

CAILIAO LIXUE



中等专业学校试用教材

材料力学

辽源煤炭工业学校 李龙堂主编

高等教育出版社

本书是根据一九八二年教育部审定的中等专业学校工科非机械类专业通用的材料力学教学大纲(试行草案)编写的,适合作这类专业材料力学课程的教材(学时数为50~70学时)。

全书除绪论外共分十章,分述:轴向拉伸和压缩,剪切,圆轴的扭转,直梁的弯曲,应力状态和强度理论,组合变形时构件的强度计算,交变应力,线弹性断裂力学简介。

其中带星号的章节可供不同专业选用。全书采用国际单位制。每章末都有小结、思考题和习题,习题后附有答案。

中等专业学校试用教材

材 料 力 学

辽源煤炭工业学校

冯云兰 佟玉清 李龙堂 合编

李龙堂 主编

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

商务印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 8.5 字数 200,000

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数 00,001—20,000

书号 15010·0678 定价 1.50 元

前 言

本书是根据一九八二年十二月教育部审定的中等专业学校工科非机械类专业通用的《材料力学教学大纲》(试行草案)编写的,可作为教学大纲规定学时为50~70的工科中等专业学校非机械类专业材料力学课程的试用教材。

为了满足不同专业的需要,编入了一些选学内容(带*号部分)以供选择。另外将拉压超静定问题、变形比较法解超静定梁、应力状态和强度理论等内容,都独立成节,以便某些少学时专业教学时取舍。

本书采用国际单位制。每章末有小结、思考题、习题,习题后附有答案。

本书由辽源煤炭工业学校冯云兰(第五、六章)、佟玉清(第十章)、李龙堂(绪论及第一、二、三、四、七、八、九等章)合编,由李龙堂主编。

本书由陕西煤矿学校刘文阁、牛新民审稿,刘文阁主审。参加审稿会议的有马秀英、刘连久、祁国臣、邹励书、周饮谦、赵云龙等同志。此外,苏州铁路技术学校过沛渊、长沙冶金工业学校朱传清、成都纺织工业学校曹昌仁、重庆石油学校俞潞珠、长春地质学校陈学椿等同志对书稿提出了宝贵的书面意见,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中谬误在所难免,热诚希望读者批评指正。

编 者

一九八三年十二月

目 录

绪论	1
第一章 轴向拉伸和压缩	10
§ 1-1 轴向拉伸和压缩的概念	10
§ 1-2 轴向拉伸和压缩时横截面上的内力——轴力	10
§ 1-3 轴向拉伸和压缩时横截面上的应力	13
§ 1-4 轴向拉伸和压缩时的变形 虎克定律	15
§ 1-5 材料的机械性质	20
§ 1-6 许用应力及安全系数	25
§ 1-7 构件在拉伸和压缩时的强度计算	26
§ 1-8 应力集中概念	31
§ 1-9 轴向拉伸(压缩)时斜截面上的应力	33
*§ 1-10 拉伸和压缩时的超静定问题	36
*§ 1-11 圆柱形薄壁容器的应力计算	42
习题	47
第二章 剪切	56
§ 2-1 剪切和挤压的概念	56
§ 2-2 剪切实用计算	58
§ 2-3 剪切虎克定律	64
习题	67
第三章 圆轴的扭转	71
§ 3-1 扭转的概念	71
§ 3-2 扭转时横截面上的内力	72
§ 3-3 圆轴扭转时的应力	76
§ 3-4 圆轴扭转时的变形	82
§ 3-5 圆轴扭转时的强度和刚度计算	83

