

闫晓鹏 武瑛 主编

材料力学

清华大学出版社

材料力学

闫晓鹏 武 瑛 主编
杨丽萍 高保凤 李志刚 编



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据高等工科院校“材料力学课程教学基本要求”,依据材料力学课程教学大纲的内容和要求编写的。共12章,包括:绪论,拉伸、压缩与剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态和强度理论,组合变形,能量法,压杆稳定,动载荷,交变应力以及附录。本书理论与应用并重,概念清晰,易于理解,除第1章外,各章均有一定数量的例题、思考题及习题。

本书可作为高等学校工科各专业的材料力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/闫晓鹏等主编.--北京:清华大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-302-31506-3

I. ①材… II. ①闫… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 027085 号

责任编辑:佟丽霞 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24.75

字 数:604千字

版 次:2013年2月第1版

印 次:2013年2月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.80元

产品编号:052058-01

材料力学是高等工科院校开设的专业基础课程,理论性与应用性都较强,既是经典学科,又是一门不断发展和改革的学科。随着高等教育教学内容和课程体系改革的深入,为了使学生在有限的学时里理解和掌握材料力学的基本原理和基本方法,我们编写了此书,希望既在内容上反映新的时代特征,又为工科专业学生进一步的学习打好基础。

本书在保证传统教学体系相对稳定的前提下,力求做到:理论分析严密,逻辑性强,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、步骤与技巧,注意理论在题目中的应用并对重要的概念进行深入的研究和讨论。

本书共12章,包括:绪论,拉伸、压缩与剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态和强度理论,组合变形,能量法,压杆稳定,动载荷,交变应力以及附录。为了帮助学生深刻理解概念,各章都有思考题,其中汇集了编者在长期教学中所遇到的学生容易误解的问题;并精选了习题,题量适中,类型较全。

本书可作为高等学校工科各专业的材料力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。鉴于目前各专业材料力学学时的不同,可根据教学时数、后续专业课程的教学需要作适当的取舍。

本书第1、2章由闫晓鹏编写;第3、9、10章由武瑛编写;第7、8、11章由杨丽萍编写;第4~6章由高保凤编写;第12章、附录A由李志刚编写。全书由主编闫晓鹏、武瑛统稿审定。

参加本书编写工作的人员均是工作在材料力学教学第一线的教师,他们具有丰富的教学经验,长期致力于教学改革。2005年“材料力学”课程被评为山西省省级精品课程。本书是太原理工大学材料力学教研室十余年教学改革与课程建设的成果反映,又是作者们长期教学经验的积累和结晶,并在编写过程中,参考吸收了许多国内外材料力学名著的思想和内容,非常感谢众多专家学者的精彩成果。

本书承蒙太原理工大学吴桂英教授认真审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示由衷的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏与欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2012年12月

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的基本任务	1
1.2 变形固体及其基本假设	2
1.3 内力、截面法和应力的概念	3
1.4 变形与应变	4
1.5 杆件变形的基本形式	5
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	7
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	7
2.2 直杆轴向拉伸(压缩)时横截面上的内力和应力	8
2.3 直杆轴向拉伸(压缩)时斜截面上的应力	11
2.4 材料拉伸(压缩)时的力学性能	12
2.5 失效、安全因数和强度计算	16
2.6 轴向拉伸(压缩)的变形	19
2.7 轴向拉伸(压缩)的应变能	22
2.8 拉伸(压缩)超静定问题	24
2.9 应力集中的概念	31
2.10 剪切和挤压的实用计算	32
思考题	38
习题	39
第 3 章 扭转	49
3.1 概述	49
3.2 圆轴扭转时横截面上的内力	49
3.3 薄壁圆筒的扭转	52
3.4 圆轴扭转的应力及强度条件	54
3.5 圆轴扭转的变形及刚度条件	58
3.6 圆轴扭转时的应变能	61
3.7 非圆截面杆扭转简介	64
思考题	68

