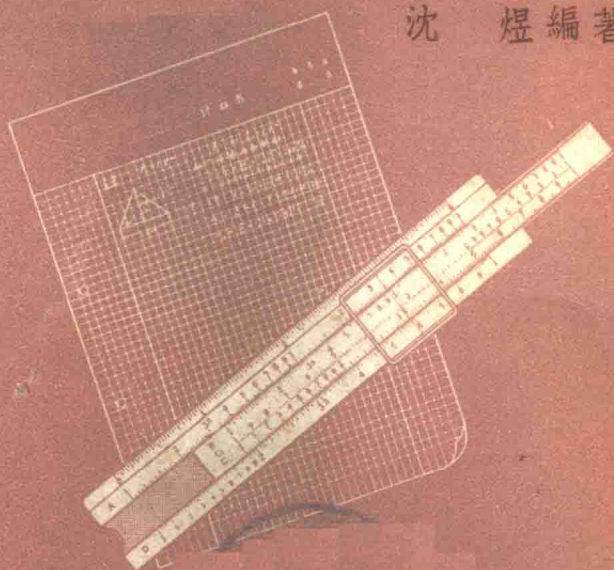


沈 煜 編 著



初級結構工程自學叢書

材料力學入門

上海科學技術出版社

初級結構工程自學叢書

材料力學入門

沈 煜 編著

上海科學技術出版社

內 容 提 要

本书为“初級結構工程自學叢書”之第二種，詳解材料力學的基本知識。全書共分九章，對土建工程中所必需的材料力學知識作了較全面的敘述。關於定理及公式均詳細說明推導，並避免採用高等數學。每章末附有思考題及練習題以鞏固學習心得。對於剪切等與土建較少關係的章節，則略述大意。

本書適合土木建築水利方面有初中文化水平的工作人員自學進修，及訓練初級土建人員之用。

初級結構工程自學叢書

材 料 力 學 入 門

編 著 者 沈 煜

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出093號

上海市印刷五廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本787×1092 1/32 印張6 28/32 字數150,000

1959年8月第1版 1959年8月第1次印刷

印數1—10,000

統一書號：15119 · 1322

定 價：(十) 0.66 元

前 言

自从党中央提出大搞技术革命和文化革命的号召后，在全国范围内便掀起了学习高潮，从事土木建筑工程的工人同志和技术干部与业务管理干部，特别是青工們，也并不例外，均迫切地要求进一步钻研有关这一方面的基本理論和知識，文化学习更为他們創造了有利条件。在工农业生产大跃进以后，全国农村已普遍成立了人民公社，在农村建設中也需要一些具有初級土建工程學識的干部。

我們出版这一套“初級結構工程自学丛书”的主要目的側重在初学的人自学，同时也可作为有关单位开办技术訓練班时作教材，因此取材較一般中等技术学校的教材更为淺显，而以切合实用，便于无师自通为准则，希望具有初中文化程度并略有三角基本知識的讀者們都可以理解清楚。当然各人的程度不同，可能在学习过程中发生一些困难，但决不是不可克服的困难，主要应有毅力，坚持学习精神，并不断向人請教，一定可以成功的。

这一套丛书初步拟出版下列八种：

- | | |
|------------|--------------|
| 1. 靜力学入門 | 5. 鋼筋混凝土結構入門 |
| 2. 材料力学入門 | 6. 木結構入門 |
| 3. 結構力学入門 | 7. 磚石結構入門 |
| 4. 地基与基础入門 | 8. 鋼結構入門 |

讀者可循序漸进，但前四种属于基本性質，更應該按照次序先讀，后四种的次序可以視需要緩急來酌分先后。

我們出版这一套丛书尚是嘗試性質，如果讀者面很广，要求出版其他方面的土建工程自学丛书，我們还打算进一步考虑。写作这套丛书的同志們虽对于中等技术学校的教学工作积累了很多經驗，但要写成这样淺显便于自学的书，实在也很不容易，因此也免不了是嘗試性質。

