

中等专业学校教学用书

材料力学

CAILIAO LIXUE

北京航空工业学校力学教研组主编

人民教育出版社

目 录

第一章 緒論·基本概念	1
§ 1-1. 材料力学的任务	1
§ 1-2. 材料力学的研究方法	2
§ 1-3. 材料力学研究的对象:杆、板、壳	2
§ 1-4. 变形固体和它的基本假設	3
§ 1-5. 外力及其分类	6
§ 1-6. 内力、截面法、应力	6
§ 1-7. 变形的基本形式	9
复习題	10
第二章 拉伸和压缩	11
§ 2-1. 拉压内力及轴力图	11
§ 2-2. 基本假設和横剖面上的正应力	16
§ 2-3. 轴向变形和横向变形	22
§ 2-4. 虎克定律	23
§ 2-5. 泊桑系数	27
§ 2-6. 斜剖面上的应力	30
复习題	34
第三章 拉伸和压缩时材料的机械性質	38
§ 3-1. 材料力学实验	38
§ 3-2. 試驗机和試驗仪器	39
§ 3-3. 静載荷拉伸实验	43
§ 3-4. 应力应变图及图上各特性点	45
§ 3-5. 拉伸时所耗的功·应变位能	50
§ 3-6. 静載荷压缩实验	52
§ 3-7. 温度和加力速度对金属材料机械性能的影响	53
§ 3-8. 塑性材料和脆性材料机械性能的比较	54
复习題	55
第四章 拉伸和压缩的强度計算	57
§ 4-1. 許用应力和安全系数	57
§ 4-2. 简单拉伸和压缩的强度計算	59
§ 4-3. 薄圆环的計算	63
§ 4-4. 拉伸和压缩的靜不定問題	65

