



浙江省重点教材建设项目
普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

柴国钟 梁利华 编著
王效贵 卢炎麟



科学出版社

浙江省重点教材建设项目
普通高等教育“十二五”规划教材

材 料 力 学

柴国钟 梁利华 编著
王效贵 卢炎麟

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会对力学系列课程的要求,结合编者二十多年的教学经验,按机械、土建两类专业的教学要求编写的。

本书基本内容包括:绪论,轴向拉伸、压缩与剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,简单的超静定问题,应力状态分析和强度理论,组合变形,压杆稳定,能量法,动载荷,交变应力和疲劳强度等。各章后有习题,书末附有习题参考答案。本书结构紧凑,语句简明,由浅入深,注意联系工程实际,便于教学和自学。

本书可作为高等工科院校 56~80 学时的材料力学教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/柴国钟等编著. —北京:科学出版社,2012
(浙江省重点教材建设项目·普通高等教育“十二五”规划教材)
ISBN 978-7-03-033073-4

I. ①材… II. ①柴… 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(2011)第 267369 号

责任编辑:毛 莹 潘继敏 / 责任校对:宋玲玲
责任印制:张克忠 / 封面设计:迷底书装

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>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 2 月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:375 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是根据教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会对力学系列课程的要求,结合编者二十多年的教学经验,按机械、土建两类专业的教学要求编写的,可满足 56~80 学时材料力学课程的教学需求。考虑到机械类、土建类专业应用型本科院校学生的实际情况,在保证基础的前提下,本书精选传统的材料力学教学内容,内容叙述循序渐进,结构安排合理紧凑,知识表述清晰简明。

本书以构件的基本变形为主线,介绍了应力状态分析、组合变形、压杆稳定、能量法、动载荷、疲劳和静不定问题分析等材料力学课程的基本内容。为了培养学生的工程应用能力,本书介绍了材料力学分析模型,并引入了诸多工程实践。考虑到各院校学时减少的实际情况,编写本书时简化了理论推导过程,使学生在有限的教学时间内掌握构件的强度、刚度、稳定性计算方法,了解工程材料的力学行为,为后续专业课的学习打下良好基础。为了适应现代计算技术的快速发展,在课程内容、例题和习题的编排上降低了对计算能力的要求,将有限的学时用于加强基础,重视概念的拓宽与更新。

为了有助于读者对知识的理解,书中的插图采用立体感与透明感较强的二维与三维图形,以期得到更形象直观的描述效果。

参加本书编写工作的有柴国钟、梁利华、王效贵和卢炎麟教授。柴国钟任主编,并编写第 1、8 章;梁利华编写第 2、3、10、12 章;王效贵编写第 7、9、11、13 章;卢炎麟编写第 4、5、6 章。另外,吴化平、许杨剑等参与编写了附录部分和部分习题参考答案。

由于编者水平有限,书中的不足之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2011 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 材料力学的基本假设	1
1.3 杆件变形的形式	2
1.4 截面法、内力和应力	4
1.5 变形和应变	6
1.6 材料力学的分析模型	7
习题	10
第 2 章 轴向拉伸、压缩与剪切	11
2.1 轴向拉伸或压缩的概念和实例	11
2.2 轴力和轴力图	11
2.3 拉(压)杆内的应力	13
2.3.1 拉(压)杆横截面上的应力	13
2.3.2 拉(压)杆斜截面上的应力	15
2.4 拉(压)杆的变形、胡克定律	16
2.5 材料拉伸和压缩时的力学性能	19
2.5.1 低碳钢拉伸时的力学性能	19
2.5.2 其他塑性材料拉伸时的力学性能	23
2.5.3 铸铁拉伸时的力学性能	23
2.5.4 材料压缩时的力学性能	24
2.6 许用应力、安全因数和强度计算	24
2.7 拉(压)杆的应变能	26
2.8 应力集中的概念	28
2.9 剪切和挤压实用计算	29
2.9.1 剪切的实用计算	29
2.9.2 挤压的实用计算	30
习题	33
第 3 章 扭转	39
3.1 扭转的概念与实例	39
3.2 传动轴的外力偶矩、扭矩及扭矩图	39
3.3 纯剪切	42
3.3.1 薄壁圆管中的切应力	42

3.3.2	切应力互等定理	43
3.3.3	切应变、剪切胡克定律	43
3.3.4	剪切应变能	44
3.4	圆轴扭转时的应力、强度条件	44
3.4.1	圆轴扭转时横截面上的应力	44
3.4.2	扭转时的强度计算	47
3.5	圆轴扭转时的变形、刚度条件	48
3.5.1	圆轴扭转时的变形	48
3.5.2	圆轴扭转时的刚度计算	48
	习题	50
第4章	弯曲内力	53
4.1	弯曲的概念和实例	53
4.2	梁的载荷、支座及其简化	54
4.2.1	梁的载荷	54
4.2.2	梁的支座及其简化	54
4.2.3	静定梁的基本形式	55
4.3	梁横截面上的内力、剪力和弯矩	55
4.4	剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	57
4.5	载荷集度、剪力和弯矩之间的关系及其应用	60
4.6	平面刚架和平面曲杆的内力	62
	习题	64
第5章	弯曲应力	68
5.1	纯弯曲	68
5.2	纯弯曲时的正应力	69
5.3	横力弯曲时的正应力、正应力强度条件	71
5.4	横力弯曲时的切应力	74
5.4.1	矩形截面梁	74
5.4.2	工字形截面梁	76
5.4.3	圆形截面梁	77
5.4.4	梁的切应力强度校核	77
5.5	提高弯曲强度的措施	79
5.5.1	合理安排梁的受力情况	79
5.5.2	合理设计梁的截面	80
5.5.3	等强度梁的概念	81
	习题	83
第6章	弯曲变形	86
6.1	挠曲线微分方程	86
6.2	积分法求弯曲变形	87

