高等学校教材

材料力学

主编 王力民

中南大学出版社

材 料 力 学

主编 王力民

参编 尹小波 黄国光 罗国华

欧 丽 程 浩 彭达仁

郭长青 邹长川 康向东

夏时行

中南大学出版社

内 容 简 介

本书是根据国家教委课程教学指导委员会编写的工科,《材料力学课程教学基本要求》(90 学时),以"精选内容,利于教学"为指导思想编写而成的。主要适用于机电、动力、压加、探工及土建、机械类专业的材料力学教材,也可作为有关专业的函授教材及自学参考书使用。

全书共十四章,内容包括:绪论、拉伸和压缩、剪切实用计算、扭转、弯曲、应力状态理论、强度理论、组合变形、能量法、压杆稳定、动荷应力、交变应力等。各章之后附有内容小结、思考题和习题及习题答案。

材 料 力 学

王力民 主 编

责任编辑:可耕 王新

*

中南大学出版社出版发行

中南大学出版社印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:380 千字

2002 年 3 月第 1 版第 3 次印刷

印数:6851-9850

*

ISBN 7-81020-692-3/O·074

定价:24.00 元

本书如有印装质量问题,请直接与印刷厂家联系斛换

厂址:湖南长沙 邮编:410083

前　　言

本书系根据国家教委批准印发的《材料力学课程教学基本要求》(90学时)编写而成的。它适合用作高等工科院校的材料力学课程教材。

在编写时,着重于系统地阐述力学的基本理论,加强计算能力的训练,培养学生的科学思维能力。

全书共十四章,内容包括:轴向拉伸和压缩,剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态理论,强度理论,组合变形,压杆稳定,能量方法,动应力和交变应力。各章举有较多的典型例题,编写了一定量的习题,并附有内容小结和思考题,以利于读者复习与训练。

全书采用国际单位制。书内的全部插图尺寸凡未标明单位的均以毫米计。

参加本书编写工作的有:王力民(第一章)、尹小波(第十三、十四章)、黄国光(第二章)、罗国华(第三、四章)、欧　丽(第五章)、程　浩(第六章)、彭达仁(第七章)、郭长青(第八章)、邹长川(第九章)、康向东(第十、十一章)、夏时行(第十二章)。

本书的书稿,承蒙张　瑞、程根梧教授仔细地审阅,他们提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心地感谢。

我们诚恳地希望使用本书的读者给予批评指正。

编　者

2000 年 8 月

主 要 符 号 意 义

x,y,z	直角坐标轴
x,y,z	支反力沿 x,y,z 轴的分力
P	集中力,功率
q	线分布载荷集度
m	线分布力偶
M_0	单位力偶
P_0	单位力
P_{cr}	压杆临界力
M	弯矩
$T(M_T)$	扭矩
Q	剪力
N	轴力
σ_{cr}	临界应力
σ	正应力
τ	剪应力
$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$	主应力
σ_{eq}	相当应力
σ_m	平均应力
σ_a	应力幅度
$\sigma_{-1}(\tau_{-1})$	对称循环下材料的持久极限
σ_d	动应力
$[\sigma]$	许用正应力
$[\tau]$	许用剪应力
	极限应力(危险应力)
σ_b	破坏强度(强度极限)
σ_e	弹性极限
σ_c	抗压极限
σ_t	抗拉极限
A	截面面积
b	宽度
t	厚度,温度
e	偏心距
λ	柔度
μ	泊松比,压杆长度系数
n_{st}	稳定工作安全系数

θ	单位扭转角,体积应变
$\theta_{\max}$	最大转角
φ	扭转角,扭角
δ	延伸率,伸长量
φ	截面收缩率
Δ	变位,位移
U	弹性变形能
u	比能
V	体积
S	静面矩
$I(I_x,I_y,I_z)$	轴惯性矩
$W(W_x,W_y,W_z)$	抗弯截面模量
W_p	抗扭截面模量
l	长度
$D(d)$	直径
r	循环特征;半径
γ	剪应变
ε	线应变
$\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3$	主应变
n	转速
I_p	极惯性矩
K_d	动荷系数
K	应力集中系数
K_σ,K_τ	有效应力集中系数
$\varepsilon_\sigma,\varepsilon_\tau$	尺寸系数
E	纵向弹性模量
G	剪切弹性模
g	重力加速度
C	常数
k	弹簧常数
$f(y_{\max})$	最大挠度
$[\theta]$	单位长度许用扭转角
$[y]$	许用挠度
$H(h)$	高度

