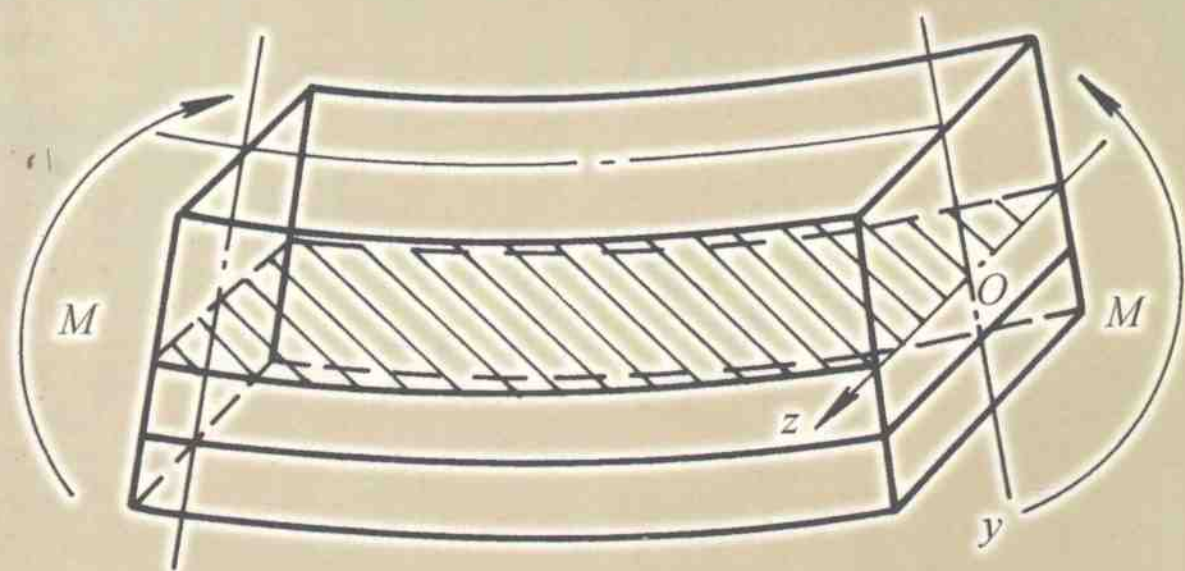


高等学校试用教材

化工设备设计基础

主编 / 董光荣 副主编 / 牛宇岚 卫静莉



兵器工业出版社

内容简介

参考文献

本书是根据教育部《全国工科院校理科类化学工程与工艺专业教学大纲》和《全国工科院校理科类化学工程与工艺专业教学大纲》编写而成的。本书可作为高等院校化学工程与工艺专业及相关专业的教材，也可供从事化工设计工作的工程技术人员参考。

化工设备设计基础

主 编 董光荣

副主编 牛宇岚 卫静莉

编 者 段海龙 李晓红 刘雪岭

夏

李

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了直杠拉伸与压缩、材料力学中的弯曲、圆轴的扭转剪切等工程力学的基础知识；化工设备常用材料的性能、分类及选用；薄壁容器的强度设计思路和方法，容器零部件的结构、设计；化工厂常用的典型设备，塔、管壳式换热器及搅拌反应器的结构设计和机械设计方法。

本书可作为高等院校化工类本科或专科专业基础教材，亦可供化工设计及生产部门的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备设计基础 / 董光荣主编. —北京: 兵器工业出版社, 2003.5

ISBN 7-80172-130-6

I. 化... II. 董... III. 化工设备—设计
IV. TQ050.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 049195 号

出版发行: 兵器工业出版社

责任编辑: 郭春临

责任技编: 魏丽华

邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟 10 号

印 刷: 兵器工业出版社印刷厂

版 次: 2003 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1-2050

封面设计: 底晓娟

责任校对: 朴喆

责任印制: 王京华

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20

字 数: 492 千字

定 价: 28.00 元

前 言

化工容器与设备是化工、石油、冶金等生产中的主要生产装置。随着化学工业快速发展,化工厂所用设备更新日益加快,因此,近年来我国出现了多种压力容器及设备方面的教材和相关的参考书,以满足读者的需要。

为适应专业调整和学科发展的需要,考虑到将来化工类专业的教学要求,本书编入了以下内容:工程力学、化工设备的选材、化工容器的设计,并以塔、换热器及反应器作为化工机械的典型设备为例,阐明了基本结构,材料的选择及设计方法。

本书编写的指导思想是:

(1) 密切联系国内最新的标准和规范;

(2) 本着“厚基础,宽口径”的原则,注重理论知识,加强设备的结构分析,增强学生的实际设计能力;

(3) 注重培养学生解决工程问题的能力。本书在介绍压力容器应力分析时,注意理论表达深度,以力学模型建立、应力求解思路、应力分布特点和工程意义为重点,把一些复杂的推导留给学生在参考文献中自学。

本书第一章和第二章第 1~5 节由董光荣编写,第三章第 1~5 节由李晓红编写,第二章第 6~8 节由段海龙编写,第三章第 7~8 节、第四章、第六章由牛宇岚编写,第三章第 6 节和第五章由卫静莉编写,附录及全书的插图由刘雪岭完成。

由于编者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,衷心希望读者给予指正。

编者

2003 年 3 月

目 录

第一章 工程力学	1
第一节 物体的受力分析及其平衡条件	2
第二节 直杆的拉伸和压缩	9
第三节 直梁的弯曲	24
第四节 剪切	42
第五节 圆轴的扭转	44
第六节 压杆稳定	55
第二章 化工设备材料	61
第一节 概述	61
第二节 材料的性能	61
第三节 碳钢与铸铁	65
第四节 合金钢	73
第五节 有色金属材料	77
第六节 非金属材料	79
第七节 化工设备的腐蚀及防腐措施	82
第八节 化工设备材料选择	87
第三章 化工容器设计	90
第一节 概述	90
第二节 内压薄壁容器的应力分析及其应用	96
第三节 内压薄壁圆筒与封头的强度设计	112
第四节 外压圆筒与封头的设计	134
第五节 法兰联接	148
第六节 容器支座	160
第七节 容器的开孔与附件	165
第八节 容器设计举例	170
第四章 塔设备	178
第一节 概述	178
第二节 板式塔及其结构设计	179

