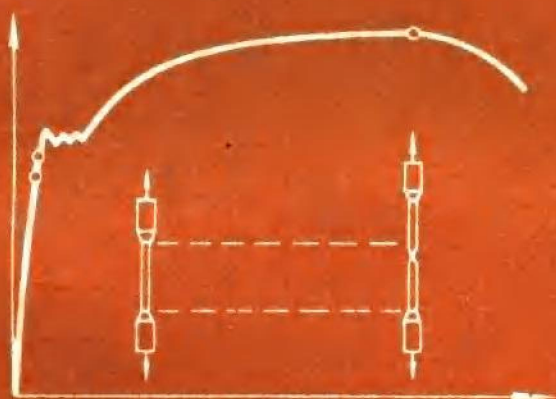


高等学校试用教材

材料力学

上册

何技宏 主编



华南工学院出版社

内 容 提 要

本书是根据1985年全国材料力学教材会议订出的基本要求,结合本院教学经验编写而成。全书共十八章,分上、下册。上册主要内容有:拉伸及压缩,剪切,应力和应变分析,强度理论,扭转,梁的平面弯曲,梁中的应力,梁的弯曲变形;下册主要包括超静定梁,非弹性弯曲,曲杆平面弯曲的强度计算,组合变形,厚壁圆筒及薄壁容器,压柱稳定计算,能量法,动应力,交变应力等。

本书内容丰富,例题新颖,富有启发性,各章附有习题,可供理工科高等院校作教材使用,也可供有关工程技术人员及自学成才者参考。

材 料 力 学(上)

何技宏 房腾祥 张裕良 编著

责任编辑 林素华

华南工学院出版社出版发行

广东省新华书店经销

华南工学院印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张 15 3125 343千

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数: 1—5000

ISBN 7-5623-0028-3/O·A

定价: 2.20元

序

材料力学是一门工程技术基础学科，是工程设计的重要基础。本书根据1985年全国材料力学教材会议订出的基本要求，结合华南工学院三十多年来的材料力学教学实践，并吸取了国际上材料力学名著之精华编写而成。

本书内容比较丰富，既有材料力学的基本概念、基本理论和基本方法，又有工程专业人员所关心的专门课题，还有电子计算机在材料力学解题中的应用。书中带星号的内容，教师可以根据各专业的不同要求选择讲授。

本书由何技宏教授主编，分上、下册出版。编者结合自己多年的教学经验，把立足点放在培养读者分析问题和解决问题的能力上。并力求体现科学性、实用性和启发性，做到由浅入深、循序渐进，便于自学。

本书的出版得到华南工学院材料力学教研组不少老师的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

最后，敬请读者和同行专家对书中不妥之处，予以批评、指正。

编 者

1986年10月

目 录

第一章 绪论及基本概念	(1)
§ 1—1 材料力学的基本任务	(1)
§ 1—2 构件及其组成	(2)
§ 1—3 构件的外力、变形及内力	(5)
§ 1—4 应力及应变的概念	(13)
§ 1—5 材料力学的基本方法	(17)
第二章 拉伸及压缩	(19)
§ 2—1 轴向拉伸或压缩时的应力	(20)
§ 2—2 直杆拉伸或压缩时的变形	(22)
§ 2—3 材料在拉伸时的机械性质	(28)
§ 2—4 拉伸时的弹性变形能	(33)
§ 2—5 材料在压缩时的强度	(36)
§ 2—6 塑性与脆性材料机械性质特点的比较	(37)
§ 2—7 许用应力 安全系数 强度条件	(38)
§ 2—8 拉伸和压缩的超静定问题	(42)
§ 2—9 变温应力	(47)
§ 2—10 非线性状态	(48)
§ 2—11 应力集中的概念	(53)
习题	(54)
第三章 剪切	(63)
§ 3—1 剪切的实用计算	(63)
§ 3—2 铆钉接合的计算	(68)
§ 3—3 纯剪中的应变能	(73)
习题	(75)
第四章 应力和应变分析	(79)
§ 4—1 单向应力状态	(83)

