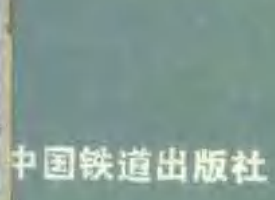
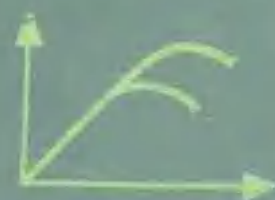


高等学校专修科试用教材

材料力学

兰州铁道学院 罗 正 主编



中国铁道出版社

7612
121

高等学校专修科试用教材

材 料 力 学

(工程力学第二册)

兰州铁道学院	罗 亚	主 编
长沙铁道学院	荣崇录	主 审
石家庄铁道学院	陈惠生	



中 国 铁 道 出 版 社

1988年·北京

内 容 简 介

本书是高等学校专修科试用教材，是根据专修科学时少、内容全面的特点进行编写的。因此，在编写中力求以叙述简明、讲清概念、介绍方法为主比较全面地阐述了材料力学的基本内容。

本书主要介绍轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲等基本变形的分析计算，应力状态与强度理论，压杆稳定的概念及稳定条件，等加速运动构件、匀速转动构件的应力计算及杆件受冲击时的应力和变形等。

本书除供专修科教学使用外，还可供自学者学习参考。

2088/30
10

高等学校专修科试用教材

材 料 力 学

兰州铁道学院 罗亚 主编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 李云国 封面设计 王翰平

各地新华书店 经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：9.875 字数：258 千

1988年11月第1版 第1次印刷

印数：0001—5000册 定价：2.60元

前 言

为了适应高等学校专修科的教学及自学者的需要，在兰州铁道学院为干部班、专修科主编的《工程力学》讲义中材料力学部分的基础上编写了这本教材。考虑到学生的具体情况和学时少的特点，在编写中力求以叙述简明、讲清概念、介绍方法为主，以较少的篇幅保证材料力学的基本内容，并协调了与理论力学和结构力学内容的相互衔接和配合。

本书主要介绍轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态与强度理论，组合变形、压杆稳定、动荷载与疲劳强度计算等基础理论及其计算应用。

该书主要用于土建类（兼顾机械类）专业的专修科，教学时数为60~70学时。

本书由兰州铁道学院罗亚同志主编，长沙铁道学院荣崇录和石家庄铁道学院陈惠生二位同志主审。参加编写的有：兰州铁道学院罗亚（第三、四、六、七章）、刘章纬（第一、二、五章），北方交通大学王家石（第八、九章）等同志。

在编写过程中得到西南交通大学、石家庄铁道学院、长沙铁道学院、北方交通大学、兰州铁道学院等单位和有关同志的支持，在此表示衷心的感谢。

编 者

一九八七年四月

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 轴向拉伸和压缩	5
第一节 拉(压)杆横截面上的内力与截面法	5
第二节 拉(压)杆横截面上的应力	9
第三节 拉(压)杆斜截面上的应力	12
第四节 应力集中的概念	14
第五节 拉(压)杆的强度条件及其应用	15
第六节 拉(压)杆的变形(虎克定律)	18
第七节 材料在拉伸、压缩时的力学性能	25
第八节 拉(压)超静定问题	34
习 题	40
第三章 剪 切	48
第一节 接头的假定计算	48
第二节 剪应力互等定理, 剪切虎克定律	54
习 题	56
第四章 扭 转	59
第一节 外力偶矩与横截面的内力	59
第二节 受扭圆轴应力与变形计算	62
第三节 非圆形截面杆的自由扭转	71
习 题	74
第五章 弯 曲	78
第一节 梁的计算	79
第二节 梁的内力——剪力与弯矩	84
第三节 梁的内力图——剪力图与弯矩图	90
第四节 纯弯曲时梁横截面上的正应力	106

