

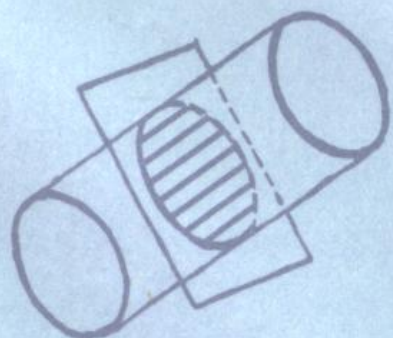
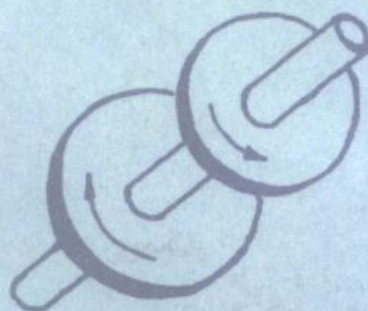
高等学校教材

工程力学

材料力学

叶凌云 主编

肖玲 刘玮 副主编



兵器工业出版社

402381

7B301

Y40

高等学校教材

工程力学

材 料 力 学

主 编 叶凌云
副主编 肖 玲 刘 玮
编 著 吴桂英 杨 强 郭晓辉
~~刘 玲~~ 肖 玲 叶凌云

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书按照高等工科大学课程指导委员会制定的“高等工业学校材料力学课程基本要求”所规定的内容编写而成,适用于课程时数为60~90的机电、化工、环境保护、给水排水和建筑等专业,也可供有关工程技术人员参考。

为了便于在课程中开展计算机辅助教学,本书的最后一章编写了计算机分析方面的内容。

本书概念、理论论述准确严谨,文字简明、精炼,适用面宽。

EAC 152

图书在版编目(CIP)数据

工程力学:材料力学分册/叶凌云等编著. —北京:兵器工业出版社,1997.8

ISBN 7-80132-144-8

I.工… II.叶… III.①工程力学②材料力学 N. TU·22

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第09336号

兵器工业出版社出版发行

(邮编:100081 北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

北京理工大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:12.875 字数:313.56千字

1997年8月第1版 1997年8月第1次印刷

印数:1—4000 定价:15.50元

前 言

本书是高等工业院校工程类专业开设的技术基础课程。本书严格按高等工科大学课程指导委员会制定的“高等工业学校理论力学课程基本要求”和“高等工业学校材料力学课程基本要求”所规定的内容编著而成,是一本适合高等工科院校使用的教材。

本书在保证现行体系相对稳定的前提下,编著时,力求做到:理论分析严密、逻辑性强;文字简明、精炼;专业覆盖面宽,保证一定的信息量;在概念的引出、理论的叙述及结论的应用中特别注意与工程实际的结合与联系;在例题的分析及解题过程中突出解题思路、方法、步骤和技巧;精选习题,题量少、类型全。

随着科学技术的发展,计算机的使用已渗透到各个领域,并且成为高校培养学生能力的一个重要方面。太原工业大学理论力学教研室、材料力学教研室开设“理论力学计算机分析”和“材料力学计算机分析”课程已有八年,取得了很好的效果,受到学生的欢迎。该课程所使用的自编讲义逐年完善并且较为成熟。经过八年的教学实践积累了丰富的教学经验。因此在各专业的工程力学教学中全面开展计算机分析的时机已经成熟。为此,在各分册的最后一章编著了“计算机分析”的内容,以满足这方面的需要。

本书理论力学分册的第一、十二、十三章由叶凌云编著,第四、六、七、八、九章由杨强编著,第十、十一、十四章由刘玮编著,第五章由郭晓辉编著,第二、三章由肖玲编著,习题由杨强解答。材料力学分册的附录由叶凌云编著,第一、六、九、十章由郭晓辉编著,第四、五、七、八章由吴桂英编著,第二、三、十一章由肖玲编著,习题由郭晓辉解答。全书由叶凌云统稿。

