

张新占 主编



材料力学

Mechanics of Materials

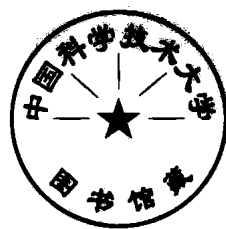
西北工业大学出版社

新编工科力学系列课程教材

材 料 力 学

张新占 主编

张新占 吴东红 杨东戈 编



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书根据教育部高等学校工科力学课程教学指导委员会对力学系列课程的要求,结合多年的力学教学实践,按土建、机械两类专业的要求编写而成。

本书基本内容包括绪论、轴向拉伸压缩、剪力、截面几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力应变分析和强度理论、组合变形、能量方法、压杆稳定和动载荷等,加深内容包括疲劳与断裂、极限载荷、开口薄壁杆件的约束扭转和粘弹性材料力学分析基础。章后有习题,书末附有习题答案。

本书可作为高等学校工科各专业的教材,也可供高等学校工科专科、高等职业学校、成人教育等选用,或供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/张新占主编;吴东红,杨东戈. —西安:西北工业大学出版社,2001.2

ISBN 7-5612-1316-6

I. 材... II. ①张... ②吴... ③杨... III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 77389 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号,邮编:710072 电话:029—8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印 刷 者:西安市向阳印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:23.625

字 数:574 千字

版 次:2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5612-1316-6/TB·17

印 数:1~6 000 册

定 价:25.00 元

前 言



本书是长安大学校本部(原西安公路交通大学)新编工科力学系列课程教材之一。

本书是根据国家教育部高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求(多学时)和教育部工科力学课程教学指导委员会面向 21 世纪工科力学课程教学改革的要求编写的。在内容安排上,为了避免重复,《理论力学》、《结构力学》等书涉及的内容原则上不再编入。但考虑到机械类专业读者的需要,“能量方法”一章仍然编入,土建类专业读者可根据需要进行取舍。另外,为了使本书在内容叙述上循序渐进,将“截面几何性质”编入第三章。全书内容约需 80 学时。

本书是编者在总结多年教学经验的基础上编写的。在编写过程中,注意从工程实际提出问题,重点介绍了材料力学的基本概念、基本理论和基本计算方法。各章均选编了较丰富的例题,并详细介绍了分析问题、解决问题的思路和方法。每章后给出了题量、难度适当的习题,书后给出了习题答案,这样既方便教学又利于自学。本书在注重材料力学基本内容的系统性、完整性的同时,引入了一些新的科技成果,从而丰富了材料力学的内容。同时在部分章节的结尾引出了与材料力学内容有关的更深层次知识的内容,给出了参考书籍,以便于有兴趣的读者进一步学习。

实验是材料力学教学的重要环节之一,有关材料力学实验的项目、步骤、方法和仪器等详细内容,请读者参阅别永顺主编的《实验力学》,本书不再叙述。

本书第一、二、三、四、十、十一、十二、十三、十六章由张新占编写,第五、六、七、十四、十五章由吴东红编写,第八、九章由杨东戈编写,全书由张新占主编,负责全书的统稿、修改和定稿。

西北工业大学工程力学系刘达教授详细审阅书稿,并提出了许多宝贵意见;在编写过程中,材料力学教研室的老师给予了大力支持和帮助;为使本书尽快出版,西北工业大学出版社的同志们付出了辛勤劳动,做了大量的工作,谨此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些不妥之处,望使用本书的读者不吝批评指正。

