高等工业学校试用教材

化工机械基础

2

浙江工学院机械基础教研室编

HUAGONG JIXIEJICHU

前　　言

这套《化工机械基础》教材，是我室经过多年试用、多次改编而成的。编写本教材的目的是供化工工艺类专业少学时机械课教学之需，总学时数（包括课程设计）在145左右，我们试图既能提高教学质量，又能减轻学生负担。

为便于使用，这次装订成四册：第一册，静力学（16学时）；第二册，材料力学（46学时）；第三册，机构与机器零件(30学时)；每册附习题；第四册，金属工艺学和化工容器设计。其中《金属工艺学》的内容主要在机械工厂实习(3～4周)中解决，一般可安排20学时左右进行理论性内容教学及实验（包括材料机械性能实验2学时，金相观察2学时，如条件许可，可在实习中安排热处理实践和机器装配）。《化工容器设计》的内容，安排30学时，其中讲课时间约10学时，其余学时用于典型化工设备的设计作业，这个作业若能与《化工原理》的课程设计相结合，那将是尤为理想的事。

在单位制方面，一律采用国际单位制（SI）。

对于其它非机械类专业（如工业电气自动化等）设置的机械课程，教学时数较少，在适当增删后，仍可采用这套教材或其中几册。

限于我们的水平和其它条件，教材一定会有缺点和错误，敬请老师和同学们批评指正。

·编　者·

一九八二年九月

目　录

第二篇　材　料　力　学

第二篇 材料力学

引 论

在前面一篇里，我们学习了构件的受力分析，这为本篇研究构件的设计计算，奠定了基础。

一、本篇的任务

在工农业生产的不断发展中，日益广泛地运用各种机器设备和工程结构，其中每个构件，都有它的作用，并承受一定的载荷或传递一定的运动。例如：不论在哪个化工厂里，都有许多大大小小、各种类型的容器，并按照容器的用途，配有一些附件，还有适当的支座。这些容器，在使用过程中，一定要牢固，不允许损坏。这就是说，在正常运用情况下，容器的筒身、封头、每个连接螺栓或每条焊缝、支座等等，都要满足“强度”上的要求，即各个部份在一定的外力作用下，不会损坏，或者说，各个部份都要符合“强度要求”。平常，我们对构件进行“强度计算”或“强度校核”，就是属于这方面的计算。此外，任一构件，在外力的作用下，都会发生变形。为了使机器或设备能正常地工作，对于某些构件的变形，要有一定的限制。例如：梁式吊车轨道，若在吊起重物时，弯曲变形过大，就不能平稳地工作。又如机床主轴在工作时，若发生过大变形，则将影响机床的工作精度。因此，在设计时，对这种弯曲变形需要加以限制，只能在一定的允许范围之内。这就要求我们在设计这类构件时，除了要满足强度条件之外，还要进行“刚度计算”。另外，如真空设备、带有夹套加热的反应器、氨合成塔内筒等，承受外压作用的圆筒形容器，如果器壁太薄，则在外压达到一定数值时，这类薄壁容器，就容易突然被压瘪或发生摺皱，以致不能正常运用。又如承受轴向压力的细长直杆，如千斤顶中的螺杆、内燃机中的挺杆等，当压力超过某一数值时，直杆就会从直线的平衡形式突然变弯，甚至折断，无法使用。以上这类突然改变原有平衡形式的现象，就是所谓丧失了“稳定性”或简称为“失稳”。因此，在设计这类构件时，就要进行稳定性的计算。总之，在构件的设计计算中，需要考虑构件的强度，刚度和稳定性三个方面的问题。不过，根据构件的载荷情况、结构特点和使用要求，并不必要对每个构件都要进行这三个方面的计算。在后面，我们还要研究各种具体情况。

在设计构件时，必须为构件选用合适的材料，并尽可能降低材料的消耗量，以达到最经济的要求；而为了使构件能安全工作，必须满足强度，刚度和稳定性的要求。这两个方面的要求是互相矛盾的，前者要求少用材料，而后者则要求多用材料。本篇——材料力学为解决这种矛盾提供基础知识，同时，在研究解决这种矛盾中，促进了材料力学这门学科不断发展。

从以上所述，可见，在构件设计中，必须具备有关材料的力学性能——变形与所受载荷之间的关系——的知识，这主要通过材料机械性能试验来获得。同时，有些在目前从理论上尚未解决的问题，也常常通过实验研究来确定。此外，对理论分析结果的可靠性，也须由实验来验证。所以，实验研究是材料力学理论学习中不可缺少的组成部份。

