

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

材料力学教程

■ 赵永刚 赵晓军 杨静宁 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

材料力学教程

■ 赵永刚 赵晓军 杨静宁 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

内 容 简 介

本书是为满足目前独立学院工科材料力学课程教学基本要求,以及教学一线迫切需要的相应内容和学时,并依据教育部《高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求》编写而成的小篇幅教材。全书共 10 章,主要内容包括基本变形、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷等内容。本书理论体系简要清晰,概念简明严格,论述简练明了,使繁琐的内容易于理解和掌握。书中例题、习题均包括了易、中、难三个层次,有较好的教学适用性。

本书可作为高等院校工科本科中学时材料力学课程教材,也可供高职高专、成教师生以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学教程/赵永刚,赵晓军,杨静宁主编. —武汉:武汉大学出版社, 2012. 2

21 世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

ISBN 978-7-307-09489-5

I. 材… II. ①赵… ②赵… ③杨… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 009644 号

责任编辑:胡 艳

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:461 千字 插页:1

版次:2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-09489-5/TB·34 定价:36.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前言

多年来,编者一直希望编写一套适合独立学院教学的力学系列教材,把长期积累的教学经验和体会反映出来,希望对独立学院力学课程的教学有所帮助。

本教材依据教育部《高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求》及培养应用型人才的教学需要,结合独立学院培养目标,由长期在独立学院工作的具有丰富教学实践经验的教师编写而成。本教材的指导思想是教材架构、教材内容、例题难度、习题难度等符合教学应用型院校使用,培养工程师以及新技术开发人员,因此,本套教材形成了自己的特色,与现有的研究型、研究教学型院校使用的教材有一定的区别。

在基础理论知识上,以够用为度,以基本理论为主,不过多地强调理论推导,主张掌握基本原理,并辅之相应的例题、习题以加深学生的理解,使学生掌握基本的方法。

本教材结合工程实际的应用,注重与同类教材相区别,着重于学生实际能力的培养,突出理论与实践相结合,培养学生综合运用所学知识分析与解决实际问题的能力以及创新精神。

本教材由杨静宁负责全书的结构设计、组织编写和最后统稿工作。各章编写分工如下:赵永刚编写第7、8章,赵晓军编写第9章、附录Ⅱ,杨静宁编写绪论、第10章,付小华编写第1章,韩明君编写第2、3章以及附录Ⅰ,马永斌编写第4、5、6章,各章的“科学家简介”及“工程问题简介”由雷芳明搜集整理。

本教材在编写和出版过程中得到了兰州理工大学技术工程学院以及武汉大学出版社的支持,在此一并表示感谢。

本教材在编写过程中参考了国内外一些优秀教材,并选用了其中的部分例题和习题,在此,谨向这些教材的编著者深表感谢。

本书可作为高等院校工科本科多学时材料力学课程教材,也可供高职高专、成教师生以及有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和欠妥之处,欢迎使用本书的教师与读者批评指正。

编者

2011年12月

目 录

绪论	1
第 1 章 轴向拉伸与压缩	10
1.1 概述	10
1.2 轴向拉(压)杆横截面上的内力	11
1.3 轴向拉(压)杆横截面和斜截面上的应力	14
1.4 材料拉伸与压缩时的力学性能	18
1.5 应力集中的概念	22
1.6 温度、时间和加载速度对材料力学性能的影响	24
1.7 轴向拉(压)杆的强度计算	25
1.8 轴向拉(压)杆的变形	28
1.9 拉压超静定问题	34
1.10 温度应力和装配应力	38
1.11 轴向拉(压)时的应变能	41
习题	44
第 2 章 连接件的实用计算	49
2.1 工程实例及基本概念	49
2.2 剪切与挤压实用计算	50
习题	56
第 3 章 扭转	59
3.1 实例及基本概念	59
3.2 外力偶矩 扭矩 扭矩图	59
3.3 薄壁圆筒的扭转	62
3.4 圆轴扭转时的应力	65
3.5 圆轴扭转时的变形	69
* 3.6 非圆截面杆的扭转	71
习题	74
第 4 章 弯曲内力	78
4.1 平面弯曲 梁的计算简图	78
4.2 弯曲内力——剪力与弯矩	81
4.3 弯曲内力图——剪力图和弯矩图	84

