



高等学校优秀教材辅导丛书  
GAODENG XUEXIAO YOUXIUJIAOCAI FUDAOCONGSHU

- 知识点深入总结
- 各章习题详解详析
- 相关习题课后训练

# 材料力学

## 知识要点与习题解析

主编 李冬华 主审 朱加铭

TB301/7=4A4

2008

内容

高等学校优秀教材辅导丛书

# 材料力学

## 知识要点与习题解析

(配刘鸿文第四版教材·高教版)

主 编 李冬华

副主编 周新伟 王海波

主 审 朱加铭

哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据高等学校材料力学课程的教学要求编写的,它有助于广大学生掌握材料力学的基本知识,提高分析问题、解决问题的能力。

本书和刘鸿文主编的《材料力学》(第四版)教材配套。全书共分十五章,每章包括知识要点、书后习题解析、同步训练题、同步训练题答案四部分内容。其中,选择了433道习题给予较详细的解析,又从试题库及其他材料力学习题集中精选了60道思考题、69道填空题和72道计算题提供给学生进行测试练习,并给出参考答案。

本书可作为普通高等学校、夜大、高职院校等学生的学习辅导书,也可作为考研学生复习的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

材料力学知识要点与习题解析/李冬华主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工程大学出版社,2008.4

ISBN 978 - 7 - 81133 - 292 - 6

I. 材… II. 李… 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(2008)第 048920 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451 - 82519328  
传 真 0451 - 82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂  
开 本 787mm × 960mm 1/16  
印 张 29.5  
字 数 660 千字  
版 次 2008 年 4 月第 1 版  
印 次 2008 年 4 月第 1 次印刷  
定 价 37.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---



“材料力学”是高等工科院校开设的一门重要的技术基础课。“材料力学”课程具有理论与实践相结合、系统性强、逻辑严谨的特点。学好这门课程,不仅要掌握好它的基本理论和基本分析方法,而且要完成一定数量的习题。为了帮助广大学生正确掌握本门课程的基本理论,提高分析解决问题的能力,提高学习效率,我们编写了这本《材料力学知识要点与习题解析》一书。针对学生们反映“上课一听就懂,书一看就会,习题一做就错”的问题,本书中安排了同步训练题。同步训练题中选取了全国通用材料力学试题库的一些试题,除有传统的计算(作图)题外,还包括选择、填空等题型,旨在启发学生思维,注重掌握各章的基本概念,提高独立思考的能力。希望本书能对“材料力学”的学习者有所帮助。

本书依据刘鸿文主编的《材料力学》(第四版)而编写,对书中习题作出解答。因后四章(平面曲杆、厚壁圆筒和旋转圆盘、矩阵位移法、杆件的塑性变形)超出教育部颁发的“高等学校本科基础课程教学基本要求”的规定范围,所以,后四章的习题(共 51 题)没有纳入本习题解答之内。

本书分成十五章。王海波编写了第 1 章、第 2 章、第 3 章;陆夏美编写了第 4 章、第 5 章;郭颖编写了第 6 章、第 7 章;周新伟编写了第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章;李冬华编写了第 12 章、第 13 章、第 14 章、第 15 章。全书由李冬华任主编,哈尔滨工程大学朱加铭教授任主审,本书的编写得到了工程力学系教师大力支持,在编写中使用了大家多年教学中积累的素材。在此一并表示感谢。