二、变形固体的基本假设

一切固体在外力作用下，都要发生变形，故可称为变形固体。一般情况下，这种变形非常微小，所以，在第一篇里，研究物体在力系作用下的平衡状态时，由于物体变形所引起的影响很小，成为次要因素，为了简化计算，将物体看成是不变形的固体。但在这一篇——材料力学里，要研究材料的强度、刚度和稳定性问题，对物体在外力作用下所产生的变形，就成为主要因素之一，不能忽略。为了便于研究，在材料力学里仍然必须略去一些次要性质，作了某些假设，将材料抽象化为一种理想模型，然后进行理论分析。通常，在材料力学里，对固体材料作了下列的基本假设：

1．连续性的假设：认为物体的整个体积内充满了物质，没有任何空隙。实际上，一切物体都是由微小颗粒组成的，但因微粒的尺寸和相邻微粒间的距离比起物体本身的宏观尺寸来小得很多，所以物体连续性的假设，在工程力学计算中，不致引起显著的误差。

2．均匀性的假设：即认为物体内各处的材料组成都是一样的，物体内的任一部份，其力学性能都是相同的。根据这个假设，可以从物体内取出任意小的一部份来加以分析，然后将分析的结果，应用到整个物体中去。

以上两个假设，对钢、铜等金属材料较为适合，而对砖、木、混凝土等材料相差较大，但仍被采用。

3．各向同性的假设：即假设物体在各个方向上的力学性质都相同。构成钢材等材料的晶粒的力学性质是有方向性的，但因沿实际构件的任一方向上都是由很多这些微小晶粒随意排列而成的，所以，在构件的各个方向上的统计性质，是大致相同的。如玻璃和做得很好的混凝土等均匀的非晶体材料，也认为是各向同性的。又如木材、竹等材料，在各个不同方向上的力学性质，有着显著不同，故是各向异性的，在提到这类材料的力学性质时，要指明是顺纹或是横纹方向上的参数。

物体在受到载荷作用时，就会发生变形（或尺寸改变），当载荷卸去后，变形中的一部份能够消失，这一部分变形称为弹性变形，而不能消失、残留下来的这部份变形称为残余变形（或塑性变形）。一般构件在其工作载荷作用下所产生的变形非常微小，其绝大部份是弹性变形，在理论分析中，可认为构件在卸载后能完全恢复原来形状，没有塑性变形。这种理想模型称为完全弹性体。本篇所涉及的内容，都把构件看成发生微小变形的完全弹性体，其理论分析结果，可以广泛地应用于工程实际，不致有显著误差。

三、外力及其分类

作用在构件上的外力（包括载荷和支座反力），按其作用方式可分为体积力和表面力。前者连续分布在物体内部各点处，例如物体的自重和惯性力，常用的单位是牛/米^{3}记为N/m^3；而后者作用于物体的表面上，也称接触力；又按其接触面积大小，分为分布力及集中力。分布力是连续作用于物体表面某一面积上的力，例如容器内所受的气体压力，

常用的单位是牛/米²(N/m^2)。有些分布力是沿着构件的轴线作用的，常用的沿轴线每单位长度内作用多少力来表示，记为牛/米(N/M)。如果外力分布在物体表面很小的一块面积上或者很短的一线段上，就可将这个外力看作是作用于一点的集中力，例如火车车轮对钢轨的压力、轴承对轴的反力等。集中力的单位，常用牛(N)或千牛(kN)。

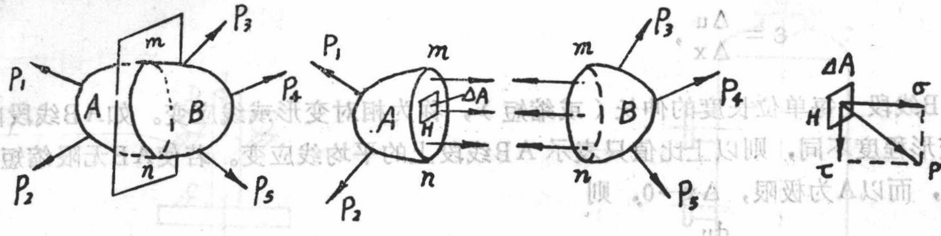
载荷按其随时间的变化情况，可分为静载荷和动载荷。当载荷缓慢地逐渐加于物体上，从零增加到某一定值后，保持不变，或变动得很小，即为静载荷。例如，静止设备作用在基础上的载荷、屋顶上的雪载荷等。若载荷随时间而改变，则称动载荷。按其随时间变化的方式，主要地可分为交变载荷和冲击载荷。前者是随时间作周期性改变的载荷，例如作用在往复式压缩机的连杆上的载荷；后者是物体的速度在极短时间内发生突然改变时所引起的载荷，例如锻造时锤杆对工件的作用就是冲击载荷。