限于我们的水平,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

1997年元月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的任务及研究方法	(1)
§ 1-2 变形固体及其基本假设	(2)
§ 1-3 外力及其分类	(2)
§ 1-4 内力、截面法和应力的概念	(3)
§ 1-5 变形和应变	(5)
§ 1-6 杆件变形的基本形式	(6)
第二章 拉伸与压缩	(8)
§ 2-1 概述	(8)
§ 2-2 横截面上的内力、应力和强度条件	(8)
§ 2-3 拉(压)杆的变形及胡克定律	(12)
§ 2-4 斜截面上的应力	(14)
§ 2-5 材料在拉(压)时的力学性质	(15)
§ 2-6 简单的拉、压超静定问题	(18)
§ 2-7 应力集中的概念	(22)
§ 2-8 剪切、挤压的实用计算	(23)
习题二	(27)
第三章 扭转	(32)
§ 3-1 概述	(32)
§ 3-2 扭矩和扭矩图	(32)
§ 3-3 剪应力互等定理、剪切胡克定律	(35)
§ 3-4 圆轴扭转时的应力和强度条件	(36)
§ 3-5 圆轴扭转时的变形和刚度条件	(41)
习题三	(43)
第四章 弯曲内力	(46)
§ 4-1 概述	(46)
§ 4-2 梁上的荷载和梁的典型形式	(46)
§ 4-3 剪力和弯矩	(48)
§ 4-4 剪力图和弯矩图	(50)
§ 4-5 荷载集度、剪力和弯矩之间的微分关系	(54)
习题四	(57)
第五章 弯曲应力	(62)
§ 5-1 纯弯曲时的正应力	(62)
§ 5-2 横力弯曲时正应力计算及正应力强度条件	(66)
§ 5-3 弯曲剪应力	(68)
§ 5-4 提高梁弯曲强度的措施	(73)

习题五	(76)
第六章 弯曲变形	(80)
§ 6-1 概述	(80)
§ 6-2 梁的挠曲线近似微分方程	(81)
§ 6-3 用直接积分法求梁的变形	(81)
§ 6-4 用叠加法求梁的变形	(87)
§ 6-5 梁的刚度条件及提高梁弯曲刚度的途径	(89)
§ 6-6 用变形比较法解简单超静定梁	(90)
习题六	(91)
第七章 应力状态和强度理论	(97)
§ 7-1 应力状态的概念	(97)
§ 7-2 平面应力状态分析	(98)
§ 7-3 三向应力状态的最大剪应力	(105)
§ 7-4 广义胡克定律	(107)
§ 7-5 强度理论的概念	(109)
§ 7-6 四种常用的强度理论及其应用	(110)
习题七	(115)
第八章 组合变形	(119)
§ 8-1 概述	(119)
§ 8-2 拉伸(或压缩)与弯曲的组合	(120)
§ 8-3 偏心压缩与截面核心	(122)
§ 8-4 扭转与弯曲的组合	(124)
习题八	(127)
第九章 动荷载	(131)
§ 9-1 概述	(131)
§ 9-2 作加速运动构件的应力计算	(131)
§ 9-3 构件受冲击时的应力和变形计算	(134)
§ 9-4 交变应力的概念和疲劳破坏	(136)
§ 9-5 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	(137)
§ 9-6 对称循环时材料和构件的持久极限	(138)
习题九	(139)
第十章 压杆稳定	(143)
§ 10-1 压杆稳定的概念	(143)
§ 10-2 确定压杆临界压力的欧拉公式	(144)
§ 10-3 欧拉公式的适用范围、经验公式	(146)
§ 10-4 压杆稳定性的校核	(148)
习题十	(152)
第十一章 材料力学计算机分析简介	(155)
§ 11-1 概述	(155)

§ 11-2	复杂荷载作用下梁内力的计算机分析	(155)
§ 11-3	确定组合截面几何性质的计算机分析	(162)
习题答案		(169)
附录 A 截面图形的几何性质		(176)
§ A-1	静矩和形心	(176)
§ A-2	惯性矩、惯性积、惯性半径	(179)
§ A-3	平行移轴公式	(180)
习题 A		(181)
附录 B 型钢表		(183)
表 B1	等边角钢(GB700-79)	(183)
表 B2	不等边角钢(GB701-79)	(190)
表 B3	普通槽钢(GB707-65)	(194)
表 B4	普通工字钢(GB706-65)	(196)

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务及研究方法

工程结构或机器中的任一组成部分,如建筑物的梁和柱、机器中的传动轴和螺栓,还有加工中的零件,都称为构件。当工程结构或机器工作时,组成它们的各个构件要承受一定的外力,如建筑物中的梁要承受自身重力及其它构件传递给它的重力作用,机器中齿轮传动轴要承受齿轮啮合力的作用,车削中的零件要受到车刀切削力的作用,这些作用在构件上的外力统称为载荷或荷载。构件一般由固体材料制成,固体在外力作用下,都要发生一定程度的变形,即形状和尺寸的改变。如果外力过大,它们甚至会破坏。固体在外力作用下,有抵抗变形和破坏的能力。

为保证结构或机器能够正常、安全地工作,每一构件都应有足够的能力担负起所承受的荷载。构件承受荷载的能力一般由以下三个方面来衡量。

1. 强度

强度是指构件抵抗破坏的能力。构件在规定荷载作用下不应破坏。例如,建筑物的梁、柱不应折断,传动齿轮的齿不应断裂,压力容器不应开裂或爆破。这就要求构件必须具有足够的强度。

2. 刚度

刚度是指构件抵抗变形的能力。构件在荷载作用下,即使有足够的强度,但如果变形过大,也会影响结构或机器的正常工作。如屋面上的檩条变形太大时,会引起屋面漏水,机床主轴变形太大时,会影响加工精度。因此,要求构件必须具有足够的刚度。