编 者

2000 年教师节

§ 4-2 扭矩 扭矩图	61
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转	63
§ 4-4 圆轴扭转时的应力和强度条件	64
§ 4-5 圆轴扭转时的变形和静不定问题	69
§ 4-6 等直圆轴在扭转时的应变能	71
§ 4-7 非圆截面轴扭转的概念	73
习题	75
第五章 弯曲内力	81
§ 5-1 梁的平面弯曲与计算简图	81
§ 5-2 梁的剪力和弯矩	82
§ 5-3 剪力方程和弯矩方程 剪力图 and 弯矩图	85
§ 5-4 载荷、剪力与弯矩间的关系	89
§ 5-5 用叠加法做梁的弯矩图	97
习题	98
第六章 弯曲应力	104
§ 6-1 梁的弯曲正应力	104
§ 6-2 梁的弯曲正应力强度条件	108
§ 6-3 梁的弯曲切应力及其强度条件	111
§ 6-4 非对称开口薄壁截面梁的平面弯曲 弯曲中心	118
§ 6-5 提高弯曲强度的措施	122
习题	124
第七章 弯曲变形	131
§ 7-1 梁的弯曲变形与位移	131
§ 7-2 梁的挠曲线近似微分方程	132
§ 7-3 用积分法求梁的位移	133
§ 7-4 用叠加法求梁的位移	136
§ 7-5 梁的刚度条件 提高梁刚度的措施	141
§ 7-6 简单静不定梁的解法	143
§ 7-7 弯曲应变能	145
习题	145
第八章 应力和应变分析 强度理论	150
§ 8-1 一点处应力状态的概念	150
§ 8-2 平面应力状态下的应力分析、应力圆	152
§ 8-3 三向应力状态分析简介	159
§ 8-4 平面应变状态下的应变分析	160

§ 8-5 各向同性材料的应力-应变关系	163
§ 8-6 复合材料的应力-应变关系	166
§ 8-7 三向应力状态下的应变能	169
§ 8-8 强度理论与应用	171
习题	175
第九章 组合变形	182
§ 9-1 概述	182
§ 9-2 斜弯曲	182
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲组合	185
§ 9-4 偏心压缩与截面核心	186
§ 9-5 弯曲与扭转组合	190
习题	192
第十章 能量方法	197
§ 10-1 概述	197
§ 10-2 外力功与应变能的一般表达式	197
§ 10-3 余能与卡氏第二定理	200
§ 10-4 虚功原理	205
§ 10-5 单位载荷法	206
* § 10-6 计算莫尔积分的图乘法	213
§ 10-7 用能量法分析静不定问题	215
习题	224
第十一章 压杆稳定	231
§ 11-1 压杆稳定的概念	231
§ 11-2 细长压杆的临界载荷	233
§ 11-3 压杆的临界应力	239
§ 11-4 压杆的稳定计算	242
§ 11-5 提高压杆承载能力的措施	247
习题	249
第十二章 动载荷	255
§ 12-1 概述	255
§ 12-2 惯性力问题	255
§ 12-3 构件受冲击载荷作用时的应力和变形计算	259
§ 12-4 冲击韧性	264
习题	265

第十三章 疲劳与断裂	270
§ 13-1 概述	270
§ 13-2 材料的疲劳极限与应力-寿命曲线.....	272
§ 13-3 影响构件疲劳极限的因素	273
§ 13-4 构件的疲劳强度计算	277
§ 13-5 变幅循环应力与累积损伤理论	280
§ 13-6 应力强度因子与材料的断裂韧度	283
§ 13-7 裂纹扩展与构件的疲劳寿命	287
习题.....	289
第十四章 开口薄壁杆件的约束扭转	292
§ 14-1 引言	292
§ 14-2 开口薄壁截面的扇性几何性质	292
§ 14-3 开口薄壁杆件自由扭转与约束扭转的特征	298
§ 14-4 开口薄壁杆件约束扭转时的内力与应力	300
习题.....	309
第十五章 极限载荷	311
§ 15-1 概述	311
§ 15-2 拉伸与压缩杆系的塑性分析	312
§ 15-3 圆轴的极限扭矩	314
§ 15-4 梁的极限弯矩	315
§ 15-5 梁的极限载荷	317
习题.....	318
第十六章 粘弹性材料力学分析基础	321
§ 16-1 引言	321
§ 16-2 线性粘弹性问题	321
§ 16-3 非线性粘弹性问题	324
§ 16-4 非线性粘弹性构件的弯曲与扭转问题	330
§ 16-5 非线性粘弹性构件设计的工程方法	335
习题.....	337
习题答案	340
附录	354
附录 A 常见截面的几何性质	354
附录 B 螺纹、键和花键的有效应力集中因数	356
附录 C 横孔处的有效应力集中因数	356

