

全国大学版协优秀畅销书

21世纪
高等学校
本科系列教材

材料力学 I

Cailiao Lixue

■ 主编 刘德华 黄超 ■ 编者 程光均 余茜
■ 主审 张祥东



重慶大學出版社

<http://www.cqup.com.cn>

材料力学(I)

主编 刘德华 黄 超
编者 程光均 余 茜
主审 张祥东

重庆大学出版社

内 容 提 要

本套教材是按照教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会最新制订的“材料力学课程基本要求(A类)”,以及土木工程专业委员会制订的“材料力学知识单元及知识点要求”编写的。该书共分 I, II 两册:《材料力学(I)》包含了材料力学的基本内容,可供 50~72 学时的材料力学课程选用;《材料力学(II)》包含了材料力学较为深入的内容,为有兴趣的读者留有深入学习空间。

本书为《材料力学(I)》,共 13 章,内容包括绪论、轴向拉伸和压缩、扭转、梁的内力、平面图形的几何性质、梁的应力、梁的变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、能量方法、动荷载。各章均配有适量的思考题、习题及参考答案。书末有附录,内容为附录 A 简单荷载作用下梁的转角和挠度,附录 B 型钢表。

《材料力学(II)》共 6 章,内容包括疲劳强度、扭转及弯曲问题的进一步研究、超过弹性极限时材料的变形与强度、平面曲杆、开口薄壁杆件、弹性地基梁。

本书可作为高等工科院校土建、水利及机械类各专业的材料力学教材,也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学. I/刘德华,黄超主编. —重庆:重庆大学出版社,2011. 1

土木工程专业本科系列教材

ISBN 978-7-5624-5773-2

I. ①材… II. ①刘… ②黄… 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(2010)第 215176 号

材料力学(I)

主 编 刘德华 黄 超

主 审 张祥东

策划编辑:彭 宁

责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:彭 宁

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:555千

2011年1月第1版 2011年1月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5773-2 定价:39.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是高等院校土木工程专业系列教材之一,也是重庆大学“十一五”规划教材。本书是根据教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会最新制订的“材料力学课程基本要求(A类)”,以及土木工程专业委员会制订的“材料力学知识单元及知识点要求”编写的。本书将材料力学课程中的基本内容汇集为《材料力学(Ⅰ)》;将供选修用的加深内容汇集为《材料力学(Ⅱ)》。

本书可作为高等工科院校土建、水利及机械类各专业的材料力学教材,也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

本书在编写过程中,力求做到:准确阐述基本概念,透彻论证基本原理,详细介绍基本方法,注重学生基本能力的培养。并适当引入新的科研成果以充实和更新教材内容。例如,为满足新的《钢结构设计规范》的要求,将 Q235 钢的柱子曲线由原来的 3 条改为现在的 4 条,使力学原理和计算更贴近和反映工程实际,提高学生解决实际工程问题的能力。本书除有大量基础的例题和习题之外,还选用了一些难度较大的例题和习题,以供有兴趣的读者参考。

本书的编者均为长期工作在教学第一线的教师,有丰富的教学经验,教材内容与教学实践联系紧密,具有很好的可操作性。

本书由刘德华、黄超主编,编写分工为刘德华(第 1, 10, 12, 13 章)、黄超(第 3, 5, 6, 7 章)、程光均(第 8, 9, 11 章)、余茜(第 2, 4 章及附录)。全书经传阅、讨论、修改、互校后由主编统筹修改定稿。