§ 4—2	二向及三向应力状态实例	(87)
§ 4—3	二向应力状态的分析	(94)
§ 4—4	应力圆	(105)
§ 4—5	三向应力状态下的主应力	(114)
* § 4—6	三向主应力状态时斜截面上的应力	(120)
§ 4—7	三向应力状态的应力圆	(127)
§ 4—8	应变状态及应变分析的意义	(137)
§ 4—9	单向应变状态下任意两垂直方向的线应变及 剪应变的确定	(140)
* § 4—10	纯剪时任意两垂直方向的线应变及剪应变的 确定	(143)
§ 4—11	平面应变的分析法及图解法(应变圆)	(144)
§ 4—12	平面应变的实验研究方法——应变仪丛	(147)
§ 4—13	广义虎克定律	(153)
§ 4—14	三向拉压时体积的改变——体积虎克定律	(161)
§ 4—15	主应力与主应变的一致性	(163)
§ 4—16	材料在三向主应力状态下的比能	(164)
	习题	(168)
第五章	强度理论	(173)
§ 5—1	概论	(173)
§ 5—2	常用四个强度理论的强度条件	(174)
§ 5—3	强度理论的一种应用	(179)
第六章	扭转	(181)
§ 6—1	概述	(183)
§ 6—2	扭转时内力	(183)
§ 6—3	圆轴扭转时的应力和变形	(189)
§ 6—4	圆杆扭转时的强度和刚度条件	(200)
§ 6—5	密圈螺旋弹簧的应力和变形	(205)
§ 6—6	薄壁管的扭转	(211)
§ 6—7	圆杆的非弹性扭转	(219)

* § 6—8	受扭杆件的残余应力问题	(222)
	习题	(223)
第七章	梁的平面弯曲——剪力与弯矩	(229)
§ 7—1	概述	(230)
§ 7—2	剪力和弯矩	(233)
§ 7—3	剪力图与弯矩图	(238)
§ 7—4	载荷、剪力和弯矩之间的关系	(249)
* § 7—5	载荷较复杂情况下的M图——叠加方法	(265)
	习题	(275)
第八章	梁中的应力	(284)
§ 8—1	梁弯曲时的正应力	(285)
§ 8—2	梁的弯曲正应力强度校核	(292)
§ 8—3	梁中的剪应力	(307)
§ 8—4	宽翼缘梁中的剪应力	(312)
§ 8—5	圆形横截面梁中的剪应力	(318)
§ 8—6	弯曲剪应力的强度校核	(320)
§ 8—7	梁截面形状的选择	(326)
§ 8—8	变截面梁（等强度梁）	(328)
§ 8—9	组合梁	(333)
§ 8—10	梁中的主应力	(341)
	习题	(343)
第九章	梁的弯曲变形	(351)
§ 9—1	挠度和转角	(352)
§ 9—2	弹性曲线微分方程	(354)
§ 9—3	重积分方法	(356)
§ 9—4	弹性曲线一般方法（初参数法）	(366)
§ 9—5	虚梁法	(374)
§ 9—6	力矩——面积法	(381)
§ 9—7	叠加法	(395)
* § 9—8	有限差分法	(400)

§ 9—9 梁的弯曲刚度	(407)
习题	(411)
附录 A 截面的几何性质	(423)
§ A—1 静矩	(423)
§ A—2 惯性矩	(428)
§ A—3 极惯性矩	(431)
§ A—4 平行移轴定理	(432)
§ A—5 惯性积	(437)
§ A—6 转轴公式	(440)
§ A—7 主轴和主惯性矩	(442)
习题	(445)
附录 B 附表	(450)
附表一 常用截面的几何性质计算公式	(450)
附表二 简单载荷作用下梁的挠度和转角	(454)
附表三 型钢规格表	(461)

第一章 绪论及基本概念

§ 1—1 材料力学的基本任务

各种机械和结构物在使用时,组成它们的每个构件,都要受到从相邻构件或从其它构件传递来的外力(即载荷)的作用。为了保证机械或结构物的正常工作,每一构件都必须具备下列三项基本条件:

(1) 具有足够的强度——即能够安全地承受所担负的载荷,不至于发生断裂或产生严重的永久变形;

(2) 具有足够的刚度——即在载荷作用下,构件的最大变形不超过实际使用中所能容许的数值;

