



普通高等教育“十二五”规划教材



化工设备设计基础

刘仁桓 徐书根 蒋文春 主编
刘国荣 主审

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

化工设备设计基础

刘仁桓 徐书根 蒋文春 主编
刘国荣 主审

中国石化出版社

内 容 提 要

《化工设备设计基础》主要介绍化工设备设计中有关的机械基础知识。全书分为3篇,共13章。第1篇为工程力学基础,主要讨论构件的受力分析,构件的变形与破坏规律及其强度、刚度和稳定性条件。第2篇为化工容器设计,主要介绍化工设备常用材料,容器筒体和封头的类型、特点及设计计算方法,容器主要零部件的种类和选用方法。第3篇为典型化工设备设计,主要介绍化工生产中常用的管壳式热交换器和塔设备的结构形式与设计方法。

本书内容丰富,涉及学科面广,紧密结合工程实际,可作为高等院校化学工程与工艺专业以及其他有关专业教材,也可供相关工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备设计基础 / 刘仁桓, 徐书根, 蒋文春主编.
—北京: 中国石化出版社, 2015. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-3475-3

I. ①化… II. ①刘… ②徐… ③蒋… III. ①化工设备-设计-高等学校-教材 IV. ①TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 165589 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 411 千字

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

前 言

《化工设备设计基础》是按化工工艺类专业对化工设备的机械知识和设计能力的要求而编写的，其目的是使学生获得必要的机械基础知识，初步具有压力容器和化工设备的设计能力，培养学生的工程意识和工程能力。

本书内容丰富，涉及学科面广，选编了工程力学基础、工程材料基础、压力容器设计和化工设备设计4方面内容。全书分3篇，共13章。第1篇为工程力学基础，包括构件的受力分析、拉伸与压缩、剪切及扭转、弯曲、复杂应力状态及强度理论；第2篇为化工容器设计，包括化工设备常用材料、容器设计基础、内压容器设计、外压容器设计、容器零部件；第3篇为典型化工设备设计，包括管壳式热交换器和塔设备的机械设计。本书重点突出，概念准确，在讲述基本理论的基础上，精减繁杂的理论分析及公式推导过程，强化所学知识的综合应用。

书中理论联系实际，实用性强，注意结合工程实际提出问题、分析问题和解决问题，以工程案例为纽带，将工程力学、工程材料、化工容器及设备 etc 知识结合在一起，起到学以致用效果。同时，在本书的每一章节理论叙述之后，都有较多的例题和习题以帮助学生理解基本概念与基本理论，培养学生分析问题和解决问题的能力。

在内容和表达方面，本书尽可能反映学科的最新发展趋势，所涉及的材料、计算方法及结构设计尽量与现行国家标准和部委标准一致，所引用的标准和规范均采用最新颁布的国家标准、行业标准和部颁标准。

本书内容简明扼要，深入浅出，便于自学。考虑到不同层次的教学需要，各章节既具有一定的相关性，又具有一定的独立性，可以根据不同的专业要求和学习要求，选学和自学部分内容。

本书由中国石油大学(华东)化工装备与控制工程系组织编写,第1~6章由刘仁桓编写,第7~11章由徐书根编写,第12~13章由蒋文春编写。全书由刘国荣统一审订成稿。

在编写过程中,得到金有海、李国成和赵延灵等老师以及化工装备与控制工程系全体教师的帮助指导,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中如有错误和不妥之处,恳请读者予以指正。

编者

目 录

第1篇 工程力学基础

第1章 构件的受力分析	(1)
1.1 静力学基本概念与公理	(1)
1.2 约束与约束反力	(6)
1.3 受力图	(9)
1.4 平面力系的简化与平衡条件	(10)
习题	(17)
第2章 直杆的拉伸与压缩	(21)
2.1 构件变形的基本形式	(21)
2.2 轴向拉伸或压缩时的内力	(22)
2.3 轴向拉伸或压缩时的应力	(25)
2.4 轴向拉伸或压缩时的变形	(28)
2.5 轴向拉伸或压缩时材料的机械性能	(30)
2.6 轴向拉伸或压缩时的强度条件	(35)
习题	(37)
第3章 剪切及扭转	(39)
3.1 剪切	(39)
3.2 圆轴扭转时的外力和内力	(42)
3.3 圆轴扭转时的应力	(43)
3.4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	(46)
习题	(47)
第4章 直梁的弯曲	(49)
4.1 平面弯曲的概念	(49)
4.2 直梁弯曲时的内力	(50)
4.3 纯弯曲时梁横截面上的正应力	(55)
4.4 梁的弯曲强度计算	(61)
4.5 提高梁弯曲强度的主要途径	(63)
4.6 梁的弯曲变形与刚度校核	(66)
习题	(69)
第5章 应力状态和强度理论	(72)
5.1 应力状态的概念	(72)
5.2 平面应力状态	(73)

