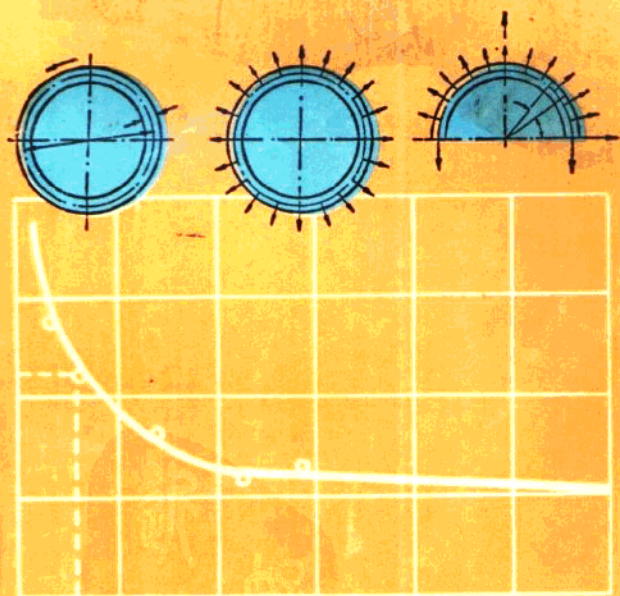


中等专业学校教学参考书

# 材料力学 学习指导

林有满 潘庆丰 主编



中国矿业大学出版社

中等专业学校教学参考书

# 材料力学学习指导

林有满 ~~潘庆丰~~ 主编

中国矿业大学出版社

(江苏·徐州 221008)

(苏)新登字第 010 号

## 内 容 提 要

本书是根据原中煤总公司近机类《材料力学教学大纲》，并参考 1982 年国家教委编写机械类《材料力学教学大纲》而编写的学习《材料力学》的工具书。

各章设有学习要求、重点、难点、关键、主要公式、概念释疑、自学提示(内容分析、学习方法)、解题步骤及注意问题、习题分析与解答等内容。对材料力学的内容进行了概括分析和总结，对于学习中遇到的问题给予解答和指导。

本书可作为中等专业学校近机类《材料力学》学习参考书，也可供其它工科专业学生学习参考。

近机类《材料力学》学时 70 学时，机类《材料力学》90 学时。

中等专业学校教学参考书

材料力学学习指导

林有清 潘庄丰 主编

高级编辑 陈玉和 葛志新

---

中国矿业大学出版社发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6.25 字数 151 千字

1994 年 5 月第一版 1994 年 5 月第一次印刷

印数 1—10000 册

---

ISBN 7 - 81021- 950 - 2

---

O · 64

定价：4.60 元

## 前 言

《材料力学学习指导》是根据原中煤总公司的近机类《材料力学教学大纲》所规定的内容,并参考1982年国家教委制订的机械类《材料力学教学大纲》的内容而编写的教学参考书,目的在于帮助学生更好地学习《材料力学》。本书编者根据当前学生的实际状况,在编写时充分注意到学生是学习的主体,又参考了大量的各类《材料力学》教材及其参考书,对其进行了认真研究分析,充分考虑到学生学习材料力学的困难、疑点、常见错误,并针对问题给予必要的解答。如本书所设的概念释疑,对主要的又不易掌握的概念进行了讲解,据我们的实验,此内容很受学生欢迎。

本书编写中曾得到抚顺煤炭工业学校、大同煤炭工业学校、阜新煤炭工业学校、沈阳煤炭工业学校、北京煤炭工业学校的大力支持,编写中得到了中国矿业大学出版社陈玉和、姜志方同志的指导;担任本书的主审北京煤炭工业学校高级讲师赵云龙、山东煤炭工业学校高级讲

师王宗汾对本书提出了很多指导意见,对以上领导和老师的帮助我们在此表示由衷感谢。

参加本书编写的有:抚顺煤炭工业学校林有满(绪论、第一章、第二章)、阜新煤炭工业学校史蒙(第三章、自测题)、阜新煤炭工业学校潘庆丰(第四章、第五章)、辽宁省煤炭工业学校于晓民(第六章)、辽宁省煤炭工业学校吴夕红(第七章、第八章)。由林有满、潘庆丰担任主编。

