

MECHANICS OF MATERIALS

材料力学

蒋嘉俊
汪鸣皋

主编

(上册)

5(3)321

44

321

南京工学院出版社出版

材 料 力 学

蒋嘉俊 主 编
汪鸣皋

(上 册)

南京工学院出版社

材料力学(上册)

蒋嘉俊 汪鸣皋 主编

南京工学院出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 南京通信工程学院印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张8.13 字数183,000

1987年5月第1版 1987年7月第1次印刷

印数: 1—8500册

ISBN 7-81023-021-(2)/O·21

统一书号: 13409·011 定价: 1.30元

内 容 简 介

本书是根据高等工业专科学校三年制机械专业和土建专业的材料力学课教学基本要求而编写的教材。本课程总学时范围为72~90。

本书共有十四章，分上下两册出版。上册包括第一章到第八章以及附录型钢表，内容有：拉伸和压缩、剪切、扭转、截面图形几何性质、弯曲内力、弯曲强度和弯曲变形。下册包括第九章到第十四章，计有：应力状态和强度理论、组合变形、能量法、动荷载、交变应力及压杆稳定等。本书公式推导严谨、简明，内容叙述紧凑、易懂，并有适量的习题，以利培养学生的设计计算能力和思考分析能力。

本书主要作为高等工业专科学校、职业大学机械或土建等专业的材料力学课教材，也可作为职工大学、业余大学、夜大学等成人教育相应专业的教材，并可供有关工程技术人员或自学者参考。

前 言

本书是按高等学校三年制机械和土建专业材料力学课程的教学基本要求而编写的。讲授全书所需的教学时数根据所授专业的不同,可在72~90学时范围内自行安排。

本书由蒋嘉俊、汪鸣皋主编统稿。参加编写工作的同志有:上海大学工商管理学院蒋嘉俊(第一、八章)、张健英(第二、五、六、七章)、倪天视(第十、十三章);金陵职业大学刘阿多(第三章);江南大学唐广千(第九、十一章);彭城大学袁广生(第十二章)和沙洲职业工学院汪鸣皋(第四、十四章)。刘阿多同志还参加了部分校审工作。

本书力求贯彻理论联系实际,删繁就简的原则,尽量使本书易教易学,适合高等工业专科学校有关专业使用。

本书由无锡轻工业学院吴家骥同志主审,并于1986年7月在沙洲召开了审稿会。许多兄弟院校的代表对书稿进行了认真的审阅,并提出了很多宝贵的意见或建议,谨此一并表示衷心的感谢。

限于我们的水平和经验,书中难免会有一些缺点和错误,恳切希望读者提出批评和指正。

编 者

1986.8

目 录

第一章 绪 论.....(1)

§ 1—1 材料力学的任务.....(1)

§ 1—2 变形固体的基本假设.....(2)

§ 1—3 外力及其分类.....(4)

§ 1—4 内力、截面法和应力的概念.....(5)

§ 1—5 线应变与角应变.....(10)

§ 1—6 杆件变形的基本形式.....(11)

第二章 轴向拉伸与压缩.....(15)

§ 2—1 轴向拉伸与压缩的概念和实例.....(15)

§ 2—2 轴向拉伸(压缩)杆横截面上内力和应力.....(16)

§ 2—3 轴向拉伸(压缩)杆斜截面上的应力.....(22)

§ 2—4 轴向拉伸与压缩时的变形 虎克定律.....(23)

§ 2—5 材料的机械性质.....(26)

§ 2—6 变形能概念.....(35)

§ 2—7 应力集中概念.....(37)

§ 2—8 安全系数与许用应力.....(38)

§ 2—9 轴向拉伸(压缩)构件的强度计算.....(40)

§ 2—10 拉压超静定问题.....(44)

习 题.....(51)

第三章 剪 切.....(59)

§ 3—1 剪切的观念和实用计算.....(59)

