

高等专科学
高等职业技术学院

房屋建筑工程专业新编系列教材

材料力学



杜建根 主编

武汉理工大学出版社

高等专科学校
高等职业技术学院

房屋建筑工程专业新编系列教材

材料力学

主编 杜建根

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内 容 提 要

本书系“全国建筑高等专科学校及高等职业技术学院房屋建筑工程专业新编系列教材”之一,包括绪论,基本变形杆件的内力分析,基本变形杆件的应力分析,应力状态与强度理论,杆件的强度条件,杆件的变形与刚度条件,压杆稳定,动荷应力与交变压力等内容。

本书除作房屋建筑工程专业教材外,还可供专科层次的相关专业及函授、自学、岗位培训作教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/杜建根主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-5629-2810-2

I. 材… II. 杜… III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128858 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编 430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北省通山县九宫印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:12

字 数:301 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

前 言

本书是根据高等职业教育培养应用型人才的目标,并考虑到学生继续学习和深造的需要编写的,可作为高职、高专土建类及相关专业材料力学课程的教学用书。

本书包括基本变形杆件的内力分析、基本变形杆件的应力分析、应力状态与强度理论、杆件的强度条件、杆件的变形与刚度条件、压杆稳定、动荷应力与交变应力等七章内容。

本书在编写过程中,汲取了各院校近年来材料力学课程改革的成功经验,理论知识以“必须、够用”为度,以应用为重点,以构件承载能力为主线,力求体现高等职业教育的特色:(1)《围绕内力、应力、强度、刚度、稳定性这条主线展开课程内容,形成课程体系。(2)注重基本概念、基本原理和基本方法的阐述,而不追求课程的理论性和系统性。(3)紧密结合工程实际,强化力学理论在工程中的应用。(4)书中的例题绝大多数为精选的典型题目,旨在使读者巩固力学基本概念、基本原理,掌握力学问题的分析方法和解题技巧。每章后附有思考题和习题,以便使读者得到较为全面的训练,提高分析和解决实际问题的能力,并为学习后续课程打下基础。(5)书中带*号的内容为选学内容,可根据专业和学时自主安排。

本书共 60 学时,建议学时分配如下:

序号	内 容	学 时	学 时 分 配	
			讲 课	习题课
1	绪论	1	1	
2	基本变形杆件的内力分析	9	7	2
3	基本变形杆件的应力分析	6	6	
4	应力状态与强度理论	6	6	
5	杆件的强度条件	16	12	4
6	杆件的变形与刚度条件	6	6	
7	压杆稳定	4	4	
8	动荷应力与交变应力	4	4	
	实验	6		
	机动	2		
	合计	60		

参加本书编写的有河南工业职业技术学院曹双梅(第 1、2 章)、杜建根(第 3、4 章)、杨雪玲(第 5、6、7 章),本书由杜建根任主编。

限于作者水平有限,且编写时间仓促,书中错误和缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 材料力学的研究对象	(1)
1.2 材料力学的任务	(1)
1.3 变形固体及其基本假设	(2)
1.4 杆件变形的基本形式	(2)
1.5 材料力学的研究方法	(3)
2 基本变形杆件的内力分析	(4)
2.1 内力与截面法	(4)
2.1.1 内力的概念	(4)
2.1.2 截面法	(4)
2.2 拉(压)杆的内力与内力图	(6)
2.2.1 轴向拉伸与压缩的概念	(6)
2.2.2 杆的内力	(6)
2.3 平面弯曲梁的内力与内力图	(10)
2.3.1 平面弯曲的概念	(10)
2.3.2 梁的内力	(11)
2.3.3 由内力方程作梁的内力图	(15)
2.3.4 由微分关系作梁的内力图	(17)
2.3.5 区段叠加法作梁的弯矩图	(21)
2.4 受扭圆轴的内力与内力图	(24)
2.4.1 圆轴扭转的概念	(24)
2.4.2 外力偶矩的计算	(25)
2.4.3 扭矩与扭矩图	(25)
思考题	(27)
习题	(28)
3 基本变形杆件的应力分析	(33)
3.1 应力与应变 胡克定律	(33)
3.1.1 应力的概念	(33)
3.1.2 应变的概念	(33)
3.1.3 胡克定律	(34)
3.1.4 切应力互等定律	(35)
3.2 拉(压)杆的应力	(35)
3.2.1 拉(压)杆横截面上的应力	(35)
3.2.2 拉(压)杆斜截面上的应力	(37)