由于编者水平有限,一定存在很多问题和错误,请读者批评指正

《材料力学学习指导》编写组

1993-03-17

# 目 录

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 前言                        | (1)  |
| 绪论                        | (1)  |
| 一、概念释疑                    | (1)  |
| 二、自学提示                    | (4)  |
| 第一节 材料力学的任务               | (4)  |
| 第二节 变形固体及其基本假设            | (4)  |
| 第三节 材料力学的研究对象             | (5)  |
| 第四节 内力 截面法 应力             | (5)  |
| 三、解题步骤及注意事项               | (5)  |
| 第一章 拉伸和压缩                 | (8)  |
| 一、概念释疑                    | (8)  |
| 二、自学提示                    | (9)  |
| 第一节 拉伸和压缩的概念              | (10) |
| 第二节 拉伸和压缩时横截面上的内力——轴力 轴力图 | (10) |
| 第三节 拉伸和压缩时横截面上的应力         | (11) |
| 第四节 拉伸和压缩时的变形 虎克定律        | (12) |
| 第五节 材料在拉伸和压缩时的机械性能        | (13) |
| 第六节 危险应力 安全系数、许用应力        | (14) |
| 第七节 杆件在拉伸和压缩时的强度计算        | (14) |

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 第八节 拉伸和压缩时斜截面上的应力 剪应力互等定理 ..... | (15) |
| 第九节 简单拉伸和压缩时的超静定问题 .....        | (15) |
| 三、解题步骤及注意问题 .....               | (17) |
| 四、习题分析 .....                    | (24) |
| <b>第二章 剪切和挤压</b> .....          | (37) |
| 一、概念释疑 .....                    | (37) |
| 二、自学提示 .....                    | (38) |
| 第一节 剪切和挤压的概念 .....              | (38) |
| 第二节 剪切和挤压的实用计算 .....            | (39) |
| 第三节 剪切虎克定律 .....                | (40) |
| 三、解题步骤及注意问题 .....               | (40) |
| 四、习题分析 .....                    | (45) |
| <b>第三章 扭转</b> .....             | (50) |
| 一、概念释疑 .....                    | (51) |
| 二、自学提示 .....                    | (53) |
| 第一节 扭转的概念 .....                 | (53) |
| 第二节 扭转时横截面上的内力——扭矩 扭矩图 .....    | (54) |
| 第三节 圆轴扭转时横截面上的应力 .....          | (56) |
| 第四节 极惯性矩和抗扭截面模量 .....           | (58) |
| 第五节 圆轴扭转时的强度计算 .....            | (58) |
| 第六节 圆轴扭转时的刚度计算 .....            | (58) |
| ※第七节 矩形截面杆扭转时的应力及变形计算 .....     | (62) |
| 三、解题步骤及注意问题 .....               | (62) |
| 四、习题分析 .....                    | (65) |
| <b>第四章 弯曲</b> .....             | (70) |
| 一、概念释疑 .....                    | (71) |
| 二、自学提示 .....                    | (73) |
| 第一节 弯曲的概念 .....                 | (74) |

|            |                           |       |
|------------|---------------------------|-------|
| 第二节        | 弯曲的内力——剪力和弯矩 .....        | (74)  |
| 第三节        | 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图 .....   | (74)  |
| 第四节        | 剪力、弯矩与载荷集度间的微分关系及应用 ..... | (79)  |
| 第五节        | 纯弯曲时横截面上的正应力 .....        | (85)  |
| 第六节        | 截面惯性矩 平行移轴公式 .....        | (87)  |
| 第七节        | 弯曲时横截面上的剪应力 .....         | (88)  |
| 第八节        | 梁的强度计算 .....              | (89)  |
| 第九节        | 梁的变形 .....                | (90)  |
| 第十节        | 梁的变形计算及刚度条件 .....         | (92)  |
| 三、         | 解题步骤及注意事项 .....           | (95)  |
| 四、         | 习题分析 .....                | (101) |
| <b>第五章</b> | <b>应力状态与强度理论</b> .....    | (122) |
| 一、         | 概念释疑 .....                | (123) |
| 二、         | 自学提示 .....                | (124) |
| 第一节        | 应力状态概念 .....              | (124) |
| 第二节        | 平面应力状态 .....              | (124) |
| 第三节        | 主应力、主平面的最大剪应力 .....       | (126) |
| 第四节        | 强度理论 .....                | (129) |
| 三、         | 解题步骤及注意事项 .....           | (134) |
| <b>第六章</b> | <b>组合变形的强度计算</b> .....    | (137) |
| 一、         | 概念释疑 .....                | (137) |
| 二、         | 自学提示 .....                | (138) |
| 第一节        | 组合变形的概念 .....             | (139) |
| 第二节        | 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算 .....  | (140) |
| 第三节        | 弯曲与扭转组合变形的强度计算 .....      | (144) |
| 三、         | 解题步骤及注意事项 .....           | (147) |
| 四、         | 习题分析 .....                | (149) |
| <b>第七章</b> | <b>压杆稳定</b> .....         | (155) |



