



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



简明材料力学 (第2版)

徐鹏 等编著

- 精品课程配套教材
- 采用国家最新标准
- 配套习题、答案、课件等教学资源
- 教学资源请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费获取



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

简明材料力学

(第2版)

徐 鹏 薛春霞 高经武

关学锋 郝铁生 张建军

编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是参考教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会 2008 年编制的“理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求(试行)(B)”编著的。通过对材料力学原有知识结构体系的优化,本教材精选了材料力学的基本知识内容,系统介绍了杆件的内力、应力强度、变形刚度、稳定性、动载荷、能量法、超静定问题的基本概念和基本方法。

本教材适合机械类、近机械类专业本、专科生使用,学时为 48~64 学时,也可供类似专业高等职业教育的学生使用,结合网络资源也可供成人业余教育和网络教育使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

简明材料力学/徐鹏等编著. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2016.1

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

ISBN 978-7-121-27862-4

I. ①简… II. ①徐… 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(2015)第 304132 号

策划编辑:李 洁

责任编辑:刘真平

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:409.6 千字

版 次:2011 年 6 月第 1 版

2016 年 1 月第 2 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

第2版前言

《《《《 PREFACE

本书初版于 2011 年出版，被国内多所高校选用，曾获得 2013 年度兵工高校优秀教材奖。

第 2 版保持了第 1 版的体系和风格，在培养学生力学应用能力上具有显著的导向性和创新性，坚持理论严谨、体系完整、逻辑清晰、难易适度、易教易学的原则。结合教材使用教师 and 学生的意见，对其进行了修订。

在本版中，我们对全书的内容和个别表达语句进行了必要的增删和修改，也修订了第 1 版中的一些印刷错误。本版注意不同章节的符号、例题、习题的一致性，有重点地增加了一些习题，以增加教师的选择性；替换了一些工程实际图片；在超静定部分增加了扭转超静定的内容，删减了第八章和附录 A 的部分习题。

本版教材由中北大学力学系编著，由徐鹏主编，薛春霞、高经武、关学锋、郝铁生、张建军编著。其中第一章、第二章、附录 C 由徐鹏编著；第三章由薛春霞编著；第四章、第七章、附录 B 由关学锋编著；第五章、第九章由郝铁生编著；第六章由高经武编著；第八章和附录 A 由张建军编著。全书由徐鹏统稿。

本书虽然经过修改，但限于我们的水平和条件，缺点和错误仍在所难免，衷心希望大家给予批评指正，使本书得以不断提高和完善，也不断提高我们的教学水平。

编著者
2015 年 7 月

第1版前言

《《《《 PREFACE

材料力学作为机械类、近机械类专业本、专科生直接面向工程设计的重要技术基础课程,历来受到重视。近年来,各级各类高等学校材料力学课程教学的总学时都在减少,而后续专业课程对材料力学课程的各种要求却没有降低,另外应用型人才、复合型人才培养对材料力学的教学也提出了新的更高的要求,这都对材料力学课程传统教学模式和教材内容提出了现实的问题:学时减少,难度降低,但对内容的系统性和覆盖面却提出了较高的要求。编写出版一种《材料力学》教材,既能适应学时减少的当前形势,又能满足后续课程对材料力学教学的基本要求,还能考虑到学生继续学习力学类课程的内容和方法需求,成为目前材料力学教学面临的新问题。

本教材根据机械类、近机械类的专业特点,构建了层次分明的材料力学各部分教学内容之间的关系,优化了教学内容。本教材打破传统材料力学教材的固定编排模式,采取工程问题设计和制造流程的思路编写教材,将传统的材料力学按杆的变形进行分章编排,采用基本变形加组合变形的模式,四种基本变形均使用外力、内力、应力强度、变形刚度的循环过程,改为按内力、应力、变形进行分章编排,另外将以往教材在各章分散出现的内容集中起来,从而使体系更合理、内容更精练。

随着有限元模拟和其他数值计算商业软件的不断完善和应用,材料力学教学的重点不再强调复杂、烦琐的计算过程和计算方法,在掌握基本概念、方法的基础上,培养学生较强的力学建模能力是当前材料力学教学中应大力关注的。利用典型工程实际问题的分析过程,通过设置一些力学建模问题,增强学生对力学的发散性思维能力,是编写此教材的出发点之一。本教材注重通过工程实际问题提炼材料力学模型,引出力学理论,从而增强学生力学建模的能力和准确分析计算的能力。

在习题设置方面,注重开发学生的发散性思维,习题结构多样性,每章设计灵活多样的判断题、选择题、填空题和计算题。结合工程图片,设计了一些定性分析的题目,以培养学生力学建模和分析工程实际问题的能力;关键词汇给出英语解释,加大学生的专业外语词汇量。另外本教材配有多媒体课件,方便教师授课和学生自学。

本教材由中北大学力学系编著,由徐鹏主编,关学锋、郝铁生、张建军编著。其中第一章到第三章、第六章、附录C由徐鹏编著;第四章、第七章、附录B由关学锋编著;第五章、第九章由郝铁生编著;第八章和附录A由张建军编著。书中插图由研究生刘飞同学和关学锋、张建军绘制。

衷心希望读者就本教材的内容进行交流,并对教材中的不足给予批评指正。电子邮箱:ncitlpx@nuc.edu.cn.