6.3	叠加法求弯曲变形	89
6.4	提高弯曲刚度的措施	94
	习题	94
第7章	简单的超静定问题	97
7.1	概述	97
7.2	拉压超静定问题	97
7.3	扭转超静定问题	101
7.4	简单超静定梁	101
	习题	103
第8章	应力状态和强度理论	106
8.1	应力状态的概念	106
8.2	二向应力状态分析	108
8.2.1	解析法	108
8.2.2	图解法	111
8.3	三向应力状态简介	114
8.4	广义胡克定律	116
8.5	复杂应力状态下的应变能密度	118
8.6	强度理论	120
8.6.1	最大拉应力理论(第一强度理论)	120
8.6.2	最大伸长线应变理论(第二强度理论)	121
8.6.3	最大切应力理论(第三强度理论)	121
8.6.4	畸变能密度理论(第四强度理论)	121
8.6.5	莫尔强度理论简介	122
	习题	123
第9章	组合变形	127
9.1	概述	127
9.2	拉伸(压缩)与弯曲的组合	127
9.2.1	轴向力和横向力共同作用	127
9.2.2	偏心拉伸与压缩	129
9.3	弯曲与扭转的组合	132
	习题	136
第10章	压杆稳定	140
10.1	压杆稳定的概念	140
10.2	两端铰接细长压杆临界压力的欧拉公式	141
10.3	不同杆端约束下细长压杆临界力的欧拉公式	142
10.4	欧拉公式的适用范围、临界应力总图	145
10.5	压杆的稳定计算	147
10.6	提高压杆稳定的措施	149

习题	150
第 11 章 能量法	153
11.1 概述	153
11.2 应变能的计算	153
11.3 互等定理	156
11.4 卡氏定理	158
11.5 虚功原理	161
11.6 单位载荷法	162
11.7 用能量法解超静定问题	167
习题	172
第 12 章 动载荷	176
12.1 概述	176
12.2 动静法的应用	176
12.3 杆件受冲击时的应力和变形	178
习题	183
第 13 章 交变应力和疲劳强度	186
13.1 循环应力及疲劳失效	186
13.2 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	187
13.3 S-N 曲线和持久极限	188
13.4 对称循环的疲劳强度计算	190
13.5 非对称循环的疲劳强度计算	190
13.6 弯扭组合时的疲劳强度计算	193
习题	194
参考文献	198
附录 A 平面图形的几何性质	199
A.1 形心与静矩	199
A.2 惯性矩和惯性半径	200
A.3 惯性积	202
A.4 平行移轴公式	203
A.5 转轴公式及主轴	204
习题	207
附录 B 型钢表	209
习题参考答案	220

第 1 章 绪 论

1.1 材料力学的任务

机械、土木等工程中的机械和结构都是由零部件和结构元件通过一定的方式连接而成的,这些零部件和结构元件统称为构件。机械和结构工作时,一般来说,这些构件都会受到载荷的作用。

为了保证机械和结构的正常工作,每一个构件都必须能够安全、正常地工作。工程构件安全设计的任务就是要保证构件具有足够的强度、刚度和稳定性。

强度是指构件在外力作用下抵抗破坏(断裂)或显著变形的能力。如果构件的强度不够,就有可能在工作时发生破坏,如机车车轴和飞机机翼的断裂、压力容器和管道的破裂、大型水坝被洪水冲垮等,这些都会导致重大的安全事故。

刚度是指构件在外力作用下抵抗变形或位移的能力。如果构件的刚度不足,就有可能产生过大的变形或位移,从而引起机械和结构的振动、噪声,加快机械零部件之间的摩擦磨损,精密机床还会因其主轴或其他零部件变形过大而影响其加工精度。

稳定性是指承压构件保持其稳定平衡形式的能力。如果构件的稳定性不够,就有可能在工作时丧失其稳定的平衡形式(简称失稳),如承压细长杆会突然弯曲、薄壁构件承载时会发生折皱等,从而使这些构件不能安全、正常地工作。

构件的强度、刚度、稳定性标志着构件承受载荷的能力,简称承载能力。

一个设计合理的构件,不但应该有足够的承载能力,还应该满足降低材料消耗、减轻自身重量和节约成本等要求。因此,材料力学的任务就是要研究如何在满足强度、刚度和稳定性的条件下,为设计既安全又经济的构件提供必要的理论基础和分析计算方法。