第五节	常用截面的几何性质	113
第六节	梁的正应力强度条件及其应用	121
第七节	梁的剪切应力与剪应力强度条件	125
第八节	提高梁的承载能力的一些措施	133
第九节	梁的变形	137
第十节	简单超静定梁的一般解法	152
习 题		154
第六章	应力状态与强度理论	166
第一节	应力状态概念	166
第二节	平面应力状态分析及图解法	167
第三节	梁的主应力及主应力迹线	177
第四节	广义虎克定律	179
第五节	强度理论及其应用	183
习 题		191
第七章	组合变形	195
第一节	概 述	195
第二节	斜 弯 曲	197
第三节	偏心压缩 (拉伸).....	202
第四节	弯曲与扭转的组合	209
习 题		216
第八章	压杆稳定	222
第一节	压杆稳定性的概念	222
第二节	细长压杆临界力的欧拉公式及适用范围	224
第三节	压杆的稳定条件及其应用	236
第四节	提高压杆稳定性的措施	244
习 题		246
第九章	动荷载与疲劳强度	250
第一节	等加速运动构件的应力计算	250
第二节	匀速转动构件的应力计算	253
第三节	构件受冲击时的应力和变形	255

第四节 交变应力与疲劳破坏	264
第五节 构件疲劳强度计算	269
习 题	274
部分习题答案	277
附 录	284

第一章 绪 论

一、材料力学的任务

工程中的各种构筑物或机械，虽然形式多样，但它们都是由一些杆件或零部件组成。这些杆件或零部件，工程上统称为构件。

工程中的构筑物，无论是桥梁、隧道，还是房屋，都要承受一定的荷载（例如，车辆重量、结构自重、土壤压力、风压力和水压力等），并按一定的方式传递、分配给每根构件。在荷载作用下，结构必须能安全可靠地工作，组成它的每一根构件也必须是安全可靠的。这种安全可靠可概括为以下三个方面：

1. 足够的强度

任何构件在使用期间都不允许发生破坏。也就是说，构件必须具有足够的抵抗破坏的能力，即应具有足够的强度。

2. 足够的刚度

某些情况下，构件虽有足够的强度，不致发生破坏，但若产生过大的变形，还是不能正常工作。以桥梁为例，倘若弯曲变形过大，车辆便不能平稳地通过。因此，设计构件时，必须将加载后的变形限定在某一范围内，即应具有足够的刚度。

3. 足够的稳定性

某些构件在荷载作用下，还可能出现不能保持原有平衡状态的问题。例如，一根沿轴向受压的细长直杆（图 1-1），当压力不大时，杆只产生缩短变形，仍能保持直线形式的平衡状态；倘若压力增大到某一限度，杆便突

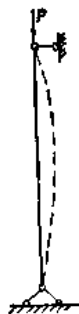


图 1-1

然变弯，从而也就失去了工作能力。这种情况既不是强度不足，也不是刚度不够，而是属于另外一种问题，通常称为丧失稳定性。所以，设计的构件必须具有足够的稳定性。

构件在强度、刚度和稳定性三方面所具有的能力统称为构件的承载能力。对一根实际构件来讲，它在三个方面的能力是不相同的，其中最弱的一个方面将起控制作用。有些构件只需满足一、两个方面的要求，而有些构件则需同时满足三个方面的要求。根据构件的受力情况与使用要求，经济合理地为构件选取材料、确定截面形状和尺寸，使之具有相应的承载能力，工作安全可靠，这就是材料力学的任务。

二、关于构件材料性质的基本假设

固体材料在外力作用下都将产生一定的变形，因此都是变形体。在理论力学中，把固体看成刚体，主要是为了简化力对物体的作用以及力系处于平衡的条件，从而有利于研究物体的机械运动和平衡的普遍规律。或者说，理论力学研究的是力对物体作用的外效应，略去材料的微小变形是合理的。在材料力学中，研究的是构件的承载能力问题，关系到力对构件的内效应，考虑构件的变形，是进行力学分析计算的前提。因此，材料力学认为，一切固体材料都是可变形固体。