3.3	平面弯曲梁横截面上的正应力	(38)
3.3.1	纯弯曲时梁横截面上的正应力	(38)
3.3.2	截面的几何性质	(41)
3.3.3	梁横截面上的最大弯曲正应力	(45)
3.4	平面弯曲梁横截面上的切应力	(47)
3.4.1	矩形截面梁的切应力	(47)
3.4.2	工字形截面梁的切应力	(48)
3.4.2	圆形截面梁的最大切应力	(49)
3.5	受扭圆轴横截面上的切应力	(51)
3.5.1	变形几何关系	(51)
3.5.2	物理关系	(52)
3.5.3	静力关系	(52)
*3.6	非圆截面杆的扭转	(54)
	思考题	(56)
	习题	(57)
4	应力状态与强度理论	(60)
4.1	一点处应力状态的概念	(60)
4.1.1	点的应力状态	(60)
4.1.2	单元体	(60)
4.1.3	应力状态的分类	(60)
4.2	平面应力状态分析	(62)
4.2.1	任意斜截面上的应力	(62)
4.2.2	主应力和主平面	(62)
4.2.3	最大切应力	(63)
4.2.4	梁的主应力及主应力迹线	(65)
4.3	三向应力状态简介	(67)
4.3.1	三向应力状态的最大切应力	(67)
4.3.2	广义胡克定律	(68)
4.4	轴向荷载作用下材料的力学性能	(69)
4.4.1	材料拉伸时的力学性能	(69)
4.4.2	材料压缩时的力学性能	(73)
4.4.3	材料失效与构件失效	(74)
4.4.4	应力集中的概念	(74)
4.5	强度失效判据与强度理论	(75)
4.5.1	许用应力与安全因数	(75)
4.5.2	强度失效判据与强度理论	(76)
4.5.3	相当应力与强度条件的适用范围	(78)
4.5.4	三类典型危险点的强度条件	(78)
	思考题	(79)

习题	(80)
5 杆件的强度条件	(82)
5.1 拉(压)杆的强度条件	(82)
5.1.1 拉(压)杆的强度条件	(82)
5.1.2 拉(压)杆的强度计算	(82)
5.2 连接件的强度条件	(85)
5.2.1 剪切的实用计算	(85)
5.1.2 挤压的实用计算	(86)
5.3 梁的强度条件	(89)
5.3.1 梁的正应力强度条件	(89)
5.3.2 梁的切应力强度条件	(94)
5.3.3 梁的主应力强度条件	(96)
5.4 受扭圆轴的强度条件	(98)
5.5 组合变形杆件的强度条件	(99)
5.5.1 斜弯曲	(99)
5.5.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(104)
5.5.3 偏心压缩(拉伸)	(106)
*5.5.4 弯扭组合变形	(113)
思考题	(115)
习题	(115)
6 杆件的变形与刚度条件	(122)
6.1 拉(压)杆的变形	(122)
6.1.1 拉(压)杆的变形和应变	(122)
6.1.2 胡克定律	(123)
6.2 梁的变形与刚度条件	(124)
6.2.1 梁的挠度和转角	(124)
6.2.2 梁的挠曲线近似微分方程	(124)
6.2.3 叠加法计算梁的变形	(127)
6.2.4 梁的刚度条件	(130)
6.3 受扭圆轴的变形与刚度条件	(131)
6.3.1 圆轴扭转时的变形	(131)
6.3.2 圆轴扭转的刚度条件	(132)
6.4 提高杆件强度和刚度的措施	(134)
6.4.1 合理选择截面形状	(134)
6.4.2 合理布置荷载	(135)
6.4.3 合理布置支座	(135)
6.4.4 采用变截面梁	(136)
6.4.5 缩短跨长或增加支座	(136)
6.4.6 合理选用材料	(136)

思考题.....	(137)
习题.....	(137)
7 压杆稳定	(139)
7.1 压杆稳定性的概念	(139)
7.1.1 压杆失稳的概念	(139)
7.1.2 平衡状态的稳定性	(140)
7.2 压杆的临界力与临界应力	(140)
7.2.1 细长压杆的临界力	(140)
7.2.2 非细长压杆的临界力	(144)
7.3 压杆的稳定计算	(146)
7.3.1 压杆的稳定条件	(146)
7.3.2 压杆的稳定计算	(148)
7.3.3 提高压杆稳定性的措施	(151)
思考题.....	(152)
习题.....	(153)
* 8 动荷应力与交变应力	(156)
8.1 杆件做匀加速运动时的动应力	(156)
8.1.1 杆件做匀加速直线运动时的应力	(156)
8.1.2 杆件做匀速转动时的应力	(158)
8.2 杆件受冲击荷载时的应力	(160)
8.2.1 杆件受冲击时的应力计算	(161)
8.2.2 对动荷因数 K_d 的讨论	(162)
8.2.3 提高构件抗冲击能力的措施	(163)
8.3 交变应力与疲劳失效	(163)
8.3.1 交变应力的概念	(163)
8.3.2 构件疲劳失效的特征及其原因	(165)
8.3.3 材料的疲劳极限	(165)
8.3.4 影响疲劳极限的主要因素	(166)
8.3.5 提高构件疲劳强度的措施	(167)
思考题.....	(167)
习题.....	(168)
型钢表.....	(170)
习题参考答案.....	(180)
参考文献.....	

