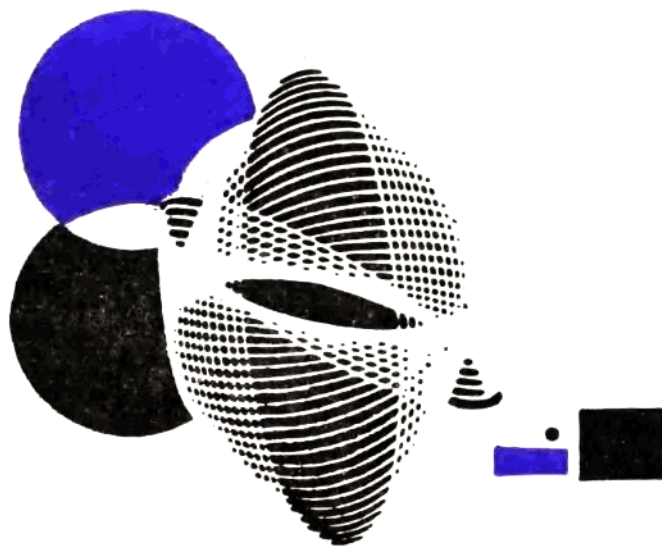




高等职业技术学院教材

材料力学



劳动人事出版社

本教材是按照高等职业技术师范机械类专科60—80学时材料力学教学大纲编写的。共包括十四章，计有：绪论、拉伸与压缩、材料的力学性质、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形时杆件的强度计算、简单超静定问题、交变应力、压杆稳定、电测应力分析简介和附录。每章后附有习题和思考题。

本教材适用于高等职业技术师范院校机械类专科和函授各专业，也可用于机械类本科有关专业。

参加本书编写的有：王达正、金国朴、岳澄、邓怀庆、李森、宋贵海、谢满若，主编王达正，副主编李森、谢满若，王振东初审，陈小白审稿。

材 料 力 学

主 编 王达正

副主编 李 森 谢满若

责任编辑：王有先

劳动人事出版社出版

（北京市和平里中街12号）

国防印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 15.5印张 392千字

1989年6月北京第1版 1989年6月北京第1次印刷

印数：4100册

ISBN 7-5045-0340-1/O·012 定价：6.95元

前 言

为了适应高等职业技术师范教育事业发展的需要,我局组织编写了一批进行职业技术师资培训的大专教材,计有:《高等数学》(上、下册)、《普通物理》、《理论力学》、《材料力学》、《机械零件设计》、《电工原理》。这些教材的主要适用对象为高等职业技术师范大专班和函授大专班的学生。

在编写这些教材的过程中,考虑到培养师资和函授学习的特点,除保证教材的理论水平外,在论述上力求通俗易懂,并配以丰富的例题和习题,适宜于学生自学,以培养学生分析问题和解决问题的能力。同时,为使教材具有较强的适应性,编写时取材较为丰富,凡带(*)的部分,属于难度大或加宽知识面的内容,教师和学生可根据情况选修。

这些教材也适合参加其他函授教育、职工大学、夜大学、电视大学的学生使用。

参加这些教材编写工作的是一批教学经验丰富的教师,他们付出了辛勤的劳动,谨在此表示谢忱。对教材中存在的不足之处,敬请读者提出宝贵意见。

劳动人事部培训就业局

1987年8月

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	1
§ 1-3 作用于构件上的外力及其分类	2
§ 1-4 内力、截面法、应力的概念	3
§ 1-5 杆件变形的基本形式	7
思考题	7
第二章 拉伸与压缩	8
§ 2-1 概述	8
§ 2-2 横截面上的内力和应力	9
§ 2-3 斜截面上的应力	12
§ 2-4 许用应力·强度条件	14
§ 2-5 轴向拉伸和压缩时的变形	19
§ 2-6 变形能	23
§ 2-7 应力集中的概念	24
思考题	25
习 题	26
第三章 材料的力学性质	30
§ 3-1 拉伸时材料的力学性质	30
§ 3-2 压缩时材料的力学性质	34
§ 3-3 许用应力和安全系数	36
思考题	37
第四章 剪切	38
§ 4-1 概述	38
§ 4-2 剪切实用计算	39
§ 4-3 剪切计算实例	41
思考题	44
习 题	44
第五章 扭转	46
§ 5-1 扭转的概念和实例	46
§ 5-2 外力偶矩的计算扭矩和扭矩图	47
§ 5-3 剪应力互等定理, 剪切胡克定律	49
§ 5-4 等直圆轴扭转时横截面上的应力分析	51

