

1-83

三导丛书

TB301

G58

1

材料力学

(浙大·第3版)

导教·导学·导考 (上册)

苟文选 主编

编者(以姓氏笔划为序)

王安强 苟文选

郑斯滔 高雅丽 黄一红

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书根据浙江大学刘鸿文主编的《材料力学》(上、下册)第3版内容,对全书的前15章和附录中平面图形的几何性质按章编写了重点内容提要、重点知识结构图、考点及常考题型范例精解、考研精典题选解、学习效果两级测试题及答案、课后习题全解6部分。第16章~第18章由于超出教学大纲范围,为节省篇幅,仅给出课后习题全解。该书旨在帮助读者掌握课程重点,学会分析方法,提高解题能力,为考研者提供帮助。

该书可供使用浙江大学刘鸿文主编的《材料力学》第3版教材的读者和青年教师参考,亦可作为使用其他教材的读者或考研者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学导教·导学·导考/苟文选主编;王安强等编. —西安:西北工业大学出版社,2002.3

ISBN 7-5612-1441-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 006953 号

出版发行:西北工业大学出版社

通讯地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029) 8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印 刷 者:陕西友盛印务有限责任公司印装

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:28.5

字 数:914 千字

版 次:2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册

定 价:全书定价 33.00 元,本册定价 18.00 元

前 言

为了适应当前教学改革的需要,根据广大读者的要求,应西北工业大学出版社“三导丛书”编辑的约请,组织编写本书,供学习材料力学课程的读者、有志考研复习本课程的考生及初次从事材料力学课程教学的教师参考。

浙江大学刘鸿文教授主编的《材料力学》(上、下册)第1版系浙江大学、西北工业大学等九院校合编,高等教育出版社1979年出版。20多年来历经千锤百炼不断再版使之更适合于我国国情,适合于读者解决工程实际问题能力的培养,深受广大师生之赞誉。本教材曾获1997年国家级教学成果一等奖,国家科技进步二等奖。为了读者更好地理解课程内容,扎实掌握课程的重要知识点,更便于读者自修,本书除将教材(第3版)中课后习题全解外,每章都编写了重点内容提要 and 重点知识结构图,以帮助读者掌握教材的内容重点和知识体系;编写了考点及常考题范例精解、考研精典题选解和学习效果两级测试题(基础知识测试题,考研训练模拟题)及答案,供学习该课程和报考研究生的读者检查自己的学习效果。为方便读者,书中章节次序和习题编号均同原教材保持一致。

本书由苟文选主编,各章节前五部分内容由下列同志编写,第1,2,3,7,10,11,12,13,15章由苟文选编写,第4章由王安强编写,第5,6章由高雅丽编写,第8,9,附录和14章由黄一红编写。各章课后习题全解,除第4,5,6章由高雅丽解答,第10,11章由苟文选解答外,其余各章均由郑斯滔解答。王安强除参加部分章节编写外,用计算机绘制了除第4,5,6章习题以外的所有插图。第4,5,6章习题插图由高雅丽绘制。本书在编写过程中得到了西北工业大学材料力学教研室各位同事的支持,西北工业大学出版社的领导和编辑给予了很多关心和帮助,同时书中考研精典题选解、例题均选自国内重点大学研究生入学试题,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,对刘鸿文教授主编教材的理解有不到之处、疏漏及

不妥之处在所难免,希望广大读者给予指正,使该书以臻完善。

编 者

壬午年春节于西北工业大学

目 录

上 册

第 1 章 绪论	1
1.1 重点内容提要	1
1.2 重点知识结构图	5
1.3 考点及常考题型范例精解	6
1.4 考研精典题选解	9
1.5 学习效果两级测试题及答案	9
1.6 课后习题全解	11
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	15
2.1 重点内容提要	15
2.2 重点知识结构图	25
2.3 考点及常考题型范例精解	26
2.4 考研精典题选解	37
2.5 学习效果两级测试题及答案	46
2.6 课后习题全解	49
第 3 章 扭转	100
3.1 重点内容提要	100
3.2 重点知识结构图	105
3.3 考点及常考题型范例精解	107
3.4 考研精典题选解	115
3.5 学习效果两级测试题及答案	123
3.6 课后习题全解	126
第 4 章 弯曲内力	153

