中等专业学校教学参考书

材料力学

马永林　王清达
吴国华　李建棠　合编

人民教育出版社

221
90

材料力学

马永林　王清达
吴国华　李建棠　合编

人民教育出版社（北京沙滩后街）
唐山人民印刷厂印装
新华书店上海发行所发行

统一书号 15012·045　开本 787×1092　1/32　印张 4 8/16
字数 128,000　印数 635,001—1,035,000　定价 (6) 0.39 元
1966 年 3 月第 1 版　1979 年 2 月河北第 5 次印刷

主要字符表

主要字符	字　符　意　义	常用单位
E	拉压弹性模量	kg/cm^2, kg/mm^2
G	剪切弹性模量	kg/cm^2, kg/mm^2
P	集中载荷	kg, t
q	均布载荷	kg/m, t/m
M	外力偶矩	kg-m, kg-cm
P_{lj}	临界力	kg, t
n	转速	转/分
	安全系数	无单位
F	截面面积	cm^2, mm^2
J_p	极惯性矩	cm^4, mm^4
J_z, J_y	轴惯性矩	cm^4, mm^4
W_p	抗扭矩	cm^3, mm^3
W	抗弯矩	cm^3, mm^3
i	惯性半径	cm, mm
λ	柔度	无单位
N	法向内力	kg
	功率	马力, 千瓦
Q	剪力	kg, t
	载荷	kg, t
	惯性力	kg, t
M_n	扭矩	kg-cm, kg-mm
M_w	弯矩	kg-cm, kg-mm
M_{dx}	等效力矩	kg-cm, kg-mm
σ	正应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_{max}	最大正应力	kg/cm^2, kg/mm^2

续前表

主要字符	字　符　意　义	常用单位
$\sigma_{\min}$	最小正应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_p	比例极限	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_s	屈服极限	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_b	强度极限	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_l	拉伸应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_y	压缩应力	kg/cm^2, kg/mm^2
$[\sigma]$	许用正应力	kg/cm^2, kg/mm^2
$[\sigma]_l$	许用拉伸应力	kg/cm^2, kg/mm^2
$[\sigma]_y$	许用压缩应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_{dx}	等效应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_{-1}	对称循环下的持久极限	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_0	脉动循环下的持久极限	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_d	动荷应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_{jy}	挤压应力	kg/cm^2, kg/mm^2
$[\sigma]_{jy}$	许用挤压应力	kg/cm^3, kg/mm^2
τ	剪应力	kg/cm^2, kg/mm^2
τ_b	剪切强度极限	kg/cm^2, kg/mm^2
$\tau_{\max}$	最大剪应力	kg/cm^2, kg/mm^2
$[\tau]$	许用剪应力	kg/cm^2, kg/mm^2
σ_{lj}	临界应力	kg/cm^2, kg/mm^2
ε	拉伸或压缩应变	无单位
γ	剪应变	无单位
δ	伸长率	无单位
ψ	断面收缩率	无单位
φ	扭转角	弪, 度
θ	单位长度内的扭转角	弪/m, °/m
	梁截面的转角	弪
$[\theta]$	许用单位长度内的扭转角	°/m
y	梁截面的挠度	cm, mm

目　　录

第六章 直梁弯曲时的应力

第七章 梁的变形

第八章 組合变形的强度計算

第九章 压杆稳定

第十章 动荷应力和交变应力

緒　言

一、材料力学的任务

在生产劳动中，经常要使用机器和工程结构. 对于任何机器和工程结构，都必须保证它在承受载荷的情况下能够安全地正常工作. 因此，组成机器和工程结构的每一个构件，也都必须保证它能够安全地正常工作.

