

材料力学学习指南

韩晓茹 编著

DTXUEFLIDAO
CONGSHU

大学辅导丛书



内 容 简 介

本书是学习材料力学的学习指导教材,共分十二章。前十章为通用教材的基本内容。每章分数学要求、理论概述、学习中的疑难问题解答以及例题与习题四个部分。第十一章专门讨论对称性问题。第十二章为综合练习。各章内容的选择主要根据现行工科院校教学大纲,对基本理论进行了精炼、概括,全书解答了疑难问题59个,收集编写例题和习题235个。

本书主要供学习材料力学的读者总结、复习、提高之用,供材料力学教师、工程技术人员以及准备报考硕士学位研究生的读者参考。

材 料 力 学 学 习 指 南

韩 耀 新 编 著

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市河堤路14号)

广西新华书店发行

广西大学印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/32 印张13.125 插页1 字数293,000

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印 数: 1—2,900册

ISBN 7-80565-036-5 定价: 4.30元

TB·2

前 言

本书系材料力学学习指导教材，共有十二章。前十章为基本内容，第十一章专门讨论对称性问题，第十二章为综合练习。在基本内容中，每章均包括了四个部分：

一、教学基本要求。主要根据工科院校现行教学大纲提出。

二、理论概述。主要参考现行教学大纲的要求，以及多数工科院校使用的教材（见参考书目）精炼概括而成。

三、习题中的疑难问题。根据作者在教学实践中，历届学生经常提出的、容易出错的或常感模糊不清的问题，汇集而成。也有少部分属于扩充的和较深入的问题。

四、习题与例题。包括了基本题和思考题。在选择题目类型时，除了保留部分传统类型的基本题之外，参考了近年来工科院校在校上和硕士生入学的考题，也参考了国外出版的习题集。在例题的解法方面，力求突出思路 and 技巧，以培养一题多解、融会贯通的能力。

本书主要供学习材料力学的读者（包括高等院校本科生、电大学生及自学者）总结、复习、提高之用。也供材料力学教师和工程技术人员以及准备报考理工科硕士学位研究生的读者参考。

本书承蒙北京航空学院阮孟光和李维伯两同志审校。在此谨向他们以及参加题目校对的其他同志深表感谢。

限于编者水平，难免有不妥之处，欢迎广大教师和读者批评指正。

编 者

1987年7月于北航

目 录

第一章 绪论	(1)
一、教学基本要求.....	(1)
二、理论概述.....	(1)
三、疑难问题(3题)	(5)
第二章 轴向拉伸与压缩	(7)
一、教学基本要求.....	(7)
二、理论概述.....	(8)
三、习题中的疑难问题(9题)	(24)
四、习题与例题(34题)	(36)
第三章 扭转	(61)
一、教学基本要求.....	(61)
二、理论概述.....	(62)
三、习题中的疑难问题(5题)	(79)
四、习题与例题(22题)	(84)
第四章 梁的内力	(101)
一、教学基本要求	(101)
二、理论概述	(101)
三、习题中的疑难问题(5题)	(110)
四、习题与例题(18题)	(113)
第五章 梁的应力	(131)
一、教学基本要求	(131)
二、理论概述	(132)

三、习题中的疑难问题 (7题)	(148)
四、习题与例题 (26题)	(155)
第六章 梁的变形	(177)
一、教学基本要求	(177)
二、理论概述	(177)
三、习题中的疑难问题 (7题)	(191)
四、习题与例题 (21题)	(201)
第七章 应力和应变分析	(216)
一、教学基本要求	(216)
二、理论概述	(216)
三、习题中的疑难问题 (5题)	(228)
四、习题与例题 (15题)	(231)
第八章 强度理论及其应用	(240)
一、教学基本要求	(240)
二、理论概述	(240)
三、习题中的疑难问题 (4题)	(251)
四、习题与例题 (17题)	(256)
第九章 压杆稳定	(272)
一、教学基本要求	(272)
二、理论概述	(272)
三、习题中的疑难问题 (6题)	(281)
四、习题与例题 (14题)	(287)
第十章 能量方法	(302)
一、教学基本要求	(302)
二、理论概述	(303)
三、习题中的疑难问题 (8题)	(321)
四、习题与例题 (21题)	(329)