4.1	重点内容提要	153
4.2	重点知识结构图	158
4.3	考点及常考题型范例精解	159
4.4	考研精典题选解	171
4.5	学习效果两级测试题及答案	180
4.6	课后习题全解	184
第 5 章	弯曲应力	209
5.1	重点内容提要	209
5.2	重点知识结构图	213
5.3	考点及常考题型范例精解	214
5.4	考研精典题选解	221
5.5	学习效果两级测试题及答案	231
5.6	课后习题全解	234
第 6 章	弯曲变形	266
6.1	重点内容提要	266
6.2	重点知识结构图	269
6.3	考点及常考题型范例精解	270
6.4	考研精典题选解	275
6.5	学习效果两级测试题及答案	284
6.6	课后习题全解	287
第 7 章	弯曲的几个补充问题	343
7.1	重点内容提要	343
7.2	重点知识结构图	348
7.3	考点及常考题型范例精解	348
7.4	考研精典题选解	353
7.5	学习效果两级测试题及答案	359
7.6	课后习题全解	361
第 8 章	应力和应变分析 强度理论	383
8.1	重点内容提要	383
8.2	重点知识结构图	391

8.3	考点及常考题型范例精解	392
8.4	考研精典题选解	398
8.5	学习效果两级测试题及答案	403
8.6	课后习题全解	407
第9章	组合变形	451
9.1	重点内容提要	451
9.2	重点知识结构图	453
9.3	考点及常考题型范例精解	454
9.4	考研精典题选解	462
9.5	学习效果两级测试题及答案	468
9.6	课后习题全解	472
附录 I	平面图形的几何性质	500
I.1	重点内容提要	500
I.2	重点知识结构图	504
I.3	考点及常考题型范例精解	505
I.4	考研精典题选解	509
I.5	学习效果两级测试题及答案	514
I.6	课后习题全解	516

第 1 章 绪 论

1.1 重点内容提要

1. 材料力学的任务

为保证杆件能正常工作,构件一般需要满足强度、刚度和稳定性的要求,即在外力作用下,要求构件不发生破坏,弹性变形应在工程上允许的范围以内,且维持原有的平衡形式。

材料力学的任务就是在满足强度、刚度及稳定性的要求下,以最经济的代价,为构件确定合理的截面形状和尺寸,选择合适的材料,为设计构件提供必要的理论基础和计算方法。

2. 变形固体的基本假设

材料力学是研究在外力作用下构件的变形和破坏规律。构件一般由固体材料制成。一般无特别说明,均假设变形固体具有连续性、均匀性且各向同性,并且一般受线弹性、小变形的限制。

3. 外力与内力

外力是指施加在构件上的外部载荷(包括支座反力)。按其作用方式可分为体积力(场力)和表面力(接触力)。体积力是连续分布在构件内部各点处的力,表面力是直接作用于构件表面的分布力或集中力。载荷按随时间变化的情况,又分为静载荷和动载荷,而动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。材料力学以分析静载荷问题为基础。在外力作用下,构件内部各质点间相互作用力的改变量即附加相互作用力称为“附加内力”,简称为内力。内力是成对出现的,大小相等,方向相反,分别作用在构件的两部分上,随着外力的增加而增加。

