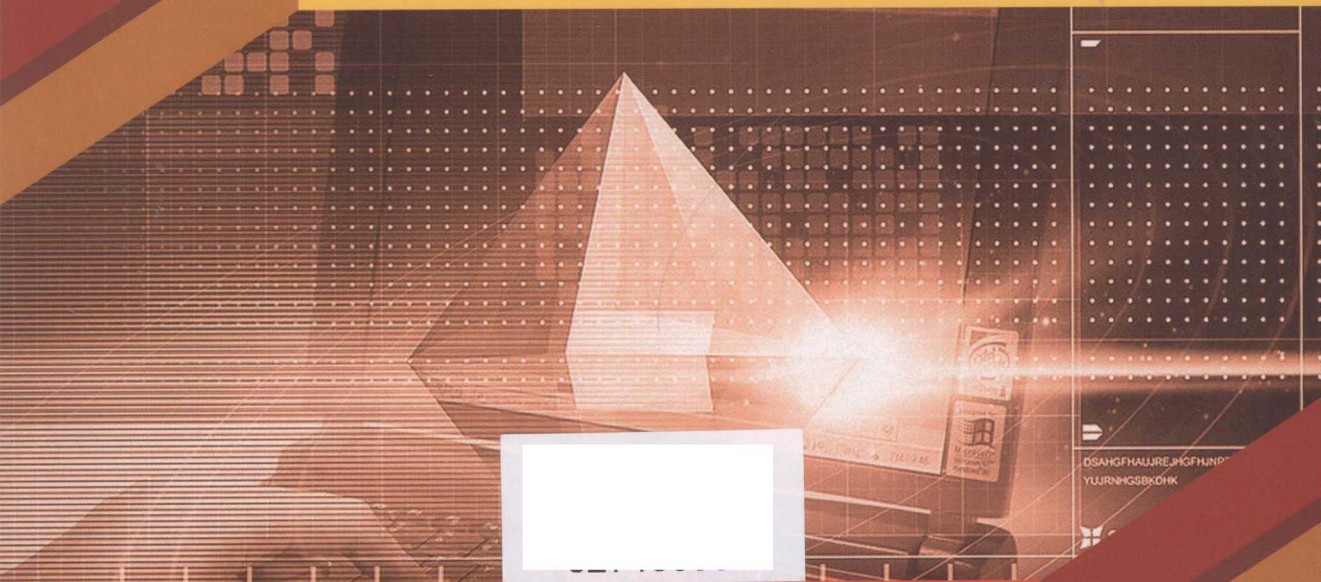




普通高等教育“十二五”规划教材
卓越工程师教育培养计划——现代力学精品教材

材料力学学习指导

◎黄莉 郑立霞 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
卓越工程师教育培养计划——现代力学精品教材

材料力学学习指导

黄莉 郑立霞 主编

科学出版社

北京

版权所有，侵权必究

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

内 容 简 介

本书是为配合学习材料力学教程而编写的辅导书，主要有绪论，轴向拉伸与压缩，扭转，弯曲内力，弯曲应力，弯曲变形，应力、应变分析基础，强度理论，组合变形，能量法，超静定结构，压杆稳定，动载荷，疲劳强度，截面图形的几何性质 14 章内容及附录 I。每一章均包括“知识要点”、“重点与难点”、“典型例题”、“测试题”和“测试题答案”五部分。书中所选习题具有代表性，题型多样，覆盖面广，解答详细。

本书可作为高等学校理工科各专业学生学习“材料力学”课程的同步学习辅导书，也可作为本科生考研复习的参考资料，还可供高校教师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学学习指导/黄莉，郑立霞主编. —北京：科学出版社，2015.2
普通高等教育“十二五”规划教材 卓越工程师教育培养计划现代力学精品教材