|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 一、概念释疑 .....                       | (155) |
| 二、自学提示 .....                       | (156) |
| 第一节 压杆稳定的概念 .....                  | (156) |
| 第二节 细长压杆的临界力的欧拉公式 .....            | (157) |
| 第三节 欧拉公式的适用范围 超过比例极限时的临界应力公式 ..... | (158) |
| 第四节 压杆的稳定校核 .....                  | (158) |
| 第五节 提高压杆稳定性的措施 .....               | (158) |
| 三、解题步骤及注意问题 .....                  | (159) |
| 四、习题分析 .....                       | (163) |
| <b>第八章 动应力和交变应力</b> .....          | (170) |
| 一、概念释疑 .....                       | (171) |
| 二、自学提示 .....                       | (171) |
| 第一节 动应力 .....                      | (172) |
| 第二节 交变应力和应力循环特性 .....              | (172) |
| 第三节 材料的持久极限 .....                  | (173) |
| 第四节 构件的持久极限及其影响因素 .....            | (173) |
| 第五节 对称循环交变应力下构件的强度校核 .....         | (173) |
| 三、解题步骤及注意问题 .....                  | (174) |
| 四、习题分析 .....                       | (176) |
| <b>期中自测题</b> .....                 | (180) |
| <b>期末自测题</b> .....                 | (184) |
| <b>参考文献</b> .....                  | (188) |



# 绪 论

## 【学习要求】

① 了解材料力学课程的性质、任务、内容、研究对象、研究方法、基本变形；

② 掌握强度、刚度、稳定性、内力、应力等基本概念；掌握基本假设的内容及目的；

③ 熟练掌握截面法求内力。

## 【重点】

截面法求内力。

## 【难点】

内力、应力的概念理解。

## 一、概念释疑

### 1. 强度

在过大载荷作用时，构件发生了裂纹或断裂，丧失了正常工作能力，称为破坏，强度是指构件抵抗破坏的能力。其实质是构件中最大应力值达到了材料破坏时某个极限值。这个极限值对某一种材料来说，一般情况下是个定值。当构件的材料、截面形状、截面尺寸确定以后，则构件的承载能力也就确定了。对于材料相同、截面形状相同时，在同样载荷作用下，尺寸较小的构件承载能力就低。

截面形状、尺寸相同时,若材料不同,其承载能力也不同。有关强度方面的问题称为强度问题。强度问题是保证构件正常工作的首要问题。

## 2. 刚度

刚度指构件抵抗变形的能力。在外力作用下构件会产生一定的变形,当变形量达到了某个限度时,就会丧失正常的工作能力。构件的变形与约束、载荷、材料、构件横截面形状及尺寸有关。满足了刚度条件就保证了构件有足够的抵抗变形的能力。

## 3. 稳定性

细长杆所承受的轴向压力达到了某个极限值时,杆受横向力干扰会突然变弯,不能再维持初始直线平衡,称为压杆丧失稳定性。这里应注意 3 点:

- ① 失稳构件是细长杆或薄壁杆;
- ② 杆受压力且必须达到某个极限值;
- ③ 杆的平衡状态为非直线平衡状态,杆已突然变弯。

保证构件的稳定性,就是保证构件在轴向压力下有足够的维持直线平衡的能力。应当指出:稳定性问题不同于强度问题,当压杆丧失稳定性时,压杆的工作应力并没有达到压杆被破坏的极限值,不是强度问题。压杆失稳时的极限压力与杆的约束、截面形状及尺寸、材料性质有关。

## 4. 内力

内力是指构件在外力作用下发生变形后,杆件内部产生的相互作用。清楚下面 3 点对深入理解内力概念是有益的:

① 内力与变形的关系 构件横截面上有内力,则就有变形,无内力也就无变形,即使外力如何复杂如何大,若该段内力为零则该段无变形。

内力  $\rightarrow$  变形

② 内力产生原因 以拉压杆为例,当构件在外力作用下发生变形后,组成物质的分子之间的距离发生了变化,原来的分子之间

相互作用力(斥力和吸引力)平衡状态被破坏。从图 0-1 中可以看出,当分子间距离  $r=r_0$  ( $r_0=10^{-10}\text{m}$ )时,斥力、引力相等,合力为零;当  $r<r_0$  时分子力主要为斥力(如压缩变形时);当  $r>r_0$  时分子力主要为引力(如拉伸变形时);当  $r>10r_0$  时分子力微弱。所以有些教材称内力为附加内力,区别

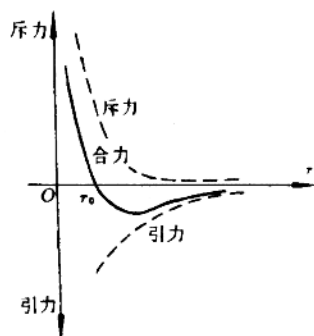


图 0-1

于变形前分子间存在的内力。这个附加内力就是构件在外力作用下发生变形后构件内部之间的相互作用,在材料力学教材中称为内力。

③ 内力的大小与外力有关 某截面上的内力的大小等于该截面一侧的研究对象上的所有外力(力矩)之代数和,通常由截面法来确定。内力不能无限大,当其达到某个极限值时,构件就要发生破坏,或产生过大的变形,或失稳,不能保证构件正常工作。

## 5. 应力

内力在截面上分布的密集程度。应清楚某点的应力与平均应力的区别。平均应力  $p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A}$  ( $\Delta A$  是微面积,  $\Delta P$  是微面积上内力大小),当内力分布不均匀时,平均应力不能代表任一点的应力,只有  $p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A}$  时才能代表某一点的应力。截面上应力一般分解为两个正交的分量:平行于截面的分量,用  $\tau$  表示,称剪应力,另一个分量垂直于截面,用  $\sigma$  表示,称为正应力。

## 二、自学提示

### 1. 怎样掌握本章内容

本章是绪论课,主要是介绍材料力学的课程性质、任务、内容、学习方法;初步介绍了强度、刚度、稳定性、内力、应力、基本假设等概念;并指出了基本变形有4种:轴向拉、压变形、剪切变形、扭转变形、弯曲变形。这些介绍都是初步的、简单的,深入的研究待后面各章中再研究。

本章所介绍的截面法是必须掌握的方法之一,也是本章的重点,后面各章中内力确定都要由截面法确定。

所以,根据以上的介绍和分析,在学习本章内容时要做到概念清楚,重点放在截面法上。那么怎样才能掌握截面法呢?首先要掌握截面法的步骤,然后看例题,接着独立做习题,逐渐熟练。

### 2. 阅读指导及问题讲解

#### 第一节 材料力学的任务

阅读本节时要注意强度、刚度、稳定性等概念的意义,对设计构件的要求既有安全方面的要求,又有经济方面的要求,不能偏废某一个方面,这是一对矛盾,材料力学就是为解决这一对矛盾而提供了方法和原理。

#### 第二节 变形固体及其基本假设

在阅读本节时应注意材料力学的研究对象——变形固体与理论力学的研究对象——刚体的区别,要清楚均匀性、连续性、各向同性等基本假设的内容及意义,明确假设目的是便于计算。

### 第三节 材料力学的研究对象

阅读中要了解 4 种基本变形的特点。

### 第四节 内力 截面法 应力

阅读中要理解内力、应力的概念,掌握截面法的步骤。

#### 【本节内容讲解】

截面法求内力是基本方法之一,学习时要能够做到基本掌握,能根据截面法的解题步骤求解指定截面的内力,在作一定量的习题后,逐渐熟练。运用截面法应明确下面 4 个问题:

- ① 在何处截? 如有集中力、集中力偶,求该截面内力时应怎样截取?
- ② 如何选取研究对象? 截开后的两段分别作为研究对象,那么结果会怎样? 何情况下两结果一致? 何种情况下两结果不一致?
- ③ 内力在集中力、集中力偶作用截面突变规律是什么?
- ④ 运算结果中的负号的意义是什么?

