

石油化工设备设计参考资料

炼油化工设备设计基础知识(初稿)
(上册)

81.749
LHS
1

炼油化工设备设计基础知识编写组

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

石油化工设备设计参考资料
炼油化工设备设计基础知识(上册)

76-48-Ⅱ-14

(内部资料 注意保存)

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

(上海南京西路 1856 号)

一九七六年十二月

定价:

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

* * * * *

大学还是要办的，我这里主要说的是理工科大学还要办，但学制要缩短，教育要革命，要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

前 言

以华主席为首的党中央，高举毛主席的伟大旗帜，抓纲治国，迅速掀起我国国民经济建设的新高潮。当前，农业学大寨、工业学大庆的群众运动蓬勃发展。随着炼油化工的迅速发展，急需培养一大批又红又专的炼油化工专业设备设计人员，为使具有初中文化程度青年工人和知识青年能在较短时间内掌握炼油化工设备设计技术。据石化部石油化工规划设计院〔75石化设字第189号文〕指示，由上海化工学院和上海化学工业设计院负责组织编写《炼油化工设备设计基础知识》一书。

本书由设计单位和高等学校相结合、分工负责编写。上海化工设计院编写绪论，大连工学院和吉化公司设计院编写第一章和第二章，成都工学院，浙江大学，浙江化工学院，上海化工学院四川分院和四川化工第二设计院编写第三章，天津大学，山东化工学院和石化部化工设计院编写第四章，上海化工学院，上海化工七·二一大学和上海化工设计院编写第五章，南京化工学院，北京化工学院和南化公司设计院编写第六章，南化公司设计院和上海化工设计院编写附录。

由于我们政治思想水平不高，技术知识不广，本书一定会有缺点错误，希望读者提出宝贵意见，以便再版时改正。

《炼油化工设备设计基础知识》编写组

1977年6月

绪 论

化学工业是一个多品种、多行业的部门，它包括化肥、医药、农药、硫酸、炼油及乙烯等石油化工行业，与人民生活、工业、农业及国防有着密切的联系，因此在国民经济中占有重要的位置。

尽管化学工业多种多样，无非是加热、冷却、吸收、蒸馏、结晶、干燥、分离和输送等一、二十种单元操作按某种化工产品生产的特定条件组合串联而成。化工产品的产量与质量直接取决于这些单元操作设备的优劣。

化工单元操作设备分为两大类，一类叫机器，一类叫设备，通常前者为运动的，后者为静止的，按其功用可分为六类：

第一类 容器 这类设备主要用于储存原料、中间产品和成品，如原油、乙烯、液氨等贮缶以及其它各种高、中、低压设备的外壳。

第二类 传热设备 这类设备主要用来使物料加热或冷却，使两种不同温度的物料经过一定的传热表面（有隔开的，也有直接混合的）实现加热或冷却的过程，即所谓热量传递，如废热锅炉、各种换热器、冷却器等。

第三类 塔设备 这类设备主要用于吸收、蒸馏、萃取等化工单元操作，实现质量传递作用，如炼油厂的常压蒸馏塔，化工厂的乙烯精馏塔，化肥厂的水洗塔等，这类设备的高度比直径大得多，外形象塔，故称塔设备。

第四类 化学反应设备 这是化工厂中主要设备之一，原料在其中发生化学反应，生成新的产物，如苯乙烯聚合釜、氨合成塔等。

第五类 分离设备 这类设备主要是从混合物中分出某一种所需要的组分，或者除去其某些有害的杂质，如旋风分离器、氨分离器、油分离器、扩散式除尘器等。

第六类 物料输送设备 这类设备主要是输送化工生产过程中的固体、液体和气体等物料，是保证生产正常运行的必要设备，如皮带输送机、鼓风机、压缩机和各种泵等。

此外，还有减速机等传动机构和零部件等。

化工生产的压力与温度变化范围是非常宽广的，压力可从 10^{-5} 毫米汞柱到3000大气压，温度从 -200°C 到 $+1500^{\circ}\text{C}$ 。化工产品品种繁多，有腐蚀性的（酸、硷等）和侵蚀性的盐、气体（氢气、氮气等），这就使设备材料的选择与结构设计复杂化，需要采用高强度钢、高合金钢、有色金属与非金属材料作为结构材料和衬里。

此外，由于化工物料易燃、易爆和剧毒，要求设备运行密封可靠，以免发生“跑、冒、滴、漏”，影响生产和人体健康，还会使贵重的物料漏损，故对设备密封设计要求严格。

上述这些特点加上化工生产过程往往是连续的，对化工设备提出下列要求：

(1) 保证完成工艺生产的要求——化工设备是实现化工生产过程重要因素之一，正如前述产品的产量、质量和成本直接与化工设备的质量优劣，效率高低相联系的，因为生产是连续的，一个单元操作若不能满足工艺的要求就要影响下一个操作，甚至全线的生产，所以每个设备设计应满足工艺生产的要求。

