

高等工业专科学校试用教材

材料力学

江苏省《材料力学》编写组

江苏科学技术出版社

高等工业专科学校试用教材

材 料 力 学

江苏省《材料力学》编写组

江 苏 科 学 技 术 出 版 社

内 容 提 要

全书内容包括：绪论，材料拉（压）时的力学性能，内力，应力及强度计算，变形及刚度计算，应力状态理论，强度理论，组合变形构件的强度计算，能量法，超静定结构分析，压杆稳定，交变应力，电测应力分析基础，塑性极限分析，平面图形的几何性质等。每章后面附有习题及答案，供学习时参考。

本书适合作大专、职大、业余大学的中多学时（70~100学时）机械、土建等专业的教材，也适用于作干部培训班的教材，还可供有关工程技术人员和自学者参考。

材 料 力 学

江苏省《材料力学》编写组 编

出版发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：江苏丹阳市文教印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张 17.25 插页 2 字数422,000

1980年11月第1版 1988年11月第1次印刷

印数1—6,400册

ISBN7—5345—0478—3

TH·18

定价：4.85 元

责任编辑 孙广能

前 言

本书是在江苏省教育委员会高等教育局的组织、领导下，参照国家教委关于高等工业学校材料力学课程的教学基本要求（本科），根据江苏省属高等工业专科学校（三年制）材料力学教学大纲修订稿编写的。适用于中多学时（70~100学时）的机械、土建等专业。

本书的体系采取了归类阐述方法，以内力、应力、变形等设章。教学实践表明，这样做有利于加深基本概念的理解，有利于加强基础知识的掌握。

本书在内容的取舍、例题和习题的编列等方面，除了注意加强基本理论、基本概念和基本方法外，还努力注意反映现代科学技术的发展。本书还注重学生分析问题和解决问题的能力训练与培养。此外，本书一方面力求内容少而精，另一方面也希望有一定的深度和广度，以利不同专业、不同读者对象选用。对有一定深、广度的内容以“*”标出或以小号字排出。

本书采用的字符及其下标，力学的量和单位，有关名词术语等，力求符合我国有关的最新规定。所引重要技术资料，直接取自我国有关的最新标准或最近出版的手册。

江苏省教委高等教育局聘请了南京工学院陆耀洪和胡增强两同志担任本书的主审。江苏、江西、湖北、河南等省的兄弟院校的代表叶宗石、张鹏、余家琪、何培恒、金永昌、杨仲为、赵勇源等同志也参加了审稿。他们对全稿提出了不少很好的修改意见，编者所在单位的领导和同事也给予了很大的支持。谨此一并致谢。

本书第一章至第八章及第十五章和附录 I 至 III，由扬州工学院郑先章编写，第九章至十四章由南通纺织工学院盛季生编写。编者各自完成了所编部分的习题解答。

限于编者水平，本书疏漏之处在所难免。热诚希望广大教师和读者批评、指正，以利本书再版时修正。

编 者

1987年12月

FL4 / 15

目 录

第一章 绪论

§ 1 · 1 材料力学的任务	(1)
§ 1 · 2 材料力学的研究对象及研究方法	(1)
§ 1 · 3 内力的概念	(3)
§ 1 · 4 应力与应变 虎克定律	(5)
习题	(7)

第二章 材料拉(压)时的力学性能

§ 2 · 1 概述	(9)
§ 2 · 2 低碳钢拉伸时的力学性能	(10)
§ 2 · 3 其它金属材料拉伸时的力学性能	(13)
§ 2 · 4 金属材料压缩时的力学性能	(14)
· § 2 · 5 常用非金属材料拉(压)力学性能简介	(16)
· § 2 · 6 温度对材料的力学性能的影响	(18)
· § 2 · 7 蠕变和松弛的概念	(19)
§ 2 · 8 极限应力 许用应力 安全系数	(19)
习题	(20)

第三章 内力

§ 3 · 1 拉(压)杆的内力——轴力	(21)
§ 3 · 2 扭转杆的内力——扭矩	(22)
§ 3 · 3 平面弯曲 静定梁的基本形式	(24)
§ 3 · 4 梁的内力——切力和弯矩	(25)
§ 3 · 5 切力图 弯矩图	(27)
§ 3 · 6 弯矩、切力、载荷集度三者之间的微积分关系及其应用	(30)
· § 3 · 7 刚架的轴力图和弯矩图	(33)
习题	(34)