3. 稳定性

稳定性是指构件保持原有平衡形态的能力。有些受压力作用的细长杆件,如千斤顶的螺杆,内燃机的汽门挺杆、房屋中的承重柱、桁架中的压杆等,应始终维持原有的直线平衡形态,保证不被压弯,即具有足够的稳定性。

满足了上述各项要求,就能保证构件安全、正常地工作。因此,构件的强度、刚度和稳定性是材料力学研究的主要内容。换言之,材料力学是研究构件承载能力的科学。

构件的强度、刚度和稳定性与其所用的材料、几何尺寸和截面形状有关。若构件的截面尺寸过小,截面形状不合理或材料选用不当,就不能满足上述要求,当然也就不能保证结构或机器正常工作。反之,如果构件尺寸过大、材料质量太好,虽然能满足上述要求,却浪费了材料,增加了成本和质量。因此,必须为构件选择适当的材料、合适的截面形状和尺寸,以保证构件既安全可靠,又经济合理。这就是材料力学的任务。

构件的强度、刚度和稳定性与材料本身的力学性质有关,而材料的力学性质须由实验来测定。材料力学中的许多理论是在某些简化条件下得到的,是否可信也须由实验来验证。有些理论干脆就是通过实验来直接建立的,如后文提到的胡克定律等。还有许多问题尚无现成的理论

分析结果可用,只能借助于实验方法来解决。因此,在材料力学中,实验分析和理论研究同等重要,都是完成材料力学任务所必须的手段。计算机是分析和解决材料力学问题的另一重要工具,它在数值计算、实验分析等方面有其不可替代的重要作用。

综上所述,材料力学研究的对象是构件;研究的主要内容是构件的强度、刚度、稳定性以及材料的力学性质;研究的方法是理论分析、实验研究和计算机分析。材料力学将为工程中设计安全可靠且经济合理的构件提供理论基础。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

固体在外力作用下要发生变形,故称为变形固体或可变形固体。研究构件的强度、刚度和稳定性等方面的问题时,都与构件的变形有关。因此,固体的可变形性质是一个重要的基本性质。为简化计算,常常略去它们的次要性质,并根据其主要性质作出假设,将各种各样复杂的真实固体抽象为一种具有同一主要性质的理想模型。以下是对变形固体所作的三个基本假设:

1. 连续性假设

认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的整个几何空间。实际上,组成固体的粒子之间是有空隙的,但这种空隙与构件的尺寸相比极其微小,可以忽略,即在固体中的物质是连续充满的。这样,就可以用数学中连续函数的概念来描述固体内的有关力学量。

2. 均匀性假设

认为固体内各点处的力学性质是相同的。就金属而言,组成金属的各个晶粒的力学性质不尽相同。但因构件中任一与构件几何尺寸相比足够小的部分所包含的晶粒数量极多,且无规则排列,固体的力学性质是各晶粒力学性质的统计平均值,所以,可以认为固体中各个部分的力学性质是相同的。换句话说,任意从固体中取出一部分进行分析,其力学性质总是相同的。

3. 各向同性假设

认为材料沿不同方向具有相同的力学性质。就组成金属的单一晶体而言,沿不同方向其力学性质并不相同。但因金属构件包含的晶粒数量极多,且又随机排列,从统计平均的观点看,沿各个方向的力学性质就接近相同了,具有这种性质的材料称为各向同性材料,如铸钢、塑料、玻璃等。

沿不同方向力学性质不同的材料,称为各向异性材料,如木材、人工合成复合材料等。今后,像复合材料这样的各向异性材料将大量用于工程中。

材料力学所研究的,主要限于各向同性材料。

§ 1-3 外力及其分类

当研究某一构件的受力或变形时,可将其从与之联系的其它构件或物体中分离出来,并用力代替各联系构件或物体对它的作用。这些来自构件外部的力就称之为外力。

按作用方式可将外力分为体积力和表面力。体积力是指连续作用于构件内部各点的力,如构件的自身重力和惯性力等。表面力是作用于构件表面上的力,可分为分布力和集中力。分布力是连续作用于构件表面上的力,分为面分布力和线分布力,如作用在压力容器内壁上的压力和坝体上的水压力就是面分布力,沿杆件轴线分布的力像楼板对梁的作用力就是线分布力。若

外力分布面积远小于构件表面尺寸或线分布力分布长度远小于杆件的轴线长度,就可以认为是作用于一点的集中力,如火车轮对钢轨的压力,滚珠轴承对轴的反作用力等。

按荷载随时间变化的情况,又可分为静荷载和动荷载。若荷载从零开始逐渐缓慢地增加到某一定值,然后即保持不变或变化很不明显,就称之为静荷载,如房屋对地基的压力就是静荷载。随时间不断变化的荷载称为动荷载。如齿轮传动时,每个齿所受到的荷载;汽锤锻造坯件时,锤杆所受到荷载;高速转动的砂轮所受到的离心惯性力都是动荷载。