构件的承载能力除了与构件的形状和尺寸有关外,还与制成构件的材料其本身的力学性能(又称机械性能)有关,而材料的力学性能需要通过试验来测定;材料力学中的一些理论分析方法是在某些假设的基础上建立的,其分析结果是否可靠,也需要通过试验加以验证。因此,试验分析在材料力学研究中具有重要的作用。材料力学的发展史证明,材料力学正是应用理论分析和试验分析方法并与工程实际结构相结合的产物。

1.2 材料力学的基本假设

在外力作用下,固体将发生变形。各类构件一般都由固体材料所制成,由于构件的强度、刚度和稳定性等问题与构件的变形密切相关,因此,材料力学研究的构件,其材料是真实可变形的固体(简称变形固体)。变形固体的性质是多方面的,为了抓住与构件变形相关的主要因素,同时简化分析,材料力学中对变形固体作如下假设。

(1) **连续性假设**。组成固体的物质连续(不留空隙)地分布在固体的体积内。实际上,组成固体的粒子之间存在着微观空隙,并不连续,但这种空隙与构件的宏观尺寸相比极其微小,可以忽略不计。

(2) **均匀性假设**。固体内任意点的力学性能都完全相同。就广泛使用的金属来说,组成金属的各晶粒的性能并不完全相同。但由于构件内含有为数极多且无规则排列的晶粒,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均量,因而可以认为力学性能是均匀的。

(3) **各向同性假设**。固体的力学性能沿任何方向都是相同的。各方向力学性能相同的材料,称为**各向同性材料**。对金属等由晶体组成的材料,虽然每个晶粒的力学性能具有方向性,但由于它们的大小远小于构件的尺寸,且排列也不规则,因此它们的统计平均值在各个方向是相同的。钢铁、铸铁、玻璃等也都可看做是各向同性材料。

当然,也有些工程材料,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**。

实践表明,基于这些假设建立的材料力学理论,其分析结果的精确度能够满足对工程实际构件的分析与设计的要求。

1.3 杆件变形的的基本形式

工程实际中的构件,其几何形状是多种多样的。力学研究中,通常根据构件的几何特征,将它们分为杆件、板和壳、块体等。

材料力学所研究的构件主要为杆件。所谓**杆件**,是指纵向尺寸远大于横向尺寸的构件。工程结构中的梁、柱和机械中的传动轴等,都是杆件的例子。若杆件的轴线为直线,则称为直杆,如图 1.1(a)所示;轴线为曲线,则称为曲杆,如图 1.1(b)所示。材料力学中所研究的主要是等截面直杆,简称等直杆。

作用在杆件上的力具有不同的类型,相应的杆件变形形式也各不相同。杆件变形的基本形式有以下四种。

1. 轴向拉伸或压缩

杆件受大小相等、方向相反,且与杆的轴线重合的一对外力作用,变形表现为杆件沿轴线方向伸长或缩短。例如,图 1.2(b)所示的简易吊车,在外力 F 作用下,AC 杆受到轴向拉伸(图 1.2(a)),

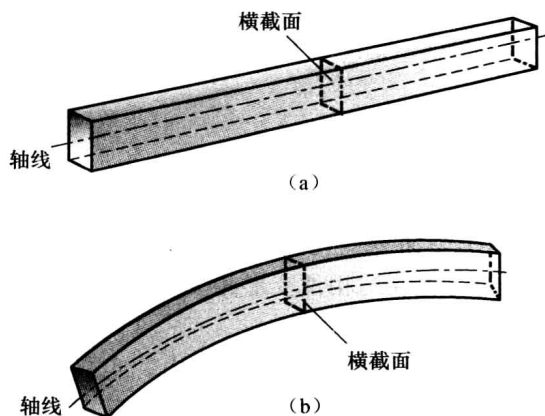


图 1.1

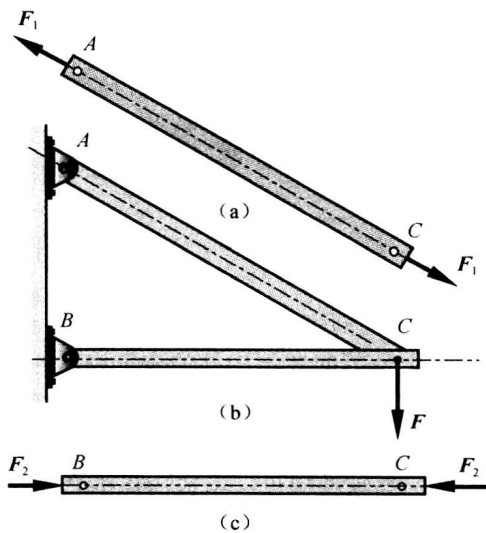


图 1.2

而 BC 杆受到轴向压缩(图 1.2(c))。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸的活塞杆、压缩机挺杆等的变形,都属于轴向拉伸或压缩变形。材料力学中将受轴向拉伸或压缩的杆件称为**杆**。