(3) 具有足够的稳定性——即受力时能够保持原有形状的平衡,不至于突然偏侧而丧失承载能力。

构件的强度、刚度和稳定性,主要由所用材料的抗力性能(即机械性能)、构件的截面形状和尺寸以及所受载荷的方向位置所决定。

材料力学是一门研究各种构件的抗力性能的学科。它的主要任务就是从保证所有的构件能够正常工作的要求出发,帮助我们合理地选择构件的适当的材料和截面形状,确定所需的尺寸,使得构件在载荷作用下,具备有相应的强度、刚度和稳定性。

材料力学在辩证唯物论的基础上,运用许多基础科学的知识(如数学、物理学和理论力学等),给人们提供有关构件的强度、刚度和稳定性的计算方法。并且结合生产实践与

实际工程问题，进行理论探讨和实验分析，它是一门理论与实验并重的科学。

§ 1—2 构件及其组成

1. 构件的基本形式

构件有下列三种基本形式：杆、板、块。

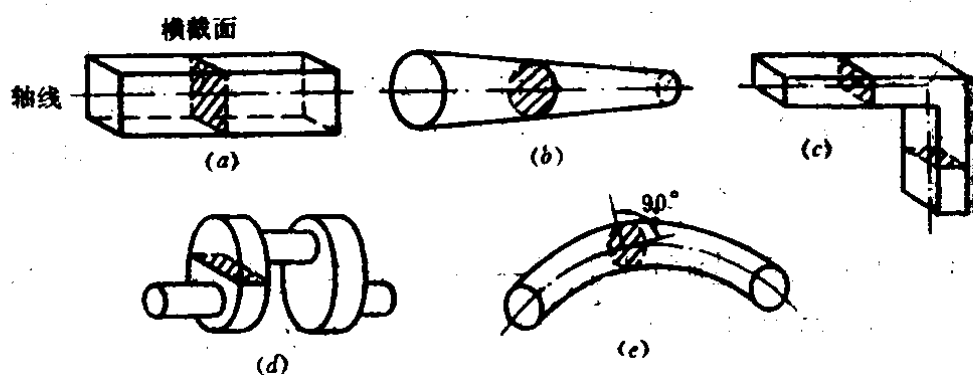


图 1-1

(1) 杆件 这是长度（纵向）比厚度（横向）、宽度（侧向）的尺寸大得很多的构件。杆件的几何形状可以用一根轴线和垂直于轴线的任一图形（称横截面）来表示。轴线是杆件各个横截面的形心的连线（图 1-1）。轴线是（或者很接近）一条直线的杆件，称为直杆（图 1-1a、b）；轴线有转折的杆件，称为折杆（或者称为刚架，图 1-1c、d）；轴线是弯曲的杆件，称为曲杆（图 1-1e）。杆件的横截面沿着轴线是不改变的，称为等截面杆（图 1-1a、c、e）；杆件的横截面沿着轴线是改变的，称为变截面杆（图 1-1b、d）。

平行于杆件轴线的截面，称为纵截面。既不平行也不垂直于杆件轴线的截面，称为斜截面（图 1-2）。

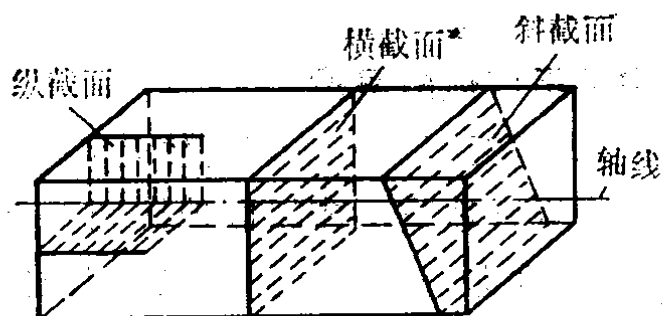


图 1-2

(2) 板件 这是厚度比其它两向的尺寸小得很多的构件。板件的几何形状用它在厚度中间的一个面（称为中面）和垂直于这个面的厚度来表示。板件的中面如果是平面，称为平板（简称板，图 1-3a）；中面如果是曲面，称为壳（图 1-3b）。