5.3 广义虎克定律	(76)
5.4 强度理论	(77)
5.5 组合变形的强度计算	(79)
习题	(83)

第2篇 化工容器设计

第6章 化工设备材料	(84)
6.1 金属材料的基本性能	(84)
6.2 钢铁材料	(89)
6.3 化工容器常用的钢铁材料	(95)
6.4 有色金属材料	(105)
6.5 非金属材料	(106)
6.6 化工设备的腐蚀与防腐措施	(108)
6.7 化工设备的选材	(114)
习题	(117)
第7章 化工设备设计概述	(118)
7.1 容器的结构与分类	(118)
7.2 容器零部件的标准化	(121)
7.3 压力容器的安全监察	(122)
7.4 容器机械设计的基本要求	(124)
习题	(125)
第8章 薄壁容器的应力分析	(126)
8.1 内压薄壁圆筒的应力分析——薄膜理论	(126)
8.2 薄膜理论的应用	(130)
8.3 内压圆筒的边缘应力	(136)
习题	(140)
第9章 内压薄壁容器设计	(142)
9.1 强度设计的基本知识	(142)
9.2 内压薄壁圆筒和球壳的强度设计	(143)
9.3 内压圆筒封头的设计	(151)
习题	(160)
第10章 外压容器设计	(162)
10.1 概述	(162)
10.2 临界压力及其影响因素	(163)
10.3 外压圆筒的工程设计	(166)
10.4 外压球壳与凸形封头的设计	(173)
10.5 加强圈的设计	(174)

习题	(177)
第 11 章 压力容器的零部件	(178)
11.1 法兰连接	(178)
11.2 容器支座	(198)
11.3 容器的开孔补强	(203)
11.4 压力容器附件	(210)
习题	(212)

第 3 篇 典型化工设备设计

第 12 章 管壳式热交换器	(214)
12.1 管壳式热交换器的形式	(214)
12.2 管壳式热交换器的主要构件	(216)
12.3 温差应力及其补偿	(231)
12.4 管壳式热交换器的设计与选型	(235)
习题	(238)
第 13 章 塔设备的机械设计	(240)
13.1 板式塔结构	(241)
13.2 填料塔结构	(246)
13.3 塔体与裙座的机械设计	(250)
13.4 设计算例	(268)
习题	(274)
附录 1 钢板和钢管的许用应力(GB 150.2—2011)	(278)
附录 2 图 10-5~图 10-15 的数据表(GB 150.3—2011)	(285)
附录 3 压力容器法兰尺寸	(292)
参考文献	(300)

第 1 篇 工程力学基础

化工设备及其零部件工作时，都要受到各种外力作用，如果构件的尺寸过小、形状不合理，或选材不当，就可能发生破坏。为了保证设备安全可靠地工作，设计时构件必须满足三方面要求：①**足够的强度**，保证构件在外力作用下不致破坏；②**一定的刚度**，保证构件在外力作用下不发生过大的变形；③**充分的稳定性**，保持构件在外力作用下不失去原有形状。

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，在构件设计时适当地选择材料和尺寸，以达到强度、刚度和稳定性要求。本篇包含工程力学两个基础部分的内容：静力学和材料力学，主要内容可以概括为两部分：①研究构件的受力情况及平衡条件，进行受力大小的计算；②研究构件的受力变形与破坏的规律，进行构件的强度、刚度和稳定性计算。