习题	89
第四章 直梁的弯曲	93
§ 4-1 梁弯曲的概念	93
§ 4-2 梁弯曲时横截面上的内力——剪力和弯矩	95
§ 4-3 剪力图和弯矩图	99
*§ 4-4 剪力、弯矩与分布载荷集度间的关系 剪力图与弯矩图 的半图解积分法	110
§ 4-5 梁弯曲时横截面上的正应力	115
§ 4-6 梁弯曲时的强度计算	125
§ 4-7 提高梁的抗弯能力的措施	130
*§ 4-8 梁弯曲时截面上的剪应力	132
§ 4-9 梁的变形	133
*§ 4-10 用变形比较法解静不定梁	140
习题	145
第五章 应力状态和强度理论	152
§ 5-1 应力状态的概念	152
§ 5-2 二向应力状态分析——解析法	155
*§ 5-3 二向应力状态分析——图解法	162
*§ 5-4 三向应力状态及广义虎克定律	166
§ 5-5 强度理论	169
习题	178
第六章 组合变形时构件的强度计算	183
§ 6-1 概述	183
§ 6-2 弯曲与拉伸(或压缩)的组合作用	184
§ 6-3 弯曲与扭转的组合作用	189
习题	198
第七章 压杆稳定	203
§ 7-1 压杆稳定的概念	204
§ 7-2 临界力的确定	205
§ 7-3 压杆稳定计算	210
习题	216

第八章 动荷应力	218
§ 8-1 构件作匀加速运动时的应力计算	218
*§ 8-2 薄圆环匀速转动时的应力计算	220
*§ 8-3 杆受轴向冲击时的应力	222
习题	226
第九章 交变应力	228
§ 9-1 概述	228
§ 9-2 交变应力的种类和循环特性	229
§ 9-3 钢料在交变应力下的破坏特点	232
§ 9-4 钢料的持久极限	233
§ 9-5 影响持久极限的主要因素	236
§ 9-6 提高疲劳强度的措施	238
第十章 线弹性断裂力学简介	242
§ 10-1 断裂力学的基本概念	242
§ 10-2 裂纹的类型、应力场强度因子及断裂韧度	244
§ 10-3 断裂力学在工程上的某些应力	253
附录	258

绪 论

一、材料力学的任务

在理论力学中,把构件看作是刚体,而不考虑构件的变形。但是,通常的构件在外力作用下是要变形的,它能否正常工作,如何保证构件正常工作,有待于进一步研究解决。在工程实际中,所有结构物和机械都是由许多构件组成的,所以,必须使每个构件安全可靠,才能保证整个结构物和机械正常工作。

构件怎样才算安全可靠?首先要求构件在载荷作用下不发生破坏,例如吊车的钢丝绳在起吊重物时不允许发生断裂,否则将会引起严重的不良后果。我们把构件抵抗破坏的能力称为它的强度。因而,要求构件有足够的强度。有的构件在外力作用下虽然不会发生破坏,但由于它产生了过大的变形,也会影响它的正常工作。例如减速箱中的轴,由于受载过大而产生较大的弯曲变形,这就加剧了轴承、齿轮的磨损,不仅影响到零件的寿命,也会影响齿轮的正确啮合和机器的正常运转。我们把构件抵抗变形的能力称为它的刚度。因而,也要求构件有足够的刚度。另外,对于受压的细长直杆,当其压力达到一定数值时,稍有扰动,杆便会由原来的直线平衡状态突然变弯,这种突然改变其原来平衡状态的现象,称为丧失稳定性。这在工程上是不允许的,因此要求受压细长杆能保持其原有直线平衡状态,即具有足够的稳定性。我们所说构件安全可靠,就是要求构件有足够的强度、刚度和稳定性。材料力学的首要任务,就是要研究构件的强度、刚度和稳定性问题。

在设计构件时,不仅要满足安全的要求,还要考虑经济的问

题。要使构件安全,则需多用材料或用强度高的材料;要使构件经济,则要少用材料或用价廉的材料。显然,安全与经济往往互相矛盾。为了加速实现“四个现代化”,就必须很好地解决这一矛盾。因此,材料力学还要按照构件的受力情况和材料的机械性质,为构件选择充分合理的截面形状和尺寸。