§ 5-5 等直圆轴扭转时的变形计算	54
§ 5-6 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	56
思考题	58
习 题	60
第六章 弯曲内力	63
§ 6-1 概述	63
§ 6-2 梁的基本形式	64
§ 6-3 梁的内力——剪力和弯矩	65
§ 6-4 剪力图和弯矩图	67
§ 6-5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	75
思考题	78
习 题	78
第七章 弯曲应力	83
§ 7-1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	83
§ 7-2 弯曲剪应力	90
§ 7-3 提高梁抗弯能力的措施	97
思考题	99
习 题	100
第八章 弯曲变形	104
§ 8-1 基本概念	104
§ 8-2 挠曲线的微分方程	105
§ 8-3 用积分法求梁的变形	107
§ 8-4 用叠加法求梁的变形	111
§ 8-5 提高弯曲刚度的措施	117
思考题	118
习 题	119
第九章 应力状态与强度理论	123
§ 9-1 一点应力状态的概念	123
§ 9-2 二向应力状态的研究	125
§ 9-3 三向应力状态下的最大应力	131
§ 9-4 广义胡克定律	133
§ 9-5 三向应力状态下一点的变形比能	134
§ 9-6 强度理论的概念	136
§ 9-7 四个常用的强度理论	136
§ 9-8 强度理论的应用	138
思考题	141
习 题	141
第十章 组合变形时杆件的强度计算	145
§ 10-1 概述	145
§ 10-2 斜弯曲	146
§ 10-3 拉伸（或压缩）与弯曲	149
§ 10-4 偏心拉伸（压缩）	152

§ 10-5 弯曲与扭转组合变形	153
思考题	156
习 题	156
第十一章 简单超静定问题	161
§ 11-1 基本概念	161
§ 11-2 拉伸与压缩的超静定问题	162
§ 11-3 弯曲超静定问题	170
思考题	174
习 题	174
第十二章 交变应力	177
§ 12-1 基本概念	177
§ 12-2 材料的持久极限	180
§ 12-3 持久极限曲线及其简化曲线	182
§ 12-4 影响构件持久极限的因素	183
§ 12-5 疲劳强度校核	189
思考题	193
习 题	193
第十三章 压杆稳定	195
§ 13-1 基本概念	195
§ 13-2 求临界载荷的欧拉公式	196
§ 13-3 临界应力及超出弹性范围的临界应力计算	198
§ 13-4 压杆的稳定校核	201
思考题	203
习 题	204
第十四章 电测应力分析简介	206
§ 14-1 概述	206
§ 14-2 电测应力分析原理	206
§ 14-3 应变应力的测量	212
思考题	214
习 题	215
附录 I 平面图形的几何性质	216
§ I-1 静矩和形心	216
§ I-2 惯性矩和惯性积	218
§ I-3 平行移轴公式	221
§ I-4 转轴公式、主惯性轴	222
习 题	225
附录 II 型钢表	227
表 1 热轧等边角钢	227
表 2 热轧不等边角钢	230
表 3 热轧普通槽钢	233
表 4 热轧普通工字钢	234
习题答案	235

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

工程结构承受载荷或机械传递运动时,为了保证能正常工作,组成结构及机械的构件和机械零件,必须有足够的承载能力。承载能力是由以下三方面条件来衡量的:

1. 强度条件 构件或机械零件在载荷作用下不致发生断裂的条件,即需具有足够的强度。

2. 刚度条件 构件或机械零件在载荷作用下,产生的弹性变形不能超过允许范围的条件,即要有足够的刚度。

3. 稳定条件 在载荷作用下,构件或机械零件,在原形状下的平衡应是稳定平衡,即不会失去稳定性。只有上述三个条件都满足了,才可以认为构件或机械零件具有足够的承载能力或者说满足了强度要求是安全的。

根据以上三个条件,计算机械零件或构件的各部分的合理尺寸,及其它未知量,称为强度计算。归纳起来结构计算可能遇到三种类型的问题,即校核强度、设计截面形状和尺寸、求最大的安全载荷。

进行强度计算,要贯穿一个原则,就是要在安全的前提下最经济。通常这两个要求是矛盾的,材料力学就是为解决这个矛盾提供了初步的理论基础。也正是这个矛盾的存在,才促使材料力学不断地发展。

