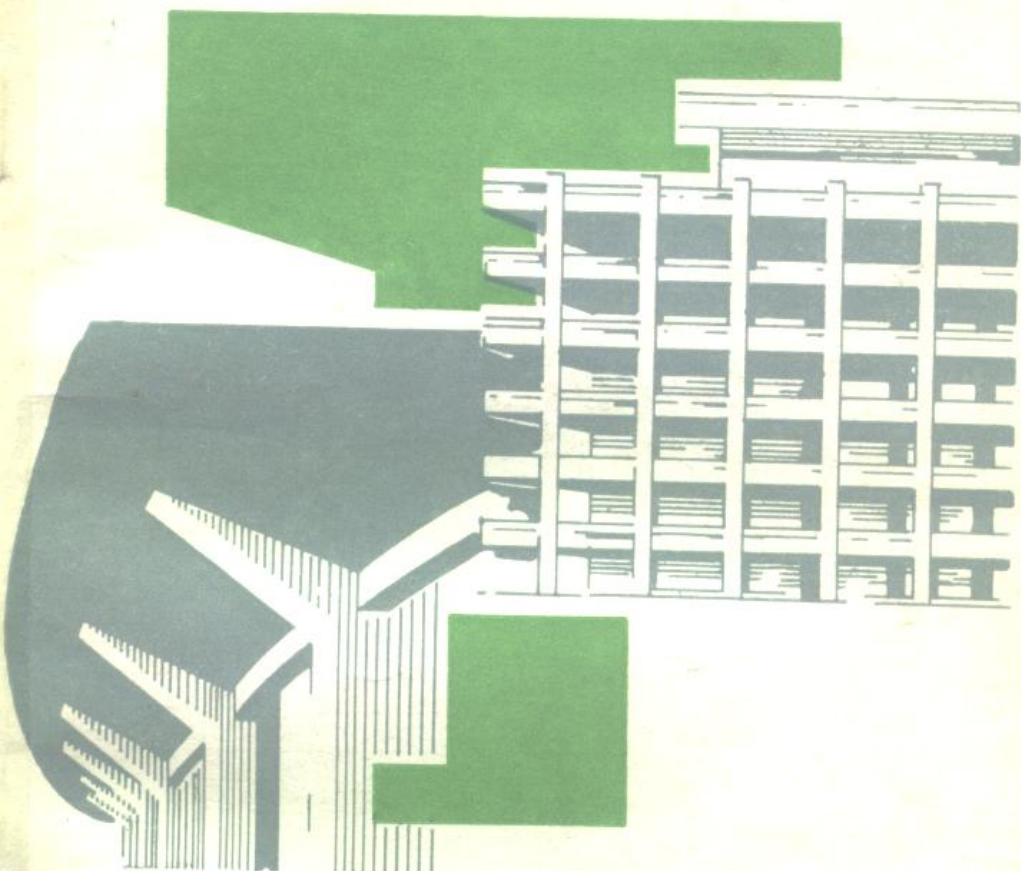


建筑结构基本知识丛书



武汉建筑材料工业学院《材料力学》编写组 编

材料力学

中国建筑工业出版社

建筑结构基本知识丛书

材料力学

(第二版)

武汉建筑材料工业学院《材料力学》编写组 编

中国建筑工业出版社

期 限 表

本书是《建筑结构基本知识丛书》(第二版)之一,主要介绍建筑结构构件的强度、变形和稳定的基本概念和计算方法。书中首先分别介绍简单直杆受拉、压、剪切和扭转作用时的基本应力和变形,然后以梁为主,引出构件受弯曲的概念,并叙述梁的内力和强度计算,最后介绍一些组合变形和压杆稳定问题。第二版普遍加强了分析的叙述。

这套《建筑结构基本知识丛书》包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识,按专题分册出版,每册力求重点突出,并有一定的独立性,以便读者根据需要选读。第二版对原丛书各册的内容作了某些补充或修改。

本书可供具有初中以上文化水平的 basic 建设战线职工和青年自学参考,也可作为职工培训用书。

建筑结构基本知识丛书

材 料 力 学

(第二版)