图 1, *a* 表示车床的床头箱简图. 在切削工件时，通过滑移齿轮将动力传递给主轴. 当车刀上的切削力过大时，有可能使齿轮的轮齿折断(图 1, *b*). 这样，就不能达到安全地正常工作，这是不

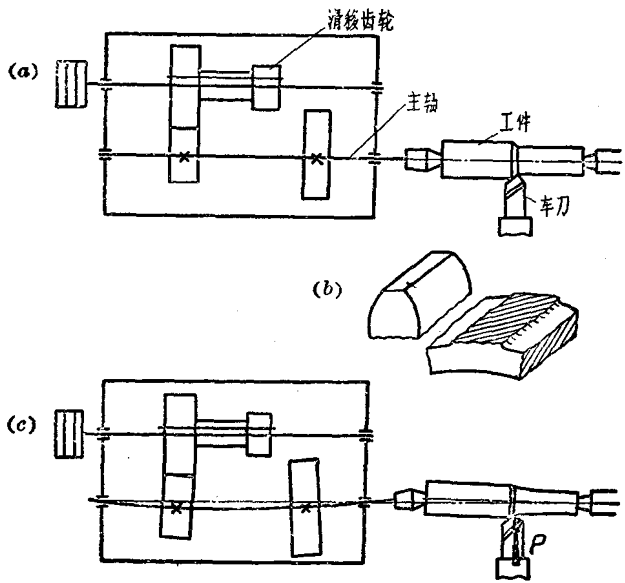


图 1. 床头箱简图

允许的．所以要求构件在承载时具有抵抗断裂的能力，这种能力通常称为构件的强度．

另外，切削力过大时，也可能使车床主轴产生过大的变形(图1, c)．这样，使加工出来的工件，不能达到预定的精度；同时齿轮的啮合情况变坏，影响传动的正确性．这种情况也是不允许的．所以还要求构件在承载时具有抵抗变形的能力，这种能力通常称为构件的刚度．

在生产实际中，由于工作条件的复杂性，对于构件有时还会提出其他的要求，不过，构件的强度和刚度是基本的要求．具有足够强度和刚度的构件，一般就能安全可靠地工作．

为了提高构件的强度和刚度，一般是加大构件的尺寸或选用质量好的材料．但是，构件的尺寸过于大、材料过于好，就会造成浪费，同时使结构笨重，因而就不能保证生产的经济性．这样做是不符合我国建设社会主义总路线中提出的 多、快、好、省 的精神的．

要求构件安全，则要多用材料或用好的材料；要求构件经济，则要少用材料或用差的材料．由此可知，安全和经济这两个要求是相互矛盾的．片面地追求经济而忽视安全，是绝对不允许的；但是，过分地强调安全而忽视经济性，也是不允许的．因此必须全面地考虑和正确地解决这一矛盾．材料力学就是为正确地解决这一矛盾而提供必要的理论基础．这一矛盾的存在，也是促使材料力学形成和发展的重要因素．

因此，材料力学的主要任务是：分析、计算构件的强度和刚度，为正确地解决安全与经济之间的矛盾提供必要的理论基础．

材料力学是一门技术基础课程，主要是为机械零件和有关专业课程奠定必要的理论基础；另外，也为一般构件的强度、刚度的分析和计算，提供必要的基础知识．

二、杆件变形的基本形式

在工程实际中，构件的形状是很多的．如果构件的长度远大于横向尺寸，这样的构件就称为杆件．杆件各横截面形心的联线称为轴线．

如果杆的轴线为直线，且各横截面都相等（图2），则称为等截面直杆．除此以外，还有变截面杆、曲杆等．本课程主要研究等截面直杆．

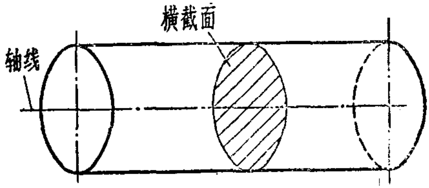


图 2. 等截面直杆

外力的作用方式不同时，杆件变形的形式也就不同．杆件变形的基本形式有如下四种(表1)：

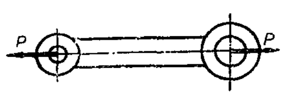
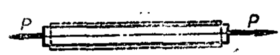
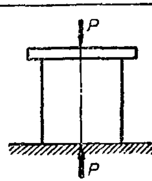
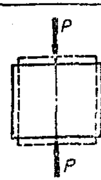
(1)拉伸和压缩；