本书由重庆大学张祥东审阅,提出了许多宝贵意见,对提高本书的质量起了重要作用。郑猛为本书绘制了部分插图,在此,一并致以衷心的感谢。

限于编者水平,本书难免存在缺点和不妥之处,希望教师和读者提出宝贵意见,以便今后改进。

编者

2010 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的假设	2
1.3 外力、内力及截面法	3
1.4 构件的分类 杆件变形的基本形式	5
第 2 章 轴向拉伸和压缩	8
2.1 概述	8
2.2 轴力 轴力图	9
2.3 拉(压)杆截面上的应力	10
2.4 拉(压)杆的变形 胡克定律 泊松比	16
2.5 材料在拉伸与压缩时的力学性质	20
2.6 拉(压)杆的强度计算	24
2.7 拉(压)杆超静定问题	27
2.8 连接件的实用计算	33
思考题	39
习题	40
第 3 章 扭转	51
3.1 概述	51
3.2 外力偶矩计算 扭矩与扭矩图	52
3.3 薄壁圆筒的扭转 切应力互等定理 剪切胡克定律	55
3.4 圆轴扭转时横截面上的切应力	56
3.5 圆轴扭转时的强度条件	60
3.6 圆轴扭转变形 刚度条件	62
3.7 扭转超静定问题	64
3.8 非圆截面杆在自由扭转时的应力和变形	66
思考题	72
习题	74
第 4 章 梁的内力	83
4.1 概述	83
4.2 梁的内力——剪力和弯矩	85
4.3 梁的剪力方程和弯矩方程·剪力图 and 弯矩图	88

4.4	弯矩、剪力与荷载集度之间的微分关系和积分关系	92
4.5	叠加法绘内力图	100
	思考题	102
	习题	103
第 5 章	平面图形的几何性质	109
5.1	形心和静矩	109
5.2	惯性矩和惯性积	111
5.3	惯性矩和惯性积的平行移轴公式	114
5.4	惯性矩和惯性积的转轴公式 主惯性轴	116
5.5	回转半径	120
	思考题	121
	习题	123
第 6 章	梁的应力	127
6.1	概述	127
6.2	梁的正应力	128
6.3	梁的切应力	133
6.4	梁的强度计算	140
6.5	提高梁弯曲强度的主要措施	144
6.6	弯心的概念	147
	思考题	150
	习题	151
第 7 章	梁的变形	160
7.1	概述	160
7.2	梁的挠曲线近似微分方程	161
7.3	用积分法求梁的变形	162
7.4	用叠加法求梁的变形	167
7.5	梁的刚度计算	171
7.6	用力法解简单超静定梁	173
	思考题	175
	习题	176
第 8 章	应力状态与应变状态分析	186
8.1	应力状态的概念	186
8.2	平面应力状态分析的解析法	188
8.3	平面应力状态分析的图解法	194
8.4	空间应力状态简介	198
8.5	广义胡克定律 体应变	199
8.6	复杂应力状态的应变能密度	204

8.7	梁的主应力及主应力迹线的概念	206
8.8	平面应力状态下的应变分析	207
	思考题	213
	习题	214
第9章	强度理论	218
9.1	概述	218
9.2	常用的强度理论	219
9.3	莫尔强度理论	224
	思考题	227
	习题	227
第10章	组合变形	230
10.1	概述	230
10.2	斜弯曲	231
10.3	轴向拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	235
10.4	偏心拉伸(压缩)与截面核心	238
10.5	弯曲与扭转的组合变形	242
	思考题	245
	习题	246
第11章	压杆稳定	250
11.1	压杆稳定的概念	250
11.2	两端铰支理想细长压杆的临界轴力	252
11.3	不同杆端约束下细长压杆临界轴力的欧拉公式	255
11.4	欧拉公式适用范围 临界应力总图	259
11.5	压杆的稳定计算	264
11.6	提高压杆稳定性的措施	274
	思考题	276
	习题	277
第12章	能量方法	282
12.1	概述	282
12.2	杆件的应变能计算	283
12.3	卡氏定理	294
12.4	功的互等定理和位移互等定理	300
12.5	莫尔定理	303
	思考题	306
	习题	307
第13章	动荷载	313
13.1	概述	313
13.2	达朗贝尔原理在求解构件动应力中的应用	314

13.3 能量法在求解构件受冲击时的应力和变形中的 应用	319
13.4 提高构件抗冲击能力的措施	324
13.5 冲击韧度	325
思考题	326
习题	327
附 录	332
附录 A 简单荷载作用下梁的转角和挠度	332
附录 B 型钢表	335
参考文献	347

第 1 章

绪 论

1.1 材料力学的任务

力学是研究力对物体作用效应的学科。在自然中,一切固体在力的作用下都会发生变形,甚至破坏。材料力学是一门专业基础课,主要研究力对固体的变形、破坏的效应。它为许多工科学科和专业奠定固体力学知识基础。通过材料力学课程的学习,一方面为后续课程的学习打下基础;另一方面让学生逐步学会用力学的观点、原理、方法去观察、分析生活中和工程中的力学现象或力学问题,为最终解决工程实际中的力学问题打下基础。