4. 应力、正应力和剪应力

在外力的作用下,根据连续性假设,物体任一截面的内力是连续分布的,截面上任一点内力的密集程度(内力集度),称为该点的应力。

一点处的应力可以分解为两个应力分量。垂直于截面的分量称为正应力,用符号 σ 表示,规定和截面外法线方向一致的应力为正,反之为负;和截面相切的应力称为剪应力,用符号 τ 表示,对物体任一点取矩,产生顺时针方向力矩的剪应力规定为正,反之为负。应力单位为 Pa(帕[斯卡]), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$, $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。应当注意:应力的量纲和压强的量纲相同,但是两者的物理概念是不同的,压强是单位面积上的外力,而应力是单位面积上的内力;两个应力分量分别和材料的两大类断裂现象(拉断和剪切错动)相对应。

5. 截面法

截面法是研究构件内力的基本方法,它贯穿于“材料力学”课程的始终。该方法是用假想截面把构件分成两部分,以显示并确定内力的方法。用截面法求内力的四步曲为截、取、代、平。

需要强调指出,截面法截开欲求内力面使构件一分为二;取与弃的原则是弃掉较复杂部分,而取较简单部分进行研究;一般说来,在空间问题中,内力应有 6 个内力分量,合力的作用点为截面形心;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。

6. 小变形条件在解决材料力学问题中的应用

材料力学所研究的问题一般限于小变形情况。无论是变形或因变形引起的位移,其大小都远小于构件的最小尺寸。利用小变形概念,可使问题简化。一些重要的公式,也是在小变形前提下推导出来的。具体内容包括:① 在研究构件的平衡时,往往忽略构件的变形,仍可用构件变形前的原始尺寸(长度)和形状(角度)进行分析计算。使用原始尺寸原理,使计算得到很大的简化。② 小变形分析,在研究弹性变形时,假定在物体中产生的变形几乎是无穷小量($\epsilon \ll 1$),这种假设通常被称为小应变分析。对于两种应变或位移,当出现幂次大于 1 的情况时,常常出现一些附加的高次项,使问题非线性化,给求解带来困难;如果用小变形分析,略去高次项,使问题按线性对待。这种处

理方法,在材料力学课程中经常遇到,这些近似包括, $\sin\Delta\theta \approx \Delta\theta$, $\cos\Delta\theta \approx 1$, $\tan\Delta\theta \approx \Delta\theta$, $(1+\Delta)^n \approx 1+n\Delta$ 等。

7. 变形、线应变和剪应变

变形是指受力体形状和大小的变化,它可以归结为长度的改变和角度的改变,即线变形和角变形,单位长度线段的伸长或缩短定义为线应变,而剪应变是指给定平面内两条正交线段变形后其直角的改变量。

通常以 ϵ_m 表示单位长度内的伸长或缩短,即平均应变;以 ϵ 表示线段沿某一方向趋近于一点时的线应变,线应变规定伸长为正,缩短为负。

通常以 γ 表示剪应变或角应变,剪应变与给定点及所定义的坐标轴有关。通常当直角变形后小于 $\frac{\pi}{2}$,定义 γ 为正;反之,当直角变形后大于 $\frac{\pi}{2}$,则 γ 为负。在小变形问题中,剪应变近似地表示为 $\gamma \approx \tan\gamma$ 。

需要强调的是:① 线应变 ϵ 和剪应变 γ 是度量构件变形程度的两个基本量,不同方向的线应变是不同的,不同平面的剪应变也是不同的,它们都是坐标的函数。因此,在描述物体的线应变和剪应变时,应明确发生在那一点,沿哪一个方向或在哪一个平面;② 线应变和剪应变都没有量纲,剪应变一般用弧度(rad)表示;③ 两种应变虽随点及方向有关,但都不是矢量,不能像位移那样按矢量处理;④ 根据弹性理论,在线弹性小变形范围内,线应变 ϵ 只与正应力 σ 有关,而与剪应力 τ 无关;而剪应变 γ 只与剪应力 τ 有关,与正应力 σ 无关。