这一套丛书的内容一定还存在不少問題和缺点，特别是取材問題，很难恰当，希望讀者們在学习过程中多提意見，以便今后不断改进。

上海科学技术出版社 1959年1月

序 言

这本“材料力学入門”是根据編者講授該課时的讲义縮写而成的。为了使应用这本书的土建工程初級技術員和工人同志們能对这門学科的内容及其应用有所了解起見，尽可能地把土建工程中所必需的材料力学知識作了較全面的叙述。例如，按塑性理論計算結構物是今后土建工程設計发展的方向，这里也作了初步的介紹。

书中列举了許多例题和习题，供讀者自学練習之用。为了使讀者容易掌握重点，在每章末还附有复习問題。这些問題大多系編者在講課时的課堂提問，特別強調基本概念的突出、巩固和探討。

书中所有的計算和証法都沒有采用高等数学，这对于具有初中水平的讀者是比較容易接受的。

限于編者的水平，本书繆誤必定很多，欢迎关心本书的同志們多加指正，無論在內容或編排等各方面，都請提出意見和建議，以便今后訂正。

沈 煜

1959年5月于上海建筑材料工业專門学校

目 录

第一章 基本概念

§ 1-1 研究材料力学的目的	1
§ 1-2 力、变形、弹性体	1
§ 1-3 揭露内力的截面法	4

第二章 拉伸和压缩

§ 2-1 变形和应力	9
§ 2-2 虎克定律	12
§ 2-3 在静拉伸下的拉伸图	14
§ 2-4 容许应力、强度计算	17

第三章 剪切

§ 3-1 剪变形和剪力	23
§ 3-2 剪切虎克定律	25
§ 3-3 剪切互生定律	26
§ 3-4 铆接	27
§ 3-5 焊接	32
§ 3-6 榫接	37
§ 3-7 拉伸(或压缩)时在斜截面中的剪应力	40

第四章 平面图形的形心、静矩和惯矩

§ 4-1 平面图形的形心	50
§ 4-2 平面图形的静矩	50
§ 4-3 平面图形的惯矩	55
§ 4-4 平行移轴公式	56
§ 4-5 简单图形的惯矩	57

第五章 弯曲

§ 5-1 弯曲的一般概念	67
§ 5-2 梁的支座型式和梁的种类	68
§ 5-3 弯矩图和剪力图	72
§ 5-4 弯矩和剪力的关系——朱拉夫斯基定律	85
§ 5-5 弯曲时的正应力计算	88
§ 5-6 梁的强度计算	98
§ 5-7 弯曲时的剪应力计算	100
§ 5-8 工字形截面内的剪应力	105
§ 5-9 弯曲时的主应力	108
§ 5-10 弹性曲线	115

第六章 扭转

§ 6-1 圆轴的扭转	136
§ 6-2 圆轴的扭转计算	141

第七章 组合强度

§ 7-1 斜弯曲	146
§ 7-2 弯曲与拉(压)的合成	155
§ 7-3 偏心压缩(拉伸)	159
§ 7-4 截面核心	165

第八章 压杆稳定

§ 8-1 压杆稳定问题的本质	175
§ 8-2 求临界力的欧拉公式;	177
§ 8-3 欧拉公式的适用范围	180
§ 8-4 压杆的稳定计算	183
§ 8-5 压杆稳定问题的实际计算	184

第九章 塑性理论的计算原理

§ 9-1 基本概念	190
§ 9-2 按塑性理论计算拉伸(压缩)静定问题	191
§ 9-3 按塑性理论计算静定梁	195

附 录

第一章 基本概念

§ 1-1 研究材料力学的目的

在上古时代,人类为了躲避野兽和风雨的侵袭,早就知道利用各种天然的材料(木、石)架搭简陋的建筑物(构木为巢,叠石为穴)来保护自己,与自然灾害作斗争。由于那时经济生活条件的限制,古代的建筑家们一般只知根据简单的经验,仿照已有的式样去从事建筑物的建造,所以那时的建筑物形式都比较简陋,所用材料不能合乎经济原则,建筑的技巧亦不够完善,往往需要较长时期才能造成,而且使用不久又易损毁。