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

在工程实际中,各种结构和机械得到广泛应用。组成机械的零件或结构物的构件统称为构件。如桥式起重机的横梁、吊勾、钢丝绳,悬臂吊车架的横梁、斜杆都是构件。当结构或机械工作时,构件将受到载荷作用,在载荷的作用下,构件的形状及尺寸将发生变化这种现象称为变形。构件的变形分为两类:一类是当外力解除后可消失的变形,称为弹性变形;另一类是当外力解除后不能消失的变形,称为塑性变形或残余变形。

当结构或机械承受载荷或传递运动时,各构件或零件都必须能够正常工作,这样才能保证整个结构或机械的正常工作。为此,首先要求构件在受到载荷作用时不发生破坏或显著的塑性变形。其次,对于许多构件,工作时产生过大变形一般也是不容许的,例如,机床主轴或机身在工作时如果变形过大,将影响加工精度。此外,有些构件在某种载荷作用下,将发生不能保持其原有平衡形式的现象。如房屋中受压柱如果是细长的,则当压力超过一定限度后,就有可能显著地变弯。构件在一定载荷作用下突然发生不能保持其原有平衡形式的现象,称为失稳。构件失稳的后果往往是严重的,如房屋的受压柱如果失稳,将可能导致房屋的整体或局部倒塌。针对上述三种情况,对构件正常工作的要求如下:

(1) 具有足够的强度 构件在载荷作用下,有抵抗破坏或过量塑性变形的能力。例如储气罐不应爆破,机器中的齿轮轴不应断裂等。

(2) 具有足够的刚度 构件在载荷作用下,有抵抗弹性变形的能力。如机床主轴不应变形过大,否则影响加工精度。

(3) 具有足够的稳定性 构件在压力载荷作用下,有保持其原有平衡状态的能力。例如千斤顶的螺杆,内燃机的挺杆等。

在设计构件时,除应满足上述强度、刚度和稳定性要求外,还必须尽可能地合理选用材料和节省材料,以降低成本并减轻构件的重量。为了安全可靠,往往要求选用优质材料与较大的截面尺寸,而这样以来,可能造成材料浪费与结构笨重。可见,安全与经济以及安全与重量之间存在矛盾。材料力学的任务就是研究构件在载荷作用下的变形、受力与破坏的规律,为设计既经济又安全的构件,提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论和计算方法。构件的强度、刚度和稳定性问题是材料力学所要研究的主要内容。

研究构件的强度、刚度与稳定性时,应了解材料在载荷作用下表现出的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能。材料的力学性能只能通过实验来测定。此外,经过简化得出的理论

是否可靠,也要借助于实验来验证。所以,实验分析和理论研究同是材料力学解决问题的方法。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

制造构件的材料是多种多样的,但它们具有一个共同的特点,即都是固体。在载荷作用下,一切固体都将发生变形,故称为变形固体。由于变形固体的性质是多方面的,而且很复杂,为了便于进行强度、刚度和稳定性的理论分析,通常省略一些次要因素,将它们抽象为理想化的材料,然后进行分析计算,对变形固体做下列假设。

(1) **连续性假设** 认为整个物体体积内毫无空隙地充满物质。即认为结构是密实的。根据这一假设,构件内的一些力学量既可用坐标的连续函数表示,也可采用无限小的数学分析方法。同时,连续性不仅存在于构件变形前,而且存在于变形后,也就是说,构件内变形前相邻的质点在变形后仍保持相邻,既不产生新的空隙或孔洞,也不出现重叠现象。