编 者
2011年6月

目录

CONTENTS

第一章 绪 论

第一节 引言	1	第四节 杆件的內力分量与变形的基本形式	7
第二节 变形固体的基本假设	3	习题 A	8
第三节 外力、內力、应力与应变	4	习题 B	9

第二章 杆件內力分析

第一节 轴向拉压变形的內力分析	11	第五节 组合变形的內力分析	21
第二节 扭转变形的內力分析	13	总结与讨论	23
第三节 弯曲变形的內力分析	15	习题 A	24
第四节 弯矩、剪力与载荷集度之间的微分关系	20	习题 B	25

第三章 直接实验强度条件下杆件应力和强度分析

第一节 杆件轴向拉压变形时的应力	29	第七节 提高梁弯曲强度的措施	54
第二节 材料的力学性能与失效判据	31	第八节 斜弯曲及拉压弯曲组合时强度分析	58
第三节 剪切与挤压的实用强度分析	38	总结与讨论	62
第四节 圆轴扭转时应力和强度分析	41	习题 A	62
第五节 非圆截面杆扭转	46	习题 B	64
第六节 细长梁弯曲时应力和强度分析	48		

第四章 杆件变形分析

第一节 杆件轴向拉压变形	69	第五节 提高梁弯曲刚度的措施	85
第二节 圆轴扭转变形	73	总结与讨论	86
第三节 积分法求梁弯曲变形	75	习题 A	86
第四节 叠加法求梁弯曲变形	80	习题 B	87

第五章 能 量 法

第一节 概述	91	第五节 互等定理	102
第二节 外力功与杆件的弹性变形能	91	总结与讨论	104
第三节 莫尔定理及其应用	96	习题 A	104
第四节 图形互乘法	100	习题 B	106

第六章 复杂应力状态分析及强度理论

第一节 应力状态分析实例	109	第六节 强度理论	118
第二节 平面应力状态分析	111	第七节 扭转与其他变形的组合	123
第三节 三向应力状态简介	115	总结与讨论	127
第四节 广义胡克定律	116	习题 A	127
第五节 复杂应力状态的应变能密度	117	习题 B	129

第七章 受压杆件的稳定性设计

第一节 压杆稳定的概念	133	第五节 提高压杆稳定性的措施	146
第二节 细长压杆的临界压力	135	总结与讨论	148
第三节 临界应力总图	138	习题 A	148
第四节 压杆的稳定性设计	141	习题 B	150

第八章 动载荷与交变应力

第一节 概述	152	第六节 影响构件持久极限的因素	164
第二节 构件受加速度作用时的动应力	153	第七节 构件疲劳强度计算	168
第三节 构件受冲击时的动应力计算	156	总结与讨论	169
第四节 疲劳破坏及其特点	161	习题 A	170
第五节 材料的持久极限	162	习题 B	172

第九章 超静定结构

第一节 概述	176	第五节 对称性在超静定分析中的应用	192
第二节 拉压杆及圆轴扭转超静定问题	178	总结与讨论	195
第三节 简单超静定梁的解法——变形比较法	185	习题 A	196
第四节 用力法解超静定问题	187	习题 B	197

附录 A 平面图形的几何性质

A.1 形心和静矩	201	五、简单图形的几何性质	206
一、形心	201	六、组合图形的几何性质	207
二、静矩	201	A.3 平行移轴公式	208
三、组合图形的形心和静矩	202	A.4 转轴公式与主惯性矩	210
A.2 惯性矩和惯性积	204	一、转轴公式	210
一、惯性矩	204	二、主惯性轴和主惯性矩	211
二、惯性半径	205	三、形心主惯性轴和形心主惯性矩	211
三、极惯性矩	205	习题 A	213
四、惯性积	205	习题 B	213