今天,我们已经知道,一个好的建筑物必须是造价经济而使用安全的。可是,经济和安全之间是有矛盾的,如果偏重了建筑物的安全,那就必然要增大材料的截面尺寸或考虑采用高强度的材料,势必造成浪费;如果偏重了经济,则建筑物将会因其本身或某一部分的强度不足而破坏,招致生命财产的损失。怎样来处理这个矛盾呢?材料力学这门科学就提供了解决这一矛盾的原则和方法。在掌握了材料力学这门科学的知識后,就能够为建筑物的各个部分确定必需的截面尺寸和选择合适的材料——这就是我们研究材料力学的目的。

§ 1-2 力、变形、弹性体

每一物体上所受的力可分为两大类:即外力和内力。

物体上所受的外力乃是指其他物体对该物体所施与的作用而言。例如車輛、行人經過桥梁时对桥梁所起的弯曲作用,机器設備安置在基础上,对于基础的压沉作用,风雪压在屋面上对房屋桁架各杆件所起的拉伸或压缩作用,以及水压力对堤坝的推压作用等都是外力对结构物的作用。这些外力又叫做荷载。

在本书内,我們所談到的力都是逐渐加于建筑物至某一定值后就不改变的力,这样的力叫做靜力,例如吊車起重时吊鉤及鋼絲繩所受的力就是(图 1-1)。建筑物受靜力作用时,其所有各部分不会发生振动,在受力过程中都处于平衡状态。

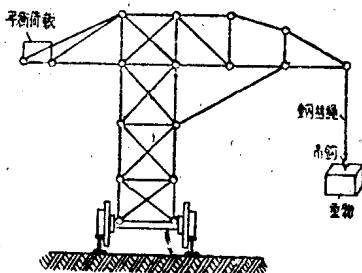


图 1-1

当物体受到外力(荷载)作用时,物体內分子的位置就发生改变,如图 1-2,一个长度为 l 的物体在 P 力的作用下伸长了,这时物体內沿 P 力作用綫上的分子 A 和 B 就互相分离而移到 A_1 和 B_1 的位置, P 力对物体的分子做了功,物体的分子就得到了位能,于是在物体內产生了有互相趋攏傾向的内力。