材料在静载荷和动载荷作用下，性能很不相同。因静载荷问题比较简单，且其理论和分析方法，又是解决动载荷问题的基础，所以我们着重研究静载荷问题。限于本专业范围，对动载荷只作简略介绍。

四、内力、截面法和应力的概念

物体在不受外力作用时，其内部各质点之间有相互作用的力，也就是物体内部本来就有内力存在。当物体受外力作用而变形时，其内部各质点之间的相对位置发生改变，因而质点间的相互作用力也发生了改变，内力的这种改变量，即所谓附加内力。这种附加内力随着外力的加大而相应地增大，但对某一材料来说，内力的这种增大是有一定限度的，达到这个限度，构件就要破坏，因而它与构件的强度密切相关。材料力学是研究强度问题的科学，所以在材料力学中要研究这种由于外力而引起的附加内力。为了方便，常简称为内力。

为了研究构件的强度，需要计算由外力引起的内力。我们通常采用下述的“截面法”，来计算构件在某一截面上的总的内力：



（a）　（b）　（c）　（d）

图 01

图01(a)示在外力P_1、P_2、…、P_5等作用下处于平衡状态的物体，为了显示出在任一截面mn上的内力，可以假想地用平面在mn处将物体截开，分成A、B两部份，任取其一部分，例如A，图01(b)，作为研究对象。在A部分上，作用有外力P_1和P_2，欲使A保持平衡，则B部分必在mn截面上有力作用在A部分上，以与A所受的外力相平衡。根据作用与反作用定律，可知A也有大小相等方向相反的力通过mn截面作用在B上，图01(c)。由于假设物体是均匀连续的，所以内力是连续分布在截面上的，称为分布内力。在以后的研究中，我们将这个分布内力的合力（有时是力偶）称为截面上的内力。

对于我们所取的A部分，外力P_1、P_2和截面mn上内力（对整体来说是内力，但对A来说，这内力已成为A的外力）保持平衡，根据平衡条件，就可以确定mn截面上的内力。

这种假想用截面将物体截成两部分，取其一部分，根据这部分的静力平衡条件以确定截面上的内力的方法，称为截面法。它是材料力学中的一种基本方法。今后将经常用到。

截面上的内力是连续分布的，为了判断物体在截面的某一点处的强度，必须计算该点处内力的集度。设在图01(b)的截面mn上，包含H点取一微小面积ΔA，在ΔA上内力的合力为ΔP，则ΔA上内力的平均集度为

$$P_m=\frac{\Delta P}{\Delta A},$$

P_m称为ΔA上的平均应力。由于内力一般不是均匀地分布在截面上的，所以P_m随所取ΔA的大小而不同。为了消除ΔA大小的影响，无限地缩小ΔA，当趋近于零时，P_m的极限值

$$P=\lim_{\Delta A\to 0}\frac{\Delta P}{\Delta A}=\frac{dP}{dA},$$

这就是H点处的内力集度，称为H点处的总应力。P是一个矢量，通常把P分解成垂直于截面的分量σ和切于截面的分量τ，图01(d)，σ称为正应力，τ称剪应力，常用的应力单位是牛/米²，记为N/m^2，常称为帕(Pa)，即$1\,Pa=1\,N/m^2$。

五、应 变

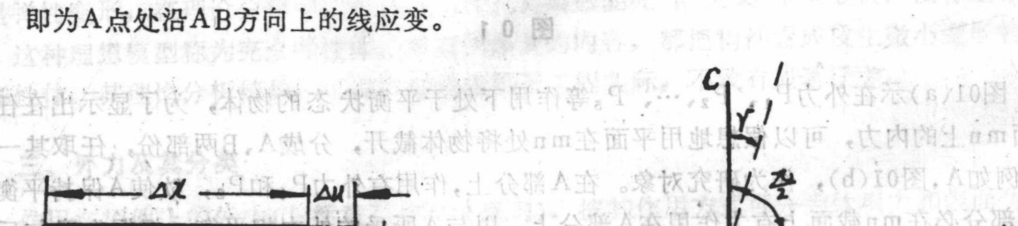
为了弄清受力构件中某一截面上内力的分布情况，必须研究受力构件的变形。假设将构件分割成无数微小的正六面体，在外力作用下，这些微小正六面体的边长和两棱边所交的直角一般都将发生改变。设边AB的原长为Δx，图02(a)，变形后成为AO′，长度为$(\Delta x+\Delta u)$，则Δu称为AB边的绝对变形。为了消除原长Δx的影响，取比值

