

ENGINEERING MECHANICS

工程力学

下 册

顾玉林 胡瑞民 主编

南京工学院出版社

工 程 力 学

下 册

顾玉林 胡瑞明 主编

南京工学院出版社

内 容 简 介

本书下册共十一章，主要内容包括：轴向拉伸与压缩，材料的机械性能，扭转，弯曲，应力状态和强度理论，压杆稳定，体系的几何组成，静定结构的内力计算，静定结构的位移计算，力法，力矩分配法。

本书可作为高等专科学校、职业大学、职工大学、业余大学中设置的化工、食品、轻纺、电器、企业管理、建筑、城建、建材、自动化等专业的教材，也可供工程技术人员参考和自学者使用。

工程力学

下册

顾玉林 胡瑞明 主编

南京工学院出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 浦口柳洲印刷厂印刷

开本787×1092 毫米1/32 印张13.125 字数290千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数： 1—8000册

ISBN 7—81023—028—(X)/O·28

统一书号：13409·015 定价：2.00元

目 录

第三篇 材料力学

引言	(1)
----	-------

第七章 轴向拉伸与压缩

§ 7—1 拉(压)杆横截面上的内力 截面法	(5)
§ 7—2 拉(压)杆横截面上的应力 强度条件	(10)
§ 7—3 拉(压)杆的变形 变形能	(18)
§ 7—4 拉压超静定问题	(30)
§ 7—5 拉(压)杆连接部分的剪切和挤压强度	(36)
习题	(45)

第八章 材料的机械性质

§ 8—1 材料在拉伸时的机械性质	(51)
§ 8—2 材料在压缩时的机械性质	(58)
§ 8—3 温度对材料机械性质的影响	(60)
* § 8—4 应力集中和材料的断裂韧性	(61)
§ 8—5 材料的冲击韧度	(65)

第九章 扭转

§ 9—1 扭转的概念	(68)
§ 9—2 外力偶矩和扭矩的计算	(69)
§ 9—3 薄壁圆筒的扭转 剪切胡克定律	(73)
§ 9—4 圆轴扭转时的应力和变形	(75)
§ 9—5 圆轴扭转时的强度和刚度条件	(84)
习题	(87)

第十章 弯曲

§ 10—1 平面弯曲概念	(91)
---------------	--------

§ 10—2	梁的内力 内力图	(92)
§ 10—3	弯曲时梁的正应力 正应力强度条件	(104)
§ 10—4	弯曲剪应力概述	(121)
§ 10—5	弯曲变形	(127)
§ 10—6	简单超静定梁的解法	(142)
习题		(146)

第十一章 应力状态理论和强度理论

§ 11—1	拉(压)杆斜截面上的应力	(155)
§ 11—2	应力状态的概念	(159)
§ 11—3	平面应力状态分析	(161)
§ 11—4	主应力和最大剪应力	(167)
§ 11—5	三向应力状态的最大剪应力 广义胡克定律	(173)
§ 11—6	强度理论简介	(180)
§ 11—7	组合变形时的强度计算	(187)
* § 11—8	交变应力概述	(202)
习题		(206)

第十二章 压杆稳定

§ 12—1	压杆的稳定性概念 临界力	(215)
§ 12—2	计算临界力的欧拉公式	(216)
§ 12—3	临界应力 欧拉公式的适用范围	(220)
§ 12—4	超比例极限时的临界应力	(222)
§ 12—5	压杆的稳定计算	(226)
习题		(232)

第四篇 结构力学

引言	(237)
----	---------

第十三章 体系的几何组成分析

§ 13—1 几何不变体系和几何可变体系·····	(241)
§ 13—2 平面体系的自由度概念·····	(242)
§ 13—3 几何不变体系的简单组成规则·····	(244)
§ 13—4 瞬变体系的概念·····	(251)
§ 13—5 静定结构和超静定结构的概念·····	(253)
习题·····	(254)

第十四章 静定结构的内力计算

§ 14—1 多跨静定梁及静定平面刚架·····	(257)
§ 14—2 静定平面桁架·····	(270)
§ 14—3 三铰拱·····	(276)
§ 14—4 影响线的概念·····	(285)
习题·····	(293)