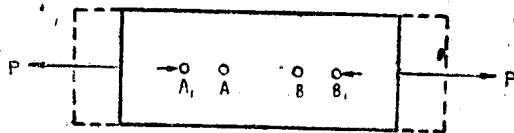


图 1-2

由上面叙述可知外力和内力对物体的作用是：外力企图改变物体的形状；内力则抵抗这种企图。

在本书内，我們所研究的构件主要是棱柱形或圆柱形的直杆。外力作用在杆件上，杆件就发生变形。杆件变形的形式有以下两种：

1. 基本变形：

a. 拉伸(或压缩)：当外力的作用线与杆轴重合时，杆件就发生拉伸(或压缩)(图 1-3a)；

b. 剪切：当外力有使杆件的一部分对另一部分发生滑移的倾向时，就发生剪切(图 1-3b)；

c. 弯曲：当作用力垂直通过杆轴时，杆件就发生弯曲(图 3c)；

d. 扭转：在垂直于杆件的平面内作用一力偶时，杆件就发生扭转(图 1-3d)。

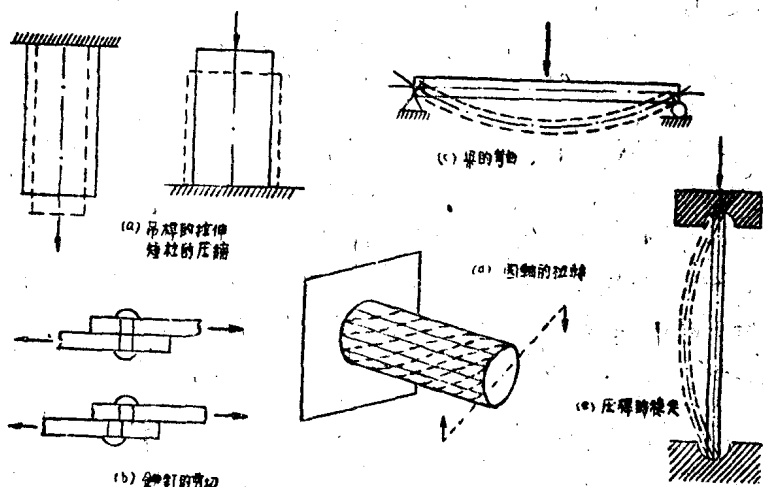


图 1-3

2. 复合变形: 日常我們所看到的結構物中的各个杆件常承受两种或更多种的基本变形, 例如若将图 1-3c 的外力改为斜向时, 则梁上将同时发生弯曲及拉伸(或压缩)两种变形, 这就叫做复合变形。

在本书内, 我們先研究各种基本变形, 而后来研究較复杂的复合变形, 最后来研究細长杆两端受压时容易发生弯曲的所謂压杆稳定問題(图 1-3e)。

物体受外力作用时, 必发生变形。如果所加的外力不大, 那末当外力取消时, 我們將看到物体能完全恢复它原来的形状, 物体的这种性格叫做彈性。建筑物受力作用后的变形与它原来的尺寸比較起来总是极微小的。因此, 在材料力学里, 为了使研究問題方便起見, 都假設物体是完全彈性体。这个假設的具体叙述是: 物体完全能随着使它变形的外力的取消而恢复它原来的形状。

物体的內力体现了它本身的彈性, 所以內力又叫做彈性力。

§ 1-3 揭露內力的截面法

我們已知物体的內力是物体承受外力作用的结果。因此, 在解求內力前首先应弄清楚物体上有那些外力作用着, 不可遺漏掉一个力或多加上一个力, 以免造成錯誤。例如图 1-4a 是一固定的直杆, 它的自由端受一拉力 P 的作用, 如果以反力 R 代替固定端对直杆的約束(图 1-4b), 就得直杆的孤立体图如图 1-4b 所示, 粗心的人往往会把固定端的反力給忘失了, 而画成图 1-4c 的孤立体形式, 这样一来, 就使原来平衡的物体失去平衡, 造成了計算上的极大錯誤。

在材料力学这門科学里, 我們最經常碰到的問題是分析建

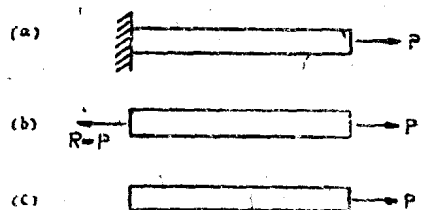


图 1-4

筑物的强度問題，这就必然要牵涉到內力的分析問題。分析建筑物的內力常应用到靜力学的法則，但不能是生搬硬套的，靜力学中的某些法則在分析內力的問題上是不能适用的。这些法則是：

1. 力的可傳性法則：如图 1-5a，杆的两端原来受的是压力

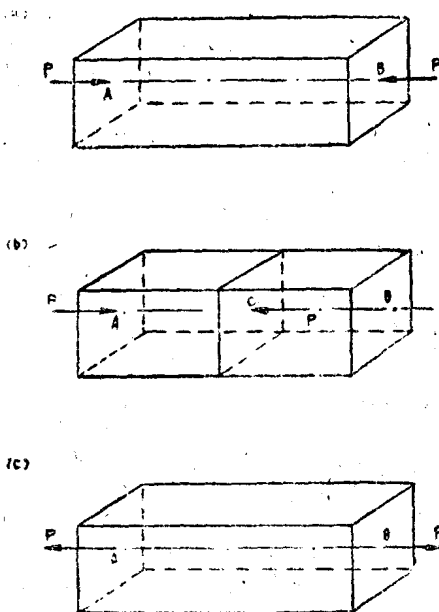


图 1-5

P , 从静力学的观点来看, 只要力 P 沿其作用线移动加在杆件的任何地方(图 1-5 b, c), 对杆件的运动情况(移动或静止)都是一样的。可是不难看出, 若要考虑杆的内力时, 从变形的情况可以了解到图 1-5 a 的受力情况与图 1-5 b 及 c 的受力情况是完全不同的: 图 1-5 a 是杆的全段受压缩; 图 1-5 b 只在杆的 AC 段发生压缩而 CB 段没有变形; 图 1-5 c 则是杆的全段被拉伸。变形的情况既然不同, 内力的情况当然也就各不相同。所以, 在考虑内力的情况时不能应用力的可传性法则。