习题	69
第4章 弯曲内力	76
4.1 弯曲的概念和实例	76
4.2 梁的简化及其典型形式	77
4.3 剪力和弯矩	79
4.4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	82
4.5 载荷集度、剪力和弯矩之间的微分关系	87
4.6 平面刚架和曲杆的内力图	97
思考题	100
习题	101
第5章 弯曲应力	108
5.1 弯曲时梁横截面上的正应力	108
5.2 弯曲切应力	113
5.3 梁的强度条件	119
5.4 提高弯曲强度的措施	124
5.5 弯曲中心	128
思考题	132
习题	134
第6章 弯曲变形	139
6.1 工程中弯曲变形的实例	139
6.2 挠曲线近似微分方程	141
6.3 用积分法求弯曲变形	142
6.4 用叠加法求弯曲变形	148
6.5 简单超静定梁	152
6.6 梁的刚度校核 提高弯曲刚度的措施	154
思考题	157
习题	159
第7章 应力状态和强度理论	165
7.1 应力状态的基本概念	165
7.2 二向应力状态分析的解析法	167
7.3 二向应力状态分析的图解法	174
7.4 三向应力状态的最大应力	181
7.5 平面应变状态分析	182
7.6 广义胡克定律	186
7.7 复杂应力状态下的应变能密度	190
7.8 强度理论	192

思考题	202
习题	204
第 8 章 组合变形	210
8.1 组合变形的概念和实例	210
8.2 斜弯曲	211
8.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合	217
8.4 偏心拉伸(压缩)和截面核心	219
8.5 扭转与弯曲的组合	226
8.6 组合变形的普遍情况	229
思考题	230
习题	232
第 9 章 能量法	239
9.1 概述	239
9.2 外力功与应变能	239
9.3 应变能的普遍表达式	245
9.4 互等定理	247
9.5 单位力法 莫尔积分	250
9.6 计算莫尔积分的图乘法	255
9.7 卡氏定理	260
9.8 用能量法解超静定系统	267
思考题	270
习题	272
第 10 章 压杆稳定	279
10.1 概述	279
10.2 两端铰支细长压杆的临界压力	281
10.3 其他不同约束条件下细长压杆的临界压力	283
10.4 欧拉公式的适用范围 经验公式	287
10.5 压杆的稳定性校核	294
10.6 提高压杆稳定性的措施	297
思考题	298
习题	299
第 11 章 动载荷	304
11.1 概述	304
11.2 构件作等加速运动时的动应力计算	304
11.3 构件受冲击时的应力和变形	309
11.4 冲击韧度	315

11.5 提高构件抗冲击能力的措施	316
思考题	318
习题	319
第 12 章 交变应力	323
12.1 概述	323
12.2 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	324
12.3 材料的持久极限	326
12.4 影响构件持久极限的主要因素	327
12.5 交变应力下构件的疲劳强度计算	331
12.6 变幅交变应力	336
12.7 提高构件疲劳强度的措施	337
思考题	338
习题	338
附录 A 截面的几何性质	341
A.1 静矩和形心	341
A.2 惯性矩 极惯性矩 惯性积	344
A.3 惯性矩和惯性积的平行移轴定理	347
A.4 惯性矩和惯性积的旋转轴公式 主惯性轴和主惯性矩	350
思考题	354
习题	356
附录 B 型钢表	359
习题答案	370
索引	384
参考文献	387

绪论

1.1 材料力学的基本任务

工程中的结构物通常都会受到各种外力的作用,如吊车梁承受的吊车和起吊物的重力,车床主轴受到的切削力以及物体的自重等。结构物或机械都是由各式各样的杆件和零件组合而成,这些零件通常称为**构件**。构件一般由固体材料制成,在外力作用下,固体将发生形状和尺寸的改变,称为**变形**。要想使结构物或机械在载荷作用下安全可靠地正常工作,必须保证组成它们的每一个构件都能够正常地工作,且具有足够的承受载荷的能力。构件承受载荷的能力由以下三个方面来衡量。

(1) 构件应具有足够的强度

强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。在一定载荷作用下构件不应破坏(断裂或失效),应能够安全地承受载荷。例如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) 构件应具有足够的刚度

刚度是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力。在一定的载荷作用下,构件只满足强度要求是不够的,如果变形过大,也会影响正常工作。例如机床主轴变形过大时,会影响加工精度。这就要求构件具有足够的刚度。

(3) 构件应具有足够的稳定性

稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力。对于细长受压构件,当压力较小时,构件能保持原有的直线平衡状态。若压力增大至某一数值时,构件会突然变弯,使结构不能正常工作,这种现象称为丧失稳定。例如,千斤顶的螺杆应始终维持原有的直线平衡形态。对于这类细长压力构件,必须具有始终保持原有平衡状态的能力,即要求构件具有足够的稳定性。