ISBN 978-7-03-043416-6

I. ①材… II. ①黄… ②郑… III. ①材料力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 033377 号

责任编辑：黄彩霞 乔丽维 / 责任校对：刘亚琦

责任印制：高 嵘 / 封面设计：苏 波

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>

武汉市新华印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16

2015 年 3 月第 一 版 印张：17 1/4

2015 年 3 月第一次印刷 字数：397 000

定价：36.80 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

本书与普通高等教育“十二五”规划教材、21世纪高等学校创新教材《材料力学》(第二版)(黎明发、张开银、黄莉、潘志稼主编)相配套,包含绪论,轴向拉伸与压缩,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力、应变分析基础,强度理论,组合变形,能量法,超静定结构,压杆稳定,动载荷,疲劳强度,截面图形的几何性质14章内容及附录I。每一章均包括“知识要点”、“重点与难点”、“典型例题”、“测试题”和“测试题答案”五部分。

“知识要点”部分对各章的基本概念、重要的定义和定理、分析及计算方法等内容进行总结、归纳与强调,并在“对重要概念的理解”和“重要方法的运用”方面给出了较为详细的叙述与讲解。

“重点与难点”部分给出了各章教学中的重点内容和相对难于理解或解决的问题,以使读者能抓住关键,学习时有的放矢。

“典型例题”部分结合重、难点,选择了一些概念性较强、具有一定启发思考和代表性或综合性的题目。对这些典型例题,除作详细的、有条理的解答外,在解题过程中还给出了一些分析指导,总结了解题方法和步骤。这一部分内容有助于巩固基本知识的学习,也有助于提高灵活运用所学基本知识的能力。

“测试题”及“测试题答案”部分,选编了一定数量的、不同类型的测试题,主要包括判断题、选择题和解答题。同时,对所选测试题给出了答案,供读者参考。此部分内容方便读者进行自我检测和复习与巩固。

本书在内容的安排方面力求做到由浅入深、循序渐进,既以本科基本教学要求为主,同时也为深入学习的需要对基本内容作了适度的延伸,因此可满足不同层次读者学习的需要。

本书由黄莉、郑立霞主编,孙筱萌任副主编,秦莹参与编写,最后由黄莉、郑立霞统稿、定稿。在本书编写过程中,黎明发教授给予了大力支持和帮助,特此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年10月

目 录

前言

第1章 绪论	1
一、知识要点	1
二、重点与难点	4
三、典型例题	4
四、测试题	6
五、测试题答案	7
第2章 轴向拉伸与压缩	9
一、知识要点	9
二、重点与难点	15
三、典型例题	15
四、测试题	23
五、测试题答案	29
第3章 扭转	31
一、知识要点	31
二、重点与难点	34
三、典型例题	35
四、测试题	41
五、测试题答案	46
第4章 弯曲内力	49
一、知识要点	49
二、重点与难点	52
三、典型例题	52
四、测试题	62
五、测试题答案	67
第5章 弯曲应力	71
一、知识要点	71
二、重点与难点	75
三、典型例题	75
四、测试题	83
五、测试题答案	90
第6章 弯曲变形	92
一、知识要点	92

二、重点与难点	95
三、典型例题	95
四、测试题	104
五、测试题答案	109
第7章 应力、应变分析基础	111
一、知识要点	111
二、重点与难点	114
三、典型例题	115
四、测试题	121
五、测试题答案	127
第8章 强度理论	129
一、知识要点	129
二、重点与难点	131
三、典型例题	131
四、测试题	134
五、测试题答案	138
第9章 组合变形	139
一、知识要点	139
二、重点与难点	145
三、典型例题	146
四、测试题	158
五、测试题答案	166
第10章 能量法	168
一、知识要点	168
二、重点与难点	171
三、典型例题	172
四、测试题	182
五、测试题答案	187
第11章 超静定结构	189
一、知识要点	189
二、重点与难点	191
三、典型例题	191
四、测试题	201
五、测试题答案	205
第12章 压杆稳定	207
一、知识要点	207
二、重点与难点	210

三、典型例题	210
四、测试题	219
五、测试题答案	224
第 13 章 动载荷	225
一、知识要点	225
二、重点与难点	227
三、典型例题	227
四、测试题	234
五、测试题答案	237
第 14 章 疲劳强度	239
一、知识要点	239
二、重点与难点	242
三、典型例题	243
四、测试题	247
五、测试题答案	250
附录 I 截面图形的几何性质	252
一、知识要点	252
二、重点与难点	255
三、典型例题	255
四、测试题	262
五、测试题答案	266
参考文献	268