(2) 运转要安全可靠——化工生产的物料往往是有强腐蚀性或者是容易燃烧引起火灾，爆炸，或者具有剧毒，这些既要造成国家财产的损失，又要伤害人的生命，因此设备设计不仅要密封可靠，而且设备的零部件要有足够的强度、刚度和稳定性，保证设备在操作运行中要安全可靠。

(3) 寿命要长——化工厂的主要设备一般使用年限为10—15年，影响化工设备寿命的主要因素是化工物料对结构材料的腐蚀，它会使设备壁厚减薄，甚至烂穿，因此设备的设计必需附加腐蚀裕度来保证满足使用年限，对某些强腐蚀性物料还要采取防腐蚀措施，采用耐腐蚀的金属或非金属材料，以期达到设备设计所要求的寿命。

(4) 操作、维修和安装要方便——化工设备的结构与选型要考虑到工人的操作、维修和安装的方便，尽可能提高自动化程度，自控仪表要集中，便于操作、管理。

(5) 要经济合算——要求化工设备的效率高，结构简单，重量轻，价格低，消耗低。

由此可见，要同时满足各项要求是不可能的，这些要求既是互相联系又是互相矛盾的，例如要求设备寿命长和重量轻，就要选用贵重金属，（如钛材、高合金钢等），这样设备的价格就昂贵了，又如要减少操作工人人数，就要提高自动化程度，则使装置费用增加。作为设备设计者，应结合设计，作调查研究，根据生产的需要和可能，因地制宜的抓住主要矛盾满足主要的要求，对次要的要求作适当地考虑，不应生搬硬套。

本书不包括动设备，但对减速机机械传动零部件在第六章内作适当的介绍。

本书是一本炼油、化工设备设计专业的基础读物，且侧重于从设备设计角度出发编写，因此具有下列特点：

(1) 不同于设计手册，对有关标准系列不列具体内容，只作简单介绍，提示学习人员查阅有关手册和资料。

(2) 在容器、列管式换热器、塔设备、反应釜各章及附录1中都列有该设备设计计算实例，结构总图、施工图和图面技术要求等内容的详细介绍，其目的是使初学设备设计人员一方面将所学习的零部件结构设计和强度、刚度与稳定性的计算内容应用于设计实践，另一方面对设备设计全过程是怎么一回事能有一个全面了解，从而能掌握设备设计技术。各章都以一种结构较简单的设备为重点从结构到计算全面地系统地介绍，而同类的其它设备只作一般分析比较，这样既便于初学者吸收又不致于造成只知其一不知其二的局面，关于这些同类的其它设备有些结构上还是比较先进的，效率较高的，可通过以后的设计实践逐步掌握。

(3) 设备零部件受力分析尽量采用形象化的图示法。

目 录

绪 论

一 概 述	1-1
(一) 力学基础的基本任务	1-1
(二) 构件变形的基本形式	1-2
(三) 内力、截面法、应力	1-4
二 直杆的轴向拉伸和压缩	1-5
(一) 静载拉伸和压缩时材料的机械性能	1-5
(二) 拉伸和压缩时的强度计算	1-15
三 剪切和扭转	1-20
(一) 力矩和力偶	1-20
(二) 剪切	1-23
(三) 圆杆的扭转	1-25
四 弯 曲	1-34
(一) 弯曲的实例和概念	1-34
(二) 梁的支座、梁的类型及支座反力	1-37
(三) 弯曲时截面上的内力——剪力和弯矩	1-40
(四) 弯曲时的正应力	1-46
(五) 弯曲的强度条件	1-50
(六) 弯曲的刚度条件	1-52

第 二 章 材 料

一 概 述	2-1
二 材料性能	2-2
(一) 机械性能	2-2
(二) 制造性能	2-7

一、概 述

(一) 力学基础的基本任务

在化工厂中，可以说任何一个化工工艺过程都离不开化工机器及设备。为了对化工设备能进行一般的机械设计、改造和维修，树立一些最基本的机械观点，我们必须掌握有关力学方面的最基本的知识。

化工设备及零部件的形状与尺寸一般是根据化工生产的要求（即化工工艺条件）来决定的。而化工生产往往又是在一定的温度、压力下进行的。在生产过程中，各种设备及零部件都是由某种材料制成的，而且都要承受一定的外力的作用。例如：各种设备的支架，支座要承受设备的重量；受压容器法兰联接的螺栓受到拉力的作用；搅拌轴要传递功并受到物料阻力的作用等。这样的重量和力都是加在设备及零部件（简称构件）上的载荷。在载荷作用下，构件一般都要产生变形。如果构件的截面过小，则构件在载荷的作用下将发生过大的变形或者破坏现象。例如反应釜筒壁太薄了就要破裂；搅拌轴直径太细了就产生较大的变形或扭断等。这就表明构件已失去了它承担载荷的能力而不能安全地工作。反之，如果构件的截面过大，则在载荷作用下，虽然它不会发生过大的变形或破坏等等，但此时它承担载荷的能力却未能充分发挥，因而浪费了人力、物力。那么怎样才能使所设计的设备及零部件既能安全耐久地使用，又能充分发挥材料的潜力呢？即如何选择恰当的材料，把构件截面设计得合适，使构件的承载能力正好等于或略大于它所受的载荷，这就是力学基础一章所要研究的基本问题。