2. 剪切

杆件受大小相等、方向相反,且相距很近的一对横向力(垂直于杆件轴线的力)作用,变形表现为杆件沿两横向力作用截面发生相对错动。图 1.3(a)所示铆钉连接,在一对横向力 F 作用下,铆钉受到剪切而沿 $n-n$ 面发生相对错动(图 1.3(b))。机械中常用的连接件,如键、销钉、螺栓等都产生剪切变形。

3. 扭转

杆件受一对绕轴线的外力偶作用,变形表现为各横截面绕轴线发生相对转动。图 1.4 所示的传动轴,在外力偶作用下发生扭转变形。汽车的凸轮轴、电机和水轮机的主轴等,它们在工作状态下产生的变形主要是扭转变形。材料力学中,将承受扭转变形的杆件称为**轴**。

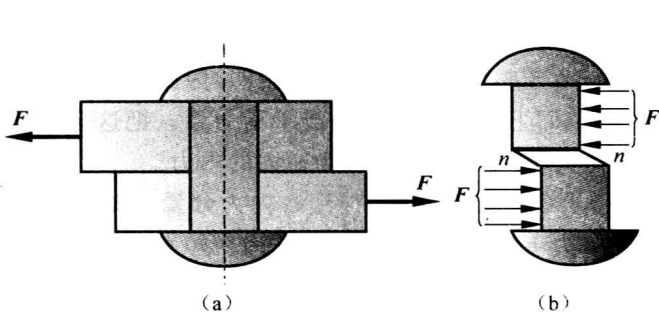


图 1.3

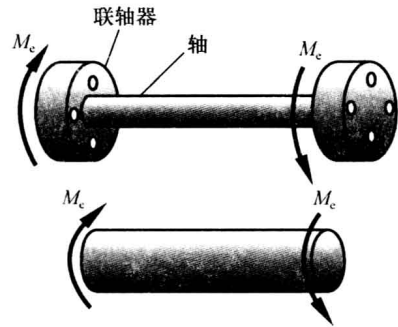


图 1.4

4. 弯曲

杆件受垂直于杆轴线的横向力或位于包含杆轴线的纵向平面内的力偶作用,变形表现为杆件的轴线由直线弯曲为曲线。图 1.5(a)所示的火车轮轴,在重力载荷的作用下,发生弯曲变形(图 1.5(b))。桥梁和厂房中的行车大梁、车床主轴以及车刀等,它们在工作状态下产生的变形主要是弯曲变形。材料力学中,将承受弯曲变形的杆件称为**梁**。

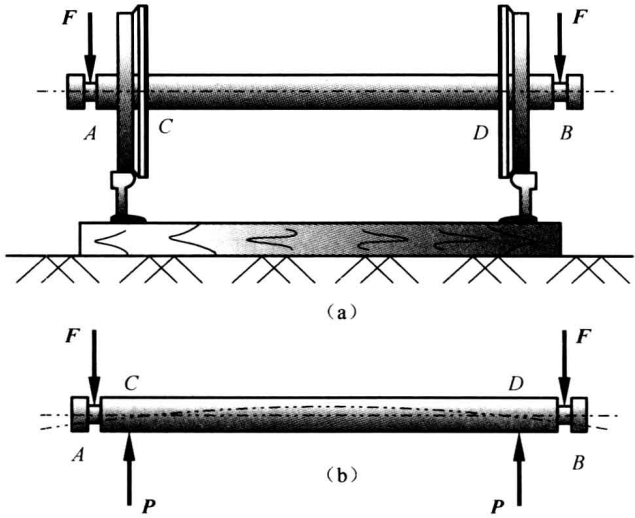


图 1.5

还有一些杆件在工作时同时发生几种基本变形,这称为组合变形。例如,车床主轴工作时将同时发生弯曲、扭转和压缩三种基本变形,钻床立柱同时发生拉伸和弯曲两种基本变形。本书中,首先依次研究四种基本变形的强度及刚度计算,然后再研究组合变形。

1.4 截面法、内力和应力

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。材料力学中的内力是指,当受到外力作用而发生变形时,物体内部各部分之间产生的附加相互作用力,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,当内力超过某一临界值时,构件就会发生破坏。所以,要研究构件的承载能力,首先需要研究和计算内力。

图 1.6(a)所示受力杆件,为了要确定其某横截面的内力,可假想地用一平面在该处将杆件截开,将其分为 A、B 两部分(图 1.6(b)),两部分在截开处的截面上均存在一分布内力系,且两部分对应点上的内力互为作用力和反作用力。由于整个杆件处于平衡状态,因此截开的两个部分也是平衡的,作用在每部分上的外力与所截截面上的分布内力组成平衡力系。把这个分布内力系向截面上某一点(如形心)简化后得到的主矢 $\mathbf{F}_R$ 和主矩 $\mathbf{M}$,称为截面的内力。

为了便于分析,通常把主矢 $\mathbf{F}_R$ 和主矩 $\mathbf{M}$ 沿各坐标轴分解,得到各内力分量。图 1.6(c)所示的内力主矢在三个坐标轴上的分量分别为轴力 F_N 、剪力 F_{Sy} 和 F_{Sz} ,内力主矩在三个坐标轴上的分量分别为扭矩 T 、弯矩 M_y 和 M_z 。