目　　录

主要符号意义

第一章　绪论

§1－1　材料力学的任务……(1)
§1－2　材料力学的基本假设……(1)
§1－3　材料力学的研究对象……(2)
§1－4　杆件变形的基本形式……(3)

第二章　轴向拉伸和压缩

§2－1　轴向拉伸和压缩的概念……(4)
§2－2　轴向拉(压)杆的内力……(4)
§2－3　轴向拉(压)杆横截面上的应力……(6)
§2－4　轴向拉(压)杆的变形……(8)
§2－5　材料在拉伸和压缩时的力学性质……(12)
§2－6　安全系数、许用应力、强度条件……(17)
§2－7　拉(压)杆的超静定问题……(20)
§2－8　拉(压)杆的弹性变形能……(27)
内容小结……(29)
思考题……(30)
习　题……(31)

第三章　剪切

§3－1　剪切强度计算……(37)
§3－2　挤压强度计算……(38)
§3－3　联接件的强度计算……(39)
内容小结……(42)
思考题……(42)
习　题……(42)

第四章　扭转

§4－1　扭转的概念……(47)
§4－2　外力偶矩、扭矩和扭矩图……(47)
§4－3　薄壁圆筒的扭转……(49)

§4－4　圆轴扭转时的应力和变形 …………………………………………… (51)
§4－5　圆轴扭转时的强度和刚度计算 ……………………………………… (56)
§4－6　圆柱形密圈螺旋弹簧的应力与变形 ………………………………… (59)
§4－7　非圆截面杆扭转的概念 ……………………………………………… (62)
内容小结 ……………………………………………………………………… (64)
思考题 ………………………………………………………………………… (65)
习　题 ………………………………………………………………………… (66)

第五章　梁的内力

§5－1　梁的平面弯曲概念 ………………………………………………… (72)
§5－2　梁的计算简图 ……………………………………………………… (72)
§5－3　剪力和弯矩 ………………………………………………………… (74)
§5－4　剪力方程和弯矩方程，剪力图和弯矩图……………………………… (77)
§5－5　弯矩、剪力与分布载荷集度间的微分关系及其应用……………………… (79)
§5－6　用叠加法作剪力图和弯矩图 ……………………………………… (82)
内容小结 ……………………………………………………………………… (83)
思考题 ………………………………………………………………………… (83)
习　题 ………………………………………………………………………… (84)

第六章　梁的应力

§6－1　梁的正应力 ………………………………………………………… (89)
§6－2　平面图形的几何性质 ……………………………………………… (93)
§6－3　梁的弯曲剪应力 …………………………………………………… (97)
§6－4　梁的强度计算…………………………………………………………… (100)
§6－5　提高梁弯曲强度的措施………………………………………………… (102)
内容小结……………………………………………………………………… (105)
思考题………………………………………………………………………… (105)
习　题………………………………………………………………………… (105)

第七章　梁的变形

§7－1　梁的挠度和转角………………………………………………………… (110)
§7－2　挠曲线的近似微分方程………………………………………………… (111)
§7－3　用积分法求梁的位移…………………………………………………… (112)
§7－4　用叠加法求梁的位移…………………………………………………… (115)
§7－5　梁的刚度校核…………………………………………………………… (120)
§7－6　简单超静定梁的解法…………………………………………………… (121)
内容小结……………………………………………………………………… (124)
思考题………………………………………………………………………… (125)
习　题………………………………………………………………………… (126)

第八章　应力状态理论

§8－1　应力状态的概念…………（128）
§8－2　平面应力状态的应力分析…………（129）
§8－3　广义虎克定律…………（133）
§8－4　空间应力状态的最大应力…………（134）
内容小结…………（135）
思考题…………（135）
习　题…………（136）

第九章　强度理论

§9－1　强度理论的概念…………（138）
§9－2　四种常用的强度理论…………（139）
§9－3　强度理论的应用…………（141）
内容小结…………（144）
思考题…………（145）
习　题…………（146）