1 绪 论

1.1 材料力学的研究对象

建筑物或构筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。结构是由单个的部件按照一定的规则组合而成的,组成结构的基本部件称为构件。

实际构件的形状是多种多样的,材料力学主要研究杆类构件,简称为杆件。杆件的几何特征是长度方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸,如梁、轴、柱等均属于杆件。杆件的几何形状可用其轴线(横截面形心的连线)和横截面表示。轴线为曲线的杆称为曲杆。轴线为直线的杆称为直杆。各横截面相同的杆,称为等截面杆。材料力学主要研究等截面的直杆,简称为等直杆。

1.2 材料力学的任务

在荷载作用下,构件的形状或尺寸将发生改变,称为变形。同时,在构件内部将产生一定的内力。随着荷载的增大,构件的变形与内力也逐渐增大,最后将导致构件失效。为保证结构安全正常的工作,要求任何一个构件都有足够的承受荷载的能力,简称为承载能力。构件的承载能力主要包括强度、刚度和稳定性三方面的要求。

1. **强度** 强度指构件抵抗破坏的能力。如果强度不足,构件在荷载等作用下将产生显著的塑性变形或断裂,称为强度失效。如房屋中的楼板,当强度不足时,在一定的荷载作用下就可能折断,这显然在工程上是绝对不允许的。因此,要使构件安全承受荷载不发生破坏,就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。构件在荷载等作用下,产生过量的弹性变形,称为刚度失效。例如,楼板梁在荷载作用下产生的变形过大时,下面的抹灰层就会开裂、脱落;屋面上的檩条变形过大时,就会引起屋面漏水等。因此需要对构件的变形加以限制,使其变形不超过一定的范围,这就要求构件具有足够的刚度。

3. **稳定性** 稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力。轴向受压的细长直杆,当压力增加到一定值时,杆件会突然变弯,这种现象称为稳定失效(简称失稳)。例如,房屋中承重的柱子,如果过细、过高,就可能由于柱子的失稳而导致整个房屋的倒塌。因此,对于细长的压杆,必须保证其具有足够的稳定性。

构件的承载能力,不仅与其受力有关,还与其形状、尺寸、组成、工作条件、材料的力学性质等有关。在结构设计中,如果构件截面积设计得过小,则构件不能满足强度、刚度或稳定条件;如果构件的截面积设计得过大,则用料过多会造成浪费。这样,就必须对构件进行承载能力计算,确保所设计的构件既安全又经济。因此,材料力学的任务是:研究构件的强度、刚度和稳定性以及材料的力学性质,从而为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状与尺寸,保证构件

安全可靠又经济合理。

1.3 变形固体及其基本假设

在理论力学中,将物体抽象为不变形的刚体。材料力学在研究构件的强度、刚度和稳定性等问题时,由于这些问题与构件的变形密切相关,因而即使变形微小也必须加以考虑。这时将物体抽象为在外力作用下会产生变形的固体,称为**变形固体**,并对变形固体作如下假设:

(1) 均匀连续性假设 假设变形固体在其整个体积内连续不断地充满着物质,而且各处的力学性质都相同。

(2) 各向同性假设 假设变形固体在各个方向上具有相同的力学性质。

变形固体在外力作用下会产生两种不同性质的变形:一种是当外力消除时,变形也随着消失,称为**弹性变形**;另一种是外力消除后,变形不能全部消失而留有残余,残余部分的变形称为**塑性变形**(或残余变形)。一般情况下,物体受力后,既有弹性变形,又有塑性变形。一般工程材料,当外力不超过一定范围时,仅产生弹性变形,称为**理想弹性体**。只引起弹性变形的外力范围,称为**弹性范围**。本书只限于讨论材料在弹性范围内的小变形问题。所谓**小变形**,是指变形量远小于构件原始的尺寸。由于变形量很微小,在研究构件的平衡时,可以忽略其变形,按构件变形前的尺寸和形状来计算。

1.4 杆件变形的基本形式

杆件在不同的外力作用下,将发生不同形式的变形。杆件变形的基本形式有四种:① 轴向拉伸和轴向压缩[图 1.1(a)];② 剪切[图 1.1(b)];③ 扭转[图 1.1(c)];④ 弯曲[图 1.1(d)]。杆件的复杂变形可以看做是几种基本变形同时发生的组合变形。