由于我们的水平有限,书中错误在所难免,欢迎广大读者指正。

编 者

# Contentst 目录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第1章 绪 论           | 1  |
| 知识要点              | 1  |
| 1.1 材料力学的基本概念     | 1  |
| 1.2 材料力学的基本方法     | 2  |
| 书后习题解析            | 3  |
| 同步训练题             | 6  |
| 同步训练题答案           | 7  |
| 第2章 拉伸、压缩与剪切      | 8  |
| 知识要点              | 8  |
| 2.1 轴向拉伸(压缩)的力学模型 | 8  |
| 2.2 轴力与轴力图        | 8  |
| 2.3 应力            | 9  |
| 2.4 强度            | 9  |
| 2.5 变形与位移         | 10 |
| 2.6 材料的力学性能       | 11 |
| 2.7 应力集中的概念       | 12 |
| 2.8 超静定问题         | 12 |
| 2.9 剪切及其实用计算      | 12 |
| 2.10 挤压及其实用计算     | 13 |
| 书后习题解析            | 13 |
| 同步训练题             | 53 |
| 同步训练题答案           | 58 |
| 第3章 扭 转           | 60 |
| 知识要点              | 60 |
| 3.1 扭转的力学模型       | 60 |
| 3.2 扭矩            | 60 |
| 3.3 横截面上的应力、强度条件  | 61 |
| 3.4 纯剪切的观念        | 61 |
| 3.5 变形、刚度条件       | 62 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3.6 矩形截面杆扭转的主要结果 .....    | 63  |
| 书后习题解析 .....              | 63  |
| 同步训练题 .....               | 81  |
| 同步训练题答案 .....             | 84  |
| <b>第4章 弯曲内力</b> .....     | 86  |
| 知识要点 .....                | 86  |
| 4.1 平面弯曲的概念 .....         | 86  |
| 4.2 载荷、剪力和弯矩间的关系 .....    | 87  |
| 4.3 绘制剪力图与弯矩图 .....       | 88  |
| 书后习题解析 .....              | 89  |
| 同步训练题 .....               | 121 |
| 同步训练题答案 .....             | 124 |
| <b>第5章 弯曲应力</b> .....     | 127 |
| 知识要点 .....                | 127 |
| 5.1 梁的正应力、正应力强度条件 .....   | 127 |
| 5.2 梁的切应力、切应力强度条件 .....   | 128 |
| 书后习题解析 .....              | 129 |
| 同步训练题 .....               | 149 |
| 同步训练题答案 .....             | 154 |
| <b>第6章 弯曲变形</b> .....     | 156 |
| 知识要点 .....                | 156 |
| 6.1 弯曲变形的概念 .....         | 156 |
| 6.2 积分法求梁的挠度和转角 .....     | 156 |
| 6.3 叠加原理求梁的挠度和转角 .....    | 157 |
| 6.4 受弯曲构件的刚度条件 .....      | 157 |
| 6.5 弯曲时的超静定问题——超静定梁 ..... | 157 |
| 书后习题解析 .....              | 158 |
| 同步训练题 .....               | 194 |
| 同步训练题答案 .....             | 197 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第7章 应力和应变分析 强度理论</b> | 199 |
| 知识要点                    | 199 |
| 7.1 应力状态的概念             | 199 |
| 7.2 二向应力(平面应力)状态下的应力分析  | 200 |
| 7.3 平面应变状态分析            | 201 |
| 7.4 三向应力状态              | 201 |
| 7.5 各向同性材料的应力-应变关系      | 202 |
| 7.6 弹性应变能               | 202 |
| 7.7 强度理论                | 203 |
| 书后习题解析                  | 204 |
| 同步训练题                   | 234 |
| 同步训练题答案                 | 239 |
| <b>第8章 组合变形</b>         | 241 |
| 知识要点                    | 241 |
| 8.1 组合变形的概念             | 241 |
| 8.2 斜弯曲                 | 242 |
| 8.3 轴向拉(压)与弯曲组合、偏心拉压    | 242 |
| 8.4 扭转与弯曲组合(只考虑圆形截面杆)   | 243 |
| 8.5 常见复杂组合              | 243 |
| 书后习题解析                  | 244 |