第三节	填料塔及其结构设计	187
第四节	其他结构设计	195
第五节	塔体和裙座的强度计算	199
第五章	管壳式换热器	214
第一节	概述	214
第二节	管壳式换热器的结构形式	215
第三节	管壳式换热器的构件	220
第四节	管壳式换热器的温差应力计算	245
第五节	管壳式换热器设计的有关标准	251
第六节	管壳式换热器的机械设计举例	253
第六章	反应设备	263
第一节	概述	263
第二节	搅拌反应器釜体设计	264
第三节	反应器的搅拌装置	272
第四节	传动装置	282
第五节	轴封装置	289
附表		296
参考文献		313
01	.....	.....
02	.....	.....
03	.....	.....
04	.....	.....
05	.....	.....
06	.....	.....
07	.....	.....
08	.....	.....
09	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12	.....	.....
13	.....	.....
14	.....	.....
15	.....	.....
16	.....	.....
17	.....	.....
18	.....	.....
19	.....	.....
20	.....	.....
21	.....	.....
22	.....	.....
23	.....	.....
24	.....	.....
25	.....	.....
26	.....	.....
27	.....	.....
28	.....	.....
29	.....	.....
30	.....	.....
31	.....	.....
32	.....	.....
33	.....	.....
34	.....	.....
35	.....	.....
36	.....	.....
37	.....	.....
38	.....	.....
39	.....	.....
40	.....	.....
41	.....	.....
42	.....	.....
43	.....	.....
44	.....	.....
45	.....	.....
46	.....	.....
47	.....	.....
48	.....	.....
49	.....	.....
50	.....	.....
51	.....	.....
52	.....	.....
53	.....	.....
54	.....	.....
55	.....	.....
56	.....	.....
57	.....	.....
58	.....	.....
59	.....	.....
60	.....	.....
61	.....	.....
62	.....	.....
63	.....	.....
64	.....	.....
65	.....	.....
66	.....	.....
67	.....	.....
68	.....	.....
69	.....	.....
70	.....	.....
71	.....	.....
72	.....	.....
73	.....	.....
74	.....	.....
75	.....	.....
76	.....	.....
77	.....	.....
78	.....	.....
79	.....	.....
80	.....	.....
81	.....	.....
82	.....	.....
83	.....	.....
84	.....	.....
85	.....	.....
86	.....	.....
87	.....	.....
88	.....	.....
89	.....	.....
90	.....	.....
91	.....	.....
92	.....	.....
93	.....	.....
94	.....	.....
95	.....	.....
96	.....	.....
97	.....	.....
98	.....	.....
99	.....	.....
100	.....	.....

第一章 工程力学

20 世纪以前,推动近代科学技术与进步的蒸汽机、铁路、兵器等,都是在力学应用和完善的基礎上逐步形成和发展起来的。20 世纪产生的许多高新技术及许多重要工程都是在工程力学指导下实现的,并不断地完善。

工程力学是研究自然界以及各种工程中机械运动最普遍、最基本的规律,帮助人们科学地从事工程技术工作。其所研究的机械运动主要有两个方面:一方面是研究物体的运动,即作用在物体上的力和运动的关系;另一方面是研究物体的变形,即作用在物体上的力与变形之间的关系。这两个方面并不相对独立,它们研究内容有一些交叉。

从课程内容来看,工程力学是材料力学和理论力学的组合。理论力学的研究对象主要是质点和质点系以及刚体和刚体系,材料力学主要研究变形体,变形体受力后发生变形的规律。材料力学和理论力学研究内容侧重点不同,研究对象不同,但两者之间有一定的联系。工程力学研究方法可归纳为三种:理论方法、实验方法和计算机分析法。

工程力学的任务就是研究构件在外力作用下的变形和破坏规律,为设计构件选择适当的材料和尺寸,以达到强度、刚度和稳定性的要求,使设备满足适用、安全和经济的原则,提供必要的基础理论知识。本章的主要内容,可以归纳为两个方面:

- (1) 研究构件受力的情况,进行受力大小的计算;
- (2) 研究材料的力学性能和构件的受力变形与破坏规律,进行构件强度、刚度或稳定性计算。

化工机械设备构件,既有杆件,也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析较简单,但它是分析平板与回转壳体的基础。所以,作为力学问题中的基础内容,本章将讨论等截面直杆的应力分析、强度计算与变形计算,以便为平板、回转壳体及传动零件的强度计算提供必要的理论基础。

日常生活和生产中使用的任何机械设备构件应该满足适用、安全和经济三个基本要求。经验和实验表明,任何机器或设备在工作时都要受到各种力作用,而机器或设备的构件在载荷作用下都要产生一定变形。如果构件材料选择不当或尺寸设计不合理,则在外力作用下是不安全的。当外力达到某一定值时,构件产生过大变形,可能突然失去原来的形状,使设备不能正常工作;也可能使构件发生破坏,从而使整个设备毁坏。因此,为了使机器或设备能安全正常工作,在设计时必须使构件满足三方面的要求:

- (1) 强度,构件或零部件在外力作用下不致破裂或过量的塑性变形;
- (2) 刚度,构件或零部件在外力作用下,其弹性变形或位移不超过工程允许的范围;
- (3) 稳定性,构件或零部件在外力作用下,其平衡形式不会发生突然转变。