第 1 章 构件的受力分析

1.1 静力学基本概念与公理

1.1.1 力的概念

力是物体之间的相互机械作用。力可以产生两种效应：①**外效应**，使物体的运动状态发生改变；②**内效应**，使物体产生变形。力的外效应和内效应总是同时产生的。

在正常情况下，工程用的构件在力的作用下变形都很小。这种微小的变形对力的外效应影响也很小，可以忽略不计。因此，在研究力的外效应时，可以把构件看作不变形的物体。这种在外力作用下不变形的物体称为**刚体**。刚体是实际物体的一种抽象化模型，是静力学的研究对象，它表示在外力作用下，物体保持原有形状和尺寸不变的性质。但不能把刚体绝对化，如果在所研究的问题中，物体的变形成为主要因素时（即使变形很微小），就不能把物体看成刚体而应看成**变形体**。

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个要素。力的三要素表明力是一个**矢量**，改变其中任何一个要素，力的作用效果就随之改变。

力的度量单位，在国际单位制中用牛顿(N)，在工程单位制中用公斤力(kgf)。

1.1.2 力系

如果一个物体上作用几个力，则将这一群力称为**力系**。如果物体在某力系作用下处于平衡状态，则称该力系为**平衡力系**。如果两个力系分别作用于同一物体，所产生的外效应相

同，则称这两个力系等效。显然，平衡力系中的各力对物体的外效应彼此互相抵消。因此，平衡力系是对物体的外效应等于零的力系。

如果一个力与一个力系等效，则称这个力为该力系的合力，而该力系中的各个力称为该合力的分力。力系求合力的过程称为力的合成，将一个力转化成几个分力的过程称为力的分解。

力系按其作用线的分布，可分为平面力系和空间力系。平面力系中各力系的作用线分布在同一个平面，而空间力系中各力的作用线在空间分布。本篇只研究平面力系。

1.1.3 力矩与力偶

1) 力矩

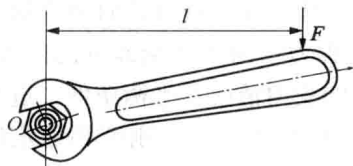


图 1-1 力对点之矩

如图 1-1 所示，用扳手拧紧螺母时，作用于扳手一端的力 F ，使扳手和螺母一起绕 O 点转动。实践证明，扳手的转动效应不仅取决于力 F 的大小和方向，还与 O 点到该力作用线的距离 l 有关。力学上把力 F 与其作用线到转动中心的垂直距离 l 的乘积 Fl 作为度量力转动效应的物理量，称为力对点之矩，简称力矩，记作 $M_O(F)$ ，即

$$M_O(F) = \pm Fl \tag{1-1}$$

O 点称为力矩中心，简称矩心； O 点到力 F 作用线的垂直距离 l ，称为力臂；正负号表示力矩转动的方向，一般规定：使物体产生逆时针旋转的力矩取正值，使物体产生顺时针旋转的力矩取负值。

力矩的单位是牛顿·米($N \cdot m$)或千牛顿·米($kN \cdot m$)。

2) 力偶与力偶矩

如图 1-2 所示，物体在两个大小相等、方向相反、作用线不重合的平行力作用下，产生转动。力学上把这样两个大小相等、方向相反、作用线不重合的平行力组成的力系，称为力偶，通常用 (F, F') 表示。力偶中两力所在平面称为力偶的作用面，两力作用线之间垂直距离 h 称为力偶臂。

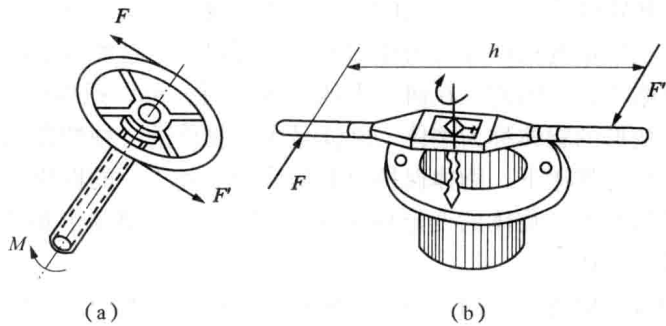


图 1-2 力偶

实践证明，力偶的转动效应不仅与力偶中力 F 的大小成正比，还与力偶臂 h 成正比。力学上用力 F 和力偶臂 h 的乘积 Fh 来度量力偶引起的转动效应，称为力偶矩，记作 $m(F, F')$ ，简写为 m ，即

