

高等工业学校试用教材

化工机械基础



浙江工学院机械基础教研室编

HUAGONG JIXIEJICHU



前 言

这套《化工机械基础》教材，是我室经过多年试用、多次改编而成的。编写本教材的目的是供化工工艺类专业少学时机械课教学之需，总学时数（包括课程设计）在145左右，我们试图既能提高教学质量，又能减轻学生负担。

为便于使用，这次装订成四册：第一册，静力学（附习题）；第二册，材料力学（附习题）；第三册，化工常用机构（附习题）；第四册，金属工学和化工容器设计。其中《金属工学》的内容主要在机械工厂实习（3~4周）中解决，一般可安排20学时左右进行理论性内容教学及实验（包括材料机械性能实验2学时，金相观察2学时，如条件许可，可在实习中安排热处理实践和机器装配）。《化工容器设计》的内容，安排30学时，其中讲课时间约10学时，其余学时用于典型化工设备的设计作业，这个作业若能与《化工原理》的课程设计相结合，那将是尤为理想的事。

在单位制方面，一律采用国际单位制（SI）。

对于其它非机械类专业（如工业电气自动化等）设置的机械课程，教学时数较少，在适当增删后，仍可采用这套教材或其中几册。

限于我们的水平和其它条件，教材一定会有缺点和错误，敬请老师和同学们批评指正。

· 编 者 ·

一九八二年九月

浙江工学院
图书馆藏书

目 录

第 一 篇 静 力 学

第 一 章 静力学基本概念和公理

- § 1—1 基本概念..... (1)
- § 1—2 公 理..... (3)
- § 1—3 约束与约束反力..... (6)
- § 1—4 受力图..... (9)

第 二 章 平面汇交力系

- § 2—1 平面汇交力系合成的几何法..... (14)
- § 2—2 平面汇交力系平衡的几何条件..... (15)
- § 2—3 平面汇交力系合成的解析法..... (19)
- § 2—4 平面汇交力系平衡的解析条件——平衡方程式..... (22)

第 三 章 力矩、平面力偶系

- § 3—1 力对点的矩..... (24)
- § 3—2 力偶、力偶矩及平面力偶的等效条件..... (25)
- § 3—3 平面力偶系的合成与平衡条件..... (28)
- § 3—4 共面的一个力和一个力偶的合成, 力的平移定理..... (30)

第 四 章 平面任意力系

- § 4—1 平面任意力系向作用面内一点简化, 力系的主矢和主矩..... (31)
- § 4—2 平面任意力系简化结果的讨论, 合力矩定理..... (33)
- § 4—3 平面任意力系的平衡条件, 平衡方程组的各种形式..... (35)
- § 4—4 平面平行力系的平衡条件..... (42)
- § 4—5 重心和形心的概念..... (44)

§ 4—6	静定与静不定问题的概念	(46)
§ 4—7	物体系统的平衡	(47)
§ 4—8	平面静定桁架的内力分析	(50)

第五章 空间力系

§ 5—1	引言	(54)
§ 5—2	力对轴之矩	(54)
§ 5—3	力向一点平移, 用向量表示力对点之矩	(56)
§ 5—4	以有向积表示力对点之矩	(57)
§ 5—5	力对点之矩与力对通过该点的轴之矩之间的关系	(58)
§ 5—6	空间力系向一点简化, 力系的主向量和主矩	(58)
§ 5—7	空间力系简化的最后结果	(60)
§ 5—8	空间力系的平衡条件和平衡方程	(61)
§ 5—9	空间力系平衡方程式的应用	(63)

第一篇习题 (65)

第一篇 静力学

物体在空间的位置随时间的变动，称为机械运动。这是物质的最简单的运动形式。平衡是机械运动的特殊状态。在工程上，把物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态，称作平衡。例如：在工厂里泵的机座、固定在支座上的容器以及重物被吊车匀速向上提升，这里的机座、容器和重物都是处于平衡状态。

静力学主要研究物体平衡时作用于其上的力系所应满足的条件（称作平衡条件）；同时也研究力系的等效和物体受力分析的基本方法。

为了合理地选用或者设计构件（指机器的零件和设备结构的元件），必须首先了解它们在工作中的受力情况。为此，首先要对物体进行受力分析，然后由已知力出发，运用静力平衡条件，求出未知力，从而弄清构件的全部受力情况。所以，静力学理论是进行构件设计计算时所必备的基础，它在工程技术中的作用是相当大的。本教材的第二篇、第三篇以及容器设计等都将用到这方面的知识。

第一章 静力学基本概念和公理

§ 1—1 基 本 概 念

（一）力的概念

力的概念是人类在长期的生产和生活实践中逐渐形成的。当人们提、举、推、掷、拉物体时，将使该物体由静变动或反之，也可能使其运动速度由快变慢或反之，而人臂上的肌肉则感到紧张。后来人们进一步观察到物体与物体之间也有这样的相互作用。以这种直接的感觉和对机械运动变化的现象长期观察的结果为基础，经过科学的抽象，于是建立了力的概念，这就是：力是物体间相互的机械作用，其结果使物体的运动状态发生变化（包括物体的形状发生变化）。以水库工地上用锤打桩来说，当锤与桩撞击时，锤与桩之间就有相互作用的力。桩受到锤的撞击力由静变动，而锤同时受到桩的反作用力运动由快变慢。在这同时，桩和锤都发生了一定的变形。显然，力既有使物体的运动状态发生改变的效应，也有使物体发生变形的效应。前者称为力的运动效应，或者称为力的外效应；后者称为力的变形效应，或者称为力的内效应。其实，变形也是物体内部各部分运动状态变化的结果，但因其具有特殊性，所以把它与通常所说的运动状态的改变区别开来。力的变形效应（内效应）将在第二篇中讨论。本篇只讨论力的运动效应（外效应）。因此，除特加说明外，

