



普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学案例教材

于月民 主 编
郝俊才 闫龙海 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学案例教材

主 编	于月民	
副主编	郝俊才	闫龙海
编 写	牛广林	盖芳芳
	赵继涛	
主 审	王建国	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书共分12章,主要内容为轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、平面图形的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定和材料力学实验。书中每章均由学习要点、正文、本章小结、思考题和习题五部分组成。全书以工程为背景,将工程教育、自然科学教育与人文社会科学教育相融合,紧密联系工程实际,所选案例具有工程性、关联性和适当性,注重培养学生的工程素质和应用能力。

本书可作为普通高等院校工科类专业材料力学的教材,也可供电大、函授、业余大学的学生及其他工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学案例教材/于月民主编. —北京:中国电力出版社, 2013.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4693-2

I. ①材… II. ①于… 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158677号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年8月第一版 2013年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.25印张 319千字

定价 25.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

本书适合普通高等学校 50~80 学时材料力学课程教学。

为了适应高校应用型人才培养的需要,贯彻我校“大德育、大工程、大实践”的教育理念,实现基于 CDIO 理念的大学力学基础课教学改革的目标,结合普通高校学生特点及编者多年教学经验,编写这部强化基本概念、基本理论和基本方法,加强工程概念,结合工程案例,培养工程素质和应用能力的教材。本书的编写得到了黑龙江省高等教育教学改革项目(编号:JG2012010548)和黑龙江省教育科学“十二五”规划 2012 年度黑龙江省教育厅规划课题(编号:GBC1212082)的支持。在学习每章之前,通过阅读学习要点能够了解本章的主要内容,从而增强学习的主动性和积极性;本章小结是对本章内容的总结、归纳和提炼,使所学知识更加理化和系统化,从而进一步加深对内容的理解和认识;思考题和习题,能够加深对所学知识的理解和掌握,并能够提高灵活运用知识的能力。

本书在编写上以工程为背景,将工程教育、自然科学教育与人文社会科学教育相融合,使学生掌握专业学习所具备的知识基础和基本技能,培养学生的综合素质和应用能力。紧密联系工程实际,强化基本概念、基本理论和基本方法。结合工程案例,注重培养工程素质和应用能力,适用于普通高校应用型本科人才培养。

本书的案例为全书亮点,具有以下特点:一是工程性,即所选案例具有一定的工程背景。从工程中选编教学案例,将理论知识应用到工程中去。二是典型性,即所选案例具有代表性,充分体现了力学课程的理论知识。三是适当性,即所选案例难易适中。四是关联性,即所选案例与学生的专业相关联,达到力学基础课教学为学生专业知识学习服务的目的。

本书可作为高等学校工科类本科生各专业材料力学课程的教材,也可供电大、函授、业余大学的学生及其他工程技术人员、自学考试者参考。

本书由黑龙江科技大学于月民担任主编,郝俊才和闫龙海担任副主编。全书由于月民教授统稿,由王建国教授审阅。

参加本书编写工作的有:于月民(第 1 章、第 2 章、第 5 章、习题答案);盖芳芳(第 3 章、第 4 章);郝俊才(第 6 章、第 7 章);闫龙海(第 8 章、第 10 章);牛广林(第 9 章、第 11 章);赵继涛(第 12 章、附录)。

本书在编写过程中,参考了国内外一些优秀的材料力学教材,在此向这些教材的作者表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2013 年 3 月

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的基本假设	2
1.3 材料力学基本概念	3
1.4 杆件变形的形式	6
本章小结	7
思考题	8
习题	8
力学家简介(钱学森)	9
第2章 轴向拉伸与压缩	10
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	10
2.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	11
2.3 轴向拉伸或压缩时截面上的应力	12
2.4 轴向拉伸或压缩时的强度计算	15
2.5 轴向拉伸与压缩时的变形	17
2.6 简单拉压超静定问题	19
2.7 应力集中	24
本章小结	25
思考题	25
习题	26
力学家简介(罗伯特·胡克)	27
第3章 剪切与挤压	28
3.1 概述	28
3.2 剪切的实用计算	29
3.3 挤压的实用计算	30
本章小结	34
思考题	34
习题	34
力学家简介(泊松)	36
第4章 平面图形的几何性质	37
4.1 概述	37
4.2 静矩与形心	37