(2)剪切；

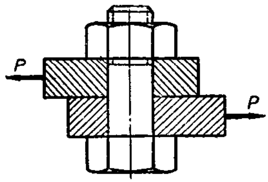
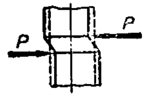
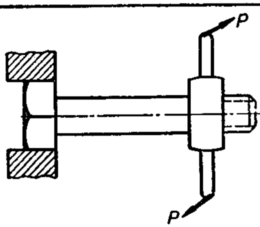
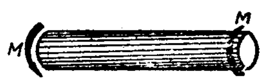
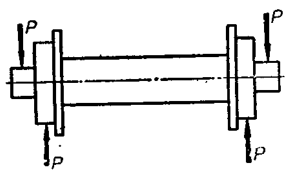
(3)扭转；

(4)弯曲．

表 1. 基本的变形形式

基本形式	工程实例	受力简图
拉　伸		
压　缩		

續前表

基本形式	工程实例	受力簡图
剪切		
扭轉		
弯曲		

杆件变形的形式，除了上面的基本形式以外，还有复杂的形式，但是总可把它看作是由以上几种基本变形组合而成的。

练 习 题

1. 试举例说明：哪些构件是由于强度不足而破坏的？哪些构件是由于刚度不足而破坏的？

2. 用自己的话来说，材料力学的任务是什么？

3. 杆件有哪些基本变形形式？试举例说明。

第一章　拉伸和压縮时的应力与变形

§1-1. 拉伸和压缩的概念

在工程实际中，有很多构件是受到拉伸或压缩作用的．例如起重机的拉杆 AB 和吊起重物 Q 的绳索（图 1-1），以及千斤顶的螺杆等都是受拉伸或压缩作用的例子．当载荷足够大时，这些受拉或受压的构件就要破坏．那末，怎样才能使这些构件不破坏而能安全可靠地工作呢？这就需要研究拉伸和压缩的问题．

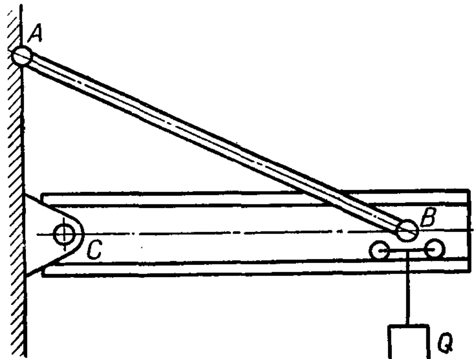


图 1-1．起重机

将图 1-1 中的 AB 杆和 BC 杆的受力情况画成计算简图，如图 1-2 所示．由此可知，拉伸和压缩的受力特点是：作用在杆端的两力，大小相等，方向相反，且作用线同杆的轴线重合．

