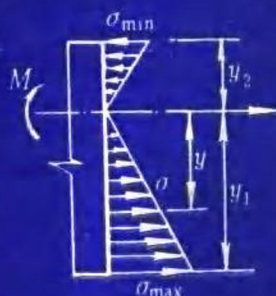


★ 职工高等工业专科学校教材

材料力学

沈 煜 庄宪成 刘家伦 编

沈 煜 主编



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据一九八三年原教育部审定的职工高等工业专科学校土建类专业试用的《材料力学教学大纲》(草案)编写的。

考虑到成人教育的特点,本书强调综合分析,注意结合土建工程实际提出问题,分析问题。培养学生的正确思维方法,提高分析问题和解决问题的能力。

本书共分十二章阐述材料力学基本内容。各章后面都附有启发性的思考题和相当数量的习题。

本书可作为职工高等工业专科学校、业余职工高等工业专科学校土建类材料力学课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

职工高等工业专科学校教材

材 料 力 学

沈 煜 庄宪成 刘家伦 编

沈 煜 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 15.875 字数 381,000

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数 0,001—3,650

ISBN 7-04-000933-1/TB·57

定价 3.20 元

前 言

本书根据《职工高等工业专科学校材料力学(土建类)教学大纲》的要求编写而成。参加本书编写工作的有:上海虹口区业余大学沈煜(主编,第一、八、九、十章),苏州建工局职工大学庄完成(第四、五、六、七章及附录),南京工学院刘家伦(第二、三、十一、十二章)。

本书在编写过程中,注意到职工教育对口定向这一特点,努力贯彻“精选内容、保证基础、加强实践、讲究教法”的原则。在教材内容、作业、实验等各方面,按大纲要求尽力处理好理论和实践的联系,课程的系统性和专业针对性的联系。

书中有少数带*号的内容和习题,是根据各校的不同要求而安排的,它不属于大纲的基本内容,可以根据需要取舍。

本书承南京工学院陆耀洪、辽河油田职工大学周化溥主审,武钢职工大学唐惠民和陕西 012 工学院庄成根参加了审稿。南京工学院姜明燊对第十二章作了校阅。在本书编写过程中,上海虹口区业余大学王宏,协助编者对书稿的绘图、抄校等方面作了大量工作。编者在此表示诚挚的谢意。

编 者

1986年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 材料力学的任务及研究对象	2
第三节 变形固体的概念及其基本假设	4
第四节 杆件变形的基本形式	5
思考题	7
第二章 拉伸和压缩	8
第一节 概述	8
第二节 内力、截面法和轴力	10
第三节 横截面和斜截面上的应力	16
第四节 拉(压)杆的变形 虎克定律	24
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	33
第六节 拉伸、压缩时直杆的强度计算	43
第七节 应力集中的概念	50
*第八节 考虑构件自重的拉伸和压缩计算	51
第九节 拉伸和压缩中的超静定问题	57
第十节 联接件的强度计算	64
思考题	74
习题	75
第三章 扭转	87
第一节 概述	87
第二节 外力偶矩和扭矩的计算	89
第三节 薄壁圆筒的扭转	94
第四节 圆轴扭转时的剪应力	100
第五节 极惯矩和抗扭截面系数	105
第六节 圆轴扭转时的强度计算	107

第七节 圆轴扭转时的变形和刚度计算	109
第八节 矩形截面杆自由扭转时的主要结果	111
思考题	114
习题	115
第四章 截面图形的几何性质	120
第一节 概述	120
第二节 截面图形的静矩和形心	121
第三节 截面图形的惯矩、回转半径、极惯矩和惯积	126
第四节 平行轴公式	130
第五节 转轴公式 主轴和主惯矩 主形心轴和主形心惯矩	141
思考题	145
习题	146
第五章 弯曲内力	149
第一节 概述	149
第二节 梁的计算简图	150
第三节 梁的内力——剪力和弯矩	156
第四节 剪力方程、弯矩方程和剪力图、弯矩图	160
第五节 剪力、弯矩和荷载集度之间的微分关系	169
第六节 叠加法作弯矩图	173
*第七节 静定刚架的内力图	178
思考题	180
习题	181
第六章 弯曲应力	186
第一节 概述	186
第二节 弯曲正应力	187
第三节 弯曲剪应力	199
第四节 开口薄壁截面弯曲中心的概念	211
第五节 考虑材料塑性时梁的极限弯矩	214
第六节 提高梁强度的主要措施	221
思考题	223
习题	226