材料在静荷载和动荷载作用下,它表现出的力学性质有很大差异,分析方法也不尽相同。由于静荷载问题比较简单,其理论和分析方法又是解决动荷载问题的基础,所以首先研究构件在静荷载作用下的有关问题。

§ 1-4 内力、截面法和应力的概念

构件即使不受外力,其内部各质点之间也存在相互作用力。当受外力以后,构件发生变形,各质点间的相对位置要改变,因此,它们之间已存在的相互作用力要发生改变,其改变量就是材料力学意义上的内力。内力随外力的增大而增大,当达到某一极限时,就会引起构件破坏。因此,构件的内力与其强度密切相关。

内力是构件内部各部分之间的相互作用力,欲求它,就应将它显示出来。如求外力作用下 $m-m$ 截面上的内力(图 1-1(a)),可用一假想平面将其一分为二,任取其中一部分,如 II 作为

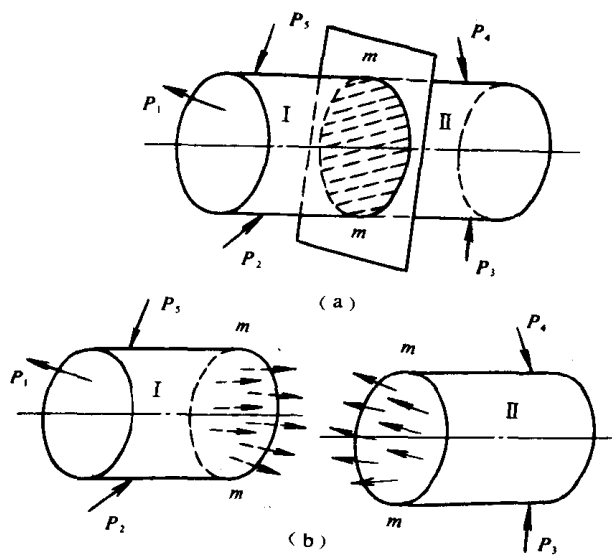


图 1-1

研究对象。欲使 I 部分维持平衡,则 I 部分必须有力作用于 II 的截面 $m-m$ 上,此力与 II 部分上所受外力 P_3 和 P_4 平衡(图 1-1(b))。由作用力和反作用力定律可知,II 必然也以大小相等,方向相反的力作用于 I 上。上述 I、II 两部分间的相互作用力就是构件在 $m-m$ 截面上的内力。由前述关于变形固体的连续性假设,在 $m-m$ 截面上各处均应有内力作用,即内力是一分布力系。通常把内力系向截面形心简化得到主矢和主矩,并称之为截面上的内力。根据所选的

研究对象 I 的静力平衡方程即可求出 $m-m$ 截面上的内力。

上述用截面假想地把构件分成两部分,以显示并求解内力的方法称为截面法。归纳起来为以下三个步骤:

(1) 切开,即沿欲求内力的截面处将构件假想地切开,留下其中任一部分作为研究对象,并将另一部分弃去。

(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,建立留下部分的静力平衡方程,进而求出内力。

例 1-1 小型压力机的铸铁框架如图 1-2(a)所示,荷载 $P=1\text{kN}$,试求截面 $n-n$ 上的内力。

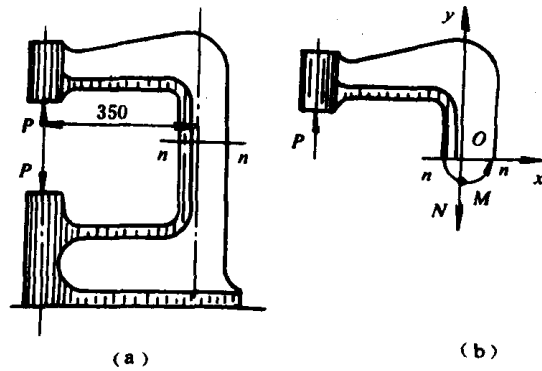


图 1-2

解:(1)沿截面 $n-n$ 假想将框架切开成两部分,取截面 $n-n$ 以上部分为研究对象,并以截面形心为原点建立坐标系(图 1-2(b))。

(2)外力 P 使截面 $n-n$ 以上部分沿 y 轴方向移动并绕 O 点顺时针转动。为保持上部的平衡,在截面 $n-n$ 上必然有内力 N 和 M 作用,其中 N 为过形心 O 点向下作用的力, M 为对形心 O 点的逆时针方向的力偶矩。

(3)由平衡条件

$$\begin{aligned} \sum Y = 0, \quad P - N = 0 \\ \sum m_o = 0, \quad 0.35P - M = 0 \end{aligned}$$