第一节 物体的受力分析及其平衡条件

一、力的概念和基本性质

(一) 力的概念

物体与物体间的相互作用既会引起物体运动状态的改变,也会引起物体的变形,其程度与物体间相互作用的强弱有关。人们为了度量上述物体间相互作用所产生的效果,就把这种物体间的相互作用称为力。由此可见,力是通过物体间相互作用所产生的效果体现出来的。因此,我们认识力,分析力,研究力都应该着眼于力的作用效果。上边谈到的力使物体运动状态发生改变,我们称它是力的外效应。而力使物体发生变形,则被称为是力的内效应。

单个力作用于物体时,既会引起物体运动状态改变,又会引起物体变形。两个或两个以上的力作用于同一物体时,则有可能不改变物体的运动状态而只引起物体变形。当出现这种情况时,我们称物体是处于平衡。这表明作用于该物体上的几个力的外效应彼此抵消,但不能由此否定单个力的外效应。

力作用于物体时,总会引起物体变形。但在正常情况下,工程的构件在力的作用下变形很小。这种微小的变形对力的外效影响很小,可以忽略。这样一来,在讨论力的外效应时,我们就可以把实际变了形的物体,看成是不发生变形的刚体。所以,当我们称物体为刚体时,就意味我们不去考虑力对它的内效应。在这一章,我们研究的对象都是刚体,讨论的是力的外效应。

力是矢量,图示时可用一带箭号的有向线段表示,有向线段长度(按比例尺)表示力的大小,箭头所指表示力的方向。用符号表示力时,以黑斜体“ F ”、“ P ”、“ Q ”等表示矢量,以白斜体字“ F ”、“ P ”、“ Q ”等表示力的大小。

力有集中力的分布力之分。按照国际单位制,集中力的单位用“牛顿(N)”,“千牛顿(kN)”;分布力的单位是“牛顿/米²”(N/m²),又称帕斯卡(Pa)和百万帕斯卡(MPa)。1 MPa 相当于 1 N/m²。

由此可见,力是通过物体间相互作用的效果体现出来的。因此,我们认识力、分析力、研究力都应该着眼于力的作用效果。上边谈到的力使物体运动状态发生改变,称它是力的外效应;而力使物体发生变形,则被称是力的内效应。

二、力矩和力偶

(一) 力矩的概念

在生产实践中,人们利用了各式各样的杠杆,如撬动重物的撬杆,称东西的秤等。这些不同的杠杆都利用了力矩的作用。由实践经验知道,用扳手拧螺母时,扳手跟螺母一起绕螺栓的中心线转动。因此,力使物体转动的效果,不仅取决于力的大小,而且与力的作用线到 O 点的距离 d 有关,如图 1-1 所示。这样,我们就有了如下的力矩的定

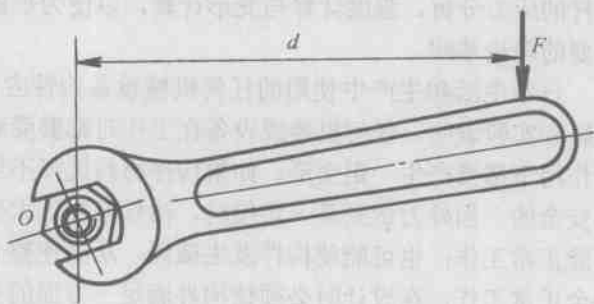


图 1-1 力矩示意图

义:力矩等于力的大小与力臂的乘积,即 $M = F \cdot d$ 。这样,我们就有了如下的力矩的定

义：力对 O 点的矩是力使物体产生绕 O 点转动的效应度量。它可以用一个代数量来表示，其绝对值等于力矢的模与力臂的乘积，它的正负分别表示该力矩使物体产生的逆时针和顺时针的两种转向。 O 点叫做力矩中心，力的作用线到 O 点的垂直距离 d 叫做力臂，力臂和力的乘积叫做力对 O 点的力矩。可以表示为

$$M_o(F) = \pm Fd \quad (1-1)$$

式中正负号表示力矩转动的方向，一般规定：逆时针转动的力矩取正号，顺时针转动的力矩取负号。力矩的单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。显然力的大小等于零，或力的作用线通过力矩中心(力臂等于零)。

(二) 力偶

力偶就是受到大小相等、方向相反、互相平行的两个力的作用时，它对物体产生的纯转动效应(即不需要固定转轴支点等辅助条件)。例如，用丝锥攻螺纹(图 1-2)，用手指旋开水龙头等均是常见的力偶实例。

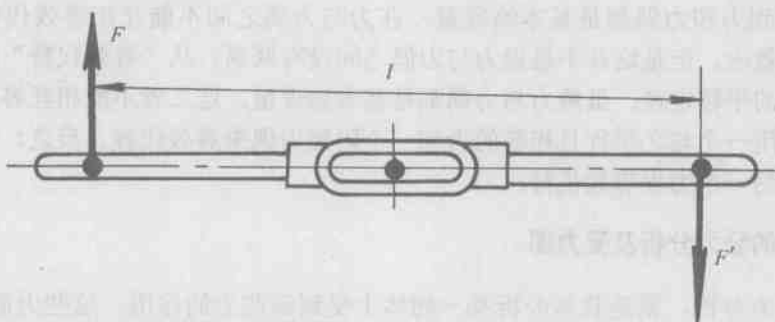


图 1-2 力偶示意图

力偶记为 (F, F') 。力偶中二力之间相距的垂直距离(图 1-2 中 l)为力偶臂。力偶对物体产生的转动效应应该用构成力偶的两个力对力偶作用平面内任一点之力矩的代数和来度量，我们称这两个力对某点之矩的代数和为力偶矩。所以力偶矩是力偶对物体转动效应的度量。若用 $m(F, F')$ 表示力偶 (F, F') 的力偶矩，则有

$$m = \pm Fl \quad (1-2)$$

力偶矩和力矩一样，也可以用一个代数量表示，其数值等于力偶中一力的大小与力偶臂的乘积，正负号则分别表示力偶的两种相反转向，若规定逆时针转向为正，则顺时针为负。这是人为规定的，做与上述相反的规定也可以。