第四章 应力及强度计算

§ 4 · 1 拉(压)杆的应力及其强度计算	(40)
§ 4 · 2 应力集中的概念	(43)
§ 4 · 3 剪切应力和挤压应力及其强度计算	(45)
§ 4 · 4 圆轴的应力及其强度计算	(49)
§ 4 · 5 矩形截面杆扭转应力简介	(53)
§ 4 · 6 切应力互等定理 纯剪切	(54)
§ 4 · 7 梁的正应力	(55)
§ 4 · 8 梁的切应力	(61)
§ 4 · 9 梁的强度计算	(66)
§ 4 · 10 提高弯曲强度的一些途径	(69)

§ 4 · 11 开口薄壁杆的弯曲中心	(71)
---------------------	--------

习题	(73)
----	--------

第五章 变形及刚度计算

§ 5 · 1 概述	(81)
------------	--------

§ 5 · 2 拉(压)杆的变形	(81)
------------------	--------

§ 5 · 3 拉伸和压缩中的超静定问题	(85)
----------------------	--------

§ 5 · 4 圆轴的扭转变形及刚度计算	(88)
----------------------	--------

§ 5 · 5 弯曲变形的度量 挠曲线近似微分方程	(91)
---------------------------	--------

§ 5 · 6 用积分法求弯曲位移	(92)
-------------------	--------

§ 5 · 7 用叠加法求弯曲位移	(96)
-------------------	--------

§ 5 · 8 弯曲刚度计算	(100)
----------------	---------

§ 5 · 9 用变形比较法解简单超静定梁	(100)
-----------------------	---------

习题	(103)
----	---------

第六章 应力状态理论

§ 6 · 1 应力状态的概念	(110)
-----------------	---------

§ 6 · 2 平面应力状态分析——解析法	(112)
-----------------------	---------

§ 6 · 3 平面应力状态分析——图解法	(115)
-----------------------	---------

§ 6 · 4 三向应力状态的最大应力	(121)
---------------------	---------

§ 6 · 5 梁的主应力迹线的概念	(121)
--------------------	---------

§ 6 · 6 广义虎克定律	(122)
----------------	---------

习题	(124)
----	---------

第七章 强度理论

§ 7 · 1 强度理论的概念	(127)
-----------------	---------

§ 7 · 2 常用的四个强度理论	(129)
-------------------	---------

§ 7 · 3 四个强度理论的相当应力及适用范围	(131)
--------------------------	---------

习题	(133)
----	---------

第八章 组合变形构件的强度计算

§ 8 · 1 概述	(135)
------------	---------

§ 8 · 2 偏心拉伸或压缩强度计算	(137)
---------------------	---------

§ 8 · 3 截面核心的概念	(141)
-----------------	---------

§ 8 · 4 斜弯曲强度计算	(142)
-----------------	---------

§ 8 · 5 弯曲与扭转组合强度计算	(146)
---------------------	---------

习题	(151)
----	---------

第九章 能量法

§ 9 · 1 概述	(155)
------------	---------

§ 9 · 2 应变能和余能	(155)
----------------	---------

§ 9 · 3 杆件应变能的计算	(157)
------------------	---------

§ 9 · 4 卡氏定理	(158)
--------------	---------

§ 9 · 5 单位载荷法	(162)
---------------	---------

§ 9 · 6 互等定理	(168)
--------------	---------

§ 9 · 7 冲击载荷产生的应力和变形	(169)
----------------------	---------

• § 9 • 8 圆柱形密圈螺旋弹簧的变形.....	(172)
习题.....	(173)
第十章 超静定结构分析	
§ 10 • 1 超静定问题的分类与超静定次数.....	(177)
§ 10 • 2 利用对称性降低结构的超静定次数.....	(179)
§ 10 • 3 用力法计算超静定结构.....	(179)
习题.....	(184)
第十一章 压杆稳定	
§ 11 • 1 概述.....	(188)
§ 11 • 2 压杆临界力的计算——欧拉公式.....	(189)
§ 11 • 3 欧拉公式的适用范围 经验公式.....	(192)
§ 11 • 4 压杆的稳定性校核.....	(196)
§ 11 • 5 提高压杆稳定性的措施.....	(200)
习题.....	(200)
第十二章 交变应力	
§ 12 • 1 交变应力与疲劳破坏.....	(203)
§ 12 • 2 疲劳破坏过程.....	(205)
§ 12 • 3 S-N曲线 疲劳极限.....	(206)
§ 12 • 4 构件的疲劳极限.....	(207)
§ 12 • 5 疲劳强度计算.....	(212)
• § 12 • 6 疲劳损伤累积理论 线性公式.....	(218)
习题.....	(221)
*第十三章 电测应力分析基础	
§ 13 • 1 概述.....	(223)
§ 13 • 2 电测法的基本原理.....	(223)
§ 13 • 3 应变、应力的测量.....	(226)
*第十四章 塑性极限分析	
§ 14 • 1 概述.....	(231)
§ 14 • 2 拉(压)超静定问题的极限分析.....	(231)
§ 14 • 3 圆轴扭转的极限扭矩.....	(233)
§ 14 • 4 梁的塑性弯曲 极限弯矩 塑性铰.....	(234)
§ 14 • 5 梁的极限分析.....	(236)
§ 14 • 6 残余应力的概念.....	(238)
习题.....	(239)
*第十五章 平面图形的几何性质	
§ 15 • 1 静矩和形心.....	(241)
§ 15 • 2 惯性矩 极惯性矩 惯性半径.....	(243)
§ 15 • 3 惯性矩平行移轴公式 组合图形惯性矩.....	(248)
§ 15 • 4 惯性积及其平行移轴公式简介.....	(251)
§ 15 • 5 转角公式 主惯性轴及主惯性矩.....	(252)
习题.....	(255)

