

材料力学学习指导

主编 王守新

编著 王守新 关东媛
李 锋 马红艳

大连理工大学出版社

© 王守新 王守新

图书在版编目(CIP)数据

材料力学学习指导 王守新主编 大连 : 大连理工大学出版社, 2009
I. 材... II. 王... III. 材料力学—高等学校—教学参考资料 IV. 材料力学

I 材... II 王... III 材料力学—高等学校—教学参考资料 IV 材料力学

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 12345 号

大连理工大学出版社出版

地址 : 大连市凌水河 邮政编码 : 116021

电话 : 0411-84704000 传真 : 0411-84704001 邮购 : 0411-84704002

电子邮箱 : dlutpress@163.com 网址 : www.dlutpress.com

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸 : 185mm × 260mm 印张 : 12.5 字数 : 300千字

印数 : 1~5000

2009 年 1 月第 1 版

2009 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑 : 范业婷

责任校对 : 杨帆

封面设计 : 宋蕾

定 价 : 25.00 元

前 言

本书是为高等院校机类各专业学生学习材料力学课程编写的,内容符合全日制高等院校工科材料力学课程(机类)教学大纲要求,可作为辅助教材与各种机类材料力学教材配套使用。

全书共 15 章。每章内容分四个部分:重点内容概要,典型例题,习题选解,同步练习及同步练习答案。其中典型例题共 150 题,习题选解 150 题,这些题目均有详解。同步练习共 150 题,附有答案。此外,书后还附录 3 份试题:一份期末考试模拟试题,两份考研模拟试题,也均附有参考答案。上述题目是根据材料力学课程要求精选而成,题目形式多样,既有判断、选择题,也有难度不同的计算题,基本涵盖了材料力学课程的各项内容,其中题号注有(*)为综合性内容,注有(**)为扩充性内容,其余的为基本内容。

本书可供大学生学习材料力学课程参考,也可供考研时备考参考。

参加本书编写的有:王守新(第 1~ 9 章,附录),关东媛和马红艳(第 10~ 15 章),李锋(第 16~ 18 章)。

本书是大连理工大学材料力学课程资源库建设项目,得到学校教改基金资助。郑芳怀教授和魏兆正教授审阅了本书全部书稿,并提出了多项宝贵意见。方孝淑教授无私地提供了他的力作,对本书的编写起到极大的促进作用。作者对上述同志的大力支持表示衷心感谢。

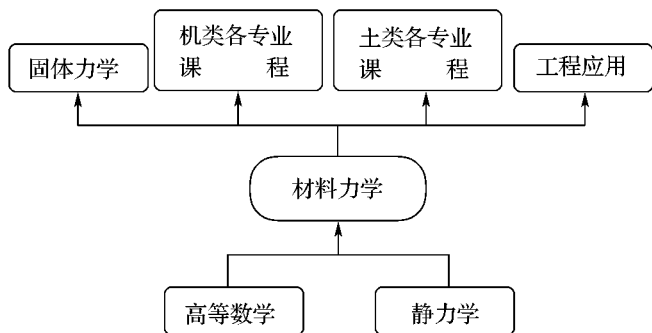
因水平有限,书中不妥之处在所难免,诚恳欢迎读者指正。

编著者

圆国源年缘月

怎样学习材料力学

材料力学是理工科多个专业的技术基础课。从理论上看,它是变形体固体力学的入门课程;从专业需要上看,它是机类、土类等各专业的基础课程;从实用方面看,它可以直接用于多种行业工程。因此,学好材料力学课程,一直是学习上述各专业和从事相关工作的基本要求。



怎样才能学好材料力学课程呢?