任何结构物和机械都是由一些部件或零件所组成的,这些部件和零件统称为构件(member)。组成结构物或机械的各个构件通常都要受到各种外力的作用,工程构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为**失效**(failure)或**破坏**。工程构件的失效形式主要分为3类:**强度失效**(failure by lost strength)、**刚度失效**(failure by lost rigidity)和**稳定失效**(failure by lost stability)。要使结构或机械正常工作,组成结构或机械的每一构件,必须满足以下3个方面的要求:

(1) 强度要求

强度(strength)是指材料或构件抵抗破坏的能力。即要求构件在规定荷载作用下不应发生破坏。如提升重物的钢绳不应被重物拉断;再如机床主轴受外力后若出现了过大的永久变形,即使轴没有断裂,机床也不能正常工作。这里所指的破坏,不仅指外力作用后构件的断裂,还指构件产生过大的永久变形。

(2) 刚度要求

刚度(rigidity)是指材料或构件抵抗变形的能力。在荷载作用下,构件即使有足够的强度,但若变形太大,仍不能正常工作。例如,楼板梁在荷载作用下产生过大变形时,下层屋顶的抹灰层就会开裂、脱落;齿轮轴的变形过大,将造成齿轮与轴承的不均匀磨损,引起噪声,等等。可见,在一定外力作用下,构件的变形应在工程上允许的范围,也就是要求构件有足够的刚度。

(3) 稳定性要求

稳定性(stability)是指构件保持原有平衡形态的能力。受压的细长直杆,当压力增大到某一数值后会突然变弯,失去原有的直线平衡形态,这种现象称为**失稳**。如果静定桁架中的受压杆件发生失稳,桁架就会变成几何形状可变的机构而倒塌。构件失稳往往会造成灾难性的事故,工程上要求构件在规定的荷载作用下,决不发生失稳现象,即要求构件具有足够的稳定性。

工程上,一般说,构件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。例如,储气罐应主要是保证强度,车床主轴主要是要具备一定的刚度,而受压的细长杆则应保证稳定性。此外,对某些特殊构件还可能有相反的要求。例如,跳水运动中使用的跳板有较大的弹性变形能力。

设计构件时,不仅要满足上述强度、刚度和稳定性这3方面的要求,以达到安全的目的;还应尽可能合理地选用材料和降低材料的消耗量,以节约资源或减轻构件的自重。前者往往要求多用材料而后者则要求少用材料,两者之间存在着矛盾。材料力学的任务就是合理地解决这种矛盾,即研究工程构件在外力作用时的变形和破坏规律,为设计工程构件的形状、尺寸和选用合适的材料提供计算依据,力求使设计出的构件,既安全又经济。

构件的强度、刚度和稳定性均与所用材料的力学性能有关,这些力学性能都需要通过实验测定。因此,实验研究和理论分析同样都是完成材料力学任务所必需的重要手段。

1.2 变形固体的假设

构件一般由固体材料制成,不能将制成构件的材料看成不能变形也不产生破坏的刚体,必须如实地把制成构件的材料看成是可变形固体。固体有多方面的属性,研究的角度不同,侧面也不一样。为了研究方便,必须忽略与所研究问题无关的或次要的属性,因此,有必要对变形固体作某些假设。材料力学对变形固体作了3个基本假设:

①**连续性假设**。认为组成物体的物质不留空隙地充满了固体的体积。这样,在外力作用下,物体内的物理量(如应力、应变、位移等)才可能是连续的,因而才可能用坐标的连续函数来表示它们的变化规律。实际上,一切物体都是微粒组成的,严格来说,都不符合上述假定。但是,只要微粒的尺寸以及相邻微粒之间的距离都比物体的尺寸小得很多,那么关于变形固体连续性的假设就不会引起显著的误差。