附录 B 型钢表

附录 C 典型问题有限元模拟结果

一、有限单元法简介	234	二、问题描述及结果分析	234
-----------	-----	-------------	-----

习题答案

参考文献

第一章 绪 论

第一节 引言

工程中广泛使用着各种机械和结构。组成机械和结构的元件称为**构件**。构件的形状繁多，材料力学所研究的主要构件从几何上多抽象为**杆**(bar)，它是纵向(长度方向)尺寸远比横向(垂直于长度方向)尺寸要大得多的构件。传动轴、梁、柱等都可抽象为杆。杆有两个主要几何因素，即横截面和轴线。前者是指直杆沿垂直于其长度方向的截面，后者则是指所有横截面形心的连线，图 1-1 (a) 所示为直杆，图 1-1 (b) 所示为曲杆。

构件在工作时都要承受各种载荷作用。因此，为了保证构件能安全可靠地工作，要求它必须具有足够的承载能力。在材料力学中，衡量构件是否具有足够的承载能力，是从以下三个方面来考虑的。

(1) **强度**(strength): **强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力**。构件工作时绝不允许发生破坏。例如，机床主轴因荷载过大而断裂时，整个机床就无法使用；桥梁也会因荷载过大而发生破坏。所以要求构件必须具有足够的强度。图 1-2 所示为输电塔因雪灾而造成的强度失效。图 1-3 所示为曲轴疲劳失效示例。图 1-4 所示为主减速器齿轮副损坏(打齿)。

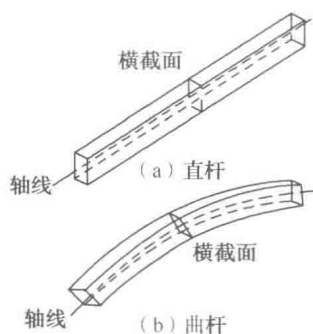


图 1-1 杆



图 1-2 强度失效



图 1-3 曲轴疲劳失效示例

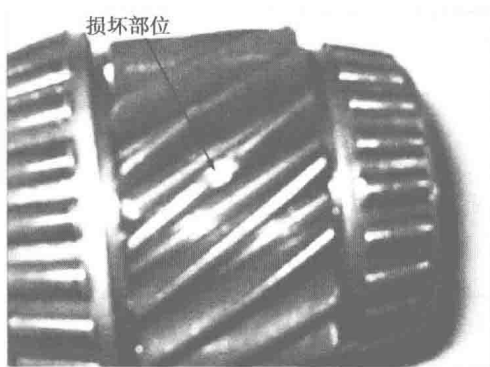


图 1-4 齿轮副损坏

（2）**刚度 (rigidity)**：**刚度是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力。**在载荷作用下，构件形状和尺寸的变化称为变形。构件即使有足够的强度，但如果在载荷作用下产生的变形过大，也不能正常工作。例如，齿轮的变形过大时，会使齿轮啮合不良和轴承不均匀磨损，引起噪声；机床主轴变形过大就会降低加工精度（如图 1-5 所示），钻床立柱刚度不足将影响加工孔的垂直度（如图 1-6 所示）。所以对构件工作时产生的变形应有一定的要求，即要求构件必须具有一定的刚度。但有的时候，需要降低构件的刚度，以达到一定的工程目的。例如，汽车的钢板弹簧（如图 1-7 所示）就是在满足强度的前提下，降低其刚度，从而实现减振缓冲的效果。

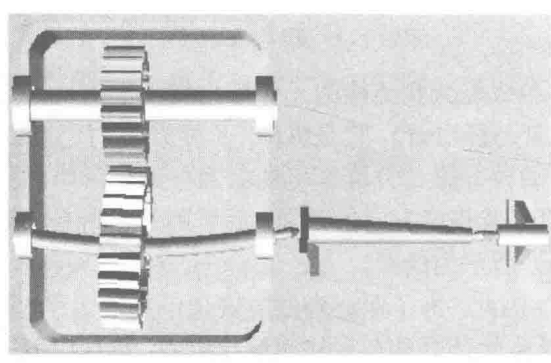


图 1-5 齿轮轴刚度不足示例

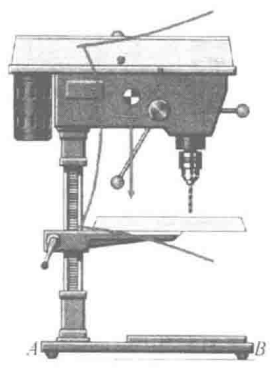


图 1-6 钻床立柱刚度不足示例

（3）**稳定性 (stability)**：**稳定性是指构件在载荷作用下保持原有平衡形态的能力。**有些受压的细长直杆，当压力不大时，构件能保持原来直线平衡形态。若压力超过某一临界值，构件会突然变弯而丧失了承载能力，这种现象称为丧失稳定性（失稳）（如图 1-8 所示）。工程中如房屋承重的立柱、千斤顶的螺杆都是这样。因此要求构件具有足够的保持原有平衡形态的能力，即要求构件有足够的稳定性。

