

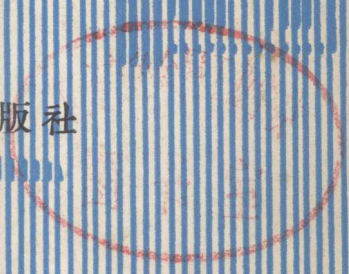
中等专业学校教材

材料力学基础

原著〔日〕大石正昭

袁先志 译

成都电讯工程学院出版社



材料力学基础

原著〔日〕大石正昭

袁先志 译

7520

成都电讯工程学院出版社

• 1987 •

内 容 提 要

本书是译自日文《材料力学の基础》的一本翻译教材。该书在日本出版后受到许多工业专门学校、专修学校、职业技术学校的欢迎，并用作材料力学教材，它用通俗易懂的语言详尽介绍了材料力学的基础知识及其应用。全书分五章，主要内容包括材料强度、弯曲、扭转、压曲、组合应力。

该书在内容组织、讲述方式、例题编排方面都很有特色，可作为我国中等专业学校、技工学校、职业高中的教材或教学参考书，也可作为高中以上文化程度的有关专业人员的自学读本。

1230

机械工业出版社

• 1230 •

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲议中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的出版质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部制定的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由中等机械类专业编审委员会基础课教材编审小组组织征稿、评选、推荐出版的。

本教材由成都无线机械学校袁先志担任主编,成都电讯工程学院谢孟贤担任主审。

本课程的参考学时数为 60 学时,其主要内容为材料强度、弯曲、扭转、压曲、组合应力。使用本教材应注意学以致用。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1987年7月于成都

原 书 序 言

材料力学的参考书出版了许多,名著也不少,尽管如此,编写这本《材料力学基础》的宗旨是想使该书成为一本易于理解、便于掌握的读物。本书是为数学知识不太多,而把材料力学作为基础来学习的读者编写的,只用圆规和直尺在练习本上作图,写出算式,用计算尺(计算器)就能进行计算。在学习时应注意,即使某一处没弄懂,也应继续往前学习,在该章结束时自然会清楚。这时不要看从前画过的图,自己试着画一画,以加深印象。学习中要坚持不懈,反复做题,直至能够应用。

本书具有如下的特点

1. 本书是按对初学材料力学的人容易理解的顺序来进行讲述的。
2. 对难懂的理论避免一开始就使用数学公式,力求用通俗易懂的语言进行阐述。
3. 对数学程度要求不高,除特殊情况外,读者大致具有高中一年级数学知识就可以。
4. 采取循序渐进的学习方法,学会材料力学的解题思路和解题方法。
5. 列举了大量各种类型的例题,进行通俗易懂地讲解,然后布置习题,并用相同的思路来解题。
6. 尽可能使练习题内容丰富,在编排上尽力作到由易到难,通过大量练习使读者牢固掌握解题的本领。
7. 各章末有测验题,如能全部作完,就算达到了该章的要求。
8. 坚持学完本书,读者便能具备一定的材料力学知识,为进一步学习机械设计、更高深的材料力学、结构力学等课程奠定了基础。