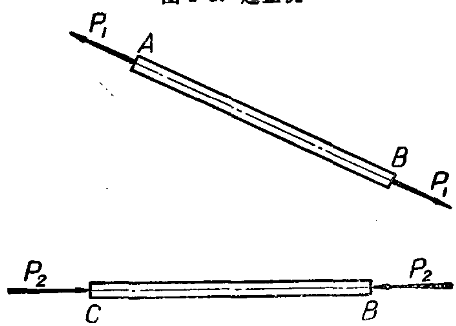


图 1-2．AB、BC 杆的計算簡图

作用在杆端的拉力（图中的 P_1）或压力（图中的 P_2），对杆件来说称为外力．杆件在拉力作用下产生伸长变形；在压力作用下产生缩短变形．

§1-2. 拉伸和压缩时的内力

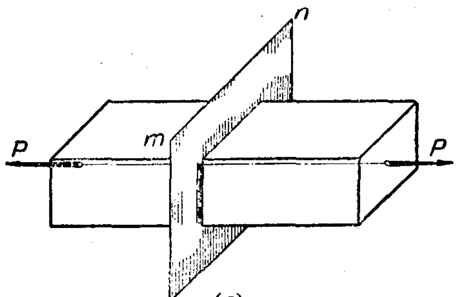
先来研究一个实例. 用手拉长弹簧时，手上就会感到有力作用. 这是因为弹簧受力拉长时，内部产生一种抵抗力，它阻止外力使弹簧继续发生变形，这种抵抗力称为内力. 手上用的力越大，弹簧拉得越长，弹簧所产生的内力也就越大.

放手后，弹簧就缩回到原来长度，这是由于弹簧的内力使变形消失. 在外力去除后，物体具有消失变形的性质称为弹性.

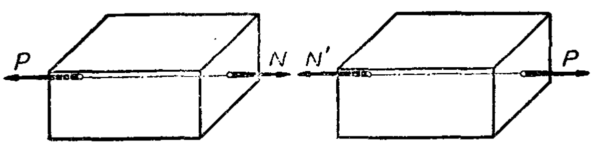
因此，内力具有抵抗外力、阻止外力使物体继续发生变形，以及在外力去除后使物体消失变形的性质.

由上述可知，物体的内力是随外力的增大而相应地增大的. 但是，内力的增大是有一定限度的，如果超过了这个限度，物体就要发生破坏.

杆件在怎样大的外力作用下，才能够保证安全可靠地工作呢？这就需要研究杆件内力的大小. 为此，研究图 1-3, a 所示的杆，它



(a)



(b)

图 1-3. 計算内力

在外力 P 作用下处于平衡状态. 为了计算内力，假想沿 mn 面将杆截开，分成左右两段(图 1-3, b)，并以 N 和 N' 分别表示左右两段上的内力. 显然，N 和 N' 就是左右两段相互作用的内力，所以它们必须大小相等、方向相反. 因此，在计算内力时，只需取截面两侧的任一段来研究即可.

现取左段来研究，应用平衡方程即可解得内力 N:

$$\sum P_x=0, \quad N-P=0, \quad \therefore \quad N=P.$$

由此可知，拉伸（或压缩）时杆截面上的内力，等于拉力(或压力)P.

总结上述，求杆件内力的方法是: 先将杆假想截开，然后在截面上加以内力，最后用平衡方程求解内力. 这种方法通常称为**截面法**. 它是求内力的普遍方法.

§ 1-3. 横截面上的正应力

上节研究了杆件在拉伸和压缩时的内力. 但是，仅知道总的内力 $N=P$ 还是不够的，因为杆件的强度与杆件横截面(以后简称截面)的大小和内力在截面上的分布情况有关. 因此必须研究杆截面上各点内力的密度，即**单位面积上的内力**，我们称它为**应力**.