4.3 惯性矩	39
4.4 惯性积	42
4.5 平行移轴公式	42
4.6 转轴公式	44
本章小结	47
思考题	48
习题	48
力学家简介(圣维南)	50
第5章 扭转	51
5.1 扭转的概念和实例	51
5.2 外力偶矩与扭矩	52
5.3 薄壁圆筒的扭转	53
5.4 圆轴扭转时的应力及强度计算	55
5.5 圆轴扭转时的变形及刚度计算	59
本章小结	59
思考题	60
习题	60
力学家简介(托马斯·杨)	61
第6章 弯曲内力	62
6.1 弯曲的概念和工程实例	62
6.2 梁的计算简图	62
6.3 平面弯曲	64
6.4 弯曲内力	65
6.5 弯矩、剪力和载荷集度间的关系	71
6.6 刚架的内力	73
本章小结	75
思考题	76
习题	76
力学家简介(徐芝纶)	79
第7章 弯曲应力	80
7.1 梁弯曲时的正应力	80
7.2 弯曲正应力的强度条件	84
7.3 梁的弯曲切应力及其强度条件	87
7.4 提高梁弯曲强度的措施	92
本章小结	94
思考题	95
习题	96
力学家简介(伽利略·伽利雷)	98

第 8 章 弯曲变形	99
8.1 工程中的弯曲变形问题	99
8.2 梁的挠曲线近似微分方程	100
8.3 用积分法求梁的变形	102
8.4 用叠加法计算梁的变形	105
8.5 梁的刚度条件	109
8.6 简单超静定梁	110
8.7 提高梁弯曲刚度的措施	112
本章小结	113
思考题	114
习题	114
力学家简介(周培源)	116
第 9 章 应力状态与强度理论	117
9.1 应力状态概述	117
9.2 平面应力状态应力分析的解析法	118
9.3 平面应力状态应力分析的图解法	122
9.4 三向应力状态	126
9.5 广义胡克定律	127
9.6 复杂应力状态的应变能密度	129
9.7 强度理论概述	130
9.8 四种常用强度理论	131
9.9 强度理论的应用	133
本章小结	136
思考题	138
习题	138
力学家简介(铁摩辛柯)	140
第 10 章 组合变形	141
10.1 组合变形的概念和实例	141
10.2 斜弯曲	142
10.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	144
10.4 弯曲与扭转的组合变形	146
本章小结	151
思考题	152
习题	152
力学家简介(牛顿)	154
第 11 章 压杆稳定	155
11.1 压杆稳定的概念	155
11.2 细长压杆的临界压力	157
11.3 压杆的临界应力	160

11.4	压杆的稳定性计算	163
11.5	提高压杆稳定性的措施	165
	本章小结	167
	思考题	168
	习题	169
	力学家简介 (莱昂哈德·欧拉)	172
第 12 章	材料力学实验	173
12.1	概述	173
12.2	拉伸实验	173
12.3	压缩实验	178
12.4	扭转实验	179
12.5	弯曲正应力的测定	181
12.6	弯扭组合变形的主应力测定	183
	本章小结	186
	思考题	186
	力学家简介 (钱伟长)	187
附录	型钢表	188
	习题答案	200
	参考文献	204

第1章 概述



学习要点

材料力学是研究构件承载能力的一门学科。本章主要介绍材料力学的基本概念(内力、应力、应变),变形固体的基本假设,杆件变形的基本形式。本章的学习应重点掌握材料力学的基本概念、截面法和变形固体的基本假设。

1.1 材料力学的任务

1.1.1 失效

机械或工程结构的组成部分称为构件,如电动机的轴,活塞连杆、建筑物的梁和柱等都称为构件。在载荷作用下,构件由于材料的力学效应达到一定极限值以后失去正常工作能力的现象称为失效。构件的失效形式主要包括强度失效、刚度失效和稳定性失效三方面。构件因破坏、断裂而丧失承载能力称之为强度失效,如图1.1所示。构件因变形过大,影响正常工作称之为刚度失效,如图1.2所示。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,如图1.3所示。为使构件正常工作,要求构件具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。

