

高等学校教材·力学系列

材料力学

CAILIAO LIXUE



主编 张新占

西北工业大学出版社

高等学校教材

材料力学

主编 张新占

编者 张新占 吴东红 杨东戈

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是作者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的。

本书基本内容包括:绪论、轴向拉伸与压缩、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、压杆稳定和动荷载等;加深内容包括疲劳与断裂、极限载荷。各章后有习题,书末附有习题参考答案。

本书可作为高等学校工科各专业的教材,也可供高等工科专科、高等职业、成人教育等类教学选用,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. —西安:西北工业大学出版社,2005.2

ISBN 7-5612-1901-6

I. 材… II. 张… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 007098 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)88493844

网 址:www.nwpup.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司印装

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:25.75

字 数:630 千字

版 次:2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

定 价:29.00 元

前 言

本书是根据国家教育部高等院校工科本科“材料力学”课程教学基本要求(多学时)、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。内容安排在保证材料力学基本内容的前提下,与理论力学、结构力学等课程重复的内容不再编入。同时,考虑到土建类和机械类专业同时使用本书,将“能量方法”一章编入,并将“静不定问题解法”编入“能量方法”中。另外,为了使读者更好地使用本书,在内容叙述上循序渐进,将“截面几何性质”编入第三章。讲授本书全部内容约需 80~100 学时。

本书重点介绍了材料力学课程的基本概念、基本理论和基本计算方法。在注重材料力学的系统性、完整性的同时,引入了一些新概念、新方法,从而丰富了材料力学的内容。在每章的内容安排上,注意从工程实际中提出问题,然后用材料力学的基本理论进行分析、计算。为了方便教学和自学,每章内容的前面编写了导读,主要介绍本章的基本内容、重点、难点及要注意的问题;对应每一个概念、理论和计算方法选编了丰富的例题,并在大多数例题后编写了“评注”。针对不同章节的不同内容和不同方法,各章的“评注”采用不同的形式,有的是介绍分析问题、解决问题的思路和方法,有的则在对题目分析的基础上,进一步透视题目所涉及理论的实质和处理问题的方法,通过“评注”可帮助读者提高分析问题、解决问题的能力。各章内容介绍完后,编写了复习要点,对本章的内容进行归纳、总结,以帮助读者复习。每章选编了题量、难度适当的习题,书后给出了习题参考答案。为了便于有兴趣的读者进一步学习,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的内容,并给出了参考文献目录。

本书第一、二、三、四、十、十一章由张新占编写,第五、六、七、十四章由吴东红编写,第八、九、十二、十三章由杨东戈编写。全书由张新占主编,并负责全书的统稿和定稿。

在编写过程中,长安大学工程力学系的老师给予了大力支持和帮助。为使本书尽快出版和达到较高的质量,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,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些不妥之处,诚望读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的研究对象	1
§ 1-2 变形固体及其基本假设	2
§ 1-3 外力与内力	2
§ 1-4 应力与应变	4
§ 1-5 杆件变形的基本形式	6
第二章 轴向拉伸和压缩	8
§ 2-1 轴向拉伸与压缩的概念及实例	8
§ 2-2 轴向拉(压)杆横截面上的内力和应力	9
§ 2-3 轴向拉(压)杆斜截面上的应力	13
§ 2-4 材料在拉(压)时的力学性能	14
§ 2-5 许用应力 安全因数 强度条件	19
§ 2-6 轴向拉(压)杆的变形	22
§ 2-7 轴向拉(压)杆的应变能	25
§ 2-8 拉(压)杆静不定问题	28
§ 2-9 应力集中的概念	35
§ 2-10 连接件的强度计算	36
本章复习要点	40
习题二	41
第三章 截面的几何性质	50
§ 3-1 静矩和形心	50
§ 3-2 惯性矩和惯性积	52
§ 3-3 平行移轴公式	55
§ 3-4 转轴公式 主惯性轴	57
本章复习要点	61
习题三	62