对于由可变形固体做成的构件，在进行理论分析时，对材料性质作了以下基本假设。

连续性 这个假设认为，材料内部连续密实地充满着物质，没有空隙和裂缝。

均匀性 这个假设认为，材料各部分的力学性能是完全一样的。这样，我们在进行理论分析时，无论是取构件的整体，或是取构件的任何一部分作为分析对象，都可获得同样的结果。

各向同性 这个假设认为，材料沿各个方向的力学性能是完全相同的。这样，我们在进行理论分析时，就可沿任意方向取分析对象，而其结论保持一致。

以上三条基本假设实际上是对材料性质的宏观认识和概括，略去了实际上存在着的微观差别。实践证明，对实际材料作这样假设是可行的，也是必要的，它是我们进行理论研究的依据。

此外，还应指出，实际构件的变形与构件的原始尺寸相比，常常是很微小的，可以忽略不计，因此，在作静力分析时，仍可按构件的原始尺寸进行。实际变形又分弹性变形与塑性变形两种。当荷载卸去以后，构件变形能立即消失的部分，称为弹性变形，不能消失而残留下来的变形，称为塑性变形或残余变形。材料力学主要研究弹性变形阶段的力学问题。

三、构件的几何特性

工程上构件的形式各种各样，按几何特征分类，一般分为杆、板、薄壳等。材料力学主要研究杆这样一类构件。所谓杆，是指其纵向（沿长度方向）尺寸比其横向（垂直于长度方向）尺寸大得多的构件。我们常见的柱、梁和传动轴等均属于杆。

对这类构件，今后我们常用到这样两个几何元素：构件的横截面和轴线（图 1—2）。轴线是各横截面形心的连线。直杆的轴线为直线；曲杆的轴线为曲线。与杆轴垂直的截面称为杆的横截面。有时我们也会提到其它截面，但最主要的或者首先要讨论的则是横截面。

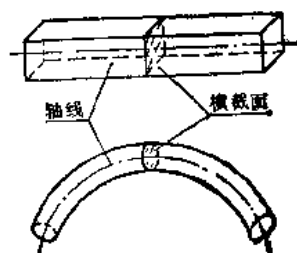


图 1—2

材料力学主要研究直杆的强度、刚度和稳定性问题。

四、杆件变形的形式

实际杆件的变形有时比较复杂，呈现出多样性。但分解来看，基本的变形形式却只有四种。

轴向拉伸或轴向压缩 在一对大小相等，方向相反，作用线与杆的轴线重合的外力作用下，杆件将发生伸长或缩短变形，如图 1—3 (a) (b) 所示。

剪切 在一对相距很近的大小相等、方向相反、作用线与杆的轴线垂直的外力作用下，杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生错动，如图 1—3 (c) 所示。