附录 I	计量单位表.....	(257)
附录 II	常用工程材料的力学性能.....	(258)
附录 III	型钢.....	(260)
附录 IV	部分习题答案.....	(266)

第一章 绪 论

§ 1·1 材料力学的任务

在机械、土建、交通、航空、石油、化工、轻纺等行业中，广泛应用各种机械或工程结构。工程技术人员的重要任务之一，是为组成机械或工程结构的每一个元件即构件，选用合适的材料，并确定其几何形状和尺寸大小。构件的造价应低廉，工作时应安全可靠。这是设计构件时所追求的两个主要目标。但经济与安全之间往往存在矛盾。在力学分析和计算方面，材料力学为初步了解和解决这一矛盾，提供了一些基本的概念和方法。

工程实际中，每一个构件一般都将受到载荷（土建工程中习惯上称为荷载）的作用。要使构件能正常工作，则应具有足够的承受载荷的能力。这种能力可称为承载能力。因工作情况会有差异，因而对构件承载能力的要求也就不同。例如，对起重吊索和自行车链条，首先要求它们不断开，即要求有足够的强度；又如，对机床主轴和房屋楼板，就要求它们的变形（形状和尺寸的改变）在某一限度以内，即要求有足够的刚度；再如，对机床丝杆和房屋的柱等一类细长直杆，在压力作用下要求它们能保持原有的直线平衡形态，即要求有足够的稳定性。通常，在载荷作用下为使构件能正常工作，则应满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求。

所谓强度，是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力；

所谓刚度，是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力；

所谓稳定性，是指构件在载荷作用下，保持其原有平衡形态的能力。

当然，根据不同工作情况，对有些构件只要求能满足其中的一、二项，有些则要求同时满足三方面要求。

一般说来，加大构件横截面尺寸或选用优质材料，可以满足上述三方面要求。但前者使构件重量增加，因而增加材料消耗，而后者亦增加材料费用。总之，经济性差。反之，若截面尺寸过小，材料太差，则虽然经济，但往往不能满足工作要求。

构件的承载能力与其所用材料的力学性能有密切关系。所谓力学性能，是指材料在外力作用下的变形与破坏规律。材料的力学性能要通过试验来测定。

综上所述，材料力学的研究范畴包括：研究材料在载荷作用下的力学性能，研究构件的承载能力与其经济性之间的联系，为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析方面的理论基础和基本计算方法。

§ 1·2 材料力学的研究对象及研究方法

一、研究对象

理论力学因为只研究物体的机械运动，故将所研究的物体抽象化为永不变形的刚体。实

实际上,受载荷作用的物体均会发生变形。材料力学研究构件的承载能力,需要考虑变形。所以,材料力学所研究的物体应视为可变形的,即可变形固体,简称变形体。另外,材料力学只研究物体的“宏观”方面的变形,一般不探讨物质微观结构的改变。由于构件材料的微粒或晶体的空隙,与构件的尺寸相比极为微小,且晶粒的排列是不规则的,因此,假设“变形体的整个几何空间均毫无空隙地充满了物质,并且该空间内各点、各个方向上的力学性能完全相同”。即视变形体的材料为“连续、均匀、各向同性”。各个方向上力学性能相同的材料称为各向同性材料。铸钢、铜、搅拌得比较好的混凝土和浇注得比较好的铸铁等材料,可视为各向同性材料。木材和纤维制品等在不同方向上力学性能不同,称为各向异性材料。材料力学主要研究各向同性材料。

变形体在外力作用下所产生的变形一般分为弹性变形和塑性变形两种。外力撤除后能消失的变形称为弹性变形,反之,称为塑性变形或残余变形。材料力学主要研究弹性变形。大多数构件在载荷作用下的变形是弹性变形,并且该变形很微小。所以,在材料力学中,一般只研究小变形,即构件的变形值与其原尺寸相比是很小的这样一种情况。在此情况下,利用平衡条件求取构件的某些未知力时,仍按变形前的尺寸进行计算。例如,图 1-1 所示支架的 1、2 两杆,在载荷 P 作用下均发生了变形,以致支架的几何形状和 P 作用位置均发生了改变。但因变形引起的位移 δ_1 和 δ_2 的值均远小于支架的其它尺寸,故在计算两杆所受力时,忽略 δ_1 和 δ_2 的影响,仍用支架变形前的几何形状和 P 的作用位置。