第十一章 对称条件在解题中的应用	(341)
一、理论概述	(341)
二、习题与例题 (17题)	(347)
第十二章 综合例题与习题 (22题)	(368)
附录 I 截面几何性质	(399)
附录 I 梁在简单载荷作用下的变形	(412)
附录 II 参考书目	(414)

第一章 绪 论

一、教学基本要求

1. 明确材料力学的主要任务和研究对象。
2. 了解构件设计的基本要求和存在的矛盾。
3. 弄清楚材料力学的基本假设及其依据。
4. 分清拉、压、弯、扭、剪的受力和变形区别。

二、理论概述

(一) 材料力学的任务

材料力学这门学科是固体力学的一个分支，它是研究构件（主要是细而长的杆件）在外力作用下的变形、受力和破坏规律，为合理设计构件提供理论基础和方法。

所谓合理设计，是指所设计的构件在外力作用下不仅能安全工作（即保证足够的强度、刚度和稳定性），而且还要尽可能的经济或重量轻。显然，二者之间是有矛盾的，正是由于这一矛盾的存在才促使材料力学这门学科不断地向前发展。

(二) 材料力学的基本假设

工程构件常用的材料,其微观构造和物质组成极其复杂。当我们研究它的受力和变形时,常常略去材料的次要因素,抓住其主要因素,从而做出假设,以简化问题的研究。材料力学的基本假设如下。

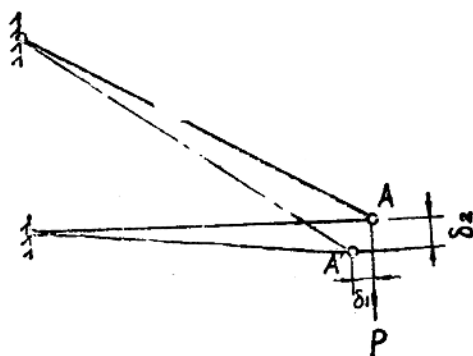
1. 连续性假设 在材料力学中,假设构件的整个体积内处处充满物质,没有间隙。根据这一假设就可以把构件受力后产生的一些物理量,如内力、应力、位移等写成坐标的连续函数,以简化数学处理。

2. 均匀性假设 这一假设认为构件的力学性质与其部位无关,处处一样。按此假设,可以从构件内部任何一个部分取出一个微体来研究,它的力学性质代表了整个构件的力学性质。

3. 各向同性假设 这一假设认为构件的力学性质与方向无关。按此假设,沿任何方向所取的微体,其力学性质都一样。通常称这类材料为各向同性材料。木材以及发展中的增强纤维复合材料都不是各向同性材料,而是各向异性材料。

以上假设虽然与材料的微观学说(分子物理学说)相矛盾,但在此假设基础上所建立的材料力学理论是符合工程要求的。在材料力学中除了对材料进行了以上几个基本假设之外,还对构件变形做了以下两个假设。

4. 小变形假设 构件在外载荷作用下,其变形的绝对值可能很小,也可能很大,但它们与构件的原几何尺寸相比通常很小。因此,在研究构件的平衡时,就可以按构件的原几何形状和尺寸进行分析计算。例如下页图中的支架,各杆因受力



而变形，引起了节点位置的改变（由A变到A'）。设沿水平方向的变化为 δ_1 ，沿铅垂方向的变化为 δ_2 ，由于它们都远小于支架的几何尺寸，所以在计算各杆的内力时，仍然用支架的原几何关系（实线位置）。这样做带来的误差很小，而且简化了分析和计算。

也有一些问题，虽然变形很小，但计算时并不能按原几何关系，如稳定问题。这类问题的详细讨论见第六章。至于大变形的问題，则超出了本书所讨论的范围。

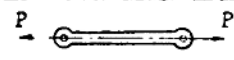
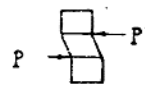
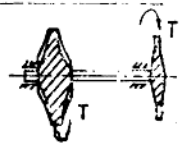
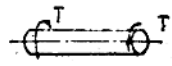
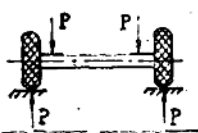
5. 完全弹性假设 材料在外力作用下要变形。试验指出：当外力不超过一定限度时，外力除去之后，材料都可恢复原状，这种变形称为弹性变形；如果外力过大，超过了一定限度，则外力除去后材料不能恢复原状，而遗留下一部分不能恢复的残余变形，我们称它为塑性变形。在材料力学中，所涉及的绝大多数问题都局限在弹性变形范围内。