首先,需要转变观念。

材料力学是研究工程问题的,其研究对象和任务都与具体的工程结构相关,它的理论、方法和各种结论都是围绕工程问题形成的。可以说,离开工程结构问题,就没有材料力学。多数同学开始学习材料力学课程时,比较习惯抽象思维,对各种具体工程结构及其基本设计要求了解得很少,因此,要学好材料力学,首先要建立工程概念,注意用工程的方法解决问题。例如,解题时应画好结构

图,用简单的近似计算方法代替复杂的精确计算,用有理数计算而不是用无理数计算等。对工程概念和工程方法持忽视、漠视乃至抵触的态度,极易产生浮躁情绪,如不看清楚问题就解题,解题不画图,误以为知道公式就能解题,抄作业,实验课应付差事等,这对学习都是极为不利的。

其次,需要提高学习境界。

学习有三种境界。

第一种境界是止于模仿,这是最初等的。每逢考试前,总有人问做过书上习题后考试是否就能通过,这些同学就是处于这种境界。我们做过尝试,允许同学考试时带一页 粤 原纸入场,上面可写满他认为对考试有帮助的内容,有不少同学用很大篇幅写满了他认为是难题的解题过程,这些同学也是处于这种境界。注意力放在记公式和结论上,满足于会使用公式,不注意分析问题的思路,学而不思,为应试学习。尽管模仿也是一种学习方式,而且模仿得好,在初等教育阶段可能得高分,但是到了高等教育阶段,这种方式显然是落后的,它使人缺乏自主性,缺乏创造性。大学生需要尽早超越这种境界。

第二种境界是抓小放大,这是中等境界。所谓抓小,指的是对每一章每一节都读得很细,不但熟知每个公式和结论,而且对这些公式和结论是怎么来的也很清楚,作业基本能独立完成,也基本正确,考试成绩中等偏上,在以后的学习和工作中也能正确无误地使用书中公式和结论。很多同学以此为满足,认为达到这种程度就算是一个好学生了。其实,材料力学和其他课程一样,有自己的一个大思维,比如解决强度问题,问题本身是复杂的,但是如果建立拉压、扭转和平面弯曲等几个简单受力模型,通过应力状态理论和强度理论,组合起来解决各种复杂受力状态下的强度问题,相信这

种用简单模型解决复杂问题的大思维会对解决许多问题有参考价值。因此,抓小放大不能算是学习的完美境界。

第三种境界是系统化,这是学习的高级境界。这种境界是抓小也抓大,以大带小把一门课当做一个系统来学习,既注意掌握细节,又注意解决问题的总体思路。我们提倡的研究式学习方法就是指系统化方法。这种方法是把学习过程同时当做研究过程,时刻清楚课程在解决的问题(如强度),了解并审查所选择参数的必要性和完备性(如内力和应力),了解并检查获得这些参数的确定性和可操作性(如各种简单变形下横截面上的应力公式,试验方法),归纳并审查解决问题的总程序和各分程序(如用简单模型解决复杂强度问题),以及每个章节存在的必要性、合理性、地位等。系统化学习方法能使我们从课程中获得的知识和能力最大化,是值得每个人都掌握的方法。

第三,注意课程中特殊表现方法和手段。

材料力学是解决具体问题的,因此需要画工程结构图,但不是详图,而是力学简图。

材料力学一般需要进行受力分析,以搞清全部外力,因此需要画受力图,即分离体图。

材料力学一般要进行内力分析,以确定危险截面,因此需要画内力图。

材料力学通常要进行变形分析,也是通过图形表现的。

图形是材料力学分析表达问题的重要手段之一,因此画好各种图形是学习的基本要求。

第四,重视训练。

材料力学课程的目标要求分两类,一类是知识性要求,另一类是能力性要求。知识性内容可通过阅读和传授解决,而能力性要

求则主要靠训练提高。受力分析、内力分析、变形分析、危险状态判断、危险点判断等都属能力性要求,没有足够的训练是很难达到要求的。训练有时是很枯燥的事情,需要勇气,需要百折不挠的精神。应抓住一切机会进行训练,不要轻易放弃一个机会。做作业是训练,试验是训练,快速阅读是训练,理解是训练,综合应用是训练,记忆也是训练。同学们入学时水平差不多,毕业时差距却很大,其中一个重要原因是训练火候和质量不同。所以不要轻视训练。