| 同步训练题                   | 264 |
| 同步训练题答案                 | 268 |
| <b>第9章 压杆稳定</b>         | 270 |
| 知识要点                    | 270 |
| 9.1 压杆稳定性的概念            | 270 |
| 9.2 细长压杆临界载荷的欧拉公式       | 270 |
| 9.3 三类压杆临界应力和临界载荷       | 271 |
| 9.4 压杆稳定性计算             | 271 |
| 书后习题解析                  | 272 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 同步训练题 .....                   | 291 |
| 同步训练题答案 .....                 | 294 |
| <b>第 10 章 动载荷</b> .....       | 296 |
| 知识要点 .....                    | 296 |
| 10.1 动载荷的两类问题 .....           | 296 |
| 10.2 解决动载荷问题的两种方法 .....       | 296 |
| 10.3 动载荷问题的强度条件 .....         | 297 |
| 书后习题解析 .....                  | 298 |
| 同步训练题 .....                   | 311 |
| 同步训练题答案 .....                 | 314 |
| <b>第 11 章 交变应力</b> .....      | 316 |
| 知识要点 .....                    | 316 |
| 11.1 交变应力及疲劳破坏的概念 .....       | 316 |
| 11.2 持久极限及影响因素 .....          | 317 |
| 11.3 构件的疲劳强度计算 .....          | 317 |
| 书后习题解析 .....                  | 318 |
| 同步训练题 .....                   | 334 |
| 同步训练题答案 .....                 | 337 |
| <b>第 12 章 弯曲的几个补充问题</b> ..... | 339 |
| 知识要点 .....                    | 339 |
| 12.1 非对称弯曲 .....              | 339 |
| 12.2 开口薄壁杆件的弯曲中心 .....        | 340 |
| 书后习题解析 .....                  | 340 |
| 同步训练题 .....                   | 360 |
| 同步训练题答案 .....                 | 362 |
| <b>第 13 章 能量方法</b> .....      | 363 |
| 知识要点 .....                    | 363 |
| 13.1 弹性应变能 .....              | 363 |
| 13.2 卡氏定理 .....               | 364 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 13.3 单位载荷法(莫尔积分法) .....       | 364        |
| 13.4 单位载荷法(图乘法) .....         | 365        |
| 13.5 互等定理 .....               | 365        |
| 书后习题解析 .....                  | 366        |
| 同步训练题 .....                   | 395        |
| 同步训练题答案 .....                 | 399        |
| <b>第 14 章 超静定结构</b> .....     | <b>400</b> |
| 知识要点 .....                    | 400        |
| 14.1 超静定结构的概念 .....           | 400        |
| 14.2 力法及力法正则方程 .....          | 401        |
| 14.3 利用对称性条件简化力法正则方程的计算 ..... | 402        |
| 书后习题解析 .....                  | 402        |
| 同步训练题 .....                   | 436        |
| 同步训练题答案 .....                 | 440        |
| <b>第 15 章 平面图形的几何性质</b> ..... | <b>442</b> |
| 知识要点 .....                    | 442        |
| 15.1 静矩、形心 .....              | 442        |
| 15.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积、惯性半径 .....  | 443        |
| 15.3 平行移轴公式 .....             | 443        |
| 15.4 转轴公式、主惯性轴 .....          | 444        |
| 书后习题解析 .....                  | 445        |
| 同步训练题 .....                   | 458        |
| 同步训练题答案 .....                 | 461        |
| <b>参考文献</b> .....             | <b>462</b> |

