

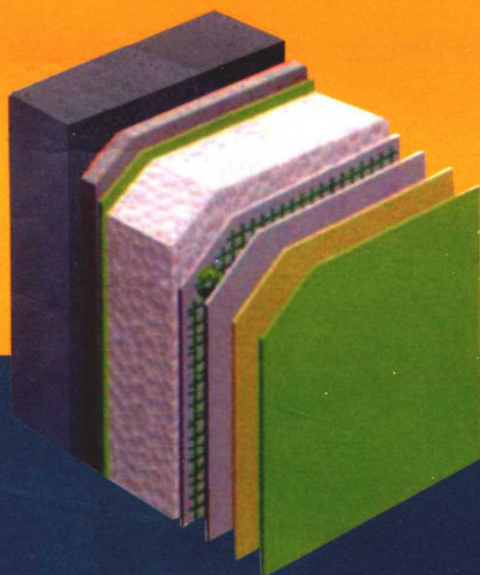


普通高等教育“十二五”规划教材·卓越工程师系列
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

Mechanics of Materials

材料力学 (第二版)

严圣平 马占国 主 编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材·卓越工程师系列
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

材料力学 (第二版)

Mechanics of Materials

丛书特色

- ▲ 重点规划，精心遴选
- ▲ 结构清晰，知识完整
- ▲ 示例丰富，易教易学
- ▲ 学以致用，注重能力

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-058468-7



定价：50.00 元

普通高等教育“十二五”规划教材·卓越工程师系列
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

材料力学

(第二版)

严圣平 马占国 主 编

沈晓明 赵慧明
钟卫平 董纪伟 参 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材根据教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制订的“材料力学课程教学基本要求 (A类)”编写。本版在保持第一版原有风格基础上,对部分内容进行了修改,并配有“课件”“习题提示”和“典型考题”的二维码链接。

本教材共分11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,应力状态分析与强度理论,组合变形,压杆稳定,动载荷与交变应力,能量法。

本教材可作为高等学校本科土木、机电、能源、地质等专业80学时左右的材料力学课程教材;对本书内容进行相关的选择后,亦可适用于材料、测绘、安全、热能等专业64学时左右的材料力学课程;也可作为高职高专与成人高校相应专业的材料力学教材及工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/严圣平,马占国主编. —2版. —北京:科学出版社,2018.8
(普通高等教育“十二五”规划教材·卓越工程师系列 中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-03-058468-7

I. ①材… II. ①严… ②马… 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 (2018) 第178228号

责任编辑:王杰琼 杨 阳 / 责任校对:陶丽荣
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717
<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2018年8月第 二 版 印张:18
2018年8月第六次印刷 字数:411 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135319-2031

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第二版前言

本教材第一版自 2012 年出版以来,先后印刷 5 次,被多个高校选为“材料力学”课程教材,得到了广大教师和学生的认可。根据这几年的使用情况,听取师生们的意见和建议,现对此书再版。

本版以第一版为基础,在保持第一版的风格与特色不变的基础上,更新了教材中采用的相关国家标准,选用了最新的型钢表。本版增加了“课件”“习题提示”和“典型考题”的二维码链接:“课件”方便学生更好地掌握书中的内容;“习题提示”是对“习题”中的一些题的解题思路作了提示,对难题给出了详解;“典型考题”给出了一些经常考试题目(选择题、填空题和计算题),方便学生检测学习情况和准备考试。本版将“平面图形的几何性质”移到附录 A 中,该内容应在“弯曲应力”之前讲授。

参加本版编写工作的有严圣平、马占国、沈晓明、赵慧明、钟卫平、董纪伟六位老师,由严圣平、马占国担任主编,中国矿业大学力学与工程科学系的领导及老师们给予了支持。

本次再版过程中参考了大量国内外优秀教材,并得到了中国矿业大学及中国矿业大学孙越崎学院的立项资助,在此一并感谢!

限于编者的水平,再版后的教材难免有疏漏和不妥之处,恳请广大教师和读者批评和指正,并将意见、建议发送邮箱:80862563@qq.com,欢迎交流,不胜感谢!