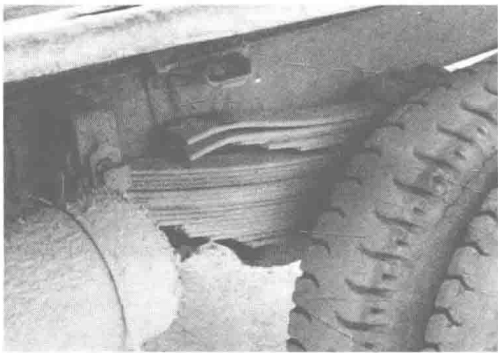


图 1-7 汽车的钢板弹簧

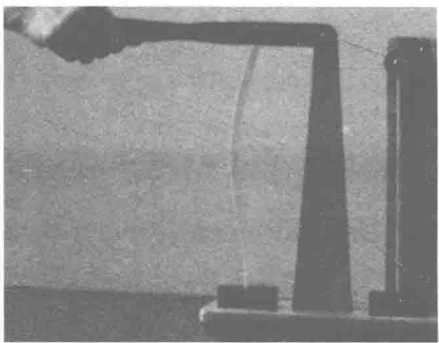


图 1-8 丧失稳定性示例

使构件更加安全可靠地工作是必需的，但同时也要控制成本，注意设计的经济性。材料力学的任务就是在既安全又经济的条件下，使构件满足强度、刚度和稳定性的要求，为其选择适宜的材料，确定合理的截面形状和尺寸，为构件的设计提供理论基础和计算方法。

构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性能有关。材料的力学性能要由实验来测定；材料力学中许多理论分析和计算的结果，需要实验的验证；一些难以进行理论分析的问题，须借助实验方法来解决。所以材料力学的实验研究与理论分析同等重要，它们互相补充，相辅相成，都是解决问题的重要手段。

第二节 变形固体的基本假设

由于生产、机械加工、施工等各个环节因素的影响,制成构件的实际材料与理论计算存在一定偏差。为了研究简便,常把与问题无关或影响不大的次要因素忽略,仅保留主要因素,即对事物做出一些假设,把问题抽象化、理想化,再进行分析研究。材料力学对构成构件的变形固体做如下几个基本假设。

1. 连续性假设

连续性假设认为组成变形固体的物质毫无空隙地充满了变形固体的几何空间。实际上组成固体的粒子之间是有空隙的、是不连续的。但粒子之间的空隙与构件的尺寸相比极其微小,在宏观的讨论中,可以忽略不计。例如,球墨铸铁中的球墨团(如图 1-9 所示)、微小气泡孔洞、混凝土中的孔洞等与这些构件的宏观尺寸相比,要小好几个数量级,所以在进行强度、刚度等分析时,可以忽略这些内部缺陷。

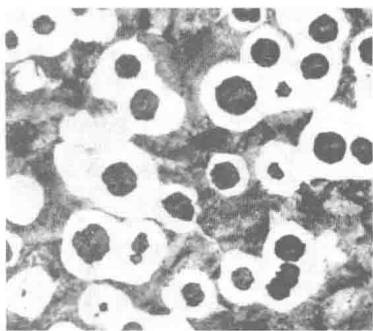


图 1-9 球墨铸铁的显微组织

需要引入这个假设的另一个原因是,材料力学中需要采用高等数学中的求导、积分等来定义一些力学量或进行相关计算。而求导、积分通常要求函数是连续的,需要用坐标的连续函数来表示它们的变化规律。

2. 均匀性假设

均匀性假设认为在变形固体所占的空间内,各处的力学性能完全相同,即同一物体中各部分材料的力学性质不随位置坐标而改变。就工程中使用最多的金属(如图 1-10、图 1-11 所示)来说,组成金属的每个晶粒的力学性能并不完全相同。但构件的某一部分中包含了无数多晶粒,而且它们无规则地排列着,在宏观领域内,其力学性能是各晶粒力学性能的统计平均值。

根据此假设,可以从构件中取出任意一小部分进行分析,然后将所得结果应用于整个构件。也可以把通过试样测得的材料的力学性能应用于构件任何部分。

3. 各向同性(Isotropic)假设

各向同性假设认为变形固体在各个方向上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。工程中常用的各种金属材料(铸钢、铸铜等)、塑料、混凝土和玻璃等都是各向同性材料。就金属单一晶粒而言,不同方向的力学性能是不同的。但构件内常包含着数量极多的

晶粒，而各晶粒又是杂乱无章地排列着的，所以各方向的性能就接近相同了。实验证明，按这种理想化的材料模型研究问题所得结论能很好地符合实际情况。即使应用于具有方向性的材料，也可以得到较满意的结果。