扭转 在一对大小相等、转向相反、作用平面垂直于杆轴线的力偶作用下，杆的任意两横截面将发生绕轴线的相对转动，如图 1—3 (d) 所示。

弯曲 在杆的一个纵向平面内，作用一对大小相等，转向相反的力偶，这时杆将在纵向平面内弯曲，杆的任意两横截面发生相对倾斜，如图 1—3 (e) 所示。

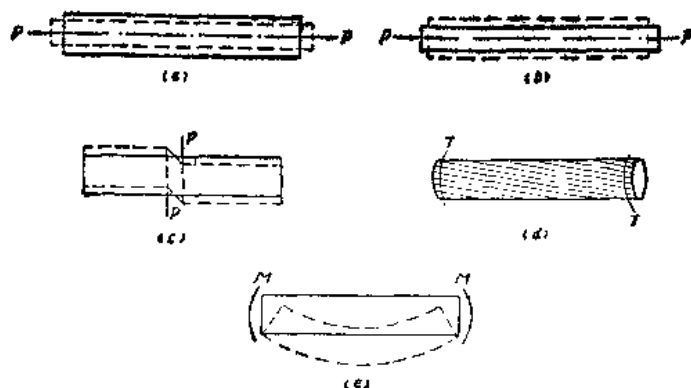


图 1—3

第二章 轴向拉伸和压缩

受轴向拉伸（压缩）的杆件，常见于索、柱以及桁架等结构中。例如图 2—1 所示的桁架桥跨，在只承受结点荷载的情况下，桁架的各结点都可简化为铰，于是桁架的所有杆件都可简化成二力构件。这些构件的力学模型都是处于轴向拉伸或压缩，即中心拉伸或压缩下的直杆，常简称为拉杆或压杆。它们的受力条件是外力（或外力合力）的作用线与杆件的轴线重合，在这种外力作用下，杆件的主要变形是沿杆轴线方向的伸长或缩短。

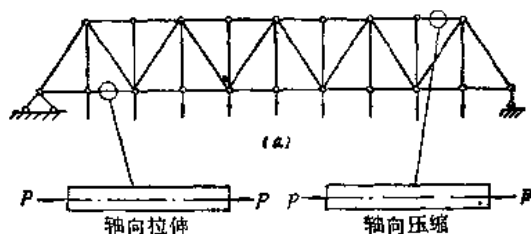


图 2—1

本章主要研究拉、压杆的强度和刚度计算，并结合对一些问题的分析，介绍材料力学的一些基本概念和基本方法。

第一节 拉(压)杆横截面上的内力与截面法

一、内力与外力的概念

外力是一个物体对另一个物体的作用。所以作用在构件或结构上的荷载及由此引起的反力都是外力。在考虑构件自重的影响时，自重也是外力。

力是矢量。所以外力有其大小，方向和作用点。在材料力学中研究外力对构件的内部效应时，明确力的三要素是很重要的。一般来说，不允许将力沿作用线滑移或者用等效力系来取代。

材料力学所讨论的内力，是指构件在外力作用下，由于构件各部分之间相对位置改变而引起的相互作用力。我们知道，即使不受外力作用，物体的各质点之间，依然存在着相互作用的力，材料力学中的内力是指在外力作用下，上述相互作用力的变化量，它是物体内部各个部分之间因外力而引起的附加内力，通常称为内力。可见这样的内力随外力增加而加大，外力消失，内力也消失。但对一定的材料而言，内力只能在这种材料所特有的限度以内增加，超过这个限度，构件就会破坏，可见内力是与构件的强度密切相关的。

由连续性假设可知，内力是分布力，存在于受力构件的每一点处。如果我们假想地将一受力构件沿某一截面完全切开，则该截面上各点处都作用着分布内力。不过，通常所说某一截面上的内力，指的是截面上分布内力的合力，而且像外力一样，内力可以是一个力，也可以是一个力偶。

二、求内力的方法——截面法

受外力作用而处于平衡的构件，其内力一般用截面法来确定。截面法是研究力学问题的基本方法，也是材料力学常用的基本方法。

现以面 2—2 (a) 所示拉杆 AB 为例，说明用这一方法求任一截面上内力的一般步骤。

1. 欲求某一截面上的内力时，沿该截面 $m-m$ 假想地将杆切为两段 (图 2—2a)。

2. 选取其中任一部分 (一

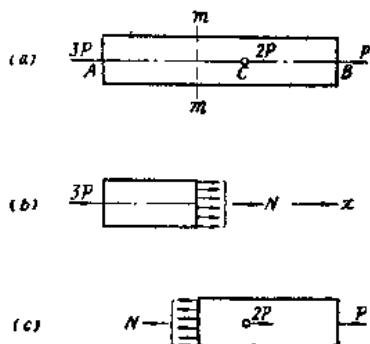


图 2—2

般选取受力较简单的部分) 作为分析对象, 即所谓分离体。

3. 在所选定分离体的切开面上加上欲求的内力 N (对分离体来说 N 是外力), 代替另一段对分离体的作用。同时在分离体上画出原有的外力, 即得分离体的受力图如图 2-2(b) 所示, 未知内力 N 可先假定为拉力, 并以拉为正, 以压为负。