第五,开放性思维。

学习材料力学课程,不要也不应把自己的思想局限在材料力学范围以内。有的同学学材料力学看不懂曲率公式,不清楚一个受力体最多可列出几个平衡方程,不能简单地认为这是把学过的数学、理论力学知识忘了,实际这是思想的局限性造成的。材料力学既是一种工具,也是一种思想。因此,解决材料力学问题的方法不是惟一的,它必然会和其他学科发生联系。开放性思维有利于学好材料力学。

上述方法仅供读者参考,有任何建议和意见,欢迎与我们直接联系。

联系方式 程育超 程岳 程素

编著者

程育超 程岳 程素



目 录

第 1 章 材料力学基本概念

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 2 章 轴向拉伸与压缩

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 3 章 剪 切

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 4 章 扭 转

重点内容概要	习题选解	典型例题
同步练习	同步练习答案	

第 5 章 弯曲内力

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 6 章 弯曲应力

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 7 章 弯曲变形

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 8 章 应力状态理论和强度理论

重点内容概要	典型例题	习题选解
同步练习	同步练习答案	

第 10 章 组合变形

重点内容概要 10-1

典型例题 10-1

习题选解 10-1

同步练习 10-1

同步练习答案 10-1

第 11 章 压杆稳定

重点内容概要 11-1

典型例题 11-1

习题选解 11-1

同步练习 11-1

同步练习答案 11-1

第 12 章 能量法

重点内容概要 12-1

典型例题 12-1

习题选解 12-1

同步练习 12-1

同步练习答案 12-1

第 13 章 静不定系统

重点内容概要 13-1

典型例题 13-1

习题选解 13-1

同步练习 13-1

同步练习答案 13-1

第 14 章 动载荷

重点内容概要 14-1

典型例题 14-1

习题选解 14-1

同步练习 14-1

同步练习答案 14-1

第 15 章 疲劳

重点内容概要 15-1

典型例题 15-1

习题选解 15-1

同步练习 15-1

同步练习答案 15-1

第 16 章 截面图形的几何性质

重点内容概要 16-1

典型例题 16-1

习题选解 16-1

同步练习 16-1

同步练习答案 16-1

附录 1 期末考试模拟试题

试卷 16-1

参考答案 16-1

附录 2 考研模拟试题

试卷一 17-1

试卷二 17-1

试卷一参考答案 17-1

试卷二参考答案 17-1



第1章 材料力学基本概念

● 重点内容概要 ●

1. 材料力学的任务

材料力学的任务是研究构件的强度、刚度和稳定性条件,为经济合理地设计杆件提供基本理论和方法。

2. 材料力学的基本假设

材料力学的研究对象主要是等直杆件,其材料一般是处于线弹性状态下的变形固体,为简化分析和计算,且得到满足精度要求的结果,假设材料是连续的、均匀的和各向同性的,且变形和杆件原始尺寸相比是微小的。