载荷与化工设备及零部件（构件）的承载能力这个基本矛盾有三种可能的表现形式：

1. 构件在过大的载荷作用下可能破坏。例如：受压容器、联接螺栓、搅拌轴等可能因意外的负荷过大而断裂。因此设计时必须保证它们在承担载荷时不致于破坏而安全地工作，这就要求构件有足够的

强度。这时的基本矛盾表现为强度问题。

2. 在载荷作用下，构件即使有足够的强度，但如变形过大，也会影响它的正常使用。如搅拌轴挠度过大不能正常工作；带有衬里的卧式容器变形过大会引起衬里的破裂等。因此设计时必须使构件在载荷作用下的变形数值不超过工程中所给定的允许范围，从而保证它的正常使用。这时的基本矛盾表现为刚度问题。

3. 受外压的容器及塔设备受轴向载荷，当外载荷达到一定限度时会产生突然改变原有平衡状态的现象，截面不能维持园形，而被压瘪，称为丧失稳定。因此设计时必须使构件在承担载荷时能维持原有的平衡状态。从而保证其正常工作。这就要求构件有足够的稳定性。这时的基本矛盾表现为稳定问题。

为了保证构件的正常工作，必须使构件有足够的强度、刚度和稳定性。但对某一具体的设备及零部件来说，在这三个问题里，常常只有一个主要的，其中强度问题是个重点。学习《力学基础》的目的，就在于解决构件的安全与经济这一对矛盾的过程中，理论联系实际，提高我们分析问题和解决问题的能力，为建设社会主义而贡献力量。

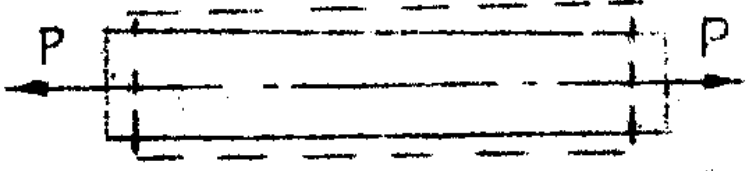
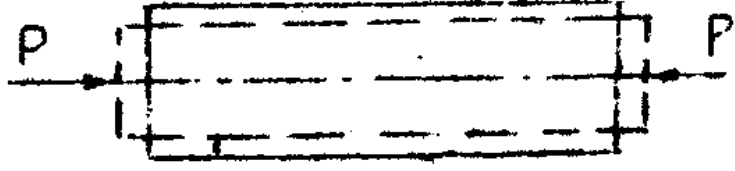
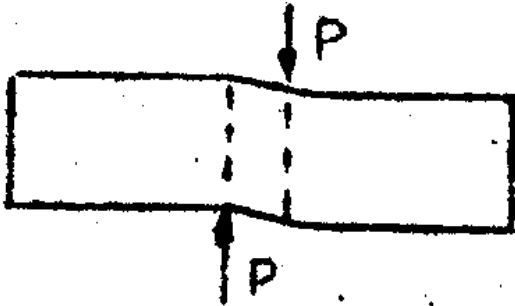
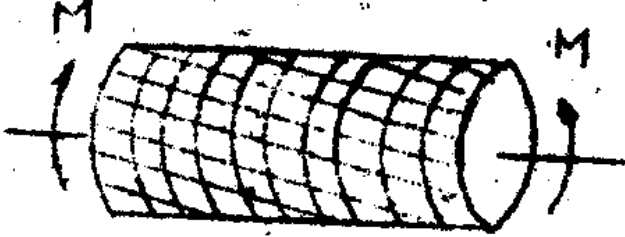
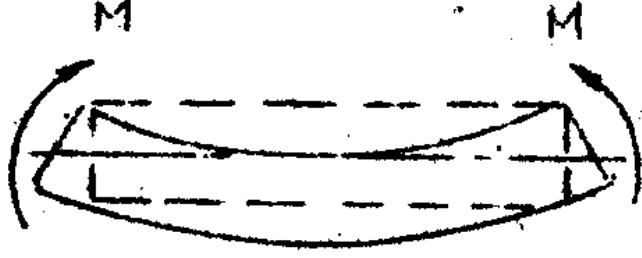
(二) 构件变形的基本形式