以下所提“效应”均指力的运动效应。

力对物体的效应决定于三个因素，即力的大小、方向和作用点，通常称为力的三要素。

量度力的大小的单位，在国际单位制（SI）中是牛顿（中文代号为牛，国际代号为N）。目前工程上还采用公制，力的单位是公斤力（记作kgf）。本篇采用SI制。牛顿和公斤力的换算关系是：

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

力的方向包含方位和指向两个意思，如铅垂向下，水平向左等。

力的作用点就是力对物体作用的位置。一般说来，力的作用位置并不是一个点，而往往是物体的某一部分面积或体积。例如两物接触时，它们之间的相互压力，分布在接触表面上；重力则分布在物体的整个体积上。但在很多情况下，我们可以把分布力简化为作用于一个点上的集中力。例如当分布力作用的面积很小以至可以不计其大小时，就可把该面积抽象为一个点，而认为力集中作用于这一点上。又如在研究重力对物体的效应时，也可把重力简化为集中作用于物体的重心上。通过力的作用点，沿力的方向所画出的线，称为力的作用线。

力既具有大小和方向，又服从矢量的平行四边形法则（下面还将讲述），所以力是矢量（也称向量）。它可用有向线段（矢线）来表示：矢线的始端（或末端）表示力的作用点，线段的方位和箭头的指向表示力的方向，线段的长度（按一定的比例尺画出）表示力的大小。在本篇中力的矢量用符号 $\vec{F}$ 、 $\vec{T}$ 、 $\vec{P}$ 等表示，而符号 F 、 T 、 P 等则表示力的大小，要注意两者的区别。图1—1中表示工人推小车的力 $\vec{F}$ ，作用在B点，它的方向由线段AB和箭头表示，系水平向右，其大小 $F=50 \text{ N}$ ，KL为力的作用线。

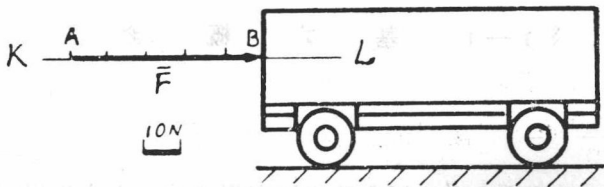


图 1—1

二个或二个以上的力作用在同一物体上，这一群力称为力系。作用于物体上的力系如果可以用另一个适当的力系来代替而效应相同，那么这两个力系互称等效力系。

（二）刚体的概念

一般而论，力的运动效应和变形效应是同时发生的。但在工程上，绝大多数构件在力的作用下发生的变形是相当小的，有的甚至只有专门的仪器才能测量出来。例如，吊车梁或架空管道的允许挠度应小于跨度的五百分之一；而机械中的轴，其最大挠度都在轴承间距的万分之五以下。这种微小的变形对于力对物体运动效应的研究影响极小，因此可以略去不计。这样，就可以把物体看作是不变形的。在外力作用下形状和大小都保持不变的物

体称为刚体。刚体是对物体进行抽象简化后得到的一种理想模型。本篇主要讨论刚体静力学。

然而，当变形这一因素在所研究的问题中跃居主要地位时（例如在本书第二篇中的许多问题），就不能把物体看作是刚体了。

§ 1—2 公 理

在长期的实践、认识、再实践、再认识的过程中，人类不仅建立了力的概念，而且还概括出作用在刚体上的力系所具有的一些最基本的性质。其中有关静力学方面的称作静力学公理。这些公理直接来自实践，而且又为尔后的生产实践和科学实验所证实。静力学公理一般可归纳成四条。

（一）二力平衡公理

最简单的平衡力系由两个力组成。要使作用于同一刚体的两个力成平衡，其必要和充分的条件是：这两个力的大小相等，方向相反，作用线相同（简称等值、反向、共线）。例如用吊车提升重物（图 1—2），重物受到钢丝绳拉力 $\bar{T}$ 和重力 $\bar{G}$ 的作用，这两个力方向相反、作用在同一直线上。实践表明，要使重物匀速上升、匀速下降、或静止（即处于平衡状态），还必须使 $T = G$ 。不然，若 $T > G$ ，则重物加速上升；若 $T < G$ ，则重物加速下降。

另需说明，当绳索的两端受等值、反向、共线的压力时，就不能平衡。这是一种特殊情况。



图 1—2 三

（二）加减平衡力系公理

在任一力系中加上一个平衡力系或从其中减去一个平衡力系，不会改变原力系对于刚体的运动效应。因为一个平衡力系不会改变刚体的运动状态，所以，在刚体上加减任意平衡力系，刚体的运动状态将不会改变。换句话说，只相差一个平衡力系的两个力系，作用效果相同（简称等效），可以相互替换。

利用二力平衡公理和加减平衡力系公理，可以得到一个重要推论，即：作用在刚体上的力可沿其作用线移到该刚体上任一点而不改变此力对该刚体的运动效应。力的这个性质称为力的可传性原理。