4.4	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系及其应用	88
4.5	按叠加原理作弯矩图	93
	习题	96
第5章	弯曲应力	102
5.1	概述	102
5.2	纯弯曲时梁横截面上的正应力	103
5.3	横力弯曲时梁的正应力 正应力强度条件	106
5.4	弯曲切应力计算	111
5.5	弯曲切应力的强度校核	116
5.6	提高梁弯曲强度的主要措施	117
	习题	123
第6章	弯曲变形 简单超静定梁	128
6.1	概述	128
6.2	梁的挠曲线近似微分方程	130
6.3	求梁变形的积分法	131
6.4	用叠加法计算弯曲变形	139
6.5	简单超静定梁	144
6.6	刚度条件 提高梁弯曲刚度的主要措施	148
	习题	151
第7章	应力状态和强度理论	157
7.1	应力状态的基本概念	157
7.2	二向应力状态分析的解析法	159
7.3	二向应力状态分析的图解法	163
7.4	三向应力状态及其应力圆	168
*7.5	二向应变状态分析	170
7.6	广义胡克定律	173
7.6	应变能密度	176
7.7	强度理论概述	178
7.8	四种常用的强度理论	179
7.9	各种强度理论的应用	184
	习题	186
第8章	组合变形	192
8.1	组合变形和叠加原理	192
8.2	斜弯曲	193
8.3	拉伸(或压缩)与弯曲的组合	197
8.4	弯曲与扭转的组合	202



* 8.5 组合变形的一般情况	204
习题	206
第 9 章 压杆稳定	213
9.1 稳定性的概念	213
9.2 两端铰支细长压杆的临界压力	215
9.3 其他支座条件下细长压杆的临界压力	216
9.4 临界应力	220
9.5 压杆的稳定校核	222
9.6 提高压杆稳定性的措施	225
习题	228
第 10 章 动载荷·交变应力	235
10.1 构件作匀加速直线运动时的动应力计算	235
10.2 构件作等速转动时的应力计算	237
10.3 冲击载荷作用时构件的应力及强度计算	238
10.4 提高构件承受冲击载荷能力的措施	243
10.5 构件在交变应力作用下的疲劳破坏·疲劳极限	245
10.6 影响构件疲劳极限的主要因素	247
10.7 对称循环下构件的疲劳强度计算	250
习题	252
附录 I 平面图形的几何性质	254
I.1 静矩和形心	254
I.2 惯性矩和惯性积	256
I.3 平行移轴公式	259
I.4 转轴公式——主惯性轴	260
习题	263
附录 II 型钢表	265
习题答案	276
参考文献	284



绪 论



1. 材料力学的研究对象和任务

在理论力学中,曾把固体视为刚体,实际上,任何固体在外力的作用下都会发生变形。因此,在材料力学中将各种固体视为可变形固体。工程中遇到的各种建筑物或机械都是由若干部件(零件)组成的,这些部件(零件)称为构件,如建筑物的梁和柱、机床的轴等。根据其几何特征可分为杆件、板、壳、块体和薄壁杆件等。

材料力学主要研究长度远大于横截面尺寸的构件,称为杆件,或简称为杆。杆件的主要几何特征有两个,即横截面和轴线。按杆轴线的曲直,可分为直杆和曲杆;根据横截面形状及大小是否沿杆长变化,又可分为等截面杆和变截面杆。轴线为直线且沿轴线截面不发生变化的杆件,称为等截面直杆,简称为等直杆。等直杆是最为常见的一类杆,是材料力学研究的最主要对象。

要保证建筑物或机械安全地工作,显然其组成构件必须安全地工作,即要有足够的承受载荷的能力,这种承受载荷的能力简称为承载能力。如果构件设计得薄弱,或选用的材料不恰当,不能安全地工作,则会影响到整体的安全工作,甚至造成严重事故。同时,如果构件设计得过于保守,或选用的材料太好,虽然构件、整体都能安全工作,但构件的承载能力不能充分发挥,既浪费材料,又增加重量和成本,也是不可取的。显然,构件的设计是否合理主要包括两个方面,即安全性和经济性,既要有足够的承载能力,又要经济、适用。材料力学为解决上述矛盾提供理论依据和计算方法。而且,材料力学还在基本概念、基本理论和基本方法等方面,为结构力学、弹性力学、机械零件等后续课程提供了基础。

为了保证整个结构或机械正常地工作,构件应当满足以下要求:

(1) 强度要求

在规定的载荷作用下,构件不能发生破坏。例如,机床主轴不能发生断裂;隧道不能坍塌等。所谓强度,是指构件在外力作用下抵抗破坏的能力。

(2) 刚度要求

在载荷作用下,构件除了必须满足强度要求外,还要求不能有过大的变形。例如,当齿轮轴的变形过大时,将使轴上的齿轮啮合不良,并引起轴承的不均匀磨损。所谓刚度,是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