2. 用合力代替分力的法则: 如图 1-6 所示, 在两个等长同粗的梁上各作用着均布荷载和集中荷载。虽然它们所受的荷载都

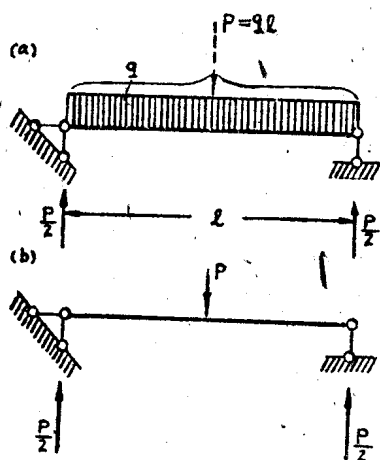


图 1-6

等于 P (均布荷载的合力等于 P), 可是由于荷载在这两个梁上的分布情况不同, 使得它们的变形也各不相同, 因而它们的内力是各不相等的。在计算图 1-6 a 梁的内力时, 如果自作聪明地用合力的方法把均布荷载集中起来时 (即以图 1-6 b 的荷载形式来代替图 1-6 a 的荷载形

式), 其结果必然是错误的。至于在求支座反力时, 用合力来代替分布荷载是很正确的, 这是因为对梁说来求支座反力不是个内力问题, 而是个静力学的外力平衡问题。

在尚未谈到截面法的本题以前, 为了使问题的研究简单化起见, 我们假设材料都是均匀地毫无空隙地充满于物体的整个

体积內的。这个假設使得物体内所有各点都具有同样的力学性质,在此情况下我們才有可能来从事截面法的研究。

現在我們来討論如何揭露内力。如图 1-7 a,假使有許多力($P_1, P_2, \dots, P_6$)作用在一杆件上而保持平衡,这时我們如果要求杆內任意平面 $p-q$ 上的内力,可假想用一截面 $m-n$ 沿平面 $p-q$ 将杆件截为 A 与 B 两部分,移去一个截断部分(例如 B)来