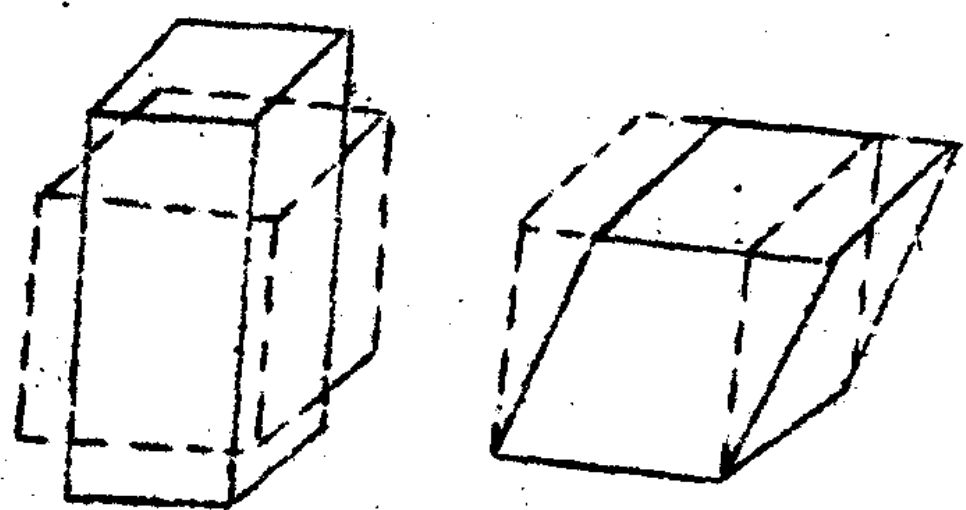
构件受力情况是多种多样的，但是按照它的变形特点，可以归纳为拉伸或压缩、剪切、扭转、弯曲这四种变形形式之一或它们中间的某些组合。表1-1中给出这四种基本变形形式下杆件受力和变形情况以及它们所代表的构件实例。在今后的有关内容中，将进一步详细说明这些基本变形形式的受力和变形的特点。

从整个杆件外部变形来看有四种基本变形，实质上它们是杆件内各微小变形的总和。如从受力杆件内取出一个微小的立方体来看，它们的变形不外乎是长度的变化和角度的变化〔图1-1(a)(b)〕。一般把长度的变化叫做线变形，把角度的变化叫做角变形。

杆件受力和变形情况

表 1 - 1

变形基本形式	变 形 简 图	实 例
拉 伸		压缩机的活塞杆，拉杆，螺栓等。
压 缩		压缩机活塞杆，设备支架，基础等。
剪 切		键、销、焊接零件等。
扭 转		搅拌器的轴。
弯 曲		压缩机、离心机等 各种机器传动轴， 房梁，受水平风载 的塔体，法兰联接 中的法兰盘。



(a) 线变形 (b) 角变形

图 1-1 杆件的变形

三 内力、截面法、应力

如图 1-2 所示弹簧。如果用手拉这个弹簧，那么弹簧将伸长，它的形状和尺寸都和原来不一样。我们把这种现象叫做变形。当我们用力不大时，一放手，弹簧就恢复了原来的形状与尺寸。外力撤消后能够恢复原来形状的这种变形叫做弹性变形。当我们所加的外力较大以至超过了某一限度时，即使放手后弹簧也不能完全恢复原状，仍保留一部分变形，这种保留下来的变形叫做塑性变形。当然，如果外力过大，弹簧就有被拉断的可能。一切构件在外力的作用下都会产生弹性变形或塑性变形以至被拉断，只不过它们的变形不象弹簧那么明显罢了。

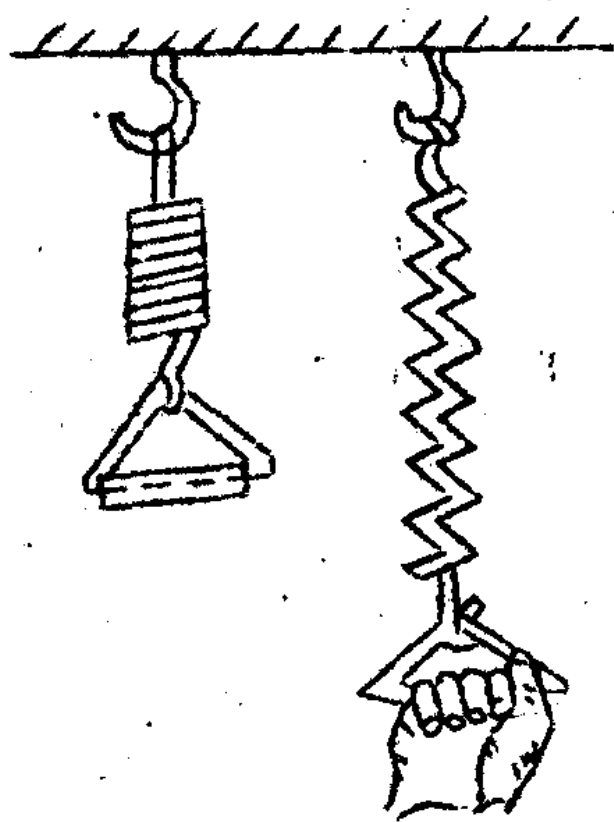


图 1-2 弹簧的变形

1. 内力 构件在外力作用下其所以产生变形甚至破坏，这是由于外力作用的同时，在构件内部产生了附加内力，简称内力（不是

指分子间的相互作用)。这个内力一方面起着抵抗的作用，另一方面它又使构件产生变形，甚至破坏。这个内力随着外力的增加而增加，随着外力的消除而消除。对于每一种具体的材料来说，这个内力的增加不是无限度的，而有一个极限值（最大抗力）。当构件内部实际所产生的内力小于这个极限值时，构件仅产生变形而不会破坏，当内力达到极限值时，构件不但产生了较大的变形而且将发生破坏。