§ 3—2 挤压的概念和实用计算·····	(62)
习 题·····	(68)
第四章 扭 转 ·····	(72)
§ 4—1 圆轴扭转及其工程实例外力偶矩的计算···	(72)
§ 4—2 扭矩与扭矩图·····	(74)
§ 4—3 纯剪切的概念、剪切虎克定律·····	(78)
§ 4—4 圆轴扭转时横截面上的应力和强度条件···	(82)
§ 4—5 圆轴扭转时的变形和刚度计算·····	(88)
* § 4—6 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形·····	(93)
§ 4—7 矩形截面杆扭转时的应力和变形公式介绍	(98)
习 题·····	(101)
第五章 截面图形几何性质 ·····	(108)
§ 5—1 静矩和形心·····	(108)
§ 5—2 惯性矩、惯性积、惯性半径·····	(112)
§ 5—3 平行移轴公式·····	(116)
§ 5—4 组合截面图形的惯性矩计算·····	(117)
§ 5—5 主惯性轴 转轴公式·····	(121)
习 题·····	(128)
第六章 弯曲内力 ·····	(132)
§ 6—1 平面弯曲的概念和实例·····	(132)
§ 6—2 梁的计算简图·····	(133)
§ 6—3 剪力和弯矩·····	(136)
§ 6—4 剪力图和弯矩图·····	(140)
§ 6—5 载荷集度、剪力和弯矩间关系·····	(148)
§ 6—6 用叠加法作弯矩图·····	(154)

习 题	(156)
第七章 弯曲应力	(161)
§ 7—1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	(161)
§ 7—2 正应力公式推广 正应力强度条件	(167)
§ 7—3 梁的剪应力公式	(175)
§ 7—4 提高梁弯曲强度的措施	(183)
§ 7—5 弯曲中心概念	(188)
习 题	(189)
第八章 弯曲变形	(196)
§ 8—1 梁的挠度和转角	(196)
§ 8—2 挠曲线的近似微分方程	(197)
§ 8—3 挠曲线近似微分方程式的积分(积分法)	(199)
§ 8—4 用叠加法求弯曲变形	(208)
§ 8—5 梁的刚度校核	(213)
§ 8—6 用变形比较法解超静定梁	(216)
§ 8—7 提高梁弯曲刚度的一些措施	(220)
习 题	(222)
附 录 型钢表	(226)
习题答案	(248)

第一章 绪 论

§ 1—1 材料力学的任务

机械或工程结构的各个组成部分称为构件。当机械或工程结构承受载荷时每个构件必须能正常地工作，这样才能保证整个机械或工程结构的正常运转或安全使用。因此构件应有足够的能力承受所作用的载荷，简称为承载能力。这种承载能力主要由以下三方面来衡量。

(1) 构件应有足够的强度。例如，起重机的吊索在起吊重物时，不能被拉断。机器传动轴在传动时不许被扭坏。这说明构件必须具有足够的抵抗破坏的能力，即应有足够的强度。

(2) 构件应有足够的刚度。在载荷作用下，构件的形状和尺寸将发生变化，称为变形。在某些情况下，构件虽不发生断裂，但是由于变形过大，因而不能正常地工作。例如，机床主轴在运转时受载荷作用而弯曲，若变形超过了一定限度，就会影响工件的加工精度以及造成轴承的不均匀磨损。因此，对某些构件应要求它受力以后所产生的变形在一定的容许范围内，也就是构件应具有一定的抵抗变形的能力，即应有足够的刚度。

(3) 构件应有足够的稳定性。例如，千斤顶中的螺杆，为一细长直杆，工作时承受轴向压力。当压力较小时，杆保持直线的平衡形式。若压力增到某一数值时，直杆就会从直线的平衡形式突然变弯。这种突然改变原有平衡形式的现象称为丧失稳定。因此，对这类细长压杆，要求它们在工作中始终能保持

原有的直线平衡形式，即构件应具有足够的稳定性。

根据构件所承受的载荷及其工作情况，为它选择材料，确定它的截面形状和尺寸，使它具有足够的承载能力，这是材料力学的任务。

为了提高构件的承载能力，往往需要加大截面尺寸或选用优质材料，这与降低材料的消耗量，减小成本，减轻自身重量等有矛盾，也就是安全与经济的矛盾。我们按照材料力学的理论、方法来设计构件，可以合理地解决构件承载能力与经济节约之间的矛盾，力求使设计出的构件，既安全可靠又能符合经济节约的要求。

构件的强度、刚度和稳定性与所用材料的机械性质有关，而材料的机械性质要由实验来测定。所谓机械性质主要指材料在外力作用下变形与外力之间的关系。此外，也有一些单靠现有理论还解决不了的问题，须借助于实验来解决。因此，实验研究和理论分析都是完成材料力学任务的必需手段。