第十章　组合变形

§10－1　组合变形的概念…………（148）
§10－2　斜弯曲…………（149）
§10－3　拉伸(压缩)与弯曲…………（152）
§10－4　弯曲与扭转…………（157）
内容小结…………（162）
思考题…………（163）
习　题…………（164）

第十一章　压杆稳定

§11－1　压杆稳定的概念…………（168）
§11－2　细长压杆的临界压力…………（169）
§11－3　欧拉公式的适用范围、经验公式…………（173）
§11－4　压杆的稳定计算…………（175）
§11－5　提高压杆稳定性的措施…………（179）
内容小结…………（180）
思考题…………（181）
习　题…………（182）

第十二章　能量方法

§12－1　概述…………（185）

§12－2　变形能计算 …… (185)
§12－3　莫尔定理 …… (189)
§12－4＊　图乘法 …… (193)
§12－5＊　卡氏定理 …… (196)
§12－6　互等定理 …… (199)
§12－7　用能量原理求解静不定问题 …… (200)
内容小结 …… (202)
思考题 …… (203)
习　题 …… (203)

第十三章　动应力

§13－1　动应力的概念 …… (207)
§13－2　构件作匀加速运动时的应力计算 …… (207)
§13－3　构件受冲击时的应力计算 …… (210)
§13－4　提高构件抗冲击能力的措施 …… (213)
内容小结 …… (214)
思考题 …… (215)
习　题 …… (215)

第十四章　交变应力

§14－1　交变应力的概念 …… (219)
§14－2　对称循环下材料的持久极限 …… (222)
§14－3　对称循环下零件的持久极限 …… (223)
§14－4　对称循环下零件的疲劳强度计算 …… (227)
§14－5　提高构件疲劳强度的措施 …… (228)
内容小结 …… (229)
思考题 …… (229)
习　题 …… (230)

附录　型钢表 …… (231)

习题答案 …… (240)

第一章 绪 论

§1-1 材料力学的任务

工程中,存在着各种各样的结构物和机器,把组成结构或机器的基本单个部分称作构件(或零件)。例如,起重吊车的横梁,机床传动的主轴等。

当结构承受载荷或机器运转时,组成它们的每个构件都要承受一定的外力作用,即受到载荷作用。为了保证整个结构或机器能够正常地工作,就要求构件满足以下条件:

一、足够的强度

所谓强度是指构件在外力作用下抵抗破坏的能力。构件具有足够的强度,就是说构件在受到载荷作用时不会发生破坏。

二、足够的刚度

所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。构件具有足够的刚度,就是说构件在外力作用下不会产生超出工程允许范围的变形。

三、足够的稳定性

所谓稳定性是指构件在外力作用下保持其原有平衡状态的能力,构件具有足够的稳定性,就是说构件在外力作用下不会突然改变原有的平衡状态。

上述的这些条件,一般说来,只要将被设计的构件加大截面尺寸,选用上等的材料,总是可以满足的。但这样做,显然浪费材料,提高了成本。因此在设计构件时,除要求构件必须满足上述强度,刚度及稳定性的要求外,同时,还必须尽可能地合理使用材料,节约资金并减轻构件的自重。显然,这两者之间存在着矛盾。这一矛盾的合理解决,有赖于材料力学的基本原理和计算方法。

综上所述,材料力学的任务,就是在最大经济的前提下,为保证构件能够满足强度、刚度和稳定性的要求而提供必要的的基本理论、计算方法和试验技术。

§1-2 材料力学的基本假设

因为材料力学主要研究物体在外力作用下的强度、刚度和稳定性问题。对于这类问题,都要涉及物体的变形,因此物体的变形是主要考虑因素。为此,在材料力学

中必须摈弃理论力学中认为物体是刚体的假设，而认为物体具有可变形性质，并称之为变形固体。进而，采用以下几个基本假设将真实固体材料加以理想化，使之便于进行理论分析。

一、材料的连续性假设

这条假设认为组成物体的物质毫无空隙地充满了整个物体的体积。由此可以从物体的微体研究入手，将物体内的物理量看作是连续的，利用数学工具研究它。当然，从真实物质结构来看，组成物体的无数个颗粒（如晶粒），必然具有不同程度的空隙，但它们的空隙大小和构件的尺寸相比是极其微小的，因而可以忽略不计，认为物体是致密的。