(3) 稳定性要求

衡量构件在外力作用下能保持原有形状的平衡,即稳定平衡。例如,千斤顶的螺杆、房屋的柱子这类构件如果是细长的,在压力作用下,杆轴线有发生弯曲的可能,为保证其正常工作,要求这类构件始终保持直线的平衡形式。所谓稳定性,是指构件应有足够的保持原有平衡状态的能力。

构件的强度、刚度和稳定性问题均与材料的力学性能(主要指材料在外力作用下表现出的抵抗变形和破坏等方面的性能)有关,这些力学性能均需通过材料力学实验来测定。此外,经过简化得出的理论是否可信,也要靠实验来验证。尚无理论结果的问题,还要借助实验方法来解决。所以,实验分析和理论研究都是完成材料力学任务所必需的手段。

2. 变形固体的基本假设

建筑物、机械等的各种构件都是由各种材料制成的,虽然其物质结构和性质各异,但都为固体,且在载荷的作用下都会发生尺寸和形状的变化,故在材料力学中称为变形固体。对变形固体制成的构件进行强度、刚度和稳定性研究时,为了简化计算,常根据所研究问题的性质,略去一些次要因素,作出某些假设,得出理想化的模型,从而使所研究的问题简化或使得用精确的理论方法无法求解的问题得以求解。材料力学中对变形固体作了如下三个基本假设:

(1) 连续性假设

认为物体在其整个体积内毫无间隙地充满了物质,即认为结构是密实的。实际上,从物质结构来说,组成固体的粒子之间并不连续,但它们之间的间隙与构件的几何尺寸相比,极其微小,可忽略不计。这样就可以认为固体在其整个几何空间内是连续的。根据这一假设,构件中的一些力学量可以表示为坐标的连续函数,从而有利于建立相应的数学模型。

(2) 均匀性假设

认为在固体的体积内,各处的力学性能完全相同。就工程上使用最多的金属来说,其各个晶粒的性能并不完全相同,但因在构件或构件的某一部分中,包含的晶粒为数极多,而且排列是无规则的,其机械性质是所有各晶粒性质的统计平均值,所以,可认为构件内各部分的力学性能是均匀的。

(3) 各向同性假设

认为固体在各个方向的力学性能完全相同。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,在不同的方向上,其力学性质并不相同。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着,在宏观研究中,物体的性质并不显示出方向的差异。因此,可以看成是各向同性的。铸铁、铸铜和玻璃等都可认为是各向同性材料。

沿不同方向力学性能不同的材料,称为各向异性材料。如木材、胶合板和纤维增强复合材料等,都是各向异性材料。

(4) 小变形条件

固体因载荷作用而引起的变形,按不同情况,可能很小也可能相当大。但材料力学所研究的问题,限于变形的大小远小于构件原始尺寸的情况。这样,在研究构件的平衡和运动时,就可忽略构件的变形,而按变形前的原始尺寸进行分析计算。例如,图 1 所示的简易吊车的各杆因受力而变形,引起支架的几何形状和外力位置的变化。但由于 Δ_1 、 Δ_2 都远小于吊车的其他尺寸,所以在计算各杆受力时,仍然可用吊车变形前的几何形状和尺寸。

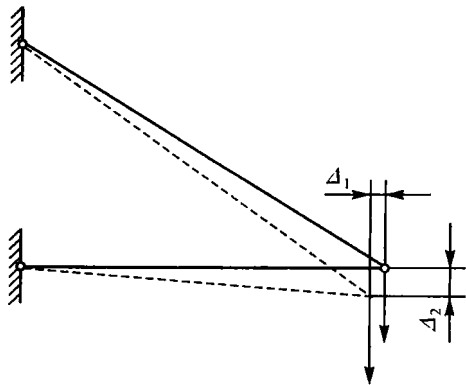


图 1



3. 外力及其分类

作用于构件上的外力或载荷可按如下方式进行分类:

1) 按作用方式分为体积力和表面力

(1) 体积力

体积力就是连续分布于物体内部各点上的力,如物体的自重和惯性力等。通常用集度度量其大小,常用单位为 N/m^3 。

(2) 表面力

表面力就是直接作用于构件表面的力,如作用于油缸内壁的油压、作用于船体上的水压力等。通常也用集度度量其大小,常用单位为 N/m^2 。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸,或沿杆轴线分布范围远小于轴线长度,就可看成作用于一点的集中力,如火车轮对钢轨的压力,常用单位为 N 或 kN 。