材料力学与生产实践的关系较为密切，它所解决的问题的范围，随着生产发展而日益扩大。生产的发展推动了材料力学的不断发展，而材料力学理论的日益完善，对生产实践也起着重要的指导作用，为构件的设计计算提供了简便实用的方法。

§ 1—2 变形固体的基本假设

制成各种构件的材料一般均为固体。在外力作用下，固体都会产生变形，统称为变形固体。为了简化计算，对构件进行强度、刚度或稳定性研究时，常须略去材料的次要性质，并根据其主要性质作出假设，将它们抽象为一种理想模型，然后进

行理论分析。下面是材料力学中对变形固体所作的基本假设：

(1)连续性假设。这一假设认为整个物体的内部都被物质所填满，不留下任何空隙。当然，从近代物质结构的理论来看，这一假设是不正确的；但是，从宏观上看，这一假设并不会引起显著的计算误差。根据这个假设，我们可以认为物体内各处的变形、位移等物理量都是连续的，因此可以用位置坐标的连续函数来表示。

(2)均匀性假设。这一假设认为整个物体是由完全相同的材料组成的。容易想到，在这种情况下，物体内部各点的物理性质显然都是相同的，不随位置坐标而变化。就工程上常用的金属材料而言，组成金属的各个晶粒的机械性质，并不完全相同。但因材料力学所研究的构件包含着无数的晶粒，且是无规则地错综排列着，其机械性质是所有各晶粒性质的统计平均值，所以从宏观上讲可以认为构件各部分的性质是均匀的。

(3)各向同性假设。这一假设认为物体的物理性质在各个方向上都是相同的，不随方向而变化。在工程上常用的金属，就其一个单晶粒来说，其机械性质是有方向性的，在不同方向上，其机械性质并不一样；但物体包含着数量极多的晶粒，这些晶粒是无规则地排列着，所以在各个方向上的材料性质就接近相同。

实践证明，在工程计算所要求的精确度范围内，将实际材料抽象为均匀、连续和各向同性的，可以得到较为满意的结果。

(4)小变形假设。这一假设认为物体的几何形状及尺寸的改变与其总尺寸相比较是很微小的。根据这个假设，当我们研究物体受力后的平衡问题时，用不到考虑物体尺寸的改变，而仍然按照原来的尺寸和形状进行计算。另外，在研究物体的变

形时，我们可以将它的二次幂或乘积略去不计。这样就使实际计算大为简化。

除了上述几项基本假设外，在材料力学中还将采用一些简化内力和变形的假设，在后面有关章节中再分别介绍。

试验结果表明，如果外力不超过一定限度，绝大多数材料在外力撤除后可恢复其原状。若外力过大，超过了一定限度，则外力撤除后，有部分变形消失，一部分变形不消失而遗留下来。随外力撤除而消失的变形称为弹性变形，而外力撤除后不能消失的变形称为塑性变形，也称为残余变形或永久变形。一般工作情况下，要求构件在受载时只发生弹性变形，而不允许发生塑性变形。

§ 1—3 外力及其分类

物体上的力，可分为两大类，即外力和内力。外力是指某一物体所受到的其它物体对它的作用力，包括载荷及约束反力。内力是指物体某一部分与其它部分相互作用的力。

为了研究物体的内力及变形，首先须弄清外力。在工程上，各种机械或工程结构的构件，所受到的外力相当复杂，有必要加以分类，以便研究。

按分布的情况来看，外力可以分为体积力和表面力两类。体积力分布在物体的整个体积内，物体内部所有各质点都受到它的作用。例如，物体自身的重量，运动物体中的惯性力等等。体积力的单位是牛顿/米³，记为 N/m^3 。表面力是作用于物体表面上的力，例如作用于油缸内壁的油压力，作用于飞机机翼的升力等，都是分布力。分布力的单位是牛顿/米²或兆牛/米²，分别记为 N/m^2 或 MN/m^2 。在材料力学中所研究的主要对象是

杆件，其横向尺寸远较长度为小，分布力可看作沿杆的轴线作用，即以沿轴线单位长度内作用多少力来度量，计算单位是牛顿/米或千牛/米，记为 N/m 或 kN/m 。若外力分布的面积远小于物体的表面尺寸，就可以看作是作用于一点的集中力，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（ N 或 kN ）。