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

表示AB线段上每单位长度的伸长（或缩短），称为相对变形或线应变。如AB线段内各点处的变形程度不同，则以上比值只表示AB线段上的平均线应变。若使AB无限缩短，B趋近于A，而以A为极限，$\Delta x\to 0$，则

$$\varepsilon=\frac{du}{dx}$$

即为A点处沿AB方向上的线应变。



(a)　　　　　　　　　　　　　　(b)

图 02

图02(b)表示微小正六面体两棱边AB和AC的夹角，原为$\frac{\pi}{2}$，变形后，减少了γ角。这个角度的改变量γ称为点A在AB和AC方向间的剪应变或角应变，用弧度表示。

线应变ε和角应变γ是度量受力构件内一点处变形程度的两个基本量，它们都没有量纲。

对于受力构件的整体变形，将在下节中讨论。

六、杆件变形的基本形式

在材料力学中所研究的构件，其长度远大于横向尺寸，这类构件称为杆件，或简称为杆。杆是工程实际中最基本的构件。

在这一篇里，构件受力后的变形，成为主要的研究课题之一。从对构件受力后的变形情况的分析中，我们得出下列四种基本变形形式：

（1）拉伸或压缩

（i）拉伸

例如法兰上的连接螺栓，在拧紧后螺杆受到拉力，产生伸长变形，可简化成示意图03。虚线表示杆在受力前的形状。图为放大了的变形情况。图03-A为聚合釜中搅拌器的轴，轴上装置三个桨叶。在桨叶重量的作用下，轴的各段都产生拉伸变形。

图03 拉伸

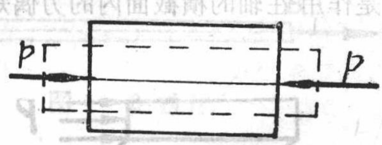


图04 压缩

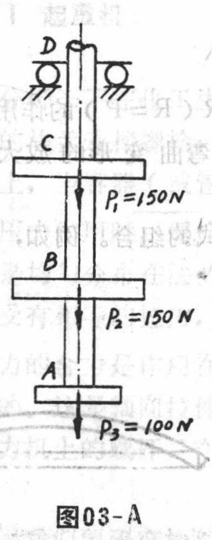


图03-A
聚合釜中搅拌轴

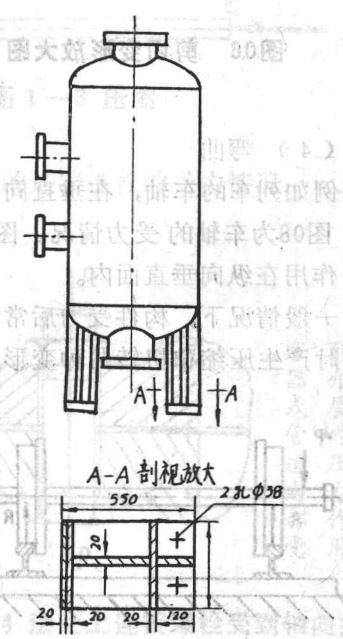


图04-A CO变换炉

(ii) 压缩

例如容器的支脚（支腿），见图04-A的CO变换炉，在容器本身及其内部物料的重量作用下，受到压缩，产生压缩变形。可以简化成示意图04，虚线表示受到压缩前的形状。图为放大了的变形情况。

（2） 剪切

例如装在轴和皮带轮之间的平键，当轴转动时，通过键推动带轮一起旋转。键的受力情况，如图05所示。两个力P（原来各自均匀分布在键的两个侧面的一半上），大小相等，指向相反，但不作用在一条直线上，这同钢板在剪板机上被切断时的受力情况完全一样，所以，键在平行于两个P力的中间截面上有被剪断的危险，如图06所示。此外，连接另件用的销钉，其受力情况也与此类似。这类变形都叫做剪切。

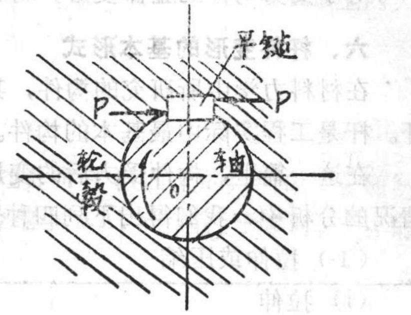


图05 键的受力情况

（3） 扭转

例如电动机的轴，在传递动力时，就发生扭转变形。图07，为简化后的变形放大图形。M是作用在轴的横截面内的力偶矩。

图06 剪切变形放大图

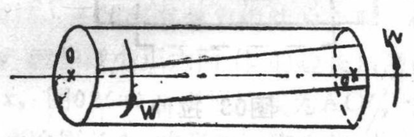


图07 扭转

（4） 弯曲

例如列车的车轴，在垂直向下的载荷P和支座反力R（R=P）的作用下，发生弯曲变形。图08为车轴的受力情况。图09是车轴的中间一段的弯曲变形的放大图形。M为力偶矩，作用在纵向垂直面内。