第1章 绪 论

一、知识要点

1. 材料力学的任务

为保证工程结构或机械能够正常工作，每一构件都应有足够的承载能力，即应满足强度、刚度及稳定性三方面的要求；同时还应满足一定的经济条件，即构件应采用适当的材料并使截面尺寸最小（消耗最少的材料）。

经济与安全是一对矛盾的两个方面。而材料力学就是要解决这一矛盾，它研究构件在各种外力或外界因素影响下的强度、刚度和稳定性的原理及计算方法，包括对材料的力学性质的研究。在满足强度、刚度、稳定性的条件下，以最大限度的经济为准则，为构件选择合适的材料，确定合理的形状与尺寸，为构件的设计提供必要的理论基础和计算方法。这就是材料力学的任务。

2. 可变形固体的基本假设

任何固体在外力作用下都要产生形状或尺寸的改变，即变形是绝对的，这种固体称为“可变形固体”。承认构件的变形，是材料力学研究问题、解决问题的基本前提。材料力学在研究问题时，常抓住主要因素而忽略一些次要因素，对可变形固体做出如下基本假设。

(1) 均匀连续性假设：固体内部毫无空隙地充满着物质，而且材料沿各部分的力学性能完全相同。

(2) 各向同性假设：固体沿各方向的力学性能完全相同。这样的材料称为各向同性材料，否则称为各向异性材料。

(3) 小变形假设：认为受力后构件的变形与其本身尺寸相比很小。小变形包括两方面含义：变形与原始尺寸在量级上进行比较，很小；变形对外力的影响很小，不会显著改变外力的作用位置或不产生新的外力成分。

3. 外力及其分类

其他物体对所研究构件的作用力，称为外力，包括载荷和约束反力。

外力按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是分布在物体体积内的力，如惯性力和重力。表面力是分布在物体表面上的力，如流体压力和接触力，它又可分为集中力和分布力。

载荷按其作用性质可分为静载荷和动载荷。前者是指载荷缓慢地由零增加到一定值，以后保持不变或变动极不显著，如物体在静止状态所受的重力，建筑物中的支柱、房梁在正常情况下所承受的载荷等。后者是指大小或方向随时间而变化的载荷，如汽锤对工件的打击、物体振动时各部分所承受的载荷等。由于材料在动载荷与在静载荷下的力学

性质大不相同, 因此, 在材料力学所讨论的问题中, 十分重视载荷的性质。

4. 内力、截面法和应力的概念

(1) 内力的概念。

内力是指物体内部各相邻部分之间的相互作用力。当物体没有受到外力时, 这种内力也是存在的, 可用来维持物体各部分之间的联系并保持其原有的形状, 但这不属于材料力学研究的范畴。材料力学中所要研究的内力是指物体受到外力作用变形时, 其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用力的改变量 (是“附加内力”)。这样的内力, 随外力的增长而增大, 达到某一限度时将引起构件破坏。内力总是成对出现的, 大小相等、方向相反、分别作用在构件的两部分上。构件的强度与内力是密切相关的。

(2) 截面法。

为了显示构件在外力作用下所产生的内力, 并确定内力的大小和方向, 通常采用截面法。它是求解构件内力的基本方法, 贯穿于“材料力学”课程的始终, 可归纳为三个步骤。

①在要求内力的截面处, 沿该截面假想地把构件分成两部分 (即一分为二), 然后取其中一部分作为研究对象, 弃去另一部分。注意: “取”与“弃”的一般原则是弃去较复杂部分, 而取较简单部分进行研究。(用一个字概括为“截”)

②将弃去部分对保留部分的作用以内力代替。注意: 内力是简化中心取在截面形心处, 并首先设为正向的力 (称为“设正法”), 后续具体讲到各基本变形时会介绍什么方向为内力的正向。(用一个字概括为“代”)