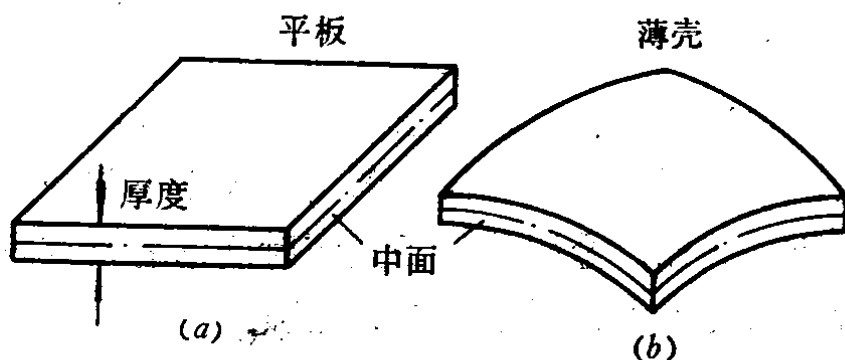


图 1-3

(3) 块体 这是各方向的尺寸都差不多的构件。

任何机械或结构物，如果把它的组成部分剖析一下，都可以作为杆、板或块来看待。例如：发动机的汽缸壁是壳；汽缸盖是板；活塞杆、连杆是直杆；飞轮的轮缘是曲杆。

材料力学主要研究对象是直杆，也个别解决一些折杆、

曲杆、壳或平板的问题。

2. 关于构件组成体的假设

近代物理学的研究指出：一切物体是由不连续的微小晶粒组成的，它们成规则地或不成规则地排列着，相互间同时存在吸引力和排斥力而保持着平衡。如果要根据这样复杂的物质构造来研究构件的抗力性能，即使可能也是极端困难的。为了得出简便切实的结论，我们对构件组成体作出如下的基本假设：

(1) 均匀连续的假设 在构件的整个几何容积内，充满了密实均匀连续的物质，其化学成份和物理性质在各处都是一样的，不因其体积不同而有所改变。在一般情况下，这样的假设是切实合理的。例如，金属是许多微小晶粒组成的，晶粒每边长度约 10^{-6} mm，构件不论怎样小，总包含着几千万个晶粒。因为我们研究的是巨大数目的晶粒所组成的构件在受力时所表现的平均统计学的抗力性能。所以可以认为材料是均匀连续的。必须指出：根据均匀连续的假设所得出的理论，不能用来说明物体内部某一极微小部分所发生的现象的本质。例如，金属构件受到随时间迅速改变的力的作用，有时就需要考虑材料里存在的空隙。

(2) 各向同性的假设 材料在各个方向都有相同的抗力性能。应该指出：钢、铜及所有矿物质的单晶体材料，其性能一般具有方向性。但是，常用的金属材料是由很多微小晶粒所组成的，而这些晶粒的排列又很不规则，因此，它们综合的统计性能，对于各个方向是一样的，因而可以认为是各向同性。

根据上面两个假设，可以把构件看作由无数性质相同，致密毗连，极端微小的单元体（称为微分单元体）所组成。

我们利用由大尺寸的试件所测得的物理性质来表示微分单元体的物理性质。从分析研究这些单元体的受力及变形情况，进一步推测整个构件的抗力性能。由于采用了这样的简化，材料力学才取得了现有的成就。科学上通常把这样建立起来的理论称为宏观的理论，而把详细考虑晶体结构以及不同方向的物理性质等所得出的理论称为微观理论。微观理论在金属物理学中有深入的讨论。

§ 1—3 构件的外力、变形及内力

1. 外力

当各种机械或结构物在使用过程中，每一构件都要受到其它物体对它作用的外力。例如：发动机汽缸内的燃料燃烧时的气压力，是对于汽缸及活塞的外力，而活塞又对连杆作用着外力，连杆再将力传给曲柄，最后曲柄将力和偏心距所形成的力矩传到传动轴。又如：桥梁上车辆的重量、桥梁本身的重量以及桥墩的承托力，都是桥梁的外力。为了计算的便利，通常把构件上的外力分为载荷和支反力。载荷是主动作用在构件上的力；支反力是支持着构件的物体对构件的反作用力，是被动的力。

如果载荷是连续分布在体积内的，称为体积力。例如：构件的自重、构件作加速度运动时体内的惯性力。用单位体积上的合力表示它。国际制单位中，体积力的单位是牛顿/米³，简写牛/米³（ N/m^3 ）。因为这个单位太小，使用不便，通常用千牛/米³（ $\text{kN/m}^3 = 10^3 \text{N/m}^3$ ）。物体间相互作用的力，最常见的是连续分布在接触面上的，称为表面力。例如，锅炉板、汽缸盖及飞机翼上所受到的气体压力，船底、水坝及水压机上的液压力等。用单位面积上的合力表