求得 $N=P=1\text{kN}$, $M=0.35P=0.35 \times 1=0.35\text{kN} \cdot \text{m}$

从上例可知,用截面法求出的仅仅是截面上分布内力的合力。为了解决强度问题,不但要知道构件可能沿哪一个截面破坏,而且还要知道截面上哪些点最危险。因此,仅仅知道截面上内力的合力是不够的,还须知道截面上各点内力的强弱程度。为此,进一步引入一个能描述截面各点内力强弱程度的物理量——内力集度或应力。

在图 1-1 所示受力构件的 $m-m$ 截面上,围绕 C 点取一微小面积 ΔA (图 1-3(a)),设在 ΔA 上分布内力的合力为 ΔP ,则 ΔP 与 ΔA 的比值:

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

就称为微面积 ΔA 上的平均内力集度或平均应力。 p_m 是一个矢量,它反映了在 ΔA 范围内内力

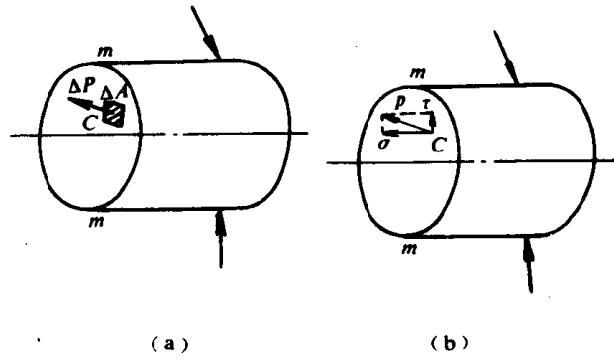


图 1-3

的平均集中程度,它的大小和方向与 C 点的位置和所取面积 ΔA 的大小有关。为确切地描述内力系在 C 点的集中程度,可让微面积 ΔA 无限地向 C 点收缩,也即对 p_m 取极限,得到:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-1)$$

p 称为 C 点的应力。它确切地反映了 C 点内力分布的强弱程度。 p 是个矢量,一般情况下既不与截面垂直,也不与截面相切。通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和与截面相切的分量 τ 。 σ 称为正应力, τ 称为剪应力。

应力的量纲为[力]/[长度]²。在国际单位制中,应力的单位是帕斯卡,简称为帕(Pa), $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。由于这个单位太小,使用不便,通常使用兆帕(MPa)或吉帕(GPa)表示。 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa} = 10^9\text{Pa}$ 。

§ 1-5 变形和应变

构件在外力作用下,要发生变形。构件的刚度和截面上的应力分布规律均与构件内各点的变形有关。为便于分析研究,可把构件分割成无数个非常微小的正六面体。当六面体的各边长趋于无限小时称为单元体。

设图 1-4 为从构件内某一点 k 处取出的一个边长分别为 Δx 、 Δy 、 Δz 的正六面体。变形后,

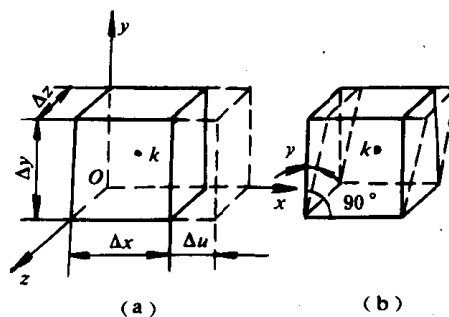


图 1-4

六面体的边长和各棱边间的夹角都要改变。现考察沿 x 方向的棱边,其原长为 Δx ,变形后变为

$(\Delta x + \Delta u)$ 。 Δu 称为绝对变形,其大小与原长 Δx 的大小有关。比值:

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

表示在 Δx 内每单位长度的平均伸长或缩短,称为平均应变。当 $\Delta x \rightarrow 0$ 时,则 ϵ_m 的极限

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-2)$$

称为 k 点沿 x 方向的线应变,或简称应变。若在 Δx 内各点的变形程度相同,则平均应变 ϵ_m 就是 k 点的应变。用类似的方法,可讨论沿 y 和 z 方向的应变。

构件变形后,上述六面体除棱边长度改变外,其正交线段的夹角也会发生变化,不再保持直角(图 1-4(b))。这一角度的改变量 γ 称为剪应变或角应变,通常用弧度来度量。