二、材料的均匀性假设

这条假设认为物体内各处的力学性质完全一样。事实上，并不是这样。例如组成金属材料的晶粒在不同处的性质是不同的。但由于材料力学所研究的构件尺寸比晶粒大小要大得多，而且晶粒在构件内的排列也不规则有序，所以，从宏观的观点看，可以认为物体的力学性质是均匀的。

三、材料的各向同性假设

这条假设认为材料在各个不同方向上具有相同的力学性质。实际上，就工程上常用的金属材料来说，每一个晶粒沿不同的方向都具有不同的力学性质。但如前所述，由于材料包含晶粒数量极多，且排列又无规则，所以，从统计平均的观点看，就可以认为金属是各向同性的。

四、小变形假设

这条假设认为构件受力后的变形与其原始尺寸相比是极其微小的，因此，在讨论构件的平衡和运动时，可以不考虑构件的微小变形，而按其原始尺寸进行计算。

工程上的材料，在外力作用下，它的尺寸及形状均将发生不同程度的改变，这种改变称为变形，当外力不超过一定的范围时，绝大多数材料在卸去外力后，即能完全恢复原状，材料的这种变形称为弹性变形。若外力过大，当解除外力后材料仍有一部分变形不能消失而永久残留下来，这种变形称为塑性变形。

综合上述，材料力学视制成构件的材料为均匀、连续、各向同性的可变形固体，而且，在大多数情况下，只研究弹性小变形。

§1－3　材料力学的研究对象

工程中的构件形状是各种各样的，但材料力学主要研究最基本的一种构件，即杆件。所谓杆件，是指其纵向尺寸（长度方向）远大于横向（垂直于长度方向）尺寸的构件。例如，机械中的传动轴，房屋结构中的梁、柱等。

描述杆件的几何特征是横截面和轴线。前者是指与杆件长度方向相垂直的截面，后者则为各横截面形心的连线（1－1a）。横截面与轴线是互相垂直的。按照杆件

横截面沿着杆轴的变化,可分为等截面杆和变截面杆;按杆件轴线的曲直,又可分为直杆和曲杆。凡是横截面尺寸不变而轴线又为直线的杆件,通常简称等直杆(图 1－1b、c)。由于等直杆被广泛地应用工程问题中,所以它是材料力学的主要研究对象。

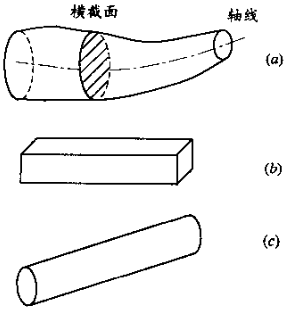

图 1－1

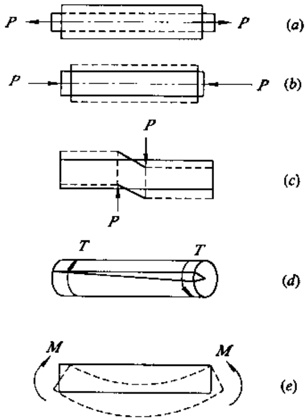

图 1－2

§1－4　杆件变形的基本形式

实际工程中的杆件,受力后的变形是各种各样的。但是,杆件的最基本变形形式,不外乎有以下四种形式。

(1)轴向拉伸或轴向压缩:例如桁架的拉杆、起吊重物的钢索、房屋中的柱子、等等。这种杆件所受的外力沿着杆的轴线作用,引起杆件伸长或缩短的变形,如图 1－2a、b 所示。

(2)剪切:例如螺栓、键、销钉等。这种杆件所受的力是一对相距很近等值、反向的横向力,杆件两力之间的各横截面发生相对错动(图 1－2c)