按载荷随时间变化的情况，可把载荷分为静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值，以后即保持不变，或变动很不显著，即为静载荷。例如，蓄水池所受的水压力，屋顶所受的雪重，都是静载荷。动载荷指的是随时间改变的载荷。按其随时间变化的方式，动载荷又可分为交变载荷与冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷，例如蒸汽机的连杆所受到的就是不断改变着的交变载荷。冲击载荷则是物体的运动在瞬时发生突然变化所引起的载荷，打桩时汽锤对桩的作用就是一例。

在静载荷和动载荷作用下，材料的强度颇不相同。由于静载荷中的问题较为简单，而且它的理论和方法是解决动载荷的基础，所以在材料力学中，首先研究有关静载荷的问题。

§ 1—4 内力、截面法和应力的概念

物体受到外力作用而变形时，物体内部各质点之间的相互作用力发生了改变。这种由于外力作用而引起的物体内部各质点之间的相互作用力的改变量，称为“附加内力”，通常简称为内力。物体内部的内力随着外力之加大而相应地增加，对于各种材料来说都各有一定的限度，超过了这一限度，物体即破坏。可见内力与物体的强度是密切相关的。

为了判断构件在外力作用下的强度是否足够，首先须要计算出由已知外力所引起的内力。取一个在外力系 P_1 、 P_2 、 P_3 、…… P_{n-1} 、 P_n 作用下处于平衡状态的构件来研究（图 1-1），要想求出指定截面 $m-n$ 上的内力，常常利用截面法。现在把这个方法概述如下：

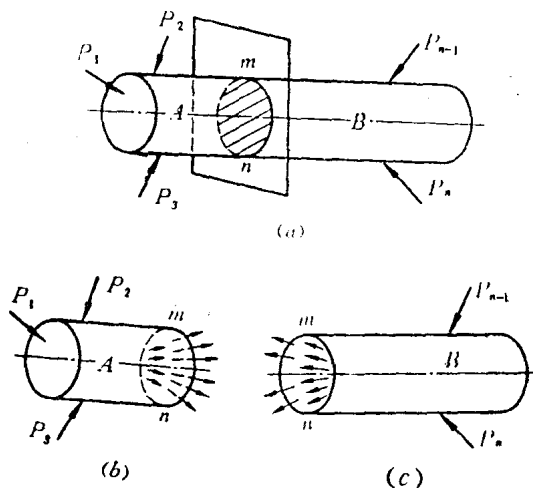


图 1-1

(1) 在构件上需求内力的截面 $m-n$ 处，用平面假想地把构件分成左右两部分 A 和 B （图 1-1(a)）。并任取一部分，例如左部分 A ，其上作用的外力有 P_1 、 P_2 、 P_3 ，欲使该部分保持平衡，则右部分 B 必然有力作用于左部分 A 的 $m-n$ 截面上，如图 1-1(b) 所示。根据作用与反作用定律，左部分 A 必定也以大小相等，方向相反的力作用在右部分 B 上（图 1-1(c)）。上述左部分 A 与右部分 B 之间相互作用的力，就是构件在截面 $m-n$ 上的内力。根据连续性假设，内力是遍布在整个截面 $m-n$ 上的连续分布力，成为一分布力系。这个分布力系的主矢和主矩，

称为截面 $m-n$ 上的内力。

(2) 对构件左部分 A 来说, 它在外力 P_1 、 P_2 、 P_3 与截面 $m-n$ 上的内力作用下保持平衡。故应用静力学平衡条件即可确定截面 $m-n$ 上的内力。

例1-1 在零件上钻孔时, 钻床的心柱 CD (图 1-2 (a)) 受到 $P = 15\text{kN}$ 的轴向压力。试求钻床立柱横截面 $m-n$ 上的内力。 P 力到 $m-n$ 截面形心 O 的偏心距 $e = 40\text{cm}$ 。