例如，力 $\bar{F}$ 作用在小车的 A 点（图 1—3 a），在力的作用线上任取一点 B，在该点加上等值、反向、共线的一对力 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ ，并使 $F_1 = F_2 = F$ （图 1—3 b）。根据二力平衡公理， $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 是一对平衡力，按加减平衡力系公理，它们的存在不会影响力 $\bar{F}$ 对小车的运动效应。因此，力 $\bar{F}$ 与力系 $\bar{F}$ 、 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 等效。而力 $\bar{F}$ 与 $\bar{F}_2$ 也是一个平衡力系，若把它们去掉也不会改变原力系对小车的运动效应（图 1—3 c）。亦即力系 $\bar{F}$ 、 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 与力 $\bar{F}_1$ 等效。因此，力 $\bar{F}_1$ 与力 $\bar{F}$ 等效。对比图 1—3 a 与 1—3 c，因 $\bar{F} = \bar{F}_1$ ，显见力 $\bar{F}$ 可沿作用线等效地移到任意点 B。由实践经验也可知，用力 $\bar{F}$ 在 A 点推小车与用力 $\bar{F}_1 (= \bar{F})$

在B点拉小车，两者的运动效应是一样的。

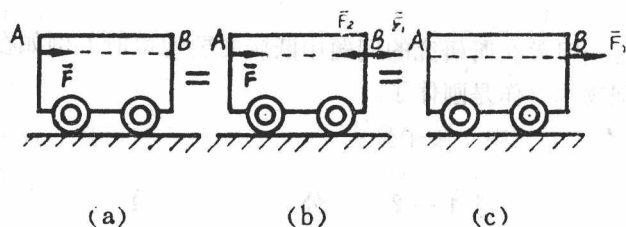


图 1—3

由此可见，就力对刚体的运动效应来说，力的作用点已不再是重要因素。也就是说，我们只须知道力的作用线，至于作用线上的哪一点是力的作用点，则无关紧要。

必须注意，运用力的可传性不会改变力对物体的外效应，但会改变力对物体的内效应。例如，图(1—4a)，直杆AB的两端受到力 $\overline{F}_1$ 、 $\overline{F}_2$ 的作用，若两力等值、反向、共线，则直杆处于平衡。现将两力沿作用线分别移到杆的另一端(图1—4b)，显然直杆仍然处于平衡状态，这说明力沿作用线移动并不改变它的运动效应。但是在图(1—4a)的情况下，直杆产生拉伸变形；而在图(1—4b)的情况下，直杆则产生压缩变形。可见，当必须考虑力对物体的变形效应时，力的作用点是不能沿其作用线任意移动的。

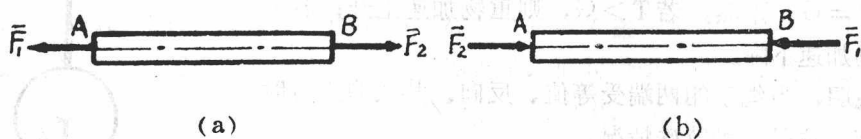


图 1—4

(三) 力的平行四边形法则

作用于刚体上的力系如果可以用一个力代替而不改变对刚体的效应，这个力就称为力系的合力，而力系中的各个力称为分力。由各分力求合力叫做力的合成。共点力的合成符合下述规律：作用于物体上同一点互成角度的两个力可以合成为一个合力，合力也作用于该点，合力的大小和方向由表示这两分力的有向线段为邻边所构成的平行四边形的对角线确定(图1—5a)。这就是力的平行四边形法则。图中 $\overline{R}$ 表示合力， $\overline{F}_1$ 、 $\overline{F}_2$ 表示分力。按此法则，两力相加(合成)不能简单地求算术和，而要用平行四边形法则求几何和，或称矢量和。用等式来表示即为：

$$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2 \quad (1-1)$$

为了求出合力 $\overline{R}$ 的大小和方向，可以用几何作图法，或利用几何关系计算。用几何作图法时，可选取恰当的比例尺作成平行四边形，然后直接从图上量取对角线的长度，按先前比例尺折算出合力 $\overline{R}$ 的大小。对角线与分力间的夹角表示合力的方向，可用量角器量出。利用几何关系计算时，若已知力 $\overline{F}_1$ 、 $\overline{F}_2$ 的大小和它们的夹角 α ，由余弦定理可得

合力的大小为：

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-2)$$

应用正弦定理，则可求得合力 $\bar{R}$ 与分力 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 之间的夹角 φ_1 、 φ_2 。

$$\frac{F_1}{\sin\varphi_2} = \frac{F_2}{\sin\varphi_1} = \frac{R}{\sin(180^\circ - \alpha)}$$

所以
$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2\sin\alpha}{R}, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_1\sin\alpha}{R} \quad (1-3)$$

力的平行四边形法则同样适用于不共点，但它们的作用线汇交的二力的合成，这时合力通过原二力作用线的交点。

有时，我们不用平行四边形法则而用三角形法则求合力的大小和方向：如图 1-5 b 中，我们在刚体外任一点 A' 作矢量 $A'B'$ 代表力 $\bar{F}_1$ ，再从 $\bar{F}_1$ 的终点 B' 作矢量 $B'D'$ 代表力 $\bar{F}_2$ ，最后从 $\bar{F}_1$ 的起点 A' 向 $\bar{F}_2$ 的终点 D' 作矢量 $A'D'$ ，则 $A'D'$ 即为合力 $\bar{R}$ 。如果先画 $\bar{F}_2$ 后画 $\bar{F}_1$ (图 1-5 c)，也能得到相同的合力 $\bar{R}$ 。可见画分力的先后次序不同，并不影响合力 $\bar{R}$ 的大小和方向。但应说明，力三角形只表明各力的大小和方向，而不表示力的作用点或作用线。