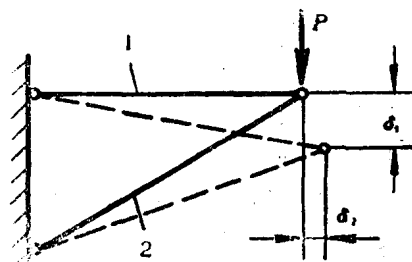


图 1-1

构件的几何形状形式很多。其中,一个方向的尺寸远大于其余两个方向尺寸的构件称为杆件,简称杆。沿着杆的轴线即长度方向称为杆的纵向,与纵向垂直的方向称为杆的横向。沿着杆的横向所取的截面称为横截面,横截面形心的连线称为杆的轴线(图 1-2)。轴线是直线的杆称为直杆,轴线是曲线的杆称为曲杆。杆的各横截面尺寸均相同者称为等截面杆,否则称为变截面杆。材料力学主要研究等直杆,即等截面的直杆。

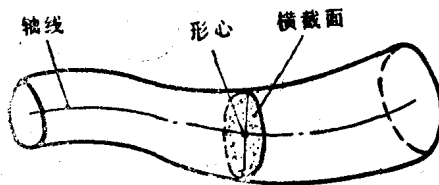


图 1-2

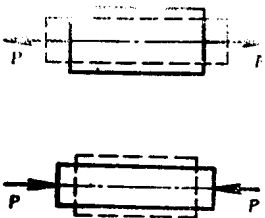
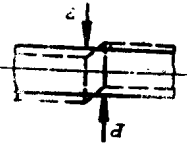
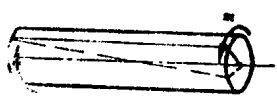
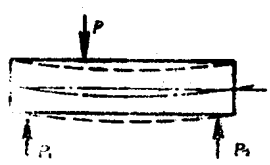
杆上的外力作用方式不同时,杆产生的变形形式也不同,但一般可简化为拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲四种,习惯上称为杆的四种基本变形,或者是基本变形形式中的两种或两种以上的组合,称为组合变形。表 1-1 列出了等直杆的四种基本变形的受力特点和变形特点。表中图示虚线表示变形后的情形。

工程上,将受轴向拉伸或压缩的杆件称为拉(压)杆,将以扭转变形为主的杆件称为轴,将以弯曲变形为主的杆件称为梁。

综上所述,材料力学的主要研究对象,从材料来说是连续、均匀、各向同性的固体材料;从几何形状来说是等直杆;从变形来说是四种基本变形形式或是其组合变形;从变形性质来说是弹性范围内的小变形。

表 1-1

基本变形表

变形形式	受力和变形简图	受力特点	变形特点
拉伸与压缩		外力合力 P 的作用线沿杆轴线	杆沿轴向发生伸长或缩短, 沿横向则变细或变粗
剪切		一对大小均为 P 、方向相反、作用线靠得很近的外力, 垂直于杆轴线作用	外力 P 之间的横截面发生相对错动
扭转		一对矩均为 m 、转向相反的力偶, 在与杆轴线垂直的两平面内作用	各横截面绕杆轴线发生相对转动
弯曲		垂直于杆轴线的平衡力系	杆的轴线由直线变为曲线

二、研究方法

材料力学在研究问题时, 往往通过对实验现象的观察与分析, 将研究对象的受力或变形作出一些假设, 而得出某些结论或建立便于工程应用的公式。显然, 根据假设所得的结论是否正确, 需经实验验证或工程实践的检验。故一般说来, 材料力学的研究方法需有实验、假设、理论、再实验或实践。

构件的承载能力均与其所用材料的力学性能有关, 这些性能须用实验直接测定。此外, 某些实际工程问题, 往往需经实验寻求直接或补充答案。因此, 材料力学研究离不开实验。