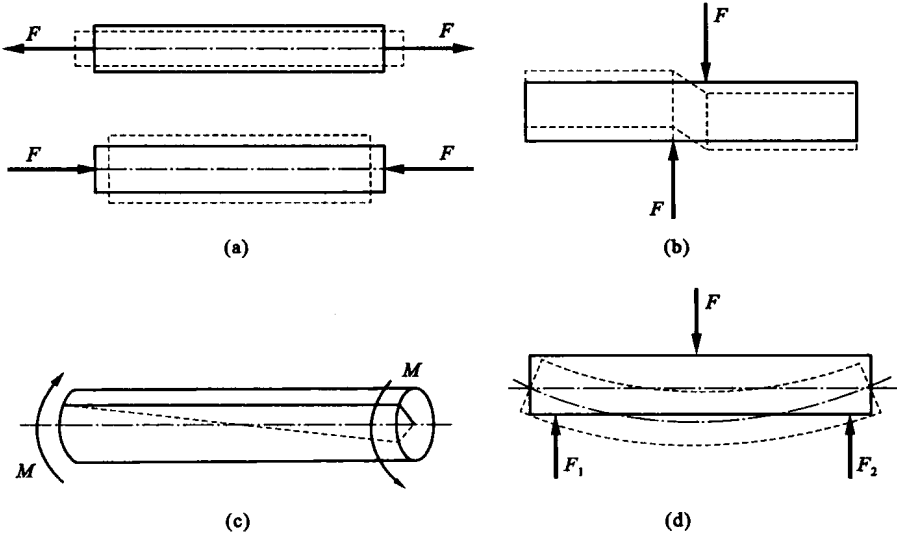


图 1.1 杆件的基本变形

(a) 轴向拉伸(压缩);(b) 剪切;(c) 扭转;(d) 弯曲

1.5 材料力学的研究方法

材料力学的研究方法遵循认识论的规律,通过对各种实际现象的观察,将实际问题抽象为力学模型,再根据力学理论建立各力学量之间的关系,从而得到数学模型,经过逻辑推理和数学演绎进行分析和计算,而分析和计算结果是否正确,又要通过工程实践或实验来检验。

观察和实验是研究材料力学重要的实践环节,在学习材料力学时,要善于观察工程实际和生活中的力学现象,学会运用力学的基本理论解释这些现象,并通过实验验证理论的正确性。要正确理解基本概念,注意各力学量的物理意义和有关公式的适用条件。学习材料力学,还必须独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对理论的理解,提高分析和解决工程实际问题的能力。

2 基本变形杆件的内力分析

本章提要

内力的大小及其分布规律与杆件的变形与失效密切相关,因此内力分析是解决构件承载能力的基础。本章主要研究杆件的内力及其沿杆件轴线的变化规律,以便为杆件的强度、刚度和稳定性计算提供基础。

2.1 内力与截面法

2.1.1 内力的概念

作用于杆件上的荷载和支座约束力称为外力。内力是指杆件内部相邻部分之间的相互作用力。杆件不受外力作用时,其内部各相邻质点之间已存在相互作用的内力,正是这种内力使各质点之间保持一定的相对位置,从而使杆件具有一定的几何形状和尺寸。在外力作用下,杆件发生变形,同时内部质点间的相对距离发生了改变,质点之间的相互作用力也随之改变。这种由外力作用引起杆件内部作用力的改变量,称为附加内力,简称为内力。对于杆件,主要研究其横截面上的内力,它的大小随外力的增加而增加,达到某一极限值时,杆件就会产生破坏。因此,内力与杆件的强度、刚度和稳定性密切相关。

2.1.2 截面法

如图 2.1(a)所示杆件在外力 F_1 、 F_2 、 $\dots$ 、 F_n 作用下处于平衡,为分析 $m-m$ 截面上的内力,假想地将杆件沿 $m-m$ 截面截开,根据均匀连续性假设,截面上的内力是连续分布的,组成一分布内力系[图 2.1(b)],通常所说的内力,是指该分布内力系的合成结果。