4. 建立分离体上力的平衡条件, 确定未知的内力。

AB 杆在外力作用下处于平衡状态, 其分离体受力后同样处于平衡状态。由于分离体上的原有外力都是轴向力, 故内力 N 也是轴向力, 通常称这样的内力为轴力。于是, 由 $\sum X = 0$ 得

$$N - 3P = 0$$

$$N = 3P \text{ (拉)}$$

也可取右段为分离体来计算内力, 如图 2-2(c) 所示, 由 $\sum X = 0$ 得

$$P + 2P - N = 0$$

$$N = 3P \text{ (拉)}$$

这一结果与以左段为分离体的结果完全一致。

显而易见, 如果把截面取在 BC 之间, 则分离体的轴力的大小就不是 $3P$, 而是 P 。所以, 内力的大小与截面位置有着十分密切的关系。这也是为什么不能将外力沿作用线任意滑移的原因。

【例2-1】 求图 2-3 所示阶梯杆 1-1 和 2-2 截面上的轴力。

【解】 首先取 1-1 截面左段为分离体, 受力情况图 2-3(b) 所示。在截面上加上弃去部分对它的作用力 N_1 , 并设 N_1 指向截面以外 (即按受拉假定)。

由分离体的平衡条件 $\sum X = 0$,

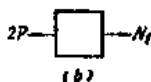
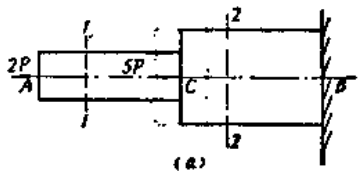


图 2-3

得

$$N_1 - 2P = 0$$

$$N_1 = 2P \text{ (拉力)}$$

同理，在 CB 段内沿 2—2 截面将杆切开，取右段为分离体，其受力情况如图 2—3(c) 所示，右端的 $3P$ 为反力，由平衡条件 $\Sigma X = 0$ ，得

$$N_2 + 3P = 0$$

$$N_2 = -3P$$

所得结果为负值，说明该截面轴力为压力，与假定的相反。

如选取左段为分离体，所得结果相同。

【例2—2】 求等截面直杆（图 2—4a）在自重作用下横截面上轴力沿杆长度的变化规律。设杆的总长为 L ，总重量为 P 。

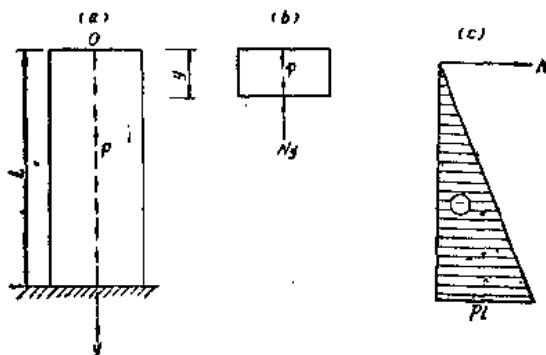


图 2—4

【解】 由于是等截面直杆，杆的自重是沿杆长均匀分布的外力，故单位长度杆的自重为：

$$p = \frac{P}{L}$$

设以杆的轴线为 y 轴，原点设在杆的顶端。沿该杆任一横截面取上段为分离体如图 2—4(b) 所示，并设该截面上的轴力为 N_y 。由于此杆受压，故假定 N_y 指向截面，分离体上的原有外力为 $p \cdot y$ 。