实际工程中的构件一般都应具有足够的强度、刚度和稳定性,但对具体构件又往往有所侧重。

构件的强度、刚度和稳定性都与所用的材料有关。因此材料力学还要研究材料在载荷作用下表现出的力学性能。材料的力学性能需要通过实验来测定。此外,许多理论分析的结果是在某些假设的前提下经过简化而得到的,其是否可靠,有待实验的验证。工程中还有些单靠理论分析解决不了的问题,也需借助于实验来解决。所以实验研究和理论分析均为材料力学解决问题的手段。

在设计构件时,除应满足强度、刚度和稳定性要求外,还必须尽可能地合理选用材料和

节省材料,以降低成本。因此为构件选择适当的材料、合理的截面形状和尺寸,以保证构件既安全可靠又经济合理,为工程设计提供必要的理论基础和计算方法,这是材料力学的基本任务。

1.2 变形固体及其基本假设

固体在外力作用下都将发生变形,故称其为**变形固体**。变形固体的性质是多方面的,而且很复杂,从不同的角度研究问题,侧重面也不一样。研究构件的强度、刚度和稳定性,通常忽略一些次要因素,作出某些假设,将变形固体抽象为一种理想的力学模型。材料力学对变形固体采用如下的基本假设。

1. 连续性假设

设整个物体体积内毫无空隙地充满物质,即认为结构是密实的。根据这一假设,构件内的一些力学量既可用坐标的连续函数表示,也可采用无限小的数学分析方法。在正常的工作条件下,变形后的固体仍应保持其连续性,也就是说,构件内变形前相邻的质点在变形后也保持相邻,既不产生新的空隙或孔洞,也不出现重叠现象。

2. 均匀性假设

设物体内的任何部分,其力学性质相同。根据这一假设,从构件内部任何部位切取的微小体积单元都具有与构件完全相同的性质。同理,通过试样所测得的材料性质,也可用于构件内的任何部位。

实际情况是材料组成部分的力学性质往往存在不同程度的差异,例如金属是由无数微小晶粒组成,各个晶粒的力学性质不完全相同,但构件的任一部分中包含了数量极大的晶粒,而且无规则地排列,固体的力学性质是各晶粒的力学性质的统计平均值。所以可认为各部分的力学性质是均匀的。

3. 各向同性假设

认为在材料内沿各个不同方向具有相同的力学性质。具有这种属性的材料称为**各向同性材料**。就金属的单一晶粒来说,在不同方向上,其力学性质并不一样。但金属物体包含着数量极多的晶粒,而且各晶粒又是杂乱无章地排列的,这样其在各个方向上的性质就接近相同了。

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、胶合板和纤维织品等。材料在外力作用下将产生变形,对于大多数材料,当外力不超过一定限度时,去除外力后,物体将恢复原有的形状和尺寸,这种性质称为**弹性**。随着外力卸除而消失的变形称为**弹性变形**。当外力过大时,去掉外力后,变形只能部分消失而残留下一部分永久变形,材料的这种性质称为**塑性**。残留的变形称为**塑性变形**。

去掉外力后能完全恢复原状的物体称为**理想弹性体**。

本书讨论的问题将限于材料的弹性阶段,即把物体视为理想弹性体。

工程中大多数构件在载荷作用下,其几何尺寸的改变量与构件本身的尺寸相比,通常是

很微小的,这类变形称为小变形。我们研究的内容将限于小变形范围。由于变形很微小,在研究构件的平衡、运动等问题时,就可以采用构件变形前的原始尺寸进行计算,使问题大为简化。

综上所述,在材料力学中,是把研究对象视为连续、均匀、各向同性的变形体,而所研究的范围主要限于材料处于弹性阶段,且构件的变形是很微小的。

1.3 内力、截面法和应力的概念

构件不受外力时,内部各部分之间存在着相互作用的力,使构件维持一定的形状。当构件受到外力作用而变形时,其内部各部分之间的相互作用力将发生改变。这种因外力作用而引起的构件内各部分之间相互作用力的改变量称为附加内力,简称内力。构件的内力随外力的增加而增大,当内力达到某一限度时,构件就会破坏,因而它与构件的强度是密切相关的。