武汉建筑材料工业学院《材料力学》编写组 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7 $\frac{1}{2}$ 字数: 160千字

1982年7月第二版 1986年12月第四次印刷

印数: 202,601—215,700册 定价: 0.90元

统一书号: 15040·4255

目 录

第一章 绪论	1
1-1 材料力学的任务	1
1-2 变形固体及其基本假设	2
1-3 杆件变形的基本形式	4
第二章 拉伸和压缩	6
2-1 工程实际中的拉伸及压缩问题	6
2-2 轴向拉伸(压缩)时的内力、截面法	7
2-3 拉伸及压缩时的应力	9
2-4 拉伸及压缩时的强度条件及其应用	15
2-5 考虑自重时拉伸及压缩的强度问题	19
2-6 拉伸及压缩时的变形	21
第三章 拉伸及压缩时材料的力学性质	30
3-1 概述	30
3-2 钢的力学性质	30
3-3 钢的力学性质	37
3-4 混凝土的力学性质	38
3-5 木材的力学性质	39
3-6 容许应力和安全系数	40
第四章 剪切和挤压	43
4-1 剪切和挤压的概念	43
4-2 剪切和挤压的强度条件	45
4-3 剪切与挤压强度计算实例	47
4-4 剪应力互等定理和剪切弹性定律	51

第五章	扭转	57
5-1	扭转的概念	57
5-2	圆截面直杆扭转时横截面上的内力及应力	58
5-3	等圆截面直杆扭转时的强度条件	61
5-4	非圆截面杆的扭转问题	65
第六章	梁的内力	68
6-1	什么叫梁	68
6-2	梁有哪几种	71
6-3	梁上作用哪些外力	75
6-4	怎样计算梁的内力	76
6-5	绘制内力图—剪力图与弯矩图	82
第七章	梁的强度计算	92
7-1	按正应力计算	92
7-2	按剪应力计算	104
7-3	梁的合理截面	110
7-4	如何计算组合图形的惯性矩	112
第八章	应力状态理论与梁的主应力计算	122
8-1	概述	122
8-2	二向应力状态的研究	124
8-3	梁的主应力迹线的概念与主应力计算	131
第九章	梁的变形	137
9-1	概述	137
9-2	挠度和转角	137
9-3	用图乘法计算梁的挠度或转角	139
9-4	梁变形表格的应用	156
9-5	梁的刚度计算	160
9-6	简单的超静定梁	162
第十章	压缩与弯曲组合变形	171
10-1	工程中的压缩与弯曲组合变形问题	171

10-2	压缩与弯曲组合变形的强度计算	172
10-3	偏心压缩杆件的强度计算, 截面核心	177
第十一章 压杆稳定		185
11-1	工程中的稳定问题	185
11-2	压杆的稳定平衡与不稳定平衡	187
11-3	细长压杆临界力的确定	189
11-4	稳定临界应力	193
11-5	压杆的稳定校核	196
附录 型钢表		202
表 1	热轧等边角钢 (YB166—65)	202
表 2	热轧不等边角钢 (YB167—65)	210
表 3	热轧普通槽钢 (GB707—65)	218
表 4	热轧普通工字钢 (GB706—65)	221

第一章 绪 论

1-1 材料力学的任务

土木工程中的各类建筑物和构筑物，例如房屋、桥梁、水池等，在使用过程中，都要承受各种荷载作用。凡在这些建筑物或构筑物中承担荷载而起骨架作用的部分称为结构。在房屋建筑中屋架、梁、柱、基础等基本构件组成的体系起房屋的骨架作用，故称房屋结构。一个好的结构构件必须能够安全地承受荷载，同时又能最经济地使用建筑材料。在工程实践中，经济与安全之间经常存在着矛盾，一般要想提高安全性，往往要选用较好、较多的材料，但为了满足最大经济的要求，却须选用较廉价的材料，并设法减少材料的消耗。材料力学的基本任务就是要正确处理这种矛盾。