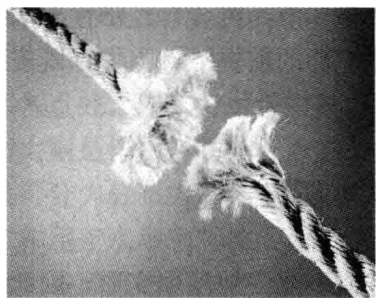


图 1.1 绳索断裂

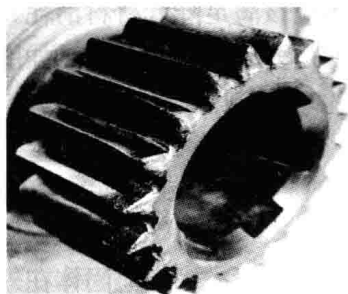


图 1.2 轮齿变形

1.1.2 强度

不同的材料有不同的抵抗破坏的能力及不同的破坏机理。同一种材料在不同环境、不同工作条件下的破坏机理和形式也不尽相同。按不同要求设计的构件,如起重机的吊索,船舶的传动轴,建筑物的梁、柱等,在所处的工作条件和环境下,在规定的使用寿命期间不应该发生断裂破坏。要求构件必须具有足够的抵抗破坏的能力,即必须有足够的强度。

1.1.3 刚度

有些构件虽然满足其强度要求,但由于过大的变形也将使它不能正常工作。所以还应要

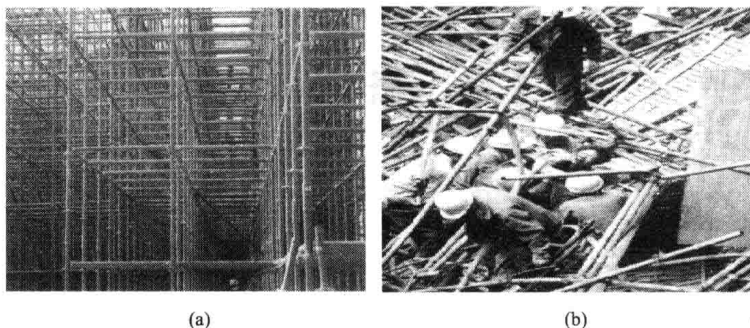


图 1.3 脚手架
(a) 脚手架；(b) 脚手架失稳

求构件的变形在一定的限度内，也就是构件必须具有足够的抵抗变形的能力，即必须有足够的刚度。

1.1.4 稳定性

稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力，对于长的压杆必须保证其具有足够的稳定性。

一般来说，要使构件安全工作，应同时满足以上三项要求。但由于各种构件对强度、刚度和稳定性的要求程度有所不同，有的以强度为主，有的以刚度为主，有的则以稳定性为主，因此，工程上设计构件时只考虑其主要的要求便可。

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。一个合理的构件设计，不但应该保证构件有足够的承载能力，使其能够安全可靠工作，还应该满足降低材料消耗、减轻自身重量和节约资金等经济性要求。因此，材料力学的任务就是要研究如何在满足强度、刚度和稳定性的前提下，为设计既安全又经济的构件提供必要的理论基础和计算方法。

1.2 变形固体的基本假设

构件由固体材料组成，任何固体在外力作用下将或多或少地发生变形，因此也称为可变形固体，简称变形固体。变形固体的变形，按其变形性质可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是指作用于变形固体上的外力去除后能消失的变形，而塑性变形是指作用于变形固体的外力去除后不能消失的变形。只产生弹性变形的固体称为弹性体。材料力学仅研究弹性体的变形。