力偶具有以下主要性质：

(1) 只要保持力偶矩的大小及其转向不变，力偶的位置可以在其作用平面内任意移动或转动(图 1-3a、b)，还可以任意改变力的大小和臂的长短(图 1-3c)，而不会影响该力偶对刚体的效应。基于力偶的这一性质，当物体力偶作用时，图中可不必像图 1-3c 那样画出力偶中力的大小及作用线位置，只需用箭头示出力偶的转向，并注明力偶矩的简写符号 m 即可，如图 1-3d 所示。

(2) 组成力偶的两个力既不平衡，也不能合成为一个合力。因此，力偶的作用不能用一个力代替，只能用力偶矩相同的力偶代替；力偶只能用力偶平衡。

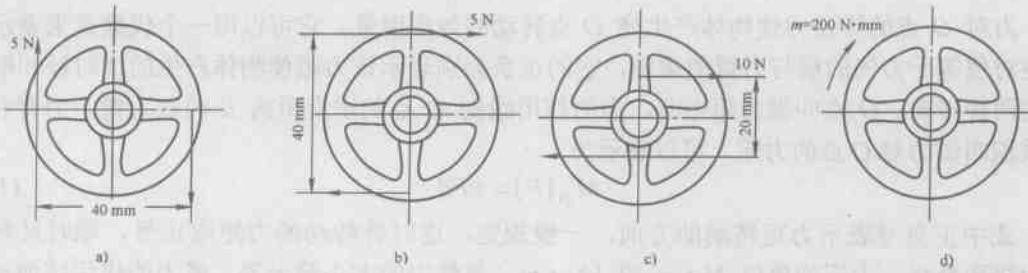


图 1-3 力偶性质示意图

(3) 组成力偶的两个力对作用面内任意点的力矩之和等于力偶矩本身。因此，力偶也可以合成。在同一平面内有两个以上力偶同时作用时，合力偶矩等于各分力偶距的代数和，即 $M = \sum m$ 。如果静止的物体不发生转动则力偶矩的代数和为零，即 $\sum m = 0$ 。

(三) 力的平移

前边曾提到力和力偶都是基本物理量，在力与力偶之间不能互相等效代替，也不能相互抵消各自的效应。但是这并不是说力与力偶之间没有联系。从“等效代替”的观点，可以这样来理解力的平移定理：虽然力与力偶都是基本物理量，这二者不能互相等效代替，但是一个力却可以用一个与之平行且相等的力和一个附加力偶来等效代替。反之，一个力和一个力偶也可以用另一个力来等效代替。

三、物体的受力分析及受力图

物体的受力分析，就是具体分析某一物体上受到哪些力的作用，这些力的大小、方向、位置如何？只有在对物体进行正确的受力分析后，才有可能根据平衡条件由已知外力求出未知外力，从而为进行设备零件部件的强度、刚度等设计和校核打下基础。

已知外力主要指作用在物体上的主动力，按其作用方式有体积力和表面力两种。体积力是连续分布在物体内各点处的力，如均质物体的重力，单位是 N/m^3 或 kN/m^3 ；表面力是在接触面上连续分布的力，如内压容器的压力和塔器表面力的大小均用线分布力表示，单位是 N/m^2 或 kN/m^2 ；如果被研究物体的横向尺寸远远小于长度尺寸，则度量其体积力和表面力大小均用线分布力表示，单位是 N/m 或 kN/m 。两个直接接触的物体在很小的接触面上互相作用的分布力，可以简化为作用在一点上的集中力，如化工管道对托架的作用力，单位是 kN 或 N 。

未知外力主要指约束反力。约束反力如何分析是本节讨论的重点。

(一) 约束和约束反力

如果物体只受主动力作用，而且能够在空间沿任何方向完全自由地运动，则称该物体为自由体。如果物体的运动在某些方向上受到了限制而不能完全自由地运动，那么该物体就称为非自由体。限制非自由体运动的物体叫约束。例如轴只能在轴承内转动，不能沿轴做径向移动，于是轴就是非自由体，而轴承就是轴的约束。塔设备被地脚螺栓固定在基础上，任何方向都不能移动，地脚螺栓就是塔的约束；重物被吊索限制使重物不能掉下来，吊索就是重物的约束，等等。可以看到，无论是轴承、基础，还是吊索，它们的共同点是直接和物体接触，并限制物体在某些方向的运动。

当非自由体的运动受到它的“约束”限制时，在非自由体与其约束之间就要产生相互

作用的力, 这时约束作用于非自由体上的力就称为该约束的约束反力。当一个非自由体同时受到几个约束的作用时, 那么该非自由体就会同时受到几个约束反力的作用。如果这个非自由体处于平衡, 那么这几个约束反力对该非自由体所产生的联合效应必正好抵消主动力对该物体所产生的外效应。所以约束反力的方向, 必定与该约束限制的运动方向相反。应用这个原则, 可以确定约束反力的方向或作用线的位置。至于约束反力的大小, 则需要用平衡条件求出。