编 者

2018 年 6 月

第一版前言

材料力学是高等工科院校普遍开设的一门重要的技术基础课程,材料力学知识不仅对后续课程影响深远,而且在工程中应用广泛。许多高校将其列为硕士研究生入学考试科目。本书编写力求做到概念准确,内容精炼,重点突出,理论联系实际。为了提高学生分析问题和解决问题的能力,本书提供了一部分联系实际的典例。全书采用 GB 3100 ~ 3102—1993 中规定的有关量和单位的通用符号,书写格式规范。书中较多由浅入深的例题,尤其是量大面广的习题,对学生参加研究生入学考试和相关学科的竞赛都是非常有帮助的。

董正筑、茅献彪两位教授审查了书稿,提出了一些宝贵意见,科学出版社的编辑和编审对书稿的内容和版式提出了一些改进意见,在此对他们表示感谢。本书在编写过程中参考了国内外一些优秀教材,汲取了它们的许多长处,并选用了其中的部分例题和习题,在此对相关作者致谢。

全书由严圣平任主编并统稿。具体编写分工为:第 3、10、11 章由钟卫平编写,第 4、7 章及附录由杨静编写,其余章节由严圣平编写。本书插图力求清晰、规范、美观。所有插图均由严圣平使用 AutoCAD 精心绘制,然后直接转成 1 200 线的 TIF 图插入到北大方正排版系统中。为方便教师上课使用以及学生自学,本书另配电子教案及学习指导书。

限于编者水平,书中难免有不妥之处。欢迎读者批评指正,以便再版时改进和提高。

编 者

2012 年 7 月

目 录

第二版前言

第一版前言

1 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体及其基本假设	2
1.3 外力及其分类	3
1.4 杆件变形的形式	3
1.5 内力、截面法和应力的概念	5
1.6 应变的概念	7
习题	8
2 拉伸、压缩与剪切	9
2.1 轴向拉伸与压缩的概念	9
2.2 轴向拉压杆横截面上的内力	10
2.3 轴向拉压杆横截面上的应力	11
2.4 轴向拉压杆斜截面上的应力	12
2.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	13
2.5.1 低碳钢拉伸时的力学性能	14
2.5.2 其他塑性材料拉伸时的力学性能	17
2.5.3 铸铁拉伸时的力学性能	17
2.5.4 材料压缩时的力学性能	18
2.6 失效、许用应力与强度条件	19
2.7 轴向拉压杆的变形	22
2.8 拉压超静定问题	25
2.8.1 拉压超静定问题及其解法	25
2.8.2 温度应力	27
2.8.3 装配应力	30
2.9 应力集中的概念	31
2.10 剪切和挤压的实用计算	32
2.10.1 剪切的实用计算	34
2.10.2 挤压的实用计算	35
习题	37
3 扭转	46
3.1 扭转的概念和实例	46
3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	47

3.3	纯剪切	49
3.3.1	薄壁圆筒的扭转应力分析	49
3.3.2	切应力互等定理	50
3.3.3	剪切胡克定律	51
3.4	圆轴扭转时的应力	51
3.5	圆轴扭转时的变形	56
3.6	非圆截面杆扭转的概念	58
	习题	60
4	弯曲内力	64
4.1	弯曲的概念和实例	64
4.2	梁的计算简图	65
4.3	剪力和弯矩	66
4.4	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	69
4.5	载荷集度、剪力和弯矩间的关系	73
4.6	平面刚架和曲杆的内力分析	78
	习题	81
5	弯曲应力	86
5.1	概述	86
5.2	纯弯曲时梁横截面上的正应力	87
5.3	横力弯曲时的正应力 正应力强度计算	91
5.4	弯曲切应力和强度校核	94
5.4.1	矩形截面梁的弯曲切应力	95
5.4.2	工字形截面梁的弯曲切应力	97
5.4.3	圆截面梁的弯曲切应力	98
5.4.4	弯曲切应力强度校核	99
5.5	提高梁强度的主要措施	100
	习题	104
6	弯曲变形	109
6.1	概述	109
6.2	梁挠曲线的近似微分方程	110
6.3	用积分法求弯曲变形	111
6.4	用叠加法求弯曲变形	116
6.5	简单超静定梁	121
6.6	提高弯曲刚度的一些措施	123
	习题	125
7	应力状态分析与强度理论	131
7.1	应力状态的概念	131
7.2	平面应力状态分析	134
7.3	三向应力状态简介	139