②**均匀性假设**。认为变形固体在其整个体积内充满着同种材料,即认为各点处的力学性能完全相同。这样,如果从固体中取出一部分,不论大小,也不论从何处取出,力学性能总是相同的。就工程中使用最多的金属材料来说,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同。但因构件或构件的任一部分中都包含了为数极多的晶粒,而且无规则的排列,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值,所以可以认为各部分的力学性能是均匀的。

③**各向同性假设**。认为变形固体材料在各个方向上的力学性能完全相同。实际上,如前所述的金属材料,其单个晶粒呈结晶各向异性,但当它们形成多晶聚集体的金属时,呈随机取向,因而在宏观上表现为各向同性。如果材料在不同方向上具有不同的力学性能,则称这类材料为**各向异性(anisotropy)**材料。如木材、胶合板、复合材料等就属于这种类型。

如上所述,在材料力学的理论分析中,以连续、均匀、各向同性的变形固体作为构件材料的力学模型,这种理想化的力学模型代表了各种工程材料的基本属性,从而使理论研究成为可行。为了解决问题的需要,在材料力学中对变形固体还作了一些工作假设,如:

①小变形假设。在实际工程中大多数构件在荷载作用下产生的变形与杆件的原始尺寸相比是极其微小的。根据这个假设,在研究杆件的平衡和运动时可以不考虑外力作用点在构件变形后发生的微小的位置改变,而按其变形前的原始尺寸进行计算。这样做不但引起的误差很小,而且使实际计算大为简化。例如,如图 1.1 所示的结构,若杆 AB ,杆 AC 是刚体,则杆 AB ,杆 AC 受的力为

$$F_{AB} = F_{AC} = \frac{F}{2 \cos \alpha}$$

若杆 AB, AC 是变形体,因变形, A 点移到 A' 点, α 角变为 α' 角, 则

$$F'_{AB} = F'_{AC} = \frac{F}{2 \cos \alpha'}$$

这里的 α' 取决于 A' 点位置,而 A' 的位置取决于杆 AB, AC 的变形量,变形量又决定于杆 AB, AC 受到的力 F'_{AB}, F'_{AC} 的大小,成为一个复杂的非线性问题。在小变形前提下,位移 $\overline{AA'}$ 很小, $\alpha' \approx \alpha$, 于是 F'_{AB} 可用 F_{AB} 代替,把问题简化了,且误差很小。

②线弹性假设。工程上所用的材料,当荷载不超过一定的范围时,构件在卸去荷载后可以恢复原状。但当荷载过大时,则在荷载卸去后只能部分地复原,而残留一部分不能消失的变形。在卸去荷载后能完全消失的那一部分变形称为弹性变形 (elastic deformation),不能消失而残留下来的那一部分变形则称为塑性变形 (ductile deformation)。线弹性 (linear elasticity) 是指作用于物体上的外力与弹性变形始终成正比。许多构件在正常工作条件下其材料均处于线弹性变形状态。因此,在材料力学中所研究的大部分问题都是局限在线弹性范围内。

综上所述,在材料力学中是把材料看成连续、均匀、各向同性的可变形固体,且在多数情况下局限在线弹性变形范围内和小变形条件下进行研究。

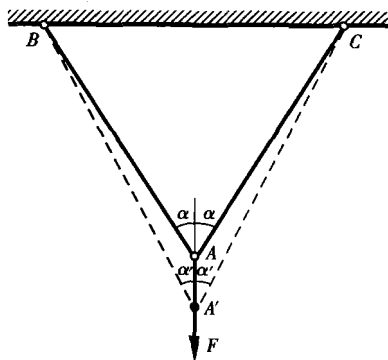


图 1.1

1.3 外力、内力及截面法

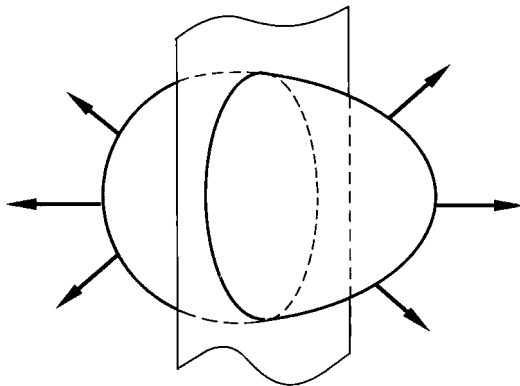
1.3.1 外力

在研究某一构件时,可以设想把这一构件从周围物体中单独取出,并用力来代替周围各物对构件的作用。这些力称为外力。按外力的作用方式可分为体积力和表面力。体积力是分布在物体体积内的力,例如重力和惯性力等,通常用体荷载集度来度量其大小,其量纲为 [力]/[长度]³。表面力是直接作用于构件表面的力。表面力又可分为分布力和集中力。连续作用于构件表面面积上的力为分布力,如流体压力,楼面的使用活荷载等,通常用面荷载集