3. 外力模型

有集中力、分布力、集中力偶、分布力偶等,分别如图1-1中各图所示,括号内是它们的基本单位。

随时间而明显变化的载荷称为动载荷。

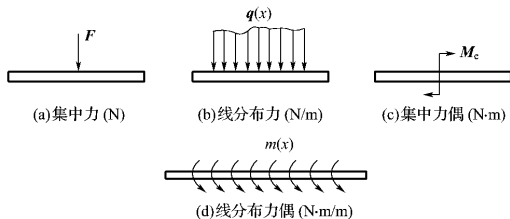


图 1-1

4. 内力

因外力作用引起的构件内部各部分之间固有内力的改变量称为内力。不同截面上的内力数值与方向各不相同,通常计算杆件横截面上的内力分量,

简称内力,即轴力 F_N ,剪力 F_{Qy} , F_{Qz} ,扭矩 T ,弯矩 M_y , M_z ,它们均为代数量,见图 1-2。

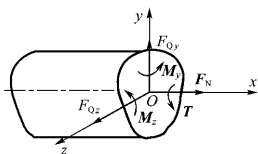


图 1-2

5. 截面法

将杆件假想截成两部分,利用其中一部分的平衡方程计算出截面上的内力,这种方

法称为截面法。它是材料力学中分析内力的基本方法。用截面法求内力,可以将一个截面上的内力理解为截面两侧一部分对另一部分的作用力。

6. 应力

截面一点处的内力集度称为应力,应力为矢量。从量纲上看应力可理解成单位面积上的内力。

实际计算中常用正应力 σ 和切应力(又称剪应力) τ 。正应力 σ 是截面的法向应力,切应力 τ 是截面的切向应力,均为代数量。规定正应力以离开截面为正(拉伸)指向截面为负。平面问题中,对研究对象内任一点呈顺时针力矩的切应力规定为正,逆时针的为负。

应力的常用单位为 MPa, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$ 。

应力是强度计算的基本参数,计算中应注意是哪个截面上、哪个点的应力,不应只记计算公式。

7. 位移

线位移——构件内一点空间坐标位置的改变量,矢量。

角位移——构件内一条线段或一个平面的空间方位的改变量,矢量。

材料力学问题中,位移通常用其坐标分量表述,此时为代数量。

8. 变形 应变

构件的尺寸改变和形状改变称为变形。变形是引起位移的原因,某些情况下位移量又可反映变形的程度。因此位移和变形计算是材料力学的基本内容之一。

一点处的变形用应变描述,分为线应变和切应变。

线应变 ϵ ——构件内一点处在某个方向上单位长度的尺寸变化量,为代数量,规定伸长为正,缩短为负,无量纲。线应变又称正应变。

切应变 γ ——构件一点处在指定平面内两垂直线段的直角改变量,为代数量,无量纲,计算时一般用弧度(rad)表示。切应变又称剪应变。

● 典型例题 ●

【例1】 判断是非

图1-3中AB杆受到外力 F 作用后产生变形,因此在求A端的约束反力时只能按其变形后的尺寸计算,而不能用变形前尺寸计算。

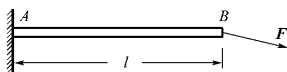


图 1-3

答 错。

材料力学研究小变形问题,变形量一般不超过杆件尺寸的千分之一,按杆件原始尺寸计算A端的约束力可使计算简化,且具有足够的精度,所以不必考虑其变形量带来的影响。在材料力学问题中,研究构件的平衡时一般都可按构件的原始尺寸计算。

【例2】 判断是非

为使分析图1-4(a)的受力与变形过程简化,可用其合力 F_R 代替均布载荷 q 的作用,如图1-4(b)所示。

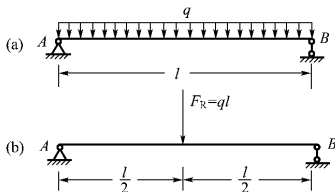


图 1-4

答 错。

静力等效是对刚体讲的,用于变形体时只有在求约束力时成立,求其他问题如求内力和变形时不再成立,因此解材料力学问题时,不能随意改变力的作用方式和作用点位置,刚体静力学中的一些原理如力线平移定理、力偶在其作用面内可任意移动转动等原理要慎用。

【例3】 判断是非

用截面法计算图1-5(a)所示杆B截面的内力时,取右半BC段作研究对象时可得 $F_N = F$,见图1-5(b),而取左半AB段研究时则因其上没有载荷作用,见图1-5(c),所以无内力。

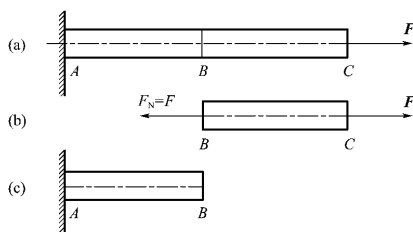


图 1-5

答 错。

外力包括载荷与约束力,研究平衡问题时它们都参与平衡方程,题中研究左半 AB 段的平衡不考虑 A 端约束力是不正确的。正确结果是不论取左半还是取右半计算, B 截面的内力都是 $F_N = F$ 。