第七章 弯曲变形	235
第一节 概述	235
第二节 梁的弹性曲线及其近似微分方程	236
第三节 积分法计算梁的弯曲变形	238
第四节 叠加法计算梁的位移 梁的刚度计算	246
第五节 简单超静定梁	254
第六节 弯曲弹性应变能 *卡氏定理	261
第七节 提高梁刚度的主要措施	271
思考题	275
习题	277
第八章 应力状态分析和强度理论	285
第一节 概述	285
第二节 一点处的应力状态	286
第三节 平面应力一般状态下的应力分析	287
第四节 应力圆	294
第五节 梁的主应力	302
第六节 梁的主应力迹线	304
第七节 空间应力状态的概念	307
第八节 广义虎克定律	310
第九节 强度理论	314
思考题	320
习题	321
第九章 组合变形时杆件的强度计算	327
第一节 概述	327
第二节 斜弯曲	328
第三节 偏心压缩(拉伸)	335
第四节 弯曲和扭转的组合	348
思考题	351
习题	353
第十章 压杆稳定	360
第一节 概述	360

第二节	临界力	361
第三节	临界荷载的确定——欧拉公式	363
第四节	压杆两端不同约束对临界力的影响	366
第五节	欧拉公式的适用范围 临界应力总图	370
第六节	提高压杆稳定性的措施	376
第七节	压杆的稳定计算	379
第八节	纵横弯曲的概念	384
思考题		385
习题		385
第十一章	动应力的基本概念	390
第一节	概述	390
第二节	构件在匀加速直线运动时的应力计算	391
第三节	构件受冲击时的应力计算	395
第四节	交变应力的概念	403
思考题		412
习题		413
第十二章	实验	417
第一节	概述	417
第二节	材料力学的基本实验	417
第三节	实验的目的、要求和步骤	418
第四节	油压摆式万能试验机	420
第五节	引伸仪	423
第六节	应变片的工作原理及构造	430
第七节	电桥的工作原理、接线方法和温度补偿	433
第八节	YJ-5 型静态电阻应变仪	444
第九节	拉伸实验	450
第十节	压缩实验	460
第十一节	弯曲实验	466
第十二节	工字梁主应力的测定	472
附录		
	型钢表	480

第一章 绪 论

第一节 概 述

土建工程是社会主义建设事业中的一个重要组成部分。土建工程中的工业与民用建筑,道路工程中的桥梁、隧道,水利工程中的涵洞、闸坝等都需要土建工程技术人员精心设计和施工,使厂房生产条件优越,人民住房舒适,交通运输通畅,水利资源得以利用。可以说土建工程是各种行业建设的先行者。

建筑物,例如房屋和桥梁等结构,不论它们的组成如何复杂,总是由单个构件(即结构零件)所组成的。结构受外力(荷载)作用时,各个构件也要受到力的作用。在力的作用下,构件将要发生变形。为了满足安全的要求,必须保证构件在外力作用下具有正常的工作能力。构件的这一能力,由下列三个方面组成:

(1) 强度 构件的强度指构件在外力作用下,抵抗破坏的能力。就是要求构件能安全地工作,不发生破坏;

(2) 刚度 构件的刚度指构件在外力作用下,抵抗变形的能力。就是要求构件的变形不超过正常工作的容许范围;

(3) 稳定性 构件的稳定性指构件在外力作用下保持其原有平衡状态为稳定平衡状态的能力。就是要求构件在工作时,能保持原有的几何平衡形式,不发生突然的屈折。

对构件进行设计时,除要求构件能安全正常地工作外,还应考虑合理地使用材料和节约材料,即必须同时考虑安全和经济两方面的要求。安全和经济是一对矛盾。在工程设计中,如果片面强

调经济而忽视安全, 容易造成构件破坏, 导致结构失效, 引起生命财产的严重损失, 这当然是绝不能容许的; 倘若过分强调安全而不顾及经济, 则将引起材料和劳力浪费, 违背了勤俭建国的方针, 这也是不能容许的。材料力学所研究的是构件的强度、刚度和稳定性, 从而提供了正确解决安全和经济这对矛盾的方法。按照材料力学的理论和方法进行计算就能够给结构选择既安全又经济的构件。