7.4	平面应变状态分析	141
7.5	广义胡克定律	144
7.6	应变能密度	147
7.7	强度理论	148
7.7.1	关于脆性断裂的强度理论	149
7.7.2	关于屈服的强度理论	150
	习题	153
8	组合变形	157
8.1	组合变形的概念	157
8.2	拉伸或压缩与弯曲的组合	158
8.3	扭转与弯曲的组合	162
8.4	斜弯曲	165
8.4.1	斜弯曲时的变形	165
8.4.2	斜弯曲时的应力	165
	习题	168
9	压杆稳定	173
9.1	压杆稳定的概念	173
9.2	两端铰支细长压杆的临界压力	176
9.3	其他杆端约束条件下细长压杆的临界压力	177
9.4	欧拉公式的适用范围 经验公式	179
9.5	压杆的稳定性计算	182
9.6	提高压杆稳定性的措施	184
	习题	186
10	动载荷与交变应力	191
10.1	概述	191
10.2	构件做等加速直线运动时的应力计算	191
10.3	构件做匀速转动时的应力计算	193
10.4	冲击应力计算	196
10.5	交变应力及疲劳失效	202
10.6	交变应力的循环特征 疲劳极限	204
10.7	影响构件疲劳极限的因素	206
	习题	208
11	能量法	212
11.1	概述	212
11.2	杆件应变能计算	212
11.3	互等定理	217
11.4	卡氏定理	219
11.5	单位载荷法	222
11.6	计算莫尔积分的图乘法	225

11.7 用能量法解超静定系统	229
11.7.1 外力超静定系统	229
11.7.2 内力超静定系统	229
11.8 用力法解超静定系统	231
11.9 对称性的利用	235
习题	238
附录 A 平面图形的几何性质	244
A.1 静矩和形心	244
A.2 惯性矩、极惯性矩和惯性积	247
A.3 平行移轴公式	249
A.4 转轴公式	252
习题	255
附录 B 热轧型钢常用参数表	257
习题答案	267
主要参考文献	277



课件

1

绪 论

1.1 材料力学的任务

组成结构或机械的零部件,如建筑物的梁和柱、旋转机械的轴等,统称为**构件**。当结构或机械工作时,构件将受到载荷的作用。例如,矿山支护结构构件,其所承受的矿山压力是由于岩石自重、地壳构造运动、地下水压力、岩层中的瓦斯压力等因素引起的。又如,车床工作时主轴受齿轮啮合力和切削力作用,吊车起吊时梁受自身重力和悬挂物重力的作用。

为了保证构件能够正常工作,构件应具有足够的承载能力,构件的设计必须满足下面三个基本要求。

(1) **强度要求**。构件不发生破坏,即应有足够的抵抗破坏的能力。例如,支架梁承受矿压时不能断裂,压力容器或锅炉不能爆裂,冲床曲轴不能折断。

(2) **刚度要求**。构件不能产生过大的变形(不超出工程上的允许范围),即应有足够的抵抗变形的能力。有些构件即使不破坏,即有足够的强度,但若变形过大,也不能正常工作。例如,机床的主轴若变形过大会影响加工精度。机床主轴的变形必须控制在一定范围内,才能保证加工精度,正常工作。

(3) **稳定性要求**。构件在微小的干扰下,不会改变原有的平衡形态,即应有足够的保持原有平衡形态的能力。一些受压力作用的细长杆件,如千斤顶的螺杆、内燃机的挺杆、矿用液压支架的柱腿等,当压力较大时会被压弯,失去了原有的直线平衡形态,不能正常工作。为了保证其正常工作,要求这类细长受压杆件始终保持原有的直线平衡形态。