第四章 扭转	66
§ 4-1 概述	66
§ 4-2 扭矩 扭矩图	67
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转	69
§ 4-4 圆轴扭转时的应力和强度条件	71
§ 4-5 圆轴扭转时的变形和静不定问题	76
§ 4-6 等直圆轴扭转时的应变能	79
§ 4-7 非圆截面轴扭转的概念	80
本章复习要点	86
习题四	87
第五章 弯曲内力	93
§ 5-1 梁的平面弯曲与计算简图	93
§ 5-2 梁的剪力和弯矩	96
§ 5-3 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	104
§ 5-4 荷载、剪力和弯矩间的关系	114
§ 5-5 用叠加法作梁的弯矩图	126
本章复习要点	127
习题五	129
第六章 弯曲应力	136
§ 6-1 梁的弯曲正应力	136
§ 6-2 梁的弯曲正应力强度条件	144
§ 6-3 梁的弯曲切应力及其强度条件	151
§ 6-4 非对称开口薄壁截面梁的平面弯曲 弯曲中心	159
§ 6-5 提高弯曲强度的措施	164
本章复习要点	166
习题六	168
第七章 弯曲变形	175
§ 7-1 梁的弯曲变形与位移	177
§ 7-2 梁的挠曲线近似微分方程	177
§ 7-3 用积分法求梁的位移	178
§ 7-4 用叠加法求梁的位移	185
§ 7-5 梁的刚度条件 提高梁刚度的措施	191
§ 7-6 简单静不定梁的解法	194
§ 7-7 弯曲应变能	201
本章复习要点	202

习题七	203
第八章 应力和应变分析 强度理论	209
§ 8-1 一点处应力状态的概念	209
§ 8-2 平面应力状态下的应力分析、应力圆	212
§ 8-3 三向应力状态分析简介	218
§ 8-4 各向同性材料的应力-应变关系	219
§ 8-5 三向应力状态下的应变能	221
§ 8-6 强度理论与应用	223
本章复习要点	228
习题八	229
第九章 组合变形	235
§ 9-1 概述	235
§ 9-2 斜弯曲	236
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲组合	238
§ 9-4 偏心压缩与截面核心	239
§ 9-5 弯曲与扭转组合	243
本章复习要点	246
习题九	247
第十章 能量方法	253
§ 10-1 概述	253
§ 10-2 外力功与应变能	253
§ 10-3 应变能的计算	255
§ 10-4 卡氏定理	259
§ 10-5 虚功原理	263
§ 10-6 单位力法	264
* § 10-7 计算莫尔积分的图乘法	271
§ 10-8 用能量法分析静不定问题	274
本章复习要点	285
习题十	286
第十一章 压杆稳定	291
§ 11-1 压杆稳定的概念	291
§ 11-2 细长压杆的临界荷载	292
§ 11-3 压杆的临界应力	298
§ 11-4 压杆的稳定计算	301
§ 11-5 提高压杆承载能力的措施	312

本章复习要点.....	314
习题十一.....	315
第十二章 动荷载	321
§ 12-1 概述	321
§ 12-2 惯性力问题	321
§ 12-3 构件受冲击荷载作用时的应力和变形计算	325
§ 12-4 冲击韧性	331
本章复习要点.....	333
习题十二.....	333
第十三章 疲劳与断裂	338
§ 13-1 概述	338
§ 13-2 材料的疲劳极限与应力-寿命曲线	340
§ 13-3 影响构件疲劳极限的因素	341
§ 13-4 构件的疲劳强度计算	347
§ 13-5 提高构件疲劳强度的途径	351
§ 13-6 应力强度因子与材料的断裂韧性	351
本章复习要点.....	353
习题十三.....	354
第十四章 极限荷载	357
§ 14-1 概述	357
§ 14-2 拉伸与压缩杆系的塑性极限分析	359
§ 14-3 圆轴的极限扭矩	363
§ 14-4 梁的极限弯矩	365
本章复习要点.....	374
习题十四.....	376
习题参考答案	379
附录 型钢规格表	393
参考文献	404

第一章 绪 论

本章主要介绍材料力学课程的研究对象、基本假设和一些基本概念。

§ 1-1 材料力学的研究对象

在工程中,使用各种各样的结构和机械,这些结构和机械是由许多部件或零件按一定的规律组合而成,我们把这些部件或零件统称为**构件**,如桥式起重机的横梁、吊勾、钢丝绳,悬臂吊车架的横梁、斜杆等都是构件。当结构或机械工作时,构件将受到各种外力作用,这种外力称为**荷载**。构件在荷载作用下,其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**。

为了保证结构或机械的正常工作,各构件都必须能够正常工作。为此,首先要求构件在受到荷载作用时不发生破坏或不产生显著的塑性变形。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;桥梁结构在载荷作用下如果变形过大,将影响车辆的行走,等等。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,如桥梁中的墩柱,如果是细长的,当传递的压力超过一定限度后,将有可能显著地变弯,导致桥梁倒塌。构件在一定荷载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**。由以上分析可知,构件要正常工作需满足以下三点:

(1) 具有足够的**强度**。构件的强度是指构件在荷载作用下,抵抗破坏或过量塑性变形的能力,例如房屋中的横梁不断裂,储气罐不应爆裂等。

(2) 具有足够的**刚度**。构件的刚度是指构件在荷载作用下,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**。构件的稳定性是指构件在压力荷载作用下,保持其原有平衡状态的能力,例如千斤顶的螺杆、房屋结构中的主柱等。

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。前者是为了安全可靠,可通过选用优质材料与较大的截面尺寸实现,但这样以来,可能造成材料浪费与结构笨重;后者是为了少用材料,减小费用。可见,两者之间存在着矛盾。材料力学的任务就是研究构件在荷载作用下的变形、受力与破坏的规律,为设计既经济又安全的构件,提供强度、刚度和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,离不开材料在荷载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试验来测定。此外,经过简化得出的理论是否反映实际情况,也要借助于试验来验证。所以,试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

组成实际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。在荷载作用下,一切固体都将发生变形,故称为可变形固体。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,通常省略一些对分析计算影响小的次要因素,将它们抽象为理想化的材料,然后进行分析计算,对变形固体做以下四个基本假设。

(1) 连续性假设。认为整个物体体积内毫无空隙地充满着物质,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,这种连续性不仅存在于构件变形前,也存在于变形后,即构件在变形后不会出现空隙或孔洞,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,从构件内部任何一点所取的微小体积单元,其力学性质与其他部分相同,可以代表整个构件的力学性质。

实际的材料,其组成部分的力学性能往往存在不同程度的差异,例如水泥混凝土材料,是由砂、石、水、水泥等材料经水化反应后形成,对每个组成材料而言,其力学性质存在差别,但由于构件或构件的任一部分包含了数量极大的组成材料,而且无规则地排列,构件的力学性能是这些组成材料力学性能的统计平均值,能保持一个恒定的量,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。对金属材料的单一晶粒而言,沿不同方向,其力学性能是不一样的。但构件中包含数量极多的晶粒,且杂乱无章地排列,这样,从宏观来看,沿各个方向的力学性能就接近相同了。铸钢、铸铜、玻璃等也属这类材料。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。

(4) 小变形假设。认为构件在荷载作用下产生的变形与构件的原始尺寸比较很微小。根据这一假设,由于构件的变形很小,在研究构件的平衡和运动以及内部受力和变形等问题时,均按构件的原始尺寸和形状进行计算,在各种计算中出现的变形数值的高次方项可忽略不计。在工程实际中,也会遇到一些柔性构件,在荷载作用下其变形常常很大,这时必须按变形后的形状计算,对于大变形问题的研究,已超出了本书涉及的范围。

§ 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,其他构件和物体作用于其上的力均是外力,包括外加荷载和约束反力。我们把外力按下列方式分类。

1. 按外力的作用方式分类

(1) 体积力,就是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,就是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。

如果分布力的作用面积远小于构件的表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. 按荷载随时间变化的情况分类

(1) **静荷载**。荷载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,称为静荷载,如建好的桥梁,上部结构对墩柱的压力;结构件的自重等。

(2) **动荷载**。随时间显著变化或使构件各质点产生明显的加速度的荷载,称为动荷载。动荷载又可分为交变荷载和冲击荷载。

交变荷载是随时间作周期性变化的荷载,如当齿轮转动时,作用于每一个齿上的荷载;车辆行走时,作用于轴上某点的荷载等。

冲击荷载是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的荷载,如紧急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击荷载的作用。

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,即使无外力作用,构件内各质点之间依然存在着相互作用的力,由于这种作用力的存在,使构件以固体的形式存在。材料力学中的**内力**,是指外力作用下引起的质点相互作用力的变化量,因此也称“附加内力”。

构件在荷载作用下内力的大小与分布规律,直接影响构件的强度、刚度和稳定性,因此,内力分析在材料力学中占有重要地位。

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,这样欲求的内力就得以显露,如图 1-1 所示,由连续性假设可知,内力在切开截面上是连续分布的,因此,有时也称“分布内力”。