概括起来，在材料力学中是把实际的构件所用的材料看

成为连续、均匀、各向同性的可变形固体。而且在绝大多数场合下，是按构件原几何形状和尺寸并在弹性范围内进行研究的。

(三) 变形的基本形式

构件在外力作用下的变形基本形式有拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲及其组合。它们的特点和实例见下表：

变形	实例	简图
拉伸		
压缩		
剪切		
扭转		
弯曲		

三、疑难问题

1. 材料力学中的连续性假设是否与物理学中的分子、粒子学说有矛盾？

这种矛盾是确实存在的。但物理学中的分子、粒子学说是在研究物质的微观结构时提出来的。拿晶体来说，一般相邻原子之间的距离大约是 10^{-8}cm 这样的数量级，所以，所讨论问题都是在尺度为 10^{-8}cm 这样的空间范围来说的。材料力学则不同，它研究的是物质的宏观性质，相当于人的肉眼所见到的客观世界。在此前提下，各种物质如金属、木材、塑料、岩石……都是连续的。虽然其中也会有缺陷、空洞，但那是局部的。在剔除这些部位之后，物质仍是连续的。

2. 为什么要做连续性假设？

连续性假设在材料力学中有重要作用。但作为初学者是难以体会到的。在以后的学习中，他们将会逐步了解到连续性假设乃是许多力学分支的不可缺少的基本前提。

目前，我们可以指出它的两点作用：

(1) 有了连续性假设，材料力学中的所有物理量的数学表达式都可以写成坐标的连续函数，其运算要比不连续函数简易得多。

(2) 工程构件受力时，会改变其形状。例如，弹簧秤在称重时，弹簧要拉长。运动员在单杠上回转时，单杠的横梁会变弯等等。根据连续性假设，形状改变之后的构件，还应当是连续的，除非构件已经损坏，但材料力学并不讨论损坏以后的工程结构。

3. 材料的均匀性和各向同性在涵义上有何不同？

均匀性的涵义是，材料的性能不随几何位置而改变。例如，一块金属板材料，不论从其上哪一角落剪裁下的试件，测量其比重、热膨胀系数、弹性系数、强度极限等，都得到同样数据，这板材料就是均匀的。

各向同性的涵意是，在某一被选定的几何位置上，材料的性能不表现方向性，否则就是各向异性的。譬如木材、竹子等，其沿纤维方向和垂直纤维方向的强度极限……等可能有很大不同，所以是各向异性的。而金属材料通常可当作是各向同性的。

各向异性材料仍然可以是均匀的，即材料的方向性处处相同。例如竹子，尽管顺纹和横纹方向某些物理性能不同，但若其差异的类型、程度表现在竹子的任何部位都一样，则竹子仍可是均匀的。

第二章 轴向拉伸与压缩

本章是材料力学最基础的部分，因为它所研究的概念（如内力、应力、应变等）要贯彻到各个章节。而本章所介绍的处理问题的方法（如截面法、平面假设、静不定问题的解法等）在材料力学中具有一定的普遍性。所以说，掌握好这些基本概念和方法对学好材料力学关系甚大，必须从一开始就予以重视。

一、教学基本要求

（一）内力和应力

1. 弄清楚内力和应力的基本概念。
2. 熟练掌握用截面法求拉压杆轴力这一方法，并会绘制轴力图。
3. 理解平面假设在建立拉（压）杆正应力公式中所起的作用。

（二）材料的力学性质

1. 绘制低碳钢拉伸应力应变图，并指出比例极限 σ_p 、屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 等特性点。
2. 能解释以下名词：应变、弹性变形、塑性变形（残余变形）、强化、颈缩、冷作硬化、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 、条件屈服应力（或称条件屈服极限） $\sigma_{0.2}$ 、弹性模量 E 及泊松比 μ 。
3. 记住普通钢的屈服应力、强度极限、弹性模量和泊松比的大致数值。
4. 能从横截面和斜截面上受力情况来解释拉（压）杆的破坏现象。