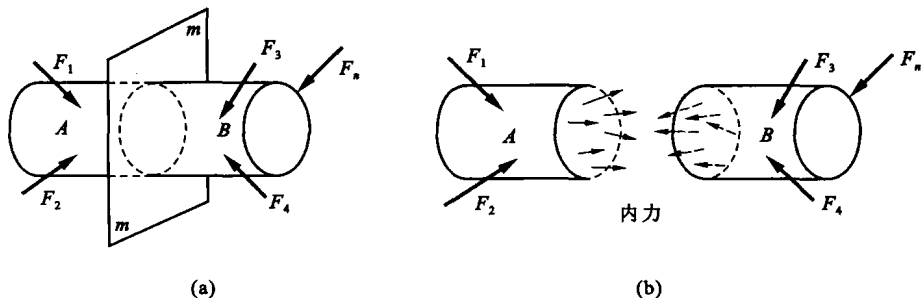


图 2.1

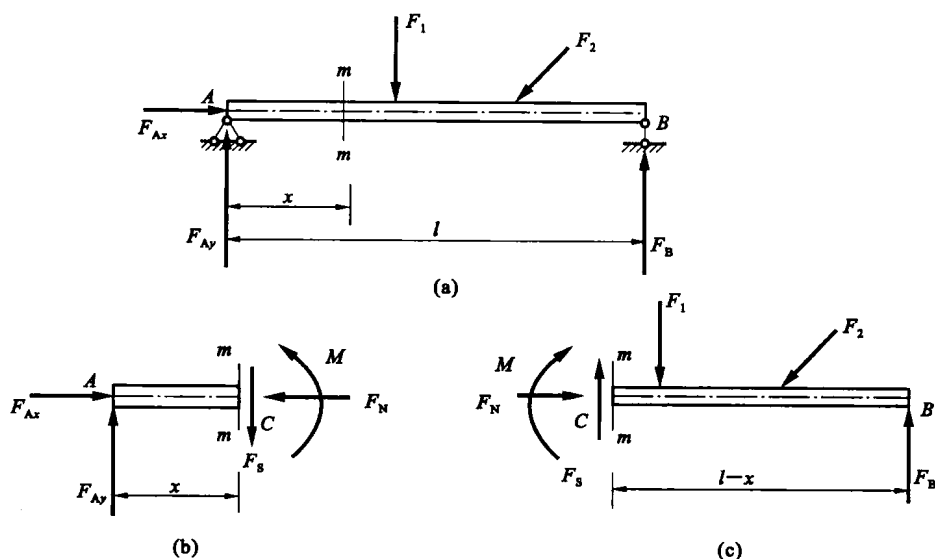


图 2.2

如图 2.2(a)所示简支梁 AB 受荷载 F_1 、 F_2 作用,由梁整体的平衡可求出支座约束力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和 F_B 。为分析 $m-m$ 截面上的内力,假想沿该截面将梁截开,由于梁整体是平衡的,其任一局部也处于平衡。若取截面以左的梁段为研究对象[图 2.2(b)],则左段梁在外力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和截面上的内力作用下平衡,由平衡方程 $\sum F_x = 0$ 可知,截面上必然有一个与力 F_{Ax} 等值、反向的轴向内力 F_N ,称为**轴力**;由 $\sum F_y = 0$ 可知,截面上必然有一个与力 F_{Ay} 等值、反向的切向内力 F_S ,称为**剪力**;由 $\sum M_C = 0$ (C 为 $m-m$ 截面的形心)可知,截面上必然有一个作用面与横截面相垂直的内力偶 M ,称为**弯矩**。 $m-m$ 截面上的三个内力分量可由平衡方程求出,即

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0, \quad F_{Ax} - F_N = 0, F_N &= F_{Ax} \\ \sum F_y = 0, \quad F_{Ay} - F_S = 0, F_S &= F_{Ay} \\ \sum M_C = 0, \quad -F_{Ay} \cdot x + M = 0, M &= F_{Ay} \cdot x\end{aligned}$$

讨论:(1) 若取右段梁为研究对象[图 2.2(c)],同样可求出 $m-m$ 截面上的轴力、剪力和弯矩,但与取左段梁求得的 F_N 、 F_S 、 M 分别等值、反向,即为作用与反作用的关系。

(2) 若将截面左、右两部分之间互相视为固定端约束,则截面上的内力分量相当于固定端的约束力,只不过这种约束是内约束。其中,轴力 F_N 约束截面两侧的轴向相对线位移,剪力 F_S 约束截面两侧的切向相对线位移,弯矩 M 约束截面两侧的相对转动。

将杆件假想地截开以显示内力,并由平衡方程确定内力的方法,称为**截面法**,它是计算杆件内力的基本方法,其步骤可归结为:

- (1) 截——沿欲求内力的截面假想地将杆件截为两部分;
- (2) 取——取其中任一部分为研究对象,而弃去另一部分;
- (3) 代——用欲求的内力代替弃去部分对研究对象的作用;
- (4) 平——列出研究对象的平衡方程,确定内力的大小和方向。