综上所述,材料力学的任务就是保证构件在既安全又经济的前提下,建立构件强度、刚度和稳定性计算的理论基础,从而为构件选用适当的材料,确定合理的形状和尺寸。

二、变形固体及其基本假设

在理论力学中,我们曾把物体视为刚体。但是在材料力学中,要研究强度、刚度等问题,物体的变形是不可忽略的,所以将构件视为可变形固体。

为使研究问题方便,常常略去材料的次要性质,只保留它的主要属性,将其简化为一个理想的模型。因此,对可变形固体作了一些基本假设:

1. 均匀连续假设 认为整个物体内充满了物质,没有任何空隙存在,同时还认为物体内任何部分的机械性质都是完全一样的。我们知道,各种材料都是由无数颗粒(如金属中的晶粒)组成的,物质内部存在着不同程度的孔隙,而且各颗粒的性质也不尽相同,但由于材料力学是从宏观的角度去研究构件的强度等问题,材料内部的孔隙与其尺寸相比要小得多,而且所有颗粒的排列又是错综复杂,所以孔隙和颗粒性质的非均匀性对材料性质和分析计算的影响都不算严重。实验证明,这个假设对于钢、铜等金属材料相当适合,而对于石、木材等材料则较差些。

根据这个假设,我们可以从物体的任何部分取出微小正六面体(单元体或微元体)来研究物体的性质。同时,也可把由较大尺

寸试件通过实验所得到的性质运用到尺寸不同的构件或无限小的六面体上。

2. 各向同性假设 认为材料在各个不同的方向都具有相同的机械性质。铸钢、铸铜、玻璃以及混凝土都可以看作是各向同性的材料。

根据这个假设,我们认为从物体任何部分取出的微小六面体在各个方向都具有相同的性质。

只在一定的方向上才有相同的机械性质的材料,称为单向同性材料。例如,纤维整齐的木材、辗钢、钢丝等。

3. 小变形假设 物体在外力作用下所产生的变形与整个物体的尺寸比较起来是很微小的。因而在列出静力平衡方程或作其他分析时,可以不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移。从而使实际计算大为简化。

工程上常用的各种材料在外力作用下将产生变形。试验指出,当外力不超过一定限度时,绝大多数材料在外力解除后都可以恢复原状。但如外力过大,超过一定限度,则外力解除后将遗留一部分不能消失的变形。随外力解除而消失的变形称为弹性变形;而外力解除后不能消失的变形称为塑性变形,也称残余变形或永久变形。一般情况下,要求构件只发生弹性变形,而不允许发生塑性变形。

三、外力及其分类

作用于构件上的外力又可称为载荷,是一物体对另一物体的作用力。按外力作用的方式可分为体积力和表面力。体积力是作用在物体内所有各质点上的外力,例如万有引力(物体自重),惯性力等。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,又可分为分布力和集中力。沿某一面积或长度

连续作用于结构上的外力,称为分布力或分布载荷。分布在一定面积上的分布力,单位用牛顿/米²或兆牛/米²,分别记为N/m²和MN/m²。作用于油缸内壁的油压力,作用于船体上的水压力等均为沿面积的分布力。沿长度分布的分布力单位用牛顿/米或千牛/米,分别记为N/m和kN/m。楼板对屋梁的作用力,即以沿梁轴线每单位长度内作用多少力来度量。若外力分布的面积远小于物体的整体尺寸,或沿长度的分布力其分布长度远小于轴线的长度,则这样的外力可以看成是作用于一点的集中力。火车轮子对钢轨的压力、轴承对轴的反力等都是集中力。集中力的单位是牛顿或千牛,分别记为N和kN。

按载荷随时间变化的情况,又可把外力分成静载荷和动载荷。若载荷由零缓慢地增加到某一定值,以后即保持不变,则这样的载荷称为静载荷。随时间变化的载荷则为动载荷。动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。随时间作周期性变化的载荷称为交变载荷。齿轮转动时轮齿的受力即为交变载荷。物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷称为冲击载荷。急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆所受的载荷都是冲击载荷。