§ 4-5. 装配应力和变温应力	69
------------------	----

复习题	72
-----	----

第五章 剪切和挤压 76

§ 5-1. 剪切概念·剪切时的应力和变形	76
-----------------------	----

§ 5-2. 剪切虎克定律和剪切弹性系数	77
----------------------	----

§ 5-3. 挤压的概念	78
--------------	----

§ 5-4. 剪切和挤压的强度计算	80
-------------------	----

复习题	88
-----	----

第六章 扭转 90

§ 6-1. 扭转的概念·扭矩·扭矩图	90
---------------------	----

§ 6-2. 圆杆扭转时的实验观察及假设	94
----------------------	----

§ 6-3. 圆杆扭转时的应力和变形	94
--------------------	----

§ 6-4. 圆杆扭转时的强度和刚度计算	101
----------------------	-----

§ 6-5. 圆杆扭转时破坏的特征和材料的关系	105
-------------------------	-----

§ 6-6. 扭转应变能	106
--------------	-----

§ 6-7. 圆柱形密圈螺旋弹簧的计算	106
---------------------	-----

§ 6-8. 矩形截面杆扭转的概念	110
-------------------	-----

复习题	112
-----	-----

第七章 平面图形的几何性质 116

§ 7-1. 概述	116
-----------	-----

§ 7-2. 平面图形的静矩与面积重心	116
---------------------	-----

§ 7-3. 平面图形的惯性矩	118
-----------------	-----

§ 7-4. 简单平面图形的惯性矩	119
-------------------	-----

§ 7-5. 惯性矩的平行轴定理	123
------------------	-----

§ 7-6. 复杂图形的惯性矩	124
-----------------	-----

§ 7-7. 主惯性轴和主惯性矩的概念·惯性半径	126
--------------------------	-----

复习题	128
-----	-----

第八章 直梁弯曲时的内力 131

§ 8-1. 直梁弯曲的概念	131
----------------	-----

§ 8-2. 支座结构型式及其反力·梁的分类	134
------------------------	-----

§ 8-3. 梁弯曲时截面上的内力——剪力和弯矩	139
--------------------------	-----

§ 8-4. 剪力图和弯矩图	143
----------------	-----

§ 8-5. 弯矩、剪力与载荷之间的关系及其应用	149
--------------------------	-----

复习题	153
-----	-----

第九章 直梁弯曲时截面上的应力 165

§ 9-1. 纯弯曲的概念和变形的基本概念	165
-----------------------	-----

§ 9-2. 直梁受纯弯曲时横剖面上的正应力	167
§ 9-3. 常用梁剖面图形的抗弯矩	172
§ 9-4. 非纯弯曲时矩形剖面梁内的剪应力——儒拉夫斯基公式	173
§ 9-5. 梁弯曲时的强度计算公式	180
§ 9-6. 梁剖面合理形状的选择	190
§ 9-7. 等强度梁的概念	195
复习题	199
第十章 梁的变形及静不定梁	203
§ 10-1. 概述	203
§ 10-2. 梁的弹性曲线、挠度与转角	204
§ 10-3. 弹性曲线的微分方程	206
§ 10-4. 积分法求梁的变形	207
§ 10-5. 梁变形弹性曲线的通用方程	212
§ 10-6. 用弹性曲线通用方程求梁挠度与转角的例题	215
§ 10-7. 静不定梁的概念	225
复习题	238
第十一章 应力状态和强度理论	241
§ 11-1. 应力状态的概念	241
§ 11-2. 平面应力状态	242
§ 11-3. 空间应力状态	249
§ 11-4. 空间应力状态下的变形——广义虎克定律	251
§ 11-5. 强度理论的概念	254
§ 11-6. 第一强度理论	256
§ 11-7. 第二强度理论	256
§ 11-8. 第三强度理论	257
§ 11-9. 第四强度理论	258
复习题	261
第十二章 复合抗力	263
§ 12-1. 复合抗力的概念	263
§ 12-2. 弯曲与拉伸(或压缩)的组合作用	264
§ 12-3. 拉伸(或压缩)与扭转的组合作用	270
§ 12-4. 弯曲与扭转的组合作用	273
复习题	289
第十三章 压杆的稳定	293
§ 13-1. 压杆稳定的概念	293
§ 13-2. 临界载荷·欧拉公式	296
§ 13-3. 杆端固定方式对临界力的影响	298

§ 13-4. 欧拉公式的应用范围	301
§ 13-5. 临界应力超过比例极限时的计算	303
§ 13-6. 用减低系数法进行稳定计算	307
§ 13-7. 用减低系数法计算稳定问题的实例	309
§ 13-8. 材料与剖面形状的选择	312
§ 13-9. 弹性体其他形式的不稳定	313
复习题	314
第十四章 动载荷	317
§ 14-1. 概述	317
§ 14-2. 构件作匀变速直线运动时应力的计算	317
§ 14-3. 薄圆环作匀速定轴转动时的计算	319
§ 14-4. 杆受轴向冲击时的应力	321
复习题	324
第十五章 交变应力时的强度计算基础	325
§ 15-1. 交变应力的概念	325
§ 15-2. 交变应力的符号及其循环特性	326
§ 15-3. 材料在交变应力作用下的破坏现象及解释	328
§ 15-4. 疲劳试验及其曲线图	330
§ 15-5. 局部应力的概念	331
§ 15-6. 应力集中, 理论应力集中系数	332
§ 15-7. 静载荷作用下应力集中对构件强度的影响	333
§ 15-8. 影响持久极限的因素	334
§ 15-9. 交变应力时决定许用应力的基础	336
复习题	337
第十六章 按承载能力法的计算原理	338
§ 16-1. 基本概念	338
§ 16-2. 按承载能力法计算简单拉伸或压缩的静不定结构	338
§ 16-3. 按承载能力法计算承受扭转的圆轴	340
§ 16-4. 按承载能力法计算静定梁	341
第十七章 結束語	344
§ 17-1. 材料力学内容的系統性及其研究方法	344
§ 17-2. 材料力学与其他课程以及工程技术的关系	346
§ 17-3. 材料力学发展簡史	347
§ 17-4. 材料力学的目前状况及其发展方向	352
附录 型钢表	354

