形固体的弹性和塑性

1、材料力学中所研究的主要构件称为杆件，且大多数为直杆（如图1-1），直杆沿其纵向（长度方向）的尺寸远大于横向（垂直于长度方向）的尺寸。垂直于长度方向的截面称为横截面（以后简称截面），横截面形心的连线称为轴线（图1-1）。横截面和轴线是互相垂直的。材料力学中所研究的直杆多数为等截面的，简称为等直杆。



图1-1

2、变形固体的弹性和塑性 大多数变形固体承受荷载时要发生变形，但当荷载除去后，具有恢复其原有形状和尺寸大小的能力，变形固体的这种性能称为弹性，具有这种弹性性质的变形固体称为完全弹性体。若变形固体的变形在外力除去后只能恢复一部分，这样的变形固体称为部分弹性体。部分弹性体的变形可分为两部分，一部分是随着荷载除去而消失的变形，称为弹性变形；另一部分是在荷载除去后不能消失的变形，称为塑性变形（残余变形或永久变形）。有些变形固体能产生较大的塑性变形，这种性质称为塑性。

弹性和塑性的划分往往是有条件的。例如，同样受力情况下的金属，在常温下可以是弹性的，但在高温下却是塑性的。

自然界中并没有所谓完全弹性体，一般变形固体，既具有弹性，也具有塑性。不过实验指出，象金属、木材等工程材料，当荷载不超过某一限度时，可以看成是完全弹性的；若荷载超过了这一限度，就会发生显著的塑性变形而变成部分弹性体。

材料力学主要研究变形固体在弹性阶段内的情形。

§ 1-4 外力及其分类

作用于构件上的外力，包括荷载和克反力。为了研究构件的强度及刚度问题，首先必须弄清外力。下面对外力作分类说明：

1、按作用方式可分为体积力和表面力

体积力连续分布于物体内部各点，例如物体的自重就是体积力，惯性力也可作为体积力处理。体积力的单位是牛顿/米³，记为 N/m^3 。在工程计算中，当杆件承担的外力比杆件的自重

大得很多时，自重往往可以忽略不计，即可把杆件看成为无重杆。以后如不声明，都认为杆件是无重杆。

表面力是作用于物体表面上的力，又可分为分布力和集中力。连续作用于物体表面某一面积上的力称为分布力，例如，作用于船体上的水压力为分布力。分布力又有均匀分布与非均匀分布之别。例如，屋顶上等厚的积雪产生的压力就是均匀分布力，水塔侧壁所受的水压力就是非均匀分布力。分布力的单位为牛顿/米²或兆牛/米²，分别记为N/m²和MN/m²，1MN/m² = 10⁶ N/m²。如外力只分布在物体表面上很小的一块面积上或很短的一条线段上，可以把它看成是作用于一点的力，称为集中力。例如，火车车轮作用于钢轨上的压力。集中力的单位是牛顿或千牛，分别记为N和kN。1kN = 10³ N。

2、按作用性质可分为静荷载与动荷载

静荷载是慢慢地加于物体上的荷载，它的大小从零逐渐增加到某一个定值，以后就不再改变。例如蓄水池所受的水压力，屋顶所受的雪重等都是静荷载。

如物体在荷载作用下，它的某些部分或全部的加速度发生了相当显著的变化，那么这种荷载就称为动荷载。动荷载又可分为冲击荷载和交变荷载。例如，打桩时汽锤对桩的作用力就是冲击荷载，蒸汽机工作时其连杆所受到的荷载就是不断改变着的交变荷载。

在静荷载或动荷载的作用下，材料所呈现的性能很不相同。因为静荷载问题比较简单，而且它的理论和方法可以作为解决动荷载问题的基础，所以在材料力学中，首先研究有关静荷载的问题。

§ 1-5 内力 截面法

1、内力 当物体受到外力作用而变形时，其内部各部分之间因相对位置发生改变而引起相互作用的力，称为内力。在一定限度内，这种内力不但能抵抗外力所引起的变形，而且还能消除这些变形。这就是变形固体具有弹性的原因。内力随着外力的增加而相应地增大，不过内力的增大是有一定限度的，超过了这一限度，物体就要破坏。