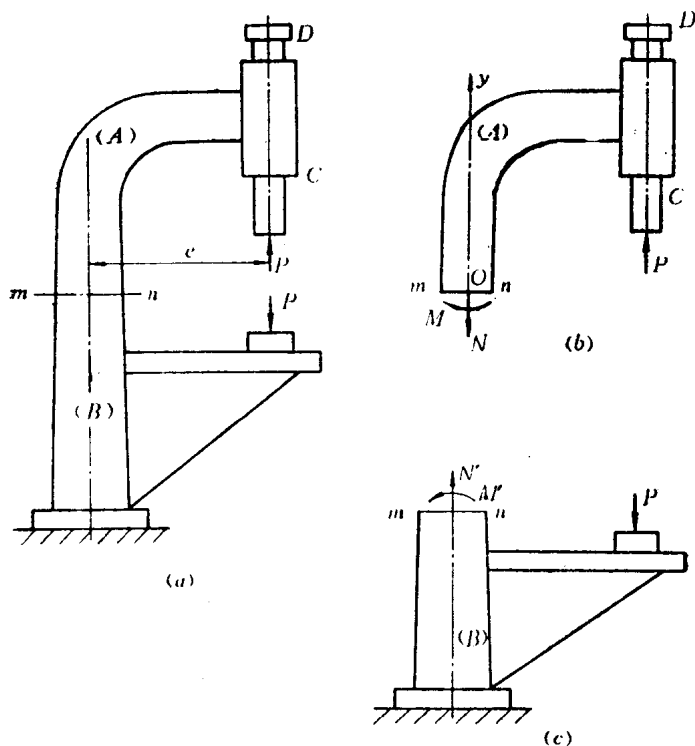


图 1-2

解 沿横截面 $m-n$ 假想地把钻床分为两部分，取横截面 $m-n$ 以上部分 A 作为研究对象（图1-2(b)），并以横截面形心 O 作为原点，选取坐标如图所示。

外力 P 将使上部分 A 沿 y 轴向上移动，并绕 O 点转动。横截面 $m-n$ 的下部分 B 必然以内力 N 与 M 作用在上部分 A 的横截面 $m-n$ 上，以保持上部分 A 的平衡。

由静力学平衡条件得

$$\sum Y = 0 \quad P - N = 0$$

$$\sum M_O = 0 \quad Pe - M = 0$$

即 $N = P = 15 \text{ kN}$ ， $M = Pe = 6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

N 与 M 的方向如图1-2(b)所示。

如果取横截面 $m-n$ 以下的部分 B 作研究对象（图1-2(c)），同理也可求得横截面 $m-n$ 上的内力 N' 与 M' 。显然， N 与 N' ， M 与 M' ，分别等值反向，互为作用力与反作用力。

在研究内力时，外力的作用点应给定，不允许应用力的可传性原理，这可从以下的例子来了解。图1-3(a)中所示一杆在自由端受拉力 P 作用，此时由截面法可算出其任一横截面 $m-n$ 上的内力 N 在数值上等于 P （图1-3(b)）。但若将拉力 P 的作用点沿其作用线移至杆的固定端（图1-3(c)），则由截面法可知，其任一横截面 $m-n$ 上的内力将等于零（图1-3(d)）。由此可见，将力移动后，杆的内力就改变了。此外，在研究内力时，也不允许将构件上的载荷预先用一个与它相当的等效力系来代替。

上述内力是整个截面上分布内力系的合力或合力偶（即主矢或主矩）。用它们可说明截面 $m-n$ 上的内力和作用在这部分的外力间的平衡关系，但不能说明这一分布内力系在截面内某一点处的密集程度（简称为内力集度）。为了确定截面上各点

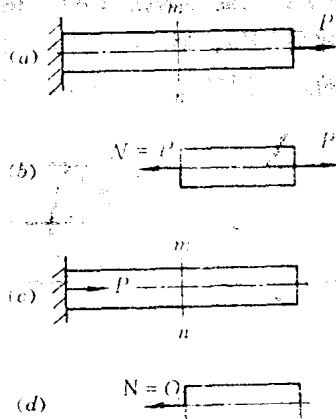


图 1-3

分布内力的集度，可在截面 $m-n$ 上任一点 k 的周围，取一微小面积 ΔA ，假定在 ΔA 上内力的合力为 ΔP （图1-4(a)），这样，在 ΔA 上单位面积的平均内力 p_m （称为 ΔA 上的平均应力）为

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

一般说截面 $m-n$ 上的内力并不是平均分布的，因此，平均应力 p_m 随所取 ΔA 的大小而不同，它不能表明内力分布的真实情况。当 ΔA 无限地趋近于零时， p_m 的极限值 p （称为截面 $m-n$ 上 k 点的应力）为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA}$$

p 是一个矢量，称为全应力，或总应力。通常把全应力 p 分解为垂直于截面的分量 σ 和相切于截面的分量 τ （图1-4(b)）。垂直于截面的应力分量 σ 称为正应力或法向应力，与截面相切的应力分量 τ 称为剪应力或切应力。应力的单位是牛/米²，记