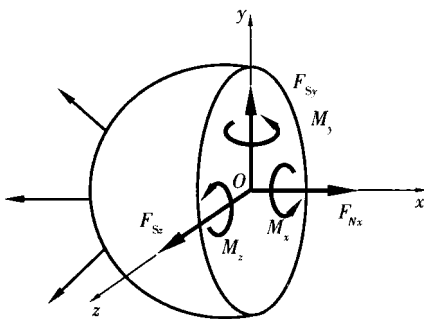
度来度量其大小,其量纲为[力]/[长度]²。有些分布力是沿杆件的轴线作用的,如楼板对相应梁的作用力,这类分布力常用线荷载集度 q 来度量其大小,其量纲为[力]/[长度]。有些分布力的作用面积远小于物体的表面尺寸,如火车车轮对钢轨的压力,这些分布力就可看成集中力。

1.3.2 内力 截面法

在外力作用下,构件内部各质点间产生相对位移,即构件发生变形,从而,各质点间的相互作用力也发生了改变。这种因外力作用而引起的上述相互作用力的改变量,称为内力 (internal force),它实际上是外力引起的“附加内力”。因此,也可以称内力为构件内部阻止变形发展的抗力。



(a)



(b)

图 1.2

弹性构件在外力作用下若保持平衡,则从其上截取的任意部分也必然保持平衡。前者称为**整体平衡** (overall equilibrium); 后者称为**局部平衡** (local equilibrium)。局部可以用一截面将构件截成的两部分中的任一部分,也可以是从中截出的任意部分,甚至还可以是围绕某一点截取的微元或微元的局部,等等。这种整体平衡与局部平衡的关系,称为**弹性体平衡原理** (equilibrium principle for elastic body)。

在研究构件的强度、刚度等问题时,均与内力这个因素有关,经常需要知道构件在已知外力作用下某一截面(如杆件的横截面)上的内力值。任一截面上内力值的确定,通常是采用下述的**截面法** (method of section)。

如图 1.2(a) 所示受力体代表任一受力构件。为了显示和计算某一截面上的内力,可在该截面处用一假想的平面将构件截成两部分并弃掉一部分。用内力代替弃掉部分对留下部分的作用。根据连续、均匀性假设,内力在截面上也是连续分布的并称为分布内力。通常是将截面上的分布内力向截面形心处简化,得到主矢和主矩,然后进行分解,可用 6 个内力分量 F_{Nx}, F_{Sy}, F_{Sz} 与 M_x, M_y, M_z 来表示(见图

1.2(b))。根据弹性体的平衡原理,留下部分保持平衡。由空间力系的平衡方程

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \sum M_x(F) = 0 \\ \sum M_y(F) = 0 \\ \sum M_z(F) = 0 \end{cases}$$

便可求出 F_{Nx}, F_{Sy}, F_{Sz} 与 M_x, M_y, M_z 各内力分量。应该注意,若无特别声明,今后所谈内力分量

都是分布内力向截面形心简化的结果。

综上所述,用截面法求内力的步骤是:

- ①截开。在需求内力的截面处,用假想的截面将构件截为两部分。
- ②分离。留下一部分为分离体,弃去另一部分。
- ③代替。以内力代替弃去部分对留下部分的作用,绘分离体受力图(包括作用于分离体上的荷载、约束反力、待求内力)。
- ④平衡。由平衡方程来确定内力值。