(2) **均匀性假设** 认为物体内的任何部分,其力学性能相同。根据这一假设,从构件内部任何部位所切取的微小体积单元,都具有与构件完全相同的性能。同理,通过试样所测得的材料性能,也可用于构件内的任何部位。

在实际中,材料的组成部分的力学性能往往存在不同程度的差异,例如金属是由无数微小晶粒组成,各个晶粒的力学性能不完全相同,但构件或构件的任一部分中包含了数量极大的晶粒,而且无规则地排列,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值,所以可认为各部分的力学性能是均匀的。

(3) **各向同性假设** 认为在材料内沿各个不同方向的力学性能相同。对金属的单一晶粒而言,沿不同方向,其力学性能是不一样的。但构件包含数量极多的晶粒,且杂乱无章的排列,这样,从宏观来看,沿各个方向的力学性能就接近相同了。这种材料还有如铸钢、铸铜、玻璃等。我们把具有这种性质的材料称为各向同性材料。

沿不同方向力学性能不同的材料,称为各向异性材料,如木材、胶合板和一些复合材料等。

§ 1-3 外力与内力

一、外力

对于材料力学的研究对象——构件而言,其它构件和物体作用于其上的力均是外力,包括外加载荷和约束反力。我们把外力按下列方式分类。

1. 按外力的作用方式分

(1) **体积力** 连续分布于构件内部各点上的力,如构件的自重和惯性力。

(2) **表面力** 作用于构件表面上的外力,按其在表面的分布情况又可分为分布力和集中力。

分布力是连续作用于构件表面或某一范围的力,如作用于船体上的水压力,作用于挡土墙上的土压力,作用于高压容器内壁的气体或液体压力等。

集中力,如果分布力的作用面积远小于构件的表面面积或沿杆件轴线的分布范围远小于杆件长度,则可将分布力简化为作用于一点的力,称为**集中力**,如车轮对桥面的压力,火车轮对

钢轨的压力等。

2. 按载荷随时间变化的情况分

(1) **静载荷** 载荷缓慢地由零增加到某一定值后,不再随时间变化,保持不变或变动很不显著,称为静载荷,如建好的桥梁,梁的自重对墩柱的压力。

(2) **动载荷** 随时间显著变化或使构件各质点产生明显的加速度的载荷。动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。

交变载荷是随时间作周期性变化的载荷。如当齿轮转动时,作用于每一个齿上的力都是随时间作周期性变化的。

冲击载荷是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷。如急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

二、内力与截面法

1. 内力

构件在外力作用下发生变形,其内部各部分之间因相对位置发生改变,从而引起相邻部分的相互作用力,称为内力。实际上,即使不受外力作用,构件内各质点之间依然存在着相互作用的力,这使得构件以固体的形式存在。材料力学中的内力,是指外力作用下而引起的质点相互作用力的变化量,也就是“附加内力”。构件的强度、刚度和稳定性与内力的大小及其在构件内的分布情况密切相关。因此,内力分析是解决构件强度、刚度和稳定性问题的基础。