分析构件的强度、刚度和稳定性问题, 均须研究构件的内力与变形。所以, 本书将首先集中介绍在外力作用下, 构件内部所产生的内力, 然后阐述构件的变形及应力等。

§ 1·3 内力的概念

设构件 AB 在任一空间力系作用下处于平衡状态(图 1-3a), 若假想地用一平面 K 沿

任一横截面 mn 处截开, 得到 A 与 B 两个部分(图1-3b)。这两个部分为保持各自的平衡, mn 截面上必均存在连续分布的内力。显然, 这种内力系由外力所引起, 它代表了 A 与 B 两个部分之间的相互作用。即是说, **内力是在外力作用下, 构件内部相联接两部分之间的相互作用力**。若将各处分布内力向 mn 截面形心 O 简化, 一般可得主矢 P_0 和主矩 M_0 (图1-3c)。在 xyz 直角坐标系中, 分别将主矢 P_0 和主矩 M_0 向三个坐标轴投影, 可得内力合力的六个分量: N 、 Q_y 、 Q_z 三个集中力和 M_x 、 M_y 、 M_z 三个力矩(图1-3d)。这些内力分量称为内力素。材料力学中, 将过截面形心且沿该截面的外向法线(简称外法线)的内力分量称为**轴力**, 记为 N ; 切于截面的内力分量称为**剪力**(习惯上又称为剪应力), 记为 Q ; 对截面外法线

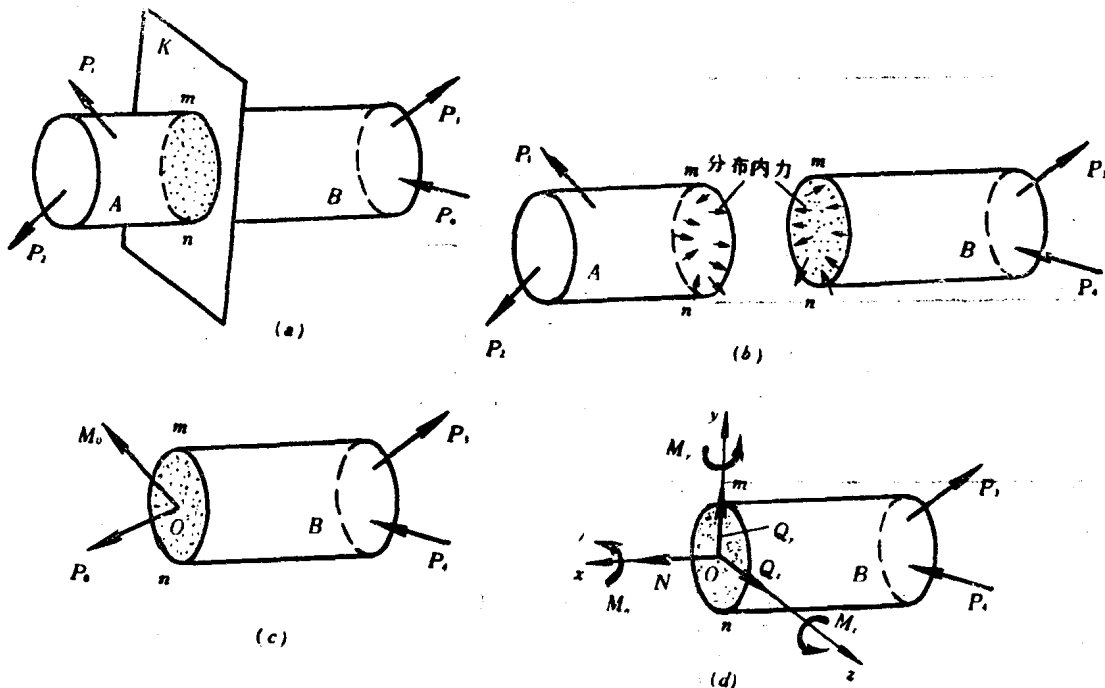


图 1-3

的距称为**扭矩**, 记为 M_n ; 对其余两个轴的矩称为**弯矩**, 记为 M 。概括地说, 构件的内力素有轴力、剪力、扭矩和弯矩四种类型, 习惯上统称为内力。

例1-1 杆 AB 受均布载荷 q 作用如图1-4(a)所示。试求横截面 C 上内力。

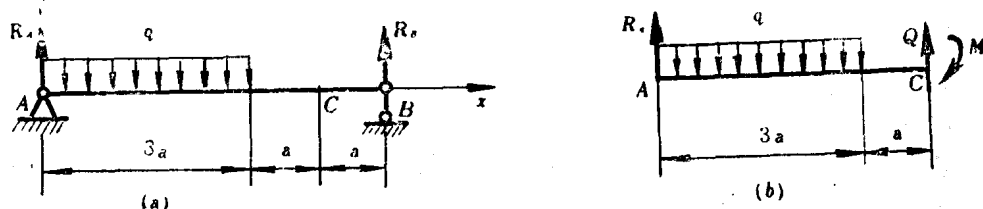


图 1-4

解: 欲求杆的内力, 必须知道作用在杆上的所有外力。为此, 首先求出反力。

选取直角坐标系如图1-4所示。

$$\sum M_B = 0, R_A(3a + a + a) - q \cdot 3a \left(\frac{3a}{2} + a + a \right) = 0$$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad R_A &= 2 \cdot 1qa \\ \Sigma Y = 0, \quad R_A - q \cdot 3a + R_B &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{得} \quad R_B = 0.9qa$$