一般情况下，构件受力后常常产生几种基本变形形式的组合。例如，钻头在钻孔时，就同时产生压缩和扭转两种变形。

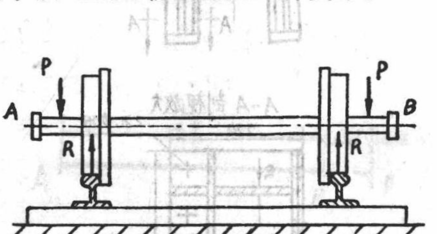


图08 车轴AB的受力情况

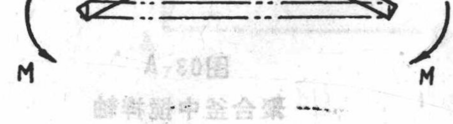


图09 弯曲

各类构件的受力情况和本身结构各不相同，产生的变形也不完全相同，但不论怎样的变形，总不外乎是上述四种基本形式中的一种或几种组合。构件受力后的变形分析是研究构件的强度、刚度和稳定性的必不可少的环节，因此，我们从下面一章开始，就着手研究构件（主要是杆状构件）受力后发生各种基本变形形式以及各种基本变形形式的组合的有关计算。

第一章　轴向拉伸和压缩

§1—1　轴向拉伸和压缩的概念

在实际工作中，常常遇到一些构件受到沿轴线方向的拉力或压力的作用（包括合力沿轴线作用的情况）。如图1—1的起重机，当吊着重量为P的重物时，杆AB受到沿轴线方向的拉力Q作用，而杆BC受到沿轴线方向的压力S的作用，分别如图1—2和图1—3所示，前者产生拉伸变形，后者产生压缩变形，分别称为轴向拉伸和轴向压缩。

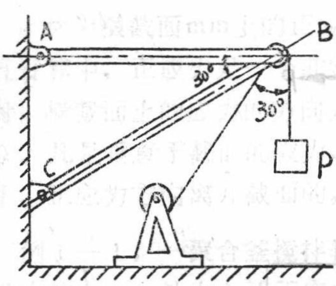


图1—1　起重机

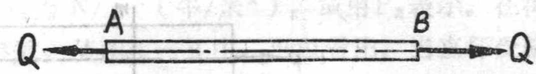


图1—2　拉伸

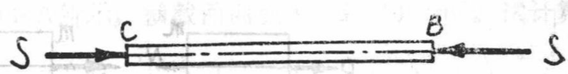


图1—3　压缩

让我们再来分析一下在化工生产中用得很多的法兰上的连接螺栓的受力情况：

如图1—4的法兰连接螺栓，均匀分布在整个法兰面上，当容器（或管道）的内部受到介质的压力作用时，螺栓杆受到拉伸，由于螺栓是均匀分布在法兰接触面上的，每个螺栓受有相等的拉力，并且每个螺栓所受的拉力的合力是作用在该螺栓杆的中心轴线上的。这是轴向拉伸。