按照力系简化理论,将上述分布内力进行简化,结果为一主矢 F_R 和一主矩 M (图 1-2)。建立坐标系,沿截面轴线建立 x 轴, y 轴和 z 轴在切开截面内,将主矢 F_R 和主矩 M 分别向 x 轴、 y 轴和 z 轴分解,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 。我们把沿轴线的内力分量 F_x 称为**轴力**,通常用 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**,通常用 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**。今后为叙述方便,将内力分量和内力偶矩分量统称为**内力分量**。由于原构件在外力作用下保持平衡,因此所截部分在外力和内力分量共同作用下保持平衡,根据平衡方程

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

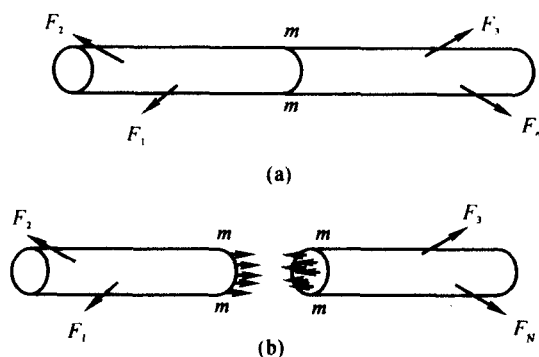


图 1-1

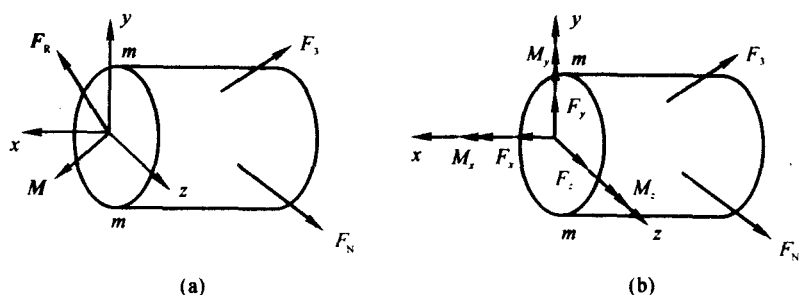


图 1-2

即可建立内力与外力间的关系或由外力确定内力。

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 3 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。

§ 1-4 应力与应变

一、应力

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 1-3 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

$$\bar{p} = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

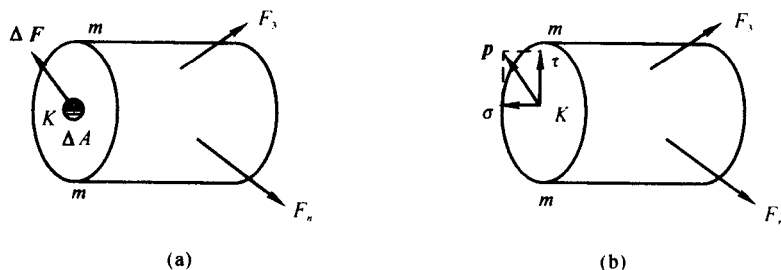


图 1-3

$\bar{p}$ 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,于是有

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

式中 p 称为点 K 处的应力。由式(1-1)知,应力即单位面积上的内力,表示截面上某点当 $\Delta A \rightarrow 0$ 时内力的密集程度。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。显然有

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

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

二、应变

构件在荷载作用下,其形状和尺寸都将发生改变,即产生变形,构件发生变形时,内部任意一点将产生移动,这种移动称为线位移。同时,构件上的线段(或平面)将发生转动,这种转动称为角位移。由于构件的刚体运动也可产生线位移和角位移,因此,构件的变形要用线段长度的改变和角度的改变来描述。线段长度的改变称为线变形;角度的改变称为角变形。线变形和角变形分别用线应变和角应变来度量。

图 1-4(a) 所示为在构件中取出一微小六面体,现取其中一棱边研究。设棱边 AB 原长为 Δx ,构件在荷载作用下发生变形, A 点沿 x 轴方向的位移为 μ , B 点沿 x 轴方向的位移为 $\mu + \Delta\mu$,则棱边的改变为 $[(\Delta x + \mu + \Delta\mu) - \mu] - \Delta x = \Delta\mu$,棱边 AB 的平均应变为

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

通常情况下, AB 上各点的变形程度不同,则

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-3)$$

称为点 A 沿 x 轴方向的线应变或简称为应变。

线应变的物理意义是构件上一点沿某方向变形量的大小。线应变无量纲,无单位。

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 1-4(b) 所示,两棱边所夹直角改变了 $\alpha + \beta$,这种直角的改变量称为切应变,用 γ 表示。切应变无量纲,单位为弧度。