构件如果满足了强度、刚度和稳定性三方面的要求,就可以正常工作,但同时还应考虑经济方面的要求,若片面追求安全性而一味地加大构件尺寸或选用优质材料,将增加构件的自重和制造成本,造成浪费,甚至会影响产品的工作性能。例如,飞机的安全性非常重要,但过大的自重会影响飞机的气动性能和飞行性能。在设计构件时,除了要求构件能正常工作外,同时还应考虑合理地使用和节约材料并减轻自重。因此,材料力学的任务是:在满足强度、刚度和稳定性的前提下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

一般地说,实际工程问题中的构件都应有足够的强度、刚度和稳定性,但就某一具体构件而言,对上述三项要求往往有所侧重。例如,风钻的钻杆以强度要求为主,车床的主

轴以刚度要求为主,金属摩擦支柱则以稳定性要求为主。

对某些特殊构件可能会有相反的要求。例如,机器中的自控保护装置,当超载时安全销应当首先破坏而起到保护机器主轴的作用;车辆中的板簧变形越大减震的效果则越好。

研究构件的强度、刚度和稳定性时,应了解材料在外力作用下表现出来的抗变形和抗破坏等方面的性能,即材料的力学性能(又称机械性能),而力学性能则由试验来测定。此外,经过各种假设、简化得出的理论是否正确、可信,也需要通过试验来验证。所以,理论研究和试验分析都是材料力学解决实际问题的方法,旨在利用理论分析和试验保证构件在载荷作用下不破坏,不出现超过允许范围的变形,不产生失稳,保证构件能正常工作。

1.2 变形固体及其基本假设

构件是由固体材料制成的,固体在外力作用下要产生变形,故称为**变形固体**。固体有多方面的属性,研究的角度不同,侧面亦不同。材料力学主要研究构件的强度、刚度和稳定性问题,为了简化分析,对变形固体作某些假设,抓住材料的主要属性,忽略一些次要属性,抽象出力学模型,但不可认为根据这些假设得出的结论一定是近似的或有误差。模糊数学有这样一句经典语录:过分的精确反而模糊,适当的模糊反而精确。

材料力学对变形固体作如下假设。

(1) **连续性假设**。认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的体积。

固体由许多晶粒组成,事实上在固体内部一定存在着不同程度的空隙(包括缺陷、杂质等),但这种空隙的大小是以纳米计量的,与构件尺寸相比极其微小,可以忽略不计。这样就可以认为固体在整个体积内是连续的。

(2) **均匀性假设**。认为固体内任何部分的力学性能都是完全相同的。

实际上,不管是岩石、混凝土还是金属材料,不同部位的微粒的力学性能并不完全相同,但在构件内,各个微粒是错综复杂地排列的,材料的力学性能是所有晶粒力学性能的统计平均值,因此可以认为材料均匀性假设成立。有了均匀性假设后,若从固体内任意位置取出一部分,其力学性能都是相同的。

有了连续、均匀性假设后,就可以运用坐标的连续函数和微积分工具来分析和求解问题,并可从固体中的任何地方取出微小部分来研究。

(3) **各向同性假设**。认为固体在各个方向上的力学性能完全相同。

具备这种属性的材料称为各向同性材料。均匀的非晶体材料,一般都是各向同性的。在不同方向上,金属的单一晶粒的力学性能并不一样,但它的大小远小于构件的尺寸,且又是杂乱无章地排列,因此它们的统计平均性能在各个方向趋于一致。钢、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、竹材、胶合板等。

(4) **小变形假设**。认为构件在外力作用下所产生的变形远小于构件的原始尺寸。

构件受力后都要发生变形。大变形的力学问题大都是非线性的,所得到的理论结果都比较复杂。对于由满足胡克定律的材料制成的构件,小变形的力学问题大都是线性的。作为应用于工程设计的材料力学,根据小变形假设,当研究构件的平衡时,一般可以略去变形的影响,因而可以直接应用静力学方法。