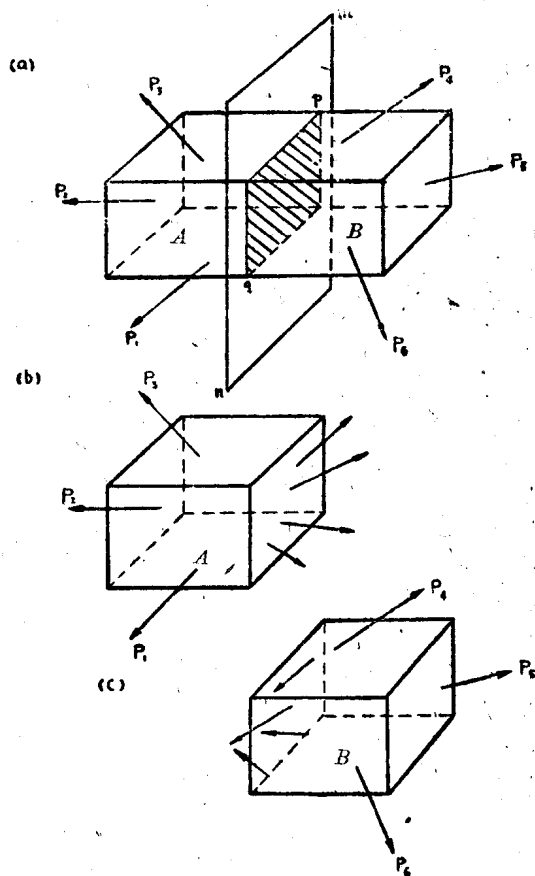


图 1-7

考虑留下部分(例如 A)的受力情况(图 1-7b)。

因为 A 部分在假想截断前是处于平衡状态的, 在假想截断后当然也处于平衡状态。由此可知, 为维持孤立体 A 的平衡, B 部分必施力于 A 部分。同样, 由反作用定律可知 A 部分也必同时对孤立体 B 施以大小相等方向相反的力(图 1-7b, c), 这些相互作用的力就是杆的内力。当考虑整个杆件的平衡时, 这些内力就毋须顾及; 但当考虑孤立体 A 或 B 的平衡时, 这些内力就以外力的形式出现了。内力既然暴露了, 就不难计算它的大小和确定它的性质了。这就是用截面法揭露内力的简单原理。

复习思考问题

- (1) 试述研究材料力学的目的和任务?
- (2) 什么叫做外力? 结构物承受的荷载有哪些?
- (3) 什么是内力? 产生内力的原因有几? 为什么内力又叫做弹性力?
- (4) 在材料力学中主要研究些什么构件?
- (5) 什么叫做变形? 变形有那些基本形式?
- (6) 为什么说用截面法可以揭露物体的内力?

第二章 拉伸和压缩

§ 2-1 变形和应力

取一长度为 l 、截面积为 F 的等截面棱柱杆，在它的纵轴向施以拉(或压)力，则该杆得到纵向伸长(或缩短) Δl 及横向缩短(或伸长) Δb ，图 2-1 的虚线表示变形后的形状。由于外力作用而使原来长度产生改变的总量值 Δl 叫做纵向绝对伸长(或缩短)，同样 Δb 叫横向绝对缩短(或伸长)。它们的单位为公分或公厘。(希腊字母代号的读音见书末)

$$\left. \begin{aligned} \Delta l &= l_1 - l; \\ \Delta b &= b - b_0 \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

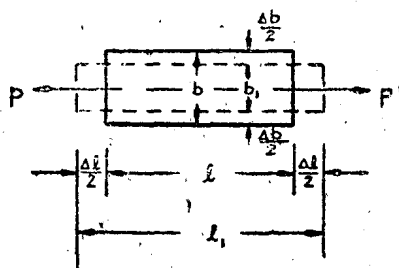


图 2-1

绝对变形的数值，依杆的长度不同而异，所以按绝对变形的数值极难确定材料的伸长(或缩短)能力，通常采用相对变形的概念来判定杆的变形。所谓纵向相对伸长(缩短)就是杆的单位

长度的伸长(缩短),又叫做应变,用 ε 表示。如此,则

$$\left. \begin{array}{l} \text{纵向应变} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \\ \text{横向应变} \quad \varepsilon_0 = \frac{\Delta b}{b}; \end{array} \right\} \quad (2-2)$$

ε 是一个不名数。

横向应变 ε_0 与纵向应变 ε 的比值叫做泊松系数,用 μ 表示:

$$\mu = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon} \quad (2-3)$$

各种材料的 μ 值可由实验来确定,大约在 $0 \sim 0.5$ 之间,它可以说明材料的物理性质。若干材料的泊松系数见附录表1中。

下面我们应用截面法来求当直杆受轴向拉伸(或压缩)时的内力:

用试件进行实验的结果知:当轴向拉伸时,杆的所有纵向纤维几乎都同样地伸长,因此就可以假设杆内所有垂直于杆轴的平截面在变形之后仍旧是平面垂直于杆轴的。这样就可以认为轴向拉伸(或压缩)时所有横截面上的内力是均匀分布的。在确定变形的性质和内力分布的情况后就可以来解求总内力 N 了。

假想用截面 $m-n$ 把杆截成 A 和 B 两部分(图2-2a),移去 B 部分,考虑 A 部分的平衡,由上述平截面假设以及静力学平衡条件 $\sum x = 0$,

$$-P + N = 0。$$

由此得

$$N = P。$$

为了便于比较不同物体受拉(或压)力后所发生的强度现象,我们把作用在横截面上的总内力 N 分布在該截面的面积上