## 三、解题步骤及注意问题

### 1. 解题步骤

截面法解题步骤一般为:

- ① “截” 沿所求内力所在截面处,用假想平面截开。
- ② “留” 选取截开后的一段为研究对象。
- ③ “替” 去掉部分对研究对象的作用以内力来代替,内力的表示用其向截面形心简化的结果表示。
- ④ “解” 列静力平衡方程,并求解。

### 2. 注意问题

- ① 如求集中力作用截面内力: 轴力、剪力和集中力偶作用截

面内力弯矩时,要注意内力突变,要分别截取该截面两侧面,分别求出左右  $\Delta$  处截面上的内力( $\Delta \rightarrow 0$ )。

② 截开后画受力图时不要遗漏外力。

③ 画内力图位置应使内力图与原受力图上下(或左右)对齐。

【例 0-1】等直杆受力图如图 0-2 所示,试求  $F$  截面两侧面上(左右  $\Delta$  处)的内力。

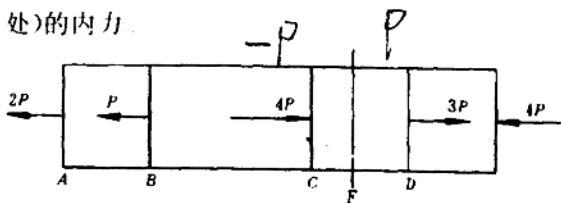


图 0-2

【解】在本例中  $F$  截面上无外力作用,该截面无内力突变,本例中将分别取左段、右段为研究对象,以比较两个计算结果。

① 取右段为研究对象,其受力图如图 0-3 所示。

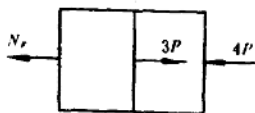


图 0-3

列静力平衡方程

$$N^+ = 2P + P - 4P = -P \text{ (压力)}$$

$N^+$  表示该截面右侧面上内力。

② 若选取左段为研究对象,其受力图如图 0-4 所示。

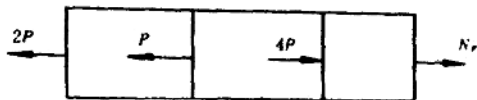


图 0-4

列静力平衡方程

$$N^- = 3P - 4P = -P \text{ (压力)}$$

$N^-$  表示该截面左侧面上内力。

Journal

Journal  
Journal

比较两结果一致,说明该截面上无外力作用时内力连续,取哪一段为研究对象其结果一致。

【例 0-2】某杆受力图如图 0-5 所示,求 1-1, 2-2 截面内力。

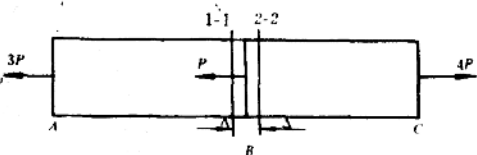


图 0-5

【解】求 1-1 截面(左侧面)内力时,其截开后取左段为研究对象,受力图如图 0-6 所示。

列静力平衡方程

$$N^- = 3P (\text{拉力})$$

求 2-2 截面内力,截开后取右段为研究对象,其受力图如图 0-7 所示。

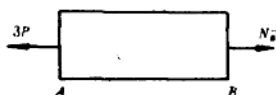


图 0-6

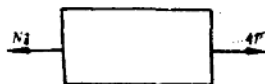


图 0-7

列静力平衡方程

$$N^+ = 4P (\text{拉力})$$

比较两结果说明外力作用处两侧无限接近的截面上内力不连续,其突变值等于外力值

外力作用处是关键;



# 第一章 拉伸和压缩

## 【学习要求】

- ① 掌握轴向拉(压)变形的受力特点和变形特点。
- ② 掌握虎克定律的意义及其应用。
- ③ 掌握材料拉压时的机械性能。
- ④ 掌握剪应力互等定理的意义。
- ⑤ 熟练掌握轴力图的绘制和强度计算。

## 【重点】

### 强度计算

## 【难点】

### 超静定问题

## 【主要公式】

强度条件  $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} \left( \frac{\sigma_b}{n_b} \right)$

虎克定律  $\Delta l = \frac{Nl}{EA}$  或  $\sigma = E\varepsilon$

$$\frac{N}{A} = E \frac{\Delta l}{l}$$

## 一、概念释疑

### 1. 危险应力

危险应力是材料丧失正常工作能力时的应力。当构件的应力达到了危险应力时,将发生断裂或较大的塑性变形,危险应力也称