# 第1章 绪 论



## 1.1 材料力学的基本概念

### 1.1.1 材料力学的任务

#### 1. 构件应满足的条件

- (1) 强度要求。强度即构件抵抗破坏的能力。构件应有足够的抵抗破坏的能力。
- (2) 刚度要求。刚度即构件抵抗变形的能力。构件应有足够的抵抗变形的能力。
- (3) 稳定性要求。稳定性即构件保持其原有平衡状态的能力。构件应有足够的保持原有平衡形态的能力。

#### 2. 材料力学的任务

材料力学是研究材料的力学性能与构件承载能力的一门科学,即在满足强度、刚度、稳定性的前提下,以最经济的代价为构件确定合理的形状和尺寸、选择适宜的材料;为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

### 1.1.2 材料力学的基本假设与变形

材料力学的研究对象是变形固体,其中以线弹性的直杆为主要研究对象。

#### 1. 材料力学的基本假设

连续性假设、均匀性假设、各向同性假设、小变形假设。

#### 2. 弹性变形与塑性变形(残余变形)

变形体受外力作用后产生变形,外力消除后,能够恢复的一部分变形称弹性变形,不能够恢复的一部分变形称塑性变形(也称残余变形)。

#### 3. 线弹性体

材料受外力作用后变形与力呈线性关系,外力消除后,能够恢复原来形状的物



体称为线弹性体。

#### 4. 线位移

构件受力后,其上各点的位置变化量。

#### 5. 角位移

构件受力后,某一截面转动的角度量。

#### 6. 线应变

弹性变形时构件内一点处在某一方向微小线段的单位长度的伸长量,是一无量纲量,用  $\epsilon$  表示,伸长为正,缩短为负,即  $\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta x} = \frac{dl}{dx}$ 。

#### 7. 切应变(角应变)

弹性变形时构件内某点处一对互相正交的微线段所夹直角的改变量,单位为弧度(rad),用  $\gamma$  表示,即  $\gamma = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right)$ ,式中,  $\alpha$  是变形后原来正交的二线段的夹角。

### 1.1.3 内力与应力

#### 1. 内力

构件在外力作用下,其内部所产生的附加作用力。

#### 2. 应力

应力是内力分布的集度。应力,必须指明其作用的截面及该截面内的某一点这两个要素,其单位是  $\text{N/m}^2$  或  $\text{MN/m}^2$  (Pa 或 MPa)。

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

#### 3. 正应力

与截面垂直方向的应力,用符号  $\sigma$  表示。规定拉为正,压为负。

#### 4. 切应力(剪应力)

在截面上与截面相切的应力,用符号  $\tau$  表示。

### 1.1.4 杆件变形的基本形式

杆件变形的基本形式有四种,即拉伸或压缩、剪切、扭转、弯曲。

## 1.2 材料力学的基本方法

截面法是求内力和应力分析的基本方法。其步骤可归纳为四个字“截、取、代、

平”。截——在所求内力处,假想用一截面把构件截成两部分;取——取出(保留)一部分,去掉一部分;代——用作用于截面上的内力代替去掉部分对保留部分的作用;平——用平衡方程即可求出保留部分上的内力。

截面法是用于求解工程结构内力的基本方法。



1.1 对图 1-1(a) 所示钻床,试求  $n-n$  截面上的内力。

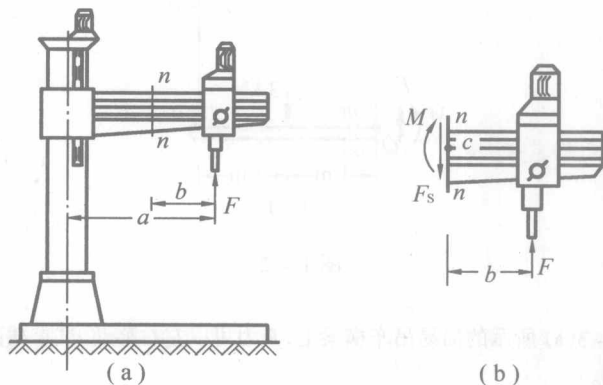


图 1-1

**解** 应用截面法,取图 1-1(a) 所示截面  $n-n$  以右部分作为研究对象,其受力如图 1-1(b) 所示。由平衡条件  $\sum F_y = 0$ ,  $F - F_s = 0$ , 和  $\sum M_c = 0$ ,  $Fb - M = 0$ , 解得  $F_s = F$ ,  $M = Fb$ 。

1.2 试求图 1-2(a) 所示结构  $m-m$  和  $n-n$  两截面上的内力,并指出  $AB$  和  $BC$  两杆的变形属于何类基本变形。

**解** 应用截面法,对图 1-2(a) 取截面  $n-n$  以下部分为研究对象,受力如图 1-2(b) 所示。由平衡条件  $\sum M_A = 0$ ,  $F_N \times 3 - 3 \times 2 = 0$ , 解得  $F_N = 2 \text{ kN}$ 。

$BC$  杆的变形属于拉伸变形。

应用截面法,取图 1-2(a) 所示截面  $m-m$  以右及  $n-n$  以下部分作为研究对象,其受力如图 1-2(c) 所示。由平衡条件  $\sum M_o = 0$ ,  $F_N \times 2 - 3 \times 1 - M = 0$ ,  $\sum F_y = 0$ ,  $F_s + F_N - 3 = 0$ , 解得  $M = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,  $F_s = 1 \text{ kN}$ 。