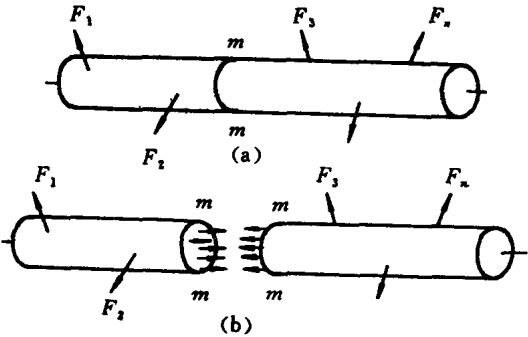


图 1-1

2. 截面法

为了显示内力并确定其大小,假想地沿欲求内力的截面将构件切开,这样相应的内力就得以显露,如图 1-1 所示,由连续性假设可知,内力是作用在切开截面上的连续分布力。

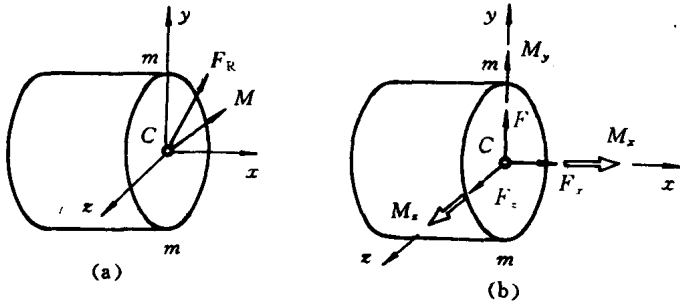


图 1-2

应用力系简化理论,将上述分布内力向截面的形心 C 简化,得到主矢 F_R 和主矩 M (见图 1-2)。为了分析内力,沿截面轴线建立 x 轴,在所切截面内建立 y 轴和 z 轴,并将主矢 F_R 和主矩 M 分解,得内力分量 F_x, F_y 和 F_z ,以及内力偶矩分量 M_x, M_y 和 M_z 。沿轴线的内力分量 F_x ,称为

轴力,用 F_N 表示;作用线位于所切截面的内力分量 F_y 和 F_z ,称为剪力;矢量沿轴线的内力偶矩 M_x ,称为扭矩,用 T 表示;矢量位于所切截面的内力偶矩 M_y 和 M_z ,称为弯矩。上述内力及内力偶分量与作用在该构件上的外力保持平衡,因此,由平衡方程

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0, & \sum F_y &= 0, & \sum F_z &= 0 \\ \sum M_x &= 0, & \sum M_y &= 0, & \sum M_z &= 0\end{aligned}$$

即可建立内力与外力间的关系或由外力确定内力。今后为叙述方便,将内力分量及内力偶矩分量统称为内力分量。

上述将构件假想地切开以显示内力,并由平衡条件建立内力与外力间的关系或由外力确定内力的方法,称为截面法,可将其归纳为以下三个步骤。

(1) 截开 在欲求内力的截面处,假想用一平面将截面分成两部分,任意保留一部分,弃去另一部分。

(2) 代替 用作用于截面上的内力代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 平衡 对留下部分建立平衡方程,确定内力分量。

前述内力分量是一般情况,在很多情况下,构件截面上仅存在一种、两种或三种内力分量。例如图 1-3 所示杆 AB ,在两端受沿杆轴线的集中力 F 作用,显然,杆件横截面上的惟一内力分量为轴力 F_N ,其值则为

$$F_N = F$$

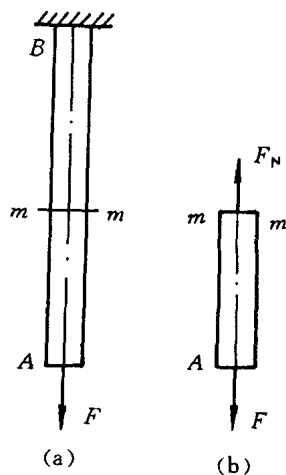


图 1-3

§ 1-4 应力与应变

一、应力

在确定了构件截面上的内力后,还不能判断该截面上的强度是否足够,为此,引入内力分布集度的概念。如图 1-4 所示,围绕任一点 K 取微小面积 ΔA , ΔA 上分布内力的合力为 ΔF , ΔF 与 ΔA 的比值,用 $\bar{p}$ 表示,即

$$\bar{p} = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

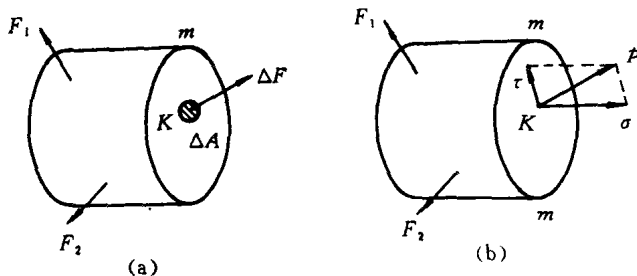


图 1-4

$\bar{p}$ 是一个矢量,代表在 ΔA 范围内,单位面积上的内力的平均集度,称为平均应力。当 ΔA 趋于零时, $\bar{p}$ 的大小和方向都将趋于一定极限,得到