进行构件设计时，一定要确保构件能安全承受荷载，这就需要考虑构件的强度、刚度和稳定的问题。以房屋结构为例，当房屋承受荷载后，必须保证组成房屋结构的构件不能发生破坏。例如，屋架、柱子、吊车梁、基础梁、基础、檩条、过梁、承重墙等（图1-1 a、b）承受荷载后，都不允许发生断裂，即构件应具有足够的强度。同时，为了保证建筑物或结构的正常使用，还必须使各个构件的变形限定在正常工作许可的范围内。例如，吊车梁弯曲变形过大，将影响吊车的正常运行，门窗过梁弯曲变形过大，将影响门窗的开关

等。这就是说，构件必须具有足够的刚度。此外，有一些受压的细长杆件，如屋架的受压杆件，当压力增大到一定程度时，将突然变弯或折断，因而不起作用，使整个屋架遭到破坏。这种现象就称为杆件丧失了稳定性。所以，有些构件在满足强度、刚度要求的同时，还应满足稳定性的要求。

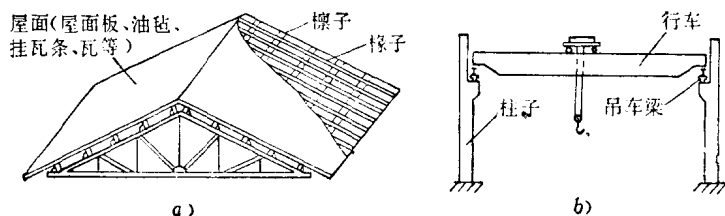


图 1-1

设计结构构件时，一方面要满足强度、刚度和稳定性三个基本要求，另一方面必须注意经济问题，要尽可能地选用适宜的材料和尺寸，减轻构件的自身重量，以降低材料的消耗，节约建设资金。

简单地说，材料力学的任务是研究各种材料和构件的受力与变形的规律，也就是研究构件的强度、刚度及稳定性的计算原理和方法，通过这些计算来确定构件的适宜材料和尺寸，以保证整个结构的安全、适用和经济。

1-2 变形固体及其基本假设

在理论力学中把固体看成绝对刚体，就是说：在任何外力作用下，固体的几何形状和尺寸绝对不变。实际上，在自然界中绝对刚体并不存在，它只是一个抽象的概念。因为理

论力学研究的是物体的平衡和运动的一般规律，物体的微小变形对研究对象影响很小，可以忽略。而材料力学所研究的是强度、刚度和稳定的问题，在这种问题里，变形便成为主要因素之一，必须加以考虑。这样，绝对刚体概念也就不适用了。所以，在材料力学中认为一切固体都是变形体。

外力使固体中微粒间的相对位置发生变化。如果作用在物体上的外力不超过某一限度，则在外力撤去后，变形立即消失。物体在外力撤去后立即恢复其原来形状和尺寸的这种性质，称为弹性。具有这种弹性的物体称为完全弹性体。不能完全恢复原状的物体称为部分弹性体。部分弹性体的变形有两部分：一部分是随着外力撤去而消失的变形，叫做弹性变形；另一部分是外力撤去后不能消失的变形，叫做塑性变形。实验指出，常用的金属、木材等建筑材料，当外力不超过某一限度时，可以看成完全弹性体。

在材料力学中，把固体的弹性阶段作为研究的主要范围。

为了简化性质复杂的变形固体，材料力学采用下列基本假设作为理论分析的基础。

1. 材料均匀连续的假设：

物体的机械性质在各处都是均匀的，而且构成物体的物质是密实的、毫无空隙地充满着物体的整个几何容积。

实验说明，这个假设对于某些材料，例如钢、铜、铸铁等可得到与实际情况极为一致的结论；对于木材、混凝土或钢筋混凝土、砖石等材料只能得到比较粗糙的结果，但也仍采用这个假设。

根据这个假设，可以从物体的任何部分取出微小的六面体来研究物体的性质；也可把较大尺寸试件通过实验所得的

材料性质。用到微小的六面体上去。

2. 材料各向同性的假设:

材料在各个不同方向上都有相同的力学性质。

3. 变形微小的假设:

物体几何形状及尺寸的改变与总尺寸比较是很微小的。

在工程结构中,一般构件允许产生的变形都很微小,这在建立静力平衡方程式时,就可以不考虑外力作用点处的微小位移,使问题大为简化,又不影响计算的精度。

除上述三个基本假设外,在材料力学中还常对某些具体问题采取一些简化计算的假设。这将在有关章节中介绍。

1-3 杆件变形的形式

一个变形固体,若其长度尺寸远大于其横向尺寸时,就称为杆。杆中各横截面形心的连线,称为杆的轴线。根据杆的轴线是曲线还是直线,杆有曲杆和直杆之分。

材料力学的主要研究对象是单个杆件,而且多为直杆。实际结构构件的形状有时相当复杂,不过往往可以近似地引用杆的概念来研究。

由于作用在杆上的外力性质不同,杆的变形也不相同,变形的形式有四种:

1. 轴向拉伸或压缩 (图1-2 a、b);

2. 剪切 (图1-3);

3. 扭转 (图1-4);

4. 弯曲 (图1-5)。

实际杆件的变形可能是由其中一种或某几种基本变形的组合。

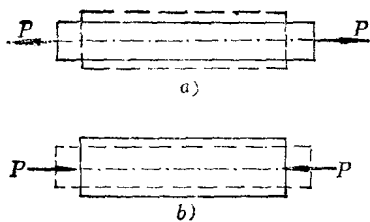


图 1-2

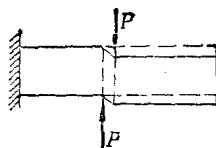


图 1-3

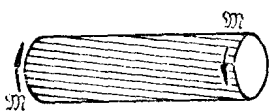


图 1-4



图 1-5

第二章 拉伸和压缩

2-1 工程实际中的拉伸及压缩问题

拉伸或压缩，是受力杆件最简单而又最基本的变形。它的受力和变形特点是：直杆的两端沿轴线受到两个大小相等、方向相反的力的作用。如果两力的方向相背，杆件产生伸长变形，简称拉伸；如果两力的方向相对，则产生缩短变形，简称压缩。

建筑结构中经常会遇到受拉伸或压缩的杆件。如图2-1a所示的一个库房结构简图，其中的组合屋架ABC支承在砖柱AD、BE上，当屋架受到包括屋架自重、屋面自重以及雪荷载等均布竖向荷载 q 的作用时，斜杆AC和BC将在支承面A、B上有沿水平方向向外移动的趋势，而拉杆AB将阻止这种向外的移动，从而受到拉伸（图2-1b）。柱AD及BE因上

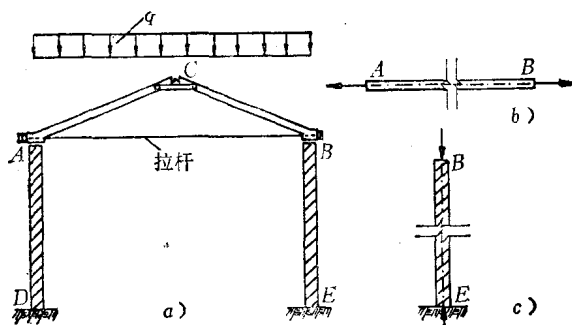


图 2-1

端承受屋架传递来的压力作用，将产生压缩（图2-1c）。其它如起重用的绳索、拧紧的螺栓、桁架的下弦杆等都是受拉伸的例子。模板的支柱、桥梁的桥墩、桁架的上弦杆、千斤顶的螺柱等都是受压缩的例子。在建筑结构中，拉伸、压缩杆件较多，这就要求我们掌握它的强度及变形的计算方法。