总之,材料力学是研究结构构件和机械零件承载能力的基础科学,或者说是研究构件或机械零件的强度、刚度和稳定性的科学。

但是有些理论分析的结果,需要通过实验来验证,还有些问题单纯用理论分析的方法不易解决,需要用实验的方法来解决,同时各种材料的机械性质也要靠实验来测定。故实验研究与理论分析,同样都是研究材料力学的重要手段,不能忽视。

材料力学是机械类专业重要的技术基础课之一,是机械和结构设计的基础。材料力学初步说明如何根据实验结果及实际经验,应用科学分析的方法,解决实际工程上出现的问题,这对工程技术人员是有实际意义的。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

一、变形固体

理论力学中假设所有的固体都是刚体,实际上绝对刚体并不存在,任何固体在外力作用下都会产生变形。但理论力学是研究物质运动的一个最简单形态——机械运动。也

就是研究物体在外力作用下平衡与运动问题，这些问题与固体的变形关系不大，故略去次要因素，认为固体是绝对刚体是可以的。但对材料力学来讲，固体的变形就是它的基本性质了。而且变形是与强度密切相关的，绝对刚体的观念再不适用，在材料力学中所有的固体都视为变形体。

二、变形固体的基本假设

实际存在的固体是很复杂的，它的形状、性质也是各种各样的，这就严重地阻碍了用理论的方法来研究问题。为此很有必要按照工程上要求的精度提出一系列假设，使实际的变形固体理论化，即把实际固体抽象为一个理想的力学模型，然后在此基础上进行研究。

1. 均匀连续假设 认为组成变形体的物质，毫无空隙地充满了整个固体的几何空间，而且各处都一样。从物质结构来说，无论是晶体或者非晶体的物质，实际上既不是完全均匀的，也不是真正连续的。可是材料力学中所研究的物体，比起晶体来要大得多，故把固体看成是均匀、连续的是可以的。由此假设得出的结论与实验结果是相符合的，但不是说此假设在所有情况下都适用，例如金属受到随时间改变的载荷作用时，由于材料的不均匀性、不连续性将引起较大的应力集中现象，对材料强度的影响较大。此种情况下这个假设不能适用，要用更复杂的理论来解决问题。

2. 各向同性假设 认为材料在各个方向上，都具有相同的机械性质。据此可以认为材料在各个方向上及各位置上的弹性模量都一样。符合上述条件的材料，称为各向同性材料。如铸钢、青铜、玻璃、塑胶、浇注很好的混凝土等皆属此类。材料力学中研究的材料，一般多属于各向同性材料。

3. 小变形假设 固体在外力作用下产生的变形，可能很小也可能较大，但在材料力学中研究的问题，大多数仅限于变形很小的情况。故材料力学中认为，固体的变形远小于构件变形前的任何一个方向的尺寸。大多数工程实际是符合小变形条件的。据此在考虑物体的平衡时，应用平衡方程式时可以不考虑物体变形后尺寸的改变量，在研究物体的变形时，也可以略去变形的乘积。这样就简化了计算，并为今后采用叠加法求解问题打下基础。

三、有关变形的概念

1. 变形假设 认为当物体受外力作用时，对于晶体结构的物质来说，是因为物体内晶体发生错动而变形。对于非晶体物质来说，是因为分子错动而变形。

2. 变形的物理性质 物体的变形可分为弹性变形及塑性变形。在外力作用下物体产生变形，当外力消失后，变形也随着完全消失，这种变形称为弹性变形。材料的这种弹性性质，是表示构件没有损伤和破坏的重要标志。当外力超过某一限制时，外力取消后将有一部分变形消失不掉，这部分变形称为塑性变形或永久变形。一般情况下是不允许构件发生塑性变形的。

§ 1-3 作用于构件上的外力及其分类

物体受力一般分为两大类，即外力和内力。外力是指所研究的构件和与其相联系的其他物体之间相互作用的力，包括载荷、反力等。内力是指物体内部各部分之间的相互

作用力。首先研究外力及其分类。

一、按外力作用方式分类

1. 体积力 是指作用在整个物体各个点上的力。如引力、重力、电磁力、惯性力等。单位是 N/m^3 (N/m^3), 或 kN/m^3 (kN/m^3)。

2. 表面力 是指作用在物体表面上的力, 又可分为

(1) 集中力, 力分布在物体表面上的面积, 远小于物体任何一个方向的尺寸, 因此可以认为力是作用在物体表面一个点上, 称为集中力。如火车车轮对钢轨的压力, 轴承对轴的反力等。单位是 N 或 kN 。