5. 通过实验掌握测定材料的力学性能的基本方法和试验技能。

(三) 强度条件

理解强度条件中的工作应力和许用应力的概念。并通过做习题。

掌握应用强度条件来校核强度、选择截面尺寸和决定承载能力。

(四) 拉(压)杆的变形和节点位移

1. 熟记虎克定律的两种形式: $\sigma = E\varepsilon$ 和 $\Delta l = \frac{Nl}{EA}$, 及其相互转换关系。
2. 掌握求多力杆的变形的办法。
3. 掌握求节点位移的方法(切线代圆弧)。

(五) 简单静不定问题

1. 区别静定问题和静不定问题。
2. 掌握求解静不定杆系的方法和步骤, 特别要注意变形图的绘制及变形协调条件的建立。

(六) 连接件的强度计算

通过习题掌握计算连接件的剪切、挤压以及板的净拉伸和剪豁的应力实用方法以及相应的强度条件。

二、理论概述

(一) 内力和应力

1. 内力

内力是指构件在外力作用下, 其内部相邻两部分之间的相互作用力。根据连续性的假设, 内力实质上是一个分布力。

但习惯上将其合力称为内力。它的大小可用截面法确定。

2. 截面法

截面法是求内力的一种通用方法，如图2-1(a)所示的拉杆，它受到沿杆轴线的拉力。为了显示它的内力，我们用截面法，即用任一个假想截面（比如横截面 $m-m$ ）把杆件分为两部分（图2-1b），这时内力 N 就显露出来。为了确定它的大小和方向，可以保留任一部分为研究对象（或称自由体）。根据保留部分的平衡条件，即可求出该截面上的内力大小和方向，即：

$$N = P$$

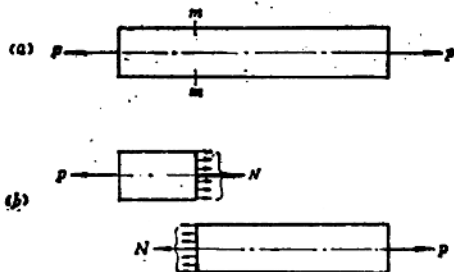


图2-1

以上方法称为截面法。

由于拉压杆的外力合力通过轴线，所以内力 N 亦必通过轴线，故称它为轴力。

在多力杆中，为了形象的表示轴力沿杆轴线的变化，常绘制成轴力图。在轴力图中，以横坐标表示横截面的位置，以纵坐标表示轴力，拉力定为正号，而将压力定为负号。轴力图在强度计算中占有重要位置，必须掌握。

3. 应力

我们已知道，内力实际上是分布力，为了描述内力的分布规律，引出了应力的概念。因为在一般情况下，内力并非均匀分布，所以必须取平均应力的极限值来描述内力的分布

规律(图2-2), 即:

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

p 就是我们所定义的 K 点的应力, 它是一个矢量, 它的量纲是[力]/[长度]²。在公制单位制中, 它的常用单位是 kg/cm^2 或 kg/mm^2 , 而在国际单位制中, 它的基本单位

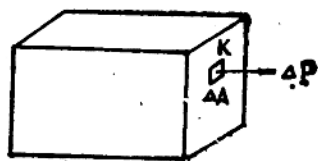


图2-2

为 N/m^2 (牛顿/米²), 其符号为Pa(帕), 即 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。应力的常用单位为 N/mm^2 (牛顿/毫米²)或 MN/m^2 (兆牛顿/米²), 其符号为MPa(兆帕), 它们之间的关系为
 $1\text{N}/\text{mm}^2 = 1\text{MN}/\text{m}^2 = 1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$

还要指出: 构件在一般受力情况下, 截面上任一点的应力可能为任意方向(图2-3), 这时可将应力分解为垂直于截面的应力 σ 和平行于截面的应力 τ , 前者称为正应力(或法向应力), 后者称为剪应力(或切向应力)。

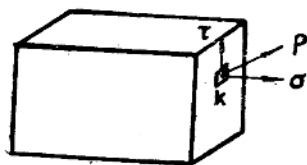


图2-3

4. 拉(压)杆的应力公式、平面假设

在所有外力(包括外载荷和支反力)已知时, 内力可以根据保留部分的平衡条件来确定, 但应力不能单靠平衡条件决定, 因截面上各点的应力分布是未知的。所以问题的实质是静不定问题。为解决这一问题, 要从变形入手来建立补充条件, 这是因为受力与变形紧密相关。根据等直拉杆表面的变形现象(横线只作平移, 各纵线伸长一样), 提出了描述内部变形