示它，单位是：牛/米² (N/m²) 或千牛/米² (kN/m²)。有时，载荷分布在一条狭长的面积上，例如楼板对梁的压力、坦克履带对路面的压力等，可以把它看成是连续分布在一条线上，并用单位长度上的合力表示它，单位为牛/米 (N/m) 或千牛/米 (kN/m)。有时，接触面积是一小块，它与构件表面尺寸来比是很小时，就可以把外力当作集中力看待，认为力集中作用于一点，使计算简化，例如车轮对钢轨的作用力及轴承对传动轴的作用力等，用力的总值表示它，单位为牛 (N) 或千牛 (kN)。

按照载荷随时间改变的情况，可分为静载和动载。静载是缓慢地加于物体上的，它由零增加到某一数值的过程，并不使构件产生加速度的，或者所产生的加速度小得可以忽略，可认为物体的各部分随时处于静力平衡状态下。若载荷的大小、方向或位置随时间在改变的，这样的载荷统称为动载。在动载作用下，构件各部分通常引起显著的加速度。

2. 构件的变形

杆件在各种不同方式的平衡外力系作用下，产生各种各样的变形，但是不外乎下列四种基本形式单独存在时的简单变形（图1-4，图中的虚线表示原来的形状），或者是两种

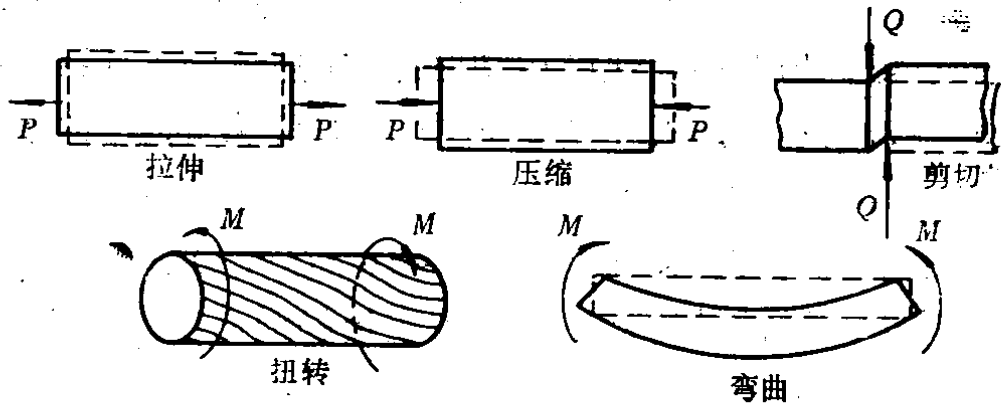


图 1-4

以上简单变形组合成的组合变形。四种简单变形以及常见的发生这些变形的杆件种类如下：

(1) 拉伸与压缩 例如吊索、桁架的杆件、拉杆、柱等；

(2) 剪切 例如螺栓、铆钉等；

(3) 扭转 例如传动轴、扭杆、钻头等；

(4) 弯曲 例如桥式吊车的主梁等。

物体受外力作用而引起变形，如果外力全部卸除后变形能完全消失，物体恢复其原有的形状和尺寸，这种变形称为弹性变形；假使物体的形状不能完全恢复，那末遗留下来的变形，称为永久变形（或称残余变形）。许多工程材料，如钢、合金钢等，在不超过一定范围（即弹性范围）的外力作用下，变形完全是弹性的。当外力超出弹性范围后（进入了所谓塑性范围），这时构件的变形是塑性的，包括弹性变形和永久变形两部分。

3. 内力

(1) 内力的概念 内力是构件内的某一部分与其相邻部分之间相互作用的力。物体不受任何外力作用时，体内的任一部分已经处于平衡的内力系作用之下。正是这种内力（分子间的作用力）使固体各部分紧密地连系着，保持一定的形状。倘若在物体上施加外力，就将使它发生变形，改变其分子间的距离，因而相应地引起内力的改变。也就是说，由于外力的作用，体内产生了附加内力，并由这种附加的内力与外力取得平衡。附加内力随着外力的加大而相应地增加，但是它的增加量对于各种材料来说，各有着一定的限度，超过了这个限度，物体即将破坏。所以，跟构件的抗力性能有紧密连系的正是这些附加内力。材料力学所讨论的就