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \bar{p} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1-2)$$

式中 p 称为点 K 处的应力。通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ , σ 称为正应力, τ 称为切应力。显然

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (1-3)$$

应力即单位面积上的内力,表示某截面 $\Delta A \rightarrow 0$ 处内力的密集程度。

应力的国际单位为 N/m^2 , 且 $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ (帕), $1 \text{ GPa} = 1 \text{ GN/m}^2 = 10^9 \text{ Pa}$, $1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 10^6 \text{ Pa}$ 。

二、应变

构件在外力作用下,发生变形,同时引起应力。为了研究构件的变形及其内部的应力分布,需要了解构件内部各点处的变形,对于构件内任一点的变形,有线变形和角变形两种基本变形,它们分别用线应变和切应变来度量。

1. 线应变

假想的将构件分割成许多细小的单元体,构件受力后,各单元体的位置发生变化,同时,单元体棱边的长度发生改变,相邻棱边所夹直角一般也发生改变。如图 1-5 所示,设棱边 AB 的边长为 Δs ,变形后的长度为 $\Delta s + \Delta u$,即改变量为 Δu ,把 Δu 与 Δs 的比值,称为棱边 AB 的平均应变,用 ϵ_m 表示,即

$$\epsilon_m = \frac{\Delta u}{\Delta s}$$

一般情况下,棱边 AB 方向各点处的变形程度并不相同,平均应变的大小将随着棱边的长度而改变。为了精确地描写点 A 沿棱边 AB 方向的变形情况,选取无限小的单元体,由此所得平均应变的极限值,即

$$\epsilon = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1-4)$$

称为点 A 沿 AB 方向的线应变或简称为应变。

线应变,即单位长度上的变形量,为无量纲,其物理意义是构件上一点沿某一方向变形量的大小。

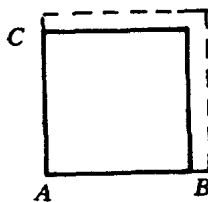


图 1-5

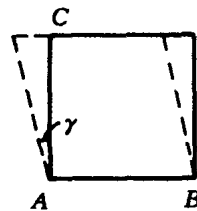


图 1-6

2. 切应变

当棱边长度发生改变时,相邻棱边之夹角一般也发生改变。如图 1-6 所示,相邻两棱边所夹直角的改变量称为切应变,用 γ 表示。

切应变,即一点单元体两棱角直角的改变量,为无量纲。

§ 1-5 杆件变形的基本形式

实际构件有各种不同的形状,所以根据形状的不同将构件主要分为杆件和板件。一个方向的尺寸远大于其它两个方向的尺寸的构件,称为杆件,简称杆(图 1-7)。杆件是工程中最常见、最基本的构件。

杆件的形状和尺寸由其横截面和轴线确定。横截面是与轴线垂直的截面;轴线是横截面形心的连线。

杆件按横截面沿轴线的变化情况可分为等截面直杆和变截面直杆。按轴线的形状可分为直杆、曲杆和折杆。

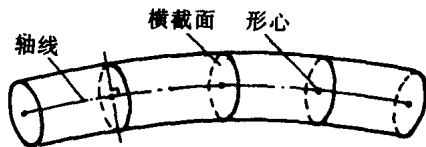


图 1-7

一个方向的尺寸远小于其它两个方向的尺寸的构件,称为板件(见图 1-8)平分板件厚度的几何面,称为中面。中面为平面的板件称为板(见图 1-8(a));中面为曲面的板件称为壳(见图 1-8(b))。

材料力学的主要研究对象是杆,以及由若干杆组成的简单杆系,同时也研究一些形状与受力均比较简单的板与壳。至于一般较复杂的杆系与板壳问题,则属于结构力学与弹性力学等的研究范畴。