工程中的各种约束, 可以归纳为几种基本形式。下面讨论约束的基本形式和约束反力的性质。

1. 柔性约束

这类约束是由柔性物体如绳索、链条、皮带、钢丝绳等构成。这种约束的特点是: ①只有当绳索被拉直时才能起到约束作用; ②这种约束只能阻止非自由体沿绳索伸直的方向朝外运动, 而限制不了非自由体在其他方向的运动。所以, 代替这种约束的约束反力的作用线应和绳索伸直时的中心线重合, 指向应该是离开非自由体朝外。例如图 1-4 中的均质杆, 若将两根限制它运动的绳子用约束反力表示, 则两个约束反力 T_A 和 T_B 的力线方向应与绳子的中心线重合。图 1-4b 是以约束反力表示均质杆的受力图。从受力图可清晰看出, 均质杆在重力 G 和绳索约束反力 T_A 和 T_B 这样三个外力的作用下处于平衡。其中 G 是已知力。图 1-5 是另一个柔软体的约束实例, 图 1-5b 是被起吊设备的受力图, 读者可自行分析。

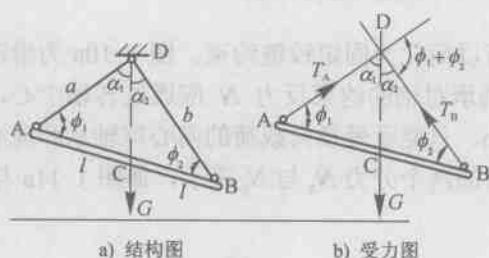


图 1-4 柔性约束示意图

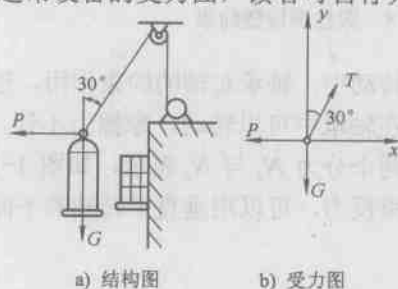


图 1-5 柔性约束示意图

2. 光滑接触面约束

这类约束是由光滑支撑面如滑槽、导轨等所构成。支撑面与被约束物体之间的摩擦力很小, 可以略去不计。它的特点是只能限制约束物体沿接触面公法线方向向着支撑面内的运动。如图 1-7 因此这种约束反力方向是沿着接触面的公法线方向, 指向被约束物体。如图 1-6 托轮对滚筒的约束反力 N_1 、 N_2 。

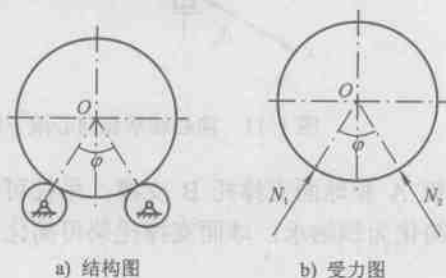


图 1-6 光滑接触面约束示意图

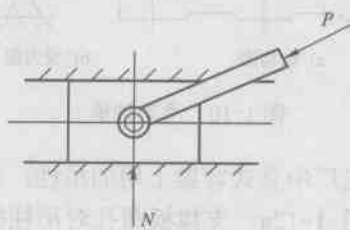


图 1-7 光滑接触面约束

3. 铰链约束

圆柱形铰链约束是由两个带有圆孔的构件用一销钉连接而成的。

如图 1-8, 常见的有以下两种。

(1) 固定铰链支座约束

图 1-9a 由固定支座 1 和杆 2 并用销钉 3 连接而成。它的特点是被约束物体只能绕销钉的轴线转动, 而不能上下左右移动。约束反力的方向随主动力的变化而变化, 通过铰链中心, 可以用它的两个分力 N_x 与 N_y 表示, 如图 1-9b。

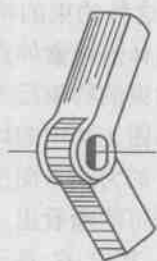
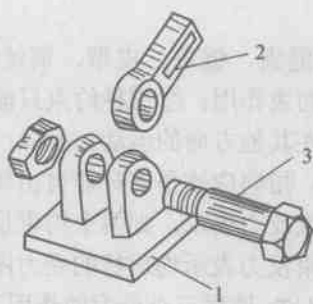
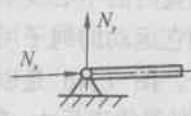


图 1-8 圆柱形铰链约束



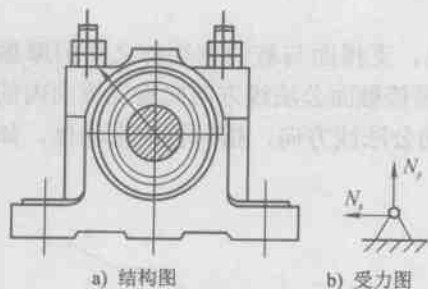
a) 结构图



b) 受力图

图 1-9 固定铰链支座约束

在机械传动中, 轴承对轴的约束作用, 也可以简化为固定铰链约束。图 1-10a 为滑动轴承简图。轴在轴承中可以转动, 摩擦力不计。轴承对轴的约束反力 N 应通过转轴中心, 但方向不定用两个分力 N_x 与 N_y 表示, 如图 1-10b。只能承受径向载荷的向心球轴承和向心滚子轴承的约束反力, 可以用垂直于转轴的平面内的两个分力 N_x 与 N_y 表示, 如图 1-11a 与 b。



a) 结构图

b) 受力图

图 1-10 滑动轴承

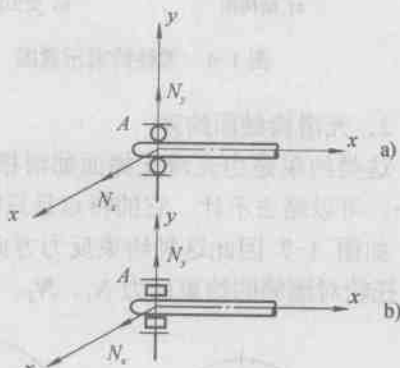


图 1-11 向心轴承和向心滚子轴承

化工厂中立式容器上用的吊柱, 是用支撑板 A 和球面支撑托 B 支撑, 吊柱可借转杆转动, 如图 1-12a。支撑板圆孔对吊柱的作用可简化为颈轴承; 球面支撑托架可简化为止推轴承, 对吊柱的约束反力分析如图 1-12b 所示。