在第2步进行弃留时,保留哪一部分都可以。因为截面上的内力就是物体被该截面所分离而成的两部分之间的相互作用力。

这里需指明一点:在研究内力与变形时,对刚体的等效力系(equivalent force system)的应用应该慎重,不能机械地不加分析地任意应用。一个力(或力系)用别的等效力系来代替,虽然对整体平衡没有影响,但对构件的内力与变形来说,则有很大差别。例如,图1.3(a)所示的悬臂杆中的外力 F 用如图1.3(b)所示的等效力系代替时,杆件变形显然不同。

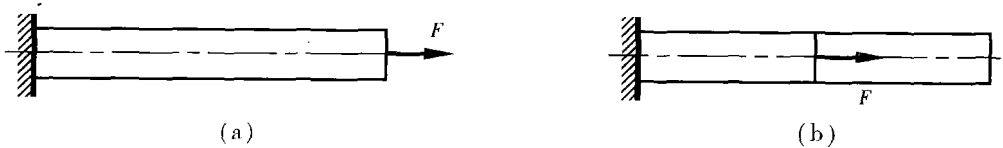


图 1.3

1.3.3 杆件横截面上内力的分类

在如图1.2(b)所示的6种内力分量中,对杆件来说,横截面上不同的内力使杆件产生不同的变形。通常将它们分为以下4类:

- ①轴向内力 F_N (normal force)。通过横截面形心,且与横截面正交的内力,简称轴力。轴向内力使杆件产生轴向变形(axial deformation)。
- ②剪力 F_{Sy}, F_{Sz} (shear force)。与横截面相切的内力。剪力使杆件产生剪切变形(shear deformation)。
- ③扭矩 M_T (torsional moment)。力偶矩矢垂直于横截面,与杆轴重合。扭矩使杆件产生扭转变形(torsional deformation)。
- ④弯矩 M_y, M_z (bending moment)。力偶矩矢与截面相切,与杆轴正交。弯矩使杆件产生弯曲变形(bending deformation)。

截面上的内力并不一定都同时存在上述6个分量,可能只存在其中的一个或几个。

1.4 构件的分类 杆件变形的基本形式

构件的几何形状是多种多样的,但根据其几何特征,可把构件分为杆件(bar)、板(plane)与壳(shells)、块体(body)3类。所谓杆件,是指纵向尺寸远远大于横向尺寸的构件,如图1.4所示。杆件是材料力学的主要研究对象。

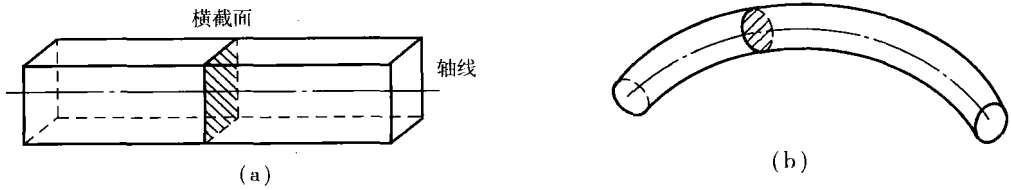


图 1.4

板与壳是指一个方向的尺寸(厚度)远远小于其他两个方向尺寸的构件。板的形状扁平而无曲度,而壳体则呈曲面形状。块体则是指 3 个相互垂直方向的尺寸均属同一量级的构件。

杆件的形状可由**横截面**(normal cross section)和**轴线**(axis of the bar)两个几何特征来描述。所谓横截面,就是垂直于杆件长度方向的截面;而轴线则是各个横截面形心的连线。因此,轴线垂直于横截面且通过横截面的形心。杆件的轴线是直线的称为**直杆**(straight bar);轴线是曲线的称为**曲杆**(curved bar)。沿轴线各处横截面的形状和大小完全相同的杆称为**等截面杆**(prismatic bar);否则就是**变截面杆**(variable cross-section bar)。本书将着重讨论等截面直杆。

在不同形式的外力作用下,杆件产生的变形形式也各不相同,但杆件变形的形式总不外乎下列 4 类:

①**轴向拉伸**(axial tension)或**轴向压缩**(axial compression)。即在一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力作用下,杆的两相邻横截面沿杆轴线切向产生相对移动,而杆件的长度发生改变(伸长或缩短),如图 1.5(a)、图 1.5(b)所示。