8. 杆件的基本变形

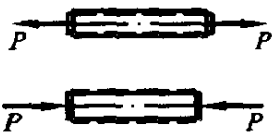
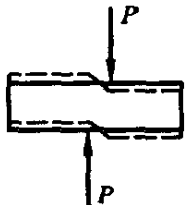
凡是在一个方向的尺寸远大于其他两个相互垂直方向尺寸的构件称为杆。材料力学主要研究等截面直杆(等直杆)。杆件在任意受力情况下的变形比较复杂,仔细分析可视为4种基本变形。表1-1中列出4种基本变形、受力特点和变形特点。

9. 同理论力学的区别

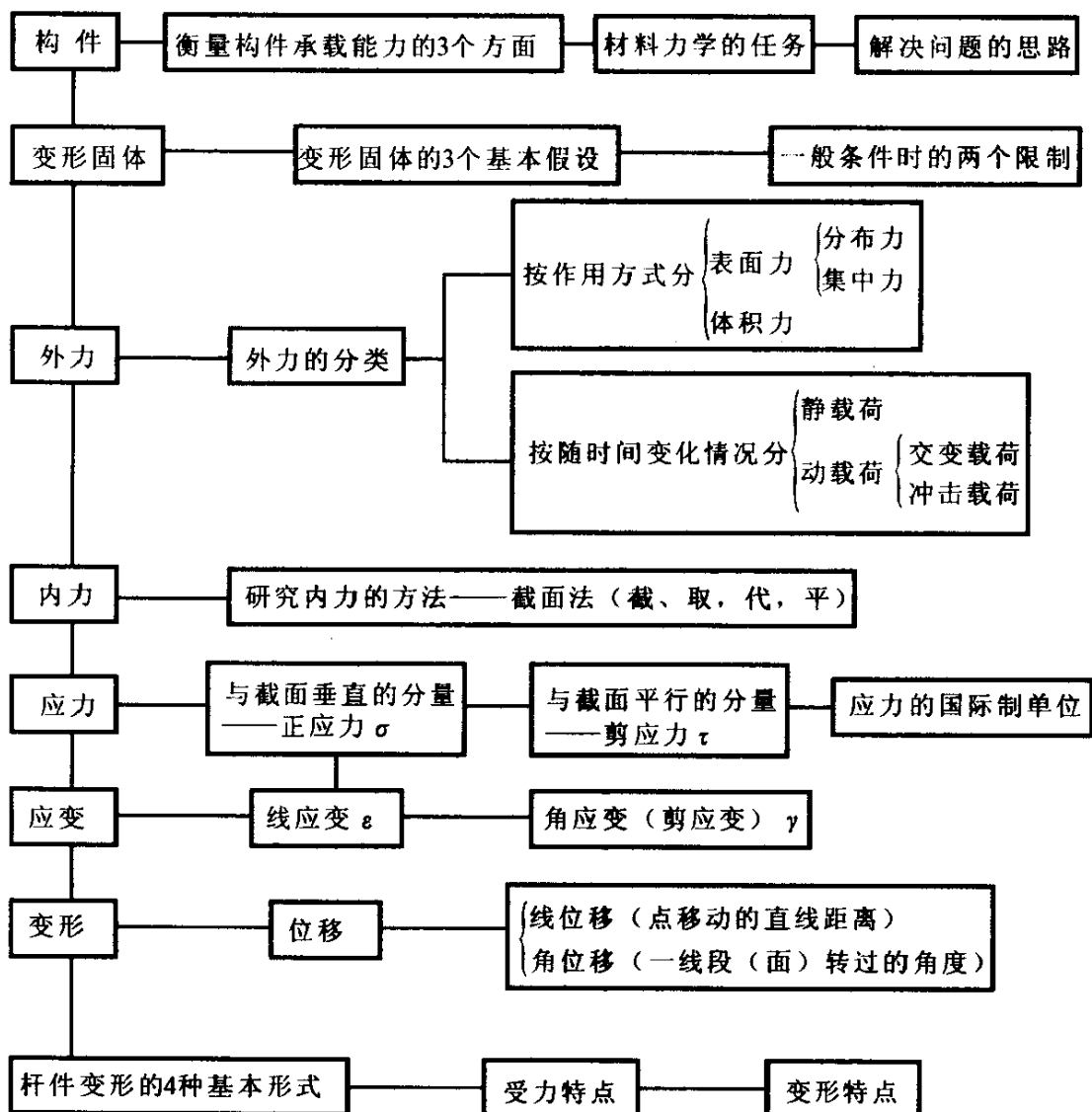
在学习了静力学之后,初学材料力学者极易把理论力学中刚接受的概念和处理问题的方法移植过来,造成错误。这些容易混淆的概念包括:① 以牛顿三大定律为基础的理论力学中,把物体抽象为质点或刚体,研究它们的平