假想地用一平面沿C截面截开，且取截面左段为分离体（图1-4b）。由于外力是平面平行力系，故C截面上只可能存在切力 Q 和弯矩 M 。

$$\Sigma Y = 0, \quad R_A - q \cdot 3a + Q = 0$$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad Q &= -R_A + q \cdot 3a \\ &= 0.9qa \end{aligned}$$

计算结果为正，说明 Q 的实际方向与图1-4(b)所示方向一致。

对C截面形心 O 取矩（在图上， O 一般可不标出），

$$\Sigma M_O = 0, \quad R_A(3a+a) - q \cdot 3a \left(\frac{3a}{2} + a \right) + M = 0$$

$$\begin{aligned} \text{得} \quad M &= -R_A \cdot 4a + 7.5qa^2 \\ &= -0.9qa^2 \end{aligned}$$

负号表示 M 的实际方向与图1-4(b)所示方向相反。

由上计算可知，C截面上内力有两个，即切力 $Q=0.9qa$ ，方向与图1-4(b)所示的 $\uparrow$ 一致；弯矩 $M=0.9qa^2$ ，方向与图1-4(b)所示的 $\curvearrowright$ 转向相反，即实际转向为 $\curvearrowleft$ 。

必须指出，材料力学中内力偶矩的正负规定与理论力学不同，详见第三章。

由上述可知，求构件某截面上内力时，假想地用一平面将构件沿该截面截开为两部分，使截面上内力显示出来。因两部分在同一截面上的内力互为作用与反作用，所以任取一个部分建立平衡方程，就可求出内力。这种假想地用一截面将构件截分为二，在截面上显示和确定内力的方法，称为**截面法**。它是确定内力的基本方法。

最后须强调指出，理论力学中关于力的可传性原理及力的平移定理等，在材料力学中不能随便应用，否则，将导致错误结果。

§ 1.4 应力与应变 虎克定律

一、应力的概念

图1-5所示变截面直杆，受轴向拉力 P 作用，杆任一横截面上的轴力必相等。但是， A 、 B 两横截面面积不相等，所以两横截面上连续分布内力的密集程度（简称集度）不会相同。在较小的横截面上将有较大的内力集度，杆将在内力集度最大的截面处断开。因此有必要介绍描述截面上内力集度的物理量即应力。

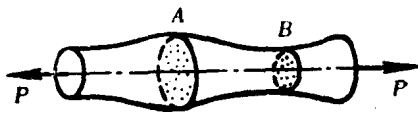


图 1-5

一般情况下，截面上各点处的应力并不相同。图1-6(a)中， K 为 mn 截面上任意一点， ΔA 为包含 K 点的微小面积， ΔP 是 ΔA 上分布内力的合力，则 K 点处的应力定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1-1)$$

因 ΔP 是矢量, ΔA 是标量, 故应力 p 是矢量, 其方向一般既不垂直也不平行于 mn 截面。若将应力 p 沿截面法向和切向分解, 则垂直于截面的分量称为正应力, 用 σ 表示; 切于截面的分量称为切应力 (剪应力), 用 τ 表示, 如图 1-6 (b) 所示。

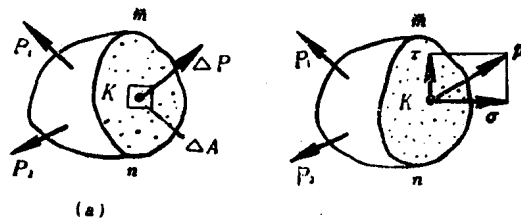


图 1-6

在 SI 单位制中, 应力的单位为帕斯卡, 国际代号为 “Pa”, 中文代号为 “帕” (参见附录 I)。由于单位帕太小, 通常使用兆帕 (MPa), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

二、应变的概念

构件在外力作用下, 其尺寸和 (或) 几何形状将发生改变。为了深入地研究变形, 就需要分析一点处的变形程度。为此, 下面介绍线应变和切应变这两个物理量。

设 A 、 B 是构件内相距很近的两点。构件变形前线段 AB 长为 Δl , 变形后 AB 长变为 $(\Delta l + \Delta u)$, 如图 1-7 (a) 所示。线段 AB 长度的增量 Δu 是 AB 的绝对伸长量, 它表示线性尺寸的改变量, 故称为线变形。比值