在各个方向上具有不同的力学性能的材料称为各向异性材料，如木材、轧制钢材、胶合板等。



图 1-10 普通钢材的显微组织

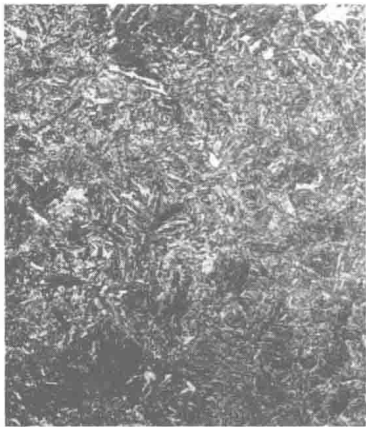


图 1-11 优质钢材的显微组织

4. 小变形假设

材料力学研究的问题，仅限于变形的大小远小于构件的原始尺寸，即小变形的情况。在小变形条件下，研究构件的平衡和运动时，可以忽略构件的变形，而按构件变形前的原始尺寸进行分析计算。这样可以使分析计算大大简化，而产生的误差很小，完全在工程允许范围之内。如图 1-12 所示构件 AB ，在载荷 P 作用下发生了变形， B 点移到 B' 点，水平位移为 Δ 。若 Δ 远小于杆长 l ，则属于小变形问题。在计算 A 处反力时，可以不考虑 Δ 的影响，仍然按构件原尺寸计算，即

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 \quad F_{Ax} = 0; \quad \sum F_y = 0 \quad F_{Ay} - P = 0; \quad \sum M_A = 0 \quad m_A + Pl = 0 \\ \text{得} \quad F_{Ax} = 0, \quad F_{Ay} = P, \quad m_A = -Pl \end{aligned}$$

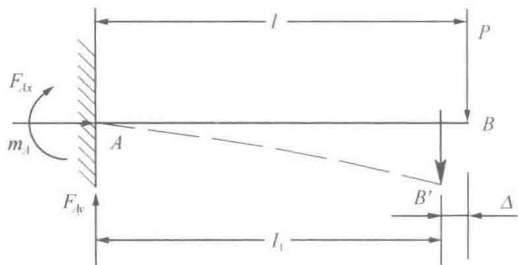


图 1-12 小变形假设

▣ 第三节 外力、内力、应力与应变

1. 外力 (external force)

作用于构件上的外力，按其作用方式可分为体力和面力。体力是连续分布在构件内部各点
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

处的力,如构件的自重和惯性力等,单位为 N/m^3 。面力是直接作用于构件内、外表面的力,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,如作用于船体上的水压力和作用于楼房墙壁上的风压力等,常用单位为 N/m^2 。对于杆件,认为分布力沿杆件的轴线作用,单位为 N/m ,如梁自重的影响、钢板对轧辊的作用力、楼板对屋梁的作用力等。若分布面积远小于物体的表面尺寸,如火车车轮对钢轨的压力、车刀对工件表面的作用力等,就可看成集中力。常用的单位为 N (牛顿)或 kN (千牛顿)。

2. 内力 (internal force)

构件在没有受到外力作用时,其内部各质点之间就存在着相互作用力,这是物体保持一定形状或容积的内在因素。构件受到外力作用后发生变形,内部任意两点之间因为相对位置改变而引起相互作用力的变化。这里所说的内力是指构件在外力的作用下,内部相互作用力的变化量,称为“附加内力”,简称“内力”。构件的内力随外力增加而增大,但增加到某一限度时,构件将发生破坏,所以内力是有限度的,这一限度与构件强度密切相关。

因为内力是在构件内部的,为了求某一截面上的内力,通常用假想截面沿指定位置将构件切开两部分,然后对其中任意一部分利用静力平衡方程求解内力分量,这种方法称为**截面法**。

截面法可以分为以下三个步骤。

(1) **截开**: 在所求内力的截面处,假想地用截面将杆件一分为二(如图 1-13 (a) 所示)。弃去任意一部分,保留另一部分作为研究对象。

(2) **代替**: 用力代替弃去部分对保留部分的作用(如图 1-13 (b) 所示)。

(3) **平衡**: 根据保留部分的平衡条件,求得截面上的内力。

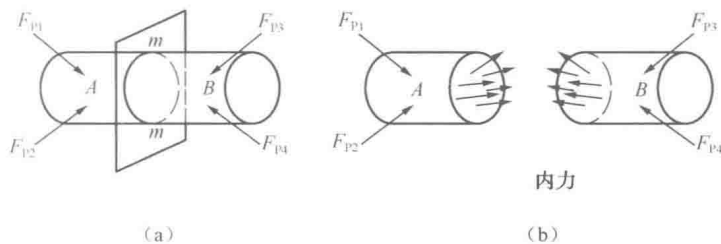


图 1-13 截面法

内力具有以下特征:

- (1) 是指定截面上的连续分布力系;
- (2) 与外力组成平衡力系(特殊情形下内力本身形成自相平衡力系)。

需要注意的是,虽利用静力平衡方程能够求解内力的数值,但不能得到内力在指定截面上的分布规律。

此外应特别注意,在使用截面法之前,不能对构件上的力系进行简化。

例 1-1 小型压力机的铸铁框架如图 1-14 (a) 所示,载荷 $F=1\text{kN}$,试求截面 $n-n$ 上的内力。

【解】 (1) 沿截面 $n-n$ 假想将框架切开成两部分,取上半部分为研究对象。选取截面 $n-n$ 的形心为坐标原点。

(2) 将下半部分对上半部分的作用以力代替,在截面 $n-n$ 形心处加上内力 F_N 和 M , F_N 为通过形心作用线与 y 轴重合的拉力, M 为对形心 O 的力偶矩。

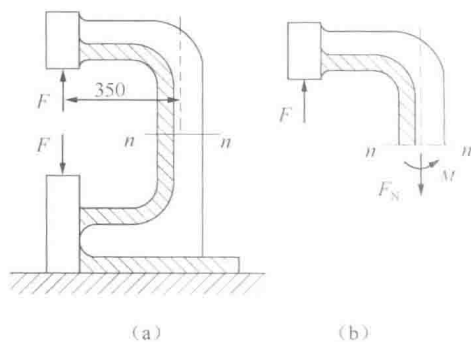


图 1-14 例 1-1 图

(3) 由保留部分的平衡条件

$$\sum F_y = 0, \quad F - F_N = 0; \quad \sum m_O = 0, \quad 0.35F - M = 0$$

求得内力为

$$F_N = F = 1 \text{ kN} \quad M = 0.35 \times 1 = 0.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3. 应力与应力状态

在前面介绍内力特征时, 提到内力是指定截面上的连续分布力系, 那么内力在某一截面上的分布如何呢? 下面就来研究这个问题。

在图 1-15 (a) 所示的受力构件的截面上, 围绕 k 点取一很小的面积 ΔA , ΔA 上分布内力的合力为 ΔP 。显然 ΔP 的大小和方向与 k 点的位置和 ΔA 的大小有关。在 ΔA 范围内, 单位面积的内力平均集度为

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-1)$$

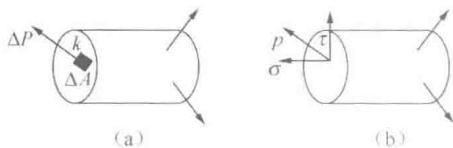


图 1-15 应力表示

式中, p_m 称为在 ΔA 上的平均应力, 是个矢量。一般情况下截面上的分布内力系不是均匀分布的, 平均应力 p_m 随所取 ΔA 的大小不同而不同。所以它还不能准确地说明内力在截面上 k 点处的强弱程度。当 ΔA 趋于零时, p_m 的大小和方向都趋于一定极限, 即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1-2)$$

式中, p 即为分布内力系在 k 点的集度, 称为截面上 k 点的**应力**。 p 是个矢量, 一般情况既不与截面垂直, 也不与截面相切。通过一点的不同方位截面上的应力一般并不相同。通过一点的所有不同方位截面上应力的全部情况, 称为该点处的**应力状态** (stress state)。根据工程实际中构件的失效类型, 通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ 。 σ 称为**正应力** (normal stress), τ 称为**切应力** (shearing stress), 它们都是矢量。应力的量纲是力/面积。在国际单位制中, 应力的单位是牛/平方米 (N/m^2), 称为帕斯卡或简称帕 (Pa)。由于这个单位太小, 通常使用的是兆帕, 即 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

4. 线应变与切应变

受到约束的构件发生变形时, 内部任意两点之间将产生相对位移。为了研究各点处的变形情况, 引入应变的概念, 来度量构件一点处的变形程度。通常围绕该点取一微小的六面体, 以微小六面体(单元体)的形状改变来度量构件某点的变形。一个六面体的变形可以分为两种: 各边的伸长或变短、平行面之间的相互错动引起直角的改变, 当只考虑 x 方向的线变形或 xy 平面内的角变形时, 将六面体投影到 xy 平面, 以上两种变形如图 1-16 (b)、(d) 所示。在图 1-16 中, 六面体沿 x 方向的长度为 Δx , 绝对变形为 Δu , 所以六面体沿 x 方向的相对变形为