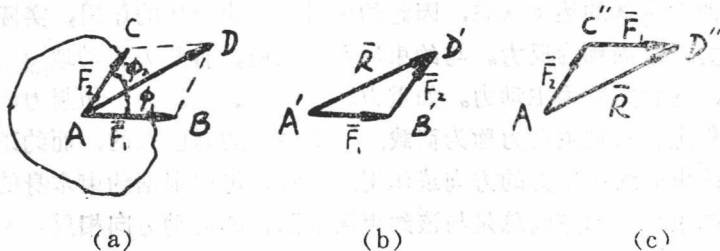


图 1-5

从这法则可以推导出有关三力平衡的一个条件，即若作用于刚体上同一平面不平行的三个力组成平衡力系，则这三力的作用线必相交于一点。称作不平行三力平衡汇交定理。

如图(1-6)中，刚体的 A、B、C 三点上有力 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 、 $\bar{F}_3$ 作用。若三力组成平衡力系，则 $\bar{F}_1$ 与 $\bar{F}_2$ 之合力 $\bar{R}_{12}$ 必定与 $\bar{F}_3$ 平衡，即 $\bar{F}_3$ 与 $\bar{R}_{12}$ 满足二力平衡公理，故 $\bar{F}_3$ 必须与 $\bar{R}_{12}$ 共线。因而， $\bar{F}_3$ 必定通过 $\bar{F}_1$ 与 $\bar{F}_2$ 之交点。当物体只受同平面不平行三力作用而处于平衡时，我们可以利用这个条件来确定其中任一未知力的方向。

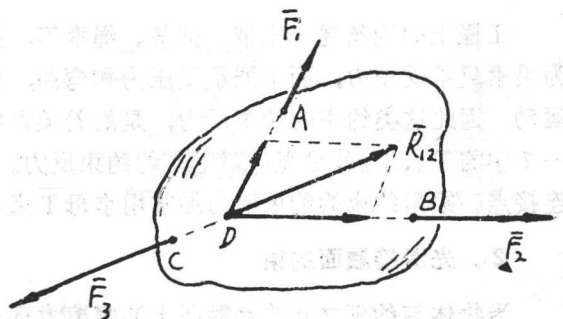


图 1-6

(四) 作用与反作用定律

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在，两力的大小相等，作用线相同而方向相反，分别作用在该两物体上。这一定律表明，作用力与反作用力是一对矛盾，其中任何一方都不能离开对方而孤立存在。

作用和反作用定律是力学中的一个基本定律。机械中动力的传递，都是通过机械零部件之间的作用与反作用的关系而实现的。借助于这个定律，我们才能从对机械的一个零部件的受力分析，过渡到对另一个零部件的受力分析。

值得注意的是，作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的，所以绝对不能把它们作为平衡力系来对待。

§ 1—3 约束与约束反力

工程中物体的运动大多是受到某些限制的。例如，机车受到钢轨的限制，只能有沿轨道的位移；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动，而不能有其它的位移……位移受到某些限制的这些物体称为非自由体。起限制位移作用的物体称为约束。例如，吊车钢索对于重物、钢轨对于机车、轴承对于电机转子、混凝土基础对于塔器等等，都是约束。显然，约束是以物体间相互接触的方式构成的。既然约束能阻碍被约束物体（即非自由体）的运动，亦即能改变物体的运动状态，因此约束对被约束物体的作用，实际上就是力，这种力称为约束反力，常简称为反力。与约束反力相对应，有些力主动地使物体运动或使物体有运动的趋势，这种力称为主动力。如重力、水压力、土压力、切削力、电磁力等等，都是主动力。工程上也常把主动力称为荷载。一般主动力是已知的，而约束反力是未知的。但是，某些约束的约束反力的方向或作用线位置，可以根据约束本身的性质加以确定，其原则是：约束反力的方向总是与该约束所能阻碍的运动方向相反。例如电线限制电灯铅垂向下运动，所以电线对电灯的约束反力方向是垂直向上的；又如你坐的椅子的靠背限制你的身子向后运动，所以靠背对你身体的约束反力方向是向前的等等。至于约束反力的大小，总是未知的，需要运用平衡条件把它求出来。

下面介绍约束的几种基本类型及其约束反力的确定方法。

1. 柔索约束

工程上的钢丝绳、皮带、链条、绳索等，都可以简化为柔索。在一般情况下，可以认为柔索只承受拉力，而不能承受压力和弯曲，也就是柔索只能限制物体沿柔索伸长的方向运动。因此这类约束的约束反力，是沿着柔索中心线，并只能是拉力，即背向物体。图 1—7 中的 $\overline{T}_A$ 、 $\overline{T}_B$ 就是绳索对电灯的约束反力。这时约束反力的作用点就是约束与物体的连接点。柔索约束的约束反力通常用字母 $\overline{T}$ 来表示。