(2) 分布力, 分布在物体表面一定面积上的力, 称为分布力。单位是 N/m^2 (N/m^2), MN/m^2 (MN/m^2), ($1\text{MN}=10^6\text{N}$) 等。如油缸中油压力、船体上的水压力, 挡土墙上的土压力等均属此类。但若分布力是沿长度方向均匀分布的, 也可以用每单位长度受力的大小来度量, 如轴的自重可采用 N/m 或 kN/m 等单位。

二、按载荷性质分类

1. 静载荷 作用在物体上的载荷缓慢地增加, 到一定值后就不变了。在加载过程中, 结构物或者构件不产生加速度, 或者产生的加速度很小可以略去, 这种载荷称为静载荷。可以认为静载荷在加载过程中, 结构物或者构件随时都处于静力平衡状态。

2. 动载荷 凡是加载过程中, 使物体产生不能忽略的加速度, 称为动载荷。如突加载荷、冲击载荷、交变载荷等。

三 按载荷作用时间长短分类

1. 暂时载荷 如雪载荷, 风压力等。

2. 永久载荷 经常作用在物体上的载荷, 如构件的自重。

§ 1-4 内力、截面法、应力的概念

一、内力的概念

内力是指物体内部的一部分对另外一部分的作用而产生的力。有以下两种情况, 当物体不受任何外力时, 固体内部就有内力存在, 表现为物体的任何两分子间都同时存在着吸引力和排斥力。当这两个力平衡时, 可以保持分子间的相对位置不变, 因此才能保持固体形状不变。这种内力, 物理学上称为分子的结合力。当物体受外力时, 改变了固体分子间的距离, 从而引起分子结合力的改变, 以达到新的平衡。材料力学中研究的内力, 就是指在这种情况下分子结合力的改变量, 它是和材料的强度有密切关系的。且材料力学中研究的内力, 总是伴随着变形产生的, 它总的趋势是要保持固体的原来形状, 抵抗变形的产生, 故又称内力为抗力。

二、内力的求法——截面法

设某一结构在 P_1 、 P_2 、 P_3 ...等力作用下处于平衡状态(图1-1)。现在研究作用在任意截面($m-m$)上的内力, 为此可以采取以下步骤。

假想用($m-m$)截面把构件切开, 分成 A 、 B 两部分(图1-2)。

可以选取 A 或者 B 其中任何一部分为研究对象。若以 A 为研究对象, 其上作用着外

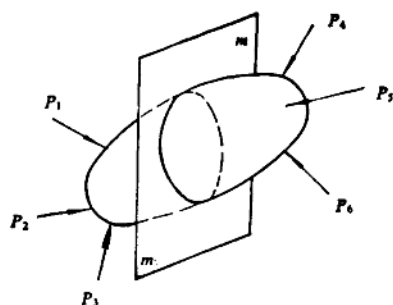


图 1-1

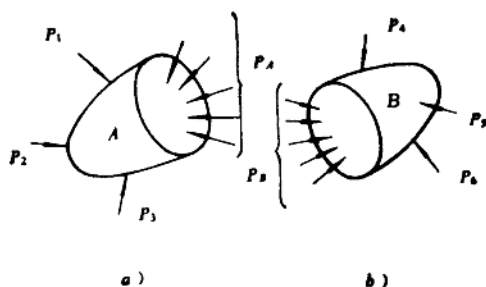


图 1-2

力 P_1 、 P_2 、 P_3 ……(图 1-2a), 在截面 ($m-m$) 上必有内力存在, 它代表 B 部分对 A 部分的作用。且按照均匀连续假设, ($m-m$) 截面上各点均有内力存在, 形成一个分布力系, 此分布力系的合力以 P_4 表示, 则 A 部分在 P_1 、 P_2 、 P_3 ……及 P_4 共同作用下保持平衡。按照平衡条件可求出

$$\bar{P}_A = \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \dots$$

同理若以 B 部分为研究对象, 按照平衡条件可求出 $\bar{P}_B$, 它的值等于 $\bar{P}_A$, 但方向相反。

总之求内力时必须指出要求那个截面的内力, 然后假想在该截面处, 把构件切成两部分, 求其中任何一部分外力的平衡力, 即可得所求的内力, 这种求内力的方法称为截面法。

例 1-1 如图 1-3a 为一受轴向力作用的杆件, $P_1=1\text{kN}$ 、 $P_2=1\text{kN}$ 、 $P_3=2\text{kN}$ 。求 1-1 截面及 2-2 截面上的内力。