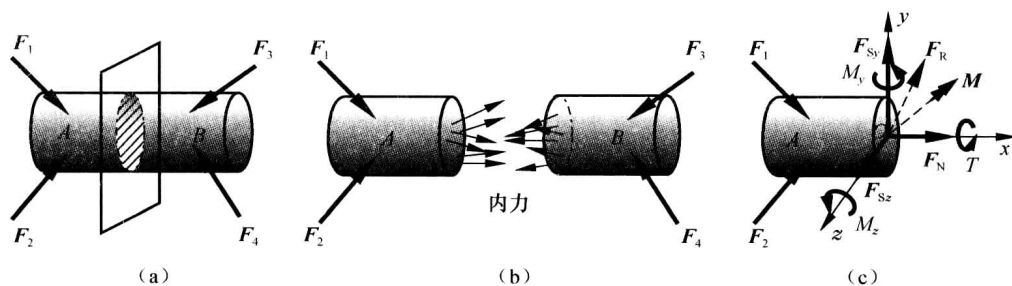


图 1.6

上述假想地用一平面把构件沿某一截面分成两部分,以显示并确定内力的方法称为截面法。可将该方法归纳为以下三个步骤。

(1) 截开:沿欲求内力的截面处将构件分成两部分,任取其中一部分作为研究对象,称为分离体。

(2) 代替:用内力代替舍去部分对留下部分的作用。

(3) 平衡:建立静力平衡方程并求解,确定内力分量。

例 1.1 求图 1.7(a)所示支架中 AB 杆和 BC 杆的内力。

解 为了求杆 AB 和 BC 中的内力,假想地沿两杆的横截面 1-1 及 2-2 截开支架,然后取支架的下部(包含铰接点 B 的部分)为分离体。去除部分对分离体的作用力用内力 $\mathbf{F}_{N1}$ 和 $\mathbf{F}_{N2}$ 代替,如图 1.7(b)所示。根据图示坐标系,由平衡方程

$$\sum F_y = 0, \quad F_{N1} \sin\theta - F = 0$$

$$\sum F_x = 0, \quad -F_{N1} \cos\theta - F_{N2} = 0$$

求得内力 F_{N1} 和 F_{N2} 分别为

$$F_{N1} = \frac{F}{\sin\theta}$$

$$F_{N2} = -\frac{F}{\tan\theta}$$

式中,负号表示内力 F_{N2} 与图中假设的方向相反。

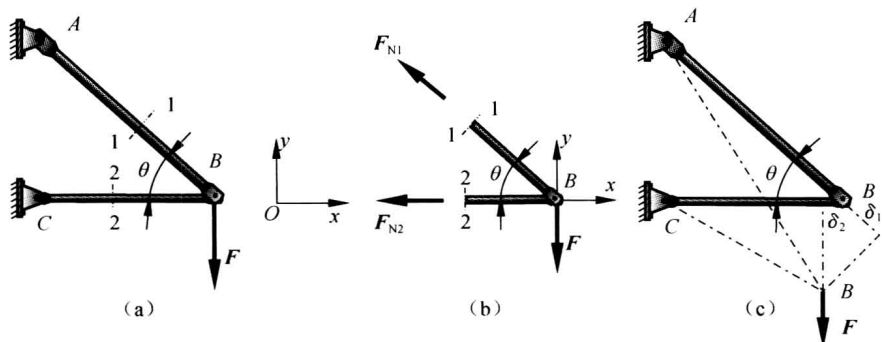


图 1.7

一般,可以假设杆件的变形与杆件的尺寸相比非常小(如例 1.1 中 δ_1 和 δ_2 远小于杆长)。这样,在用静力平衡方程求支座反力和内力时,可以直接采用结构原有的尺寸而忽略其变形,从而大大简化分析过程,此假设称为小变形假设。

例 1.2 图 1.8(a)所示折杆 ABC,外力 F 平行于 x - y 平面。求横截面 D 上的内力。

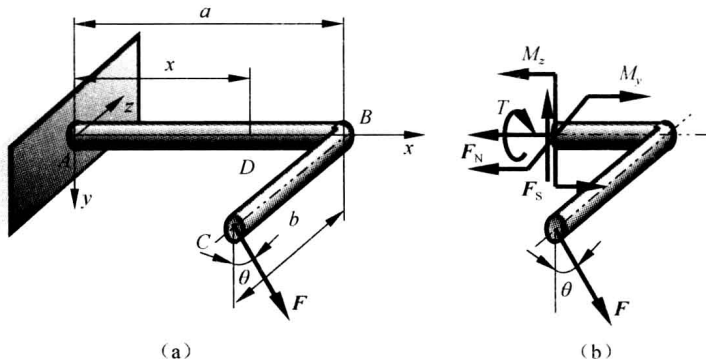


图 1.8

解 取图 1.8(b)所示分离体 DBC ,在其 D 截面上画出了可能存在的内力,对分离体建立相关的静力平衡方程,有:

由 $\sum F_x = 0$, $-F_N + F\sin\theta = 0$, 得到 $F_N = F\sin\theta$;