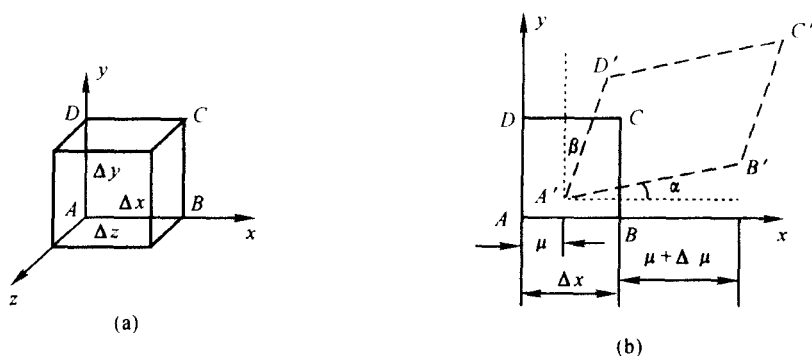


图 1-4

§ 1-5 杆件变形的形式

实际中的构件有各种不同的形状,材料力学研究的主要对象为杆件,简称杆。杆件是指纵向(长度方向)尺寸远大于横向(垂直于长度方向)尺寸的构件。

杆件的形状和尺寸由两个几何因素确定,横截面和轴线(图 1-5)。横截面是指与轴线垂直的截面;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杆和变截面杆。按轴线的形状可分为直杆、曲杆和折杆。

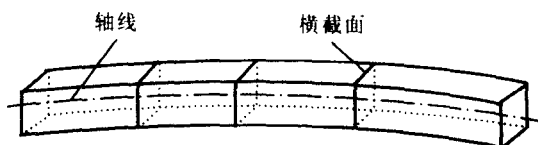


图 1-5

杆件所受的荷载多种多样,产生的变形也有各种形式,在工程结构中,杆件的基本变形只有以下 4 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,表现为杆件的长度发生伸长或缩短(图 1-6(a), (b))。

(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一对力引起,表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动(图 1-6(c))。

(3) **扭转**。杆的变形是由大小相等、转向相反、作用面都垂直于杆件轴的两个力偶引起,表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动(图 1-6(d))。

(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线的纵向平面内的力偶引起,表现为杆件轴线由直线变为曲线(图 1-6(e))。

在工程实际中,构件在荷载作用下的变形,属于某种基本变形的情况较少,常为上述几种基本变形的组合。处理这类问题时,若构件以某一种基本变形形式为主,其他变形为次时,则按这一种基本变形计算;若几种基本变形同等重要,则按组合变形计算。本书在分析讨论每一种