又如螺旋压力机上的螺杆，在工作时受到轴向压缩。

在这一章里，我们要研究构件受到轴向拉伸或轴向压缩时的设计计算问题。

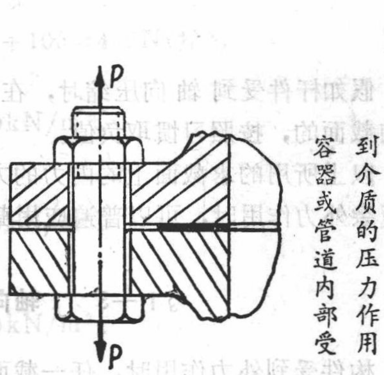


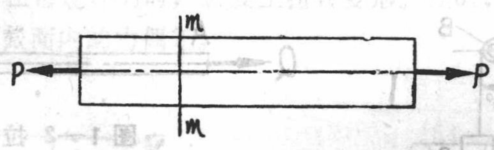
图1—4　法兰上连接螺栓受到轴向拉伸

§1—2　轴向拉伸或压缩时横截面上的内力

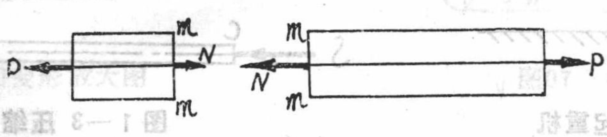
我们确定构件在外力作用下而相应产生的内力的方法，采用截面法。假如一根等截面的直杆，受到轴向拉伸时，如图1—5，要求出杆的横截面mm上的内力，我们就假想用截面mm将杆件切开，分成两部分，考察杆在截面mm的左边部分或右边部分的受力情况。当杆受到外力P拉伸时，这两个部分实际上并没有在mm处离开，显然，这两个部分在mm处必有互相作用的力存在。这种力，对整个杆件来说是内力。因为要计算这个内力，我们单独考察mm截面的左（或右）边部分，图1—5(b)或(c)。由于它处于平衡状态，根据静力平衡条件，显然，在截面mm上必有一个合力，作用在杆的轴线上，与P力大小相等、方向相反、作用线重合，都在杆的轴线上。这个mm截面上的力用N表示时，就得：

$$N = P$$

这个力N的指向，离开杆的截面，习惯上取正值；反之，取负值。这个力N，就是杆件受轴向拉伸时，在mm截面上的内力。这是内力的合力。因为它作用在杆的轴线上，所以N也称为轴力。



（a）



（b）　　　　（c）

图1—5

假如杆件受到轴向压缩时，在mm截面上的内力，可用类似方法求得。这时的内力是指向截面的，按照习惯取负值。

以上所用的求截面上的内力的方法，就是前面引论里提到的截面法。对于一般构件受到复杂外力作用时，可以普遍应用截面法，求得任一截面上的总的内力。

§1—3　轴向拉伸（压缩）时横截面上的应力

构件受到外力作用时，任一截面上的内力，我们可以应用截面法求得。但是，要判断在这个截面处是否有失效的危险，不能只依据总的内力的数值大小，还必须知道内力在截面上的分布情况，即集中程度如何？在内力分布比较集中的地方，就是容易发生危险的处所。

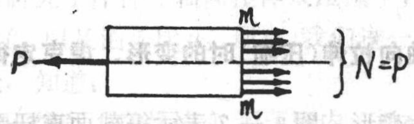


图 1 —6

因此，我们必须了解内力在截面上的分布情况。从等截面直杆受轴向拉伸时，预先画在杆的表面上垂直于轴的横向直线保持为横向直线的变形情况，可以推知杆的横截面在变形过程中保持为平面。因而，可以给出变形的平面假设。根据这个假设，可以推断：等截面直杆受到轴向拉伸（或压缩）时，截面上的内力是均匀分布在整个截面上的（靠近力的作用点的截面，须另行考虑）。如图1—6，就表明等截面直杆受轴向拉伸时，横截面mm上内力的分布情况。由于内力在截面上是均匀分布的，所以，每单位截面积上的内力，即为总的内力除以横截面面积。若以A表示横截面面积，σ表示单位截面积上的内力，则得：

$$\sigma=\frac{N}{A}=\frac{P}{A} \qquad (1-1)$$

σ称为横截面mm上的正应力，其单位为 N/m^2（牛/米²），或用P_a表示。在构件的设计计算中，正应力是一个非常重要的参数。从图1—6中，可以看出，当直杆受轴向拉伸时，横截面上的应力的方向是垂直于这个截面的（轴向压缩时，应力也是垂直于横截面的）。凡是垂直于截面的应力，我们都称之为正应力(或称法向应力)，用符号σ表示。习惯上，正应力方向离开截面的，即拉应力，取正值；指向截面的，即压应力，取负值。

例1—1，一聚合釜搅拌轴，如图03-A所示，横截面面积$A=5\times10^{-4}m^2$。试计算各段轴中的内力（轴力）及正应力。

解：用截面法，假设用一截面在AB段间垂直于轴线将轴切开，取下面一段作为研究对象，根据其平衡条件，可得 $N_{AB}=P_3=100N$（拉力，取正值）。

用同样方法，可得$N_{BC}=P_2+P_3=250N$(拉)，

$$N_{CD}=P_1+P_2+P_3=150+150+100=400N(\text{拉}),$$

$$\sigma_{AB}=\frac{N_{AB}}{A}=\frac{100}{5\times10^{-4}}=200kN/m^2,$$

$$\sigma_{BC}=\frac{N_{BC}}{A}=\frac{250}{5\times10^{-4}}=500kN/m^2,$$

$$\sigma_{CD}=\frac{N_{CD}}{A}=\frac{400}{5\times10^{-4}}=800kN/m^2。$$

以上都是拉应力，故均取正号。

§1—4　轴向拉伸(压缩)时的变形、虎克定律

构件在外力作用下就要发生变形。图1—7表示等截面直杆受到沿轴线方向的力P拉伸时从原来杆长L，伸长到L′的情况。图中虚线和实线分别表示杆在受力前和受力后的形状。沿轴线方向上的变形$\Delta L=L'-L$，称为纵向绝对变形。这个变形数值，随着杆的原长度不同而改变，不能说明杆的变形程度。因此，我们常用杆的单位长度上的变形量，即$\Delta L/L$来衡量杆的变形程度，用符号ε来表示，并称之为纵向应变或纵向相对变形，或简称应变，或线应变，即：