第一章 緒論 · 基本概念

§ 1-1. 材料力学的任务

当机器和结构物在工作或运用时,它的构件将受到力的作用。如图 1-1 所示之桥式起重机,由于吊重 Q 的作用,起重机的构件

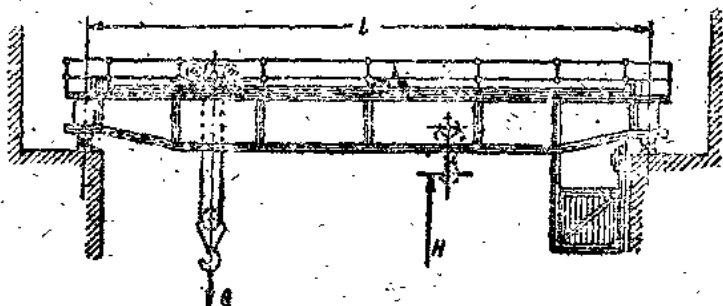


图 1-1

如索、梁等等,会受到力的作用。当设计这些构件时,就产生一系列的亟待解决的问题,如:构件会不会因力的作用而毁坏?构件的剖面要多大才不会坏?梁弯曲后的变形是否太大?如起重机的梁是由桁架构成,桁架的直杆会不会因受压而变弯呢?这类问题在设计任何机器、建筑物、构件时也一定会碰到。

这些问题,换成工程术语来说,称为强度、刚度和稳定问题。所谓强度问题,是研究构件受力后会不会破坏的问题;刚度问题是研究构件受力后变形的問題;稳定问题是研究构件受力后会不会使构件的形式突然改变的问题。材料力学的任务就是要研究工程实际所提出的这些问题,所以,材料力学是研究构件强度、刚度和稳定问题的计算科学。这些计算是工程技术人员为构件选择适当的材料和剖面尺寸的必要基础。

决定构件材料和尺寸时，一定要保证构件的安全。同时，必须使构件具有最小的剖面尺寸，符合经济原则。安全和经济是设计构件的两个基本要求。这两个要求是相互矛盾的；前者要求加大构件剖面尺寸，多用材料；后者要求减少构件的尺寸，减少材料的消耗。也正是由于这一出自生产的矛盾，才促使材料力学的形成和发展。材料力学为解决这个矛盾提供了初步原则。

材料力学是一门基础技术课；它是以理论力学、数学等课程作为基础。同时，材料力学又是其他基础技术课，特别是机械零件以及各专业课的强度设计部分的基础。

§ 1-2. 材料力学的研究方法

象一切物理科学一样，材料力学的研究方法是经过观察、实验、假设、理论、实践或实验等过程。

首先，对研究对象进行仔细观察、实验，得到丰富的感性资料，然后经过思考、分析，将感性资料加以去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的改造制作功夫，作出一些表达问题主要方面的假设，推出理论。最后，将理论应用于实际；用实践或实验来验证理论是否正确。

由上可知：材料力学的内容有理论和实验两部分。实验给建立理论所必须的感性知识、物理条件和验证理论，而理论反过来给实验指出目的和方向，所以，这两部是紧密结合而不可分割的。

§ 1-3. 材料力学研究的对象：杆、板、壳

机器和结构中构件的几何形状是各式各样的。根据构件各向尺寸比例的不同，大致可以把构件简化和归纳为几种类型。

构件的厚度比起它的其他两向尺寸小得多的就称为板和壳（图 1-2）。如蒸汽锅炉、飞机的金属蒙皮、油箱和容器等。

构件的长度比起它的其他两向尺寸大得多的就称为杆（图 1-



图 1-2

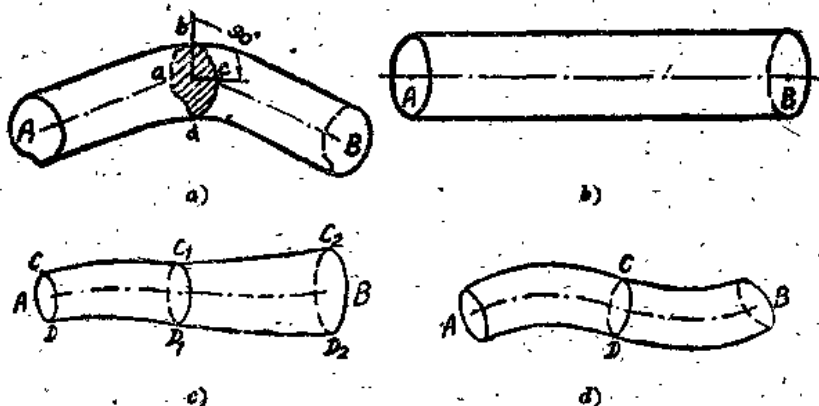


图 1-3

3)。如車床中的軸、桁架、機器中的螺釘、建築物中的柱和梁等等。杆的幾何形狀可以用一條通過杆各剖面重心的軸線和與軸線垂直的橫剖面來表示；杆的軸線可以是折線、曲線和直線，杆各橫剖面的大小可以是沿杆軸線變化的（變剖面杆），也可以是相等的（等剖面杆）。