AB 杆的变形属于弯曲变形。

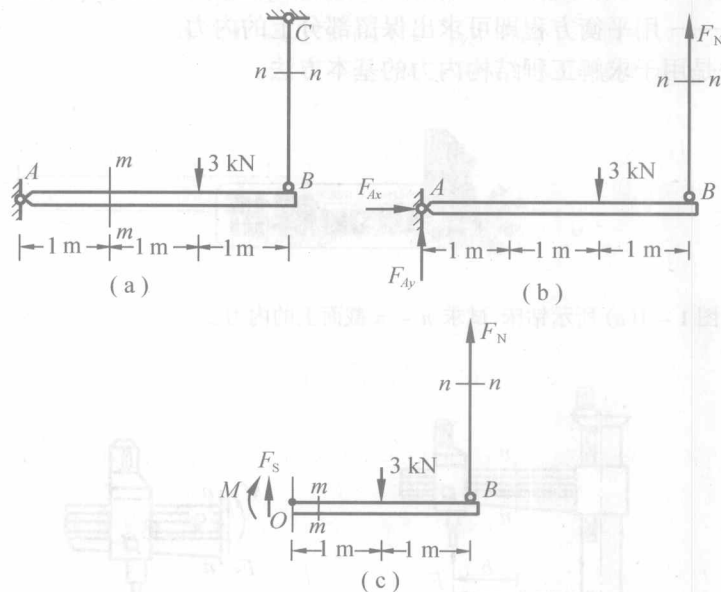


图 1-2

1.3 在图 1-3(a) 所示的简易吊车横梁上,  $F$  力可以左右移动。试求截面 1-1 和 2-2 上的内力及其最大值。

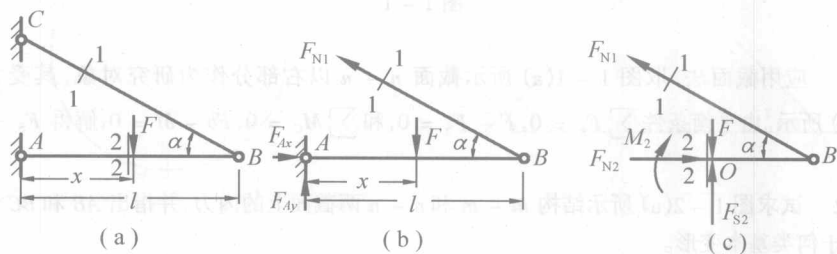


图 1-3

解 应用截面法, 取图 1-3(a) 所示截面 1-1 以右部分作为研究对象, 其受力如图 1-3(b) 所示。由平衡条件  $\sum M_A = 0$ ,  $F_{N1} l \sin \alpha = Fx$ , 解得  $F_{N1} = Fx / (l \sin \alpha)$ 。因  $x$  的变化范围是  $0 \leq x \leq l$ , 所以当  $x = l$  时,  $F_{N1}$  达到最大值, 即  $F_{N1\max} = F / \sin \alpha$ 。

应用截面法, 取图 1-3(a) 所示截面 1-1 和 2-2 以右部分作为研究对象, 受力如图 1-3(c)

所示。由平衡条件  $\sum F_x = 0, F_{N2} - F_{N1} \cos \alpha = 0; \sum F_y = 0, F_{S2} - F + F_{N1} \sin \alpha = 0; \sum M_O = 0, F_{N1} \sin \alpha (l - x) - M_2 = 0$ , 解得  $F_{N2} = x F \cot \alpha / l, F_{S2} = (1 - x/l) F, M_2 = (l - x) F x / l$ 。

当  $x = l$  时,  $N_2$  达到最大值, 即  $F_{N2\max} = F \cot \alpha$ ; 当  $x = 0$  时,  $F_{S2}$  达到最大值, 即  $F_{S2\max} = F$ ; 当  $x = l/2$  时,  $M_2$  达到最大值, 即  $M_{2\max} = Fl/4$ 。