2-2 轴向拉伸（压缩）时的内力、截面法

什么叫内力？为什么要研究内力？为了说明这个问题，先讨论一下弹簧的受力和变形情况。

用手拉或压弹簧，弹簧就会伸长或缩短，同时手也会感到弹簧有一种反抗变形的力。如果将手松开，弹簧就立即恢复到它原来的长度。工程中一切受拉伸或压缩的杆件，都会产生与弹簧相似的变形情况，只不过它的变形量很小，人们的眼力不容易觉察出来。如用专门测量变形的仪器来测定，就完全可以证实。

为什么杆件具有这种性质呢？因为制作杆件的材料，是由许多分子组成的。当外力作用时，分子间的距离便发生改变，于是杆件产生变形，而分子之间为了维持它们原来的距离，就产生一种附加的相互作用力，力图阻止这种距离的变化。在材料力学中，把这种附加的相互作用力叫内力。杆件受的外力越大，变形越大，内力也越大。但当内力达到一定限度时，分子间就不能再维持它们间的相互联系，于是杆件就发生破裂。由此可见，外力使杆件发生变形，变形引起内力，内力抵抗外力的作用以保持物体的固有形态，当内力达到一定限度的数值时，杆件便发生破裂。因此，内力是直接

与构件的强度相联系的，为了解决强度问题，必须先算出杆件在外力作用下内力的数值。

那么，如何计算内力呢？为了使读者能更好地理解这一问题，可先作一个简单的试验。

取一根细长绳，上端系于梁上，下端加上砝码（图2-2 a），使绳子受拉伸，从而内部便产生了内力。为了确定绳子的内力，将绳子从中间切断，并在切开的截面间接上一个弹簧秤（图2-2 b），然后加砝码，这时弹簧秤指示的力就是绳子截面上的内力。可以看到，弹簧秤的读数总是与所加砝码重量相等的。这就是说，截面上的内力总是与截面一边的外力相平衡（图2-2 c）。

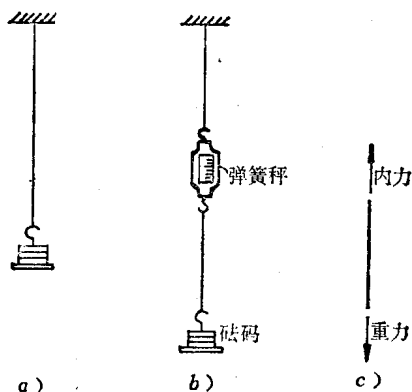


图 2-2

利用内力与外力相平衡这种关系，可以计算出内力的大小和方向。图2-3表示一拉伸杆件，欲求其中任一截面 $m-n$ 上的内力时，可用一假想平面沿 $m-n$ 截开，将杆分割为 I、

Ⅱ两部分,任取其中一部分,如部分Ⅰ,为研究对象。在截面 $m-n$ 上标出部分Ⅱ对部分Ⅰ的作用力,即内力 N , 利用作用于杆轴方向所有作用力的总和等于零这个静力平衡条件,即 $\sum X = 0$, 得 $N - P = 0$, 于是得内力

$$N = P \quad (2-1)$$

如取部分Ⅱ为研究对象,亦将得到完全相同的结果。

由于内力 N 的作用线与杆的轴线相重合,故称轴力,单位为公斤 (kg) 或吨 (t)。这种求内力的方法称为截面法。它的全部过程可概括为以下三个步骤: 1. 假想用平面将

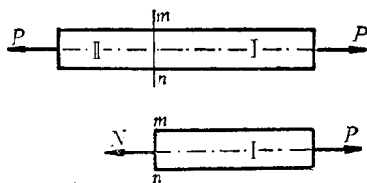


图 2-3

杆件截成两部分,并移去其中的一部分; 2. 将移去部分对留下部分的作用,用力来代替; 3. 考察留下部分的平衡,由已知的外力确定内力大小和方向。这是材料力学中广泛应用的一种基本方法,不论是拉伸、压缩,还是剪切、扭转、弯曲以至复杂的组合变形,凡是求内力都要用这种方法。