学习材料力学还要了解材料的力学性能, 因此, 我们还必须掌握材料试验的方法。了解材料的力学性能, 才能合理地使用材料, 充分发挥材料的作用。所以, 材料力学是一门理论与实践密切联系的课程。

第二节 材料力学的任务及研究对象

在材料力学里主要研究对象是等截面的直杆, 图 1-1 列示了几种常用的等截面直杆。这是一种长度比横截面尺寸(宽与高)要

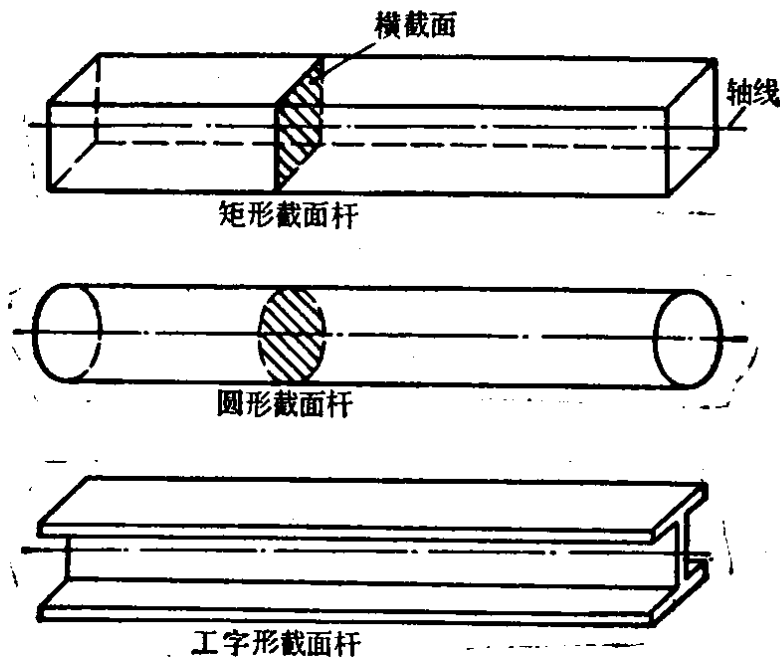


图 1-1

大得多的构件。所谓横截面是与杆的轴线相垂直的平面。等截面直杆是工程结构中最常用的构件，是本书研究的主要对象。至于变截面直杆、曲杆以及板、壳等构件则在高等材料力学或其它课程中研究。

在学习材料力学之前，我们曾学过理论力学。理论力学也是研究受外力作用的物体的，但是，所研究的是外力对物体运动状态的效应。所以，在理论力学里可以把物体当作绝对刚体来处理。而材料力学则除了象理论力学那样需要计算物体各处的外力（例如支座反力）外，更主要的是研究物体因外力作用而产生的内力和变形，探索它们的变化规律和内在联系。因此，在理论力学里常用的力的可传递性、力偶可在其作用平面内任意搬移、以及用相当力系代替某些外力等法则，在材料力学里研究内力和变形问题时就不能随便应用了。如果在研究内力和变形的问题中应用了这些法则，就会使物体的内力和变形情况与实际情况不一样而导致错误的结果。图 1-2 举了几个例子，请读者分析一下，各图的实际受力情况（图 1-2a、b、c）和应用了上述理论力学常用法则后的受力情况（图 1-2d、e、f）。显然后者所得到的内力和变形情况是不符合实际的。