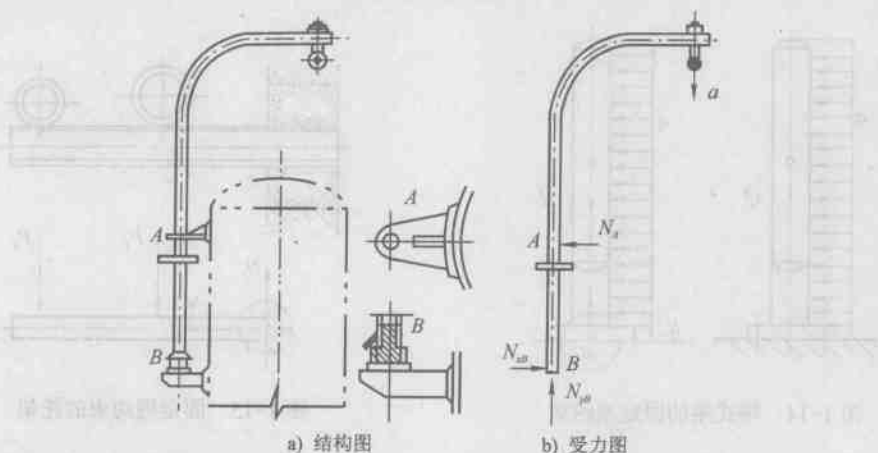


图 1-12 立式容器

(2) 活动铰链支座约束

如图 1-13a, 支座下面有几个圆柱形滚子, 支座可以沿支撑面滚动。桥梁、屋架上经常采用这种活动铰链支座, 当温度变化引起桥梁伸长或缩短时, 允许两支座的间距有微小变化。又如化工厂的卧式容器的鞍式支座, 右端是固定的, 左端是可以活动的, 如图 1-13b, 也可以简化为活动铰链支座。这类支座的特点是只限制被约束物体沿垂直支撑面方向运动, 因此约束反力的方向必垂直于支撑面, 并通过铰链中心。活动铰链支座简图如 1-13c。

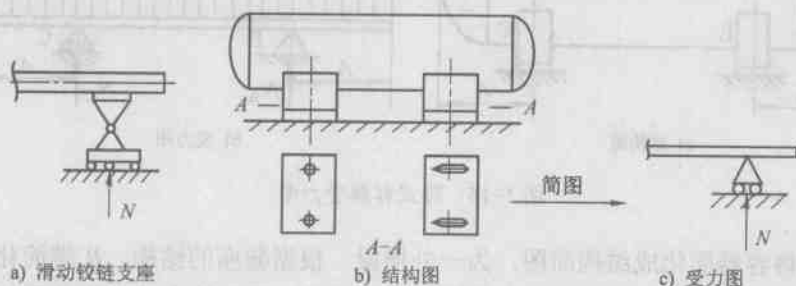


图 1-13 滑动铰链支座约束示意图

4. 固定端约束

固定端约束的特点是限制被约束物体既不能移动, 又不能转动, 被约束的一端完全固定。如塔器的基础对塔底端是固定端约束。其约束反力除有 N_x 与 N_y 外, 还应有阻止塔体倾倒的力偶矩 m , 如图 1-14; 悬管式管道托架, 一端插入墙内, 另一端为自由端, 墙对托架也起到固定端约束的作用, 如图 1-15, 固定端约束反力由力与力偶组成, 前者阻止被约束物体移动, 后者阻止转动。

(二) 受力图

为了清晰地分析与表示构件的受力情况, 需要画出研究的构件(研究对象)与它发生联系的周围物体受力情况的简图, 称为受力图。正确地画出受力图, 是进行力学计算的重要前提。下面通过一些实例来说明画受力图的方法。

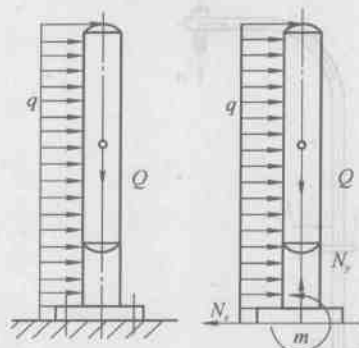


图 1-14 塔式座的固定端约束

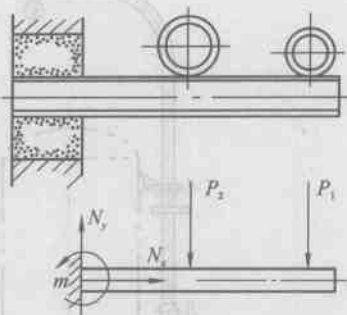


图 1-15 固定端约束的托架

例 1-1 某化工厂的卧式容器如图 1-16 所示，容器总重量(包括物料、保温层等)为 Q ，全长为 L ，支座 B 采用固定式鞍座，支座 C 采用活动式鞍座。试画出容器的受力图。

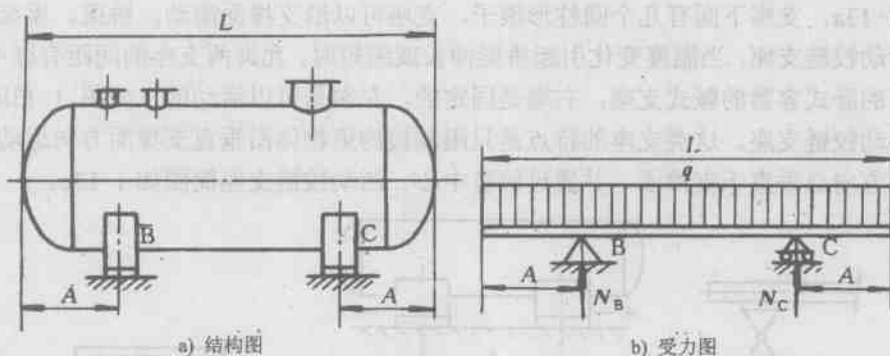


图 1-16 卧式容器受力图

解：首先将容器简化成结构简图，为一外伸梁。根据鞍座的结构， B 端简化为固定铰链支座， C 端为滚动铰链支座。再给整个容器为研究对象，已知的主动力为总重 Q ，沿梁的全长均匀分布，因而梁上受均布载荷 $q(q=Q/L)$ ；按照约束的特性，画出支座反力 N_B 与 N_C ，图 1-16b 就是容器的受力图。