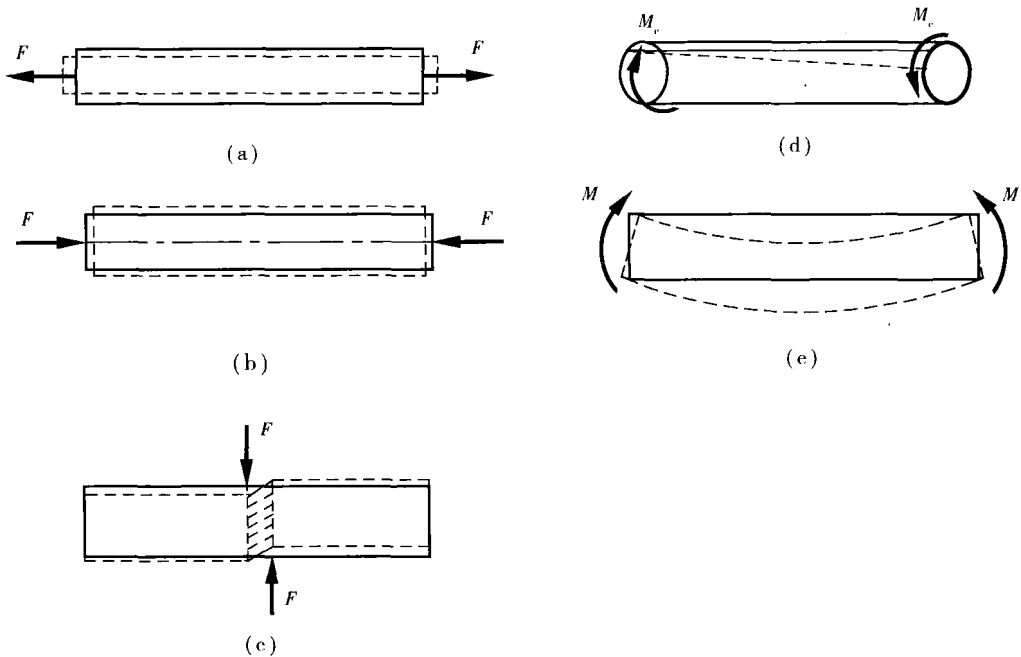


图 1.5

②**剪切**(shear)。即在一对大小相等、相距很近、方向相反的横向外力作用下,杆的两力作

用线之间的横截面沿力的方向发生相对错动,如图 1.5(c)所示。

③**扭转**(torsion)。即在一对大小相等、转向相反、位于垂直于轴线的两平面的力偶作用下,杆的两相邻横截面绕杆的轴线产生相对转动,如图 1.5(d)所示。

④**弯曲**(bending)。即在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向平面内的力偶作用下,杆的两相邻横截面绕垂直于杆轴线的直线产生相对转动,截面间的夹角发生改变,如图 1.5(e)所示。

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。但不论怎样复杂,其变形均是由基本变形组成的。

第 2 章

轴向拉伸和压缩

2.1 概 述

轴向拉伸变形或轴向压缩变形,简称拉伸或压缩,是杆件基本变形形式之一。在工程实际中,发生拉伸或压缩变形的构件是很常见的,例如,屋架(见图 2.1)在屋面板传来的节点荷载作用下,其上、下弦杆及腹杆均产生拉伸或压缩变形;三角支架 ABC (见图 2.2)的 AB 杆产生拉伸变形, BC 杆产生压缩变形;其他如桁架中各杆、内燃机的活塞连杆、起重机用的钢索、千斤顶杆等都是产生拉伸或压缩变形的实例。