③建立保留部分的平衡方程, 确定未知内力。注意: 平衡是力的平衡, 并非应力的平衡, 这在材料力学中贯穿始终。(用一个字概括为“平”)

(3) 应力的概念。

构件截面上任一点处内力分布的强弱程度 (内力集度), 称为此点处的应力。

为了求得某一受力构件横截面上任一点 C 处的内力集度, 围绕 C 点取一微面积 ΔA , 如图 1-1 (a) 所示。假设其微面积上的合力为 ΔP , 则 ΔP 与 ΔA 的比值

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

称为 ΔA 上的平均应力。

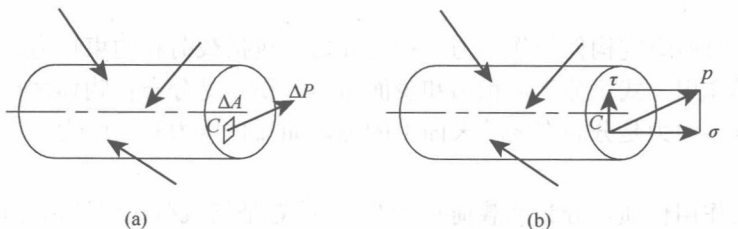


图 1-1

一般情况下, 平均应力 $\bar{p}$ 随所取 ΔA 的大小而异, 所以它并不能真实地表明内力在 C

点的强弱程度。令 ΔA 趋近于零，其极限值

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA}$$

即为 C 点处的内力集度，称为 C 点处的应力。通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和相切于截面的分量 τ ，如图 1-1 (b) 所示。 σ 称为正应力， τ 称为切应力。

在国际单位制中，应力的单位是帕 (Pa)。1Pa=1N/m²，这个单位太小，通常采用兆帕 (MPa)，还可使用吉帕 (GPa)。1MPa=10⁶Pa，1GPa=10⁹Pa。

5. 应变

构件受外力作用时，其大小和几何形状都会发生变化，即发生了变形。受力体的变形包括长度的改变和角度的改变。单位长度的改变称为线应变，用 ε 表示；在给定平面内，两条正交线段变形后其直角的改变量，称为角应变或切应变，用 γ 表示。

如图 1-2 (a) 所示，设六面体某一棱边 ab 原长为 Δx ，变形后的长度变为 $\Delta x + \Delta u$ ，如图 1-2 (b) 所示。常用 Δu 与 Δx 的比值

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

表示该棱边上单位长度的改变量，称为相对变形或平均应变。当 Δx 趋近于零时，极限值

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

称为该点处沿 x 方向的正应变或线应变。在小变形的物体中， ε 是一极其微小的量，且规定伸长为正，缩短为负。

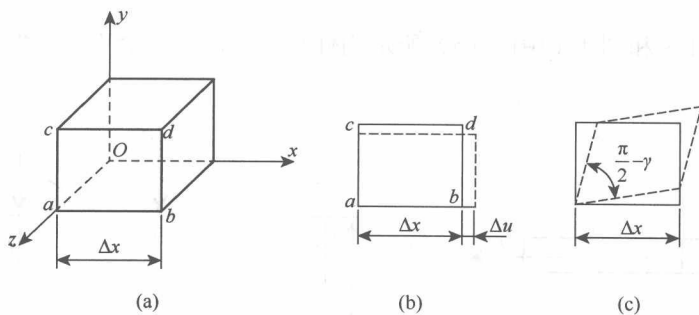


图 1-2

当微小六面体各边趋近于无限小时，称为单元体。在单元体的同一棱边上，各点的线应变可认为是相同的。

构件受力后，单元体原来的两棱边所夹直角的改变量，称为切应变或角应变，用 γ 表示，用弧度来度量，它也是一极其微小的量，如图 1-2 (c) 所示。规定直角变小时， γ 记为正；直角变大时， γ 记为负。