(3)扭转:例如传动轴、扭杆等。杆件受到的外力是一对大小相等,方向相反,作用面垂直于杆轴线的力偶,引起杆件各横截面绕杆轴的转动,如图 1－2d 所示。

(4)弯曲:例如吊车梁、车轮轴等。这种杆件所受的外力是一对大小相等,方向相反的力偶,但作用在杆的纵向对称平面内,引起杆件任意两个截面的相对转动(图 1－2e)。

工程中,还会遇到较复杂的杆件变形,即由两种或两种以上的基本变形组合而成,这种变形称为组合变形。在本书中,我们先依次讲述杆件的四种基本变形,而后再讨论它们的组合变形。

第二章　轴向拉伸和压缩

§2－1　轴向拉伸和压缩的概念

工程中经常遇到承受拉伸或压缩的杆件。例如桁架中的钢拉杆受到拉伸(图 2－1a),内燃机的连杆在燃气爆发时受到压缩(图 2－1b),等等。

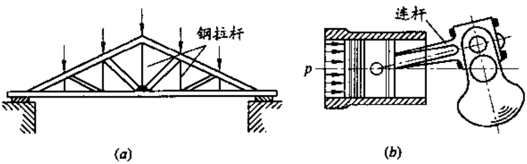

图 2－1

这些受拉或受压的杆件虽然外形各异,加载方式也不相同,但它们的共同特点是:作用于杆件上的外力合力的作用线与杆的轴线相重合,杆件沿轴线方向伸长或缩短。若把这些杆件的形状和受力情况进行简化,则为图 2－2 所示的受力简图。图中的虚线表示杆变形后的形状。

§2－2　轴向拉(压)杆的内力

杆件受到外力作用发生变形时,其内部各质点间的相对位置将有变化。与此同时,各质点间相互作用的力也发生了改变。在材料力学中所研究的内力就是这种力的改变量。严格地讲,它是由于外力的作用而引起的“附加内力”,通常简称为内力。

为了显示拉(压)杆横截面上的内力,可以沿横截面 $m-m$ 假想地把杆件分成两部分(图 2－3c)。杆件左、右两段在横截面 $m-m$ 上相互作用的内力是一分布力系(图 2－3b)或(图 2－3c),其合力为 N。由左段的平衡方程$\sum X=0$,得

$$N-P=0 \qquad N=P$$

因为外力 P 的作用线与杆件轴线相重合,内力的合力 N 的作用线也必定与杆件的轴线相合,所以 N 称为轴力。习惯规定拉伸时的轴力为正,压缩时的轴力为负。

若沿杆件轴线作用的外力多于两个,则在杆件各部分的横截面上,轴力不同。这

时轴力沿杆件轴线的变化情况用轴力图来表示。下面举例说明使用截面法求内力的步骤和绘图方法。

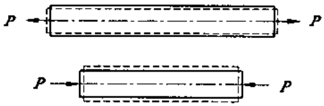

图 2-2

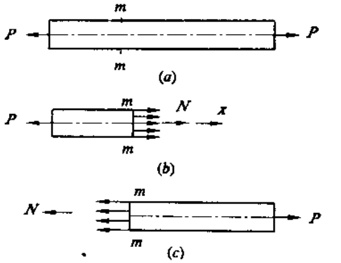

图 2-3

例 2-1 一直杆受有外力作用，如图 2-4a 所示。试求各段横截面上的轴力，并绘其轴力图。

解 在杆件 AB 段内，沿任一截面 1-1 假想地截开杆件，取左段为脱离体（图 2-4b），在截面上假设正号的轴力 N_1。以杆轴为 x 轴，由静力平衡条件 $\sum X=0$ 得 $N_1-6=0$，故 $N_1=6\text{kN}$

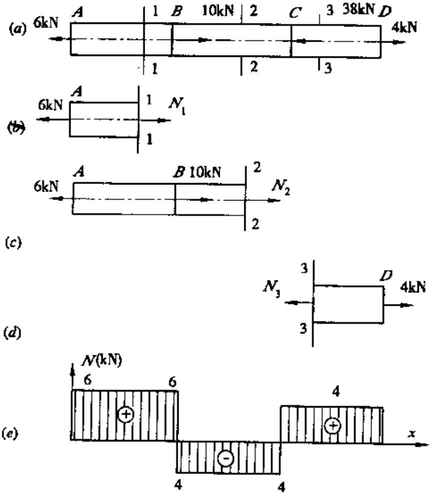

图 2-4

N_1 是正号，表明原假设的轴向拉力是正确的。另外，此段内的外力没有变化，可以看出，AB 段任一截面上的轴力都是 $+6\text{kN}$，全段处于轴向受拉状态。