内力是构件内部各分子之间的相互作用力。如图 1-1(a)所示构件在外力作用下处于平衡状态,欲求 $m-m$ 截面的内力,需要将其显示出来。可假想将构件沿 $m-m$ 截面截开,分为 I、II 两部分,如图 1-1(b)、(c)所示。任取其中一部分,例如 I 为研究对象,根据连续性假设,此时 II 部分作用于 I 部分的内力沿 $m-m$ 截面连续分布。通常是将截面上的分布内力用位于该截面形心处的合力来代替,尽管内力的合力是未知的,但总可以用 6 个内力分量来表示。因构件在外力作用下处于平衡状态,所以截开后的保留部分也应该是平衡的,这样根据平衡方程,即可求得 6 个内力的分量。事实上,截面上的内力并不是都同时存在上述 6 个分量,可能只存在其中一个或几个。

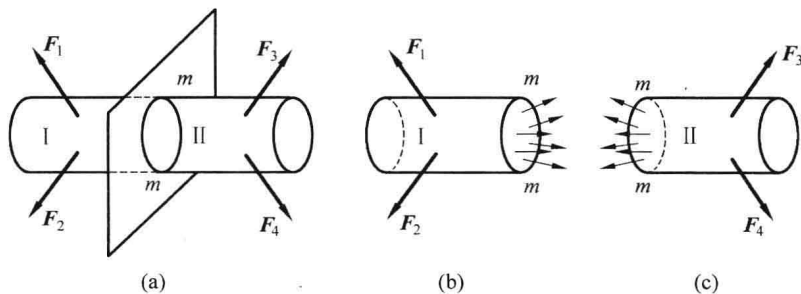


图 1-1

上述用截面假想地把构件分成两部分,以显示并确定内力的方法称为截面法。

用截面法求内力的步骤可归纳如下:

- (1) 在欲求内力的截面处,用一假设的平面将构件截为两部分。这一步骤简称为“截开”。
- (2) 留下一部分,弃掉一部分(任意弃留),并将弃掉的部分对留下部分的作用以内力代替之。此步骤简称为“代替”。
- (3) 考虑留下部分的平衡,由平衡方程来确定内力值。该步骤简称为“平衡”。

在确定了构件截面上的内力后,还不能判断这个构件的强度是否足够。因此还要知道内力在截面上的分布规律以及在各点处强弱或密集的程度,即内力的集度,称为应力。如

图 1-2(a)所示,要研究受力构件内某截面 $m-m$ 上 k 点处的应力,围绕 k 点取一微小面积 ΔA ,设作用在该面积上的内力为 ΔF ,则 ΔF 与 ΔA 的比值称为 ΔA 内的平均应力,并用 p_m 表示,即

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

一般情况下,内力沿截面并非均匀分布,平均应力 p_m 之值及其方向将随所取面积 ΔA 的变化而改变。为了精确地描述内力的分布情况,应使 ΔA 趋近于零,由此得到平均应力 p_m 的极限值,称为截面 $m-m$ 上 k 点处的应力,反映内力系在 k 点的强弱程度,用 p 表示。即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-2)$$

应力 p 是一个矢量,通常将 p 沿截面的法向与切向分解为两个分量,如图 1-2(b)所示,沿截面法向的应力分量称为正应力,用 σ 表示;沿截面切向的应力分量称为切应力,用 τ 表示。

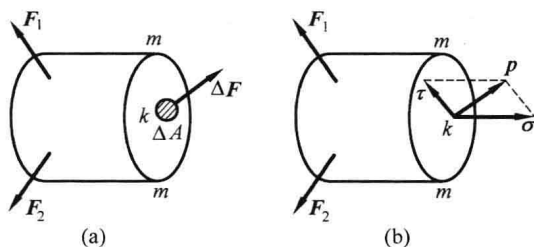


图 1-2

在国际单位制中,应力的单位是牛顿/米²,称为帕斯卡,简称为帕(Pa)。由于这个单位太小,工程中常用的应力单位为兆帕(MPa)或吉帕(GPa),其换算关系为:1MPa=10⁶Pa,1GPa=10⁹Pa。