第十五章 静定结构的位移计算

§ 15—1 计算结构位移的目的·····	(297)
§ 15—2 变形体系的虚功原理·····	(298)
§ 15—3 利用虚功方程计算结构的位移·····	(302)
§ 15—4 图乘法·····	(312)
§ 15—5 功及位移的互等定理·····	(320)
习题·····	(322)

第十六章 力法

§ 16—1 超静定结构的特征·····	(325)
§ 16—2 力法的基本概念及典型方程·····	(331)
§ 16—3 用力法求解超静定结构·····	(336)
§ 16—4 超静定结构的位移计算·····	(352)
§ 16—5 等截面单跨超静定梁的杆端内力·····	(354)

习题	(360)
----------	---------

第十七章 力矩分配法

§ 17—1 力矩分配法的基本概念	(363)
-------------------------	---------

§ 17—2 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	(372)
--------------------------------	---------

习题	(380)
----------	---------

附 录

一、简单载荷作用下梁的变形	(383)
---------------------	---------

二、型钢表	(387)
-------------	---------

三、部分习题参考答案	(403)
------------------	---------

第三篇 材 料 力 学

引 言

一、材料力学的任务

在工程中，广泛地使用各种机械和结构物。组成这些机械或结构的单个部分称为构件。各种构件可能因下述原因之一而不能进行正常的工作：例如，起重机的钢丝绳因载荷过大而被拉断；吊车梁因过度的变形，导致吊车不能正常的行驶；千斤顶的螺杆因载荷过大，使其不能保持原有的直线平衡状态，导致突然变弯，造成所谓失稳破坏。为了避免上述现象，保证构件的正常工作，在构件的设计中应满足如下一些要求：

（1）构件应具有足够的强度（即抵抗破坏的能力），以保证在载荷作用下不致破坏。

（2）构件应具有足够的刚度（即抵抗变形的能力），以保证在载荷作用下，不产生过度的变形。

（3）构件应具有足够的稳定性（即维持其原有平衡形式的能力），以保证在载荷的作用下，不产生失稳现象。

设计构件时，必须满足强度、刚度、稳定性三个方面的要求，同时应尽可能选用适当的材料和减少材料的消耗量，以节约资金或减轻构件的自重。材料力学的任务就是为构件的强度、刚度和稳定性计算提供必要的理论基础和计算方法，并在保证构件正常工作的前提下，最经济合理地使用材料。

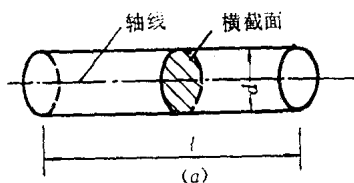
构件的强度、刚度和稳定性不仅与受力情况及其几何尺

寸有关，而且与制作构件的材料有关。因此，材料力学还要通过试验来研究材料在载荷作用下所呈现的力学性能。

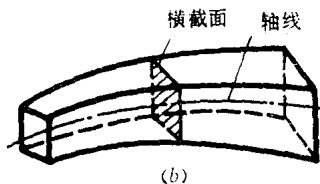
二、材料力学的研究对象

工程中的构件，其形状是多种多样的，但最常用的则是杆件。所谓杆件，就是其纵向（长度方向）尺寸比横向（垂直于长度方向）尺寸大得多的构件。机械中的传动轴、房屋结构中的梁和柱等都可看作是杆件。

杆件有两个主要的几何特征，即横截面和轴线。横截面是与杆件长度方向垂直的截面，而轴线则是所有横截面形心的连线，如图（一）、（二）所示。显然横截面与轴线是互相垂直的。按轴线的形状，杆件可分为直杆（图（一））和曲杆（图（二））；按横截面的变化情况，杆件又可分为等截面杆（图（一））和变截面杆（图（二））。材料力学的研究对象主要是等截面的直杆，简称等直杆。



图（一）



图（二）

三、材料力学的基本假设

在理论力学中，研究受力物体的平衡和运动规律时，物体的微小变形是个次要因素，因而把物体抽象为刚体。但在材料力学中，研究的是构件的强度、刚度和稳定性，变形就成为一个不可忽略的因素。所以材料力学中必须把物体看作为可变形的固体。