$$m = \pm Fh = \pm F'h \quad (1-2)$$

力偶矩的正负号规定：力偶使物体作逆时针方向转动时，力偶矩为正，反之为负。力偶矩的单位与力矩的单位相同，为牛顿·米(N·m)或千牛顿·米(kN·m)。

3) 力偶的性质

① 力偶无合力。由于力偶对刚体只有转动效应，没有移动效应，所以力偶不可能与一个力等效，也不能与一个力平衡。因此，力偶是一个不平衡的、无法再简化的特殊力系。

力偶只能与力偶等效。如果在同一平面内的两个力偶，它们的力偶矩大小相等且转向相同，则这两个力偶对物体产生的转动效应必定相同，这样的两个力偶称为等效力偶。

② 力偶的转动效应与矩心的位置无关。力偶在其作用面内任意移动，而不改变它对刚体的作用。这是力偶与力矩的本质区别。

③ 在保持力偶矩大小和转向不变的条件时，可以任意改变力和力偶臂的大小，而不会改变力偶对物体的作用效果。

基于力偶的上述性质，当物体受力偶作用时，可不必像图 1-3(a) 中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 ，如图 1-3(b) 所示。

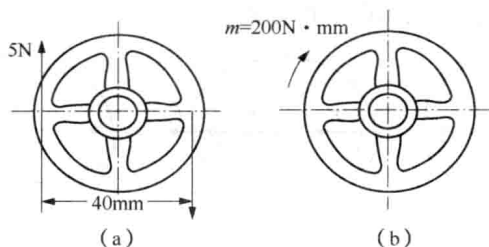


图 1-3 力偶的表示方法

1.1.4 静力学公理

静力学的公理，是人们经过长期的观察与实验，从大量的事实中概括和总结出来的客观规律，这些公理说明了力的基本性质，是静力学的理论基础。

公理一 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是：两个力大小相等，方向相反，并且在同一条直线上，如图 1-4 所示。

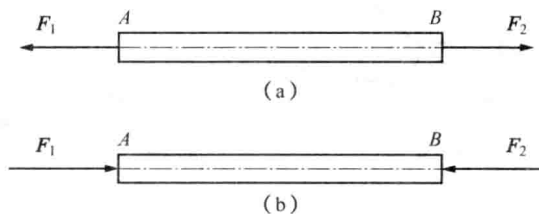


图 1-4 二力平衡

这个公理总结了作用于刚体上最简单力系的平衡条件。

工程上的构件，尽管几何形状多种多样，但只要是在二力作用下处于平衡，就称为二力

构件。当构件的形状为杆状时，则称为二力杆。根据二力平衡条件可以断定，二力杆上的两个力，其作用线必定沿作用点的连线方向，如图 1-5 所示。

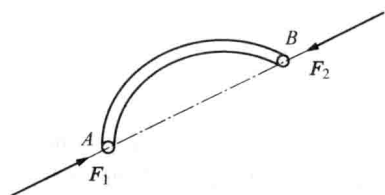


图 1-5 二力构件

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上，增加或减去一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理是力系简化的依据，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用效果是相同的，因此可以等效代换。

推论 力的可传性原理

作用在刚体上的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用效果。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点[图 1-6(a)]。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点 B ，并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使 $F_2 = -F_1 = F$ [图 1-6(b)]。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系，可除去，则刚体上只剩下作用于 B 点的一个力 F_2 [图 1-6(c)]。显然， F_2 与原来作用于 A 点的力 F 等效。

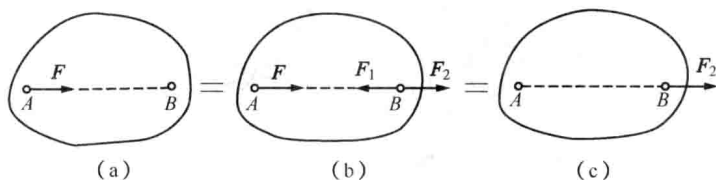


图 1-6 力的可传性

力的可传性只适用于刚体，而不适用于变形体。因为当把物体看成变形体讨论力的内效应时，力的移动常会引起变形性质的变化。由于力具有可传性，对刚体而言，力的作用点已不是决定力的作用效果的要素，而为作用线所代替。因此，刚体力学中力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

