高 等 学 校 试 用 教 材

材 料 力 学

西安交通大学材料力学教研室编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材
材料力学
西安交通大学材料力学教研室编
*
人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
人民教育出版社印刷厂印装
*
开本 787×1092 1/32 印张 11.875 字数 284,000
1979年6月第1版 1980年3月第2次印刷
印数 34,001—64,000
书号 15012·0162 定价 0.98元

序

本书是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议讨论的电机、动力类专业中学时（60～90学时）材料力学编写大纲编写的。

为了适应不同学时和专业的需要，对某些章、节打有“*”号，以便选用。除带有“*”号的内容外，其它章节力求形成一个完整的系统。每章附有一定数量的习题，供教学选用。

本书主要负责编写的有汪惠雄、龚茂恒、孔昭月等同志。本书由华中工学院易校生、章显庄，浙江大学马素贞、吴新初等同志主审；参加审稿会的还有华东石油学院、河北工学院、清华大学、天津大学、重庆大学、湘潭大学、山东工学院、大连海运学院、上海交通大学、太原重型机械学院、中国矿业学院、华南工学院、哈尔滨船舶工程学院、上海机械学院、北京航空学院等单位的代表。本书在编写过程中，承许多兄弟院校提出了宝贵的意见，一并在此致谢。

限于编者水平，本书一定存在不少缺点和错误，衷心希望读者批评指正。

西安交通大学材料力学教研室

一九七九年五月

目　　录

第一章　绪　　论

§1-1　材料力学的任务

工程中经常遇到的各种结构物和机器，如桥梁、电机和机床等，都是由若干构件组成。在载荷作用下，构件都会变形。如果构件的截面尺寸过小，所用材料质量较差，则构件在一定的载荷作用下将会发生过度的变形或破坏，而不能正常工作，即失去了承担载荷的能力；反之，如果所选构件的截面尺寸过大或所用材料质量太好，则在一定的载荷作用下，虽然不会发生过度的变形或破坏，但构件承担载荷的能力却没有充分发挥，浪费了材料。材料力学的任务便是在保证构件既安全适用又最大限度经济的前提下，为构件选择适当的材料、截面形状和尺寸。也可以说，材料力学是研究构件承担载荷的能力（简称为承载能力）的一门科学。

在材料力学中，衡量构件是否具有足够的承载能力，一般从三个方面来考虑：

1. 强度

构件承受载荷时，要求它不发生破坏。例如，起吊重物用的吊环（图 1-1）不许断裂，齿轮的齿不许破损，传动轴不许扭坏，才能保证正常工作。因此，必须保证构件具有足够的抵抗破坏的能力，即具有足够的强度。

2. 刚度

在某些情况下，构件虽不发生断裂，但是，由于变形过大，也会使机器设备不能正常工作。例如，电机的转子和定子之间的空隙（图 1-2）一般都很小，因此，对其转轴除应满足强度要求外，还要

限制其变形，以防运转时转子与定子相碰；若转轴变形过大，还会导致轴承的不均匀磨损。再如，摇臂钻床(图1-3*a*)工作时，若摇臂与立柱变形过大(图1-3*b*)将引起钻孔不正而影响加工精度，并使钻床振动加剧，影响孔表