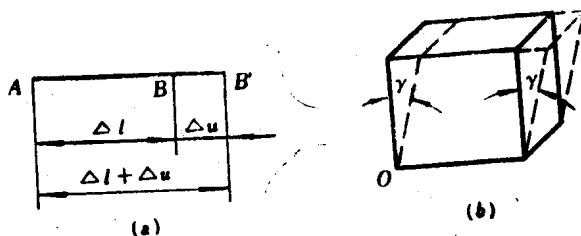


图 1-7

$$\bar{\epsilon} = \frac{\Delta u}{\Delta l}$$

表示线段 AB 沿长度方向的均匀变形程度。 $\bar{\epsilon}$ 称为 AB 的平均线应变。一般情况下, 线段 AB 内各点处的变形程度并不相同。若令 B 点向 A 点无限趋近, 则极限值为

$$\epsilon_{AB} = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta l} = \frac{du}{dl} \quad (1-2)$$

ϵ_{AB} 称为 A 点处沿 AB 方向的线应变。

假设从构件内取出一微小正六面体。受力后该六面体的几何形状在某方向发生歪斜, 即原来两条棱边所夹的直角变成了锐角或钝角。当微体向 O 点趋于无限小时, O 点处直角的改变量 γ 称为该点处的切应变 (剪应变), 如图 1-7 (b) 所示。

由上分析可知, 线应变 ϵ 与切应变 γ 描述的是构件内一点处的线性尺寸和几何形状的改变程度。它们都是无量纲的量。

构件是由无数的点组成的。各点处的变形的累积, 将形成构件的变形。

与线应变 ϵ 相对应的应力是正应力 σ , 与切应变 γ 对应的应力是切应力 τ 。研究表明, 正应力 σ 与线应变 ϵ 之间, 切应力 τ 与切应变 γ 之间, 均存在一定的关系。这些关系是通过材料试验得到的。

三、虎克定律

试验表明, 大多数工程材料在一定的变形范围内, 其正应力 σ 与线应变 ϵ 成正比关系, 即

$$\sigma = E \varepsilon \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

ε — 线应变
 E — 弹性模量, 单位MPa

此关系式称为**虎克定律**。比例常数 E 称为材料的**弹性模量**①。

试验还指出, 在一定变形范围内, 切应力 τ 与切应变 γ 之间也存在类似关系, 即

$$\tau = G \gamma \quad (\text{MPa}) \quad (1-4)$$

γ — 切应变
 G — 切变模量, 单位MPa

此关系式称为**剪切虎克定律**。比例常数 G 称为材料的**切变模量**(剪变模量)。

E 和 G 都是材料的弹性常数。研究表明, 各向同性材料共有三个弹性常数, 即 E 、 G 和泊松比 μ (见§5·2), 并且, $G = E / 2(1 + \mu)$ 。常用材料的 E 、 G 、 μ 值列于表1-2, 以供参考。

表1-2 常用材料的值 E 、 G 、 μ

材 料 名 称	E , GPa	G , GPa	μ
灰 铸 铁	118~126	44.3	0.3
珠 墨 铸 铁	173		0.3
碳 钢、合 金 刚	206	79.4	0.3
轧 制 纯 铜	108	39.2	0.31~0.34
硬 铝 合 金	70	26.5	0.3
铸 铝 青 铜	103	41.1	0.3
玻 璃	55	1.96	0.25
橡 胶	0.00784		0.47
混 凝 土	13.7~39.2	4.9~10.5	0.1~0.18

注: 取自东北工学院机械零件设计手册编写组编《机械零件设计手册》(第二版)上册。

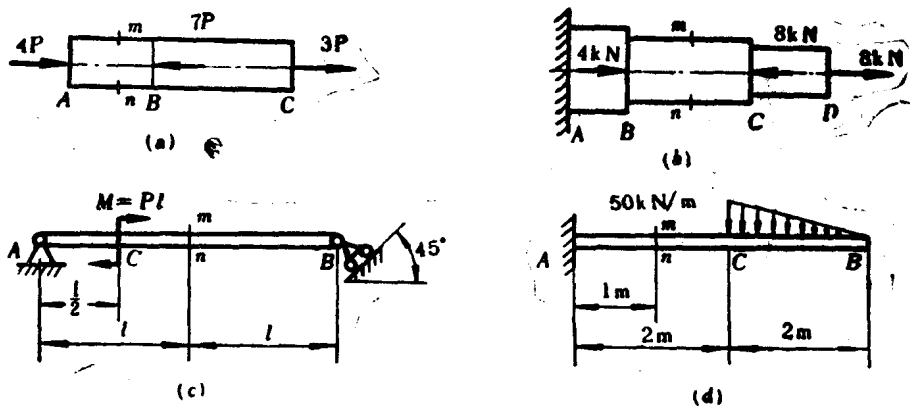
习 题

1-1 何谓内力? 何谓应力? 两者有何区别?