基本变形的基础上,再分析组合变形。

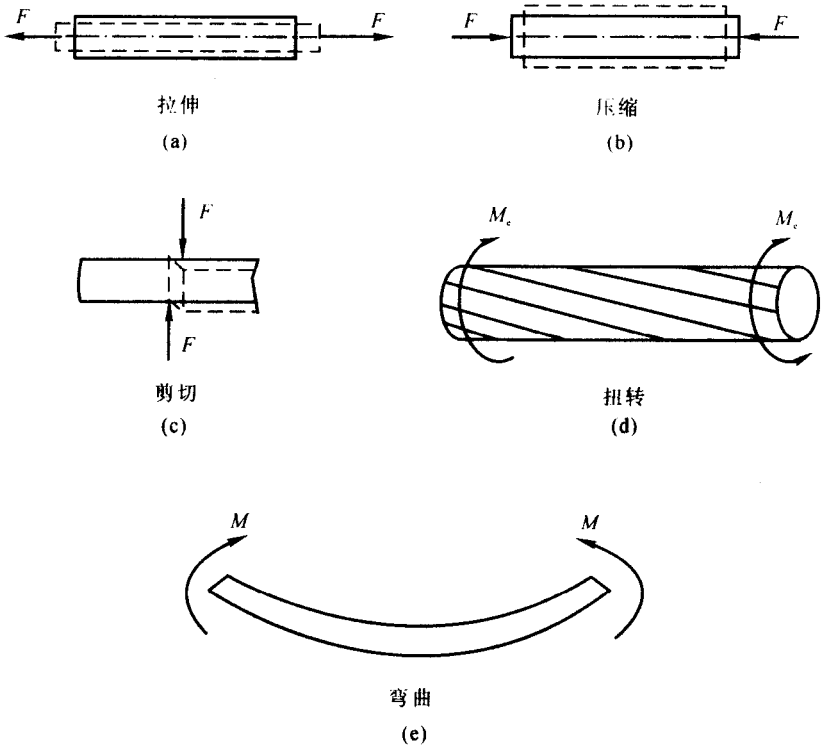


图 1-6

第二章 轴向拉伸和压缩

本章主要介绍轴向拉(压)杆的内力、应力、变形、应变能和简单静不定问题的计算,以及材料在拉压时的力学性质和连接件的强度计算。轴向拉伸和压缩虽然是基本变形中较简单的一种,但所涉及的内力的确定,应力、变形的计算,应变能的分析,材料的拉压力学性能、强度条件的应用,静不定问题的解法和连接件的强度计算等基本概念和处理问题的方法、步骤都具有代表性,掌握这些内容,对后续章节的学习将有很大的帮助。

§ 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,实例如图 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,但通过对受轴向拉伸与压缩的杆件的形状和受力情况进行简化,计算简图如图 2-3 所示。轴向拉伸是在轴向力作用下,杆件产生伸长变形,简称为拉伸;轴向压缩是在轴向力作用下,杆件产生缩短变形,简称为压缩。

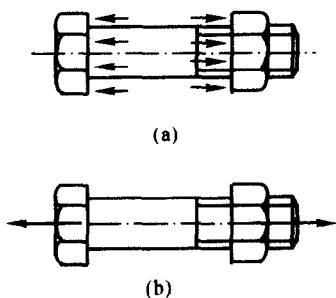


图 2-1

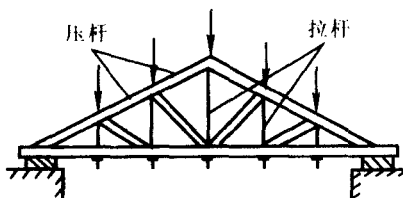


图 2-2

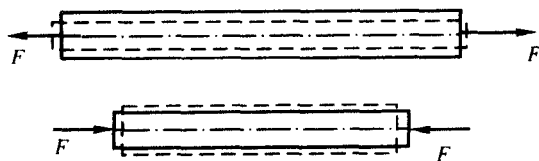


图 2-3

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 $m-m$ 假想地被截开, 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, 根据所截部分的平衡知, 横截面上的内力分量只有 F_N 。由平衡条件 $\Sigma F_x = 0$, 得

$$F_N - F = 0$$

$$F_N = F$$

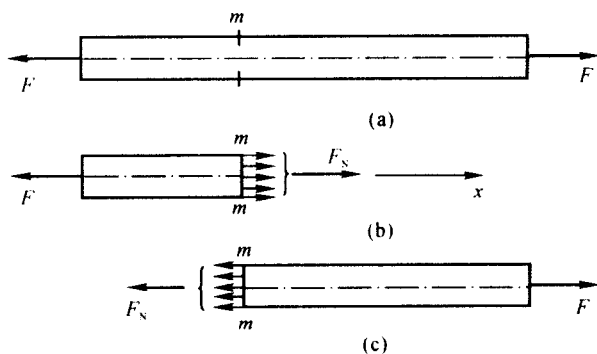


图 2-4

由于外力沿着杆件的轴线作用, 根据二力平衡原理, 分布内力的合力 F_N 也必然与轴线重合, 故 F_N 称为轴力。

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 $m-m$ 上的轴力不但数值相等, 而且具有相同的正、负号, 参照杆件的变形情况, 对轴力 F_N 的正负号作如下规定: 杆件的变形为轴向伸长时, 轴力 F_N 为正, 称为拉力; 杆件的变形为轴向压缩时, 轴力 F_N 为负, 称为压力。

上述方法就是截面法, 在应用截面法时需要注意以下两点:

(1) 外荷载不能沿其作用线移动。因为材料力学中研究的对象是可变形体, 不是刚体, 力的可传性不成立。

(2) 截面不能切在外荷载作用点处, 要离开或稍微离开作用点。依据圣维南原理, 力作用在构件某一位置上的不同方式, 只会影响与作用点距离不大于构件横向尺寸的范围。

2. 轴力图

当杆件受到多个轴向外力作用时, 在不同的横截面上, 轴力将不相同。在对等直拉杆或压杆进行强度计算时, 以杆的最大轴力为计算依据, 为此, 必须知道杆各横截面上的轴力, 以确定