2) 按作用的性质可分为静载荷和动载荷

(1) 静载荷

若载荷缓慢地由零增加到某值后,保持不变或变化很小,即为静载荷。

(2) 动载荷

若载荷随时间显著变化或使构件各质点产生明显加速度,即为动载荷。动载荷又分为交变载荷和冲击载荷。

交变载荷是指随时间周期性变化的载荷。例如,齿轮转动时,作用于每个齿上的力都是随时间周期性变化的。

冲击载荷是指由于物体运动状态瞬时发生突然变化而引起的载荷。例如,急刹车时飞轮的轮轴、锻造时气锤的锤杆等,都受冲击载荷的作用。

4. 内力、截面法和应力

(1) 内力(附加内力)

物体因外力而变形时,其内部各质点之间的相对位置改变,与此同时,各质点间的相互作用力也将发生变化,其作用是力图恢复各质点间原来的位置。这种因外力作用而引起的物体内部相互作用力的改变量,称为附加内力,简称内力。在材料力学里,研究杆件变形时所说的内力就是这样的附加内力。其特点是:内力由外力的作用而产生,随着外力的增大而增大,但内力的增大有一定的限度,超过这一限度,构件就会破坏。所以,内力的计算及其在构件内的变化情况,是解决构件强度、刚度和稳定性等问题的基础。

(2) 截面法

为了显示和计算某一截面上的内力,必须假想在截面处把构件分为两部分,这样,内力就转化为外力显示出来,并可用静力平衡条件计算内力的大小和方向,这种方法称为截面法。

图 2(a) 所示的物体受到多个外力作用,处于平衡状态。若要求任一截面 $m-m$ 上的内力,可以假想地用 $m-m$ 平面将物体截分为 I、II 两部分(图 2(b))。任取其中一部分,如取 II 部分为研究对象,此时,II 部分的 $m-m$ 截面上将作用着 I 部分对它的作用力。根据连续性假设,这种作用力是以分布形式布满 $m-m$ 截面;利用 II 部分的平衡条件,可求出这种分布内力的合力。同样,如果取 I 部分为研究对象,也可求出 II 部分对其作用内力的合力。根据作用和反作用定律,这两组内力合力的大小相等,方向相反。今后,就把这种截面上分布形式内力的合力简称为截面上的内力。

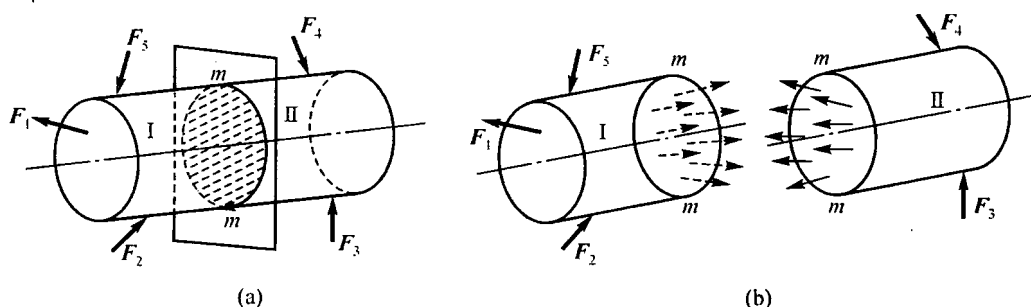


图 2

截面法是材料力学中研究构件内力的一个基本方法。其求解步骤可以概括为“截”、“留”、“代”、“平”。

“截”：在欲求内力的截面处，沿该截面假想地将构件截分为两部分。

“留”：保留其中一部分为研究对象，弃去另一部分。

“代”：用内力代替弃去部分对保留部分的作用。

“平”：根据保留部分的平衡条件，确定该截面上的内力。

(3) 应力

由于内力是连续分布于整个被截表面上。通常，截面上不同点处分布内力的大小和方向都不同。为研究内力在截面上的分布规律，引入应力的概念。

设在受力构件的 $m-m$ 截面上，围绕 C 点取微小面积 ΔA ，如图 3(a) 所示， ΔA 上的分布内力的合力为 ΔF ， ΔF 与 ΔA 的比值为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