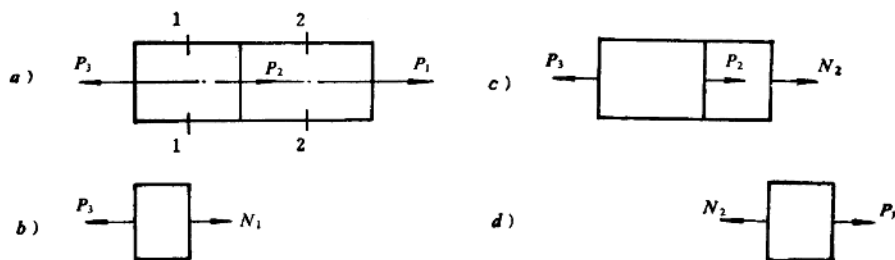


图 1-3

解 设想沿 1-1 截面将杆件截成两部分, 研究左边的一部分, 并画出受力图 (图 1-3b)。1-1 截面上的内力以 N_1 表示, 它表示右边的一部分对左边一部分的作用。为了保持左边一段的平衡, 左段上作用的外力及内力必定能满足平衡方程式的要求。根据左段的平衡条件, $\sum F_x = 0$, 得

$$\begin{aligned} N_1 - P_3 &= 0 \\ N_1 &= P_3 = 2\text{kN (拉力)} \end{aligned}$$

同理可以计算截面 2—2 上的内力 N_2 ，由截面 2—2 左边一段（图 1-3c）的平衡条件， $\Sigma F_x = 0$ ，得

$$N_2 + P_2 - P_3 = 0$$

$$N_2 = P_3 - P_2 = 1\text{kN}(\text{拉力})$$

当然也可以用 2—2 截面右边一段为研究对象（图 1-3d），由平衡条件， $\Sigma F_x = 0$ ，得

$$P_1 - N_2 = 0$$

$$N_2 = P_1 = 1\text{kN}(\text{拉力})$$

所得结果与前述一样，但计算比较简单。故用截面法求内力时，应取受力情况比较简单的那一部分为研究对象。

用上述截面法求内力，求出的只是内力分布力系的合力，而不能求出截面上内力的分布规律，也就确定不了截面上某一点内力的强弱。为此引入应力的概念。

三、应力——内力的集度

应力是表示内力的度量，图 1-4 a 表示某一构件任意截面 $m-m$ 上， A 点附近微小



图 1-4

面积 ΔA 上，内力的合力为 ΔP 。若令 $p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A}$ ，称 p_m 为微小面积 ΔA 上内力的平均集度，也就是 ΔA 面积上的平均应力， p_m 的方向与 ΔP 一致。可以看出平均应力是随 ΔA 选取的大小有关，它不能真正代表 A 点的应力，为此可采用式 (1-1)。

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

p 称为 A 点的总应力，方向也是与 ΔP 一致。但是总应力 p ，一般不与截面平行，也不与截面相切。在实际应用时，通常把总应力 p 分解为垂直于截面的应力分量 σ ，称为正应力，或法向应力（图 1-4 b）。切于截面的应力分量 τ ，称为切应力或剪应力（图 1-4 b）。

若以 ΔN 表示内力 ΔP 的法向分量（图 1-4 a）， ΔT 表示内力 ΔP 的切向分量，则

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta A} = \frac{dN}{dA} \quad (1-2)$$

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} = \frac{dT}{dA} \quad (1-3)$$

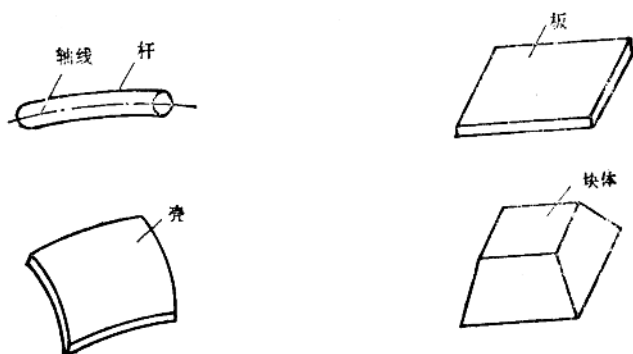
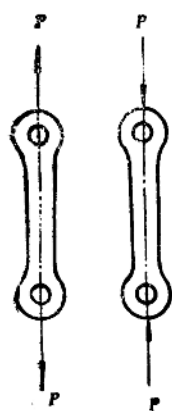