ε 和 γ 是度量构件内一点处变形程度的两个基本量，它们均为无量纲的量。

6. 杆件变形的形式

材料力学的研究对象为一个方向的尺寸远大于另外两个方向的尺寸的构件，称为杆件，简称为杆。工程中常见的许多构件都可简化为杆。

杆件主要有两个几何特征，即横截面和轴线。根据轴线为直线或曲线可将杆件分成直杆或曲杆。若杆件各横截面大小相等，则称为等截面杆，否则称为变截面杆。材料力学主要研究等截面直杆的有关计算。

杆件变形与所受外力有关。通过对杆件的变形进行分析归纳可知，杆件的变形为以下 4 种基本变形中的一种，或某几种基本变形的组合。

(1) 轴向拉伸与压缩。受力特点为外力的作用线与杆件的轴线重合；变形特点为杆件沿轴线方向伸长或缩短。

(2) 剪切。受力特点为一对大小相等、方向相反的外力的作用线与杆轴线垂直且相距很近；变形特点为横截面沿外力作用方向发生相对错动。

(3) 扭转。受力特点为外力偶的作用平面与杆轴线垂直；变形特点为任意两相邻横截面绕杆轴线发生相对转动。

(4) 弯曲。受力特点为所受力为垂直于轴线的横向力或轴线平面内的力偶；变形特点为杆件轴线的曲率发生变化，如直杆的轴线由直线变为曲线。

二、重点与难点

重点：明确材料力学的任务，了解工程应用及对变形固体的基本假设，正确理解内力与外力、应力与应变的概念，熟练掌握计算杆件内力的常用方法——截面法。

难点：对应力与应变的概念的理解。

三、典型例题

例 1-1 图 1-3 和图 1-4 中图 (a) 所示构件受力情况，可否平移至图 (b) 所示受力情况？

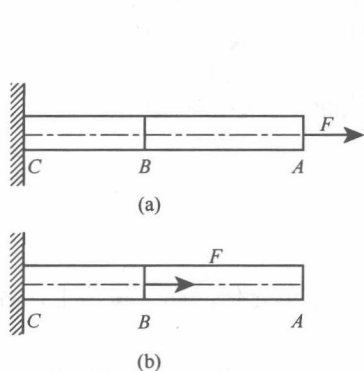


图 1-3

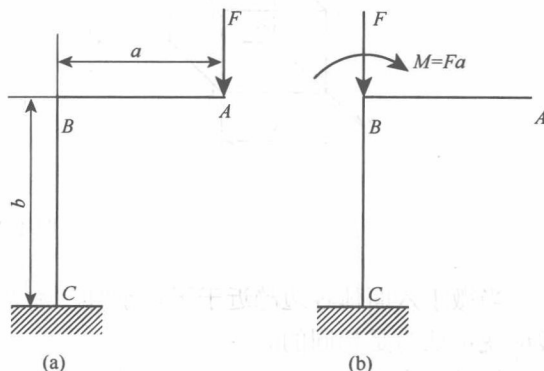


图 1-4

解：(1) 若将构件看成刚体，或只讨论支座约束力、BC 段的内力及变形，则可由图 (a) 所示受力情况平移至图 (b) 所示受力情况。

(2) 若将构件看成变形体, 或还要讨论 AB 段的内力及变形, 则不可由图 (a) 所示受力情况平移至图 (b) 所示受力情况。显然图 (a) 中 AB 段、 BC 段都受力并变形, 但图 (b) 中只有 BC 段受力且变形。