作者本着上述的意愿来编写本书的。希望大家每天即使花短暂的时间也要翻开书本来学习一下,只要坚持下去就一定能有收获。

此外,由竹之内博次所著的《工业力学基础》是本书的姐妹篇。通过《工业力学基础》的学习将会使你掌握更多的力学知识,从而得到进一步的提高。

最后,笔者对曾所参考过的材料力学、机械设计、结构力学等书的作者表示谢意,同时,对始终给予笔者以巨大鼓励的启学出版社诸君表示衷心的感谢。

大石正昭

目 录

第一章 材料强度

1.1 载荷	(1)
1.1.1 按力的作用方向分类	(1)
1.1.2 按载荷的性质分类	(1)
1.1.3 按载荷的分布状态分类	(2)
1.2 应力和变形	(2)
1.2.1 应力	(2)
1.2.2 变形	(5)
1.2.3 应力和应变	(7)
1.2.4 弹性模量	(8)
练习1	(13)
1.3 材料的性质	(13)
1.3.1 应力集中	(13)
1.3.2 热应力	(15)
1.3.3 蠕变和疲劳	(18)
1.3.4 许用应力和安全系数	(19)
练习2	(24)
1.4 承受内压的圆筒	(24)
1.4.1 薄壁圆筒的强度	(24)
1.4.2 承受内压的薄壁球	(28)
1.4.3 旋转圆轮的强度	(30)
1.4.4 厚壁圆筒的强度	(32)
练习3	(33)
1.5 弹性能	(34)
1.5.1 弹性能	(34)
1.5.2 冲击应力	(36)
练习4	(40)
第一章测验题	(40)

第二章 弯曲

2.1 梁及梁上载荷的种类	(42)
2.1.1 梁的种类	(42)
2.1.2 载荷的种类	(43)
2.2 支点反力	(43)
2.2.1 梁的平衡	(43)

2.2.2 支点的反力	(44)
2.3 剪力和弯矩	(49)
2.3.1 剪力	(49)
2.3.2 弯矩	(52)
2.4 剪力图和弯矩图	(56)
2.4.1 悬臂梁	(56)
2.4.2 简支梁	(62)
2.4.3 梁的剪力图和弯矩图的关系	(70)
练习5	(76)
2.5 梁的应力	(76)
2.5.1 弯曲应力	(76)
2.5.2 截面轴惯性矩和截面模量	(77)
练习6	(86)
2.6 梁的强度	(86)
2.6.1 梁的截面尺寸的选定	(86)
2.6.2 梁的挠度	(91)
练习7	(96)
2.7 等强度梁	(96)
2.7.1 宽度一定厚度变化的悬臂梁	(96)
2.7.2 厚度一定宽度变化的悬臂梁	(97)
2.7.3 叠板弹簧	(100)
2.8 固定梁和连续梁	(105)
练习8	(108)
第二章测验题	(108)

第三章 扭转

3.1 轴	(110)
3.2 扭转应力和横截面模量	(110)
3.2.1 抗扭矩	(110)
3.2.2 截面的极惯性矩	(111)
3.2.3 极截面模量	(111)
3.3 轴的计算	(115)
3.3.1 轴的直径	(116)
3.3.2 转轴传递的功率	(117)
3.3.3 轴的刚度	(120)
练习9	(124)
3.4 弹簧	(125)
练习10	(130)

第三章测验题	(130)
第四章 压曲	
4.1 柱	(132)
4.1.1 压曲和柱端系数	(132)
4.1.2 压曲强度和最小截面惯性半径	(132)
4.2 柱的压曲强度	(134)
4.2.1 欧拉公式	(134)
4.2.2 兰金公式	(137)
练习11	(139)
第四章测验题	(139)
第五章 组合应力	
5.1 主应力	(140)
5.1.1 倾斜截面上的应力	(140)
5.1.2 共轭剪应力	(141)
5.1.3 互成直角的正应力的合成	(142)
5.1.4 互成直角的正应力和剪应力的合成	(143)
5.1.5 主应力和主面	(145)
练习12	(147)
5.2 受到弯曲和扭转的轴	(148)
5.2.1 等效弯矩和等效扭矩	(148)
5.2.2 受到弯曲和扭转作用的轴	(150)
练习13	(152)
第五章测验题	(153)
练习题解答	(154)
测验题解答	(172)

第一章 材料强度

在物体(材料)上稍加一点载荷(外力),物体就会产生变形。载荷在某一限度内时,如果去掉载荷,物体就恢复原状。当载荷超过某一限度,即使去掉载荷,物体也不能恢复原状。如果加上更大的载荷,物体最终将被破坏。为此,让我们来研究一下物体在各种载荷作用下,它的强度、载荷和变形的关系。