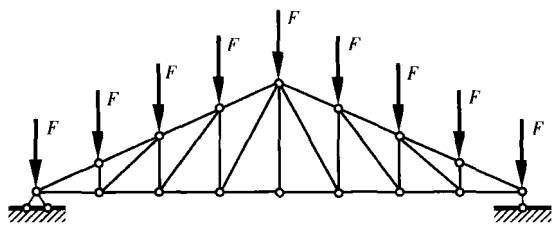


图 2.1

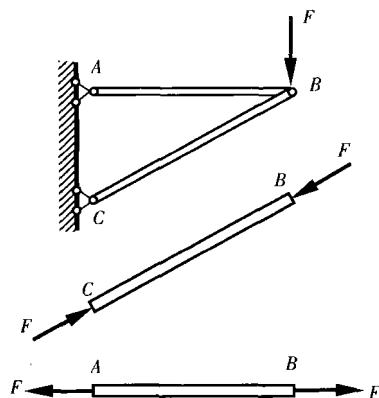


图 2.2

上述杆件虽然形状、加力方式等各有不同,但是它们具有共同的受力和变形特点:外力(或外力的合力)的作用线与杆件的轴线重合,杆的两相邻横截面沿杆轴线切向产生相对移动,而杆件的长度伸长或缩短,同时横向尺寸相应的缩短或伸长。

本章主要研究杆件拉伸或压缩时的内力、应力、变形,通过试验分析由不同材料制成的杆件在产生拉伸或压缩变形时的力学性质,建立杆件在拉伸或压缩时的强度条件。

2.2 轴力 轴力图

无论对受力杆件作强度或刚度计算时,都需首先求出杆件的内力。关于内力的概念及计算方法,已在上一章中阐述。

现以图 2.3(a) 所示拉杆为例来讨论拉伸(压缩)杆件横截面上的内力。运用截面法求横截面 $m-m$ 上的内力:

①截开 —— 在 $m-m$ 截面处,用假想的截面将杆件截为左、右两部分。

②分离 —— 留下左段为分离体。

③代替 —— 以内力代替右段对左段的作用,绘分离体受力图(见图 2.3(b))。由于杆件是平衡的,因此,截取的分离体也必然是平衡的,那么 $m-m$ 截面上内力的作用线必定与外力 F 的作用线重合,即内力的作用线与轴线重合,故称此内力为横截面上的轴力,记为 F_N 。

④平衡 —— 由平衡方程来确定轴力值。

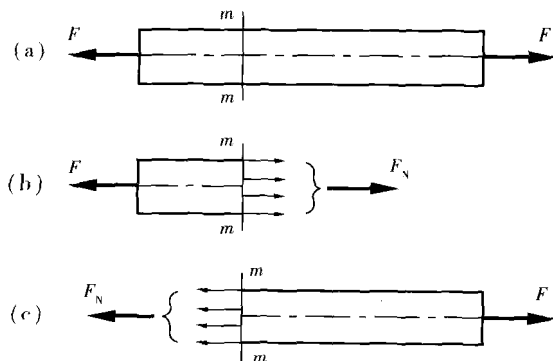


图 2.3

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

若选取右段为分离体求轴力时,结果是一样的(见图 2.3(c))。因此,求轴力时可取受力简单的一段分离体来计算。

为了研究方便,工程上约定:轴力方向以使所作用的杆微段拉伸为正;反之,使所作用的杆微段压缩为负。如图 2.3(b)、图 2.3(c) 所示为 F_N 的正方向;从图形上看,正号轴力的指向是背离截面的,负号轴力的指向则是指向截面的。

在一般情况下,杆件各横截面上的轴力将发生变化。为了形象地表明各横截面的轴力沿杆长的变化情况,通常将其绘成轴力图。表示轴力沿杆件横截面位置变化的图形,称为轴力图(diagram of normal force)。作法是:以平行于杆轴线的横坐标(称为基线)表示横截面的位置;以垂直于杆轴线方向的纵坐标表示相应横截面上的轴力值,绘制各横截面上的轴力变化曲线。正、负轴力各绘在基线的一侧,对于水平杆件,一般约定正的轴力绘在基线的上方,负的轴力绘在基线的下方,并标注 \oplus 、 \ominus 号,各控制截面处 $|F_N|$ 及单位。

例 2.1 一杆所受外力如图 2.4(a) 所示,试绘制该杆的轴力图。

解 杆件受到 4 个轴向外力的作用,不同杆段内横截面上的轴力不同,故应分段求解,分别设为 I, II, III 3 段。

1) 在第 I 段内任意横截面处截开,取该截面以左的杆段为分离体,如图 2.4(b) 所示,以杆轴为 x 轴,由平衡条件

$$\sum F_x = 0, 2 \text{ kN} + F_{N_I} = 0$$

得