本書的研究對象主要是直杆，而且大部分是等剖面直杆，因它是最簡單的。

§ 1-4. 變形固體和它的基本假設

在材料力學中所研究的構件，其製造材料為固體。固體的性質是非常複雜的，而每一門科學只能從某一個角度來研究它，只是研究它的性質的某一方面。因此，為了研究方便，須將與問題無關的

或关系不大的次要性質加以忽略，只保留它的主要性質。所以在研究中常采用一些假設。

至于哪些性質是主要的，哪些是次要的，則要看某門科学所要研究的問題范围而定。例如理論力学將物体認為是絕對剛体，因为理論力学主要是研究物体在外力作用下的平衡与运动的問題，而物体破坏和变形与所要研究的問題无关或关系不大，故可以忽略物体的变形。而在材料力学中，由于它所研究的主要問題是构件在外力作用下的强度、剛度和稳定的問題，固体的变形就成为它的主要性質之一，故必須認為固体为变形体。

科学及技术的历史証明：假設是完全必要的，它是科学認識过程的条件之一。科学的发展是以新的假設代替旧的假設。假設不是凭空臆測出来的，而是建立在客观基础之上。同时，一切假設是否正确，都有待后来的証明，証明的唯一方法是通过实验或实践。

在不損害工程上所需要的准确度的前提下，材料力学对构件材料——变形固体——的性質提出下列几个基本假設，作为理論分析的基础。

1) 均匀連續假設

均匀連續假設是說变形固体的性質在各处都是均匀一样的，而且材料是毫无空隙地充滿了固体的整个几何容积。

根据現代物理学的成就，可以肯定固体是由不連續的粒子組成；同时，也不是各处均匀一样的。例如，金属是結晶体物質，如在金属中間取出几个大小和晶粒大小差不多的小块，則在几个晶粒交換处取的小块与在一个晶粒內取的小块的性質显然是不同的。但是，一方面由于在材料力学中所研究的构件比晶粒要大得多，所取出的任何小試件里，都会包含着无数的排列得錯綜复杂的晶粒，因此由于个别晶粒所发生的差別和粒子間的空隙是可以忽略的；另一方面，由于根据固体的粒子构造来研究固体的受力和变形是非常复杂的，而根据均匀連續假設所得的理論和一般实验結果很

符合，所以这个假設到目前为止，还是被認為是合乎实用的假設。

根据这个假設，就可以从固体中的任何部分取出微小的六面体来研究固体的性質，而且可以將由較大尺寸試件在試驗中所獲得的材料性質应用到微六面体上去。

这个假設对于鋼、銅和鑄鉄等金属材料在常溫、靜力作用下可以認為是适合的。

2) 各向同性假設

各向同性假設是說材料在各个方向都具有相同的物理机械性質。

由物理学知道，晶粒的性質具有方向性。但如上所述，材料力学所研究的构件，却远远地大过单个晶粒，而晶粒又是錯綜交迭地排列着，使得材料的性質在各个方向趋向一致。

根据这个假設，在研究中，只須研究固体任何一个方向的性質，即可得出其他各方向的性質。

鋼、鑄鋼、鑄銅、玻璃和澆注得很好的混凝土等可以認為是各向同性材料。

某些材料，只在一定方向上才有相同的物理机械性質，例如：鐵鋼、鋼絲、竹材和木紋整齊的木材等，它們被称为单向同性材料。不具备各向同性的材料称为各向异性材料，例如：木层傾斜的木材和經過冷扭的鋼絲。

3) 彈性假設

固体在外力作用下产生变形，当外力卸除后，固体能消除由外力所引起的变形的性質，称为彈性；能完全消失的变形，称为彈性变形；消失不掉的变形，則称为永久变形、塑性变形或残余变形。固体在外力作用下产生的变形，如全部为彈性变形，則該固体称为完全彈性体；如全部变形为塑性变形，則称为完全非彈性体。

在自然界中既无完全彈性体也无完全非彈性体。但象金属、木材，在外力不超过某一限度时，其性質接近于完全彈性体。在材

材料力学中的許多問題是將變形固體作為完全彈性體來處理的。但應強調指出，材料力學目前發展的重要方向之一，是進一步研究材料在外力超過這個限度的作用下所產生的塑性性質，這時產生的變形不是完全彈性變形，而是由彈性變形和塑性變形兩部分組成，固體就不能看為完全彈性體。