四、内力、截面法、应力

1. 内力的概念

物体内部某一部分与另一部分间相互作用的力称为内力。

物体是由无数颗粒组成的,这些颗粒之间存在着相互作用的内力,从而使各颗粒相互联系以维持物体的原有形状。这说明物体在未受外力之前已经存在着颗粒间相互作用的内力。物体受外力后产生变形,即各颗粒间的相对位置发生了改变,这时颗粒间相互作用的内力也发生变化。材料力学中所研究的内力,就是这种因外力作用而引起的内力改变量,也称为附加内力,简称内力。

必须指出, 内力是由外力引起的, 它随着外力的改变而改变。但是, 它的变化是有一定限度的, 它不能随外力的增加而无限量地增加, 当外力增加到一定程度时, 内力不再随外力的增加而增加, 这时构件就破坏了。由此可知, 内力与构件的强度、刚度均有密切联系, 所以内力是材料力学研究的重要内容。

2. 内力的求法——截面法

求内力的方法是截面法。现以下例来说明。

为了求出截面上的内力, 假想用平面 $m-n$ 将物体分为 A 、 B 两部分(图 1a), 取出其中任一部分 A 为研究对象, 画出 A 部分的受力图(图 1b)。在 A 部分上受有外力 P_1 、 P_2 、 P_3 , 欲使 A 部分保持平衡, 则 B 部分必有力作用于 A 部分的 $m-n$ 截面上, 根据作用反作用定律, A 部分也必然有大小相等、方向相反的力作用于 B 上(图 1c)。按照连续性假设, 在截面 $m-n$ 上各处都将有连续分布的内力, 今后就称这种内力为分布内力, 而将内力这一名词用来代表分布内力的合力(力或力偶)。这里的内力即图 1b 中的力 N 。

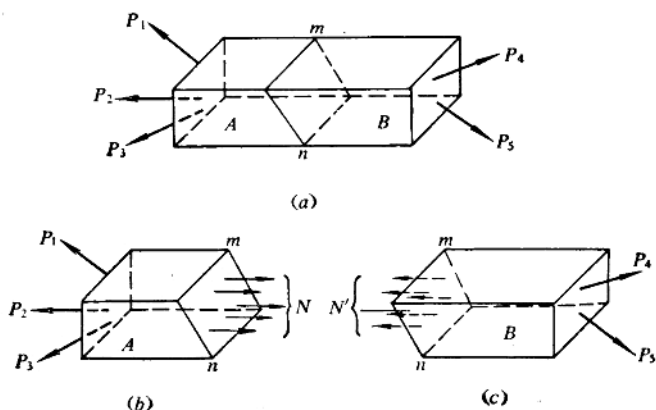


图 1

对整个物体来说 N 、 N' 是内力, 而对于留下的研究对象 A 部分来说截面 $m-n$ 上的内力 N 就成为外力, 因为整个物体处于平衡状态, 因而 A 部分也应是平衡的。这样, 就可以根据 A 部分作用的已知外力, 利用平衡方程来计算出截面 $m-n$ 上的内力 N 。

上述用截面假想地把物体分成两部分, 以显示并确定内力的方法称为截面法。现将截面法的步骤归纳如下:

(1) 截开: 欲求某一截面上的内力时, 就沿该截面假想地把物体截分为两部分, 任意留一部分作为研究对象并弃去另一部分。

(2) 代替: 用作用于截面上的内力(力或力偶)代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 平衡: 对留下的部分建立平衡方程, 根据其上的已知外力来计算截面上的未知内力。

截面法是材料力学中的一个基本方法, 以后各章几乎都要用到。

3. 内力集度——应力

对于每一种材料单位截面面积上能承受的内力, 是有一定限度的, 超过这个限度, 物体就要破坏。为了解决强度问题, 不但需要知道构件可能沿哪个截面破坏, 而且还要知道从截面上哪一点破坏。因此, 仅仅知道截面上的内力总和是不够的, 还必须知道内力在截面上各点的分布情况。为此, 我们引入内力集度的概念。