制造构件的材料是多种多样的，它们的微观结构是非常复杂的，在研究构件的强度、刚度和稳定性时，为了使问题得到简化，通常对可变形固体作如下的基本假设：

1、材料的均匀性连续性假设

均匀性，即认为组成构件的物质及其密集程度，在构件内部的任何部分都是相同的，因而构件内部任一部分的机械性能也都相同。连续性，即认为物体的整个体积内都毫无空隙地充满着物质。根据这一假设，就可以从构件中取出无限小的微体来研究，然后推广到整个物体上去。也可将由标准试样实验所得出的材料性能，用到任一微体上去。而且，构件内的一些物理量均可表示为坐标的连续函数。

2. 各向同性假设

认为材料在各个方向都具有相同的物理性能。也就是说，材料的物理性能与方向无关。根据这个假设，当获得了材料在任一方向的物理性能后，就可以将其结论用于其它任何方向。

3. 小变形条件

构件在载荷作用下，其几何形状及尺寸将发生改变，称为变形。构件的变形可分为弹性变形和塑性变形两种。当载荷卸除后，能完全消失的变形，称为弹性变形；不能消失而永久地残留下来的变形，称为塑性变形。一般地说，当载荷不超过一定范围时，构件将只产生弹性变形。但当载荷超过一定范围时，构件的变形将同时包含有弹性变形和塑性变形，通常构件的弹性变形与构件的原始尺寸相比是很微小的。因此，在计算构件的约束反力及内力而涉及构件的尺寸时，可略去微小变形的影响而使计算大为简化。而且，由于小变形条件，构件内的一些物理量将是坐标的线性函数。

本篇讨论由均匀连续、各向同性材料所组成的构件，在弹性范围内小变形条件下的强度、刚度等问题。

四、杆件变形的基本形式

杆件由于加载的方式不同，可能发生各种各样的变形。归纳起来，杆件变形的基本形式有三种：轴向拉伸或压缩、扭转和弯曲。实际构件的变形可能是某一基本变形，也可能是几种基本变形的组合。以后各章将先讨论基本变形，然后再讨论组合变形。

第七章 轴向拉伸与压缩

工程上有许多承受轴向拉伸或压缩的杆件，例如，图7—1(a)所示的固紧液压缸盖的螺栓，在拧紧后螺栓将受到轴向拉伸；图7—1(b)所示支承容器的立柱，在容器和贮存液的重力作用下将承受轴向压缩。这些受力杆件的共同特点是杆件可简化为等截面直杆，外力(或其合力)的作用线与杆件的轴线重合，杆件的主要变形为沿轴向伸长或缩短。这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。其力学模型如图7—1(c)所示。

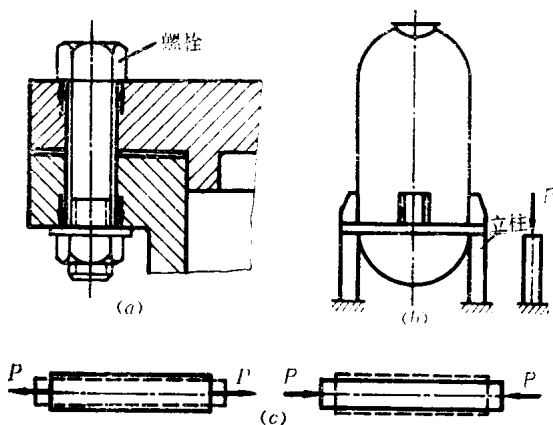


图 7—1

§ 7—1 拉(压)杆横截面上的内力 截面法

一、内力的概念

构件因外力作用而变形，同时其内部各质点之间的相互

作用力将随质点间的距离变化而发生改变。这种内部质点间相互作用力的改变量,统称为内力。由此可见,这里所说的内力是由外力引起的,而且是作用在杆件某一部分上的分布力系。在材料力学中,构件的内力通常是指分布内力系的合成(合力或合力偶),它等效于构件各部分之间的作用。