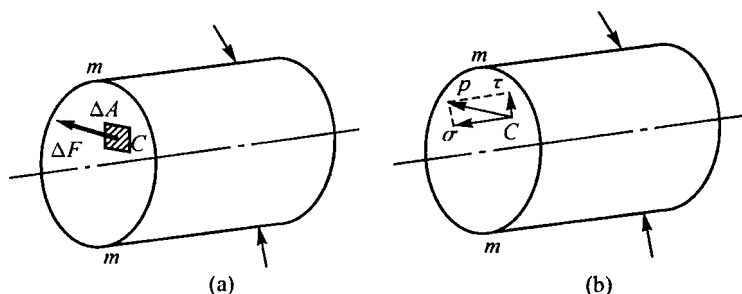


图 3

称为平均应力，其方向与 ΔF 的方向相同，它代表 ΔA 上的分布内力的平均集度。一般来说， $m-m$ 截面上的内力并不是均匀分布的，因此平均应力 p_m 随所取 ΔA 的大小而不同。当 ΔA 趋向于零时，极限值

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

称为 C 点的应力，它是分布内力在 C 点的集度。 p 是一矢量，一般说它既不与截面垂直，也不与截面相切。通常，把应力 p 分解为垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ ，如图 3(b) 所示， σ 称

为正应力, τ 称为切应力。在国际单位制中, 应力的单位为 Pa(帕), $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。工程中, 常用单位为 MPa(兆帕) 或吉帕 GPa, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa} = 10^9\text{Pa}$ 。注意到:

$$1\text{MPa} = 1 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = \frac{1 \times 10^6 \text{ N}}{1 \times 10^6 \text{ mm}^2} = 1 \text{ N/mm}^2$$

故 1MPa 和 1 N/mm^2 是相当的。

5. 位移、变形与应变

(1) 位移

构件在外力作用下, 从原来的某个位置改变到一个新的位置。构件位置的改变可以用线位移和角位移表示。构件上某点从原位置到新位置的连线表示该点的线位移。构件上一条线段或一个平面在构件位置改变时转过的角度称为角位移。如图 4 所示, A 点的线位移为 AA_1 , 而杆端平面的角位移为 θ 。线位移是一矢量, 它在任一方向的投影称为该点在某一方向的位移。图 4 中 w 即为 A 点在垂直方向的位移。

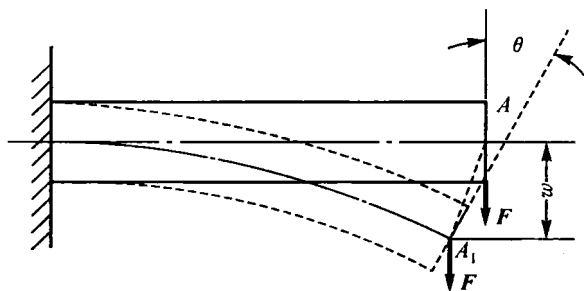


图 4

(2) 变形与应变

构件在载荷作用下, 其形状和尺寸都将发生改变。物体的形状总可以用它各部分的长度和角度来表示。因此, 物体的变形可以归结为长度的改变和角度的改变, 即线变形和角变形两种形式。为了能够准确地以数值来度量不同形状物体在不同内力作用下其内部各处的变形, 必须确定物体内部各点的变形。

① 线应变(正应变): 设想将整个构件划分为许多微小的正六面体(当正六面体的边长趋于无限小时称为单元体), 显然, 当整个构件变形时, 它所包含的所有微小正六面体也将随之变形。图 5(a) 所示为围绕构件内 C 点取出的正六面体, 设其与 x 轴平行的棱边 ab 原长为 Δx 。变形后, ab 边的长度为 $\Delta x + \Delta u$, Δu 称为绝对变形(图 5(b))。由于 Δu 的大小与原长 Δx 的长短有关, 不能完全表明 ab 的变形程度。将 Δu 与 Δx 的比值 ϵ_x , 称为棱边 ab 的平均线应变, 它表示 ab 上每单位长度的伸长或缩短。当 Δx 趋近于零时, 即将微小正六面体的边长无限缩小, 极限值

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

即为 C 点沿 x 方向的线应变, 它表示一点处沿某一方向长度改变的程度。在变形体上, 同一点不同方向的线应变也不同。用上述相似的方法, 可讨论该点沿 y, z 方向的线应变 ϵ_y, ϵ_z 。

② 切应变: 物体变形后, 其任一单元体非但棱边的长度改变, 而且原来相互垂直的两根棱边的夹角也将发生变化(图 5(c)), 其改变量 γ 称为 C 点在 xy 平面内的角应变或切应变。