是这种附加内力，简称为内力。

(2) 内力的求法——截面法 设一杆件在两端受到拉力 P 作用 (图 1-5)。杆件整体是平衡的，它的任一分段也应该平衡。我们用一个假想的横截面 mn 把杆件截成 I、II 两部分。取部分 I 为示力对象，原来作用在这个示力对象上的外力应当保留。从部分 I 是处于平衡的可以看到：抛弃的部分 II 对于示力对象的截面 mn 上必然有内力 N 作用而与部分 I 上所受的外力 P 保持平衡。根据示力对象的平衡条件，可求出内力 N (它与外力 P 等值、反向、共线)。同理，如果以部分 II 为示力对象，根据它的平衡条件，以求出其截面 mn 上的内力 N' (它与外力 P 等值、反向、共线)。从而可以看到： N 与 N' 是作用力与反作用力的关系，表示部分 I 与 II 之间的相互作用力。

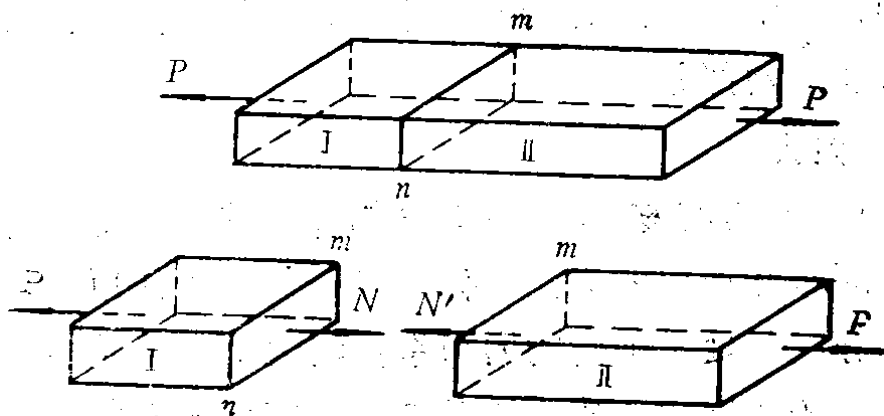


图 1-5

截面法是材料力学求内力的基本方法，非常重要。用截面法求内力，归纳为如下步骤：

①欲求某一截面上的内力时，就沿该截面假想地把构件截成两部分；

②任意留下一部分作为示力对象，并抛弃另一部分，以

作用于截面上的内力代替抛弃部分对示力部分的作用；

③建立留下部分的平衡方程，求出内力。

在图 1-5 中，截面 mn 上的内力 (N) 是垂直于这截面的，称为法向内力。它是从截面向外指的，产生拉伸效果，所以 N 是拉力。如果 N 是指向示力对象内部的，就产生压缩效果，它是压力。

图 1-6a 中，表示一端固定、一端自由的杆，在自由端受到横向力 P 作用。应用截面法，以横截面 mn 把杆截开成两部分，取出部分 I 为示力对象。以横截面的形心 o 为原点，选定坐标轴 x 、 y 、 z (x 轴是截面的法线)。由于部分 I 处于平衡，可以求出内力如下：