由 $\sum F_y = 0$, $F_S - F\cos\theta = 0$, 得到 $F_S = F\cos\theta$;

由 $\sum M_x = 0$, $-T + Fb\cos\theta = 0$, 得到 $T = Fb\cos\theta$;

由 $\sum M_y = 0$, $M_y - Fb\sin\theta = 0$, 得到 $M_y = Fb\sin\theta$;

由 $\sum M_z = 0$, $-M_z + F(a-x)\cos\theta = 0$, 得到 $M_z = F(a-x)\cos\theta$ 。

其中, F_N 为轴力, F_S 为剪力, M_y 、 M_z 为弯矩, T 为扭矩。

下面介绍应力的概念。考虑图 1.6(b)所示分离体,在其截面上围绕点 M 取微小面积 ΔA (图 1.9(a)),作用在 ΔA 上的分布内力的合力为 ΔF ,则 ΔF 与 ΔA 的比值为内力在面积 ΔA 上的平均集度,用 p_m 表示,即

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \tag{1.1}$$

式中, p_m 称为 ΔA 上的平均应力。一般来说,内力在截面上的分布是不均匀的,因此平均应力 p_m 将随所取 ΔA 的大小而不同。为了反映内力在点 M 的强弱程度,可令 ΔA 趋于零,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \tag{1.2}$$

式中, p 为截面上点 M 处的内力集度,称为该截面上点 M 处的总应力。

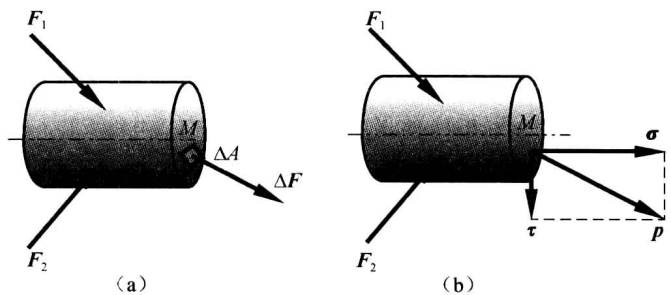


图 1.9

p 是一个矢量,通常将其分解为与截面垂直的法向分量 σ 和与截面相切的切向分量 τ (图 1.9(b))。 σ 称为正应力, τ 称为切应力。应力的单位是 Pa(帕斯卡), $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} = 1\text{N/mm}^2$ 。

1.5 变形和应变

物体受力后,各质点的位置要发生相应的变化,即产生位移,同时还要引起物体形状发生改变,即产生变形。为了研究构件内各点的变形情况,可设想将构件分割成许多微小正六面体,这种微元体称为单元体(图 1.10)。

以平面问题为例,从被考察的物体内部选取一单元体 $ABCD$,物体受力后该单元体发生位移和变形,成为 $A'B'C'D'$,如图 1.11(a)所示。

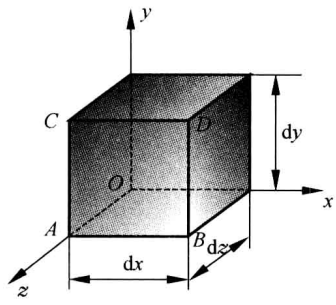


图 1.10

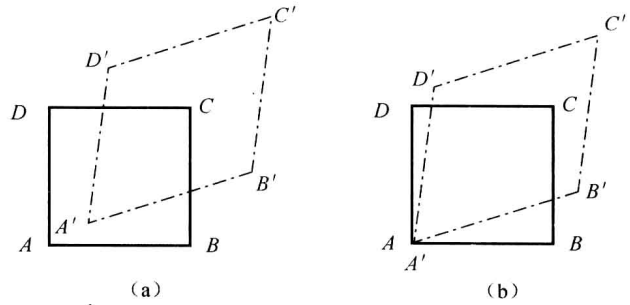


图 1.11

单元体由原始位置和形状 $ABCD$ 变为 $A'B'C'D'$,这其中包含了单元体的刚体位移和单元体变形。去除刚体位移后,得到图 1.11(b)所示单元体的变形图。单元体的变形包括:单元体边长的改变和单元体相邻边夹角的改变。

定义 x 方向 (AB 边) 的变形为

$$\Delta l_x = \overline{A'B'} - \overline{AB} \quad (1.3)$$

单位长度的变形为

$$\epsilon_x = \lim_{\overline{AB} \rightarrow 0} \frac{\overline{A'B'} - \overline{AB}}{\overline{AB}} \quad (1.4)$$

称为 A 点处沿 x 方向的线应变, 又称为正应变。同理, 可定义 A 点处沿 y 方向线段 $\overline{AD}$ 的变形 Δl_y 和线应变 ϵ_y , 即

$$\Delta l_y = \overline{A'D'} - \overline{AD} \quad (1.5)$$

$$\epsilon_y = \lim_{\overline{AD} \rightarrow 0} \frac{\overline{A'D'} - \overline{AD}}{\overline{AD}} \quad (1.6)$$

x 及 y 方向微线段 $\overline{AB}$ 和 $\overline{AD}$ 的夹角变为 $\angle B'A'D'$, 减少了 $(\angle D'AD + \angle B'AB)$, 定义 A 点处的切应变

$$\gamma_{xy} = \lim_{\substack{\overline{AB} \rightarrow 0 \\ \overline{AD} \rightarrow 0}} \left(\frac{\pi}{2} - \angle B'A'D' \right) = \lim_{\substack{\overline{AB} \rightarrow 0 \\ \overline{AD} \rightarrow 0}} (\angle D'AD + \angle B'AB) \quad (1.7)$$