为了判断构件在外力作用下是否安全，需要计算由外力引起的内力。求内力通常采用如下的截面法。

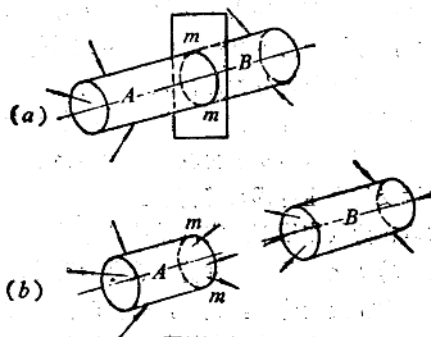


图1-2

2、截面法

为了显示和确定物体的内力，考察一个在外力系作用下处于平衡状态的任意变形固体（图1-2）。假想用一平面 $m-m$ 把变形固体截开，分为 A 和 B 两部分，任取其中一部分，例如 A 作为研究对象。在 A 部分上原来作用有外力，这些外力一般说来并非平衡力系，因此在截面上必定存在着内力，才能使该部分平衡。对于 A 部分来说，这些内力就是 B 部分对于 A 部分的

作用力。根据作用力与反作用力定律， A 部分也会以大小相等、方向相反的内力作用于 B 部分上（图1-2，(b)）。

上面介绍的这种显示和确定物体内力的方法称为截面法，可以分为如下三个步骤：

- 1、用一平面假想地将物体在需求内力的截面处截开；
- 2、任取一部分为脱离体，并用作用在截面上的内力来代替另一部分对该部分的作用；
- 3、对脱离体建立平衡方程式，确定未知的内力。

截面法是材料力学中的一种基本方法，今后将会经常用到。

§ 1-6 应力的概念

为了解决构件在外力作用下的强度问题，不但要知道构件可能沿着哪一个截面破坏，而且还要知道截面上的哪些点最危

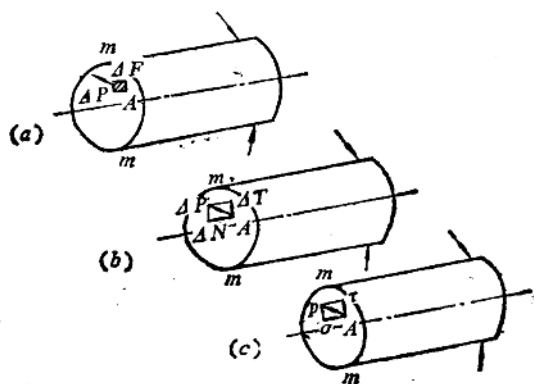


图1-3

险。所以仅仅知道构件截面上内力的总和是不够的，还须知道截面上各处内力分布的情况，为此引入应力的概念。

如图1-3所示，设在某一受力构件的 $m-m$ 截面上，围绕 A 点取微小面积 ΔF （图1-3(a)）， ΔF 上内力的合力为 ΔP ，因此，在 ΔF 上内力的平均集度可定义为：

$$P_{\cdot\cdot} = \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (1-1)$$

通常，把 $P_{\cdot\cdot}$ 称为 ΔF 上的平均应力。应力的量纲为力/[长度]²，单位为牛顿/米²，记为N/m²。一个牛顿/米²称为一个帕斯卡，简记为Pa，读作帕。Pa的单位过小，故工程中常使用兆帕MPa即10⁶Pa和吉帕GPa即10⁹Pa。

若将内力 ΔP 分解为垂直于截面法线方向的分力 ΔN 和作用在截面平面内切线方向的分力 ΔT （图1-3(b)），则可得

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\cdot\cdot} &= \Delta N / \Delta F \\ \tau_{\cdot\cdot} &= \Delta T / \Delta F \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

$\sigma_{\cdot\cdot}$ 称为 ΔF 微面积上的平均正应力， $\tau_{\cdot\cdot}$ 称为该微面积上的平均剪应力。

一般地， $m-m$ 截面上的应力并不是均匀分布的，所以平均应力 $P_{\cdot\cdot}$ 、 $\sigma_{\cdot\cdot}$ 和 $\tau_{\cdot\cdot}$ ，均与所取面积 ΔF 的大小有关。为了消除面积 ΔF 大小的影响，无限地缩小 ΔF ，当其趋近于零时，极限值为：

$$\left. \begin{aligned} P &= \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{dP}{dF} \\ \sigma &= \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta F} = \frac{dN}{dF} \\ \tau &= \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta F} = \frac{dT}{dF} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$