1.4 变形与应变

构件在外力作用下将发生变形。构件的变形包括几何形状和尺寸的改变两部分。为了研究构件的变形,设想将其分割成无数个单元体,整个构件的变形可看成是这些单元体变形累积的结果。如图 1-3(a)所示是从构件中取出的一个单元体,其变形可用棱边长度的改变和棱边所夹直角的改变来描述。设棱边 AB 的原长为 Δx ,变形后长度的改变量为 Δu ,如图 1-3(b)所示,则比值 $\epsilon_m = \frac{\Delta u}{\Delta x}$ 称为 AB 的平均线应变(又称正应变)。一般情况下, AB 内各点处的变形程度并不相同,为了精确描述 A 点沿 AB 方向的变形程度,应使 Δx 趋近于零,此时, A 点沿 AB 方向的线应变即为

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-3)$$

用类似的方法,还可确定 A 点沿其他方向的线应变。

单元变形时,除棱边的长度改变外,棱边所夹直角也将发生改变,如图 1-3(c)所示。直

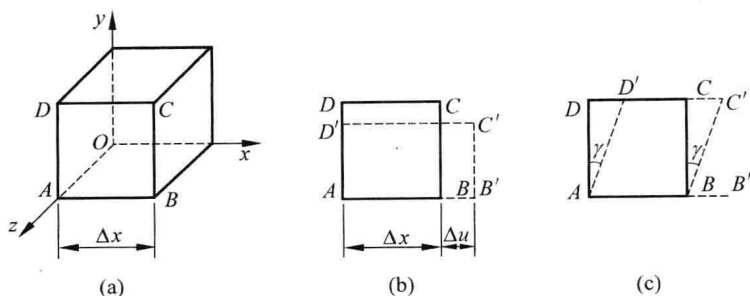


图 1-3

角的改变量 γ 称为 A 点在 xy 平面内的切应变(或称角应变)。线应变 ϵ 和切应变 γ 均为无量纲的量。

1.5 杆件变形的基本形式

工程中构件的种类很多,如杆、板、壳、块体等。材料力学所研究的主要是其中的杆件。所谓杆件,是指其长度相对于其他两个横向尺寸大得多的构件。一般来说,建筑工程中的梁、柱以及机器上的轴等均属于杆件。

就杆件的外形来分,可分为直杆、曲杆和折杆。杆件的轴线为直线时为直杆,轴线为曲线与折线时分别为曲杆与折杆。就横截面(垂直于轴线的截面)来分,杆件又可分为等截面(各截面均相同)杆和变截面(横截面是变化的)杆。本书将着重讨论等截面的直杆(简称为等直杆)。

在不同形式的外力作用下,杆件产生的变形形式也不相同,但构件变形的形式总不外乎以下几种形式。

(1) 轴向拉伸或压缩(图 1-4(a)、(b))。杆件的变形是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的,表现为杆件的长度发生伸长或缩短。

(2) 剪切(图 1-4(c))。杆件的变形是由一对大小相等、方向相反且作用线相距很近的横向力引起的,表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动。

(3) 扭转(图 1-4(d))。杆件的变形是由大小相等、转向相反、作用面都垂直于杆轴线的两个力偶引起的,表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。

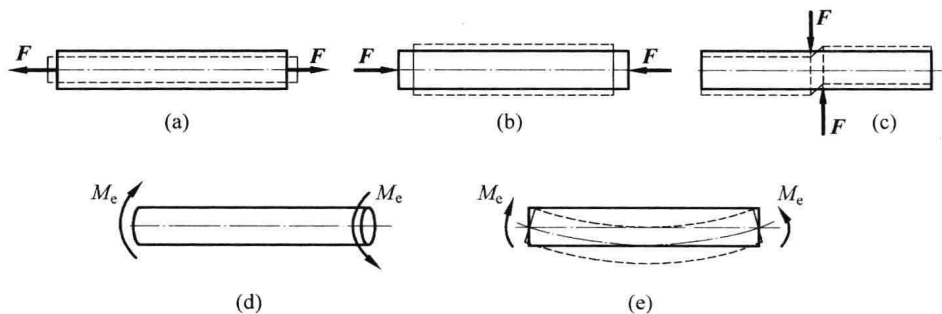


图 1-4

(a) 拉伸; (b) 压缩; (c) 剪切; (d) 扭转; (e) 弯曲

(4) 弯曲(图 1-4(e))。杆件的变形是由垂直于杆件轴线的横向力,或由作用于包含杆轴线的纵向平面内的一对大小相等、转向相反的力偶引起的,表现为杆件轴线由直线变为曲线。