$$\varepsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-3)$$

式中, ε_x 称为该点沿 x 方向的**线应变**。同理, 可定义 y 、 z 方向的线应变 ε_y 和 ε_z 。

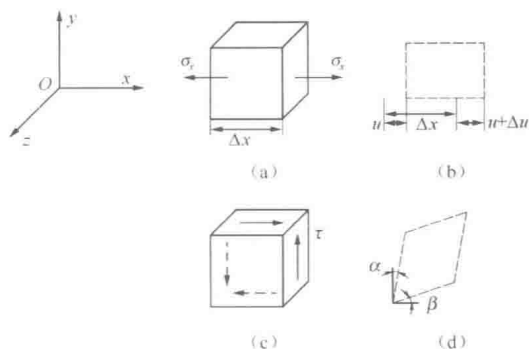


图 1-16 应变表示

定义 xy 平面内直角的相对改变量为

$$\gamma_{xy} = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} (\alpha + \beta) \quad (1-4)$$

式中, γ_{xy} 称为该点在 xy 平面内的**切应变**。同理, 可定义 yz 、 zx 平面内的切应变 γ_{yz} 和 γ_{zx} 。

线应变 ε 和切应变 γ 是度量一点处变形程度的两个基本量, 它们都是无量纲量。

第四节 杆件的内力分量与变形的基本形式

为了分析内力分量的一般形式, 沿杆件轴线建立 x 轴, 沿横截面建立 y 、 z 轴。将图 1-17 中截面上的分布内力系向截面形心简化, 得到一个力(主矢 F_R) 和一个力偶(主矩 M) (如图 1-17 (a) 所示), 然后将主矢和主矩沿三个坐标轴方向进行分解, 得到三个内力分量 F_{Nx} 、 F_{Sy} 、 F_{Sz} , 以及三个内力偶矩分量 M_x 、 M_y 、 M_z (如图 1-17 (b) 所示)。其中, 沿轴线的主矢分量 F_{Nx} 将使杆件产生轴向变形, 称为**轴力**。作用线位于所切横截面的主矢分量 F_{Sy} 、 F_{Sz} 将使杆件产生剪切变形, 称为**剪力**。作用面垂直于杆件轴线 x 的内力偶矩分量 M_x 将使杆件产生绕杆轴的扭转变形, 称为**扭矩**(记为 T); 作用面垂直于轴 y 、 z 的内力偶矩分量 M_y 、 M_z 将使杆件产生弯曲变形, 称为**弯矩**。

当杆件横截面的内力分别存在轴力、剪力、扭矩、弯矩和剪力时, 杆件将只发生轴向拉伸或压缩变形(如图 1-18 所示)、剪切变形(如图 1-19 所示)、扭转变形(如图 1-20 所示)、平面弯