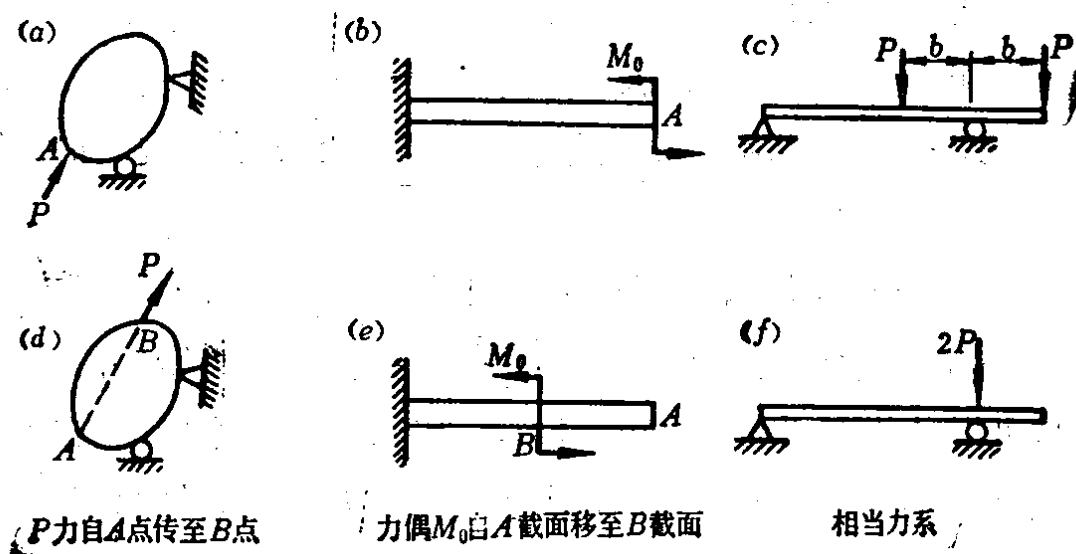


图 1-2

第三节 变形固体的概念及其基本假设

土建工程中由各种材料制成的构件均为固体。在外力的作用下它们都要产生变形,统称为变形固体。我们在研究变形固体在外力作用下的强度、刚度和稳定性等问题时,为了便于分析问题并使计算简化,应抓住材料的主要性质而略去次要性质,按实际情况对构件进行抽象简化。因此,在材料力学里我们将要用到一些假设。下面的几个假设是材料力学理论中普遍适用的假设,称为基本假设。至于其它适用于个别问题的假设将在以后各章中提及。

(1) 完全弹性体假设 所谓弹性,就是变形固体当外力除去后能恢复其原来形状和尺寸的性质。当外力的大小在一定限度内时,各种材料都具有一定限度的弹性。在材料力学中假设材料是完全弹性的,即当作用于构件上的外力大小不超过某一极限时,可以把构件看成是完全弹性体。

(2) 连续性和均匀性假设 连续,就是指制成构件的材料内部没有空隙;均匀,是指组成材料的物质均匀地分布在构件的整个体积内。这个假设认为:在构件的整个体积里,毫无空隙地、均匀地充满了物质。有了这个假设,我们就可以从构件中截取任意微小部分,并采用连续函数来描绘它们的受力和变形情况,而所得的结果,可推广至整个构件。

(3) 各向同性假设 即认为构件内各点沿各方向都具有相同的力学性能。常用的工程材料如钢铁、塑料及浇捣密实的混凝土等,都可以认为是各向同性的材料。如果材料沿不同的方向具有不同的力学性能(如木材、胶合板等),则称为各向异性材料。在材料力学里如无特别说明,所研究的都是各向同性材料。

另外,变形固体受外力作用后发生的变形可能很小,也可能相

当大。但在材料力学所研究的问题里，都把变形限制在远小于构件自身尺寸下来进行的。这样，在研究平衡力系作用下的构件时，就可以略去构件的变形，而按构件原来的尺寸来进行计算。例如图 1-3a 中的悬臂梁因受力而变形，引起了几何形状和外力位置的改变。由于变形很小，所以可以用梁变形前的几何形状和尺寸来计算梁的受力情况。对于变形过大的构件，如图 1-3b 所示的梁，受力作用后产生过大的变形，则不属于材料力学的研究范畴。

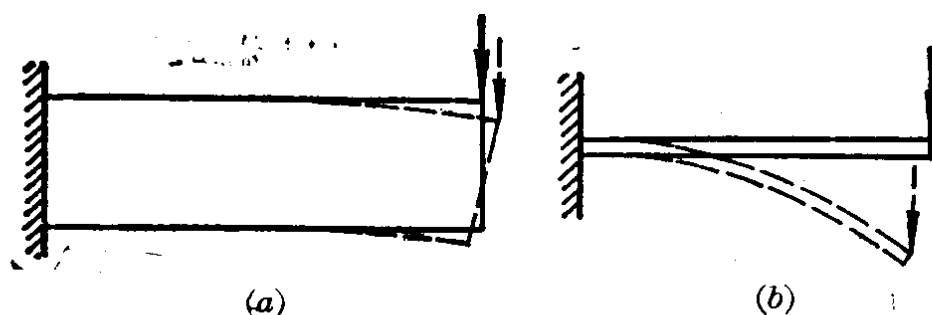


图 1-3

第四节 杆件变形的基本形式

作用在杆件上外力的形式是多种多样的，因而使杆件产生的变形也是各式各样的。但是不论杆件受力和变形如何复杂，总可以归纳成图 1-4 所示的四种基本变形。今将基本变形的形式分别介绍如下：