4) 小變形假設

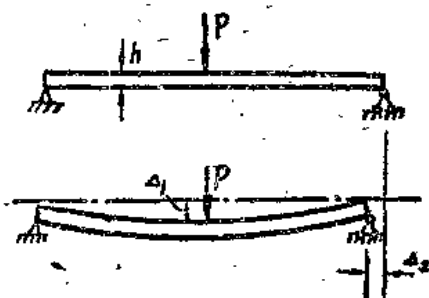


圖 1-4

小變形是說構件的變形很小，它與構件本身的尺寸比較起來是很微小的。在工程實際中，大多數的構件的變形都可認為是小變形。

根據這一假設，可以大大簡化材料力學中的計算，例如图 1-4 所示的梁，在計算反力時可以忽略變形的影響。同時，也為在材料力學的許多問題中使用迭加原理提供了一個初步的基礎。

§ 1-5. 外力及其分類

外力是指構件受到物體的作用力，它包括載荷及約束反力。載荷可分為靜載荷和動載荷。靜載荷是指載荷慢慢地由零增加到某一定值，以後就保持不變或變動很少。動載荷又分為衝擊和交變兩種載荷；衝擊載荷是指在極短的時間內，以很大的加速度突然作用於構件上的載荷；如鍛压机作用於鉄鎚上的載荷，交變載荷是指隨時間而變的載荷，如作用在蒸汽機連杆上的載荷等。本書主要研究靜載荷對構件的作用。

§ 1-6. 內力、剖面法、應力

在材料力學中所指的內力是由于外力的作用而引起的，它是

同一物体中各部分之间的相互作用力。

作用于构件上的外力，企图改变构件的形状和大小，使其一部分脱离其他部分，在构件内则产生附加内力来抵抗外力，阻止构件发生变形和破坏，因之内力是与强度问题有密切关系的。

要解决材料力学上的问题，首先必须设法求出构件的内力。求构件任意剖面上内力的方法是剖面法。

设一构件受到若干外力 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_i$ 作用而处于平衡（图 1-5, a）。如果求剖面 mn 上的内力，可以假想沿着 mn 剖面把物体切开，分成 A 和 B 两个部分。先考虑 A 部分，在 A 部分上除了 $P_1, P_2, \dots$ 之作用外，同时在 mn 剖面上还有 B 部分对 A 部分的作用力，这就是 mn 剖面上的内力（见图 1-5, b）。根据作用与反作

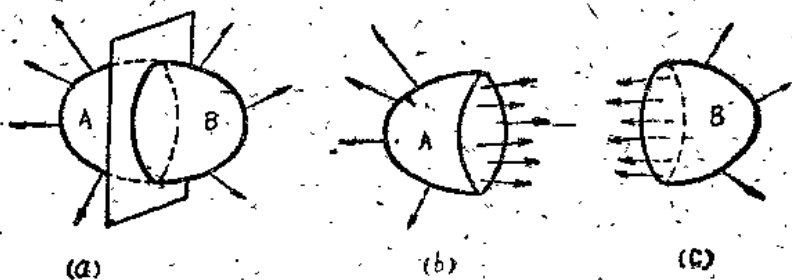


图 1-5

用力互等定律，就可以知道 A 部分对于 B 部分，同样也有大小相等、方向相反的内力作用着（图 1-5, c）。

因构件处于平衡状态，而被剖开后的各部分仍应保持平衡，因此在剖面上的内力和该部分上的外力构成了一组平衡力系。根据静力学平衡条件，就可以将内力的总和求出。

求内力的方法——剖面法，是材料力学中应用得很广泛和很基本的方法。但剖面法只能求得作用在剖面上的内力总和，不能找得剖面上各处内力的分布情况。为了研究内力分布问题，须引入一应力的概念。

