



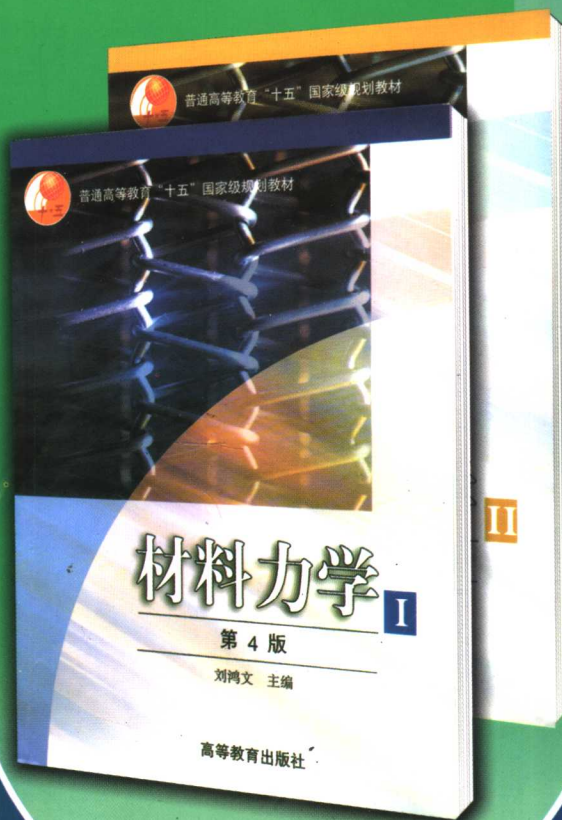
高等学校优秀教材辅导丛书

GAO DENG XUE XIAO YOU XIU JIAO CAI FU DAO CONG SHU

主 编 李冬华 副主编 周新伟 王海波

材料力学

知识要点与习题解析



哈尔滨工程大学出版社



材料力学

第1版 2018年11月第1次印刷

材料力学

知识要点与习题解析



第1版 2018年11月第1次印刷

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

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, 2005
ISBN 7-81073-708-2

I. 材… II. 李… III. 材料力学-高等学校-教学
能考资料 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 070961 号

内 容 简 介

本书是一本学习《材料力学》的参考书,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 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、高职院校等师生的教学参考书,也可作为考研学生复习的参考书。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省教育厅印刷厂印刷

*

开本 787mm×960mm 1/16 印张 29.5 字数 660 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

定价:37.00 元



P r e f P a r c e e f a

前言

“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,提高分析问题解决问题的能力,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,在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

2005 年 5 月

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

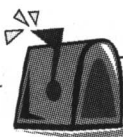
3.6 矩形截面杆扭转的主要结果	63
书后习题解析	63
同步训练题	81
同步训练题答案	84
第4章 弯曲内力	86
知识要点	86
4.1 平面弯曲的概念	86
4.2 载荷、剪力和弯矩间的关系	87
4.3 绘制剪力图与弯矩图	88
书后习题解析	89
同步训练题	121
同步训练题答案	124
第5章 弯曲应力	127
知识要点	127
5.1 梁的正应力、正应力强度条件	127
5.2 梁的切应力、切应力强度条件	128
书后习题解析	129
同步训练题	149
同步训练题答案	154
第6章 弯曲变形	156
知识要点	156
6.1 弯曲变形的概念	156
6.2 积分法求梁的挠度和转角	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

第7章 应力和应变分析 强度理论	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 弹性应能为能	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
第8章 组合变形	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
第9章 压杆稳定	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
第 10 章 动载荷	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
第 11 章 交变应力	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
第 12 章 弯曲的几个补充问题	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
第 13 章 能量方法	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
第 14 章 超静定结构	400
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
第 15 章 平面图形的几何性质	442
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
参考文献	462

第 1 章 绪 论



知识要点

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 ϵ 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 γ 表示,即 $\gamma = \lim_{\substack{\Delta \alpha \rightarrow 0 \\ \Delta \gamma \rightarrow 0}} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$,式中, α 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. 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 N/m^2 或 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 σ 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 τ 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。