2.2 拉(压)杆的内力与内力图

2.2.1 轴向拉伸与压缩的概念

如图 2.3(a)、(b)所示,在杆件两端作用一对大小相等、方向相反的轴向外力 F 时,杆件将产生轴向拉伸或轴向压缩变形。如图 2.3(c)所示三角支架中, AB 杆受拉, BC 杆受压。如图 2.3(d)所示的屋架,上弦杆受压,下弦杆受拉。其受力特点是外力或外力的合力与杆件的轴线重合,变形特点是沿杆件轴线方向伸长或缩短,杆件的这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。作用线沿杆件轴线的荷载称为轴向荷载。发生轴向拉伸或压缩变形的杆件,称为拉(压)杆。

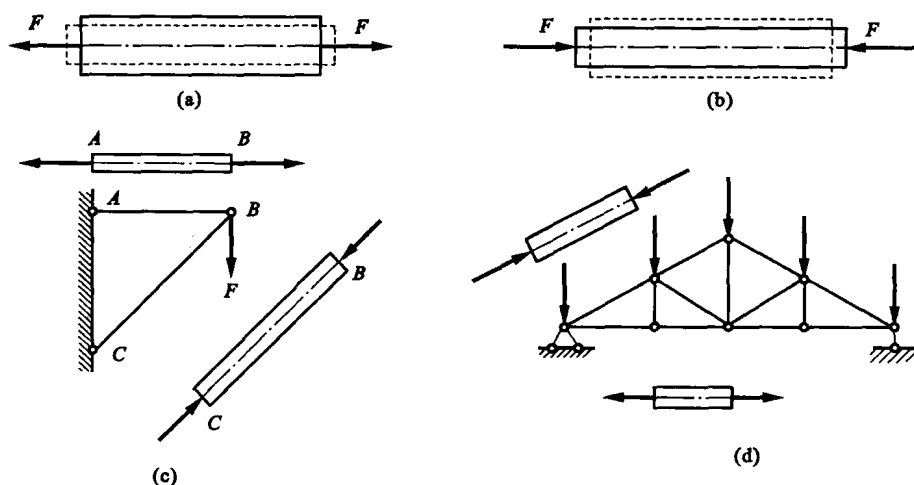


图 2.3

2.2.2 杆的内力

如图 2.4(a)所示拉杆,为了确定任一截面 $m-m$ 上的内力,沿截面 $m-m$ 将杆件截为左、右

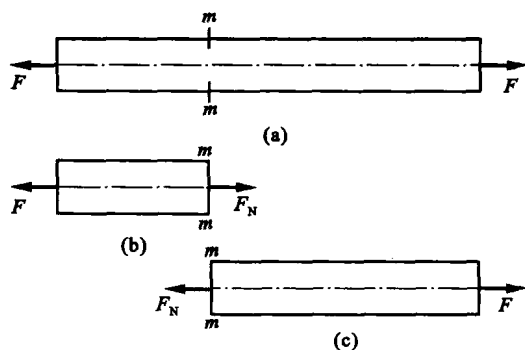


图 2.4

两段[图 2.4(b)、(c)],取其中任一段作为研究对象。杆件在外力作用下平衡时,其任一部分也处于平衡。因拉(压)杆的外力沿杆的轴线,根据平衡条件,其任一截面上分布内力系的合力也必与杆的轴线重合。这种与杆件轴线重合的内力称为轴力,用 F_N 表示。轴力的大小由平衡方程求解,若取左段为研究对象,由

$$\sum F_x = 0, F_N - F = 0$$

可得

$$F_N = F$$

为了表示轴力的方向,区别拉伸和压缩两种变形,保证无论取左段还是右段为分离体,所求

得的同一横截面的内力不仅大小相等,而且正负号也相同。对轴力的正负号规定如下:

使杆件受拉伸时的轴力为正,此时轴力背离截面,称为拉力[图 2.5(a)];使杆件受压缩时的轴力为负,此时轴力指向截面,称为压力[图 2.5(b)]。

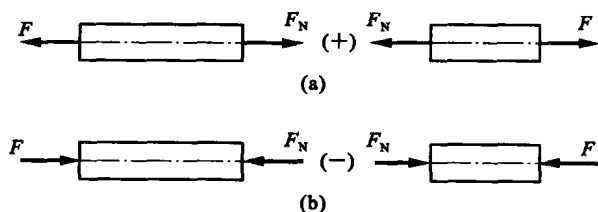


图 2.5

例 2.1 求如图 2.6(a)中 1-1、2-2 截面上的内力。图中 $F_1=6\text{ kN}$, $F_2=10\text{ kN}$, $F_3=4\text{ kN}$ 。