图 1.1 中,杆 1、2 在变形前与铅垂线的夹角为 θ 。为求解杆 1、2 的伸长量,首先要求出杆 1、2 的拉力。本应按变形后的角度 θ' 计算杆 1、2 的拉力,但 θ' 是未知的(与杆 1、2 的伸长量有关)。如果假设是小变形,即变形远小于构件的原始尺寸,则可按变形前的原始尺寸计算杆 1、2 的拉力,以保证问题在几何上是线性的。

在静力学中,事实上已经采用了上述小变形假设。因为实际构件都是变形固体,所谓刚体实际上是变形固体在变形很小时的理想化,即忽略了变形对平衡的影响。从这个意义上讲,在材料力学中讨论平衡时仍将沿用刚体的概念,而在其他场合则沿用变形体的概念。

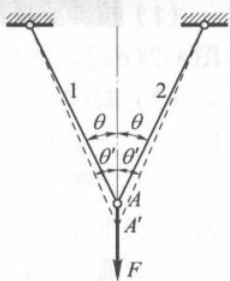


图 1.1

1.3 外力及其分类

作用于构件上的外力(载荷和约束力)按其作用方式可分为表面力和体积力。表面力是作用于物体表面上的力,又可分为分布力和集中力。连续作用于物体表面积上的力即为分布力。例如,作用于液压支架油缸内壁上的油压力和岩石对支架梁的作用力都是分布力。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸,或沿构件轴线分布范围远小于轴线长度,就可看作是作用于一点的集中力,如风钻头对岩石的压力就是集中力。体积力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。

按随时间变化的情况,载荷又可分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值,以后即保持不变或变动很小,即为静载荷。若载荷随时间而变化,则为动载荷。按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷。例如,截煤机的截齿工作时,煤体对它的作用力随时间作周期性变化。冲击载荷则是物体运动在瞬间发生突然变化所引起的载荷。例如,放炮时冲击波对岩体和支架的作用力。

材料在静载荷和动载荷作用下的力学性能颇不相同,分析方法也有差异。静载荷问题与动载荷问题相比较为简单,掌握静载荷的理论和分析方法,又是解决动载荷问题的基础,因此首先重点研究静载荷问题,在后面第 10 章专门研究动载荷问题。

1.4 杆件变形的基本形式

工程构件的形状多种多样。一个方向的尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件,称为杆件,简称杆。杆是材料力学研究的主要对象,也是工程实际中最常见、最基本的构件。杆件长的方向称为纵向,与纵向垂直的方向都是横向。垂直于长度方向的截面称为横截面,所有横截面形心的连线即为杆的轴线,轴线与横截面垂直。轴线为直线的杆称为直杆,横截面的形状和大小不变的直杆称为等直杆。轴线为曲线的杆称为曲杆。

工程上许多常见的构件,如立柱、托架、传动轴、车轮轴、支架梁等,都可以简化为杆。

作用于杆上的外力有各种情况,杆件相应的变形也有各种形式,如对杆件的变形进行仔细分析,就可以把杆件的变形归纳为如下四种基本变形。

(1) **拉伸或压缩**。杆受一对大小相等、方向相反的纵向力,力的作用线与杆轴线重合[图 1.2(a)]。变形表现为杆(拉伸时)变长变细或(压缩时)变短变粗。

(2) **剪切**。杆受一对大小相等、方向相反的横向力,力的作用线靠得很近[图 1.2(b)]。变形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**。杆受一对大小相等、方向相反的力偶,力偶作用面垂直于杆轴线[图 1.2(c)]。变形表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。