衡、运动规律等。而材料力学则把所研究构件看作变形固体，一般在 3 个假设、两个限制下研究外力作用下构件的变形及破坏规律。② 力的等效平移应包含力的等效和变形等效两个方面，在此前提下方可平移，否则，将改变构件的受力效果，因此，力的可传递原理要有一定前提条件。③ 讨论问题的基本方法，理论力学以节点法为基础，而材料力学则用截面法，直接把所研究杆件的内力暴露出来。

表 1-1 4 种基本变形、受力特点和变形特点

受力及变形图	受力特点	变形特点
 (a)	一对大小相等，方向相反，作用线沿杆件轴线的外力	拉伸(压缩)时杆轴向尺寸伸长(缩短)，横向尺寸减小(增大)
 (b)	一对大小相等，方向相反，作用线垂直于轴线且相距很近的力	受力处杆的横截面沿横向力方向发生相对错动
 (c)	一对大小相等，方向相反，作用面垂直于杆的轴线的力偶矩	杆件的任意两个横截面将发生绕轴线的相对转动
 (d)	一对大小相等，方向相反，作用于杆纵截面内的力偶矩或垂直于杆件轴线的横向力	杆的轴线在力(偶)作用下发生弯曲，直杆变成曲杆，横截面发生相对转动

1.2 重点知识结构图



1.3 考点及常考题型范例精解

绪论仅向读者展示该门课堂的总体概貌,就一些基本术语作以介绍,建立一些基本概念,习题一般围绕巩固基本概念展开。考试时偶尔有些基本概念的问答题或选择题,但正确概念的确定,基本方法的正确使用,分析习题思路的建立,对后续学习却是十分重要的。

例 1.3.1 图 1.1~图 1.3 中图(a)所示 3 种构件受力情况,可否平移至图(b)所示情况?为什么?