公理三 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力，合力的大小、方向和作用线的位置，可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示，如图 1-7(a) 所示。

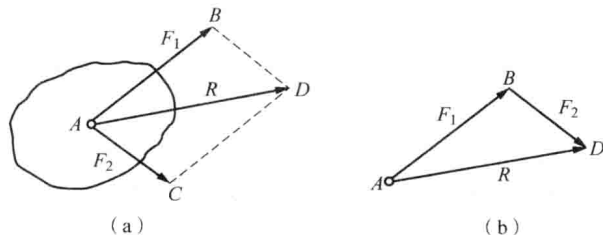


图 1-7 力的合成法则

这个公理总结了最简单力系的简化规律。根据公理所作的平行四边形，称为力的平行四边形。如果以 R 表示两个力的合力，这个公理可表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

即作用在物体上同一点的两个力的合力等于两分力的矢量和。

由平行四边形的性质，力的平行四边形法则可以简化为力的三角形法则，如图 1-7(b) 所示。

应用平行四边形法则，可以进行力的合成与分解，如图 1-8 所示。在工程问题中，应用较多的是力的正交分解。如图 1-9 所示，力 $\mathbf{F}$ 在 xOy 直角坐标系进行正交分解，投影线段 ab 和 $a'b'$ 分别为力 $\mathbf{F}$ 两个分力 $\mathbf{F}_x$ 、 $\mathbf{F}_y$ 的大小，即

$$F_x = F \cos \alpha = ab \quad F_y = F \sin \alpha = a'b' \quad (1-3)$$

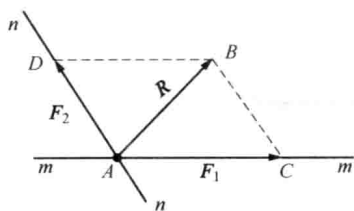


图 1-8 力的合成与分解

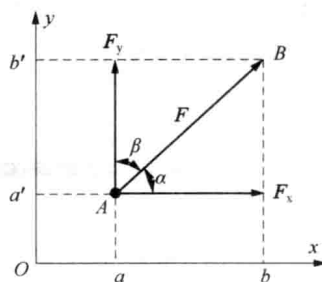


图 1-9 力的正交分解

力在坐标轴上的投影是代数量，当力 $\mathbf{F}$ 的投影指向与坐标轴的正向一致时，力的投影为正，反之为负。

推论 三力平衡汇交定理

刚体在三个力作用下平衡，若其中两个力的作用线相交于一点，则第三个力的作用线也必然交于同一点。

证明 设在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点分别作用有力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ ，其中 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的作用线交于 A 点，如图 1-10 所示。根据力的可传性原理，将 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 分别移到 A 点，然后用平行四边形法则求合力 $\mathbf{R}$ 。用 $\mathbf{R}$ 代替 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的作用，显然刚体在 $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{F}_3$ 作用下平衡。按二力平衡公理， $\mathbf{R}$ 和 $\mathbf{F}_3$ 大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。由此可见， $\mathbf{F}_3$ 的作用线必与 $\mathbf{R}$ 的作用线重合，而且通过 A 点。

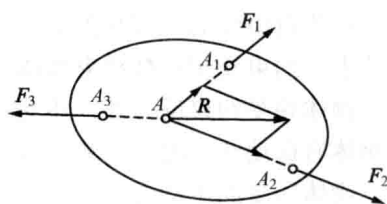


图 1-10 三力平衡汇交定理

当刚体受到三个互不平行的共面力作用而平衡时，常常利用这个定理来确定未知力的方向。

公理四 作用力与反作用力定律

两个物体间的作用力与反作用力大小相等，方向相反，作用线相同，分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理表明，一切力总是成对出现的，有作用力就必有反作用力，它们总是同时产生、同时消失，它们对各自物体的作用效应不能相互抵消。当应用作用力与反作用力定律分析物体的受力情况时，必须要分清谁是施力体，谁是受力体。