(1) 轴向拉伸或压缩 (图 1-4a) 当外力作用线与杆轴重合时，杆件的变形是沿杆轴方向发生伸长或缩短。

(2) 剪切 (图 1-4b) 当外力是一对相距甚近，等值反向的平行力横向作用于杆轴时，杆件的变形是其横截面将沿外力方向发生相对滑移，这种变形称为剪切。

(3) 弯曲 (图 1-4c) 当外力是一对等值反向的力偶作用于杆件的纵向平面内时，杆件的变形是在纵向平面内发生弯曲。

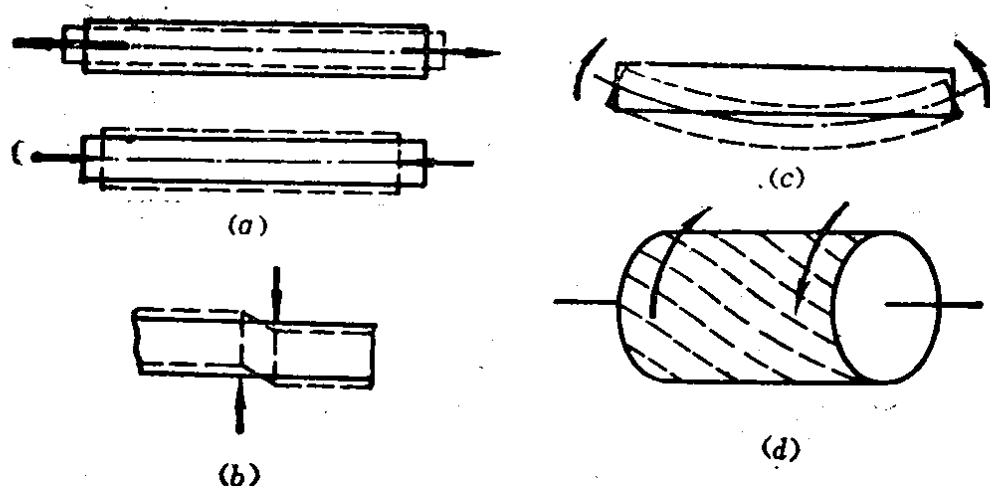


图 1-4

(4) 扭转 (图 1-4d) 当一对等值反向的力偶作用于杆件的横向平面内时, 杆件的长度不变, 其横截面间发生相对旋转。

实际工程中的构件常会同时发生两种或两种以上的基本变形, 这类问题, 称为组合变形。例如图 1-5a 所示的厂房柱子牛腿上所受的吊车荷载 P , 将使柱子的下柱产生轴向压缩 (P) 和弯曲 (M) 两种基本变形所组成的组合变形 (图 1-5b), 简称压弯组合变形。