1.1 载 荷

作用于物体上的外力叫做载荷(load)。根据不同方法可分类如下

1.1.1 按力的作用方向分类

- (1)拉伸载荷(tensile load)——使物体拉伸变长的载荷。
- (2)压缩载荷(compressive load)——使物体缩短的载荷。

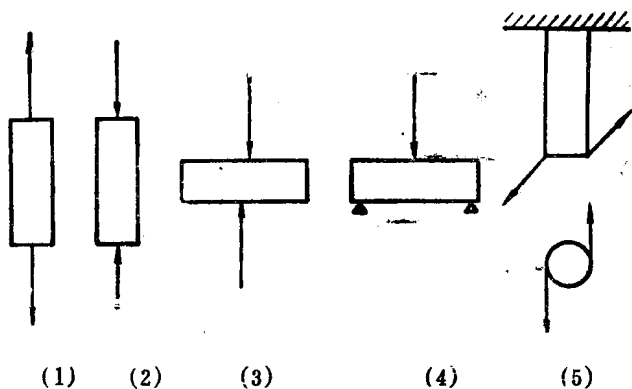


图1.1 载荷的种类

- (3)剪切载荷(shearing load)——使物体向剪断方向作用的载荷。
- (4)弯曲载荷(bending load)——使物体发生弯曲变形的载荷。
- (5)扭转载荷(torsional load)——使物体扭转的载荷。

1.1.2 按载荷的性质分类

(1)静载荷(static load)——大小和方向一定,且不随时间变化的载荷,也叫死载荷(dead load)。

(2)动载荷(dynamic load)——相对于静载荷而言,大小和方向都随时间而变化的载荷,也叫活载荷(live load)。

(a)重复载荷(repeated load)——载荷作用的方向一定,只是大小在某一范围内变化且重复作用的载荷。

(b)交变载荷(alternate load)——这是重复载荷的一种,但载荷的大小和方向都在变化。例如,拉伸和压缩载荷交替作用的载荷。

(c)冲击载荷(impact load)——指短时急剧作用的载荷。例如,用榔头敲打物体时

的载荷。

(d)移动载荷(moving load)——指在物体上移动的载荷。

1.1.3 按载荷的分布状态分类

(1)集中载荷(concentrated load)——指集中在一点作用于物体的载荷。如果载荷作用在物体的很小一部分上也可视为集中载荷(图1.2(a))。

(2)分布载荷(distributed load)——指分散作用在物体某一部分上的载荷(图1.2(b), (c))。其中,把分布均匀、大小一样的分布载荷叫均匀分布载荷。当分布的区域一定时,每一单位长度的载荷大小就一定了。

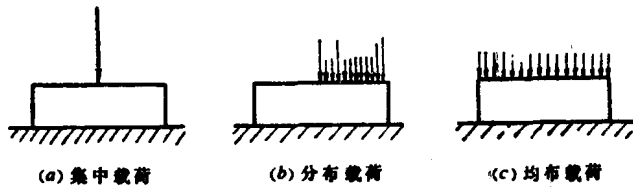


图1.2 根据载荷的分布状态分类

1.2 应力和变形

1.2.1 应力

物体受到外来载荷 P 作用时,若载荷较小,物体似乎完全未发生变形,但随着载荷逐渐增大,物体将发生显著的变形,最终还会导致破坏。

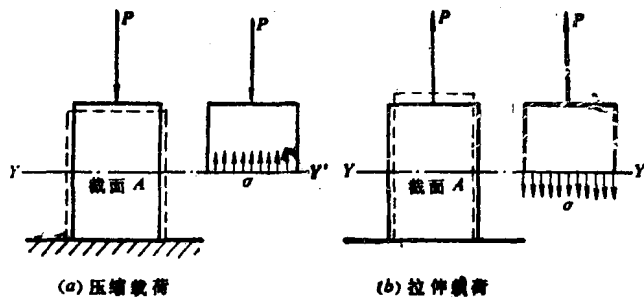


图1.3 加载荷后的变形

加在物体上的载荷不太大时,物体发生变形,并同时在其内部产生抵抗载荷 P 的力 σ 。当 P 不超过某一数值时,物体发生变形,一但把 P 去掉,物体就能恢复原始状态,因而自然地想到在物体内部产生了抵抗力。人们把这种抵抗力叫内力。物体在破坏的限度内载荷的大小和内力的大小是相适应的。载荷为拉伸载荷时,应力叫拉应力,压缩载荷时叫压应力,剪切载荷时就叫剪应力。拉应力和压应力的方向与横截面垂直。假设横截面积为 A ,作用于 A 上的拉伸载荷(压缩载荷)为 P ,则单位面积的内力叫应力强度(intensity of stress),一般简称为应力,其表达式如下:

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{1.1}$$

【例题1.1】 边长为2cm的方软钢棒料,受5000kg拉伸载荷作用,试求该材料内部产生的应力 σ 。

解

1.作图(1.4)。

2.使用什么公式? 由(1.1)式求 σ 。

3.式中已知数值为 $P=5000\text{kg}$, $A=2\times 2=4[\text{cm}^2]$

4.求 σ

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{5000}{4} = 1250[\text{kg}/\text{cm}^2]$$

【例题1.2】 直径为15mm的圆钢棒受8500kg的压缩载荷时产生破裂,试求破裂时的应力。

解

1.作图(1.5)。

2.用什么公式? 由(1.1)式求 σ 。

3.已知数据 $P=8500\text{kg}$,

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 = 1.77[\text{cm}^2]$$

4.求 σ

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{8500}{1.77} = 4800[\text{kg}/\text{cm}^2]$$

【例题1.3】 边长分别为2cm、4cm、6cm的方截面杆,均受同样大小的拉伸载荷,求各杆应力比。

解

1.作图(1.6)。

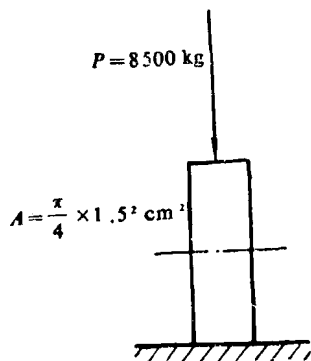


图1.5

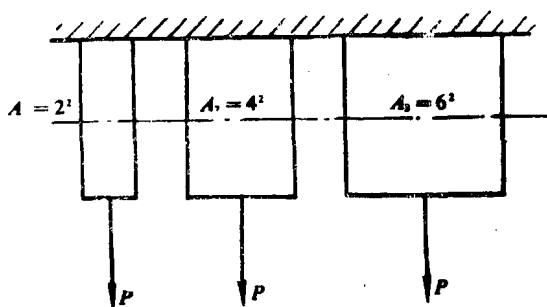


图1.6

2.用什么公式? 由(1.1)式求应力比。

3.已知 $A_1 = 2^2 = 4[\text{cm}^2]$, $A_2 = 4^2 = 16[\text{cm}^2]$, $A_3 = 6^2 = 36[\text{cm}^2]$

4.求应力比

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_1}, \quad \sigma_2 = \frac{P_2}{A_2}, \quad \sigma_3 = \frac{P_3}{A_3}$$

$$\therefore \sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = \frac{P_1}{A_1} : \frac{P_2}{A_2} : \frac{P_3}{A_3}$$

其中 $P_1 = P_2 = P_3$

$$\therefore \sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = \frac{1}{4} : \frac{1}{16} : \frac{1}{36} = 1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$$

即产生的应力与边长的平方成反比。

[习题 1] 直径为 20cm 的圆钢受 3000kg 拉伸载荷时, 杆的应力是多大?

[习题 2] 欲使圆棒内部产生 400kg/cm² 的拉伸应力, 设圆钢直径为 10mm, 试问应加多大的拉力?