必须注意，虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反，且在同一直线上，但决不能认

为这两个力互成平衡。因为这两个力并不作用在同一物体上。这与二力平衡公理中所指的一对力是完全不同的。

公理五 刚化原理

当变形体在已知力系作用下处于平衡时，如果将变形后的变形体刚化为刚体，则平衡状态保持不变。

将变形体刚化为刚体是有一定条件的。如图 1-11 所示，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化为刚体，则平衡状态保持不变；绳索在等值、反向、共线的两个压力作用下不能处于平衡，就不能刚化为刚体。由此可见，对刚体是充分的平衡条件，对变形体就不充分了，但变形体的平衡条件包含了刚体的平衡条件。因此，可以把任何已处于平衡的变形体看成刚体，对它应用刚体静力学的理论进行研究。这就是该公理的意义所在。

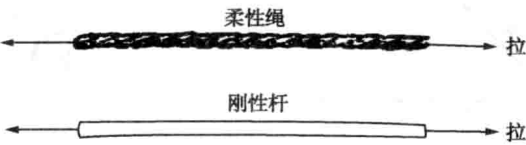


图 1-11 刚化原理

1.2 约束与约束反力

在力学上，按物体的运动是否受到限制，将物体分为自由体和非自由体，在空间可以自由运动而位移不受任何限制的物体，称为自由体，例如空中飞行的炮弹、飞机等。位移受到某些限制的物体为非自由体或被约束体，例如电线吊着的电灯、放在桌面上的木块等。

对非自由体的位移起限制作用的物体称为约束，例如吊电灯的电线、支承木块的桌面都是约束。约束作用在被约束物体上的力称为约束反力，简称反力。

物体除受约束反力外，还受到主动力作用。主动力是指能主动引起物体运动状态改变或使物体有运动状态改变趋势的力，如重力、电磁力以及其他外界载荷(如风力)等。

物体所受的主动力往往是已知的，而约束反力，一般是未知的，是由主动力引起的，所以又称为被动力。约束反力还具有下述特征：

- ① 约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触点处；
- ② 约束反力的方向总是与约束限制的物体的位移方向相反。

下面讨论工程中常见的几种约束类型和约束反力。

1.2.1 柔性约束

由绳索、皮带、链条等柔性物体所构成的约束统称为柔性约束，这类物体的特点是只能承受拉力，不能抵抗压力。它只能限制物体沿柔性物体伸长方向的位移。约束反力的作用点在柔性物体与被约束物体的连接点上，力的作用线沿着柔性物体，指向背离物体。约束反力通常用 T 或 S 等表示，如图 1-12 所示。

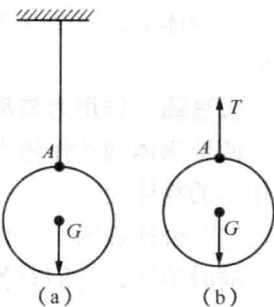


图 1-12 柔性约束

1.2.2 光滑面约束

在滑槽、导轨等光滑支承表面所构成的约束称为光滑面约束。由于光滑面与被约束物体之间的摩擦力很小，可以忽略不计。这种约束只能限制物体沿着接触点的公法线朝向支承面的运动。因此，光滑面的约束反力通过接触点，方向沿光滑面的公法线并指向被约束的物体，如图 1-13 所示。

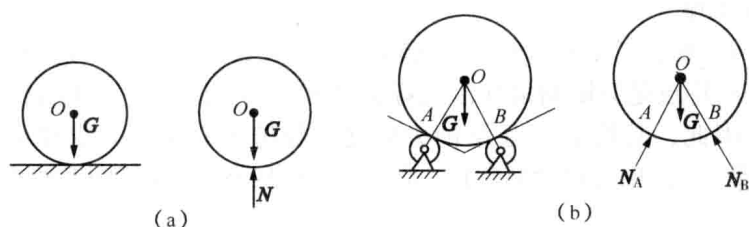


图 1-13 光滑面约束

1.2.3 光滑铰链约束

1) 圆柱铰链和固定铰链支座

如图 1-14(a) 所示，在被联接的两构件的圆孔内插入一个光滑的圆柱形销钉，这种约束称为圆柱铰链，表达简图如图 1-14(b) 所示。例如合页、曲柄与连杆间的连接都属于这种约束。如果其中一个物件固定，则称为固定铰链支座[图 1-15(a)]，表达简图如图 1-15(b) 所示。