由式(1.4)、式(1.6)和式(1.7)的定义可知, 线应变以相应方向的线段伸长为正、缩短为负; 当 x 及 y 方向微线段之间的夹角减小时, 切应变为正, 反之为负。线应变和切应变都是无量纲量, 切应变通常用弧度(rad)表示。

1.6 材料力学的分析模型

如前所述, 材料力学的主要任务是研究构件的强度、刚度和稳定性问题。因此, 对于工程中的实际机械零部件和结构元件, 如何将其简化为材料力学的分析模型, 是进行强度、刚度和稳定性分析的基础。

材料力学的模型简化, 关键有两点: 一是要抓住问题的物理本质, 即要分清主次, 抓住本质和主流, 略去不重要的细节, 使其能够比较准确、真实地反映受力和变形情况; 二是简化模型, 使其简单, 便于用材料力学或其他力学方法进行分析。

例 1.3 图 1.12(a) 所示带有牛腿的矩形截面立柱承受屋架重量和吊车梁载荷, 试建立立柱的分析模型。

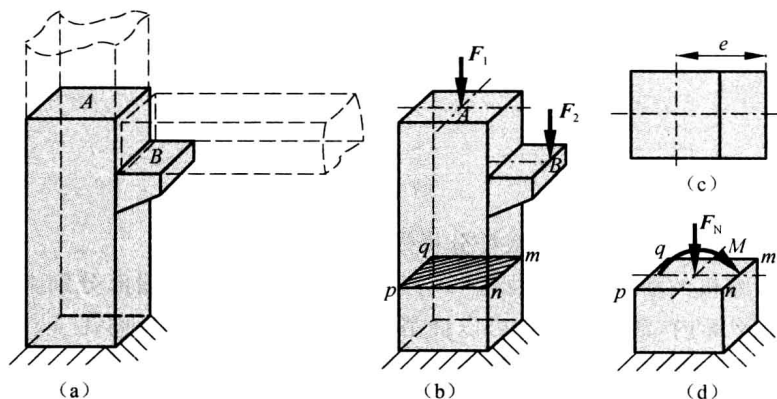


图 1.12

解 在建筑结构中,立柱结构常用于支撑建筑物及附属结构的重量。图 1.12(a)所示的带有牛腿的矩形截面立柱,屋架重量载荷以均布载荷的形式作用在矩形截面立柱上表面,其合力为 F_1 ;由于吊车梁载荷在牛腿 B 上表面的分布较为复杂,从安全角度考虑,可认为其以集中力的形式作用在牛腿 B 上表面的外边缘,如图 1.12(b)所示。

为了研究立柱任意截面($mnpq$ 截面)的内力,通常需将各种载荷向该截面形心简化。假设牛腿边缘到立柱形心的距离(偏心距)为 e ,如图 1.12(c)所示。将 F_1 和 F_2 向 $mnpq$ 截面形心简化,得到 $mnpq$ 截面上的内力,如图 1.12(d)所示,其中轴力 $F_N = F_1 + F_2$,弯矩 $M = F_2 e$ 。

例 1.4 建立图 1.13(a)所示传动轴受横向载荷时的分析模型(通常传动轴同时受扭转和横向载荷作用,此处仅考虑横向载荷作用下的分析模型)。

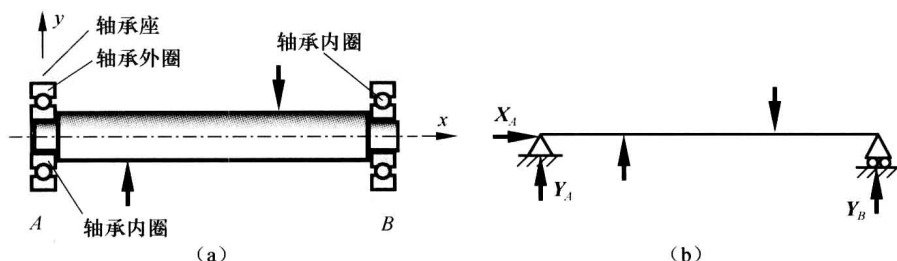


图 1.13

解 图 1.13(a)所示传动轴,两端由球轴承支撑。轴承内圈与传动轴之间、轴承外圈与轴承座之间通常为过渡或过盈配合。

由于轴承加工公差以及工作时的摩擦磨损,钢珠与内、外圈之间有微小的间隙,因此球轴承不能限制轴在 $x-y$ 平面内的微小转动,故通常将其简化为铰支约束。同理,球轴承虽然也不能限制轴沿轴线方向的微小移动,但一旦产生移动,钢珠的向心力就会阻止其进一步移动。因此,可将传动轴的一端轴承简化为固定铰支约束,另一端简化为光滑铰支约束(图 1.13(b))。