例 1-2 压力机机架如图 1-5 (a) 所示, 在载荷 F 作用下, 试确定 $m-m$ 截面上的内力。

解: (1) 假想沿 $m-m$ 面将机架截开, 取上部分为研究对象, 弃去下部分。

(2) 将下部分对上部分的作用力用 “ F_N ” 和 “ M ” 代替, 如图 1-5 (b) 所示, 即为要求内力。

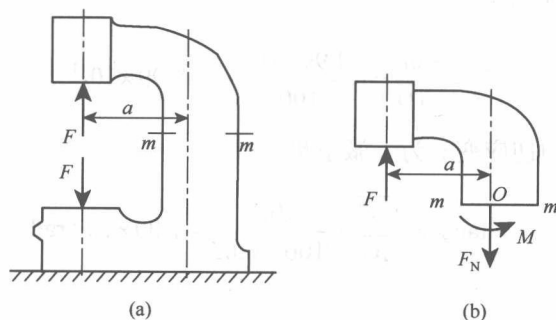


图 1-5

(3) 列平衡方程式, 求解。由

$$\sum F_y = 0, \quad F - F_N = 0$$

$$\sum M_O = 0, \quad M - Fa = 0$$

解得

$$F_N = F, \quad M = Fa$$

例 1-3 图 1-6 所示板件 $ABCD$, 其变形如虚线所示。试求棱边 AB 与 AD 的平均线应变以及 A 点处直角的切应变。

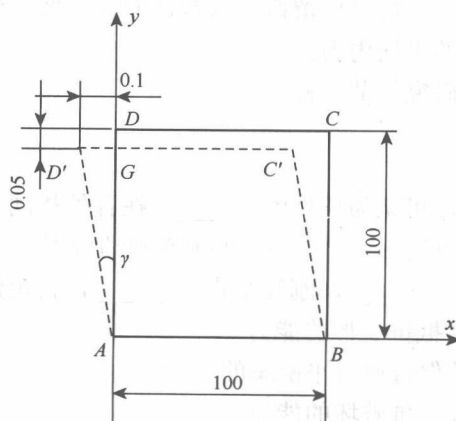


图 1-6

解：(1) 棱边 AB 的长度未改变，故其平均线应变为

$$\bar{\varepsilon}_x = 0$$

(2) 棱边 AD 的长度改变量为

$$\begin{aligned}\Delta u &= \overline{AD'} - \overline{AD} \\ &= \sqrt{(100 - 0.05)^2 + 0.1^2} - 100 \\ &= -4.99 \times 10^{-2} \text{ mm}\end{aligned}$$

故该棱边的平均线应变为

$$\bar{\varepsilon}_y = \frac{\Delta u}{AD} = \frac{-4.99 \times 10^{-2}}{100} = -4.99 \times 10^{-4}$$

(3) A 点处直角的切应变 γ 为一微小量，故

$$\gamma \approx \tan \gamma = \frac{\overline{D'G}}{AG} = \frac{0.1}{100 - 0.05} = 1.00 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

四、测试题

1. 问答题

(1) 为什么在理论力学中，可以把物体看成刚体；而在材料力学中，却把构件看成变形体？

(2) 为什么要对变形固体做均匀性、连续性和各向同性假设？

(3) “若构件上的某一点处，任何方向都无应变，则该点无位移。”这种说法是否正确，为什么？

2. 判断题

(1) 因为构件是变形固体，在研究构件平衡时，应按变形后的尺寸进行计算。

(2) 外力就是构件所承受的载荷。

(3) 用截面法求内力时，可以保留截开后构件的任一部分进行平衡计算。

(4) 应力是横截面上的平均内力。

(5) 材料力学只限于研究等截面杆。

3. 选择题

(1) 根据均匀性假设，可认为构件的_____在处处相同。

A. 应力 B. 应变 C. 材料的弹性常数 D. 位移

(2) 构件的强度是指_____，刚度是指_____，稳定性是指_____。

A. 在外力作用下构件抵抗变形的能力

B. 在外力作用下构件保持原有平衡态的能力

C. 在外力作用下构件抵抗破坏的能力

(3) 一等直杆如图 1-7 所示，在外力 F 作用下，_____。

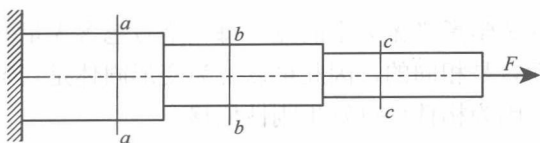


图 1-7

- A. 截面 a 的轴力最大 B. 截面 b 的轴力最大
C. 截面 c 的轴力最大 D. 三个截面上的轴力一样大

(4) 构件的强度、刚度和稳定性_____。

- A. 只与材料的力学性质有关
B. 只与构件的形状尺寸有关
C. 与材料的力学性质和构件的形状尺寸都有关
D. 与材料的力学性质和构件的形状尺寸都无关

4. 计算题

(1) 一杆受到沿轴线作用的力, 如图 1-8 所示。若 $F_1 = 10\text{kN}$, $F_2 = 13\text{kN}$, $F_3 = 3\text{kN}$, 求杆件 I-I、II-II 截面上的内力。