由此可知，力学基础有两个重要任务，一个是通过实验的方法找出各种材料，在各种条件下，所能承受的内力的极限值，另一个是通过实验或计算的方法求出构件在工作时实际产生的内力，并且拿它与内力极限值相比较，以便确定构件是否能安全可靠地工作。

2. 截面法 如何计算由已知外力所引起的内力呢？我们通常采用截面法。

以容器法兰联接的螺栓为例，如图 1-3，说明如何用截面法求螺栓的内力。由于螺栓主要受拉伸作用，所以把螺栓的受力情况可以简化成如图 1-4(a)所示的那样，受到沿轴线方向的一对拉力 P 的作用，这种简化与实际情况有所差异，但抓住了螺栓受拉伸这个主要矛盾。

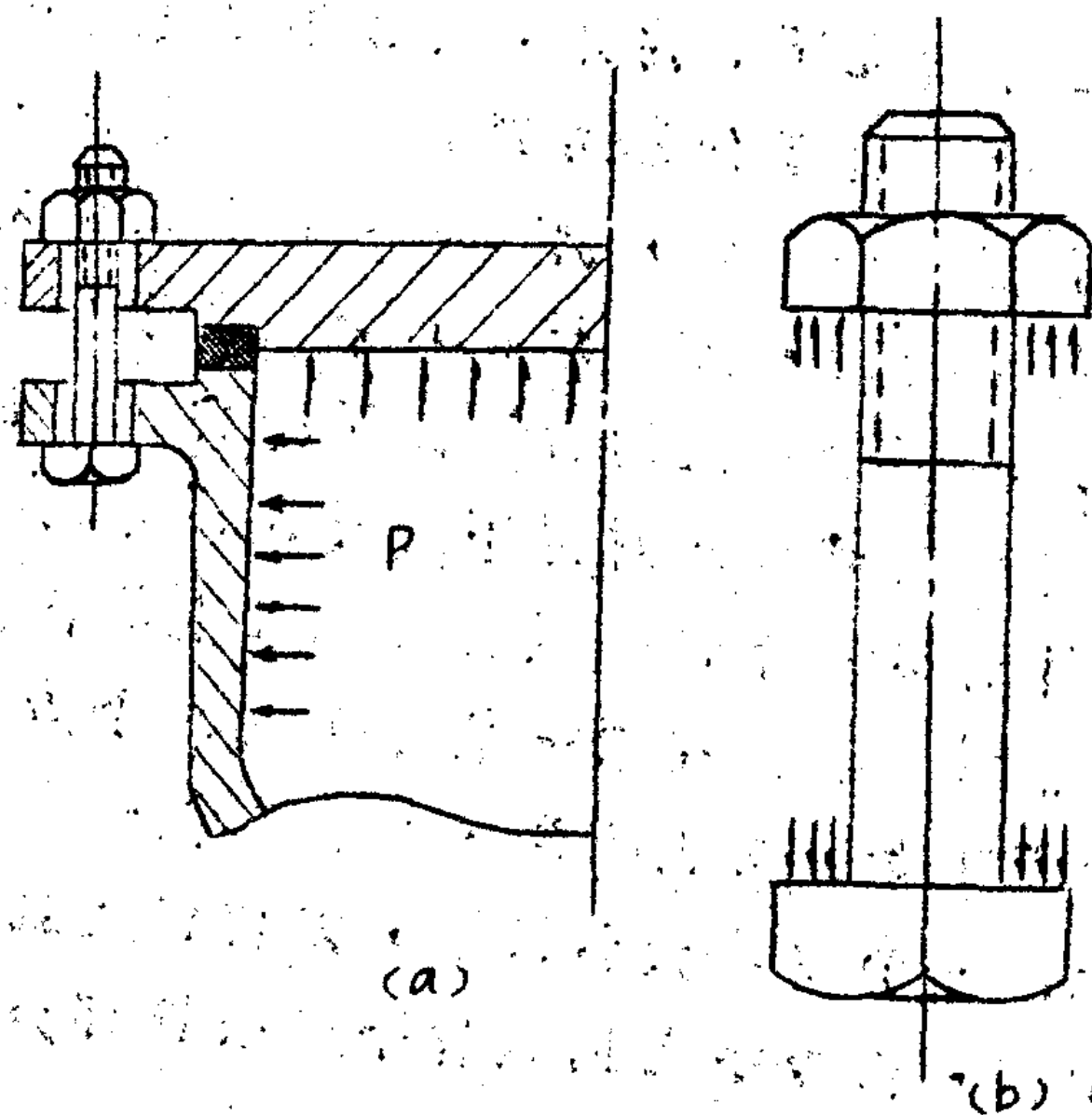


图 1-3 螺栓受力情况

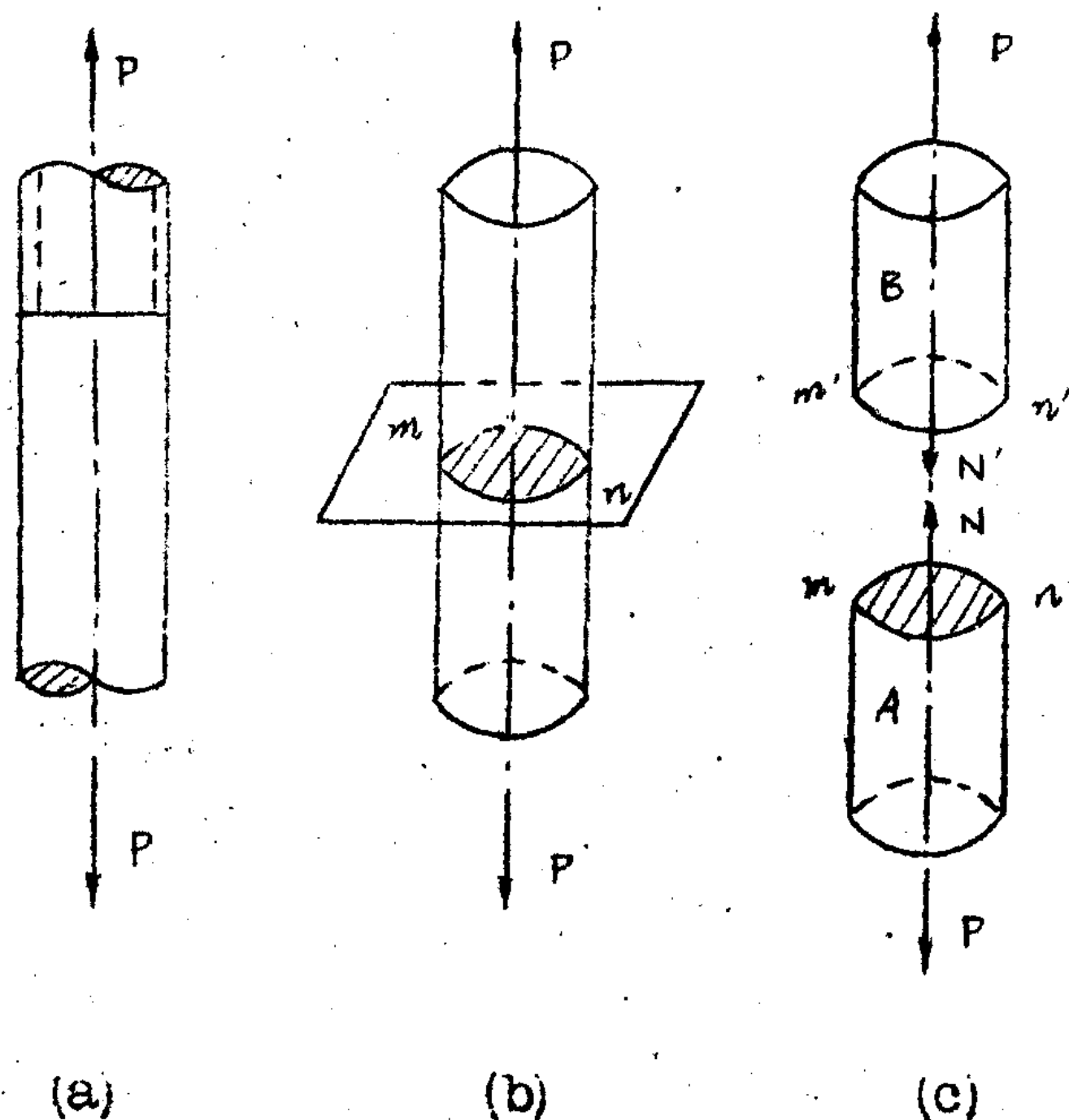


图 1 - 4 用截面法求取螺栓的内力

为了求出螺栓受拉伸情况下的内力，可以假想地用一个截面 $m - n$ （通常都用横截面）将构件截分为两部分 A 和 B〔图 1 - 4 (b)(c)〕，弃去一部分，例如 B；留下一部分，例如 A，作为研究对象。由于整个构件在外力作用下是平衡的，当截开后，考虑留下的部分 A 也必然要保持平衡。此时作用在部分 A 上的力，除了外力 P ，尚有内力 N 。这个内力 N 是代替被弃去的部分 B 对留下部分 A 的作用，以保持部分 A 的平衡。由于对留下部分 A 来讲，截面 $m - n$ 上的内力就可看成为外力，根据二力平衡条件（作用在同一物体上的两个力若是平衡的话，则这两个力必然是大小相等，方向相反，且作用在一条直线上。反之作用在同一个物体上的两个力若大小相等，方向相反且作用在一条直线上，则物体必然平衡。在力学上把这种平衡条件称为二力平衡条件。即可求出内力 N ）