制造构件的材料多种多样，它们的组成和微观结构更是复杂。材料力学仅研究材料的宏观形态，为了突出主要因素，以便于工程应用，对变形固体作如下假设：

1.2.1 连续性假设

假设组成固体的物质不留空隙地充满了固体的体积。这个假设有助于将有关的力学量表达为固体内各点坐标的连续函数。

1.2.2 均匀性假设

假设组成固体的物质在固体内均匀分布并且在各处都具有相同的力学性能。这个假设有助于将用小试样测得的力学性能作为该材料的性能。

1.2.3 各向同性假设

假设材料沿任何方向的力学性能是完全相同的。金属材料单晶的力学性质具有方向性,但许多晶粒随机排列的结果,从宏观上看,是各向同性的。许多工程材料,如金属材料、塑料、玻璃都可认为是各向同性材料。这个假设有助于对构件进行力学分析时,可沿任意方向截取分析对象,而材料力学性能均相同。

实践表明,根据这些假设得出的力学理论,对于工程上的大多数材料都是正确的。当然,也有一些工程材料,它们的力学性能具有明显的方向性,如木材,其顺纹与横纹的强度是不同的;又如单向纤维增强复合材料,沿其纤维方向和垂直于纤维方向的力学性能也是不相同的。这类材料属于各向异性材料,本书主要研究各向同性材料。

1.2.4 小变形假设

所谓小变形指的是构件的变形远小于构件的原始尺寸。材料力学中研究的构件在承受荷载作用时,其变形与构件的原始尺寸相比通常甚小,所以,在研究构件的平衡或运动以及内部受力和变形等问题时,可按构件的原始尺寸和形状进行计算。

1.3 材料力学基本概念

1.3.1 外力

机械或建筑物工作时通常都受到各种外力作用。例如轧钢机所受钢坯的阻力,车床主轴所受切削力和齿轮啮合力,建筑物所受风压力及地震力等,这些力统可称之为载荷。机械改建筑物中的任一零件或构件一般也要承受作用力或传递运动,当将其从周围物体中隔离出进行力学分析时,构件所受的外部作用力即为外力。

外力按作用方式可分为体积力和表面力。体积力是场力,包括自重和惯性力,连续分布在物体内部各点处。体积力通常由其集度来度量其大小,体积分布力集度就是每单位体积内的力。表面力则是作用在物体表面的力,包括直接作用在物体上和经由周围其他物体传递来的外力,又可分为分布力和集中力。分布力是在物体表面连续分布的力,如作用于油缸内壁的油压力、作用于水坝和船体表面的水压力、屋面上的雪载荷等。表面分布力也由其集度来度量其大小,表面分布力集度就是每单位面积上的力。有些分布力是沿杆件轴线作用的,如楼板对梁的作用力,这时工程上常用的单位是 N/m 。若表面力分布面积远小于物体表面尺寸或轴线长度,则可视为作用于一点的集中力,如火车轮对钢轨的压力、车刀对工件的作用力等。

外力按随时间变化的情况可分为静载荷和动载荷。静载荷是指缓慢由零增加到一定数值,以后即基本保持不变的载荷。例如将设备缓缓搁置于基础上时基础因之所承受的外力、屋面所承受的雪载荷等。动载荷则是指随时间明显变化的载荷。随时间作周期性变化的动载荷称为交变载荷,例如齿轮轮齿的受力、内燃机连杆和机车轮轴的受力都明显随时间作周期性变化。因由物体运动瞬间突然变化或碰撞所引起的动载荷则称为冲击载荷,例如冲床冲杆冲压工件和汽锤锻件时的受力、飞轮急刹车时轮轴的受力等。

1.3.2 内力与截面法

变形固体在没有受到外力作用之前,内部质点与质点之间就已经存在着相互作用力以使固体保持一定的形状。当受到外力作用而发生变形时,各点之间产生附加的相互作用力,称为附加内力,简称内力。

内力是由外力引起并与变形同时产生的,它随着外力的增大而增大,当超过某一限度时,构件就发生破坏。所以,要研究构件的承载能力,必须要研究和计算内力。

根据变形固体的连续性假设,弹性体内各部分的内力是连续分布的。为显示并求出内力,可将构件假想地沿某一截面切开,确定截面上的内力。这就是求解内力的普遍方法,即截面法。下面介绍截面法。