[习题 3] 截面为 4cm × 4cm 的短棒, 受 10t 压缩载荷时, 试求短棒内的压缩应力。

[习题 1 的解答] 请思考作图。

1. 由 (1.1) 式求 σ 。

2. 已知 $P = 3000\text{kg}$, $A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 3.14[\text{cm}^2]$

3. 由 (1.1) 式可得

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{3000}{3.14} = 955[\text{kg/cm}^2]$$

[习题 2 的解]

1. 把 (1.1) 式变形求 P 。

2. 已知 $\sigma = 400\text{kg/cm}^2$,

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 1^2 = 0.785[\text{cm}^2]$$

3. $P = A\sigma = 0.785 \times 400 = 314[\text{kg}]$

[习题 3 的解]

1. 由 (1.1) 式求 σ 。

2. 已知 $P = 10000\text{kg}$, $A = 4 \times 4 = 16[\text{cm}^2]$

3. 求 σ

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{10000}{16} = 625[\text{kg/cm}^2]$$

当剪切载荷 P 作用于物体时, 考虑到应力的方向和截面平行, 设截面为 A , 作用于横截面 A 的剪切载荷为 P , 则单位面积上的内力 τ 为

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (1.2)$$

称 τ 为剪切应力。

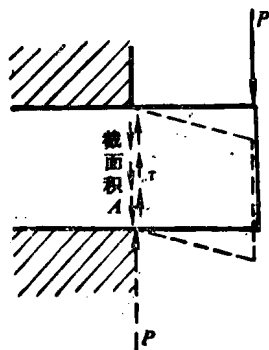


图 1.7 剪应力

[习题 4] 截面为正方形的方料上, 受了 30 t 的剪切载荷, 若产生的剪切应力为 300kg/cm², 试问这个方料的边长为多少?

[习题5] 圆棒受2500kg剪切载荷时, 欲使材料内部产生400kg/cm²剪切应力, 试问圆棒直径多大?

[习题4的解]

1. (1) 将(1.2)式变形求 A 。

(2) 将 A 开平方求出平方根, 可得边长。

2. 已知 $P = 30000\text{kg}$, $\tau = 300\text{kg/cm}^2$

3. (1) 将(1.2)式变形得

$$A = \frac{P}{\tau} = \frac{30000}{300} = 100[\text{cm}^2]$$

(2) 命边长为 a , 则

$$a = \sqrt{A} = \sqrt{100} = 10[\text{cm}]$$

[习题5的解]

1. (1) 将(1.2)式变形求 A ,

(2) 由 A 求出直径。

2. 已知 $P = 25000\text{kg}$, $\tau = 400\text{kg/cm}^2$

3. (1) 将(1.2)式变形得

$$A = \frac{P}{\tau} = \frac{25000}{400} = 62.5[\text{cm}^2]$$

(2) 由 $A = \frac{\pi}{4} d^2$ 可得 d

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 62.5}{\pi}} = 8.92[\text{cm}]$$