(2) 如图 1-9 所示, 在杆件的斜截面 $m-m$ 上, 任一点 A 处的应力 $p = 120\text{MPa}$, 其方位角 $\theta = 20^\circ$, 试求该点处的正应力 σ 和切应力 τ 。

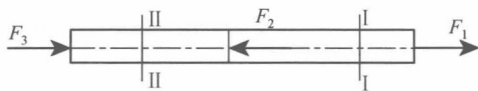


图 1-8

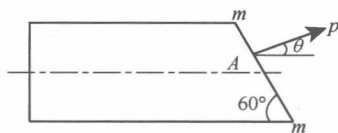


图 1-9

五、测试题答案

1. 问答题

(1) 答: 两门课程研究内容不相同。在理论力学静力学部分, 主要是研究物体的平衡问题, 而物体的变形对物体的平衡基本没有影响, 为了简化计算, 可以把物体看成刚体。但在材料力学中, 主要是研究构件的强度、刚度和稳定性问题, 而构件的刚度和稳定性都与构件的变形有关, 所以在材料力学中必须把构件看成变形体。

(2) 答: 材料力学在证明定理、推导公式过程中会用到极限、微积分等数学工具, 这就需要将物体中的某些物理量当成位置的连续函数, 另外推导的公式、定理在整个构件所有位置、所有方向都适用, 这样就要求变形固体是连续的、均匀的和各向同性的。但实际上, 变形固体从其物质结构而言是有空隙的, 但这空隙的大小与构件的尺寸相比极其微小, 故假设固体内部是密实无空隙的, 是连续的。同样, 变形固体的结构和性质并非处处相同, 也并非各个方向性质都相同, 例如, 金属晶粒之间的交接处与晶粒内部的性质显然不同, 每个晶粒在不同的方向有不同的性质, 但材料力学研究的是宏观问题,

变形固体中的点不是纯数学意义无大小的点，每一个点包含大量的金属晶粒，那么，点与点之间从统计角度而言是相同的，因此可以认为变形固体是均匀的和各向同性的。

(3) 答：不正确。因为构件可以发生刚性位移。

2. 判断题

(1) 错 (2) 错 (3) 对 (4) 错 (5) 错

3. 选择题

(1) C (2) CAB (3) D (4) C

4. 计算题

(1) $F_{N1} = 10\text{kN}$, $F_{N2} = -3\text{kN}$

(2) $\sigma = p \cos 10^\circ = 118.2\text{MPa}$, $\tau = p \sin 10^\circ = 20.8\text{MPa}$

第2章 轴向拉伸与压缩

一、知识要点

1. 轴向拉伸与压缩概念

当杆件承受的外力（或其合力）的作用线与杆轴线重合时，杆件将沿杆轴线方向伸长或缩短，这种变形称为轴向拉伸或轴向压缩。

总之，该变形的受力特征是：外力（或其合力）的作用线与杆轴线重合；变形特征是：杆沿轴向伸长或缩短，即杆件两横截面沿杆轴线方向产生相对的平行移动。

2. 轴力和轴力图

(1) 轴力。

轴向拉压杆的内力的作用线与杆轴线重合，称为轴力，用符号 F_N 表示。

符号规定：联系变形规定的内力符号，使杆产生拉伸变形的轴力为正，反之为负。

求轴力采用截面法，且首先将所求截面的内力假设为正的数值（“设正法”）。若结果为正，则说明假设正确，是拉力；反之则相反。

必须指出：在采用截面法之前，不能随意使用静力学中力（或力偶）的可传性原理和力的等效代换。因为这样就会改变构件的变形性质，并使内力也随之改变。但在截开后列平衡方程时，可以使用力的等效代换和可传性原理。