2. 光滑接触面约束

当物体与约束之间的接触面上的摩擦力远小于物体所受的其它各力，则摩擦力可以忽略不计而认为接触面是“光滑”的。这时，物体可以自由地沿接触面滑动，或沿接触面在接触点的公法线方向脱离接触，但不能沿公法线方向压入接触面。因此，这类约束的约束

反力，必沿接触面的公法线，并只能是压力，即指向物体(图 1—8)。这种约束反力称为法向反力，常用字母 $\bar{N}$ 来表示。

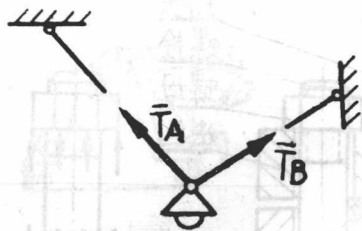


图 1—7

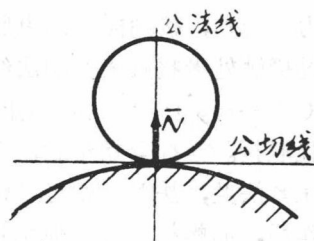
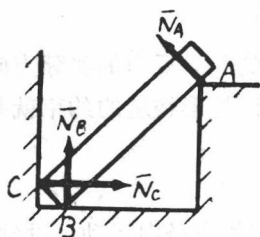
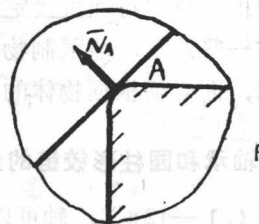


图 1—8

图 (1—9 a) 中，物体受约束处为尖角接触，在这种情况下，只要把尖角看成为一个小圆弧 (图 1—9 b)，就可以按照上述结论画出约束反力 $\bar{N}_A$ 、 $\bar{N}_B$ 和 $\bar{N}_C$ 了。



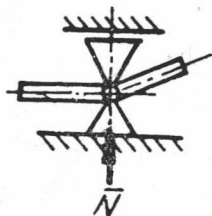
(a)



(b)

图 1—9

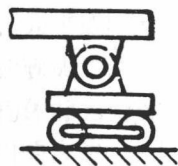
活塞式压缩机的十字头 (图 1—10a)，啮合齿轮的齿面 (图 1—10b) 以及桥梁的滚动支座 (图 1—10c、1—10d 是用以表示的简图) 等，当表面非常光滑以致摩擦可以忽略时，都属于这类约束。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 1—10

当接触面不很光滑时，除掉产生沿公法线方向的约束反力外，还可能产生沿接触处切

线方向的摩擦阻力。但应注意的是：即使接触面不很光滑，也只有当物体与接触面沿切线方向有相对运动或运动趋势（譬如沿切线方向有力作用）时，才会产生摩擦力。否则，接触面的约束反力仍然是过接触处沿接触表面的法线方向。

图（1—11a）所示为容器上法兰的螺栓联接。当拧紧螺母后，螺栓、螺母压紧法兰，法兰对螺母、螺栓起支承作用，而螺栓、螺母则受到法兰所给的约束反力。由于螺栓、螺母与法兰并无左右相对运动的趋势，故约束反力仍与接触面相垂直。图（1—11b）画出了法兰对螺栓、螺母的约束反力。

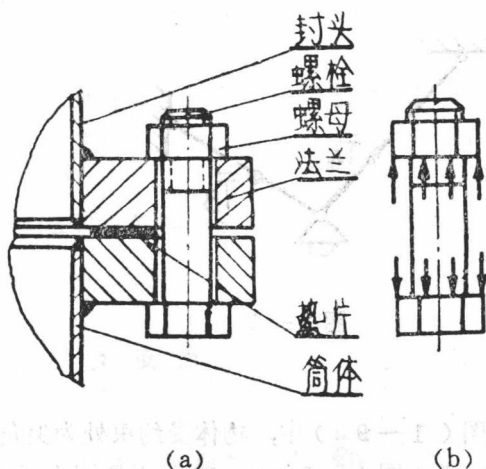


图 1—11

以上两类约束的约束反力方向可以根据约束本身的特性直接定出来。

但是也有一些约束，能限制物体几个方向的运动。这类约束的约束反力的实际方向就不能直接定出，而必须根据物体的平衡条件才能求出。如轴承和圆柱形铰链的约束就是。

3. 轴承和圆柱形铰链的约束

如图（1—12a），轴可以在轴承孔内任意转动，但是不能作径向运动。设轴和孔在

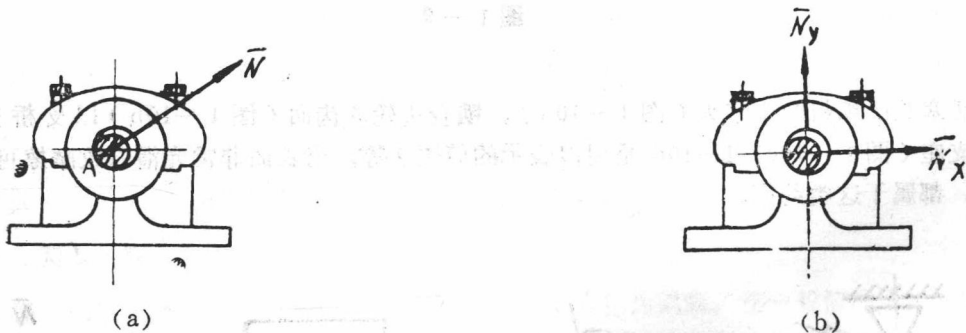


图 1—12

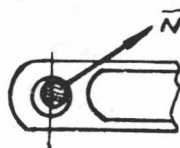
点 A 接触。当忽略摩擦时，轴承对轴的反力 $\vec{N}$ 显然自接触点 A 沿公法线指向圆心。但是，我们不能预先知道接触点的位置。所以，约束反力的具体方向不能直接定出。然而，无论约束反力朝向何方，它的作用线必垂直于轴线而通过孔的中心。这类约束反力通常以两个互相垂直的分力来表示，如图（1—12b）中的 $\vec{N}_x$ 和 $\vec{N}_y$ 那样。