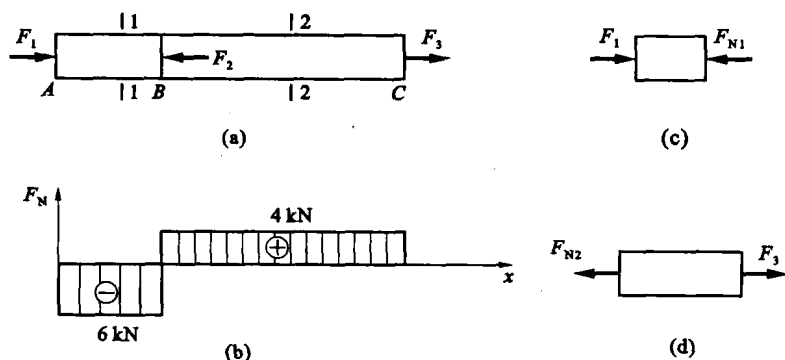


图 2.6

解 (1) 求 1-1 截面的轴力

用 1-1 截面将杆件截为两段,取左段为研究对象,受力如图 2.6(c)所示。

$$\sum F_x = 0, \quad F_1 + F_{N1} = 0, \quad F_{N1} = -F_1 = -6\text{ kN}$$

(2) 求 2-2 截面上的轴力

用 2-2 截面将杆件截为两段,取右段为研究对象,受力如图 2.6(d)所示。

$$\sum F_x = 0, \quad -F_{N2} + F_3 = 0, \quad F_{N2} = F_3 = 4\text{ kN}$$

当杆件受到两个以上的轴向外力时,在以外力为分界面的不同杆段上,其轴力也不相同。为表示轴力的变化情况,用平行于杆轴线的 x 轴表示横截面的位置,垂直于 x 轴的坐标 F_N 表示横截面上轴力的大小,在 $x-F_N$ 坐标系中按一定的比例画出轴力沿轴线方向变化的图形,称为轴力图[图 2.6(b)]。

例 2.2 如图 2.7(a)所示等截面直杆,已知 $F_1=10\text{ kN}$, $F_2=20\text{ kN}$, $F_3=35\text{ kN}$, $F_4=25\text{ kN}$ 。试画出杆件的轴力图。

解 (1) 计算杆件各段的轴力

以外力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 作用的截面为分界点,将杆件分为 AB、BC、CD 三段。在 AB 段,用 1-1 截面将杆件截为两段,取左段为研究对象,右段对截面的作用力用 F_{N1} 来代替,并设 F_{N1} 为正[图 2.7(b)],由平衡方程

$$\sum F_x = 0, \quad F_{N1} - F_1 = 0$$

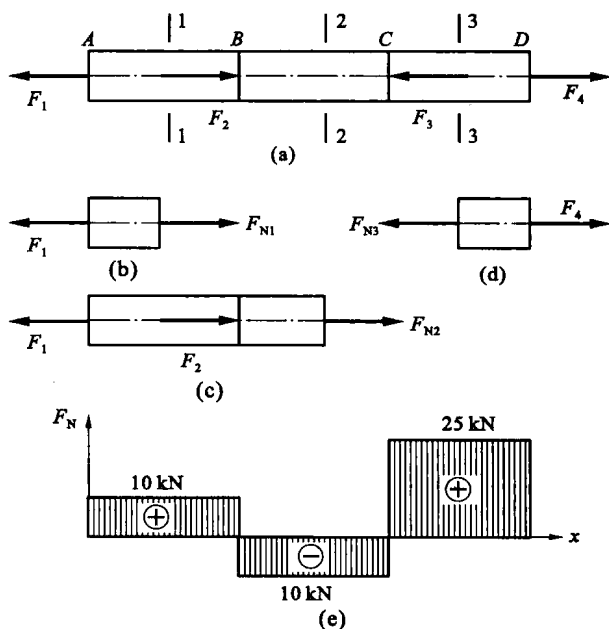


图 2.7

得

$$F_{N1} = F_1 = 10 \text{ kN}$$

在 BC 段, 用 2-2 截面将杆件截为两段, 取左段为研究对象, 右段对左段的作用力用 F_{N2} 来代替, 并设 F_{N2} 为正 [图 2.7(c)], 由平衡方程

$$\sum F_x = 0, \quad F_{N2} + F_2 - F_1 = 0$$

得

$$F_{N2} = F_1 - F_2 = (10 - 20) \text{ kN} = -10 \text{ kN}$$

在 CD 段, 用 3-3 截面将杆件截为两段, 取右段为研究对象, 左段对右段的作用力用 F_{N3} 来代替, 并设 F_{N3} 为正 [图 2.7(d)], 由平衡方程

$$\sum F_x = 0, \quad F_4 - F_{N3} = 0$$

得

$$F_{N3} = F_4 = 25 \text{ kN}$$

(3) 画轴力图 [图 2.7(e)]