如果在受力物体内任一截面上的 M 点附近取微面积 ΔA (图 2), ΔA 上内力的合力为 ΔP 。把 ΔP 与 ΔA 之比定义为 ΔA 上内力的平均集度。即

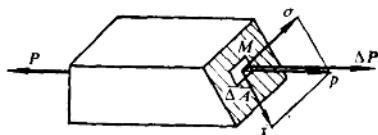


图 2

$$p_m = \Delta P / \Delta A$$

p_m 称为 ΔA 上的平均应力。

当面积 ΔA 趋近于零时, 比值 $\Delta P/\Delta A$ 的极限值, 就成为截面上 M 点处的内力集度, 称为 M 点的应力, 即

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

当截面上各点的应力都相同(即截面上应力均匀分布)时, 应力 p 就等于截面单位面积上的内力。

应力 p 又可称为全应力。它是一个矢量, 它的方向与 ΔP 的方向相同。在材料力学中, 通常把全应力 p 分解为沿截面法线方向的分量 σ 和与截面相切的分量 τ , σ 称为正应力, τ 称为剪应力。

在国际单位制中, 应力的单位是帕斯卡, 其代号为帕(Pa), 1 帕等于每平方米面积上作用 1 牛顿的力 ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)。也可采用帕斯卡的倍数单位千帕斯卡、兆帕斯卡或吉帕斯卡, 其代号分别为千帕(kPa)、兆帕(MPa)、吉帕(GPa)。其中 $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ 、 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 、 $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$ 。显然, $1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$, 这三种表示方法, 都是国际单位制(SI), 可以等价使用。我国自 1981 年 8 月已公布以 MPa 为应力的计量单位, 而以 kgf/cm^2 为应力单位的工程单位制目前仍在沿用。若取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 则国际单位制与惯用的工程单位制的换算关系为

$$1 \text{ MPa} \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$$

五、杆件变形的的基本形式

根据各向尺寸比例的不同, 通常把物体分为三种类型:

1. 一向尺寸较之其他两向尺寸大得多的物体(图 3a, b), 称为杆件, 简称杆。杆件的轴线是直线时称为直杆(图 3b); 杆件的轴线是曲线时称为曲杆(图 3a)。