将两个零件的连接部分钻孔，用圆柱形销钉把它们连接起来，使零件只能绕销钉的轴

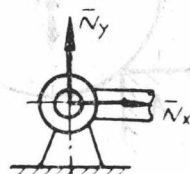
线转动。这种约束，就称圆柱形铰链的约束。如梁的固定铰支座（图 1—13a），回转盖



(a)



(b)



(c)

图 1—13

人孔的盖和孔体的联接（图 1—14）以及门窗上的铰链等，都是这种约束。这种圆柱形铰链和轴与轴承孔的联接相似。因此，它和轴承具有同样的约束性质，即约束反力的方向不能直接定出，但也必须通过铰链中心，如图（1—13b），通常也将其用两个互相垂直的分力来表示，如图（1—13c）和图（1—14）那样。

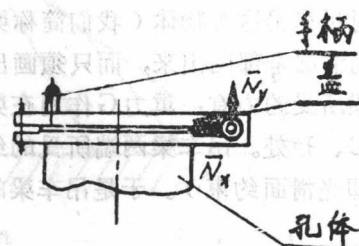


图 1—14

§ 1—4 受力图

静力学中所研究的物体几乎都是受有一定约束的非自由体，它们在主动力与约束反力的作用下保持平衡。为了求出未知的约束反力，总是从与问题有关的许多物体中，选择确定某一个物体（或几个物体的组合）进行受力分析。为了清晰和方便，又总是设想把所选定的物体，从与之关联的周围物体中分离出来，单独画成简图，并画上周围物体作用于它的力（包括主动力和约束反力）。这种被分离出的物体称为研究对象；而画有研究对象及其所受各力的图形称为受力图。下面举例说明受力图的作法。

例 1—1，某容器重 G ，重心在 C 点（图 1—15a），搁置在基础 A 、 B 上。容器与基础之间作光滑面接触。试作容器的受力图。

解：容器受到的力有铅垂向下的重力 $\bar{G}$ ，作用在重心 C ，以及基础 A 、 B 的约束反力 $\bar{N}_A$ 和 $\bar{N}_B$ 。因基础系光滑接触面约束，所以 $\bar{N}_A$ 和 $\bar{N}_B$ 沿着容器与基础接触点的公法线（即通过容器的中心）指向容器。于是容器的受力图就如图（1—15b）所示。

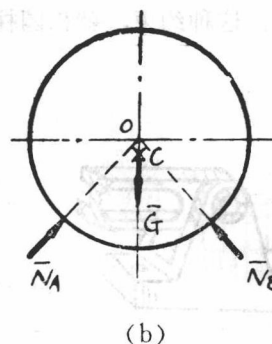
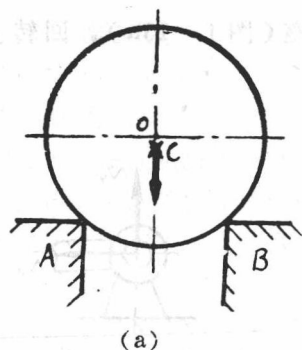
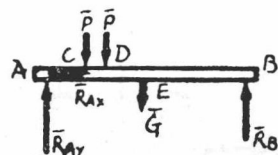
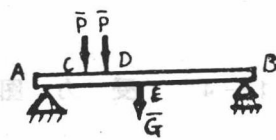
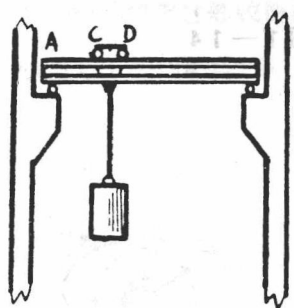


图 1—15

例 1—2，如图（1—16a）表示一吊车梁的工作概况。梁自重为 G ，重心在 E 。吊车的两个轮子对梁的作用力均为 $\bar{P}$ 。试作吊车梁的受力图。

解：对吊车梁这类物体（我们简称梁），当研究它的受力情况时，不必要把它的工作情况和结构情况全部画出来，而只须画出受力的基本特点就行了（图 1—16b）。

吊车梁所受的力有：重力 $\bar{G}$ 作用在梁的重心 E 上。每个吊车轮子对梁的作用力 $\bar{P}$ ，分别作用在 C 、 D 处。吊车梁两端所受的约束， A 端可视为圆柱形铰链约束， B 端可视为滚动支座（即光滑面约束）。于是吊车梁的受力图就如图（1—16c）所示。



(a)

(b)

(c)

图 1—16

通过以上两例，可将画受力图的步骤归纳如下：

（1）明确研究对象，并单独画出其轮廓。这一步，对于初学者来说十分重要。以图（1—16a）来说，牵涉到的物体有吊车梁、吊车、吊钩，被吊物和柱子等。各物体相互之间作用的力很多。到底哪些力该画，哪些力不该画，这完全取决于以那一个物体作为研究对象。如果研究对象含糊不清，画受力图的工作就无法进行。