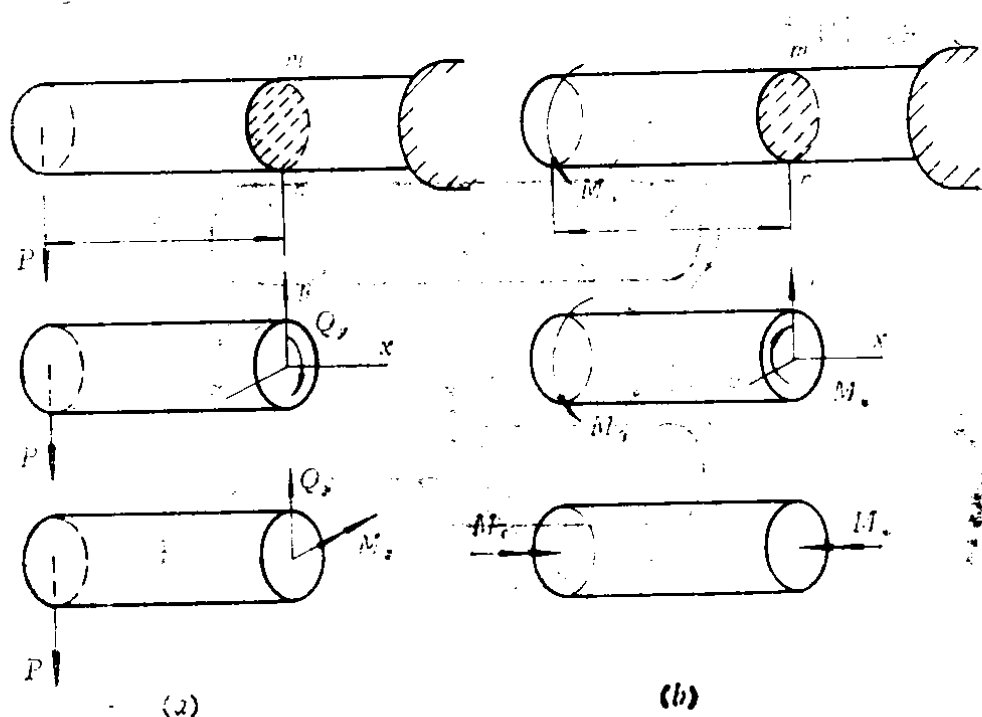


图 1-6

由 $\sum y = 0$ ，得 $Q_y = P$ ，

由 $\sum m_z = 0$ ，得 $M_z = Px$ 。

内力 Q_y 是沿横截面作用的，是切向内力，产生剪切的效果，

因而称为剪力；内力偶 M_z 产生弯曲的效果，因而称为弯矩，用双箭头的矢量来表示力偶。

图 1-6b 中，应用截面法，可以决定横截面 mn 处有内力偶 M_x 作用，它的数值等于外力偶 M_0 ，转向与 M_0 相反。内力偶 M_x 产生扭转效果，因而称为扭矩。

(3) 一般力系时的内力情况 上述的方法，可以推广到一般受力情况下的构件。例如图 1-7 所示，要求出截面 mn 上的内力，应用截面法，取出部分 I 为示力对象，选定 x 、 y 、 z 坐标系，通常以过截面形心 o 的外法线为 x 轴，在截面内取 y 、 z 轴。示力对象 I 上的外力是空间力系，所以截面 mn 上的内力也是一个空间力系。空间力系一般有六个平衡方程。由于

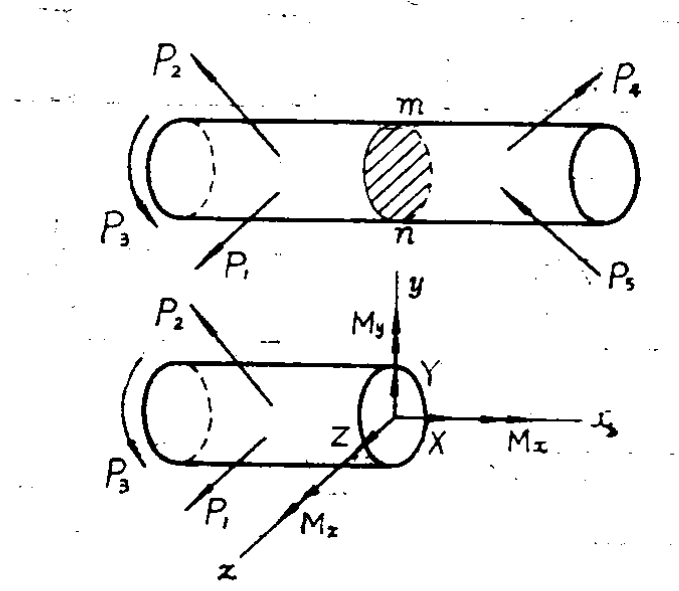


图 1-7

$\sum x = 0, \sum y = 0, \sum z = 0,$
在截面上必须有相应的内力 N_x 、 Q_y 及 Q_z 才能保持平衡。
 N_x 是垂直于截面 mn 的法向内力，它可能是拉力，也可能是压力。 Q_y 及 Q_z 是相切于截面 mn 的切向内力，是横截面