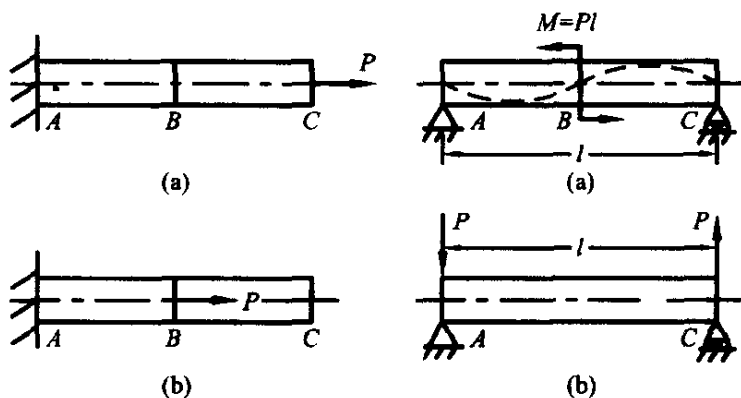


图 1.1

图 1.2

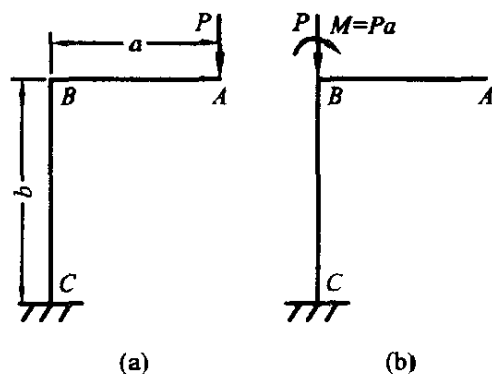


图 1.3

解 图 1.1 所示一受拉杆,当把研究对象视为刚体时,力作用在截面 B 和 C,都不影响杆件整体的平衡,力可以沿杆件轴线任意平移。但如果把杆件

作为变形固体,截面C作用拉力 P (见图1.1(a)),整个杆件都将受力并变形;而在B截面处作用拉力 P (见图1.1(b)),仅仅AB段受力,发生变形;这两种情况是不同的,且当仅当讨论支座反力、AB段内力及变形时可以平移。因此,力不可沿轴线任意平移,即要注意力的作用面(点)。

同样,力偶矩也是不能任意平移的。图1.2(a)和(b)所示两种情况,支座反力是相同的。对“变形固体”来讲,图1.2(a)所示的简支梁将产生虚线所示的变形,而图1.2(b)虽然一对力 P 仍然构成力偶 $M = Pl$,但因 P 力恰好作用在支座上,简支梁不会发生变形。

如果力平移简化以后,并不影响所研究部分的受力与变形,则是许可的。图1.3所示一平面刚架,如果只研究BC段的受力与变形,允许将力 P 从A点移到B点,这时在B点作用一集中力 P 和集中力偶 $M = Pa$ (见图1.3(b));对于BC段来讲,它和在A点施加一集中力 P 时的效应是相同的;当讨论AB段的应力及变形时,此种平衡是不允许的。第六章讨论变形时,采用分段刚化法,其平移的原则亦是保证力和变形两者等效前提下进行的。

例 1.3.2 三角形平板沿底边固定,顶点A的水平位移为5 mm,求(1)顶点A的剪应变 γ_{xy} ; (2)沿 x 轴的平均线应变 ϵ_x ; (3)沿 x' 轴的平均线应变。

解 此例要巩固两种应变的定义,需要特别强调,剪应变是指给定平面内两条正交线段变形后沿该线段趋近于某点时直角的改变量。如有一对 60° 夹角的线段,变形后该夹角为 59° ,问该点的剪应变为多少亦是考察剪应变的概念。

(1) 顶点A的剪应变:在图1.4中,知

$$l_{AB} = 800 \text{ mm}$$

$$l_{AC} = 800 \times \cos 45^\circ = 400\sqrt{2} \text{ mm}$$

变形后

$$l_{A'B} = \sqrt{l_{A'C}^2 + l_{BC}^2} = \sqrt{(400\sqrt{2} + 5)^2 + (400\sqrt{2})^2}$$

$$\text{故 } \gamma_{xy} = (45^\circ - \angle BA'C) \times 2 = \left(45^\circ - \cos^{-1} \frac{l_{A'C}}{l_{A'B}}\right) \times 2 =$$