用一平面 $m-m$ 假想地在欲求内力处将构件分为 I、II 两部分。任取其中一部分(如左半部分 I)作为研究对象,弃去另一部分(如右半部分 II),如图 1.4 (a) 所示。在 I 部分,除原有作用的外力,截开面上还作用有内力(亦即 II 部分对 I 部分的作用力),才能与 I 部分所受外力平衡,如图 1.4 (b) 所示。根据作用与反作用定律可知,另一部分 II 也受到 I 部分内部构件的反作用力,两者大小相等且方向相反。

对研究对象 I 部分而言,该部分所受外力与 $m-m$ 截面上的内力组成平衡力系 [图 1.4 (c)],根据平衡方程即可求出 $m-m$ 截面上所作用的内力。

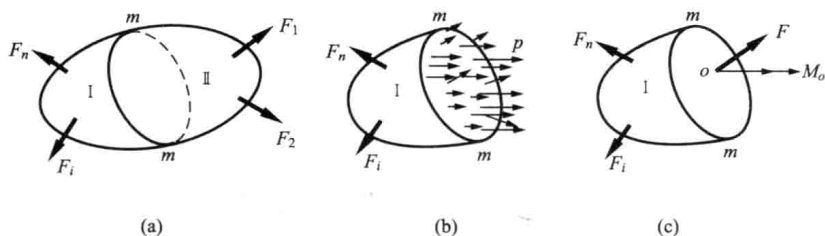


图 1.4 截面法

上述显示并确定内力的方法,称为截面法。概括而言,截面法可归纳为以下 3 个步骤:

- (1) 截开。用假想截面将构件沿待求内力截面处截开,将构件一分为二。
- (2) 代替。任取一部分分析,画出作用在该部分的所有外力和内力。
- (3) 平衡。根据研究部分的平衡条件建立平衡方程,由已知外力求出未知内力。

1.3.3 应力

确定截面内力以后,还不能判断构件在外力作用下是否会因强度不足而破坏,为说明分布内力系在截面内某一点处的强弱程度和方向,下面引入内力集度的概念。

要了解物体的某一截面 $m-m$ 上任意一点 C 处分布内力的情况,可设想在 $m-m$ 截面

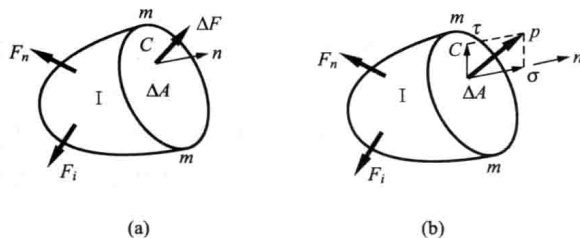


图 1.5 应力

上围绕 C 点取一微小面积 ΔA [图 1.5 (a)],设该截面积上分布内力的合力为 ΔF , ΔF 与 ΔA 的比值可度量 C 点周围内力系的平均集度,称为平均应力,记做 p_m

$$= \frac{\Delta F}{\Delta A}。$$

当 ΔA 趋近于零时,平均应力 p_m 的极

限值, 称为截面 $m-m$ 上 C 点的应力, 用 p 表示, 即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1.1)$$

应力 p 的方向为 ΔF 的极限方向, 如图 1.5 (b) 所示, 通常将应力 p 沿截面的法向与切向分解为两个分量。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。

应力的国际单位为帕斯卡 (Pascal), 简称为帕 (Pa), $1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$ 。在工程实际中应力的常用单位为兆帕 MPa, GPa, $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}=1\text{N/mm}^2$, $1\text{GPa}=10^9\text{Pa}$ 。

1.3.4 变形与应变

构件在载作用下, 其形状和尺寸都将发生改变, 即产生变形, 构件发生变形时, 内部任意一点将产生移动, 这种移动称为线位移。同时, 构件上的线段 (或平面) 将发生转动。这种转动称为角位移。由于构件的刚体运动也可产生线位移和角位移, 因此, 构件的变形要用线段长度的改变和角度的改变来描述。线段长度的改变称为线变形, 线段角度的改变称为角变形。线变形和角变形分别用线应变和角应变来度量。