1-2 何谓变形? 何谓应变? 两者有何区别?

①英国科学家虎克(Robert Hooke, 1635~1703), 根据对弹簧的拉伸试验, 得出了弹性变形与拉力成正比的结论, 1678年公开发表了这一成果。后人将描述弹性范围内的应力与应变之间的关系式称为虎克定律。1807年, 英国科学家杨(Thomas Young, 1773~1829), 研究杆的弹性性能时, 导出了比例常数 E , 故弹性模量亦称为杨氏模量。

1-8 试用截面法求图示各 mn 横截面上的内力。



题 1-3图

1-4 某钢杆受轴向载荷作用。若测得A点沿轴线的线应变 $\epsilon = 4.8 \times 10^{-4}$ ，则A点沿轴线方向的正应力为多少？钢的弹性模量 $E = 200\text{ GPa}$ 。

1-5 钢杆和混凝土制品杆均受轴向压缩， $E_{\text{钢}} = 206\text{ GPa}$ ， $E_{\text{土}} = 32\text{ GPa}$ 。试问：

- ① 若两杆横截面上正应力相等，则轴向线应变 $\epsilon_{\text{土}} : \epsilon_{\text{钢}}$ 为多大？
- ② 若轴向线应变 $\epsilon_{\text{土}} : \epsilon_{\text{钢}} = 0.001$ 时，两杆横截面上正应力各为多大？

第二章 材料拉压时的力学性能

§ 2.1 概 述

前面已述, 材料的力学性能 (又称力学性质、机械性能、机械性质) 需通过试验来测定。在很多情况下, 构件的承载能力往往与其所用材料的某些拉伸力学性能有关。因此, 拉伸试验是工程上最常用也是最基本的试验 (学习了第七章, 对此会有较深刻地认识)。

为了分析材料在拉 (压) 时的力学性能, 首先需要分析拉杆横截面上的应力及沿杆轴线的变形。

设图 2-1 (a) 所示杆是桁架中的一根二力杆, P 为外力系的合力。若将杆的两头舍弃, 就可得到轴向拉伸杆的计算简图 (图 2-1b)。用截面法将杆的任一横截面 mn 截开。因杆在轴向拉力 P 作用下处于平衡状态, 故 mn 截面上内力的合力的作用线必沿杆轴线, 并且与 P 大小相等、方向相反。由 § 1.3 可知, 这个合力就是轴力 N (图 2-1c)。因杆的材料是连续、均匀的, 故可认为整个横截面上的微小内力将也是连续、均匀分布。因此, 横截面上各点处的正应力大小相等 (图 2-1d)。设拉杆横截面面积为 A , 杆横截面上正应力为

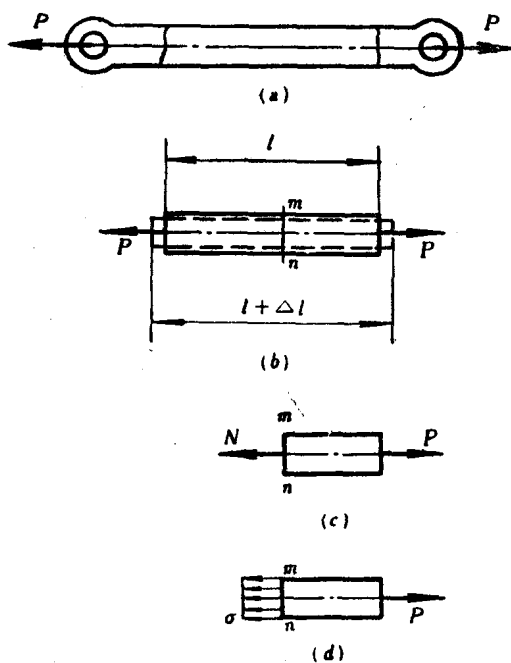


图 2-1

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{或} \quad \sigma = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

因拉杆各个横截面上正应力大小均相等, 所以, 任意两横截面之间的伸长将相同, 即产生均匀拉伸。于是可知, 杆内任一点处沿轴线的线应变与杆沿轴线的平均线应变相等。若拉杆原长为 l , 变形后总伸长量为 Δl (图 2-1b), 则轴向线应变为

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

需要指出, 在外力系作用部位, 杆的应力分布一般很复杂, 并且随外力系作用方式的不同而变化。例如, 图 2-1 (a) 和图 2-2 (b) 两杆的头部, 其应力分布就不相同。但理论分析和实验表明, 外力系作用方式的影响具有局部性质, 只要离开外力系作用部位一定的距离, 应力分布就不受其影响。阐述该问题的原理称为圣维南原理^①。

^①圣维南原理是一普遍原理。这里所述为该原理在拉伸中的应用。