(2) 轴力图。

画轴力图是为了看清杆横截面轴力随截面位置变化的情况。其作法是：选取一定的比例尺，用平行于杆轴线的坐标表示横截面的位置，用垂直于杆轴线的坐标表示横截面上轴力的数值，从而绘出表示轴力与横截面位置关系的图形。通常将正的轴力画在上侧，负的画在下侧。

画轴力图时需注意以下几点：

①轴力图位置（对应关系）正确。轴力图和杆件位置的对应关系要明确，这就要求轴力图中表示截面位置的坐标轴与杆轴线平行，且轴力图画在杆的正下（上）方或正右（左）方。

②分段明确。以外力的作用位置为分段点，将轴力图分为若干段，再计算各段轴力。

③正负符号标注清楚。因为画轴力图时可不画坐标轴，所以需标注正负符号，以表示“拉”或“压”。

④数值大小和单位。轴力图上标注轴力大小和单位，但标注方法灵活。

⑤封闭的实线图。

3. 截面上的应力

(1) 横截面上的应力。

在拉（压）杆横截面上，轴力 F_N 的作用线与横截面垂直，且通过横截面的形心，因

此, 分布在横截面上各点的应力只有正应力 σ 。

通过观察直杆受力前后的变形现象, 并根据圣维南原理, 在离加力点稍远距离之外, 横截面上各点的变形是均匀的, 各点的应力也是均匀的, 则杆横截面上各点的应力 σ 为

$$\sigma = \frac{F_N}{A}$$

式中, F_N 为要求应力点所在横截面上的轴力; A 为要求应力点所在横截面面积。

当等直杆受几个轴向外力作用时, 杆内的最大正应力为

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{F_N}{A} \right)_{\max}$$

正应力符号规定: 拉应力为正, 压应力为负。

(2) 斜截面上的应力。

仿照横截面上正应力分布规律的分析过程, 同样可得到斜截面上各点处的总应力 p_α 是均匀分布且与杆轴平行的结论。设斜截面 $m-m$ 的外法线 n 与杆轴线的夹角为 α , 则有

$$p_\alpha = \frac{F_\alpha}{A_\alpha} = \sigma_0 \cos \alpha$$

式中, σ_0 为横截面上的正应力。

可将 p_α 沿截面的法向和切向分解为正应力 σ_α 和切应力 τ_α 两个分量, 则有

$$\sigma_\alpha = p_\alpha \cos \alpha = \sigma_0 \cos^2 \alpha$$

$$\tau_\alpha = p_\alpha \sin \alpha = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\alpha$$

这就是拉(压)杆斜截面上的正应力计算公式。其中 α 自杆轴转至斜截面的外法线, 以逆时针为正, 顺时针为负。正应力 σ_α 的符号规定同前所述, 即拉为正, 压为负; 切应力 τ_α 以对所研究的脱离体内任何一点有顺时针转动趋势的为正, 反之为负。

由上式可知:

① σ_α 和 τ_α 都是 α 的函数, 即同一点处的应力随过该点的斜截面的方位不同而改变。

② 当 $\alpha=0^\circ$ 时, $\sigma_\alpha=\sigma_0=\sigma_{\max}$, 即任一点处的最大正应力发生在杆的横截面上。

③ 当 $\alpha=45^\circ$ 时, $\tau_\alpha=\frac{\sigma_0}{2}=\tau_{\max}$, 即任一点处的最大切应力发生在 45° 斜截面上。

④ 当 $\alpha=90^\circ$ 时, $\sigma_\alpha=0$, $\tau_\alpha=0$, 即在杆的纵向截面上无应力存在。

通过以上分析, 可清楚地了解拉(压)杆内任一点处各个不同方向截面上的应力情况。

4. 材料在拉伸和压缩时的力学性质

材料的力学性质通过试验获得。该试验采用标准件, 主要设备通常为万能试验机, 试验条件为常温、静载。

(1) 低碳钢拉伸时的力学性质。

① 拉伸图。

试件的拉伸图(图 2-1)中, 横坐标代表试件工作段的伸长量 Δl , 纵坐标代表万能试验机上的载荷 F 。