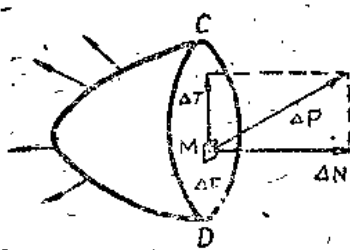


图 1-6

如在剖面 CD 上 M 点附近取出一小面积 ΔF (图 1-6)。由于内力是连续地作用在整个剖面上, 故这小面积上作用着一小内力 ΔP , 内力 ΔP 对面积 ΔF 的比值, 称为面积 ΔF 上的平均应力, 用符号 $p_{平均}$ 表示,

$$p_{平均} = \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (1-1)$$

因此, 应力就表示内力的度量, 它是作用在单位面积上的内力, 故可以用来比较在一个剖面或几个剖面上不同地方的内力强度。应力的单位通常用公斤/厘米²来表示。

为了消除所取面积 ΔF 大小的影响, 则应从一点出发; 即将面积缩小趋近于零, 则得到一点 (M 点) 的实际应力:

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

p 称为 M 点的全应力。

一般情况, ΔP 与小面积 ΔF 并不垂直, 因此可将 ΔP 分解为垂直于剖面的法线方向分力 ΔN 和剖面切线方向的分力 ΔT 。则

$$\sigma_{平均} = \frac{\Delta N}{\Delta F}; \quad \tau_{平均} = \frac{\Delta T}{\Delta F};$$

以及
$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta F} = \frac{dN}{dF}; \quad \tau = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta F} = \frac{dT}{dF} \quad (1-2)$$

式中 σ —— M 点的正应力;

τ —— M 点的切应力,

根据

$$\Delta P^2 = \Delta N^2 + \Delta T^2,$$

所以

$$p_{平均}^2 = \sigma_{平均}^2 + \tau_{平均}^2;$$

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2,$$

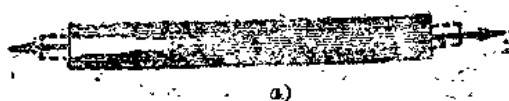
或

$$p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (1-3)$$

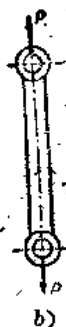
§1-7. 变形的基本形式

由于外力可以按不同的方式作用在构件上，因此构件产生的变形非常复杂。但是，这些复杂变形常常可以分解为几种基本形式的变形。

在本书中，首先研究下列几种基本形式的变形：1) 拉伸(图 1-7)和压缩(图 1-8)；2) 剪切(图 1-9)；3) 扭转(图 1-10)；4) 弯



a)

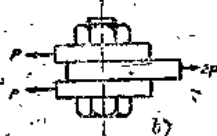


b)

图 1-7



a)



b)

图 1-9



a)



b)

图 1-8



a)



b)

图 1-10

曲(图 1-11)。



图 1-11

其次，研究复合变形的問題。大部分复合变形問題可以根据迭加原理来进行处理。所謂迭加原理是把构件上的各个外力或横剖面上各内力因素的作用分別地单独处理，而后将所得的各个結果相加来求总的結果(图 1-12)。迭加原理使許多問題，尤其是复



图 1-12

合变形問題的求解大大簡化。但迭加原理要在一定的条件下才能应用，条件是：变形是很小的，載荷和变形与应力之間須有綫性关系。

复 习 題

- 1-1. 材料力学要解决什么問題？
- 1-2. 就日常生活所見，举出一些例子說明哪些物体是杆，哪些物体是板和壳。
- 1-3. 理論力学与材料力学所研究的物体有什么区别？
- 1-4. 在材料力学中作了哪些基本假設？为什么要作这些假設？它們的根据是什么？
- 1-5. 什么叫作变形、彈性变形、塑性变形？
- 1-6. 就日常生活所見，举出一些靜載荷和动載荷的例。
- 1-7. 怎样求內力？截面法的本質是什么？
- 1-8. 內力与应力有什么区别？什么是全应力、正应力、剪应力？
- 1-9. 外力引起的变形有哪些基本形式？每一种举一些例。
- 1-10. 何謂迭加原理？