图 1.6 所示为在构件中取出一微小六面体, 现取其中一棱边研究, 设棱边 AB 原长为 Δx , 构件在载荷作用下发生变形, A 点沿 x 轴方向的位移为 u , B 点沿 x 轴方向的位移为 $u+\Delta u$, 则棱边的改变为 $[(\Delta x+u+\Delta u)-\Delta x=\Delta u]$, 棱边 AB 的平均应变为

$$\epsilon_m = \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad (1.2)$$

通常情况下, AB 上各点的变形程度不同, 则

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1.3)$$

称为点 A 沿 x 轴方向的线应变或简称为应变。

线应变的物理意义是构件上一点沿某一方向变形量的大小。线应变无量纲, 无单位。

棱边长度发生改变时, 相邻棱边之夹角一般也发生改变。如图 1.6 (b) 所示, AD 边与 AB 边原交角为直角。若变形后两线段的夹角为 $\angle D'A'B'$, 当 AB 边与 AD 边的两边长趋于无限小时, 则变形后原直角发生的微小角度改变。

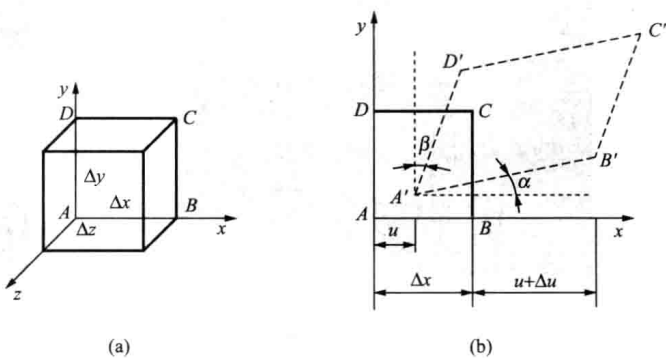


图 1.6 变形
(a) 变形前; (b) 变形后

$$\gamma = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \left(\frac{\pi}{2} - \angle B'A'D' \right), \quad \text{即 } \gamma = \alpha + \beta \quad (1.4)$$

称为 A 点在 xy 平面内的切应变或剪应变。切应变无量纲, 单位为弧度。

线应变 ϵ 和切应变 γ 是度量一点处变形程度的基本量, 无量纲。

1.4 杆件变形的形式

材料力学主要研究杆件的受力和变形。描述杆件的两个主要几何要素为横截面和轴线，横截面是指沿垂直于杆长度方向的截面，而轴线则为杆件所有横截面形心的连线，两者相互垂直。如杆的轴线为直线，称为直杆；如杆件的轴线为曲线，则称为曲杆。对横截面大小和形状不变的杆件，称其为等截面杆；反之称为变截面杆，包括截面突变和渐变两类。材料力学的基本理论主要建立在等截面直杆（等直杆）的基础上。

随着外力作用方式的不同，杆件受力后所产生的变形也有差异。杆件变形的基本形式有以下四种。

1.4.1 轴向拉伸或压缩

一对大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的外力作用在杆的两端，使杆件产生伸长或缩短，这种变形称为轴向拉伸或压缩。例如，斜拉桥的拉杆、理想桁架杆（图 1.7）、托架的吊杆、液压缸的活塞杆、压缩机蒸汽机的连杆、门式机床和起重机的立柱大都属于此类变形。

1.4.2 剪切

这种变形是由一对大小相等方向相反，作用线互相平行且相距很近的横向外力所引起。相应于这种外力作用，杆件的主要变形是相邻横截面沿外力作用方向发生相对错动。机械中的很多连接件，如螺钉、螺栓（图 1.8）、铆钉、销钉和平键等都产生剪切变形。一般杆件在发生剪切变形的同时，还伴有其他种类的变形形式。