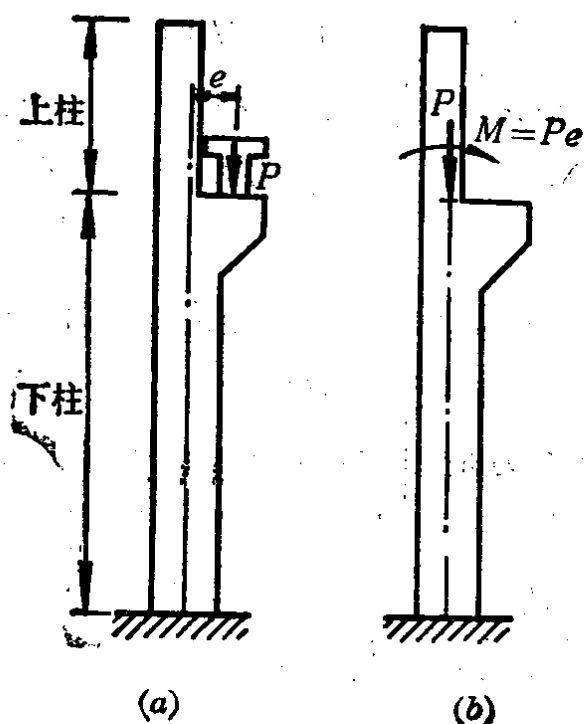


图 1-5



图 1-6

细长杆的纵向弯曲,在材料力学里也占有相当重要的地位。它与基本变形里的弯曲不同,这是由于作用于细长杆上的轴向力达到某一极限值时,杆突然产生的弯曲变形(图 1-6),这种变形称为压杆失稳(将在第十章中讨论)。

思 考 题

1-1 在工程设计中,经济和安全是一对矛盾,我们用什么方法来解决这对矛盾?

1-2 试解释下列三个名词: (1)强度; (2)刚度; (3)稳定性。

1-3 学习本课程,为什么必须掌握材料的力学性能?

1-4 材料力学和理论力学各对其所研究的物体,在处理上有何不同?

1-5 在材料力学里主要研究的对象是怎样的构件?

1-6 试概述学习材料力学的目的和任务。

1-7 什么是变形固体?

1-8 在材料力学中有哪些基本假设?为什么要作这些假设?它们的根据是什么?

1-9 杆件的基本变形有哪几种形式?试举出一些日常见到的例子说明在怎样的外力作用下发生哪种变形?

第二章 拉伸和压缩

第一节 概 述

工程结构中的有些杆件,在外力作用下,只产生沿杆轴方向的伸长或缩短。这种变形形式即为上一章所述的轴向拉伸或压缩。例如,在屋架(图 2-1)中的各杆,汽车起重机(图 2-2)上的起重钢索和伸缩油缸的推杆,以及在施工中采用的拉条和支撑等构件,在外力作用下,都将产生轴向拉伸或压缩。

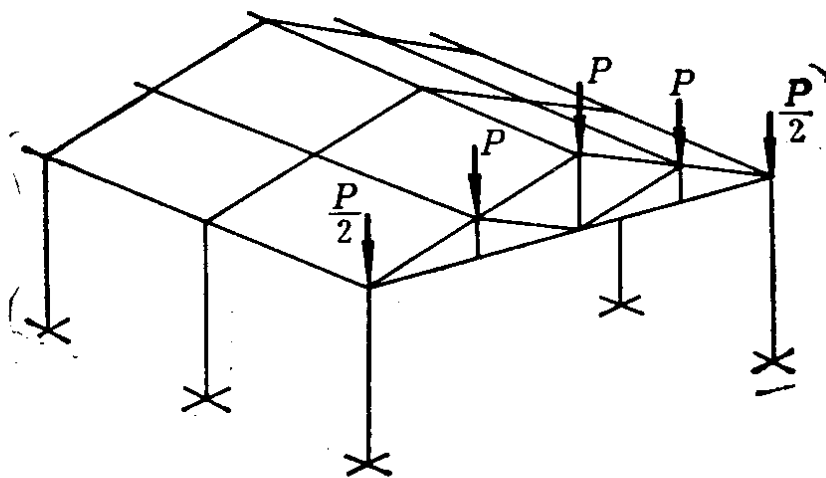


图 2-1

以上这些杆件,尽管几何形状和杆端连接形式等各有不同,加载方式也有差异,但它们所受的外力和变形都具有共同的特点:即在杆上每一处所受外力的合力作用线,都与杆的轴线重合;且杆的主要变形是其长度沿杆轴方向产生均匀的伸长或缩短。因此,将这类杆件的形状和受力情况进行简化后,便可得到如图 2-3 所示力学计算简图,作为对实际杆件进行力学分析和计算的模型。图中实线表示杆在未受力时的形状和尺寸,虚线则表示杆在受力变