【例 4】线段 AB 长 200 mm,是构件变形前画上的,见图 1-6(a) 构件受力后 A 端未动, B 端位移到 B' 点,水平线位移 $BD = 0.2$ mm,竖向线位移 $DB' = 0.3$ mm,求 (1) A 点分别在 x 、 y 方向的平均线应变 ϵ_x 和 ϵ_y (2) A 点在 AB 方向的平均线应变 ϵ 。

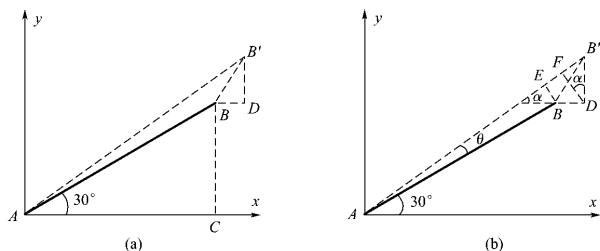


图 1-6

解法 1 (1) 计算 ϵ_x 和 ϵ_y

$$\epsilon_x = \frac{BD}{AC} = \frac{BD}{AB \cdot \cos 30^\circ} = \frac{0.2}{200 \times 0.866} = 1.155 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_y = \frac{DB'}{BC} = \frac{DB'}{AB \cdot \sin 30^\circ} = \frac{0.3}{200 \times 0.5} = 3 \times 10^{-3}$$

(2) 计算 ϵ

自 B 、 D 分别作 AB' 的垂线, 得垂足 E 、 F , 见图 1-6(b)。小变形条件下, $AE \approx AB$, 因此 EB' 可视为 AB 的变形量。即 $\Delta l_{AB} = EB'$

$$EB' = EF + FB' = BD \cos \alpha + DB' \sin \alpha$$

其中 $\alpha = 30^\circ + \theta$, 当小变形时 θ 为小量,

$$\cos \theta \approx 1, \quad \sin \theta \approx 0$$

因此 $\cos \alpha \approx \cos 30^\circ, \quad \sin \alpha \approx \sin 30^\circ$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \epsilon &= \frac{\Delta l_{AB}}{AB} = \frac{BD \cos 30^\circ + DB' \sin 30^\circ}{AB} \\ &= \frac{0.2 \times 0.866 + 0.3 \times 0.5}{200} = 1.616 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{解法 2 } AB' &= \sqrt{(AC + BD)^2 + (BC + DB')^2} \\ &= \sqrt{(AB \cos 30^\circ + BD)^2 + (AB \sin 30^\circ + DB')^2} \\ &= \sqrt{(200 \times 0.866 + 0.2)^2 + (200 \times 0.5 + 0.3)^2} \\ &= 200.323 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l_{AB}}{AB} = \frac{AB' - AB}{AB} = \frac{200.323 - 200}{200} = 1.616 \times 10^{-3}$$

典型错误:

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2} = \sqrt{(1.155 \times 10^{-3})^2 + (3 \times 10^{-3})^2} = 3.215 \times 10^{-3}$$

这个错误混淆了线应变与几何尺寸的概念, 应注意理解线应变的定义。

【例 5】选择正确答案

图 1-7 中虚线表示微元体变形后的形状, 则 A 点的切应变为

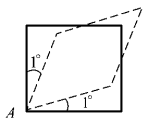


图 1-7

A. 2°

B. 88°

C. 0.0349 rad

D. $\left(\frac{\pi}{2} - 0.0349\right) \text{ rad}$

答 正确答案为 C。

切应变为直角改变量, 且用弧度表示, A 点的直角减少了 2° , 即 0.0349 弧度, 因此 C 是对的。

● 习题选解 ●

1. 判断是非

(a) 在杆件的某一截面上, 正应力方向一定互相平行;