（2）一个一个地将已知力画上去。

（3）根据约束的类型，一个一个地将约束反力画上去。

根据上述步骤，再举例如下。

例 1—3，有一个化工塔器安装时的起吊概况如图（1—17a）所示。图中塔器正吊到与地面成 45° 倾角的位置。试画出这塔器的受力图。已知塔器重为 G ，重心为 C 点，塔器与地面的摩擦力忽略不计。

解：这个问题粗看起来好象很复杂，其实只要按上述三个步骤进行，问题并不太难。

（1）明确研究对象。本题图（a）中的物体很多，每个物体受力情况各不相同。根据题意，要画的是被起吊的塔器的受力图，所以研究对象是塔器。我们在（图 a）之外，按同样大小和方位，画出塔器的轮廓，并将其上各受力点也标出来。

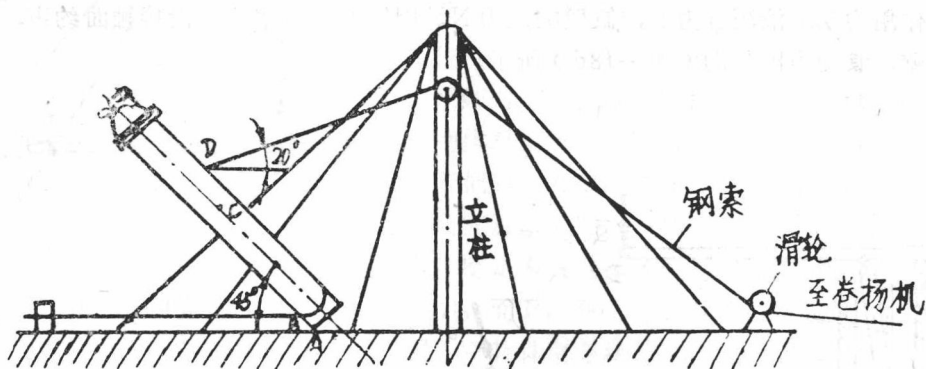


图 1—17 a

（2）画已知力。这时塔器的已知力就是重力 $\overline{G}$ ，作用于重心 C 。

（3）画约束反力。塔器上有三处受到约束反力作用。一是 A 点，直接搁在地上，因摩擦力不计，所以看成光滑面约束，其约束反力 $\overline{N}_A$ 的方向与地面垂直而指向塔器；二是 B 点。三是 D 点。这两处都属于柔索约束，其约束反力 $\overline{T}_B$ 和 $\overline{T}_D$ 的方向，沿钢索中心线而背向塔器。这样，塔器的受力图就如图（1—17b）所示。

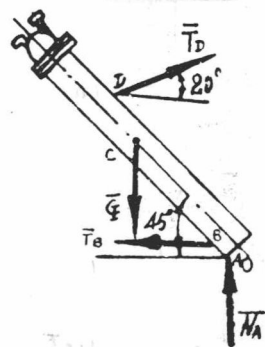


图 1—17 b

例 1—4，手摇泵的简图如图（1—18a）所示。已知泵缸中液压合力为 $\overline{P}$ ，沿泵缸轴线作用。在摇杆 AD 的端点 D 垂直作用手压力 $\overline{Q}$ 。试分别作出摇杆 AD ，连杆 BC 以及活塞的受力图。三者的重量均忽略不计，缸壁与活塞的摩擦力也不计。

解：（1）首先作连杆 BC 的受力图。连杆 BC 的两端是圆柱铰链约束，其约束反力的方向本来不能按约束的性质直接定出。但因连杆本身的重量忽略不计，连杆就只在两端受到两个力 $\overline{S}_B'$ 和 $\overline{S}_C'$ 的作用而保持平衡。根据二力平衡公理， $\overline{S}_B'$ 和 $\overline{S}_C'$ 必须等值、反向、共线。显然只有当此二力的作用线沿着 B 、 C 连线时才能满足“共线”这一条件。这样就可以定出这两个力的作用线位置来。至于 $\overline{S}_B'$ 和 $\overline{S}_C'$ 的指向，既可以按受力情况来判

断，也可以先假定一个指向，再依据计算结果判定事先假定的指向是否正确。于是，连杆的受力图就如图（1—18b）所示。

象连杆这种自重不计，而在两个力作用下处于平衡的杆件称作二力杆件。二力杆件所受的两力，必定沿两力作用点的连线，其方向或者同时指向杆件（受压）或者同时背向杆件（受拉），二者必居其一。

（2）作摇杆AD的受力图。摇杆的A端是圆柱铰链约束，其约束反力用两个互相垂直的分力 $\bar{N}_{Ax}$ 、 $\bar{N}_{Ay}$ 来表示。在铰链B处受到连杆的作用力 $\bar{S}_B$ （与 $\bar{S}_B'$ 互为作用力与反作用力）。此外，还有手压力 $\bar{Q}$ 。摇杆的受力图如图（1—18c）所示。

（3）作活塞的受力图。活塞上受到三个力的作用，即连杆的作用力 $\bar{S}_C$ （与 $\bar{S}_C'$ 互为作用力与反作用力），液压合力 $\bar{P}$ ，缸壁的反力 $\bar{N}$ 。因缸壁与活塞系光滑接触面约束，故 $\bar{N}$ 垂直于缸壁。其受力图如图（1—18d）所示。