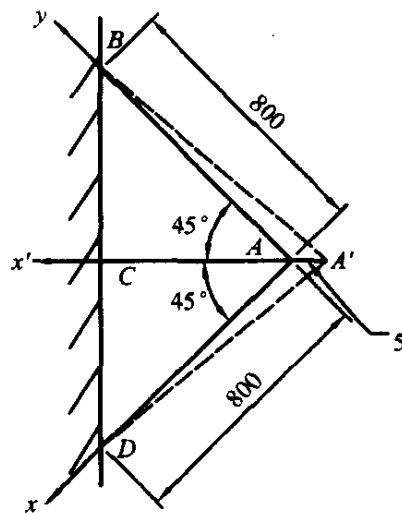


图 1.4

$$0.545^\circ = 8.80 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

(2) 沿 x 轴的平均线应变: 不同方向的线应变是不同的, 本例中是求平均应变。因此要先求出某一线段的绝对伸长, 即

$$\Delta l_{A'D} = l_{A'D} - l_{AD} = l_{A'B} - l_{AB}$$

故

$$\epsilon_x = \frac{l_{A'D} - l_{AD}}{l_{AD}} = 4.43 \times 10^{-3}$$

(3) 沿 x' 轴的平均线应变: 题中已知 AC 段的绝对伸长为 5 mm, 而 $l_{AC} = 400\sqrt{2} \text{ mm}$,

故

$$\epsilon_{x'} = \frac{5}{400\sqrt{2}} = 8.84 \times 10^{-3}$$

例 1.3.3 图 1.5(a) 所示圆轴在皮带力作用下等速转动, 试求: 紧靠 B 轮左侧截面和右侧截面上圆轴的内力分量。

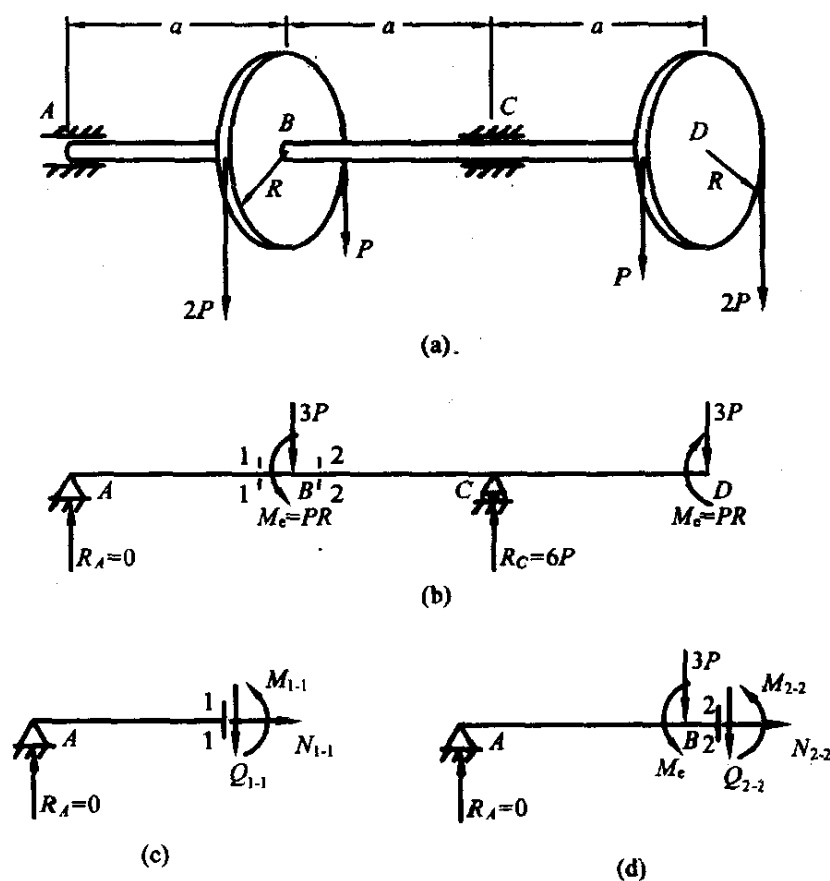


图 1.5

解 先将皮带力向轴线简化,取其力学模型为图 1.5(b),并求出支反力 R_A, R_C 。欲求靠近 B 轮左、右两侧截面上的内力分量,分别令其为 1—1, 2—2 截面。另外,所截截面上的内力一般采用设正法,故取 N (拉为正), Q (顺时针方向转动趋势力正), M (产生下凸的变形为正), T (矢量与截面外法线方向一致为正) 均为正。分别如图 1.5(c)(d) 所示。

对 1—1 截面,分别取 $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_A = 0$ 。得

$$N_{1-1} = 0, \quad Q_{1-1} = 0, \quad M_{1-1} = 0$$

对 2—2 截面,分别取 $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_A = 0, \sum T = 0$ 。得

$$N_{2-2} = 0 \quad Q_{2-2} = -3P$$

$$M_{2-2} = 0, \quad T_{2-2} = -PR$$

负号表示所设内力方向与实际内力方向相反,即非正为负。设正为以后作内力图带来方便,使得作图时正负一目了然。当然熟练掌握后,也不是一成不变,可以直接画出截面上的实际内力方向。