1.2.2 变形

物体受载荷作用时就发生变形。人们把相对于原始状态所发生的形状变化叫做变形。如果把载荷从零件上去掉, 其变形最好为零。

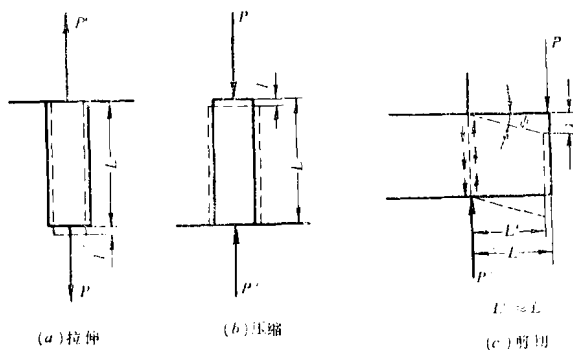


图1.8 由于载荷而产生的变形

如图1.8(a)所示, 物体受拉伸载荷作用时, 该物体向所加载荷方向伸长, 横向变细。当

受压缩载荷作用时, 将沿载荷方向压缩, 横向变粗。因此, 若把相对于物体原始长度的单位长度的变化叫做应变 ε , 那么

$$\varepsilon = \frac{l}{L} \quad (1.3)$$

式中 L —— 物体的初始长度
 l —— 伸长或压缩长度

物体受剪切载荷时, 将会发生图1.8(c)中虚线所示的变形, 这时剪切变形 γ 为

$$\gamma = \frac{\lambda_s}{L} \approx \phi \quad (1.4)$$

式中 L —— 物体的初始长度
 λ_s —— 因载荷而引起的长度变化
 ϕ —— 因载荷而产生的角度变化

【例题1.4】 一根长 50cm 的棒料在拉伸载荷作用下伸长到 50.3cm, 试求其应变。

解

1. 作图(1.9)。
2. 用哪一个公式好呢? 由(1.3)式求 ε 。
3. 已知 $L = 50\text{cm}$ $l = 50.3 - 50 = 0.3[\text{cm}]$
4. 求 ε

$$\varepsilon = \frac{l}{L} = \frac{0.3}{50} = 0.006$$

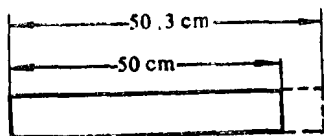


图1.9

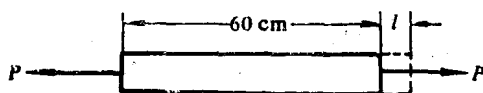


图1.10

【例题1.5】 棒长60cm, 加载后应变为0.008, 试问该棒拉长了多少厘米?

解

1. 作图(1.10)。
2. 将(1.3)式变形求 l 。
3. 已知 $\varepsilon = 0.008$, $L = 60\text{cm}$
4. 由(1.3)式可得 $l = \varepsilon \cdot L = 0.008 \times 60 = 0.48[\text{cm}]$

[习题6] 80cm长棒料受拉伸载荷作用, 伸长到80.6cm, 试问其应变为多少?

[习题7] 长 1.5m 的棒在拉伸载荷作用下产生 0.0016 的应变, 试问拉长了多少?

[习题8] 应变为 0.0004 时, 3m 长的棒将拉成多长?

[习题 6 的解]

1. 由(1.3)式求 ϵ 。

2. 已知 $L = 80\text{cm}$, $l = 80.6 - 80 = 0.6[\text{cm}]$

3. 求 ϵ

$$\epsilon = \frac{l}{L} = \frac{0.6}{80} = 0.0075$$

[习题7的解]

1. 将(1.3)式变形求 l 。

2. 已知 $\epsilon = 0.0016$, $L = 150\text{cm}$

3. 求变形 l

$$l = \epsilon \cdot L = 0.0016 \times 150 = 0.24[\text{cm}]$$

[习题8的解]

1. 将(1.3)式变形求 $l + L$

2. 已知 $\epsilon = 0.0004$, $L = 300\text{cm}$

3. 求 $l + L$ 的长度

$$\begin{aligned} l + L &= \epsilon \cdot L + L = 0.0004 \times 300 + 300 \\ &= 0.12 + 300 = 300.12[\text{cm}] \end{aligned}$$

1.2.3 应力和应变

物体受载荷作用时, 多少要发生点变形。当载荷不太大时, 把载荷去掉, 物体立即恢复原状而变形消失。人们把物体的这种性质称为弹性(elasticity)。当物体上所受的载荷较大, 产生变形后即使把载荷去掉, 物体也不会完全恢复原状而有残存的变形。人们把这种性质称为塑性(plasticity)。把残留的变形叫永久变形(permanent selt)或残留变形

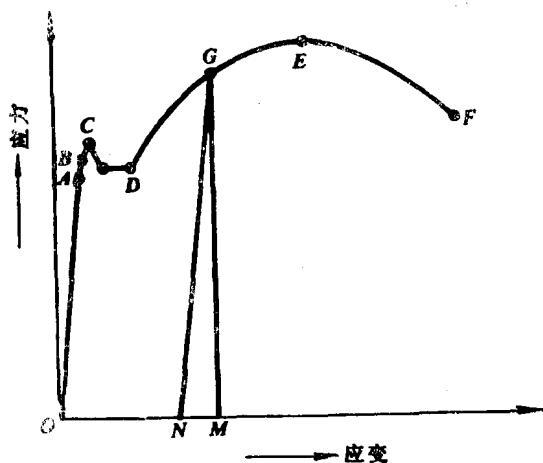


图1.11 应力-应变图

(residual strain)。把不产生永久变形的最大载荷下的应力大小叫做弹性极限(elastic limit)。在弹性极限内物体内产生的应力和应变成正比(准确说地应在比例极限内, 而实际上视为在弹性极限内也没有关系)。人们把这一关系叫虎克定律(Hooke's law)。钢棒受纵向拉伸载荷时, 棒内产生的应力和应变关系如图1.11所示。以纵轴代表应力, 横轴代