由分离体的平衡条件 $\Sigma Y = 0$ ，得

$$p \cdot y - N_y = 0$$

$$N_y = p \cdot y$$

故 N_y 沿杆长按直线规律变化。在 $y = 0$ 处, $N_y = 0$; 在 $y = L$ 处, $N_y = pL = P = N_{max}$ 。

图 2—4(c) 表示轴力沿杆长的变化规律, 称为轴力图, 其横坐标代表对应截面轴力的大小, 图中负号表示轴力为压力。

第二节 拉(压)杆横截面上的应力

一、应力的概念

判断一根拉(压)杆受力的危险程度, 在一般情况下仅凭轴力的大小是不够的。因为材料有强、弱, 构件有粗、细, 内力在截面上的分布也有是否均匀的问题。在材料相同的情况下, 如果内力在截面上是均匀分布的, 则其危险程度将由单位面积上的受力大小来确定; 如果内力在截面上的分布是不均匀的, 还需确定每一点处的受力大小, 即分布内力在截面上每一点处的集度(密集程度), 才能判断杆的危险程度。分布内力在一点处的集度称为应力。

为了确定杆件的 mn 截面上内力分布的集度, 可在截面上任一 c 点处取一微小面积 ΔA , 设 ΔA 上内力的合力为 ΔP (图 2—5a), 则比值 $\Delta P / \Delta A$ 称为面积 ΔA 上的平均应力, 若用 p_m 表示, 则

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

当 $\Delta A \rightarrow 0$ 时, 得 $\Delta P / \Delta A$ 的极限值 p , 即

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

p 称为 c 点处的应力 (又称为总应力)。

显然, 应力的量纲是 [力]/[长度]²。常用国际单位为 N/m^2 ,

称为帕，记作Pa。 10^9N/m^2 称为兆帕，记作MPa。

这里需要指出，一般来说， P 与 p_n 是不等的， P 是 c 点的应力，而 p_n 是 c 点处微面积 ΔA 的平均应力，只有当内力均匀分布时，截面上的平均应力才等于截面上任一点处的应力。此外，工程上在讨论构件的强度时，通常要用到垂直于截面的正应力和切于截面的剪应力，前者记作 σ ，后者记作 τ 。由图2—5(b)可见，若 P 与截面的外法线 n 的夹角为 α ，则

$$\sigma = p \cos \alpha \quad \tau = p \sin \alpha$$

在本章及以后各章中，我们将着重分析各种构件横截面上的正应力和剪应力。至于总应力 P ，由于它在工程上没有实用意义，只在个别情况提到它。

正应力又分为拉应力和压应力。正应力的符号习惯上规定以拉为正，以压为负；剪应力的符号习惯上规定以代表它的矢有绕截面内侧一点作顺时针旋转的趋势

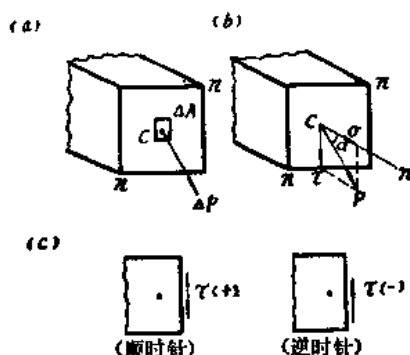


图 2—5

时为正，反之为负如图2—5(c)所示。

二、拉（压）杆横截面上正应力分析

要确定拉（压）杆横截面上任意一点的应力，首先需要弄清内力在该截面上的分布规律，而这种规律既不能仅由静力学条件来确定，也不能凭空判断。唯一可行的办法是通过实验观察杆件受拉（压）时的变形规律，进而确定或判断应力分布规律。

1. 由实验观察确定变形规律

加力前在杆的表面画横向线1—1和2—2（图2—6a）。加力后，横向线发生平移，由原来位置变到1'—1'和2'—2'的位置（图2—6b）。根据材料的均匀性和变形的连续性，由表及