将平衡方程 $\sum F_x = 0$ 移项后可得到计算轴力的规律: 拉(压)杆任一截面的轴力, 等于该截面一侧(左侧或右侧)杆上所有外力的代数和。其中, 背离截面的外力产生正的轴力, 指向截面的外力产生负的轴力。由截面一侧的外力直接计算截面内力的方法, 称为简捷法。

例 2.3 一等直杆受力情况如图 2.8(a) 所示, 试作杆的轴力图。

解 (1) 求支座约束力

直杆受力如图 2.8(b) 所示, 由平衡方程 $\sum F_x = 0$ 得 $F_A = 10 \text{ kN}$

(2) 分段并计算各段的轴力

以外力作用的截面为分界点, 将杆件分为 AB、BC、CD、DE 四段, 设截面 1-1、2-2、3-3、4-4 分别为 AB、BC、CD、DE 段上的任一截面, 由简捷法可得

$$F_{N1} = F_A = 10 \text{ kN}, \quad F_{N2} = 10 \text{ kN} + 40 \text{ kN} = 50 \text{ kN}$$

$$F_{N3} = 20 \text{ kN} - 25 \text{ kN} = -5 \text{ kN}, \quad F_{N4} = 20 \text{ kN}$$

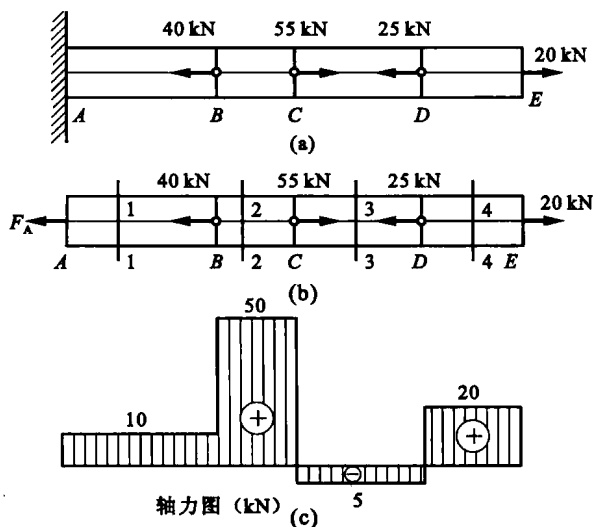


图 2.8

(3) 画轴力图

用平行于杆轴线的坐标表示截面的位置；用垂直于杆轴线的坐标表示横截面上的轴力 F_N ，按适当比例将正值轴力绘于横轴上侧，负值轴力绘于横轴下侧，作出杆的轴力图如图 2.8(c)所示。从图中可看出，AB、BC 和 DE 段受拉，CD 段受压，且 $F_{N\max}$ 发生在 BC 段，其值为 50 kN。

讨论：对于拉(压)杆，在集中力作用的截面上，其轴力图发生突变，突变值等于集中力的大小。如本例中，B 截面左侧的截面属于 AB 段，其轴力为 10 kN；B 截面右侧的截面属于 BC 段，其轴力为 50 kN。在 B 截面处轴力图有突变，从 10 kN 突变到 50 kN，其突变量正好等于 B 截面处的外力 40 kN，而在 B 截面上的轴力是不确定的。

例 2.4 图 2.9(a)所示截面积为 A ，高为 l 的等截面立柱，顶端受一集中力 F 的作用，材料的重度为 γ 。绘出立柱的轴力图。

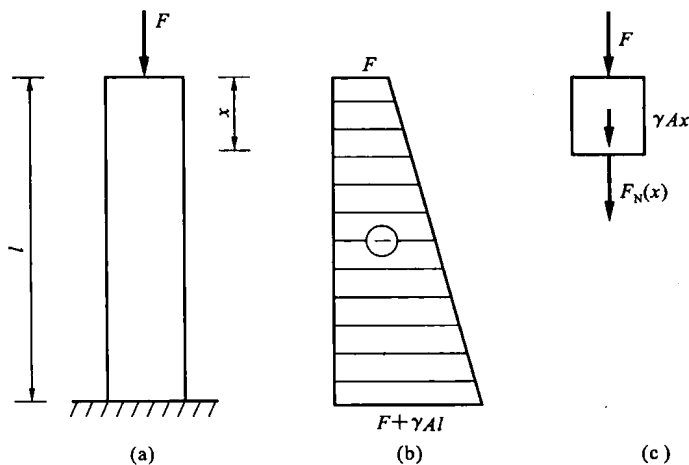


图 2.9

解 (1) 计算距顶端为 x 的截面的轴力