$$\varepsilon=\frac{\Delta L}{L} \qquad (1—2)$$

ε是一个没有量纲的数字，常用百分数表示。当杆受拉伸时，ΔL为正值，ε也取正值；当杆受压缩时，ΔL为负值，ε也相应取负值。

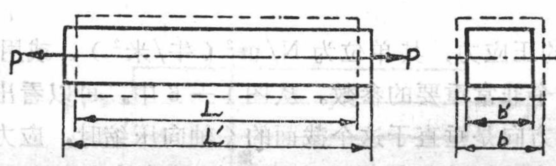


图1—7　　　　图1—8

此外，当杆受轴向拉伸时，在垂直于轴线方向上也会发生变形，如图1—8所示，图中虚线表示受力前的形状，实线则表示受力变形后的情况。$\Delta b=b'-b$，称为横向绝对变形，用单位长度上的改变量来表示，可以写成：

$$\varepsilon'=\frac{\Delta b}{b},$$

称为横向应变，或横向相对变形。

显然，当ε为正值时，ε′为负值；而当ε为负值时（轴向压缩），ε′则为正值。

从长期的生产实践和大量的科学实验中得知：对于相同的材料，在其弹性变形范围内，横向应变与纵向应变之比的绝对值为一常数，用μ表示，称为泊松比，或称泊松系数，也可称为横向变形系数，即

$$\mu=\left|\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right| \qquad (1—3)$$

μ的数值在0～0.5之间，随材料而异，由实验测定，可从材料手册中查得。参见表1—1。

以上，我们已经分别研究了杆件在轴向拉伸或压缩下，横截面上的应力(系正应力)σ、纵向应变 ε 和横向应变 ε'，以及泊松比 μ。现在，我们进一步研究应力与应变之间的关系，通过长期实践和大量实验，知道：

当杆件受轴向拉伸或压缩时，在弹性变形范围内，横截面上的正应力 σ 与纵向应变 ε 成正比，即 $\sigma \propto \varepsilon$，这个关系可写成：

$$\sigma = E\varepsilon \qquad (1-4)$$

上式通常称为虎克定律，式中比例常数 E，随材料而不同，称为材料的弹性模数，它与应力 σ 有相同的单位，N/m^2。表 1 — 1 是几种常用材料的E、μ 值。

表 1 — 1　几种常用材料的拉伸(压缩)弹性模数E和泊松系数 μ 的约值

材　　料	拉伸(压缩)弹性模数 E GN/m^2	泊松系数 μ
低碳钢	196～216	0.25～0.33
镍铬钢	200	0.28
铸　铁	140	～0.26
黄　铜	100	0.35
青　铜	100	0.35
紫　铜	115	0.34
铝	60	0.3
硬　铝	71	0.33
铅	18	0.42
橡　皮	0.0078	0.47
玻　璃	56	0.26
木　材		
顺纹	9.8～11.7	——
横纹	0.49	——

* 一般钢、有色金属及其合金可取 $\mu = 0.33$

由此，虎克定律可以概括为：当应力不超过某一极值时(即材料在弹性变形范围内)，应力与应变成正比。

虎克定律是近似的，对于某些材料，例如钢材，其精确性较高；而对于铸铁、石料、混凝土等，其精确性就比较差些。但它在相当程度上能反映客观实际，其近似程度尚能满足工程实际中的要求。所以，它在生产中得到广泛应用。