类似地,图 1.14(a)所示起重行车的导轨结构,或图 1.14(b)所示的桥梁结构,都可以简化为左、右侧支承分别为固定铰支和光滑铰支约束,如图 1.14(c)所示。

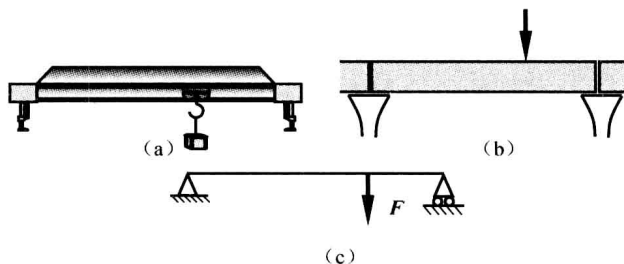


图 1.14

例 1.5 建立活塞式压缩机的活塞杆分析模型。

解 活塞式压缩机的活塞杆简图如图 1.15(a)所示,活塞杆两端部分别通过销轴与活塞和曲轴连接。在 $x-z$ 平面内,活塞杆两端可以绕销轴转动(图 1.15(b));而在 $y-z$ 平面内,由于销轴的约束,活塞杆两端部在此平面内不能转动,但可上、下滑动(图 1.15(c))。

工作时,旋转的曲轴通过销轴带动活塞杆进而推动活塞上、下运动。与活塞杆所受的工作载荷相比,活塞杆与销轴等之间的摩擦力较小,分析时可以忽略。由于忽略了摩擦力,因此在

$x-z$ 平面内活塞杆两端可简化为铰支座,其受力简图如图 1.15(d)所示。而在 $y-z$ 平面内,由于活塞杆两端部是不能转动但可上、下滑动,其受力简图如图 1.15(e)所示。

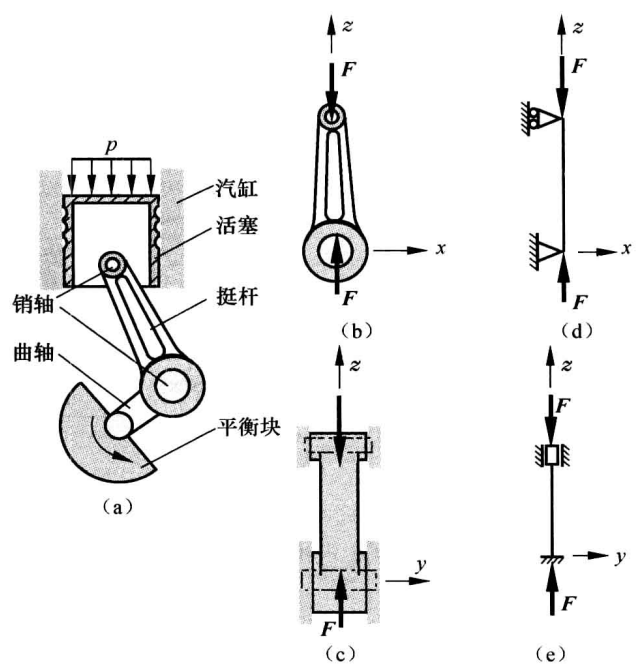


图 1.15

例 1.6 单位长度重量为 q 的长钢条放置在水平刚性平面上,钢条的一端伸出水平面一小段 CD ,其长度为 a ,如图 1.16(a)所示。试建立钢条的分析模型。

解 由于钢条自重的作用,外伸于刚性平面外的钢条 CD 段必将下垂,从而导致 BC 段上拱。由于钢条 B 、 C 点均不能沿垂直方向向下移动,但可转动,故可绘制出如图 1.16(b)所示的受力简图。

在图 1.16(b)中,上拱段 BC 的长度 l 尚未确定。由于钢条变形后其轴线是光滑连续的,上拱段 BC 的左侧段 AB 始终紧贴在水平面上,因此钢条轴线在 B 点的切线斜率等于零,利用此条件,待阅读完第 6 章之后,读者可以自己确定长度 l 的值。

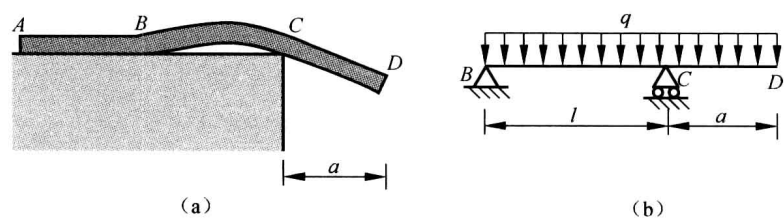


图 1.16

分析模型的合理与否,直接关系到最后分析结果的精度和可靠性。要建立合理的分析模型,除了要有材料力学等相关知识外,还需对工程实际结构的工作原理有比较深入的了解。通过上述例子,希望读者能够举一反三,正确建立常见机械零部件和工程结构元件的分析模型。

在学习材料力学过程中,要正确理解基本概念,注意各力学量的物理意义和有关公式的适用