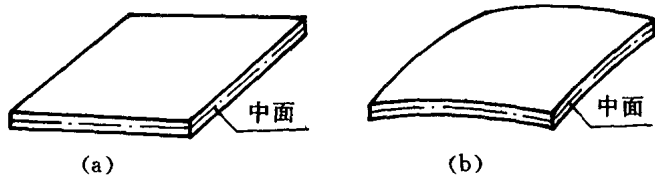


图 1-8

作用在杆件上的力有各种各样,相应的变形就有各种形式,在工程结构中,杆件的基本变形只有以下四种:

(1) **轴向拉伸和轴向压缩** 杆的变形是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的,表现为杆件的长度发生伸长或缩短。(如图 1-9(a) 所示)

(2) **剪切** 杆的变形是由大小相等、方向相反、相互平行且作用线相距很近的力引起的,表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动。(如图 1-9(b) 所示)

(3) **扭转** 杆的变形是由大小相等、方向相反、作用面都垂直于杆轴的两个力偶引起的,表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。(如图 1-9(c) 所示)

(4) **弯曲** 杆的变形是由垂直于杆件轴线的横向力,或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的,表现为杆件轴线由直线变为曲线。(如图 1-9(d) 所示)

工程中的常用构件在载荷作用下的变形,大多为上述几种基本变形形式的组合,纯属一种基本变形形式的构件较为少见。若以某一种基本变形形式为主,其它属于次要变形的,则可按

这一种基本变形形式计算。若几种变形形式都是主要的，则属于组合变形问题。本书先分别讨论构件的每一种基本变形，然后再分析组合变形问题。

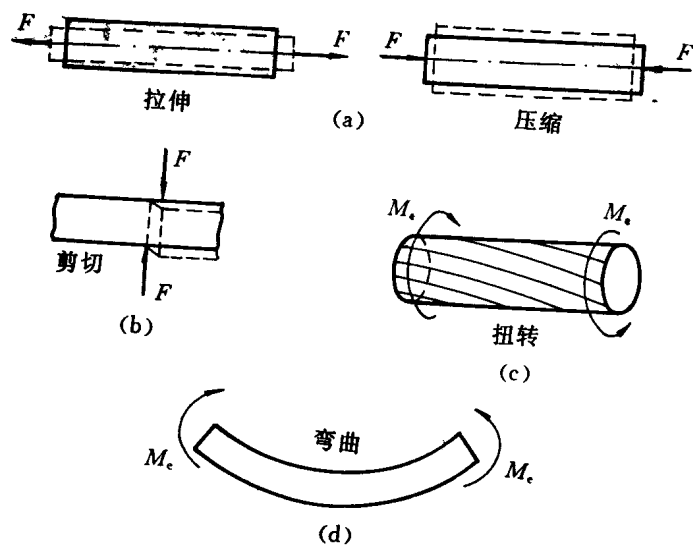


图 1-9

第二章 轴向拉伸和压缩

§ 2-1 轴向拉伸与压缩的概念及实例

轴向拉伸和压缩的杆件在生产实际中经常遇到,如图 2-1 所示用于连接的螺钉;如图 2-2 所示桁架中的拉杆与压杆。虽然杆件的外形各有差异,加载方式也不同,但在对受轴向拉伸与压缩的杆件的形状和受力情况进行简化时,一般计算简图如图 2-3 所示。轴向拉伸是在轴力作用下,杆件产生伸长变形,简称拉伸;轴向压缩是在轴力作用下,杆件产生缩短变形,简称压缩。