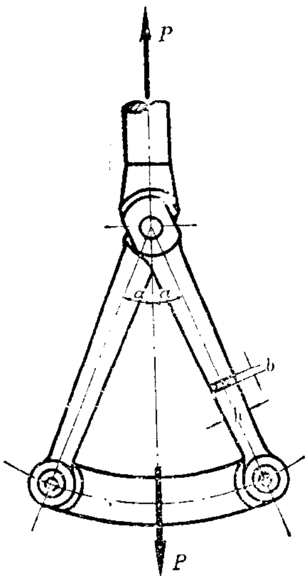


图 1-1

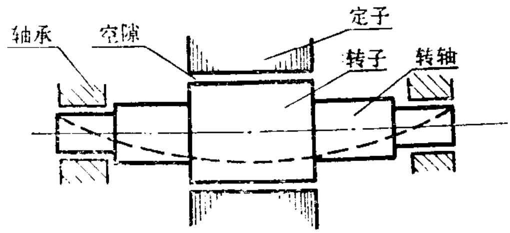
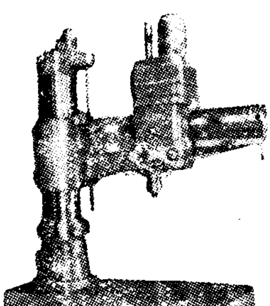
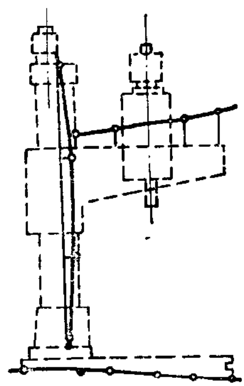


图 1-2



(*a*)



(*b*)

图 1-3

面的光洁度。因此，对于这一类构件，必须保证它们具有足够的抵抗变形的能力，即具有足够的刚度。

3. 稳定性

细长直杆例如内燃机中的挺杆(图1-4)，千斤顶中的螺杆(图1-5)等，工作时承受轴向压力。当压力较小时，杆保持直线的平衡

形式。若压力增至某一数值时，直杆就会从直线的平衡形式突然变弯。这种突然改变原有平衡形式的现象称为丧失稳定（或简称为失稳）。因此，对这类细长压杆，要求它们在工作中始终能保持原有的直线平衡形式。即构件应具有足够的稳定性。

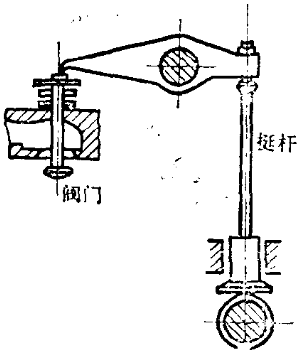


图 1-4

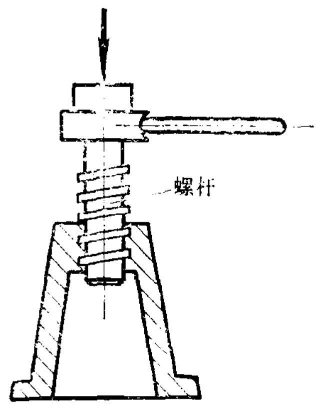


图 1-5

综上所述，要保证构件安全适用，则构件必须具有足够的强度、刚度和稳定性。

构件的强度、刚度和稳定性均与其所用材料的机械性质(所谓机械性质主要指材料在外力作用下变形与外力之间的关系)有关。而这些机械性质均须通过实验来测定。此外，也有一些单靠现有理论还解决不了的问题，须借助于实验来解决。因此，实验研究和理论分析，同样都是材料力学用来解决实际问题必不可少的手段。

材料力学与生产实践的关系较为密切，它所要解决的问题的范围，随着生产发展而日益扩大。生产的发展推动了材料力学的不断发展；材料力学理论的日益完臻，对生产实践也起着重要的指导作用，为构件的设计计算提供了简便实用的方法。

§1-2 变形固体的概念及其基本假设

机械或结构物的各种构件，由各种材料所制成，虽其物质结构

和性质各异，但都为固体。任何固体在外力作用下都会发生形状与尺寸的改变，即变形。因此，这些材料统称为变形固体。

对用这样的材料做成的构件进行强度、刚度或稳定计算时，为了简化计算，常须略去材料的次要性质，并根据其主要性质作出假设，将它们抽象为一种理想模型，然后进行理论分析。下面是对变形固体所作的两个基本假设：

1. 均匀连续假设

即认为变形固体的机械性质在体内各处都是一样的；而且，构成变形固体的物质毫无空隙地充满了它的整个几何容积。

2. 各向同性假设

即认为变形固体在各个方向具有相同机械性质。具有这种属性的材料称为各向同性材料。

就工程上使用最多的金属来说，组成金属的晶体之间是不连续的，而且从各个单晶体来看，机械性质也具有明显的方向性。但因构件中包含的晶体数量极多，晶体的尺寸及晶界间的间隙与构件尺寸相比均极微小，并且晶体在构件中的排列方位又无规则。所以，物质的机械性质是组成变形固体的所有晶体的性质的统计平均量，从而可以认为物体的性质是均匀连续和各向同性的。实践证明，在工程计算所要求的精确度范围内，将实际材料抽象为均匀连续和各向同性的，可以得到较为满意的结果。此外，将上述假设所得到的结论，用于某些具有方向性的材料（如轧钢等），有时也可以得到良好的近似解答。