应变 ϵ 和剪应变 γ 是度量构件内一点处变形程度的两个基本量,均是无量纲量。

构件内所有单元体变形的总和就是构件的整体变形。实际构件的变形一般是极其微小的,需用精密的仪器才能测到。材料力学所研究的问题仅限于小变形情况,即无论是变形还是因变形而引起的位移,其大小都远小于构件的最小尺寸。如图 1-5 所示的杆系结构,在外力作用下,各杆发生变形引起荷载作用点的位移 δ 。如果 δ 远小于结构的原始尺寸,则当列各杆内力和 P 在节点 A 的平衡方程时,仍可用结构变形前的形状和尺寸,即忽略各杆的变形。这样就使得分析计算工作大为简化。否则,为求 AB 和 AC 两杆所受的力而列节点 A 的静力平衡方程时,必须考虑结构形状和尺寸的变化,而结构形状和尺寸的变化又与两杆所受力的大小有关。这将使问题变得十分复杂,难以用简单方法求解。

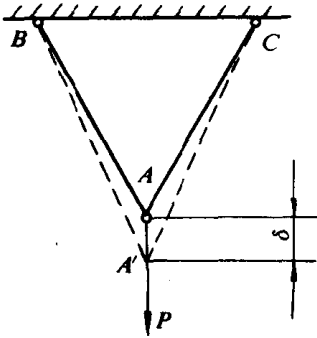


图 1-5

§ 1-6 杆件变形的基本形式

工程中所采用的构件形状多种多样。材料力学中主要研究长度远大于横截面尺寸的构件,即杆件,简称为杆。杆件各横截面形心的连线称为轴线。轴线为直线的杆称为直杆。各横截面大小和形状均相同的直杆称为等直杆。轴线为曲线的杆称为曲杆。工程中许多杆件都可以简化为直杆,如:梁、柱、连杆、丝杆等。材料力学的基本理论,一般是在等直杆基础上建立起来的,其研究对象主要是等直杆。对于曲率很小的曲杆和横截面沿轴线变化缓慢的变截面杆件也可应用等直杆基本理论进行分析研究。

实际杆件的变形是多种多样的,但归纳起来不外乎以下四种基本形式:

1. 拉伸或压缩

当杆件受到大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力作用时,它的长度将伸长或缩短(见图 1-6(a)、(b))。起吊重物的钢索、桁架的杆件、千斤顶的螺杆等杆件的变形都属于拉伸或压缩变形。

2. 剪切

当杆件受到大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线垂直且相距很近的一对力作用时,它的两部分将沿外力作用方向发生相对错动(见图 1-6(c))。机械中常用的联接件如销钉、螺栓、

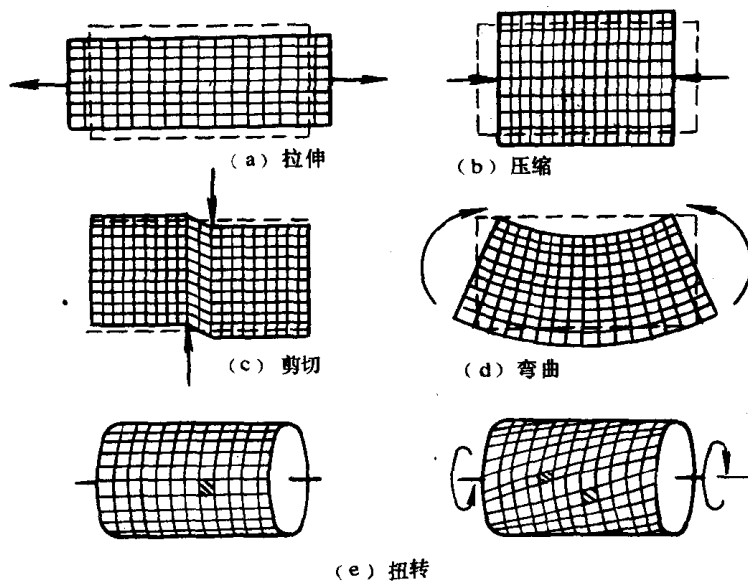


图 1-6

铆钉、键等都发生剪切变形。

3. 弯曲

当杆件受到垂直于其轴线的横向力,或受到作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶时,杆件轴线将由直线变为曲线(见图 1-6(d))。如火车轮轴、桥式起重机大梁、房屋梁均发生弯曲变形。

4. 扭转

当杆件两端受到一对大小相等、方向相反、作用面均与杆轴垂直的力偶作用时,它的任意两个横截面将绕轴线相对转动(见图 1-6(e))。如各种传动轴、机床的主轴的变形等均属扭转变形。

工程中有些杆件同时发生两种或两种以上的基本变形,如车床主轴工作时,同时发生弯曲、扭转和压缩三种基本变形。这种情况称为组合变形。在以后各章中,将分别讨论杆件在四种基本变形下的强度和刚度问题,在此基础上,再讨论组合变形问题。