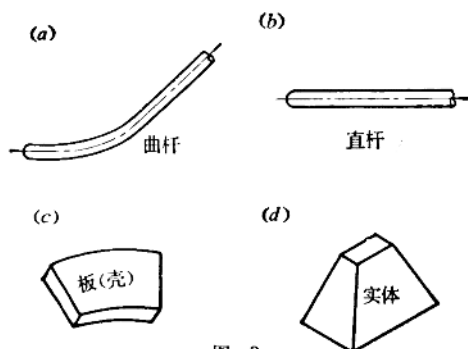


图 3

2. 一向尺寸较之其他两向尺寸小得多的物体(图 3c), 称为板或壳。当其中面为平面时称为板; 而其中面为曲面时称为壳。

3. 三向尺寸都差不多的物体(图 3d)称为实体或块体。

材料力学的主要研究对象是直杆。

当外力以不同的方式作用在杆件上时, 杆件将产生不同的变形。不过变形的形式只有以下四种: (1) 拉伸或压缩(图

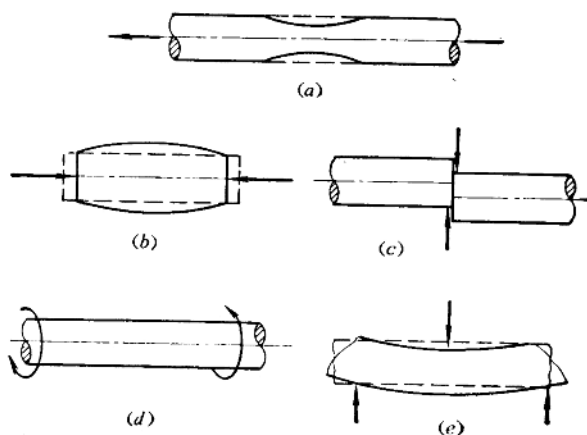


图 4

4a、b); (2) 剪切 (图 4c); (3) 扭转 (图 4d); (4) 弯曲 (图 4e)。

在工程实际中, 杆件的变形都比较复杂, 但可以看成是由以上几种基本变形组合而成的。

本书以后各章, 先讨论基本变形, 然后研究比较复杂的变形。

第一章 轴向拉伸和压缩

§ 1-1 轴向拉伸和压缩的概念

轴向拉伸和压缩是四种基本变形中最简单的一种。在工程上,产生轴向拉伸或压缩的杆件是比较多的。图 1-1 所示的简易吊车中的拉杆 AB 是轴向拉伸的实例;图 1-2 所示建筑物中的支柱是轴向压缩的实例。

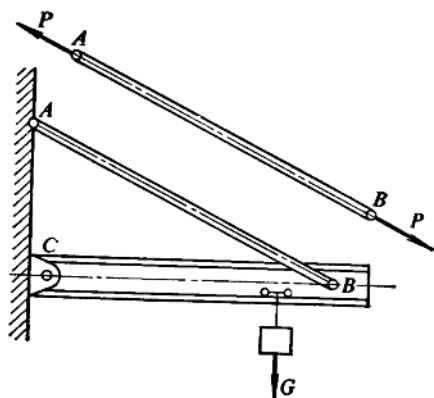


图 1-1

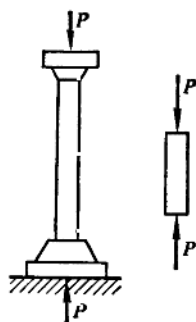


图 1-2

由以上实例可以看出,作用于直杆上的外力(合力)作用线与杆件的轴线重合时,杆只产生沿轴线方向的伸长或缩短变形,这种变形形式,称为轴向拉伸或压缩。

§ 1-2 轴向拉伸和压缩时横截面上的内力——轴力

垂直于杆件轴线的截面,称为横截面。下面,研究轴向拉伸

或压缩时，横截面上的内力，即横截面上分布内力的合力（总内力）。

设一直杆同时受力 P_1 、 P_2 、 P_3 作用，其作用点分别为 A 、 B 、 C （图 1-3a），求横截面 1-1、2-2 上的内力。为了求出 1-1 横截面上的内力，应用截面法。

截面法的步骤如下：

1. 将杆沿截面 1-1 截开，保留右边部分（图 1-3b）。

2. 以截面上的内力 N_1 来代替弃去部分对保留部分的作用。由于轴向拉伸和压缩时外力都作用在轴线上，故截面上内力作用线亦应与轴线重合，即此时的内力垂直于横截面并通过形心。所以把轴向拉伸和压缩时横截面上的内力称为轴力。先假设 N_1 的指向离开截面，即与截面的外法线同方向，如果该方向是正确的，显然杆件在该截面上受拉伸。

3. 对保留部分列出平衡方程：

$$\sum F_x = 0 \quad P_2 - P_3 - N_1 = 0$$

即

$$N_1 = P_2 - P_3$$

上式可以理解为，截面上的内力等于截面右侧所有外力的代数和。式中 P_2 为正号（与截面外法线方向相反）， P_3 为负号（与截面外法线方向相同）。由整体平衡可以看出， $P_2 = P_1 + P_3$ ，即 $P_2 > P_1$ ， $P_2 > P_3$ ，故 N_1 为正值。

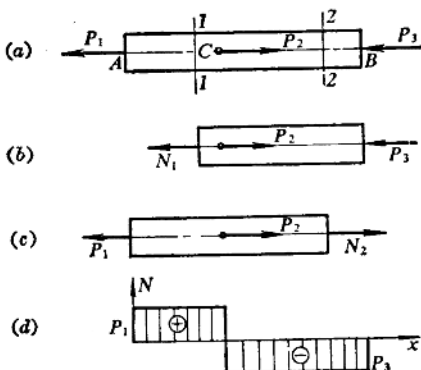


图 1-3