材料在外力作用下将产生变形。试验指出：当外力不超过一定范围时，绝大多数材料在去除外力后能恢复原有形状和尺寸。材料的这种性质称为弹性；去除外力后能够消失的变形称为弹性变形。但当外力过大时，在外力去除后，变形只能部分地复原而残留下一部分不能消失的变形。材料的这种性质称为塑性；不能消失

而残留下来的变形称为塑性变形(或称残余变形、永久变形)。一般情况下,要求构件只发生弹性变形。这时,变形与构件的原始尺寸相比甚为微小。所以,在研究构件的平衡和运动时,仍可按构件的原始尺寸进行计算。同时,由于变形微小,所以在需要考虑变形的时候,也可加以某些简化。在以后讨论的问题中,我们将会经常遇到。

综上所述,在材料力学中,是把实际材料看作均匀、连续和各向同性的变形固体,并且只限于研究小变形的情况。

§1-3 内力 截面法 应力

杆件受到外力作用而变形时,固体内部各质点之间的相互作用力发生了改变。这种由于外力作用而引起的固体内各质点之间的相互作用力的改变量,称为“附加内力”,通常简称为内力。下面我们通过一些具体例子来说明显示内力和确定内力的一般方法。

如图 1-6*a* 所示的杆件,在杆两端各承受一个沿轴线的拉力 P,欲求某一横截面例如 m-m 截面上的内力,可假想地用一截面将该杆在 m-m 处切开,分成 I、II 两部分(图 1-6*b*, *c*)。今任取其中一段,例如 I 段进行分析,杆件在这一对拉力 P 作用下原来处于平衡状态,则该 I 段也必须处于平衡。因此,I 段除受外力 P 作用外,

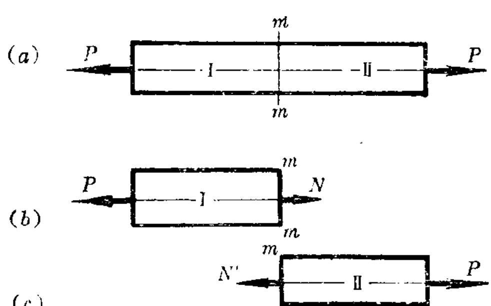


图 1-6

截面 m-m 上必定有作用力 N 与之平衡。该力就是 II 段对 I 段的作用力，亦即 m-m 截面上的内力。

根据 I 段的静力平衡条件，可得

$$N-P=0,$$

所以 $$N=P.$$

如以 II 段为研究对象，可以得到同样的结果。

这种假想地用一个截面将杆截分为二，并对截开后的两部分之一，建立平衡方程式，以确定截面上的内力(大小和指向)的方法，称为**截面法**。其全部过程可归纳为下列三个步骤：