轴力 N 往往标上正负号,主要是为了在计算上区别拉、压两种不同变形。一般规定:当拉伸时 N 为正,力的指向背离截面;当压缩时 N 为负,力的指向向着截面。

2-3 拉伸及压缩时的应力

求出了杆件的轴力 N , 还不能解决强度计算问题,因为轴力 N 只是分布于截面上内力的合力,而杆件的强度不仅与轴力 N 有关,也直接与杆件截面面积有关。例如,用麻绳起

吊重物，若用细的不行，改用粗的就不会断了。因为粗绳的截面面积较细绳大，在单位面积上分配到的内力就要小些，所以相同材料的粗绳比细绳能承受更大的轴力。这说明尽管内力相同，如果截面不同，强度也不一样。为了反映杆件截面面积对杆件强度的影响，必须研究单位面积上的内力，即所谓应力，它的单位为 kg/cm^2 。由于应力综合了内力与截面面积两方面的因素，因而它对强度计算具有重大意义。

怎样计算直杆在拉伸或压缩时横截面上各点的应力呢？要解决这个问题，就要知道应力在截面上是怎样分布的。虽然应力不能直接观察到，但内力与变形有关，而变形是可以观察到的，所以在材料力学中，经常通过观察变形来确定应力在截面上的分布规律。

取一矩形截面的橡胶直杆，在侧表面画两条垂直于轴线的横线 aa 及 bb ，在横线间再画几条平行于轴线的纵线 cc 及 dd (图2-4a)。在两端沿轴线加力拉伸后，就可以观察到：由于杆的伸长，横线 aa 、 bb 分别平移到 a_1a_1 、 b_1b_1 位置，且仍为直线。而纵线 cc 、 dd 有相同的伸长，且仍与轴线平行。

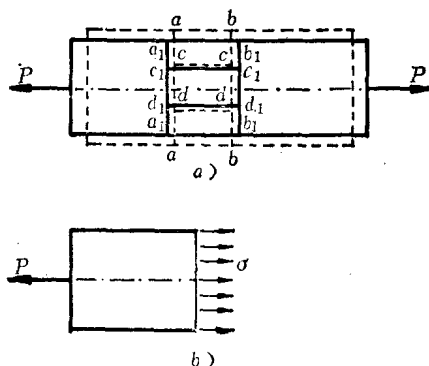


图 2-4

根据实验观察得到的感性材料，可以推知：1) 由 aa 、 bb 代表的与轴线垂直的平面，变形后仍为与轴线垂直的平面；这就是所谓的平面变形假设。2) 设想直杆是由许多与杆轴平行的纤维组成的，那么，纵线 cc 、 dd 所代表的所有纤维的伸长均相等。因为应力与变形有关，所以应力在横截面上是均匀分布的（图 2-4b）。如用 A 表示杆的横截面积， σ 表示应力，则直杆在拉伸或压缩时横截面上的应力计算公式为

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

应力 σ 的作用线与截面垂直，称为正应力。如果杆受拉伸，得到的正应力叫拉应力，符号为正。如果杆受压缩，得到的正应力叫压应力，符号为负。

如果将受拉（或压）的杆件用与横截面成为 α 角的斜截面（图 2-5a）假想切开。设横截面积为

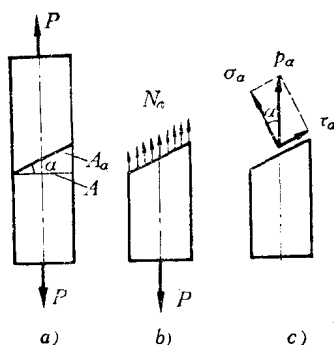


图 2-5

A ，则斜截面面积 $A_\alpha = \frac{A}{\cos \alpha}$ 。斜截面上的内力 N_α （图 2-5b），由平衡条件得 $N_\alpha = P$ ，假定仍是均匀分布的，则斜截面上的合应力 p_α 为

$$p_\alpha = \frac{N_\alpha}{A_\alpha} = \frac{P}{\frac{A}{\cos \alpha}} = \frac{P}{A} \cos \alpha = \sigma \cos \alpha$$