怎样研究截面上的应力呢？先来研究实验现象. 在图 1-4, a 所示的杆上，刻划出两条横向直线 ab 和 cd (图中

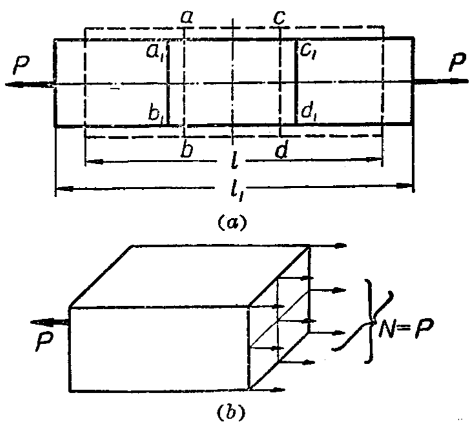


图 1-4. 横截面上的正应力

虚线)，当杆受到拉力 P 作用时，直线 ab 和 cd 平移到 a_1b_1 和 c_1d_1 (图中直线)．

根据上述现象，就可进行杆的变形的假设：杆的横截面在变形后，仍保持为与杆轴线成垂直的平面．由此可知，杆的各纵向纤维都受到相等的拉伸．

因此可以推论出：杆受拉伸时的内力(图 1-4, b)，在横截面上是均匀分布的，它的方向与横截面垂直．设截面面积为 F，则应力为 $\frac{N}{F}=\frac{P}{F}$．因为这应力的方向与截面垂直，故称为正应力，以 σ 表示．所以

$$\sigma=\frac{N}{F}=\frac{P}{F}. \tag{1-1}$$

上式是根据杆件受拉伸时推得的，但在杆件受压縮时也能适用．应力的单位是公斤/厘米²(kg/cm²)或公斤/毫米²(kg/mm²)．

例 1-1. 内孔拉刀的头部尺寸如图 1-5 所示．现知其拉力 $P=2300$ kg，试计算拉刀头部各截面上的正应力．

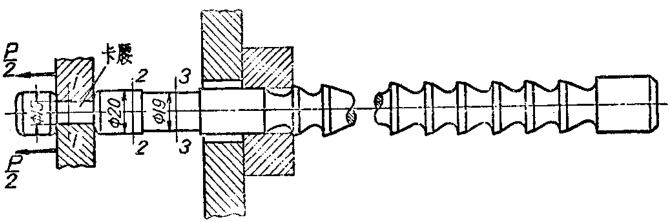


图 1-5. 計算拉刀的应力

解: 截面 *1-1*、*2-2*、*3-3* 上的内力都等于 P，即

$$N_1=N_2=N_3=P.$$

各截面的面积:

$$F_1=\frac{\pi\times1.5^2}{4}=1.77\ \text{cm}^2,$$

$$F_2=\frac{\pi\times2^2}{4}=3.14\ \text{cm}^2,$$

$$F_3 = \frac{\pi \times 1.9^2}{4} = 2.83 \text{ cm}^2.$$

各截面上的正应力：

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{2300}{1.77} = 1300 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{2300}{3.14} = 730 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_3} = \frac{2300}{2.83} = 812 \text{ kg/cm}^2.$$

由上述可以看出，卡腰部分截面上的应力最大，是最容易发生危险的地方，因此这种截面称为危险截面．要使杆件安全可靠地工作，就应该控制危险截面上的最大应力．

§ 1-4. 轴向变形和虎克定律

前面已经讨论到杆件在拉力或压力作用下，就要产生轴向伸长或缩短的变形．这种变形究竟与哪些因素有关呢？我们可用实验方法来解决．

设取一低碳钢试件来作拉伸实验（图 1-6），研究试件上两条

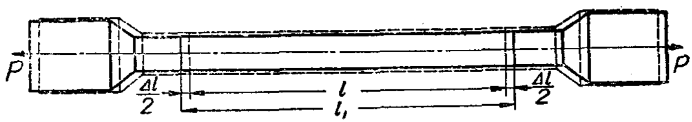


图 1-6．低碳钢试件受拉伸的情况

刻线间距离 l（标距）的变化情况．当试件上作用有拉力 P 时，距离 l 变为 l_1，伸长了 Δl，即

$$\Delta l = l_1 - l, \tag{1-2}$$

Δl 称为绝对变形．

实验指出，当拉力 P 增大时，Δl 也随之增大．它们之间的关系如图 1-7 所示．图中 OA 为直线，由此可知，当力 P 不超过某一极限（A 点的纵坐标）时，绝对变形 Δl 与力 P 成正比关系，即