第二章 拉伸和压缩

§ 2-1. 拉压内力及轴力图

在工程上常見受拉伸或压缩的构件。如起重机械牵引和操纵系统的繩索、各种桁架結構中的构件(图 2-1)、机械中的鏈条、皮带、連杆、螺栓等等。

如将图 2-1 中結構的直杆 1 和 2 切出, 将其简化, 則在这等剖

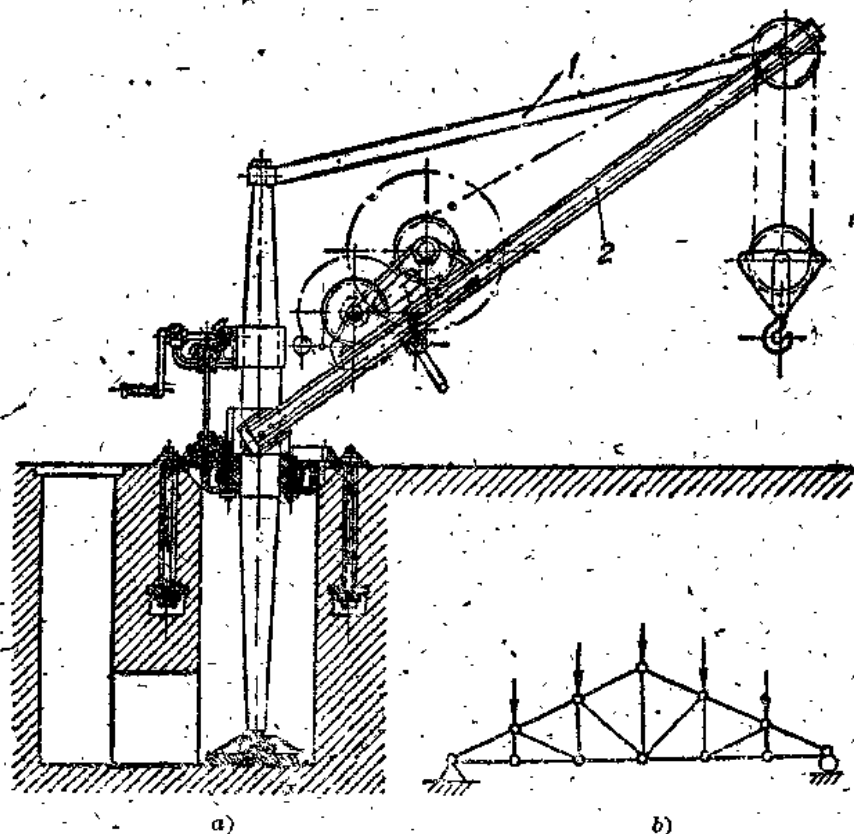


图 2-1

面直杆的两端,沿杆轴线——通过剖面中心,受一对大小相等、方向相反的力 P 的作用,杆就产生简单拉伸或简单压缩变形。如杆

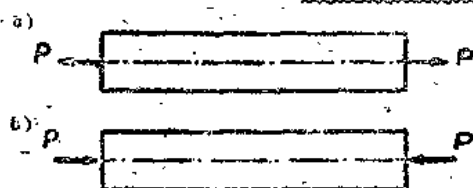


图 2-2

1 力的方向离开剖面(图 2-2, a)则为拉伸, P 力称为拉力;反之,如图 2-2, b 之杆 2, 力的方向对向剖面,则为压缩, P 力称为压力。

作用于杆件上的外力包括载荷和支点反力两种。当载荷已知时,支点反力可根据静力平衡条件来决定。杆件横剖面(简称剖面)上的内力,可以按第一章所讲的剖面法来求。

如图 2-3, a 所示两端受力的杆,如欲求剖面 mn 上的内力,其

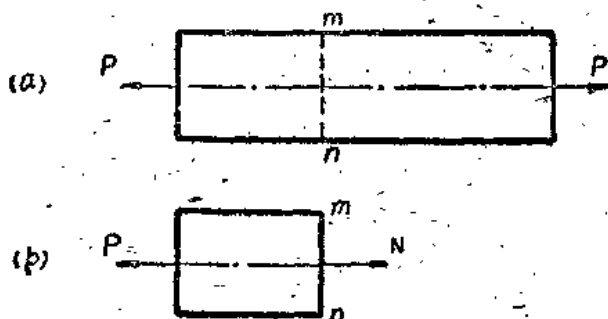


图 2-3

步骤如下:

- 1) 在剖面 mn 假想将杆切开;
- 2) 去掉任一部分,例如右边部分;
- 3) 加上移去部分对留下部分的作用力(图 2-3, b),其方向假设为离开剖面(即拉力);
- 4) 对留下部分列静力平衡方程式:

$$\sum P_x = 0;$$

$$N - P = 0,$$

或

$$N = P,$$