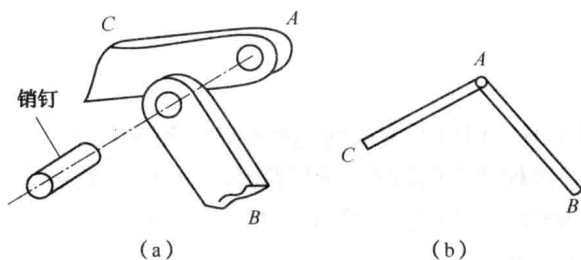


图 1-14 圆柱铰链

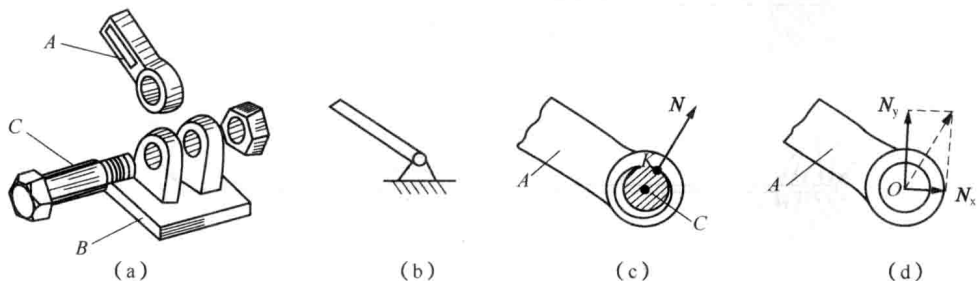


图 1-15 固定铰链支座

铰链约束只能限制两物体的相对移动，不限制两物体绕销钉轴的转动。销钉与圆孔的接触为两个光滑圆柱面接触。因此，约束反力的作用线沿圆柱面上接触点处的公法线方向，并且必然通过销钉的中心，如图 1-15(c) 所示。但其方向应根据物体的受力情况而定，因为物体可绕销钉转动，所以物体与销钉接触点的位置也是随着构件的受力情况不同而异，约束反力 N 的方向也随之变化，不能预先确定。为了计算方便，通常用两个正交分力 N_x 和 N_y 表示，其指向可任意假定[图 1-15(d)]。

2) 活动铰链支座

如图 1-16(a) 所示，支座下面装有滚轴，可以沿支撑面移动，这种约束称作活动铰链支座。该支座的特点是只限制构件沿支撑面法线方向的运动，不限制构件沿支撑面切线方向的运动。因此，其约束反力 N 的方向通过铰链中心垂直于支撑面，但指向不定，可以指向物体(受压)，也可以背离物体(受拉)。活动铰链支座简图及约束反力如图 1-16(b) 所示。

工程中，一些屋架、桥梁架都由用杆件在两端适当连接而成的，这种结构叫作桁架。图 1-17 为一种桁架的计算简图，在不考虑各杆重量的情况下，桁架中的每个杆都可以看作二力杆。

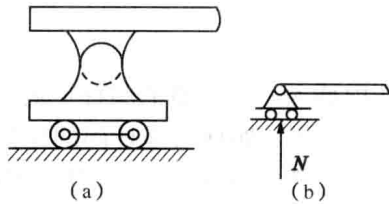


图 1-16 活动铰链支座

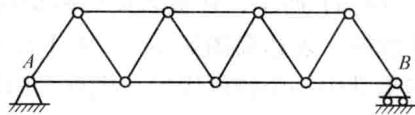


图 1-17 桁架结构

1.2.4 固定端约束

构件的一部分固嵌于另一构件所构成的约束称为固定端约束，如图 1-18(a) 所示，图 1-18(b) 是其表达简图。这种约束的特点是限制物体在平面内的移动和转动。