受力分析要领如下：

(1) 要有明确的研究对象。研究对象既可以是单个零件或一个部件，也可以是整个构件。当取几个零件一起作为研究对象时，各个零件之间相互作用的力，对该研究对象来说属于内力，不能在受力图上表示出来。

(2) 受力分析所画出的是研究对象的受力图而不是施力图。

(3) 除重力、电磁力外，只有直接与研究对象作用的物体才有力的作用。

(4) 画约束反力时，只考虑约束的性质，不要考虑刚体在主动力作用下企图运动的方向。

(5) 受力分析的目的在于确定约束反力的力线方位，至于力的指向在难于判明时可任意假定，即使假定错了也无妨，但力线方位必须正确无误。

(6) 要充分利用二力杆定理和三力平衡汇交定理来确定铰链的约束的力线方位。当力线

方位不能确定时，可以用两个正交分力代替该力。

四、平面力系的平衡方程式

作用在一个物体上的各力的作用线分布在同一平面内，或者可以简化到同一平面内的力系叫做平面力系；各力的作用线分布在空间的叫做空间力系。在工程实际中有很多结构的受力情况可简化为平面力系。物体在平面力系作用下处于平衡，就意味着物体相对于地球表面不能有任何运动产生，既不能移动，又不能转动。不能移动，就要求所有力在水平方向和铅直方向投影的代数和等于零；不能转动，就要求所有力对任意点的力矩的代数和等于零。因此平面力系平衡时必须满足下面三个代数方程式

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_o(F) = 0 \quad (1-3)$$

这组方程的前两个，称为力的投影方程，它表示力系中所有力对任选的直角坐标系两投影的代数和等于零。第三个式子称为力矩方程，它表示所有的力对任一点之矩的代数和等于零。由于这三个方程相互独立，故可用来解三个未知量。

第二节 直杆的拉伸和压缩

在本节，首先对试件在拉力作用下所产生的两类应力(正应力与剪应力)及其效应做初步分析，因为这是材料显示各种性能的外部条件。然后就来观察和解释金属试件在整个受力过程中，以及在中途卸载和重复加载时所表现出来的种种特性。为了对这些特性进行量的度量，人们定义了一系列材料的性能指标。我们对这些性能指标的含义和用途应有清晰的了解。

质点间相互作用力所发生的变化被称为附加内力，简称内力。此内力是由外力所引起的，是伴随着弹性变形而产生的，它的作用使各质点恢复其原来位置。对任何一个构件来说，当外力增加时，内力将随之增大。但是，内力的增加总有一定限度，到达这一限度，构件就要破坏。因此研究构件的强度问题时就离不开对构件(弹性)变形的分析和伴随这一变形而产生的内力及其与外力关系的讨论。

由于它们承受外力的方式不同，因而其变形和内力的类型也不同，它们是：拉压变形和轴力；剪切变形和本章讨论材料的机械性能。由于材料的机械性能主要是在试件的拉伸(及压缩)过程中体现出来的，主要性能指标也是通过试件的拉伸试验测得的，所以我们在本章首先讨论拉伸(压缩)变形及其内力，然后再介绍以拉伸试验为主的各种机械性能试验。

在工程实际中，构件的形状很多，如果构件的长度比横向尺寸大得多，这样的构件就称为杆件。杆件的各个横截面形心的连线称为轴线。如果杆的轴线是直线，而且各横截面都相等，就称为等截面直杆(图 1-17a)。除此以外还有变截面直杆、曲杆(图 1-17b、c)等。下面主要研究等截面直杆。如果构件的厚度比起它的长和宽两个方向的尺寸小得多，这样的构件就称为薄板或壳(图 1-17d、e)，例如锅炉和化工容器等。

当截荷以不同的方式作用在杆件上时，杆件将产生不同的变形。杆件变形的基本形式有以下几种(表 1-1)。

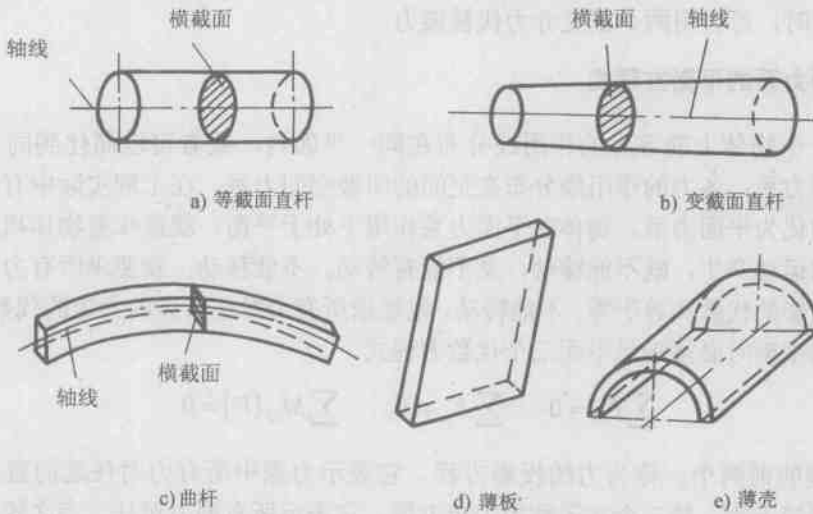



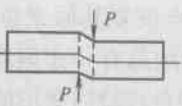



图 1-17 工程构件的形式

表 1-1 杆件的基本变形形式

基本变形形式	变形简图	实例
拉伸		连接容器法兰用的螺栓
压缩		容器的立式支腿
弯曲		各种机器的传动轴、受水平风载的塔体
剪切		悬挂式支座与筒体间的焊接、键、销等
扭转		搅拌器的轴