(4) **弯曲**。杆受一对大小相等、方向相反的力偶,力偶作用面是包含轴线的纵向面[图 1.2(d)]。变形表现为杆件轴线由直线变成曲线。

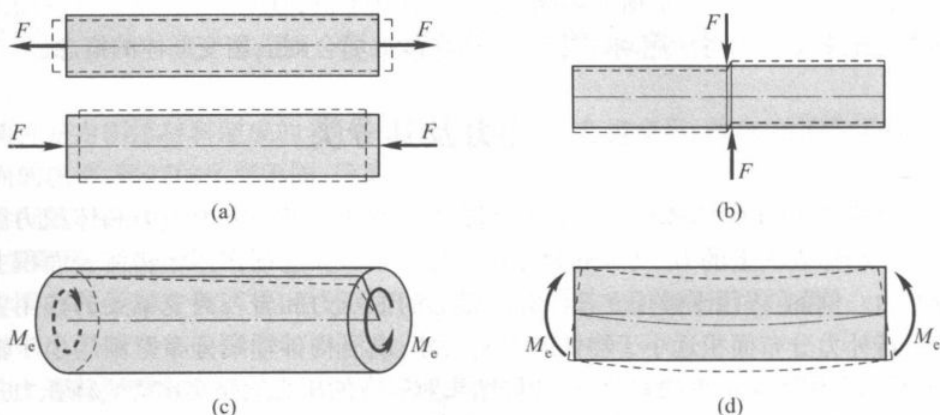


图 1.2

如图 1.3(a)所示简易吊车,在载荷 F 作用下,杆 AC 受到拉伸[图 1.3(b)],而杆 BC 受到压缩[图 1.3(c)]。另外,悬索桥或斜拉桥的钢缆、桁架中的杆件、液压油缸的活塞杆等的变形,都属于拉伸或压缩变形。

图 1.4(a)所示连接件,其螺栓受到剪切[图 1.4(b)]。另外,机械或结构中常用的连接件,如铆钉、销钉、螺栓、键等都产生剪切变形。

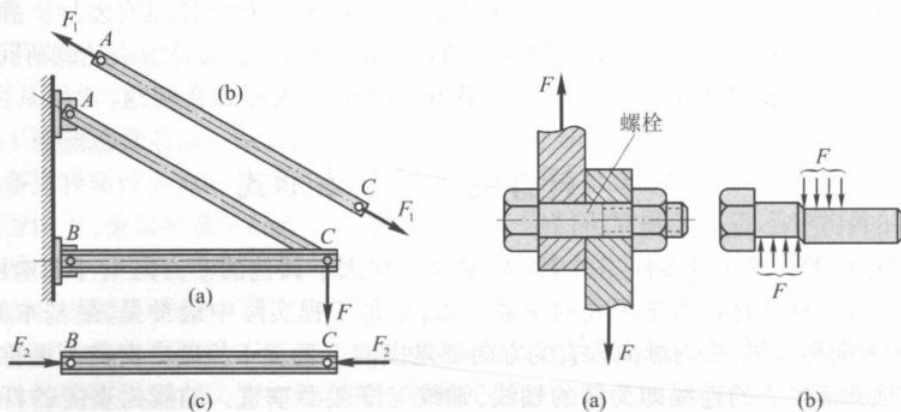


图 1.3

图 1.4

如图 1.5(a)所示汽车转向轴 AB 发生扭转变形,司机施加在方向盘上的是一对大小相等,方向相反,平行但不共线的一对力 F ,形成一力偶[图 1.5(b)]。另外,电动机的主

轴、汽车的转动轴、发动机的曲轴等都产生扭转变形。

如图 1.6(a) 所示火车轮轴的变形即为弯曲变形, 其轴线由直线弯成曲线[图 1.6(b)]。另外, 桥式起重机的大梁、跳板跳水比赛使用的跳板、举重杠铃的杠杆、晾衣竿等都产生弯曲变形。