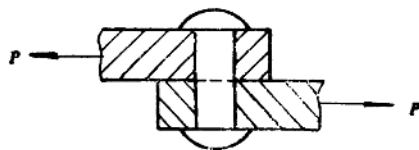
图 1-5



拉伸

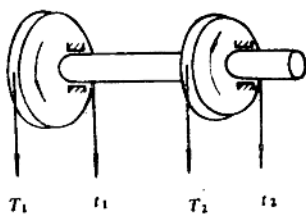
压缩

a)



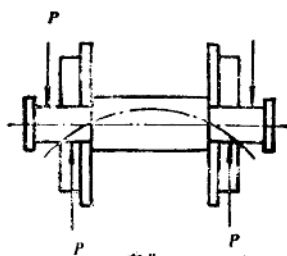
剪切

b)



扭转

c)



弯曲

d)

图 1-6

总之, P 表示截面上某一点的总应力, 是向量, 它与内力合力的方向一致, 可分解为正应力 σ , 剪应力 τ 。在国际单位制中, 应力的单位是 N/m^2 (N/m^2), 称为帕斯卡 或简称帕 (Pa)。由于这个单位太小, 通常使用 N/m^2 ($10^6 \text{N}/\text{m}^2$), 记为 MN/m^2 或 MPa 。

§ 1-5 杆件变形的基本形式

实际工程中构件形状可能是各种各样的, 但抓住主要特征进行简化, 按照构件的几何形状一般可分为四类, 即杆、板、壳及块体 (图 1-5)。

一个方向的尺寸, 比其它两个方向的尺寸大得多的构件称为杆, 其中轴线是直线的称为直杆, 轴线是曲线的称为曲杆。

构件一个方向的尺寸远小于另外两个方向的尺寸, 若其中面 (平分构件厚度的面) 是平面称为板, 若中面是曲面称为壳。

三个方向的尺寸相差不多的构件称为块体。

板、壳、块体属高等材力及弹性力学的研究范畴, 材料力学的主要研究对象是杆。杆是工程中最常见的基本构件, 杆承受外力后产生的变形是比较复杂的, 但经过分析归纳后, 杆的变形可分为拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲等四种基本变形形式。至于更复杂情况下的变形, 只不过是这几种基本变形的组合。图 1-6 给出了这几种基本变形的实例。

在以后的章节中, 将对杆件各种基本变形情况进行详细的讨论, 然后再讨论复杂变形。

思 考 题

- 1-1 材料力学的任务是什么?
- 1-2 简述截面法求内力的具体方法和步骤。
- 1-3 何谓应力? 如何表达物体在某一截面上某一点的应力。应力的单位是什么?
- 1-4 什么是一点的正应力、剪应力和总应力, 它们之间有什么相同点, 有什么区别。
- 1-5 区别线变形和角变形。
- 1-6 杆件因外力作用, 可能引起那几种基本变形形式, 与它相应的外力是什么?

第二章 拉伸与压缩

§ 2-1 概 述

一、轴向拉伸与压缩的实例和特点

在工程实践中, 有很多承受拉伸和压缩的杆件。图 2-1 所示的紧固螺栓、图 2-2 所示的桁架中的杆件以及图 2-3 所示的悬臂吊车中的 BC 杆, 都是承受拉伸或者压缩的杆件。

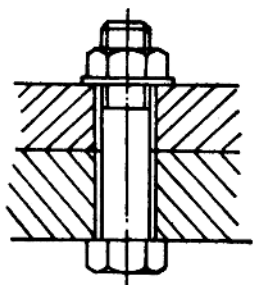


图 2-1

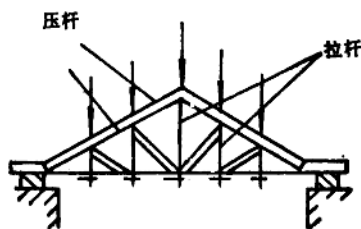


图 2-2

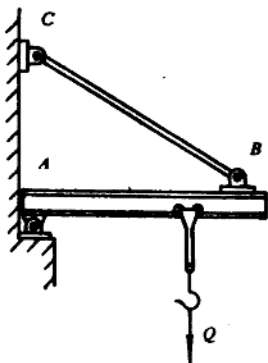


图 2-3

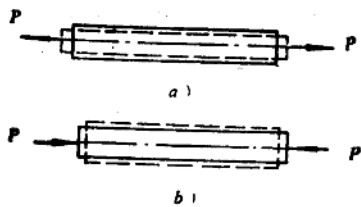


图 2-4

这些杆件的结构形式和加载方式各异, 但是若将其简化, 都可以画成图 2-4 的受力简图 (或称为力学模型)。

它们的共同特点是: 作用在杆上的外力合力的作用线与杆的轴线重合, 杆产生沿轴线方向的伸长或缩短变形。这种变形形式, 称为轴向拉伸或压缩。

二、圣文南原理

法国科学家圣文南于 1855 年提出“力作用于杆端的方式，对弹性体的应力和变形状态，只有距杆端不大于杆的横向尺寸范围内才有影响”。称为圣文南原理。此原理已为实验结果所验证。据此，今后计算中，可以不考虑杆端外力的传递方式，某局部区域上的外力系，可以用等效力系来代替。