内力随外力的增加而增加,当它超过一定限度时,构件就要发生破坏。因此,内力的计算是强度,刚度和稳定性计算的基础。下面来讨论拉(压)杆的内力计算,并介绍构件内力计算的一般方法。

二、截面法 轴力

设一拉杆如图7—2a所示,杆的两端各受一集中力 P 的作用,这两个力大小相等,指向相反,作用线与杆轴线重合,称为轴向外力,现求拉杆某一横截面 $m-m$ 上的内力。为了显示截面 $m-m$ 两侧相互间的作用力,可假想地沿该截面将杆件截开,任取其一段(例如A段)作为研究对象,并将弃去部分(B段)对留下部分(A段)的作用,用内力来代替。由于杆件原处于平衡状态,因此,杆件的任一部分均应保持平衡。由A段的平衡条件可知,作用在截开面上的内力必与外力 P 等值共线。因此,轴向拉(压)时横截面上的内力必定与杆件的轴线重合,称为轴力,通常用符号 N 表示。于是,由 $\sum X = 0$, 可得

$$N = P$$

N 的方向向右,如图7—2(b)所示。

同理,若取B段作为研究对象,也可得 $N = P$, 方向向左(图7—2(c))。显然,分别作用在A、B两段截开面上的两个内力,互为作用与反作用。若按杆件的变形趋势来规定轴力 N 的正负号,则当轴力指向与截面的外向法线指向一致而

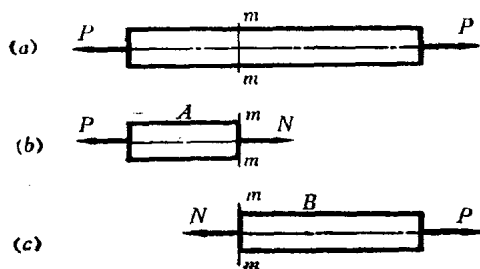


图 7—2

使杆件伸长时（图7—2(b)(c)），轴力为正；当轴力与截面外法线的方向相反，而使杆件缩短时，轴力为负，按照这一符号规定，则杆件截开后，无论选取那一段作为研究对象，所求得的轴力必定数值相同，符号一致。

对于压杆，其横截面上的内力可用同样的方法求得。

这种假想地用一截面将杆件截开，用以显示内力，并通过平衡条件确定该截面上内力的方法，称为截面法。截面法是求杆件内力的普遍方法，也是材料力学的基本方法之一。截面法的一般步骤可归结为：

（i）截开。在需求内力的截面处，假想地将杆件截开。

（ii）代替。保留截开后的任一部分，把移去部分对保留部分的作用用内力来代替。

（iii）平衡。对保留部分列出平衡方程，确定截开面上的内力大小和方向。

图7—2(a)所示拉杆，只在两端受外力 P ，因此沿杆轴各横截面上的轴力 N 都等于 P 。当拉(压)杆承受多个外力作用时，则在不同区段，杆横截面上的轴力是不同的，为了表示轴力随截面位置的变化情况，可绘制轴力随截面位置变化