第二章 拉伸与压缩

§ 2-1 概 述

工程中经常遇到承受拉伸或压缩荷载的杆件。例如,简易起重机的拉杆 AB (见图2-1(a)),

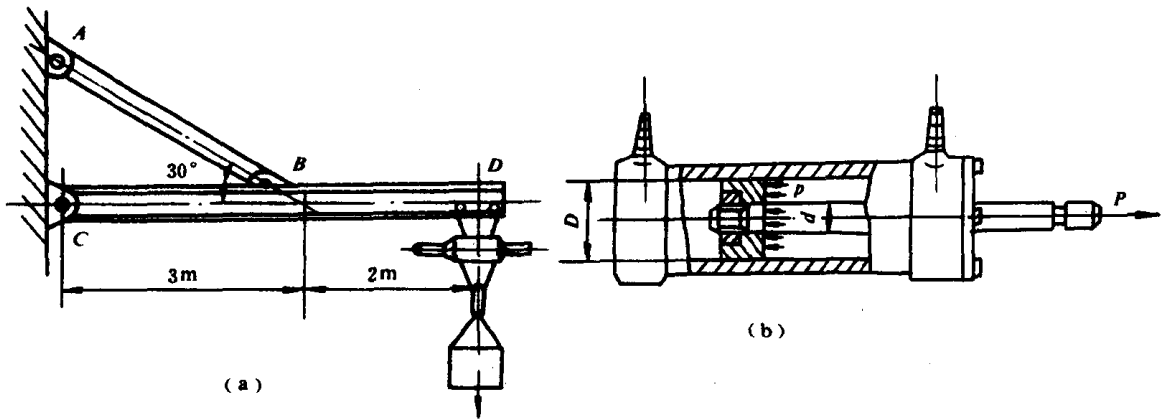


图 2-1

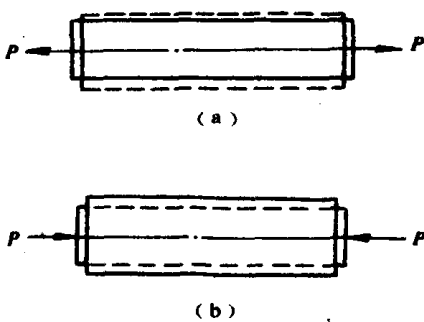


图 2-2

液压缸中的活塞杆(见图 2-1(b)),因油压和工作阻力荷载而受拉伸或压缩作用。

这些受拉或受压的杆件,其结构形式虽各有差异,加载方式也不尽相同,但若将这些杆件的形状和受力情况进行简化,则都可以画成图 2-2 所示的受力简图,即外力作用线与直杆的轴线重合,杆将沿轴线方向伸长或缩短。

§ 2-2 横截面上的内力、应力和强度条件

一、杆横截面上的内力和应力

用截面法,在杆的任一截面 $m-m$ 处(见图 2-3(a)),假想地将杆截分为两段(见图 2-3(b)、(c)),研究其任一段。绪论中曾假设杆件是均匀连续的变形固体,因此,内力在截面上是连续分布的,今用 N 表示其合力。由平衡条件可知:

$$N = P$$

因为外力 P 的作用线与杆轴线重合,内力 N 的作用线也必然与杆轴线重合,所以,拉(压)

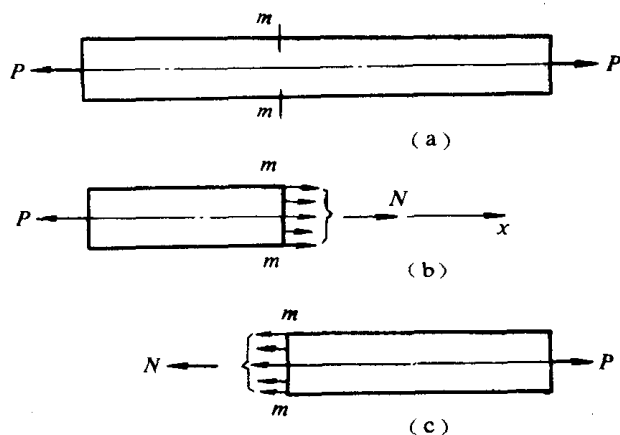


图 2-3

时的内力 N 也称为轴力。习惯上,把对应于伸长变形的轴力规定为正值,对应于压缩变形的轴力规定为负值。

实验表明,如力的作用线与直杆的轴线重合,则在离开杆端一定距离之外,横截面上各点的变形是均匀的,各点的应力也是均匀的,并垂直于横截面。上一章已定义过,垂直于截面的应力称为正应力,并以 σ 表示。若杆横截面面积为 A ,则横截面上的正应力为

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2-1)$$

对于轴向压缩的杆件,上式同样适用,只是横截面上的正应力为压应力。习惯上把对应于伸长变形的拉应力规定为正值,对应于压缩变形的压应力规定为负值。

最后必须指出,除了在杆端整个横截面上作用轴向均匀分布荷载外,在其它加载方式下,轴向拉压杆件在靠近荷载作用处的横截面上,其应力分布并不是均匀的,式(2-1)不能适用。但研究表明,不同加载方式只对离杆端距离不大于横向尺寸的区域内的应力分布有影响,在这个区域以外,横截面上的应力不受加载方式的影响。这就是圣维南原理。这一原理对其它变形形式的杆件也同样适用。