图 1.7 桁架

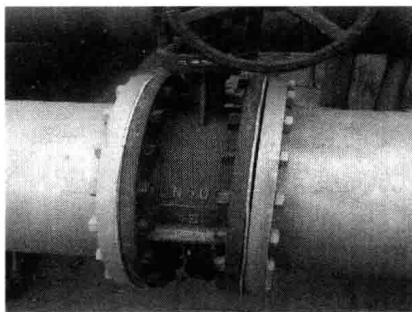


图 1.8 螺栓连接

1.4.3 扭转

这种变形是由作用面垂直于轴线的力偶所引起。相应于这种外力作用杆件的主要变形是任意两横截面绕轴线相对转动。机床和机车的传动轴（图 1.9）、电机和汽轮机的主轴，都会产生扭转变形。

1.4.4 弯曲

这种变形是由作用面平行于轴线的力偶或作用线垂直于轴线的横向力所引起。相应于这种外力作用，杆件的主要变形是轴线由直线变为曲线。建筑物的横梁、起重机的吊臂、桥式起重机的大梁（图 1.10）、门式起重机的横梁、机车的轮轴、钻床和冲床的伸臂都会产生弯曲变形。

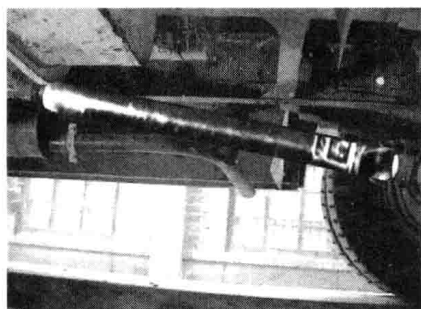


图 1.9 汽车传动轴



图 1.10 起重机大梁

此外, 工程中还有一些杆件在工作时, 同时发生几种基本变形, 即组合变形。例如, 钻床的立柱是弯曲与拉伸的组合变形 (图 1.11)、卷扬机主轴发生弯扭组合变形 (图 1.12)、传动轴往往是弯曲与扭转的组合, 而车床主轴工作时发生弯曲、扭转和压缩的组合。本书首先将依次研究上述四种基本变形的强度和刚度计算, 然后再研究组合变形的问题。

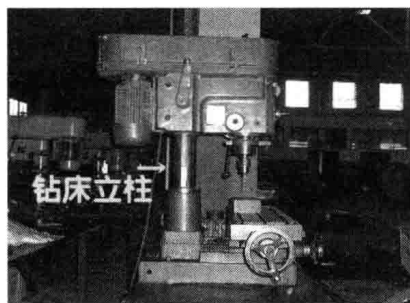


图 1.11 钻床立柱

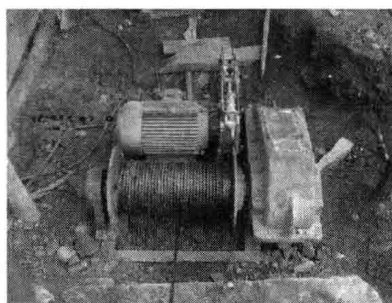


图 1.12 卷扬机主轴

本章小结

本章介绍了材料力学的任务, 变形固体的基本假设, 内力、截面法、应力和应变的概念及杆件的变形形式。主要内容有:

- (1) 材料力学的任务: 强度要求, 刚度要求和稳定性要求。
- (2) 变形固体的基本假设: 连续性假设、均匀性假设、各向同性假设和小变形假设。
- (3) 内力: 由于外力的作用而在杆件两部分之间引起的相互作用力。
- (4) 截面法: 为显示内力并计算其大小, 用假想的平面将构件截开, 一分为二弃去一半, 保留另一半作为研究对象, 再通过平衡方程求出内力的方法。
- (5) 应力: 表示一点处内力的强弱程度。

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

- (6) 应变:

应变是对变形的量度, 是无量纲的量。线应变又称正应变, 是弹性体变形时一点沿某一方向微小线段的相对改变量, 是一无量纲量。

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx}$$

角应变又称剪应变，是弹性体变形时某点处一对互相正交的微线段所夹直角的改变量，单位为弧度 (rad)，用 γ 表示，即

$$\gamma = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$

式中， α 是变形后原来正交的二线段间的夹角。

思考题

1.1 什么是构件的强度、刚度和稳定性？

1.2 材料力学对变形固体有哪些假设？

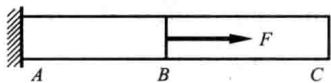


图 1.13 受力杆件

1.3 什么是内力？何为截面法？一般情况下，构件横截面上的内力可用几个分量表示？用截面法是否可以求任何受力构件的内力？

1.4 如图 1.13 所示受力杆件中，哪一段内有应力？哪一段内有应变？哪一段内有位移？

习题

1.1 图 1.14 所示简易吊车横梁上有吊车移动。试求截面 1—1 和 2—2（位于集中力 F 左侧）上的内力及其最大值。

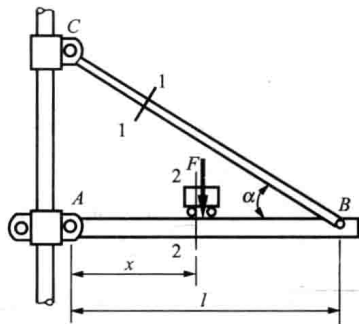
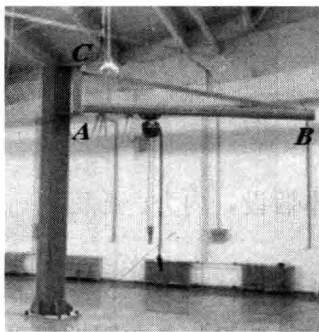


图 1.14 题 1.1 图

1.2 图 1.15 所示圆形薄板半径为 $R=100\text{mm}$ ，变形后半半径 R 的增量为 $\Delta R=2 \times 10^{-3}\text{mm}$ ，分别求出沿半径和外圆周两个方向的平均应变。

1.3 图 1.16 所示三角形薄板受外力作用而变形，角点 B 垂直向上位移为 0.06mm ， AB 和 OB 仍保持为直线。试求：

- (1) OB 的平均应变；
- (2) B 点的剪应变。

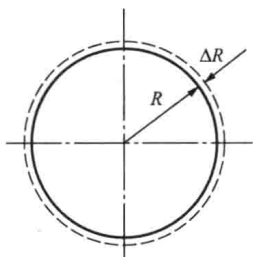


图 1.15 题 1.2 图

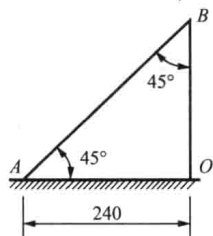


图 1.16 题 1.3 图

1.4 拉伸试样上 A、B 两点距离 l 称为标距。受拉力作用后，用变形仪量出两点距离增量 $\Delta l = 5 \times 10^{-2} \text{ mm}$ ，如图 1.17 所示。若 l 的原长 $l = 100 \text{ mm}$ ，试求 A、B 两点的平均应变 ϵ_m 。

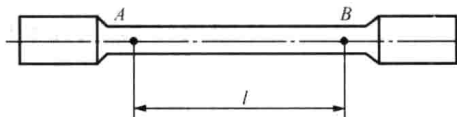
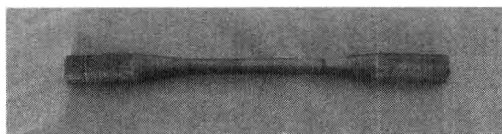


图 1.17 题 1.4 图

力学家简介



钱学森浙江省杭州市人。中国共产党优秀党员、忠诚的共产主义战士、享誉海内外的杰出科学家和中国航天事业的奠基人，中国两弹一星功勋奖章获得者之一。曾任美国麻省理工学院教授、加州理工学院教授，曾担任中国人民政治协商会议第六、七、八届全国委员会副主席、中国科学技术协会名誉主席、全国政协副主席等重要职务。被誉为“中国导弹之父”，“中国火箭之父”，“导弹之王”，2007 年被评为感动中国年度人物。