工程实际中的杆件可能同时承受不同形式的外力,变形情况可能比较复杂。有些杆件同时发生两种或两种以上的基本变形,这种情况称为组合变形。在以后各章中,将分别讨论杆件在上述四种基本变形下的强度、刚度问题,然后讨论组合变形的强度、刚度问题以及压杆的稳定性问题。

拉伸、压缩与剪切

2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例

承受轴向拉伸或压缩的构件在工程中的应用非常广泛。例如,用于连接的螺栓(图 2-1)、斜拉索桥上的钢索(图 2-2)、吊运重物时的起重钢索(图 2-3)都承受轴向拉伸;千斤顶的螺杆在顶起重物时(图 2-4)、房屋建筑中的柱则承受轴向压缩。此外,钢木组合桁架结构中的杆件,则不是受拉就是受压(图 2-5)。

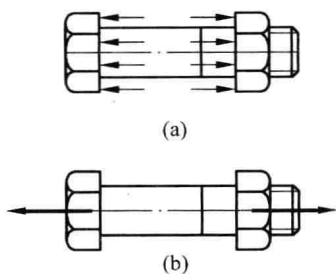


图 2-1



图 2-2

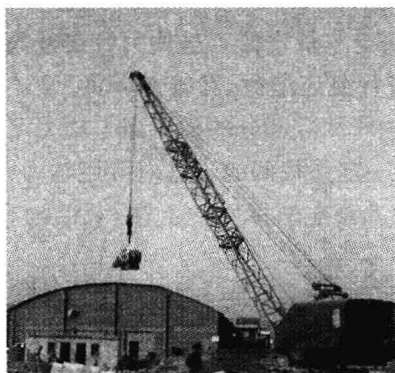


图 2-3

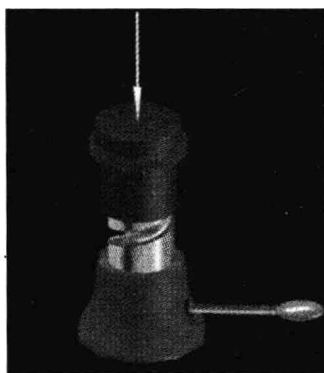


图 2-4

综上各例可以看出,工程实际中的这些构件除连接部分外,多为等截面直杆,它们的共同特点是:作用在杆件上的外力合力的作用线与杆件轴线相重合,杆件变形是沿轴线方向的伸长或缩短。这类构件称为轴向拉(压)杆。若不考虑实际拉(压)杆的具体形状与受力情

况,则可将其简化为图 2-6 所示的受力简图。变形后的形状在图中用虚线表示。

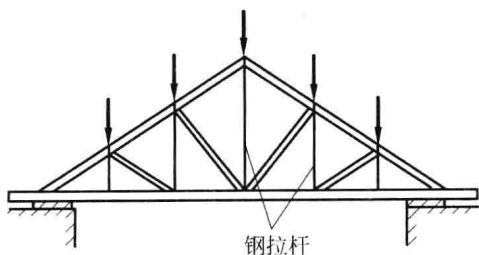


图 2-5

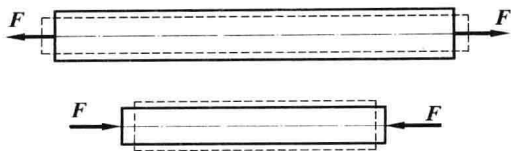


图 2-6

2.2 直杆轴向拉伸(压缩)时横截面上的内力和应力

为了解决构件的强度和刚度等问题,需要首先研究横截面上的内力。

设有一拉杆,为求某一横截面 $m-m$ 上的内力,可沿该截面假想地把杆件分为两部分,(图 2-7(a))。任取左段或右段为研究对象(图 2-7(b)),由平衡条件可知,该截面上分布内力系的合力 F_N 的作用线必然与杆件的轴线重合,所以 F_N 称为轴力。也就是说,杆件在拉伸或压缩变形时横截面上只存在轴力 F_N 一个内力分量,且有