1. 欲求某一截面的内力，就假想地在该处用一截面将杆截分为二，任选其中的一部分为研究对象，画出作用在该部分上的外力。

2. 将另一部分对研究部分的作用以内力代替。

3. 对研究部分建立静力平衡方程式，从而确定内力的大小和指向。

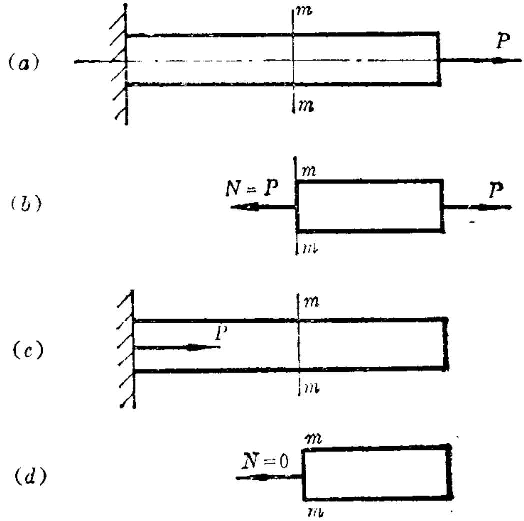


图 1-7

在研究变形体时，一般不允许用力的可移性原理，这可从以下的例子来了解。图 1-7a 中所示一杆在自由端受拉力P作用，此时，由截面法可算出其任一横截面 m-m 上的内力N在数值上等于P（图 1-7b）。但若将拉力P的作用点沿其作用线移至杆的固定端（图 1-7c），则由截面法可知，其任一横截面 m-m 上的内力将等于零（图 1-7d）。由此可见，将力移动后，杆的内力就改变了。此外，在研究内力时，是否可将杆上载荷预先用一个与之相当的力系来代替，这将在本书第五章中结合具体例题来阐述。

例 1-1 设行车起吊重量为P，小车位置如图 1-8a 所示。试计算行车桥架上 m-m 截面的内力。

解：首先分析桥架的外力：吊重P、支反力 R_A 与 R_B。作桥架的示力图（图 1-8b）。按静力平衡条件求出支反力 R_A、R_B 分别为

$$R_A=\frac{b}{l}P;\ R_B=\frac{a}{l}P.$$

其方向如图所示。

其次应用截面法求 m-m 截面的内力：

（1）假想用截面 m-m 将桥架截分为Ⅰ、Ⅱ两段。

（2）取出Ⅰ段进行研究。

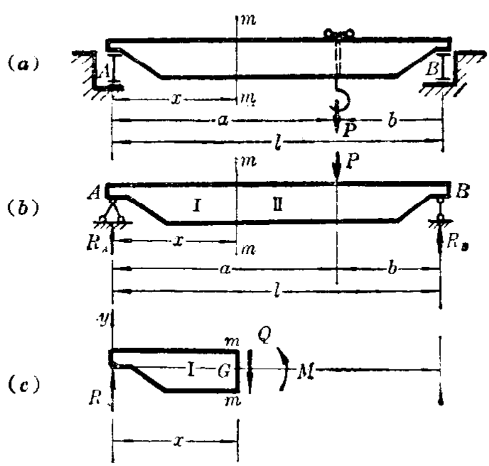


图 1-8

(3) 分析 I 段上的外力和内力。在 I 段,作用的外力有 R_A,欲使 I 段保持平衡,则 m-m 截面上必有内力作用。显然,这内力是一个向下的力 Q 和一个逆时针方向的力偶 M(图 1-8c)。

(4) 应用静力平衡方程式解得

$$\Sigma Y=0,\ Q=R_A=\frac{b}{l}P;$$

$$\Sigma M_G=0,\ M=R_A\cdot x=\frac{Pb}{l}x.$$

在例 1-1 中的内力 Q 及 M 是整个 m-m 截面上分布内力系的合力及合力偶,用它可说明桥架在 m-m 截面以左部分内力和外力的平衡关系,但不能说明这一分布内力系在截面内某一点处的密集程度(简称为集度)。为了确定截面上各点分布内力的集度,可在 m-m 截面上任一点 K 的周围,取一微小面积 ΔF,假定在 ΔF 上内力的合力为 ΔP(图 1-9a),这样,在 ΔF 上单位面积的平均内力 p_m,称为 ΔF 上的平均应力,为

$$p_m=\frac{\Delta P}{\Delta F}.$$

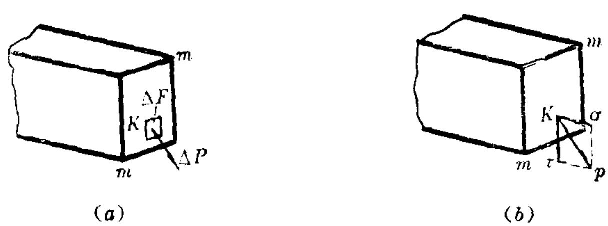


图 1-9

一般说 m-m 截面上的内力并不是均匀分布的,因此,平均应力 p_m 随所取 ΔF 的大小而不同,它不能表明内力分布的真实情况。当 ΔF 无限地趋近于零时,p_m 的极限值 p,称为 m-m 截面上 K 点的应力,为