的图线，这种图线，称为轴力图。今以下例来说明轴力图的做法。

例 7—1 试绘出图7—3(a)所示直杆的轴力图。

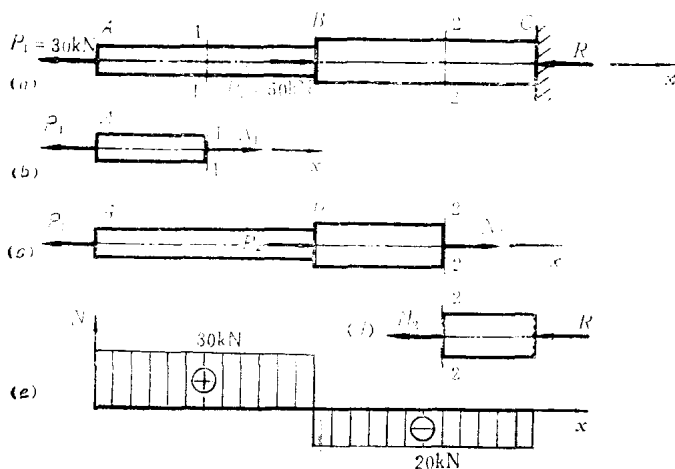


图 7—3

解 (i) 约束反力计算。设杆的反力为 R ，由杆的平衡条件。

$$\sum X = 0, P_2 - P_1 - R = 0$$

得

$$R = P_2 - P_1 = 50 - 30 = 20\text{kN}$$

(ii) 轴力计算。由图7—3(a)可见，杆件AB段内各横截面上的轴力是相同的，BC段内各横截面上的轴力也是相同的，但AB段与BC段内的轴力并不相等。为此，先求AB段内任一横截面1—1上的轴力 N_1 。应用截面法，取左段为研究对象，并设 N_1 为拉力(图7—3(b))，由平衡条件，

$$\Sigma X = 0, N_1 - P_1 = 0$$

得

$$N_1 = P_1 = 30 \text{ kN}$$

所得 N_1 为正值，表明所设 N_1 为拉力是正确的。

同理，求 BC 段内任一横截面 2—2 上的轴力。应用截面法，取左段为研究对象，设轴力为拉力 N_2 (图 7—3(c))，由平衡条件，

$$\Sigma X = 0, N_2 + P_2 - P_1 = 0$$

得

$$N_2 = P_1 - P_2 = 30 - 50 = -20 \text{ kN}$$

所得 N_2 为负值，表明所设 N_2 的方向与实际方向相反，即为压力。显然，若取截面 2—2 右段为研究对象 (图 7—3(d))，由平衡条件可求得相同的 N_2 值。

值得注意，在列平衡方程时，力的方向是假定的。由平衡方程求得的结果，正号表示与假设的方向相同 (如 N_1)，负号表示与假设的方向相反 (如 N_2)。而作为轴力 N 的正负号是由变形趋势确定的，拉力取正号，压力取负号。因此在使用截面法计算内力时，若始终假设轴力为拉力，则两种不同意义的正负号就可得到统一，如本例所示。

(iii) 作轴力图。为作出表示杆轴各横截面上轴力变化的轴力图，设平行于杆轴的 x 轴表示横截面的位置，垂直于杆轴的 N 轴表示相应截面上的轴力。根据上面所得的数值，可作出杆 AC 的轴力图，如图 7—3(e) 所示。轴力图可显示出整个杆件各横截面上轴力的变化情况。在作轴力图时应当注意： x 轴应与杆轴平行，使其与杆件截面一一对应；在轴力图上注明数值与正负号，正号表示拉力，负号表示压力。在截面 B 上的轴力为不定值，因为力 P_2 并没有具体说明其作用方式，

因此，只能说B以左截面上的轴力为 N_1 ，以右截面上的轴力为 N_2 。

§7—2 拉(压)杆横截面上的应力 强度条件

一、应力的概念

前面讨论的拉(压)杆的轴力，是横截面上分布内力系的合力。若两横截面面积不同的两杆，承受相同的轴力，显然横截面较小的杆必定先破坏。因此，杆件的强度不仅与轴力的大小有关，还与杆件的横截面面积有关，为此我们引入内力集度的概念。

图7—4表示受力构件上截取的一部分。为了描述截面 $m-m$ 上任一点K处的内力集度，围绕点K取一微面积 ΔA ，

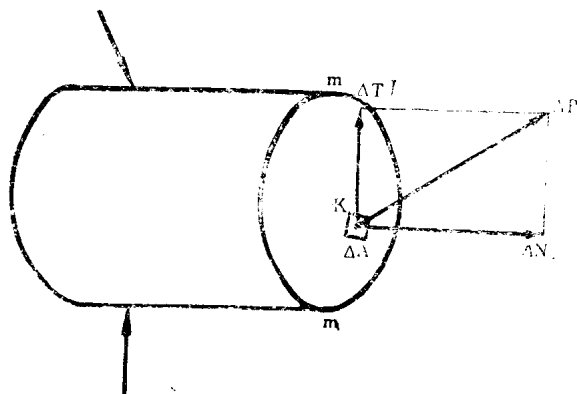


图 7—4

设 ΔP 表示作用在该微面积上的内力，则 ΔA 上的内力的平均集度为

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