(1) 拉伸 当杆受到作用线与杆的轴线重合的大小相等、方向相反的两个拉力作用时，杆件将产生沿轴线方向的伸长。这种变形称为拉伸变形。

(2) 压缩 当杆件受到作用线与杆的轴线重合的大小相等、方向相反的两个压力作用时，杆件将产生沿轴线方向的缩短。这种变形为压缩变形。

(3) 弯曲 当杆件受到与杆轴垂直的力作用(或受到在通过杆轴的平面内的力偶作用)时，杆的轴线将变成曲线。这种变形称为弯曲变形。

(4) 剪切 当杆件受到作用线与杆的轴线垂直，而又相距很近的大小相等、方向相反的两个力的作用时，杆上的两个力中间的部分，各个截面将互相错开。这种变形称为剪切变形。

(5) 扭转 当杆件受到在垂直于杆轴平面内的大小相等、转向相反的两个力偶作用时，杆件表面的纵线(原来平等于轴线的纵向直线)扭歪成螺旋线。这种变形称为扭转变形。

复杂的变形可以看成是以上几种基本变形的组合。以下几节讨论基本变形的强度、刚

度和稳定问题，也就是通常材料力学所要解决的问题。本节首先讨论直杆的拉伸与压缩。

一、直杆的拉伸和压缩

(一) 工程实例

工程实际中直杆拉伸和压缩的实例很多。例如起吊设备时的绳索和连接容器法兰用的螺栓(图 1-18b)，它们所受的作用力都是拉伸的实例；容器的立式支腿(图 1-18c)和千斤顶的螺杆，则是受压缩的构件。拉伸和压缩时的受力特点是：沿着杆件的轴线方向作用一对大小相等、方向相反的外力，背离杆件时称为轴向拉伸，外力指向杆件时称为轴向压缩。

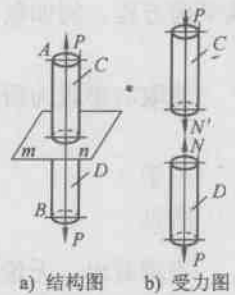


图 1-18 杆受力分析

拉伸和压缩时的变形特点是：拉伸时杆件沿轴向伸长，横向尺寸缩小；压缩时杆件沿轴向缩短，横向尺寸增大。

(二) 拉伸和压缩时横截面上的内力

物体在未受外力作用时，组成物体的分子之间本来就存在相互作用的力。受外力作用后，物体内部相互作用力的情况要发生变化，同时物体要产生变形，这种由外力引起的物体内部相互作用力的变化量称为附加内力，简称内力。物体的变形及破坏情况与内力有着密切联系，因而在分析构件的强度与刚度问题时，要从分析内力入手。现在来讨论拉伸和压缩时横截面上的内力的求法。

研究图 1-18a 所示的杆件 AB，它在外力的作用下处于平衡状态。为了计算内力，假想用一垂直于杆体轴线的 $m-n$ 平面将杆截开，分成 C、D 两部分。以任一部分，例如以 D 为研究对象，进行受力分析。由于 AB 杆是平衡的，因而 D 部分也必然是平衡的。在 D 部分上除了外力 P 以外，在横截面 $m-n$ 上必然还有作用力存在，这就是 C 部分对 D 部分的作用力，也就是横截面 $m-n$ 上的内力。以 N 表示，如图 1-18b。根据平衡条件，可求出内力 N 的大小：

$$\sum F_x = 0, N - P = 0 \text{ 即 } N = P$$

在图 1-18b 中，还分析了 D 作用在 C 上的力 N' ，显然 $N = N'$ 。如果以 C 为研究对象，可求出横截面上的内力，并得到相同的结果。区分内力的性质应该依据变形，所以通常规定：伴随拉伸变形产生的内力取正值；伴随压缩变形产生的内力取负值。为了区分杆件在发生不同变形时(拉、压、弯、剪、扭)所产生的

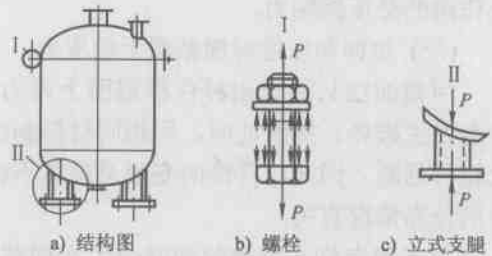


图 1-19 拉伸和压缩实例

的内力，把由于拉伸或压缩变形而产生的横截面上的内力称为轴力，用 N 表示。轴力 N 的数值怎样确定呢？图 1-20 是一个受到四个轴向力作用而处于平衡的杆。现求 $m-m$ 截面上的

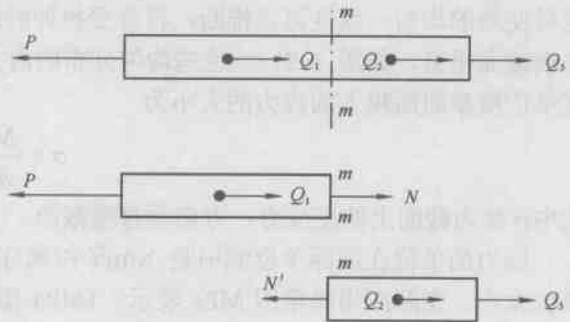


图 1-20 截面法求内力