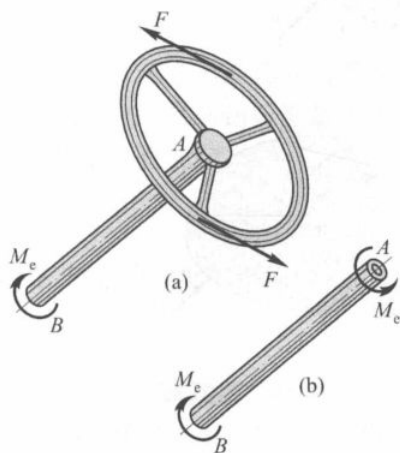


图 1.5

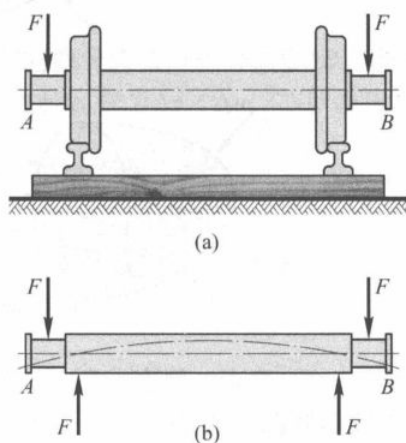


图 1.6

还有一些杆件同时发生几种基本变形。例如, 车床主轴工作时会同同时发生扭转、弯曲和压缩三种基本变形。这类由两种或两种以上基本变形组合的变形, 称为组合变形。在本书中, 首先依次讨论四种基本变形的强度及刚度计算, 然后再讨论组合变形。

1.5 内力、截面法和应力的概念

由物理学可知, 即使不受外力作用, 物体内部各质点之间也存在着相互作用的力, 它使分子间距离保持不变, 并维持固体一定的形状。

物体因受外力作用而变形, 其内部各部分之间因相对位置改变而引起相互作用力的变化。材料力学中的内力, 是指在外力作用下, 物体内部相互作用力的变化量, 因它是由外力而引起的各部分之间附加相互作用力, 所以亦称为“附加内力”。

内力随外力增加而增加, 但有一定的限度, 即与材料的强度有关。

为了显示出如图 1.7(a) 所示构件在外力作用下 $m-m$ 截面上的内力, 假想通过截面 $m-m$ 把构件分成 I、II 两部分[图 1.7(b)], 设法把内力转化为外力的形式, 就可用理论力学的方法来分析。任取其中一部分, 例如 I 作为研究对象。在部分 I 上作用有外力 F_1 和 F_2 , 欲使 I 保持平衡, 则 II 必然有力作用于 I 的 $m-m$ 面上, 以与 I 所受外力平衡。根据作用与反作用定律可知, I 必然也以大小相等、方向相反的力作用于 II 上。上述 I 与 II 之间相互作用的力, 就是构件在 $m-m$ 截面上的内力。按照连续性假设, 在 $m-m$ 截面上应是一个分布力系, 将其向截面形心简化后得到的主矢和主矩即为截面上的内力。

对于部分 I, 外力 F_1 、 F_2 以及截面 $m-m$ 上的内力保持平衡, 通过静力平衡方程可以求出截面 $m-m$ 上内力。

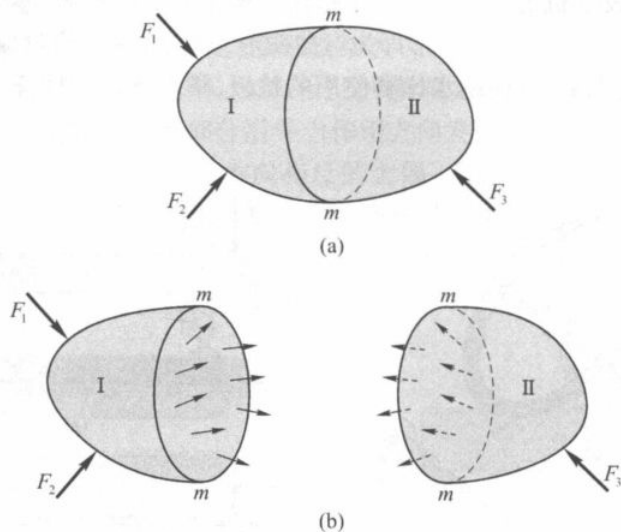


图 1.7

上述用 $m-m$ 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**。步骤如下。

(1) 欲求某一截面上的内力,就沿该截面假想把构件分成两部分,任意地留下一部分作为研究对象,并弃去另一部分。

(2) 用作用于截面上的内力代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 建立留下部分的静力平衡方程,确定未知的内力。