$$F_N = F$$

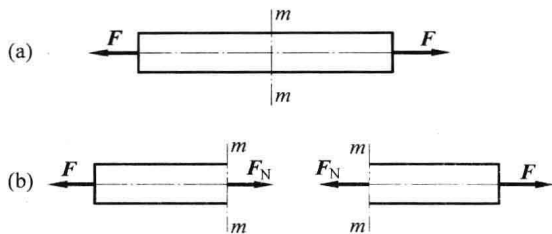


图 2-7

在材料力学中,力的符号是根据构件的变形情况来规定的。当轴力背离截面,即杆件受拉伸时,其轴力为正;反之,当轴力指向截面,即杆件受压缩时,其轴力为负。

如果杆件上作用有两个以上的轴向外力,则在杆件各部分的横截面上轴力不尽相同,即只有两个轴向外力作用点之间的横截面上的轴力一定是相同的。这时可用轴力图来表示轴力沿杆件轴线方向变化的情况。习惯上将正的轴力画在坐标轴的上侧,负的画在下侧。下面举例说明轴力图的绘制方法。

【例 2-1】 如图 2-8(a)所示等直杆,在 B 、 C 、 D 等处作用有集中载荷 F_1 、 F_2 和 F_3 ,其中 $F_1=12\text{kN}$, $F_2=6\text{kN}$, $F_3=2\text{kN}$ 。试画出杆件的轴力图。

解: (1) 求约束反力

以杆为研究对象,其受力如图 2-8(b)所示,列平衡方程

$$\sum F_x = 0, \quad F_1 - F_2 - F_3 - F_{RA} = 0$$

解得

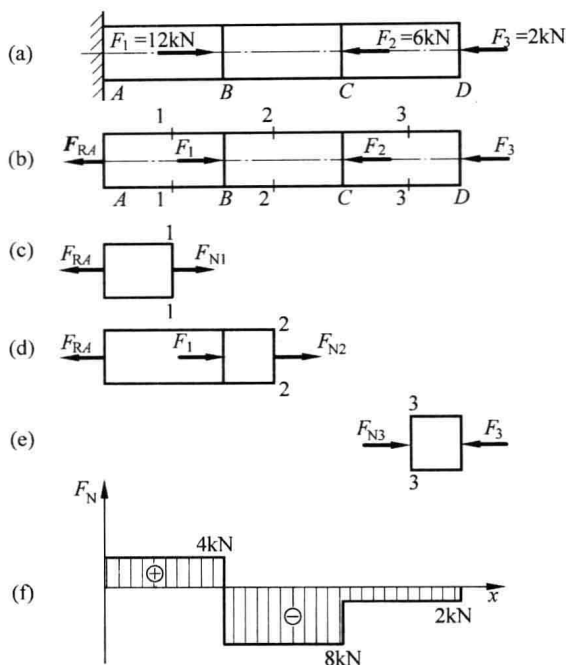


图 2-8

$$F_{RA} = 4\text{kN}$$

(2) 计算轴力

在 AB 段内,沿 1—1 截面假想将杆分为两段,取左段为研究对象,其受力如图 2-8(c)所示,由平衡方程

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

可得

$$F_{N1} = F_{RA} = 4\text{kN}(\text{拉力})$$

同理,可求得 BC 段、CD 段任一截面上的轴力为

$$F_{N2} = -8\text{kN}(\text{压力})$$

$$F_{N3} = -2\text{kN}(\text{压力})$$

(3) 画轴力图

建立图 2-8(f)所示的坐标系,横坐标表示横截面的位置,纵坐标表示相应截面上的轴力,便可绘制出轴力沿杆件轴线方向变化的关系曲线,即轴力图。

在确定了拉(压)杆的轴力以后,还无法判断杆件在外力作用下是否会因强度不够而破坏,必须进一步研究横截面上的应力。

在拉(压)杆的横截面上,与轴力 F_N 对应的是正应力 σ 。根据均匀连续性假设,内力在横截面上是连续分布的。若以 A 表示横截面面积,则内力元素 σdA 便构成了一个垂直于横截面的平行力系,其合力就是轴力 F_N 。于是得

$$F_N = \int_A \sigma dA \quad (\text{a})$$

实验研究: 为了确定 σ 的分布规律,可通过研究杆件的变形入手。变形前,在其侧面上作一系列平行于轴线的纵向线和垂直于轴线的横向线,如图 2-9(a)所示。然后在杆两端加