1.4 如图 1-4 所示, 拉伸试样上  $A, B$  两点距离  $l$  称为标距。受拉力作用后, 用变形仪量出两点距离增量  $\Delta l = 5 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 。若  $l$  的原长  $l = 100 \text{ mm}$ , 试求  $A$  与  $B$  两点的平均应变  $\epsilon_m$ 。

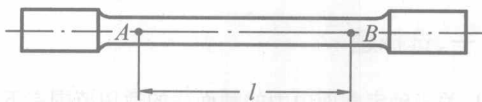


图 1-4

解 由线应变的定义可知  $AB$  的平均应变为

$$\epsilon_m = \Delta l / l = 5 \times 10^{-2} / 100 = 5 \times 10^{-4}$$

1.5 图 1-5 所示的三角形薄板因受外力作用而变形, 角点  $B$  垂直向上的位移为  $0.03 \text{ mm}$ , 但  $AB$  和  $BC$  仍保持为直线。试求沿  $OB$  的平均应变, 并求  $AB$  与  $BC$  两边在  $B$  点的角度改变。

解 由线应变的定义可知, 沿  $OB$  的平均应变为

$$\epsilon_m = (OB' - OB) / OB = 0.03 / 120 = 2.5 \times 10^{-4}$$

由角应变的定义可知, 在  $B$  点的角应变为

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \angle AB'C = \frac{\pi}{2} - 2 \left( \arctan \frac{OA}{OB'} \right) = \frac{\pi}{2} - 2 \left( \arctan \frac{120}{120.03} \right) = 2.5 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

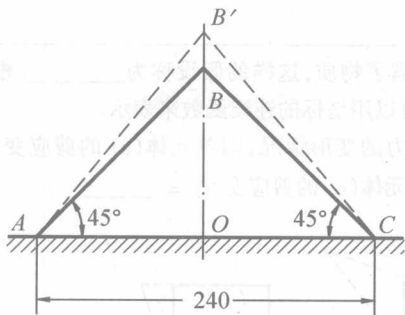


图 1-5

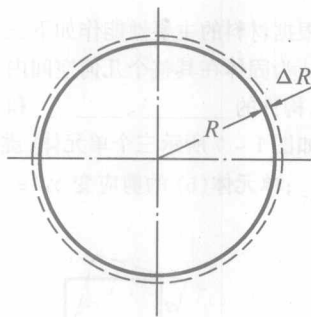


图 1-6

1.6 图 1-6 所示的圆形薄板半径为  $R$ , 变形后  $R$  的增量为  $\Delta R$ 。若  $R = 80 \text{ mm}, \Delta R = 3 \times 10^{-3} \text{ mm}$ , 试求沿半径方向和外圆圆周方向的平均应变。

解 由线应变的定义可知, 沿半径方向的平均应变为  $\epsilon_r = \Delta R / R = 3 \times 10^{-3} / 80 = 3.75 \times 10^{-5}$ ; 沿圆周方向的平均应变为  $\epsilon_\theta = \frac{2\pi(R + \Delta R) - 2\pi R}{2\pi R} = \frac{2\pi \Delta R}{2\pi R} = \frac{3 \times 10^{-3}}{80} = 3.75 \times 10^{-5}$ 。



TONG BU XUN LIAN TI

## 同步训练题

## 一、选择题

1. 关于确定截面内力的截面法的适用范围有下列说法, 正确的是( )。
- A. 适用于等截面直杆  
B. 适用于直杆承受基本变形  
C. 适用于不论基本变形还是组合变形, 但限于直杆的横截面  
D. 适用于不论等截面或变截面、直杆或曲杆、基本变形或组合变形、横截面或任意截面的普遍情况

2. 下列结论中正确的是( )。
- A. 若物体产生位移, 则必定同时产生变形  
B. 若物体各点均无位移, 则该物体必定无变形  
C. 若物体无变形, 则必定物体各点均无位移  
D. 若物体产生变形, 则必定物体各点均有位移