构件在固嵌部分所受的力比较复杂[图 1-18(c)]，约束反力通常用正交的两个分力和一个力偶来表示[图 1-18(d)]。

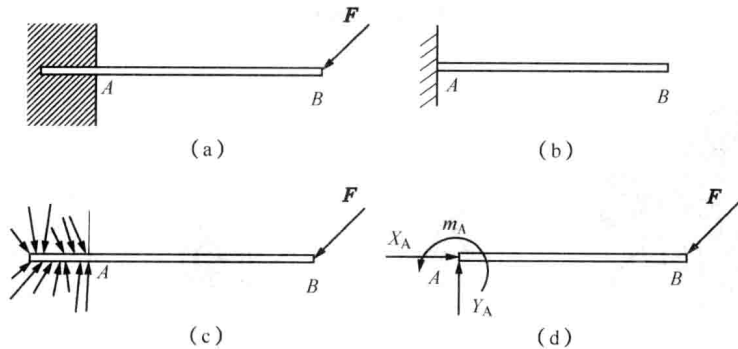


图 1-18 固定端约束

1.3 受力图

解决力学问题首先要明确研究对象。确定研究对象之后，就要对研究对象进行受力分析。受力分析时，要把研究对象从与它联系的周围物体中分离出来，这种解除约束的自由体称为分离体。然后，将所受的全部主动力和约束反力画在分离体上。这就是构件的受力图。受力图就是表示分离体及其受全部外力的图形。

恰当地选择研究对象，正确地画出研究对象的受力图是解决工程问题的关键步骤。下面举例说明如何画受力图。

例 1-1 如图 1-19(a) 所示，两个油桶放于地下槽中，桶 I、II 的重力分别为 G_1 、 G_2 。画出两个油桶的受力图。

解 ① 先取桶 I 作为研究对象，解除约束成为分离体。再画上主动力：重力 G_1 。最后画上约束反力：在 A 和 B 两处受到光滑面约束，约束反力为 N_A 、 N_B 。受力图如 1-19(b) 所示。

② 再取桶 II 为研究对象，并使其成为分离体。画主动力：除重力 G_2 外，还有桶 I 传来的压力 N'_B 。画约束反力：在 C、D 两处受到光滑面约束，约束反力为 N_C 和 N_D 。受力图如 1-19(c) 所示。

注意到 N'_B 和 N_B 为作用力与反作用力，即 $N'_B = -N_B$ ，分别画在两个油桶的受力图上。

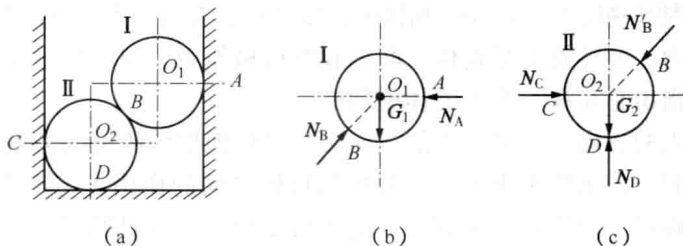


图 1-19 例 1-1 附图

例 1-2 画出图 1-20(a) 中 AB 梁的受力图。

解 研究对象选取 AB 梁，并解除约束。画上主动力 F 。画约束反力：B 端为活动铰链，约束反力 N_B 沿接触点的公法线；A 端为固定铰链，约束反力 N_A 过 A 点方向不定。由于 F 和 N_B 的作用线有交点 D，根据三力平衡汇交定理， N_A 的作用线也通过 D 点，如图 1-20(b) 所示。 N_A 方向不定时，也可以用两个正交的 X_A 、 Y_A 分力表示[图 1-20(c)]。

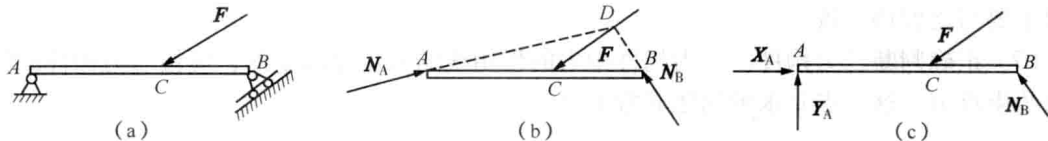


图 1-20 例 1-2 附图

例 1-3 有一台起重机构如图 1-21(a) 所示，梁 AB 自重为 W ，拉杆 BC 自重不计，试分别画出拉杆 BC、梁 AB 及整体的受力图。

解 ① 拉杆 BC：该杆无主动力(自重不计)作用，两端为铰链约束，杆仅在其两端的两