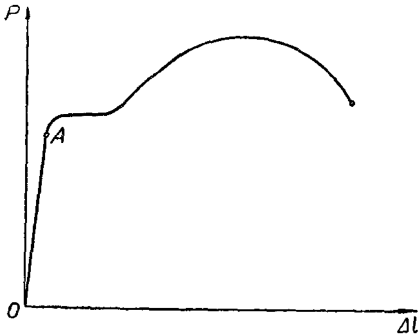


图 1-7. 低碳鋼拉伸曲綫

$$\Delta l \propto P.$$

另外，绝对变形 Δl 还与试件的原来长度 l 成正比，而与截面面积 F 成反比，即

$$\Delta l \propto \frac{l}{F}.$$

因此可得

$$\Delta l \propto \frac{Pl}{F},$$

引入比例常数 E，即可用等式表达：

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}. \tag{1-3}$$

这个关系式表达 Δl 和 P、l、F 及比例常数 E 之间关系称为虎克定律．式中的 E 称为拉压弹性模量．对于不同的材料，就有不同的 E 值．各种材料的 E 值是用实验方法确定的．一些常用材料的 E 的平均值列于表 1-1 中．E 的单位是公斤/厘米^2(kg/cm^2)或公斤/毫米^2(kg/mm^2)．

表 1-1. 拉压彈性模量

材　　　　料	E(10^6 kg/cm^2)
鋼	2—2.2
鑄铁(灰、白)	1.15—1.60
球墨鑄铁	1.6
銅	1.0
木材 順紋	0.1—0.12
木材 横紋	0.005—0.01

由公式(1-3)可知，当其他条件不变时，E 越大，则绝对变形 Δl 越小．因此弹性模量 E 表示材料抵抗弹性变形的能力．

由公式(1-3)还可以看出，当力 P 和长度 l 一定时，乘积 EF

越大，则绝对变形 Δl 越小，它表示了杆件的刚性程度，故称 EF 为杆件的拉压刚度.

如果杆件的变形用单位长度内的伸长或缩短，即用 $\frac{\Delta l}{l}$ 来度量，则此量称为相对变形或应变，以 ε 表示. 于是

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}. \tag{1-4}$$

ε 是个比值，无单位，有时用百分数来表示.

将公式(1-1)、(1-4)代入公式(1-3)便可得到虎克定律的另一种表达式:

$$\sigma=E\varepsilon. \tag{1-5}$$

由此可将虎克定律叙述为：当应力不超过某一极限时，应力与应变成正比.

虎克定律中的应力极限值，称为比例极限. 各种材料的比例极限可由实验求得.

最后必须指出，虎克定律仅是客观现象的近似反映，并非绝对精确. 对于一般钢料，这个定律相当准确地反映了它的真实性，而对于铸铁、橡胶等另一些材料，则误差较大些，但在实际应用上，还是可以忽略这些误差的.

例 1-2. 在图 1-1 中，设圆形钢杆 AB 的直径 $d=30$ mm，角度 $\angle ABC=$ $=\alpha=23°$. 若在 AB 杆上装一杠杆式引伸仪（图 1-8），加力 Q 后共读数增量为 3.4 格（每格代表 $\frac{1}{1000}$ mm），杠杆仪的标距 $l=2$ cm. 设 AB 杆的比例极限为 2000 kg/cm²，试求 AB 杆的应力，并问这时力 Q 为多少？

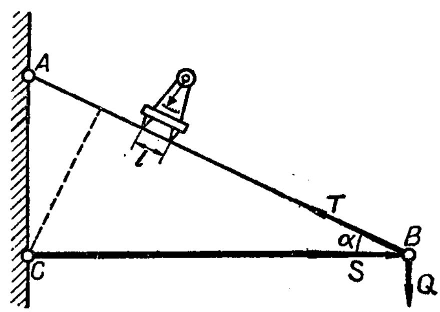


图 1-8. 計算应力和载荷

解：AB 杆的应变为