把式（1—1）和（1—2），即

$$\sigma=\frac{P}{A}\text{和}\ \varepsilon=\frac{\Delta L}{L},$$

代入式（1—4），经过整理，就可得到：

$$\Delta L=\frac{PL}{EA} \qquad (1-5)$$

上式是虎克定律的另一形式。

从式（1—5）可知，对长度相同，受力相等的杆件，EA越大，则变形ΔL就越小。所以EA称为杆件的抗拉（或抗压）刚度。它反映了杆件抵抗拉伸（或压缩）变形的能力。

我们设计化工设备的基础时，常常用到混凝土的弹性模量。我国建筑科学研究院曾对混凝土的弹性模量数值进行了大量的测定试验，现将该项资料列于表1—1—Ⅰ。

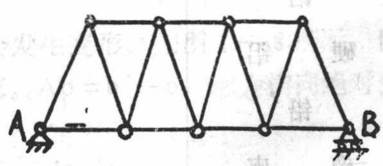
表1—1—Ⅰ　　混凝土的弹性模量E

混凝土标号R	75	100	150	200	250	300	400	500	600
弹性模数E（$\times 10GN/m^2$）	1.55	1.85	2.3	2.6	2.85	3.0	3.3	3.5	3.65

混凝土的线膨胀系数$\alpha=1\times10^{-5}/℃$，泊松比μ为1/5～1/7，一般可取1/6。

虎克定律揭示了应力与应变之间的内在联系，为研究构件的强度、刚度和稳定性提供了重要基础，使我们有可能从受力构件的外部的应变测量，得知材料内部的应力情况，在构件的设计计算中起了极其重要的作用。

例1—2，列车通过桥梁时，用精密仪器测出桥上某钢杆两点间距离增加了0.002cm，图1—9。此二点原来距离为10cm。试计算列车通过时，这杆内的应力（这是工程实际中测量应力的实用方法之一，可以避免计算外加载荷）。



电阻应变片

图1—9

解：$\Delta L=0.002cm$,

$L=10cm$,

$$\varepsilon=\frac{\Delta L}{L}=\frac{0.002}{10}=0.02\%$$

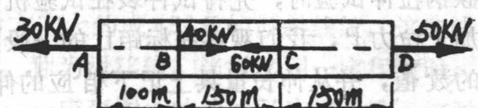
低碳钢的弹性模数E，从表1—1中查得：

$$E=2\times10^2GN/m^2,$$

因此，$\sigma=E\varepsilon=2\times10^2\times0.0002=40MN/m^2$。

答：杆内应力为40MP_a。

例1—3，钢杆AD，横截面积A＝5cm²，所受轴向外力如图所示。试计算杆的伸长量。



例1—3图

解：用截面法，求得各段杆的内力：

$N_{AB}=30\mathrm{kN}$，$N_{BC}=-10\mathrm{kN}$（受压），$N_{CD}=50\mathrm{kN}$。

从表1—1，取$E=200\mathrm{GN/m^2}$，杆的总伸长量：

$$\Delta L=\Delta L_{AB}+\Delta L_{BC}+\Delta L_{CD}=\frac{N_{AB}L_{AB}}{EA}+\frac{N_{BC}L_{BC}}{EA}+\frac{N_{CD}L_{CD}}{EA}$$

$$=\frac{1}{2\times10^{11}\times5\times10^{-4}}(30\times10^{3}\times100-10\times10^{3}\times150+50\times10^{3}\times150)$$

$$=9\times10^{-2}\mathrm{m}=9\mathrm{cm}$$

答：杆的总伸长量为9cm。

§1—5　材料的机械性能试验

在构件设计中，为了充分发挥材料的效用，我们必须确切了解材料的机械性能。因此，我们就要对各种材料进行试验研究。在材料试验中，对于试件的形状、大小以及试验方法等等，都有统一规定标准，可以查阅《金属拉力试验法》（GB228－76）。

这里，简单地介绍低碳钢在室温、静载荷（实验时要极其缓慢地加上载荷）条件下的拉伸试验。

拉伸试验是研究材料（尤其是金属材料）机械性质的一个基本的重要试验。通过这个试验，我们可以得到许多重要的机械性能参数，并可用来验证虎克定律。金属材料的静载荷拉伸试验，用圆形或矩形截面的试件，两端较粗，便于在试验机上夹持，中间一段是等截面的。如图1—10所示。$L=5d$或$L=10d$。L为试件的计算长度，称为标距。对于矩形截面试件，标距L或试件的横截面面积A之间，要符合：$L=5.65\sqrt{A}$或$L=11.3\sqrt{A}$。此外，试件两端形状和尺寸也都要符合标准规定。

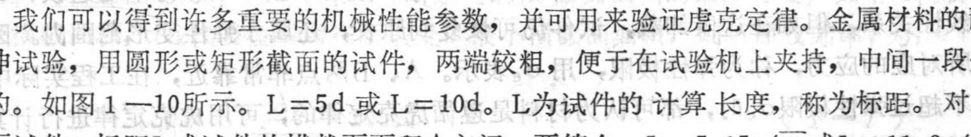


图1—10　拉伸试件