$$p=\lim_{\Delta F\to 0}\frac{\Delta P}{\Delta F}=\frac{dP}{dF}.$$

p 是一个矢量，一般既不与截面垂直，也不与截面相切。因此，常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和相切于截面的分量 τ（图 1-9b），σ 称为正应力，τ 称为剪应力。应力的单位是牛/米^2，记为 N/m^2，称为帕斯卡，或简称为帕(Pa)。由于帕斯卡这一单位甚小，工程中常用 kPa、MPa、GPa，它们的意义分别为千帕、兆帕、千兆帕（即 10^3、10^6、$10^9\times$N/m^2）。

§1-4 应变 虎克定律

构件在外力作用下，将发生应力和变形。要研究构件截面上的应力分布规律，首先必须研究构件内各点处的变形，为此可以把构件分成无数很小的正六面体，研究了它们的相对变形后即可了解各点处的变形。

设图 1-10a 为构件上某一点 A 处取出的一个正六面体，其沿 x 轴方向的棱边 AB 原长为 Δx，变形后变为 $(\Delta x+\Delta u)$，如图 1-10b。Δu 称为线段 AB 的绝对变形，其大小与原长 Δx 的长短有关，它不能完全表征线段 AB 的变形程度。若 AB 线段内各点处的变形程度相同，则比值

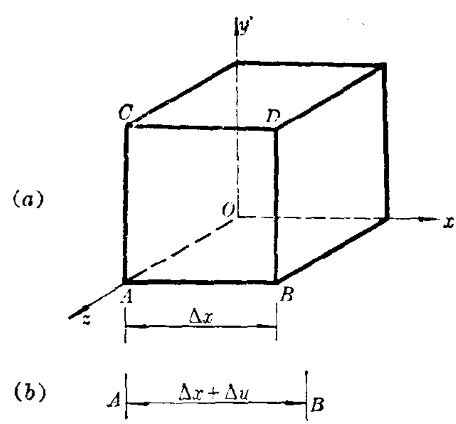


图 1-10

$$\varepsilon=\frac{\Delta u}{\Delta x}.$$

称为线段 AB 的**相对变形**，或称**线应变**。它是一个无量纲的量。

若线段 AB 内各点处的变形程度并不相同，则此比值只是线段 AB 的平均线应变。而 A 点沿 x 方向的线应变则为

$$\varepsilon_x=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta u}{\Delta x}=\frac{du}{dx}.$$

当构件变形后，上述正六面体除棱边的长度改变外，二垂直线段 AC 与 AB 之间的夹角也将发生变化，不再保持直角(图 1-11)。角度的改变量 γ 称为**角应变**，或称**剪应变**，它也是一个无量纲的量，通常用 rad(弧度)来度量。

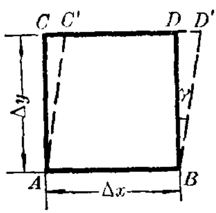


图 1-11

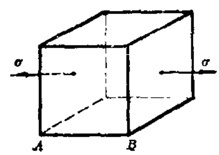


图 1-12

试验指出，在图 1-12 所示的应力情况下，当应力 σ 没有超过某一限度时，AB 线段的线应变 ε 与正应力 σ 成正比。即

$$\varepsilon=\sigma/E,$$

或

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

式中：E 为比例常数，称为**拉压弹性模量**。其量纲与应力的量纲相同，常用 MN/m^2(兆牛/米^2)或 GN/m^2(千兆牛/米^2)来表示。对于钢材，$E=196\sim216GN/m^2$，工程上常取 $E=200GN/m^2$。式(1-1)就是物理学中所熟悉的**拉压虎克定律**。

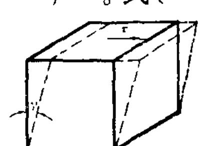


图 1-13

实验又指出，在图 1-13 所示的应力情况下，当剪应力 τ 没有超过某一限度时，角应变 γ 与剪应力 τ 成正比。即