线应变和切应变是度量构件内一点处变形程度的两个基本量。它们都是量纲为 1 的量。

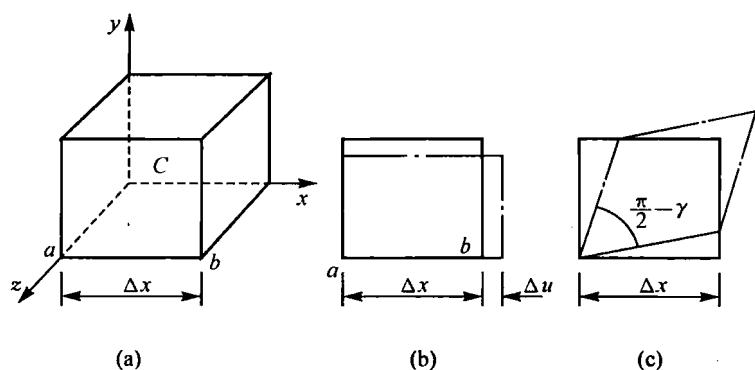


图 5

6. 杆件变形的基本形式

外力在杆件上的作用方式不同,产生的变形也不同。归纳起来,有四种基本变形形式:轴向拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲,见表 1。杆件的其他复杂变形都可以看成这四种基本变形的组合。

表 1

杆件变形的基本形式

基本形式	工程实例	受力和变形简图
轴向位伸或 轴向压缩		
剪切		
扭转		
弯曲		



7. 材料力学的发展

材料力学和其他学科一样,是人们在长期的生产实践中逐步地发展和丰富起来的,是人类的智慧与生产实践的结晶。

人类在征服自然的斗争中,接触并使用各种材料,最初是使用天然的材料,如石、竹、木等,后来使用人工制造的材料,如砖、铜、铁、钢、水泥、塑料等。通过长期的生产活动,人们逐渐地认识了材料的性能,并掌握了对它们的使用规律。

我国是世界上文明发达最早的国家之一。我们勤劳智慧的祖先,在很早的年代里,就能根据构件的受力特点而采用合理的结构,以充分发挥材料的特性。

对砖石结构而言,我国劳动人民在很早以前就知道如何发挥这种材料的抗压能力。例如,闻名世界的万里长城,就是两千多年前用砖石砌成的伟大建筑。又如,至今仍保持完整的河北赵州桥,是由隋代杰出的工匠李春于公元 600 年前后设计建造的,桥长 50.82m,桥面宽 9m,主拱半径为 25m。根据石料耐压不耐拉的特性,桥用石块砌成拱形,并合理地采取了拱上背拱的空腹式拱桥结构,使得净重减轻 15.3%,排水面积增加 16.5%,节省石料数百吨,安全度提高 11.4%。近年通过对赵州桥的钻探勘测和力学计算发现,赵州桥在很多方面均符合现代拱桥设计和施工的原则,令人叹为观止。这种敞肩圆弧拱桥结构是中国首创的优秀桥型,它比世界上相同类型的石拱桥要早 1200 多年。

对木结构而言,我国独创的斗拱结构堪称一绝。斗拱可以减少梁的计算跨度,从而减少梁所受的弯矩和剪力,尤其是具有良好的抗振性能。山西应县佛宫寺释迦塔共五层,高达 66m,底径 30m,它建于公元 1056 年(辽清宁二年),通常又称应州木塔。一千多年来,应州木塔经受了烈日严寒、狂风暴雨甚至是八级地震的考验,至今仍巍然屹立。它是我国现存最早、最高的木塔,也是世界上现存最高大的古代木结构建筑。

对金属结构而言,我们的祖先在汉朝(公元 1 世纪)就开始利用铁轴。例如,三国时(公元 253 年)马均开始运用了齿轮。又如,红军长征时强渡的泸定铁索桥,建于 1696 年(清康熙四十五年),是世界上第一座长达 100m 的铁索桥,在它身上体现了近代大跨度悬索桥的设计思想,其水平居于当时欧洲的科学技术之上。

然而,由于旧中国封建制度长期的桎梏,严重地阻碍了生产力的发展,人民的智慧和创造力未能得到很好的发挥,材料力学方面的知识也就一直停留在经验阶段,而没有多大的提高。与此相反,14 世纪以后,欧洲却由于社会经济基础的变革所带来的生产发展,推动了材料力学知识的发展,并取得了很大的进步。