1.4 考研精典题选解

如 1.3 中所述,作为基本概念介绍的绪论,一般没有单独的考研试题列出,涉及到基本概念问题,以后各章将穿插其中。

1.5 学习效果两级测试题及答案

1.5.1 等直杆如图 1.6 所示,在 P 力作用下,3 种截面上的轴力是否相同?

(相同,尽管各截面上应力分布不同,但分布力系——应力向轴线简化后所得轴力相同)

1.5.2 变形和位移有什么区别和联系?构件中的某一点,若沿任何方向都不产生应变,则该点是否一定没有位移?图 1.7 所示杆件,在 B 截面作用力 P 后,试分析各段变形及位移情况。

(AB, BC 两段都产生位移, AB 段产生变形, BC 段不产生变形)

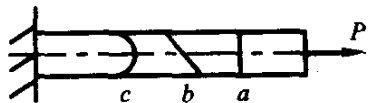


图 1.6

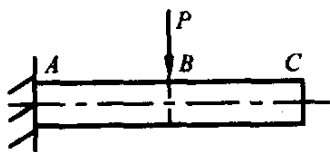


图 1.7

1.5.3 单元体变形后的形状如图 1.8 中虚线所示,则 A 点的剪应变分别为多少?

$(0, \gamma, 2\gamma)$

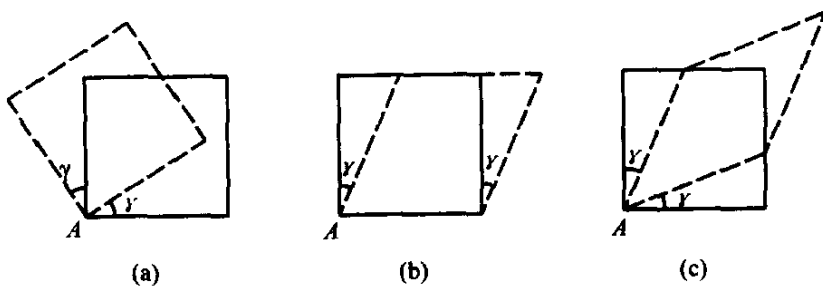


图 1.8

1.5.4 图 1.9 所示结构,在刚结点 B 作用力矩 M,试求 1—1, 2—2, 3—3, 各截面上的内力。

$$(N_{1-1} = -\frac{M}{a}, Q_{2-2} = \frac{M}{a}, M_{2-2} = -\frac{M}{2}, N_{3-3} = \frac{M}{a})$$

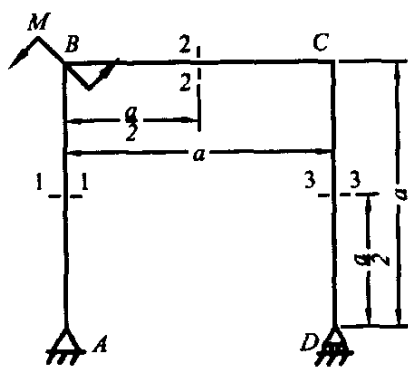


图 1.9

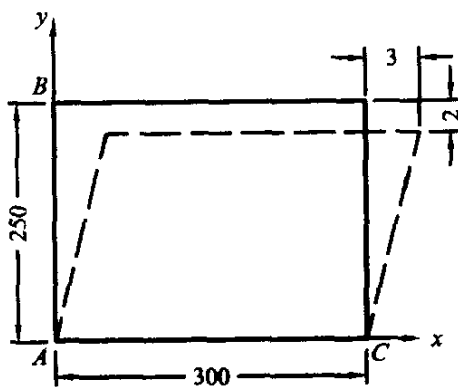


图 1.10