§ 2-2 横截面上的内力和应力

一、轴力的计算和轴力图

以轴向拉伸为例，说明如何采用截面法求杆件的内力。

为了显示杆横截面上的内力，假想沿横截面 $m-m$ 把杆件分为两段（图 2-5 a），任取一段作为研究对象。若弃去右段保留左段，则可在该截面上用内力分布力系的合力 N 来代替右段对于左段的作用（图 2-5 b）。

按平衡条件

$$\sum F_x = 0 \quad N - P = 0$$

$$\therefore N = P$$

因为 N 的作用线与杆件的轴线重合，所以称 N 为轴力。并且规定，当杆件受拉伸，即轴力 N 背离截面时为正值（图 2-5 b）；反之，当杆件受压缩，即 N 指向截面时为负值。

按照上述的符号规定，如果以右段为研究对象（图 2-5 c），这时 N' 代表左段对右段的作用力，同样可以得出

$$N' = P$$

N' 也背离截面，符号为正，故无论以左段或右段为研究对象，同一截面上的轴力大小和符号完全相同，一律表示为 N 。

图 2-5 的直杆只在两端受拉力，每个截面上的轴力都等于 P 。如果杆件受有多于两个外力的作用（图 2-6 a），则杆的不同部位的横截面上，有不同的轴力，也可以说，当杆件的外力已经确定的情况下，轴力是截面位置的函数，若取纵坐标代表轴力 N ，横坐标 x 代表截面位置，则此函数关系可以在坐标系统中用图线表示出来，称之为轴力图，以下例具体说明轴力图的画法。