材料力学作为一门正式的学科,一般认为是以意大利科学家伽利略(G. Galileo, 1564—1642)在 1638 年的名著《关于两门新科学的对话和数学证明》作为开始的标志。当时,为了满足海内外贸易的要求,需要增大船舶的吨位、修建水闸等,伽利略为了建造船只和水闸所需梁的尺寸问题进行了一些实验,并于 1638 年首先提出了计算梁强度的公式。尽管他由于使用了刚体力学的方法而未考虑梁的变形,致使其结论并不正确,但他开辟了用实验和按理论方法计算的新途径。从此,关于结构和构件的设计工作就不再是单凭经验,而是在科学理论的指导下进行了。后来,英国科学家胡克(R. Hooke, 1635—1703)通过对一系列的实验资料的总结,于 1678 年提出了描述材料力学中力与变形之间的关系,这就是著名的胡克定律。接着,瑞士科学家雅各布·伯努利(J. Bernoulli, 1654—1705)、马略特(E. Mariotte)等人得出了有关梁、柱性能的基础知识,并且研究了材料的强度性能与其他力学性能。

十八十九世纪,是材料力学界群星灿烂的时代。在众多的学者中,对材料力学贡献最大的当首推法国著名科学家库伦(C. A. Coulomb, 1736—1806)。他通过实验验证,修正了伽利略和马略特理论中的错误,并且于 1784 年建立了圆杆情况下扭矩与扭转角之间的关系,获得了梁



的弯曲正应力和圆杆扭转切应力的正确结果。俄国科学家罗蒙诺索夫(1711—1765)开始用实验的方法研究材料的力学性质。俄国彼得堡科学院院士欧拉(L. Euler, 1707—1783)不但是一位卓越的数学家,同时在力学上也作出了出色的贡献。欧拉研究了受压杆的稳定理论,并早在1744年就第一个导出理想细长压杆的临界载荷。但这个成果当时并未引起人们足够的重视,直到一百多年后由于钢桥的兴起,发生了大量因压杆失稳而导致的惨痛事故,人们才意识到欧拉关于受压杆稳定理论的意义,并用实验验证了该理论的正确性。直到现在,欧拉关于受压杆的稳定理论仍是对受压杆进行稳定计算时的重要理论基础。法国科学家泊松(S. D. Poisson, 1781—1840)计算了受拉杆的横向线应变,并发现在弹性范围内材料的横向线应变与纵向线应变之比是一个常数,这一比值也因此被称为泊松比。1826年第一本《材料力学》出版,作者是法国著名科学家纳维(C. -L. -M. -H. Navier, 1785—1863)。

19世纪中叶,铁路桥梁工程的发展大大推动了材料力学的发展,使材料力学变成以钢材为主要研究对象。按照钢材的特点,使均匀连续、各向同性这些基本假定以及胡克定律成为当今材料力学的基础。

20世纪,由于现代工业的崛起,要求更经济地使用材料,促使材料力学的研究范围逐渐扩大到弹性范围以外,产生了进行塑性变形和作用力间的关系及内部应力分布规律研究的另一门科学——塑性力学。

由于高强度钢材的应用,出现了不少由于构件中存在初始裂纹而发生低应力脆断的事故。第二次世界大战期间,美国5000艘货轮共发生1000多次破坏事故。1954年,英国两架喷气式飞机“彗星”号先后在地中海上空失事,很多国家发生高压锅炉、压力容器的爆炸或损坏事故……直到20世纪50年代,美国的北极星导弹固体燃料发动机壳体的爆炸事故,才促使人们对带裂纹的材料和结构进行强度及裂纹扩展规律方面的研究。这样,又导致了另一门科学——断裂力学的建立。

近60年来,科学技术有了突飞猛进的发展,由于工业技术的高速发展,特别是航空与航天工业的崛起,各种新型材料(如复合材料、高分子材料、纳米材料)的不断问世并应用于工程实际,导致新的学科(如复合材料力学等)应运而生。由于实验设备日趋完善,实验技术水平不断提高,现在的实验手段已有电测、光弹性测量、全息光弹性测量、全息干涉测量、激光散斑法、白光散斑法、电子散斑法和云纹法等。由于计算机的出现,新的计算方法层出不穷,如差分法、传递矩阵法、加权残数法、有限元法和边界元法等。所有这些进展,使得材料力学所涉及的领域更加宽阔,知识更加丰富。