在上述受力构件的 $m-m$ 截面上,围绕 C 点取微小面积 ΔA ,如图 1.8(a) 所示, ΔA 上分布内力的合力为 ΔF ,则

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

定义为 $m-m$ 截面上 C 点的平均应力。当 ΔA 趋于零时,极限

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

称为 C 点处的**应力**。 p 是一个矢量,将其分解成垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ [图 1.8(b)]。 σ 称为**正应力**(normal stress),而 τ 称为**切应力**(shearing stress)。

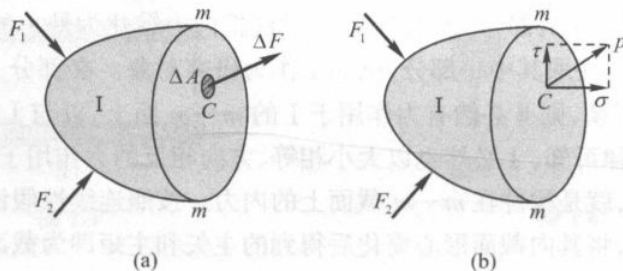


图 1.8

应力是内力的集度,即单位面积上的内力。应力的量纲^①为 $L^{-1}MT^{-2}$,单位为 Pa (帕)或 MPa(兆帕), $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$, $1\text{ MPa} = 10^6\text{ Pa}$ 。在材料力学中,单位 Pa 太小,通常使用 MPa。

1.6 应变的概念

如图 1.9 所示,在变形前构件内某点 A 沿 η 方向取长为 Δs 的一线段 AB 。受力后,构件发生变形,线段 AB 移动到新位置 $A'B'$,该线段的长度变为 $\Delta s + \Delta u$ 。亦即线段 AB 原长为 Δs ,伸长了 Δu ,则比值

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1.2)$$

表示线段 AB 每单位长度的平均伸长(或缩短),称为平均线应变,而极限

$$\varepsilon = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1.3)$$

称为 A 点沿 η 方向的**正应变**或**线应变**(normal strain),简称**应变**。应变 $\varepsilon > 0$ 表示线段伸长, $\varepsilon < 0$ 表示线段缩短。一般来说,受力构件内同一点沿不同方向的线应变是不相同的,必须明确是构件内哪一点、哪个方向的线应变。

固体的变形不仅表现为固体内线段长度的改变,而且固体内两条正交线段的夹角也将发生改变。如图 1.10 所示,在变形前构件内 A 点沿 x 方向取长为 dx 的线段 AB ,沿 y 方向取长为 dy 的线段 AC , AB 垂直于 AC 。构件变形后,线段 AB 移动到新位置 $A'B'$, AC 移动到新位置 $A'C'$,则 $\angle CAB$ 的改变量

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \angle C'A'B' \quad (1.4)$$

定义为 A 点在 xy 平面内的**切应变**或**角应变**(shearing strain)。切应变是指平面内两条正交的线段,变形后其直角的改变量。切应变以直角减小为正,增大为负。

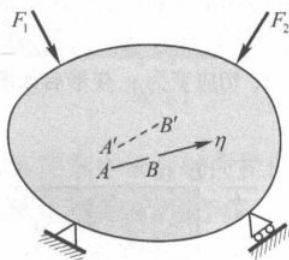


图 1.9

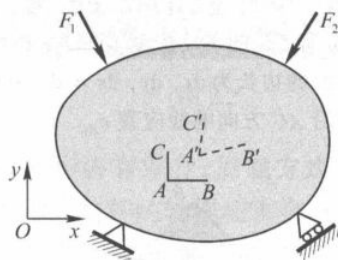


图 1.10

应变是描述固体变形的一种几何度量。线应变在几何上表示伸长、缩短,而切应变表示物体形状的改变。线应变和切应变都是量纲一的量,线应变无单位,切应变的单位是 rad(弧度)。

^① 在国际单位制中,长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度为七个基本物理量,量纲符号分别是 L、M、T、I、Q、N 和 J,将一个物理导出量用若干个基本量的乘方之积表示出来的表达式,称为该物理量的量纲。