例 2-1 试绘出如图 2-6 a 所示直杆的轴力图。

解

（1）计算杆各段的轴力 首先求 AB 段的轴力，在 AB 段内取 1-1 截面，切开以后，保留左段，在截面上设轴力 N_1 为拉力（图 2-6 b），由平衡方程

$$\sum F_x = 0 \quad N_1 - P_1 = 0$$

$$\therefore N_1 = P_1 = 5 \text{ kN}$$

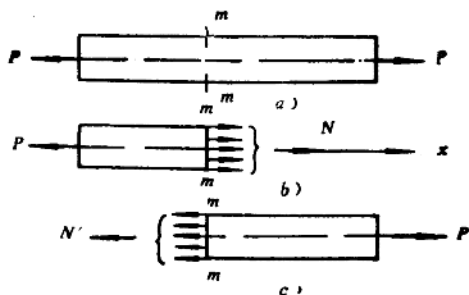


图 2-5

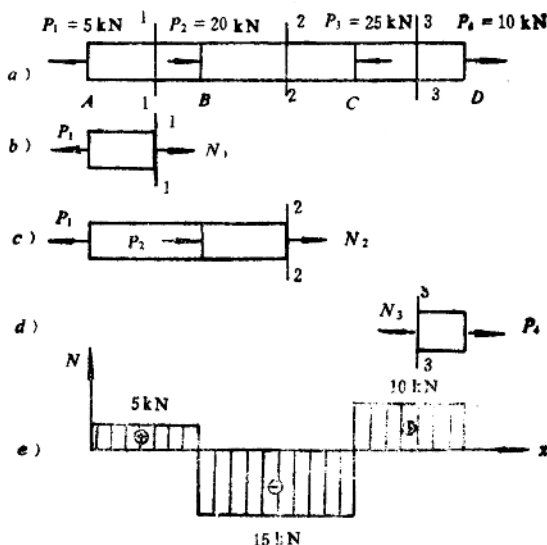


图 2-6

N_1 为正值, 表示假设 N_1 为拉力是正确的, AB 段内任一截面的轴力都等于 5kN 。

再在 BC 段内取 2—2 截面, 切开后保留左段。在截面上仍设轴力 N_2 为拉力 (图 2-6 c), 由

$$\sum F_x = 0 \quad N_2 + P_2 - P_1 = 0$$

$$\therefore N_2 = P_1 - P_2 = 5 - 20 = -15\text{kN}$$

N_2 为负值, 说明 N_2 的实际方向与假设方向相反, 应为压力。 BC 段内任一截面的轴力都是 -15kN 。

最后, 计算 CD 段的轴力 N_3 , 取截面 3—3 右侧杆段为研究对象比较简单 (图 2-6 d), 同理得到

$$N_3 = 10\text{kN}$$

CD 段内任一截面的轴力都是 10kN 。

(2) 画轴力图 以杆的轴线 x 表示截面的位置, 取垂直 x 轴的 N 轴表示轴力。按规定的比例尺画出轴力沿杆轴的变化图线, 正值轴力 (拉力) 画在 x 轴上方, 负值轴力 (压力) 画在 x 轴下方, 可得轴力图 (图 2-6 e)。该图由三段水平线组成, 这就是轴力沿杆轴线的变化规律。且绝对值最大的轴力发生在 BC 段杆的各横截面上, 其值为 15kN 。这就为以后的强度校核打下了基础。

轴力图不但表示出杆件各段内轴力的大小, 而且也表示各段杆的变形是伸长还是缩短。

另外, 在利用截面法求内力时, 在切开的截面上最好设轴力 N 为正值, 这样由平衡方程求出的轴力 N , 如果得正号, 说明轴力是拉力, 若得负号, 说明轴力是压力。

二、横截面上的应力

取一等截面直杆, 在其侧面作两条与杆的轴线相垂直的横向线 ab 和 ca' (图 2-7 a)。

在杆的两端加一对轴向拉力 P 以后, 可以观察到该两横横线在变形后, 仍为垂直于轴线的直线, 而且平移到 $a'b'$ 和 $c'd'$ (图 2-7 a 中的虚线) 的位置。

根据上述实验的观察结果, 可以认为: 杆件在承受拉伸 (压缩) 时, 任何横截面在变形前是平面, 变形后仍为平面。这一结论称为平面假设。若设想杆是由无数的纵向纤维所组成, 由平面假设可以推断: 两相邻截面间纤维伸长 (缩短) 是相等的。又因弹性体的变形和应力成正比 (胡克定律)。由此可知, 轴向拉伸与压缩时, 杆件横截面上的应力是均匀分布的。这个推论已被用比较精确的光学方法进行应力分析的实验所证实, 据此可以确定横截面上的应力值如图 2-7 b 所示, 在截面上只作用着正应力 σ , 且是均匀分布的, 即 σ 是常量。设 A 代表横截面积, N 代表横截面上的轴力, 若作用在任意微面积 dA 上的力是 dN , 则 $dN = \sigma dA$, 由静力关系

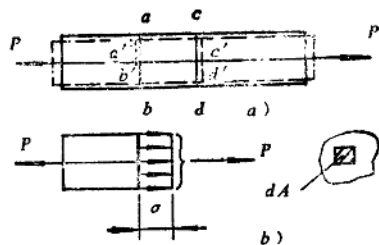


图 2-7

$$N = \int_A \sigma dA$$

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

上式即为杆件受轴向拉伸 (压缩) 时, 横截面上正应力的计算公式。式中轴力 N 的符号规定同前。正应力 σ 的符号规定: 拉应力为正, 压应力为负。

导出正应力计算公式的过程是, 首先进行实验观察, 然后作出基本假设, 再找出应力的分布规律, 从而导出应力计算公式, 这是典型的材料力学的研究方法。

例2-2 图 2-8 a 为轧钢机的压下螺旋, 其尺寸如图所示。设压下螺旋所受的最大压力 $P = 800 \text{ kN}$, 试求其最大正应力。

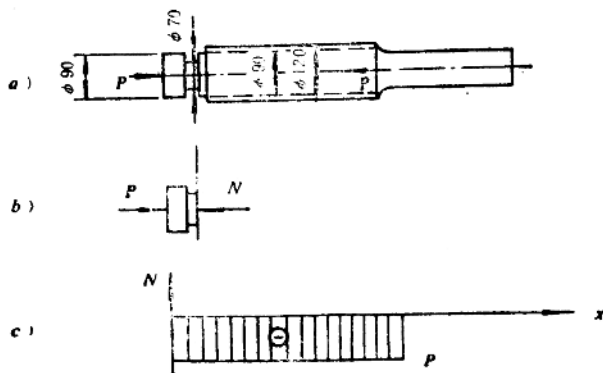


图 2-8