科学家简介



铁摩辛柯

铁摩辛柯(Stephen P. Timoshenko, 1878—1972), 1901年毕业于俄国彼得堡交通道路学院。服军役一年后, 1902年回母校任实验讲师, 次年到彼得堡工学院任讲师。1907—1911年任基辅工学院教授。1912—1917年在彼得格勒一些学院任教授。1920年7月到南斯拉夫任教。1922年受聘于美国费城振动专业公司, 次年到匹兹堡的威斯汀豪斯电气公司, 从事力学研究工作, 设计成光弹性设备和电气火车头。



1928年,他建立了“美国机械工程师学会力学部”。同年秋天,到密歇根大学任教授。1936年起,铁摩辛柯到斯坦福大学任教授达二十年之久。他在密歇根大学和斯坦福大学培养了不少研究生,其中也有中国研究生。1965年迁居联邦德国,直至逝世。1911年以后,他主要研究弹性力学,解决了半圆剖面梁承受弯曲的剪力中心、对称剖面悬臂梁自由端承受横载荷的剪应力分布等问题。他在梁横向振动微分方程中考虑了旋转惯性和剪力,这种模型后来被称为“铁摩辛柯梁”。除授课和培养研究生外,他把精力主要用于编写书籍,共计编写了《材料力学》、《高等材料力学》、《结构力学》、《工程力学》、《高等动力学》、《弹性力学》、《弹性稳定性理论》、《工程中的振动问题》、《板壳理论》和《材料力学史》等二十种书,这些书几乎全部成为力学领域的经典名著。

习 题

1. 材料力学的主要任务是什么?
2. 什么是构件的强度、刚度和稳定性?
3. 同一点不同方位的线应变和切应变是否相同?
4. 可变形固体的基本假设是什么?为什么要作假设?
5. 杆件变形的基本形式有几种?试各举一实例。

第 1 章 轴向拉伸与压缩

1.1 概述

在工程实际中,承受轴向拉伸或压缩的杆件很多,例如液压传动中的活塞杆,在油压和工作阻力作用下受拉(图 1-1(a)),又如内燃机的连杆在燃气爆发冲程中受压(图 1-1(b))。此外,起重机起吊重物的钢索、桁架中的弦杆、拉床的拉刀等都承受轴向拉伸或者压缩。

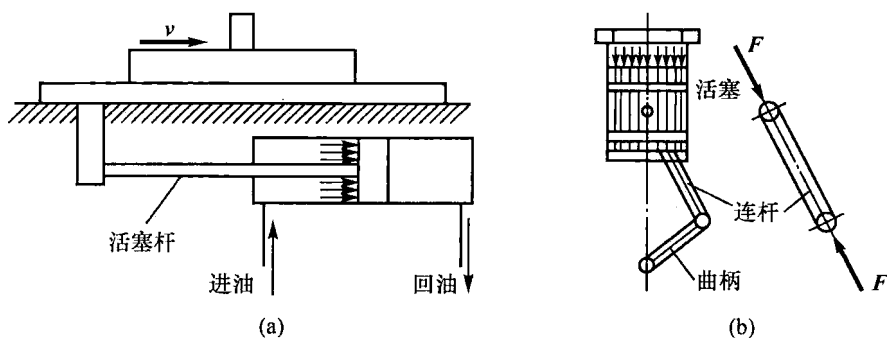


图 1-1

这些杆件的外形虽各有差异,加载方式也各不相同,但若把杆件形状和受力情况进行简化,都可以画成图 1-2 所示的受力简图,其共同特点是:作用于杆件上外力的作用线或向轴线简化后合力的作用线与杆件的轴线重合。在这样的外力作用下,其变形特点是:杆产生沿轴线方向的伸长或缩短。我们将这种变形形式称为轴向拉伸或压缩。当外力为拉力时,为轴向拉伸(图 1-2(a));当外力为压力时,为轴向压缩(图 1-2(b))。图中实线表示杆件受力以前的外形,虚线表示变形以后的外形。

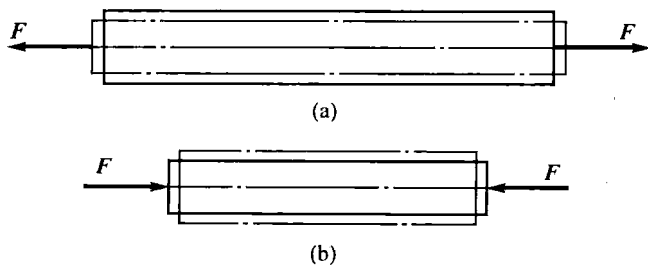


图 1-2