曲变形（如图 1-21 所示）等基本变形。当横截面存在两个或两个以上的内力分量时，杆件将发生组合变形。

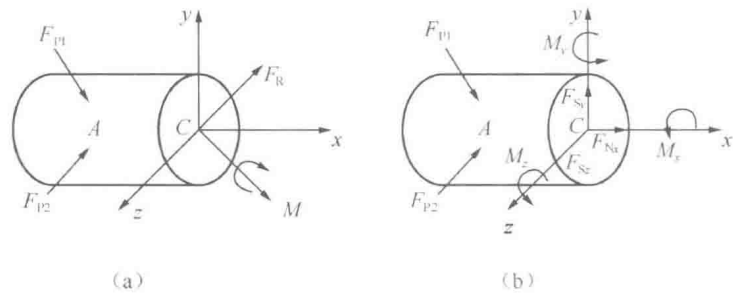


图 1-17 内力分量



图 1-18 轴向拉伸或压缩

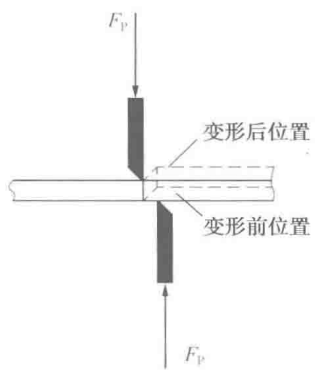


图 1-19 剪切

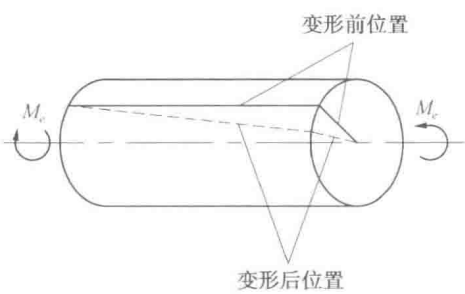


图 1-20 扭转

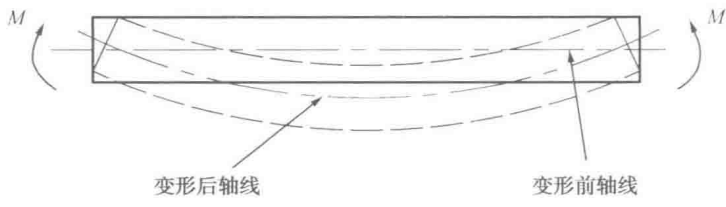
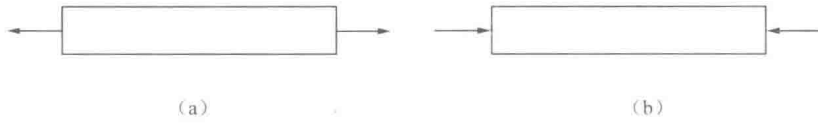


图 1-21 平面弯曲

习题 A

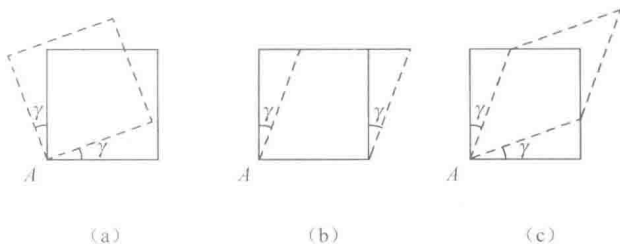
- 1-1. 试就日常生活及工程实际中关于构件的强度、刚度和稳定性各举一个例子。
- 1-2. 试考虑在变形体力学中，能否将题 1-2 图中的力系进行如下等效：将（a）等效为（b）。



题 1-2 图

1-3. 材料力学对变形固体做了哪些基本假设？假设的根据是什么？理论力学中的绝对刚体假设在材料力学中能否使用？

1-4. 题 1-4 图所示各单元体，变形后形状用虚线表示。指出各单元体点的切应变是多少。



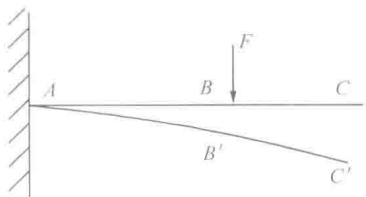
题 1-4 图

1-5. 题 1-5 图所示悬臂梁，初始位置为 ABC ，受作用力 F 后移到 $AB'C'$ ，试问：

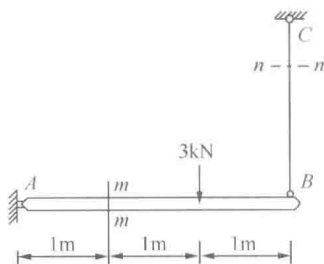
(1) 两段是否都产生位移？ (2) 两段是否都产生变形？

习题 B

1-6. 试求题 1-6 图所示结构 $m-m$ 和 $n-n$ 两截面上的内力，并指出 AB 和 BC 属于何种基本变形。



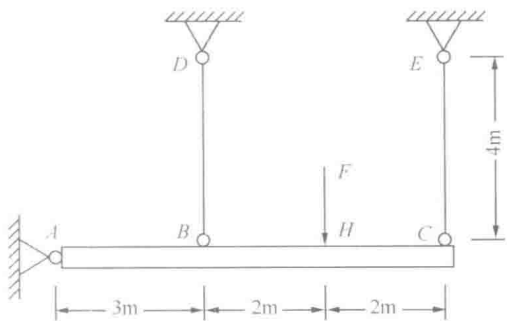
题 1-5 图



题 1-6 图

1-7. 题 1-7 图所示刚性梁在点 A 处铰接， B 点和 C 点由钢索吊挂，作用在 H 点的力 F 引起 C 点的铅垂位移为 10mm ，求钢索 CE 和 BD 的应变。

1-8. 题 1-8 图所示拉伸试件上 A 、 B 两点的距离（称为标距） $l=10\text{cm}$ ，在拉力作用下，用引伸仪量出标距的伸长量为 $5 \times 10^{-5}\text{m}$ ，试求 A 、 B 两点间的平均应变 ε 。

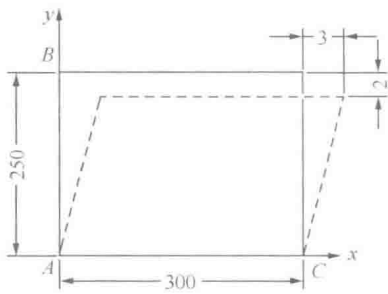


题 1-7 图



题 1-8 图

1-9. 四边形平板变形后成为题 1-9 图所示的平行四边形，水平轴在 AC 边保持不变，图中单位为 mm 。求：（1）沿 AB 边的平均线应变；（2）平板 A 点的切应变。



题 1-9 图