截面法适用于一般工程结构。



1.1 对图 1-1(a) 所示钻床,试求 $n-n$ 截面上的内力。

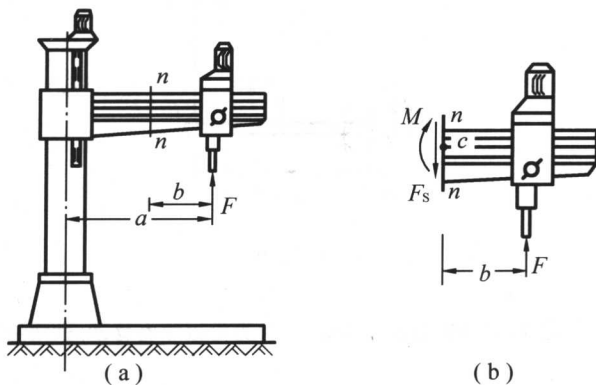


图 1-1

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。

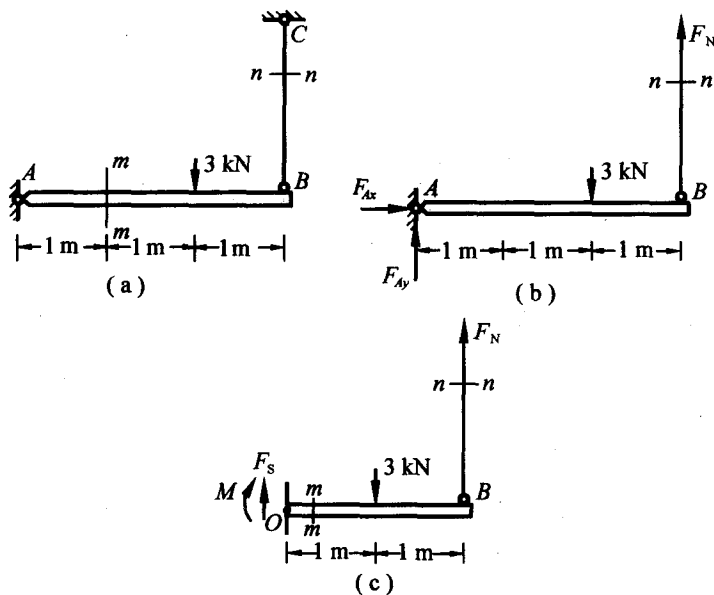


图 1-2

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。

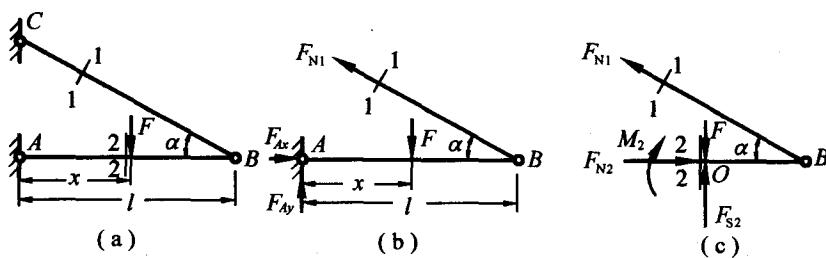


图 1-3

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 ϵ_m 。

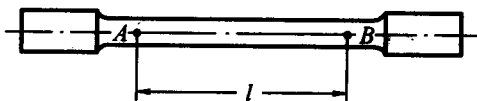


图 1-4

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 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

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

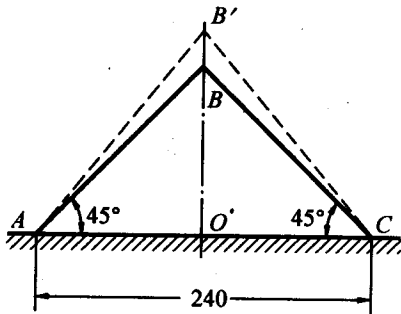


图 1-5

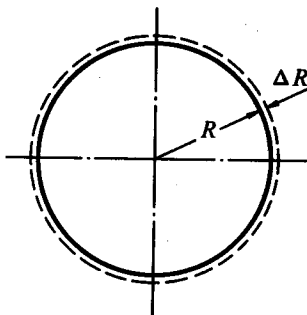


图 1-6

1.6 图 1-6 所示的圆形薄板半径为 R , 变形后 R 的增量为 ΔR 。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 $\gamma_c =$ _____。

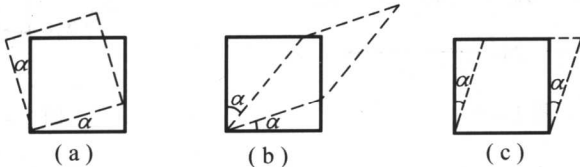


图 1-7

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_____。

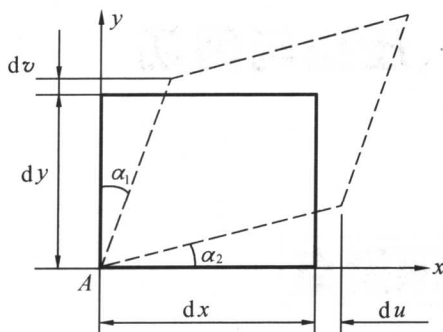


图 1-8

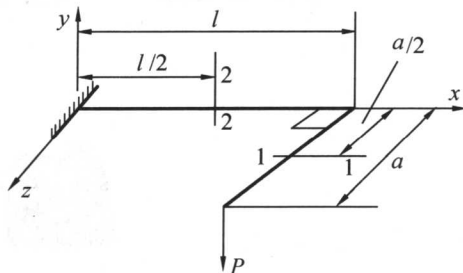


图 1-9

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 $2a$ a
4. A 点沿 x 方向的线应变 A 点沿 y 方向的线应变 A 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 $F_{x2} = 0, F_{y2} = P, F_{z2} = 0; M_{x2} = -Pa, M_{y2} = 0, M_{z2} = \frac{1}{2}Pl。$