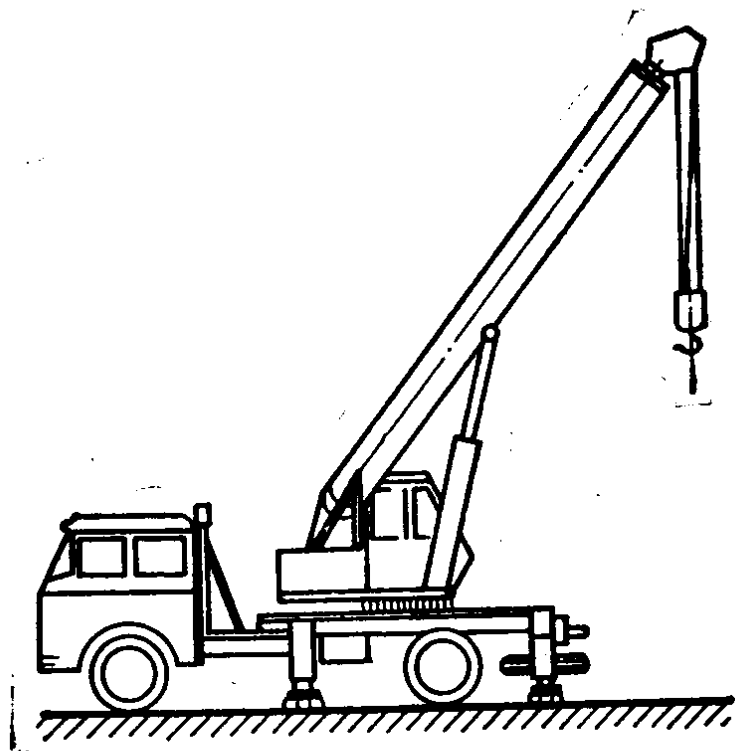


图 2-2

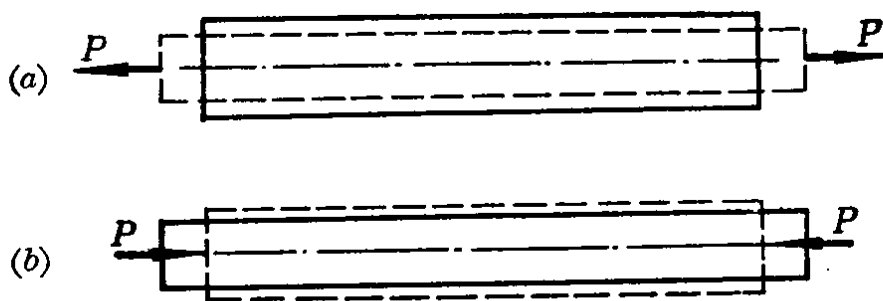


图 2-3

形后的形状和尺寸。

如果在直杆的两端,沿轴线作用着一对大小相等、指向背离端面的外力时,杆将发生轴向拉伸(图 2-3a),这对外力称为轴向拉力,这时杆件称为拉杆;反之,如果一对等值外力的指向朝着端面作用时,则杆将发生轴向缩短(图 2-3b),这时外力称为轴向压力,而杆称为压杆。

本章首先研究杆件在拉伸和压缩时的内力、应力和变形;其次研究材料在拉伸和压缩时所表现的力学性能;再次,通过对简单超静定问题的研究,介绍材料力学中处理问题的一般方法,最后讨论

联接件的强度计算。

必须指出,本章中介绍的一些概念、理论和方法,虽然比较简单,但却是贯穿于本门课程中的最基本的概念、理论和方法;而且在后续课程的学习中,也是经常要用到的。因此,必须准确理解和切实掌握它们。

第二节 内力、截面法和轴力

为了研究杆件在拉伸(或压缩)时的强度问题,必须首先研究杆件在外力作用下引起的内力。

(一)内力的概念

所谓内力,顾名思义,是指杆件的内部各相连部分(或各质点)之间的相互作用力。

我们知道,杆件在没有外力作用时,其内部各相连部分之间,也存在着相互作用的结合力(吸力或斥力),使杆内各相连部分保持联系和维持其一定的几何形状。可见,杆件即使不受外力作用,其内部原来就存在着内力。

当杆件在外力作用下处于平衡状态时,外力就迫使其内部各相连部分之间的相对位置和原来的内力发生改变,也就是内力在原有的基础上,还要附加由外力而引起的内力,这种内力称为附加内力。

通常,附加内力在截面上形成一组分布内力。在材料力学中便将截面上的这种分布内力的合力,简称为内力。由于变形固体是具有弹性的,所以内力不仅能抵抗外力,阻止杆件产生变形,而且力图消除已产生的变形,使杆件保持原有的形状。同时随着外力的加大,内力也相应地增加。但内力的增加,是有一定限度的,