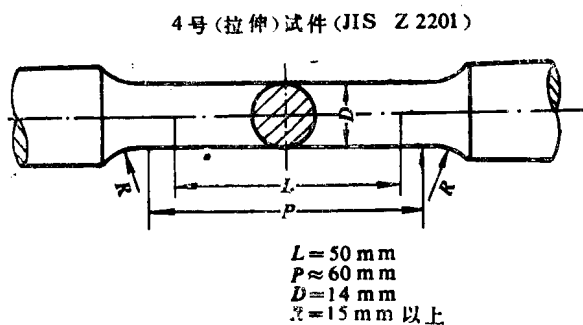


图1.12 材料试件

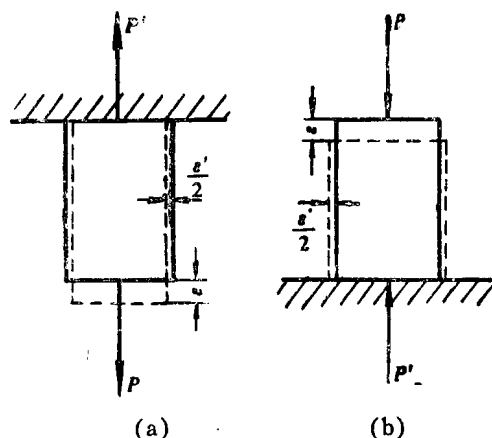


图1.13 纵向和横向变形

表应变，把表示从拉伸开始到材料被破坏的关系曲线叫应力-应变图 (stress-strain diagram)。如以纵轴代表载荷，横轴代表伸长，则把表示载荷和伸长关系的曲线图叫载荷-伸长曲线图 (load-elongation diagram)，它跟应力-应变曲线图十分相似。图 1.11 中，因在 A 点以前应力和变形成正比，故把 A 点叫比例极限 (limit of proportionality)。B 点以前，应力消失则变形为零，故称它为弹性极限 (limit of elasticity)。到达 C 点时，虽然应力减小而变形却继续增加，我们把 C 点叫屈服点 (yield point)。到 D 点以后，随着应力的加大变形明显地增加，最终导致材料的断裂。如果在 DF 段失去应力，那么曲线将几乎沿着平行于 AO 的 GN 折回到 N 点。这就是说，即使应力已为零而变形不为零，残留着大小为 ON 的变形，这种变形称为永久变形或残留变形。卸去载荷仍残留着变形的这种性质叫塑性，其变形称为塑性变形。此外，把对应于应力最高点 E 的应力叫拉伸强度或抗拉强度，也叫强度极限 (ultimate strength)。

1.2.4 弹性模量

由虎克定律可知，拉伸应力 (压缩应力) σ 和沿应力方向所产生的应变成正比关系，即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.5)$$

式中比例系数 E 叫纵弹性模量 (modulus of longitudinal elasticity) 或叫杨式模量 (Young's modulus)。此外，由 (1.1)、(1.3) 式知 $\sigma = \frac{P}{A}$ ， $\epsilon = \frac{l}{L}$ ，故可得

$$E = \frac{PL}{Al} \quad (1.6)$$

同理，把剪应力与该方向的剪切变形 γ 之比

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1.7)$$

叫做横弹性模量 (modulus of rigidity)。另外，由 (1.2)、(1.3) 和 (1.4) 式有

$$\tau = \frac{P}{A}, \quad \gamma = \frac{\lambda_s}{L}$$