$$N = P$$

这种求内力的方法称为截面法，是一种最常用的基本方法，以后会经常用到。拉伸、压缩时的内力称为轴向力，并规定拉伸力为正、压缩力为负。其它形式变形的内力也有专门的名称，以后逐步介绍。

3. 应力 利用截面法求出轴向力 N 只是解决了构件横截面上内力的总和，但还不能解决构件的强度计算和变形计算问题。先看一个例子：把两根材料都是 A3 钢，但横截面积分别为 $F_1 = 2$ (厘米²) 和 $F_2 = 4$ (厘米²) 的杆件放到材料试验机上分别做拉伸试验。当拉力逐渐增大到 $P_1 = 8$ (吨) 时，两杆的轴向力都是 $N = P_1 = 8$ (吨) 但细杆断裂了，而粗杆却未断。这是因为轴向力只不过是受拉杆件（或受压杆件）整个分布内力的合力；还不能单凭它来说明杆件会不会破坏。因此在知道轴向力 N 的基础上，还必须进一步分析分布内力在截面上是怎样分布和每一局部上的力有多大。

对于受拉杆件（或受压杆件）来说，从观察它的变形情况可以分析出其横截面上的分布内力是均匀分布的。

对于内力在截面上均匀分布的情况，此截面上的各个单位面积上的内力应该相等。单位面积上的内力称为应力，当其方向垂直于截面时，则称为正应力用 σ 表示。应力的常用单位是（公斤/厘米²）或（公斤/毫米²）。正应力 σ 与杆件的横截面积 F 的乘积应等于整个横截面上的内力 N 即

$$\begin{aligned} \bullet F &= N \\ \therefore \bullet &= \frac{N}{F} \end{aligned} \quad (1-1)$$

在受拉杆件（或受压杆件）的任一斜截面上，不但有垂直于斜截面的正应力还有沿着斜截面的剪应力，剪应力一般用 τ 表示。

三 直杆的轴向拉伸和压缩

(一) 静载拉伸和压缩时材料的机械性能

大家知道，客观世界是由物质构成的，任何一个化工设备都是由

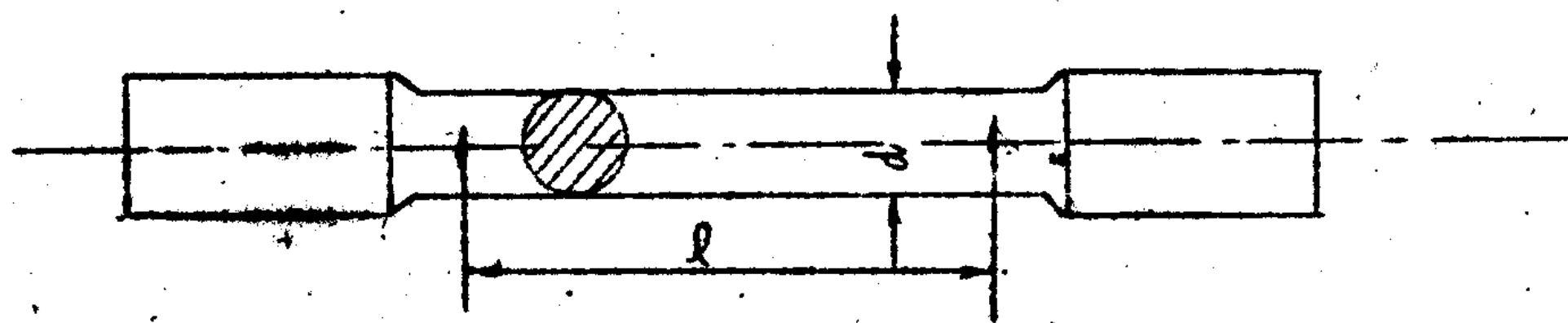
各种金属和非金属材料制成的。为了合理地选用材料，做到物尽其用，正确地解决构件设计和使用中安全与经济的矛盾，必须对各种材料的机械性能（即力学性能）有所了解、有所发现和有所改进。如钢材的抗拉性能好，常用来制造各种容器、塔器和螺栓等抗拉构件；铸铁的抗压性能好，多用来制造机器的底座和设备的支座等。