例 2-1 试求图 2-4(a)所示的等截面直杆截面 1-1,2-2,3-3 上的轴力和应力。已知其横截面面积 $A=400\text{mm}^2$ 。

解:用截面法依次沿 1-1、2-2、3-3 假想地将杆截分成两段。弃去右段,画出左段受力图(图 2-4(b)、(c)、(d)),分别用 N_1 、 N_2 、 N_3 表示右段对左端的作用力。根据左段的平衡条件得轴力

$$N_1 = -20\text{kN}(\text{压力})$$

$$N_2 = 30 - 20 = 10\text{kN}(\text{拉力})$$

$$N_3 = 40 + 30 - 20 = 50\text{kN}(\text{拉力})$$

一般,未知轴力 N 设为拉力(正值),若计算结果为正值,则表示实际轴力为拉力。若计算结果为负值,则表示实际轴力为压力。

若选取一个坐标系,其横坐标表示横截面的位置,纵坐标表示相应截面上的轴力,便可用图线表示出轴力沿杆轴线的变化(图 2-4(e)),这种图线称为轴力图。在轴力图中,将拉力绘在 x 轴的上侧;压力绘在 x 轴的下侧。这样,轴力图不但显示出杆件各段内轴力的大小,而且还可

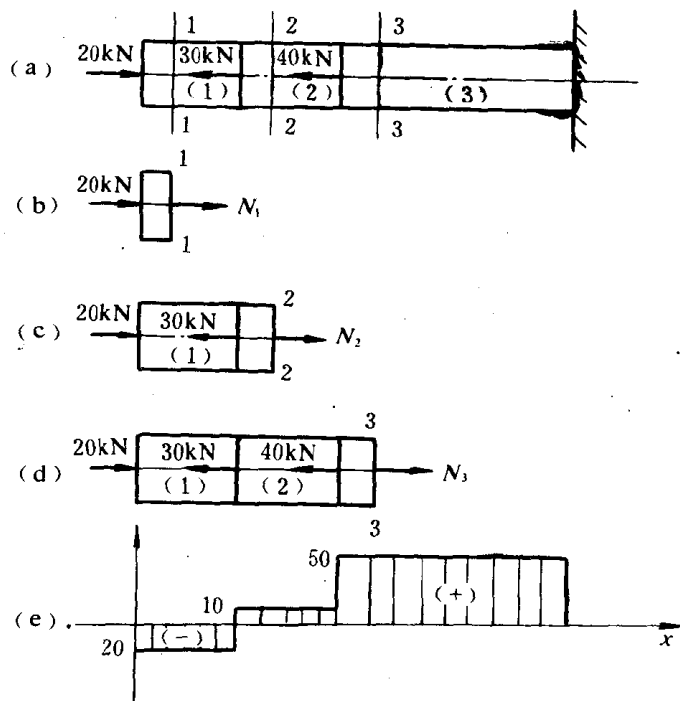


图 2-4

表示出各段内的变形是拉伸或压缩。相应的应力分别为：

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = \frac{-20 \times 10^3}{400 \times 10^{-6}} = -50 \times 10^6 \text{N/m}^2 = -50 \text{MN/m}^2 = -50 \text{MPa} (\text{压应力})$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = \frac{10 \times 10^3}{400 \times 10^{-6}} = 25 \times 10^6 \text{N/m}^2 = 25 \text{MN/m}^2 = 25 \text{MPa} (\text{拉应力})$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A} = \frac{50 \times 10^3}{400 \times 10^{-6}} = 125 \times 10^6 \text{N/m}^2 = 125 \text{MN/m}^2 = 125 \text{MPa} (\text{拉应力})$$

二、许用应力和强度条件

在绪论中曾指出：任何构件都应满足强度要求。当应力达到某一极限值时，材料就会发生破坏，这时的应力值称为材料的破坏应力，或称为极限应力，用 σ^0 表示。把极限应力除以一个大于 1 的系数 n ，并将所得结果称为许用应力（或称容许应力），用 $[\sigma]$ 来表示，即

$$[\sigma] = \frac{\sigma^0}{n} \quad (2-2)$$

n 称为安全系数，其数值恒大于 1。

为了保证构件具有足够的强度，实际工作应力不能超过许用应力，即

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] \quad (2-3)$$

式(2-3)称为轴向拉伸或压缩时杆件的强度条件。

例 2-2 铣床工作台的进油缸如图 2-5 所示，油压力 $p=2\text{MPa}$ ，内径 $D=75\text{mm}$ ，活塞杆直径 $d=18\text{mm}$ ，材料的许用应力 $[\sigma]=50\text{MPa}$ ，试校核活塞杆的强度。

解：受力分析