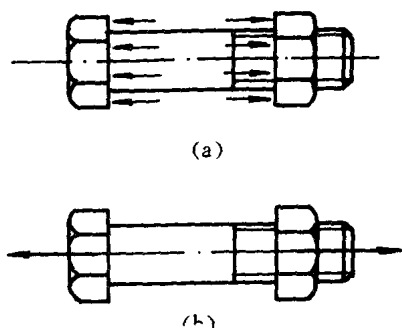


图 2-1

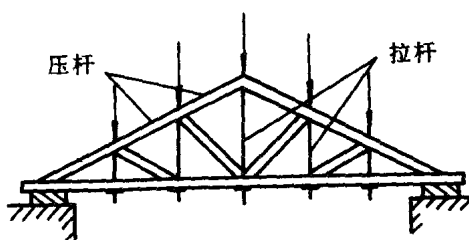


图 2-2

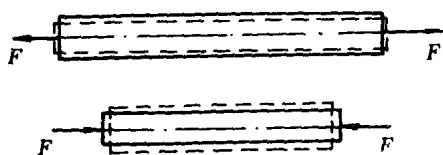


图 2-3

通过上述实例得知轴向拉伸和压缩具有如下特点:

- (1) 受力特点 作用于杆件两端的外力大小相等,方向相反,与杆件轴线重合。
- (2) 变形特点 杆件变形是沿轴线的方向伸长或缩短。

§ 2-2 轴向拉(压)杆横截面上的内力和应力

一、内力

1. 轴力

图 2-4(a) 所示为一轴向拉杆,为了显示杆横截面上的内力,沿杆件上任一横截面 $m-m$ 假想沿截面截开,取左段部分,并以分布内力的合力 F_N 代替右段对左段的作用。由平衡条件 $\sum F_x = 0$,得

$$F_N - F = 0$$

$$F_N = F$$

由于外力沿着杆件的轴线作用,杆件截面上只有一个与轴线重合的内力分量,故该内力(分量)称为轴力,一般用 F_N 表示。

若取右段部分,则由作用力与反作用力原理知,右段部分在截开面的轴力与前述左段部分的轴力数值相等,而指向相反。

为了使由左段和右段所得同一截面 $m-m$ 上的轴力具有相同的正负号,联系到变形的情况,对轴力 F_N 的正负号规定:杆件的变形为纵向伸长时,轴力 F_N 为正,称为拉力;杆件的变形为纵向压缩时,轴力 F_N 为负,称为压力。

上述方法就是截面法,在应用截面法时要注意两个问题:

(1) 外载荷不能沿作用线移动 因为材料力学中研究的对象是变形体,不是刚体,力的可传性不成立。

(2) 截面不能切在外力作用点处,要离开或稍微离开作用点 依据圣维南原理^①:作用在结构某一位置上的不同载荷,如果在静力学意义上是等效的,则在远离该位置处的应力差异甚微。

2. 轴力图

当杆件受到多个轴向外力作用时,则在杆的不同部分横截面上的轴力将各不相同。在对等直拉杆或压杆进行强度计算时,要以杆的最大轴力为依据,为此,必须知道杆的各个横截面上的轴力,以确定最大值。为了表明横截面上的轴力随横截面位置变化的情况,可按选定的比例尺,用平行于杆轴线的坐标表示横截面的位置,用垂直于杆轴线的坐标表示横截面上轴力的数值,从而绘出表示轴力与截面位置关系的图线,称为轴力图。习惯上将正值的轴力画在上侧,负值的画在下侧。下面举例说明。

例 2-1 一等直杆件受力如图 2-5(a) 所示,试计算杆件的内力,并作轴力图。

解 (1) 计算各段内力

AC 段:作截面 1-1,取左段部分(见图 2-5(b))。由 $\sum F_x = 0$ 得

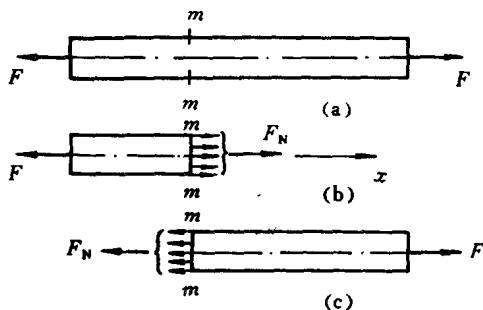


图 2-4

^① 详见 § 2-2 三、圣维南原理。