要了解材料的机械性能，掌握其强度和变形方面的情况，你就必须对材料进行机械性能方面的试验，从而找出规律性的东西，以鉴别材料的优劣并作为设计计算的依据。

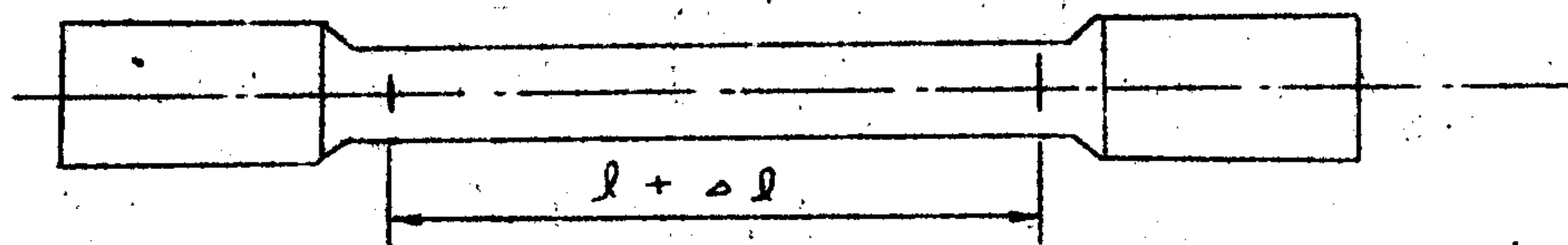
下面主要介绍在室温静载（所加的外力是很缓慢加上去的）条件下的拉伸试验，从而了解和掌握材料的一些主要机械性能。

1. 材料的拉伸曲线 测定材料拉伸机械性能的主要试验设备有给试件加载（施加外力）的拉伸试验机和测量试件变形的仪器——引伸仪。

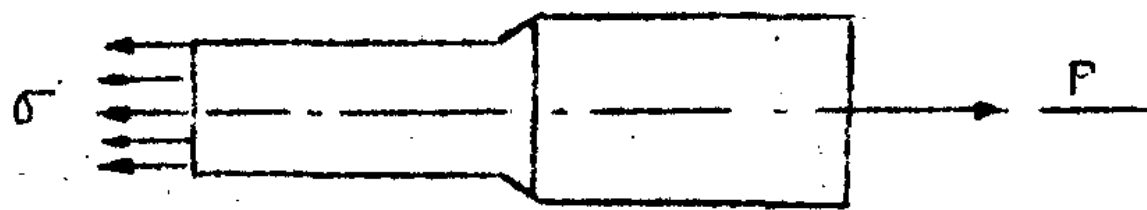
试验时要将待测的材料做成标准试件，以便使其试验结果能统一比较。目前我国多采用圆形断面的试件。其规格有两种：一种是“标距 l ”等于试件直径的五倍， $l = 5d$ ；另一种是十倍的关系 $l = 10d$ 。所谓“标距 l ”是在试件中段等直径部分上，为了测定变形而事先标定出来的距离〔图1-5(a)〕。试件两端较粗部分是为了便于夹持在试验机上的夹头部分。



(a)



(b)



(c)

图 1 - 5 拉伸试验的试件

进行试验时，把试件夹在拉伸试验机上，开动机器使试件受到自零开始逐渐缓慢均匀增加的载荷 P ，于是试件在中部标距 l 的一段长度内，便产生了变形 Δl 和应力 σ [图 1 - 5 (b)(c)]，随着 P 的逐渐加大， Δl 和 σ 也随着增大，直到被拉断为止。

在试验的全过程中记录下来一系列的载荷 P 值和相应的试件的伸长 Δl 值，根据这些试验数据，以纵座标表示载荷 P ，以横座标表示变形 Δl ，将 P 与对应的 Δl 之间的关系，按一定的比例绘出图线，这个图线称为拉伸曲线图。一般的试验机上都装有自动绘图装置，可自动绘出拉伸曲线图。

2. 低碳钢拉伸曲线图 从低碳钢试件在整个拉伸试验过程中所得到的拉伸曲线图如图 1 - 6 所示，可以看出其载荷与伸长的关系大体可分为 OA 、 BB' 、 $B'C$ 、 CD 四个阶段（ AB 是很短的一个过渡阶段）。我们必须具体研究这几个不同阶段发展的特点，以便更好地掌握材料的机械性能，正确认识材料抵抗变形和抵抗破坏能力的本质。

低碳钢的拉伸曲线图只能代表试件的机械性能，而不能反映材料的机械性能。因为该图的纵座标 P 和横座标 Δl 均与试件的尺寸有关。为了排除尺寸的影响，使能够真正地反映材料抵抗变形和破坏的能力，我们将拉伸曲线图的纵座标（载荷 P ）除以试件的原截面积 F ，而将其横座标（伸长 Δl ）除以试件原来的标距 l 。我们知道 P 除以 F 相当于应力 σ （ $\sigma = \frac{P}{F}$ ），而 Δl （绝对变形）除以 l 称为应变 ϵ 或