(b) 在杆件的某一截面上, 切应力方向一定互相平行。

答 (a) 正确。正应力的方向必与该截面的法线方向平行。

(b) 错误。切应力作用在该截面内, 虽然位于同一平面内, 但方向却不一定平行。

2. 选择正确答案。

当力偶 M_0 在梁 AB 上任意移动时(图 1-8) 梁的_____。

A. 约束力不变, B 端位移变化

B. 约束力和 B 端位移都不变

C. 约束力变化, B 端位移不变

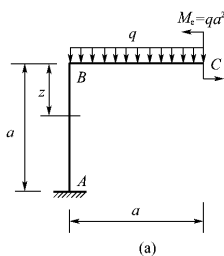
D. 约束力和 B 端位移都变化



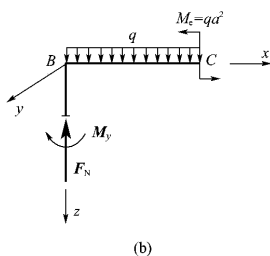
图 1-8

答 A 正确。 A 端约束力只存在反力偶, 反力偶矩数值等于 M_0 , 与外力偶 M_0 的位置无关。 B 端位移包括线位移和角位移, 它们都与外力偶 M_0 作用位置有关, 所以 M_0 移动时 B 端位移变化。

3. 平面刚架如图 1-9(a) 所示, 求其 AB 段任一截面上的内力大小。



(a)



(b)

图 1-9

解 建立坐标系如图 1-9(b) 所示, AB 段任一横截面的位置可用 z 表示, 考虑该截面上方部分的平衡, z 截面的内力分量只有轴力 F_N 和弯矩 M_y 不为零

$$\sum F_z = 0, \quad -F_N + qa = 0$$

所以 $F_N = qa$ (压)

$$\sum M_y = 0, \quad -M_y - \frac{1}{2}qa^2 + M_e = 0$$

所以 $M_y = \frac{1}{2}qa^2$

F_N 和 M_y 的结果均为正值,表示它们的实际方向或转向都与图中所设相同。

4. 混凝土圆柱受压破坏,破坏前轴向平均线应变为 -1200×10^{-6} ,若该圆柱原高为 400 mm,求破坏前它缩短了多少?

解 此题 $l = 400 \text{ mm}$, $\epsilon = -1200 \times 10^{-6}$

由 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 得

$$\Delta l = \epsilon l = -1200 \times 10^{-6} \times 400 = -0.48 \text{ mm}$$

即破坏前圆柱缩短了 0.48 mm。

5. 薄圆环的平均直径为 D ,变形后的平均直径增加了 ΔD ,见图 1-10,试证明该圆环沿圆周方向的平均线应变 $\epsilon = \frac{\Delta D}{D}$ 。

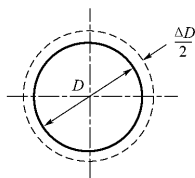


图 1-10

证明 圆环沿圆周方向的平均线应变可用其周长的平均线应变表示。

$$\epsilon = \frac{\pi(D + \Delta D) - \pi D}{\pi D} = \frac{\Delta D}{D}$$

证毕。

6. 图 1-11 所示均质矩形薄板 A 点在 AB、AC 面上的平均切应变为 $\gamma = 1000 \times 10^{-6}$,虚线表示变形后的形状,试求 B 点的水平线位移是多少?

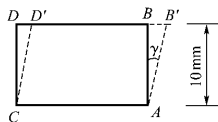


图 1-11

解 $BB' = AB \cdot \tan \gamma \approx AB \cdot \gamma$

$$= 10 \times 1000 \times 10^{-6} = 0.01 \text{ mm}.$$

* 7. 图 1-12 所示三角形薄板 ABC 受力变形后, B 点垂直向上位移 0.03 mm, AB、AC 仍保持为直线(虚线)。试求沿 OB 的平均线应变及 B 点沿 AB、BC 的切应变。