## 二、填空题

1. 根据材料的主要性能作如下三个基本假设\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_。
2. 认为固体在其整个几何空间内无间隙地充满了物质, 这样的假设称为\_\_\_\_\_。根据这一假设, 构件的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_就可以用坐标的连续函数来表示。
3. 如图 1-7 所示三个单元体, 虚线表示其受力的变形情况, 则单元体(a) 的剪应变  $\gamma_a =$  \_\_\_\_\_; 单元体(b) 的剪应变  $\gamma_b =$  \_\_\_\_\_; 单元体(c) 的剪应变  $\gamma_c =$  \_\_\_\_\_。

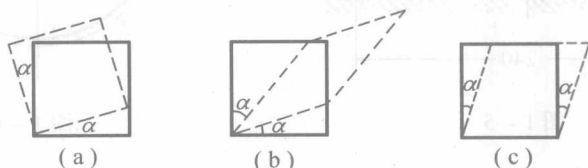


图 1-7

4. 如图 1-8 所示为从构件内 A 点处取出的单元体, 构件受力后单元体的位置用虚线表示, 则称  $du/dx$  为\_\_\_\_\_,  $dv/dy$  为\_\_\_\_\_,  $(\alpha_1 + \alpha_2)$  为\_\_\_\_\_。

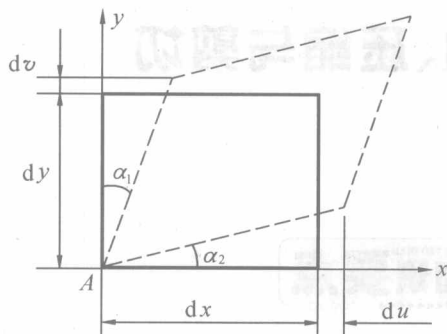


图 1-8

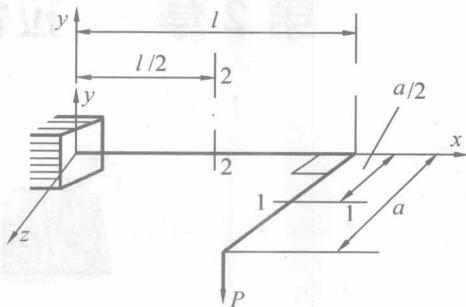


图 1-9

### 三、计算题

求图 1-9 所示折杆 1-1 和 2-2 截面的内力,并在分离体上画出内力的方向。



★★★★★

## 同步训练题答案

TONG BU XUN LIAN TI DA AN

### 一、选择题

1. D    2. B

### 二、填空题

1. 连续性    均匀性    各向同性    2. 连续性    应力    应变和位移    3. 0     $2\alpha$      $\alpha$   
 4. A 点沿  $x$  方向的线应变    A 点沿  $y$  方向的线应变    A 点在  $xy$  面内的角应变。

### 三、计算题

解 1-1 截面  $F_{x1} = 0, F_{y1} = P, F_{z1} = 0; M_{x1} = -\frac{1}{2}Pa, M_{y1} = 0, M_{z1} = 0。$

2-2 截面  $F_{x2} = 0, F_{y2} = P, F_{z2} = 0; M_{x2} = -Pa, M_{y2} = 0, M_{z2} = \frac{1}{2}Pl。$



## 第2章 拉伸、压缩与剪切



### 2.1 轴向拉伸(压缩)的力学模型

#### 2.1.1 构件特征

构件为直杆。

#### 2.1.2 受力特征

外力或外力的合力作用线与构件轴线重合。

#### 2.1.3 变形特征

杆件任意两横截面沿杆件轴线方向产生相对的平行移动,即杆件轴线伸长或缩短。

### 2.2 轴力与轴力图

#### 2.2.1 轴力

轴向拉伸(压缩)时,杆件横截面上的内力的分力称为轴力,其作用线在轴线上,以  $F_N$  表示。规定轴力  $F_N$  与截面外法线方向一致为正,反之为负,即内力拉为正,压为负。

#### 2.2.2 轴力图

表示轴力沿杆件轴线变化的规律图叫轴力图。轴力图上应标注数值、正负号。