再在 BC 段内沿任一截面 2-2 假想地截开杆件，取左段为脱离体（图 2-4c），假

设截面上的轴力 N_2 为正。由静力平衡条件 $\sum X=0$，得 $N_2+10-6=0$，故

$$N_2=-4\text{kN}$$

N_2 是负号，说明原假设的轴向拉力应为轴向压力。

为求 CD 段内任一横截面上的轴力，同样用任一截面 3－3 假想地截开杆件，但由于左段上作用外力多，而作用在右段上的外力少，故取右段为脱离体（图 2－4a）可较简捷地得

$$N_3=4\text{kN}$$

求得各段轴力后，用平行杆轴的横坐标表示截面的位置，以垂直于杆轴的坐标按一定的比例表示出相应截面上的轴力，绘出全杆的轴力图（图 2－4e）。在轴力图中，将拉力绘在 x 轴的上侧，压力绘在 x 轴的下测。这样，轴力图既能显示出杆件各段内轴力的大小，又能表示出各段内的变形是拉伸还是压缩。

§2－3　轴向拉（压）杆横截面上的应力

工程计算中，只根据轴力并不能判断杆件是否有足够的强度。例如用同一材料制成不同粗细的两根杆，在相同拉力的使用下，两杆的轴力自然相同。但当拉力逐渐增大到某个值时，细杆必定先被拉断。这说明拉杆的强度不仅与轴力的大小，而且与横截面积有关。所以必须用内力在横截面上分布的集度来度量杆件的抗力。

在拉（压）杆横截面上，与横截面相垂直的内力的分布集度称为正应力，以 σ 表示。根据连续性假设，横截面上到处都存在着内力。若以 A 表示横截面面积，则微元面积 $\mathrm{d}A$ 上的内力元素 $\sigma\mathrm{d}A$ 组成一个垂直于横截面的平行力系，其合力就是轴力 N。于是，由静力关系得

$$N=\int_A \sigma \mathrm{d}A \qquad (2-1a)$$

只有知道横截面上的 σ 分布规律，才能完成式（2－1a）中的积分。σ 的分布规律，是无法直接观察到，但由于应力伴随变形一起发生，而变形是可以观察到并能设法测量出来，因此以杆件受力后表面上的变形情况为依据，由表及里地作出内部变形情况的几何假设，再根据应力与变形间的物理关系，求得应力在截面上的分布规律。现以拉杆为例予以说明。

取一等直杆（图 2－5a），在其侧面上画垂直于杆轴的直线 ab 和 cd。受拉力变形后，观察到 ab 和 cd 仍保持为直线，且仍垂直于轴线，只分别平移至 $a'b'$ 和 $c'd'$。据此现象，可以假设变形前的横截面，在杆件变形后仍保持为垂直于轴线的平面。这个假设称为平面假设。如果设想杆件是由许多纵向纤维组成的，则由平面假设可以推断，杆的所有纵向纤维的伸长相等。由于假设材料均匀连续，所有各纤维的受力相同，杆件横截面上各点的正应力均匀分布，即 σ 等于常量（图 2－5b）。于是，由（2－1a）式

$$N=\sigma\int_A \mathrm{d}A=\sigma A$$

得 $$\sigma=\frac{N}{A} \tag{2-1b}$$

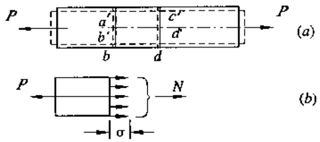

图 2－5

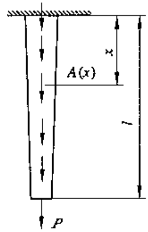

图 2－6

式(2－1b)是计算拉(压)杆横截面上正应力的公式。正应力的符号规定:拉应力为正,压应力为负。

关于轴向拉(压)杆横截面上的应力呈均匀分布的假设,应除去靠近外力作用点处附近区域,才适用于杆的任一横截面。

推导式(2－1b)时,要求外力的合力与杆件轴线重合,以保证各纵向纤维变形相等,横截面上正应力均匀分布。若轴力沿轴线变化,可先作出轴力图,再由式(2－1b)求出各横截面上的应力。当截面尺寸沿轴线变化时(图 2－6),只要变化缓慢,外力合力作用与轴线重合,式(2－1b)仍适用。这时应改写成下式:

$$\sigma(x)=\frac{N(x)}{A(x)} \tag{2-2}$$

式中 $\sigma(x)$、$N(x)$和 $A(x)$表示这些量都是横截面位置 x 的函数。

例 2－2 图 2－7a 所示构架由 AB 杆和 BC 杆组成。BC 杆为直径 $d=20$mm 的钢杆,AB 杆的横截面积为 540mm^2。载荷 $P=2$kN,试求 AB 杆和 BC 杆横截面上的正应力。

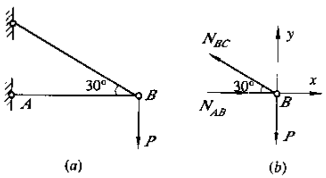

图 2－7

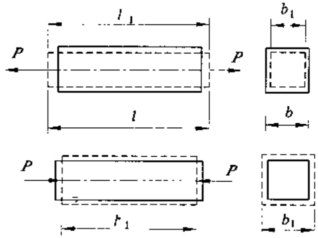

图 2－8

解 先计算各杆轴力 由于各杆均为铰链连接，荷载又作用在节点处，因此，AB 杆和 BC 杆均为二力杆。节点 B 的受力图如图 2－7b 所示。由静力平衡条件：

$$\sum X=0 \qquad N_{AB}-N_{BC}\cos30^\circ=0 \tag{a}$$

$$\sum Y=0 \qquad N_{BC}\sin30^\circ-P=0 \tag{b}$$

联解得 BC 杆和 AB 杆的内力各为

$$N_{BC}=\frac{P}{\sin30^\circ}=\frac{2}{0.5}=4\text{kN(拉)}$$

$$N_{AB}=N_{BC}\cos30^\circ=4\times\frac{\sqrt{3}}{2}=3.46\text{kN(压)}$$

计算各杆应力 BC 杆的内力是轴向拉力，横截面上的应力为

$$\sigma_{BC}=\frac{N_{BC}}{A_{BC}}=\frac{400}{\frac{\pi}{4}\times20^2\times10^{-6}}=12.7\times10^6\text{N/m}^2=12.7\text{MPa(拉)}$$

AB 杆的内力是轴向压力，横截面上的正应力为

$$\sigma_{AB}=\frac{N_{AB}}{A_{AB}}=\frac{-3460}{540\times10^{-6}}=-6.4\times10^6\text{N/m}=-6.4\text{MPa(压)}$$

§2－4 轴向拉(压)杆的变形

直杆受轴向拉力或压力作用时，杆的纵向尺寸将沿轴线方向伸长(或缩短)，横向尺寸则伴有缩小(或增大)，如图 2－8 所示。设杆件受力前的长度为 l，横截面积为 A，受力后的伸长为 l_1，则杆件的纵向伸长量为

$$\Delta l=l_1-l \tag{2-3a}$$

Δl 称为杆件的线变形或绝对伸长。显然，杆件伸长时 $l_1>l$，Δl 是正值，杆件缩短时，$l_1<l$，Δl 为负值。

线变形 Δl 与杆件的原长 l 之比，称为线应变。表示单位长度内的线变形，以 ϵ 表示。即

$$\epsilon=\frac{\Delta l}{l} \tag{2-3b}$$

线应变的正负号与 Δl 一致，拉应变为正，压应变为负。它们是无量钢的量。

实验表明，当施加在杆上的轴向拉力(或压力)不超过某一限度时，杆的纵向伸长(或缩短)Δl 与轴力 N 及杆长 l 成正比，与横截面面积 A 成反比，即

$$\Delta l\propto\frac{Nl}{A}$$

引入比例常数 E，则得

$$\Delta l=\frac{Nl}{EA} \tag{2-4}$$

式(2－4)是著名科学家虎克在 1678 年建立的，称为杆件拉(压)时的虎克定律。式中 E 称为弹性模量。