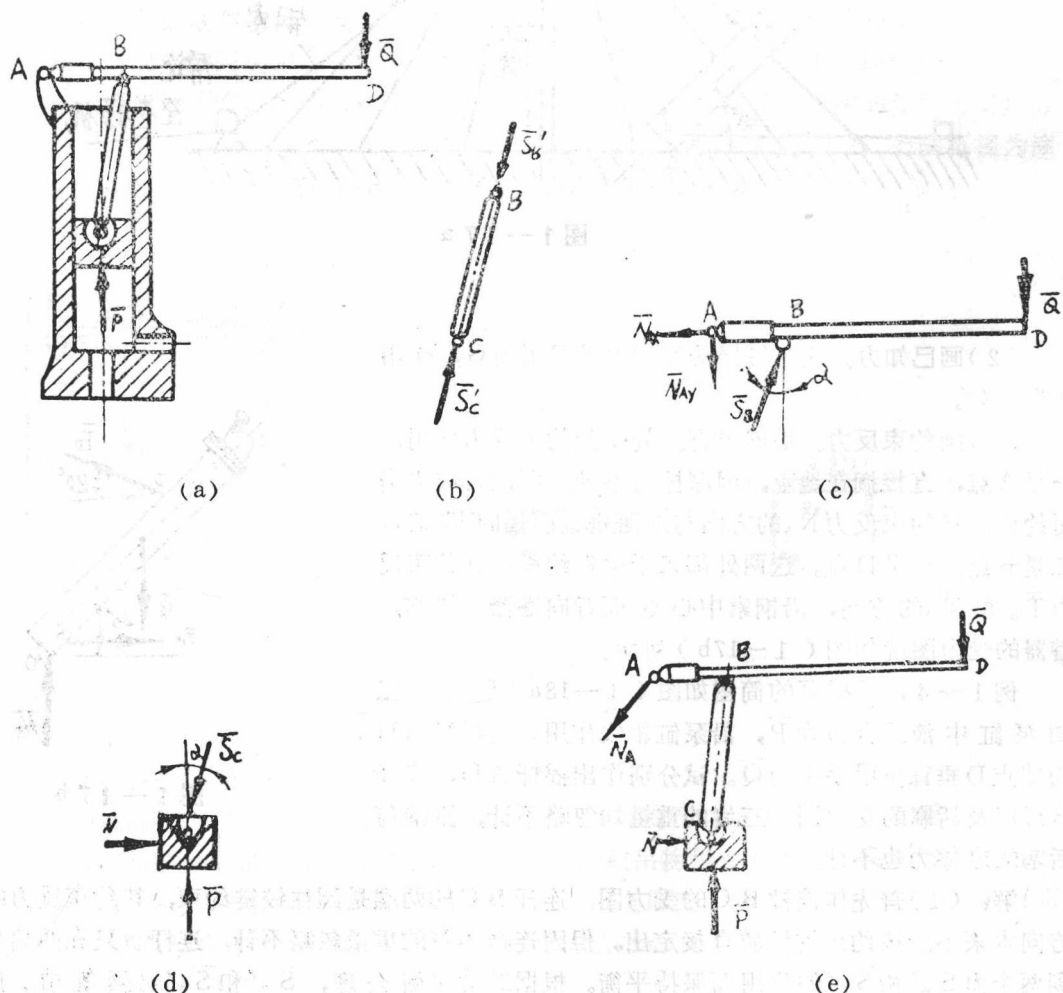


图 1—18

应用不平行三力平衡汇交定理能够确定摇杆AD上约束反力 $\bar{N}_A$ 的作用线方位。这是因为摇杆是受到三个力作用而平衡的，即手压力 $\bar{Q}$ ，连杆的作用力 $\bar{S}_B$ ，以及铰链A的反力

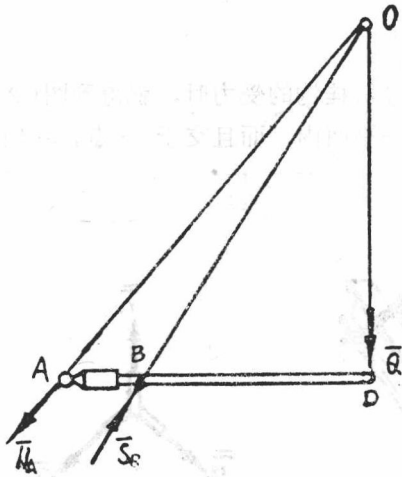


图 1—19

$\bar{N}_A$ 。而在三力中又有两个力 $\bar{Q}$ 、 $\bar{S}_B$ 的方向已知，若分别延长力 $\bar{Q}$ 、 $\bar{S}_B$ 的作用线，则得交点O，连接A、O，则直线AO即为反力 $\bar{N}_A$ 的作用线。至于 $\bar{N}_A$ 的具体指向，可以事先判断，也可事先假定，而依据计算结果判定事先假定的指向是否正确。于是摇杆的受力图又如（图1—19）所示。

在静力学问题中，有时需要对由几个物体组成的系统进行受力分析，研究系统的平衡问题。这时，系统内部各物体之间的相互作用力称为内力，外部物体对系统的作用力称为外力。如在例1—4中，若把摇杆AD，连杆BC和活塞组成一个系统作为研究对象（图1—18e），则 $\bar{S}_B$ 与 $\bar{S}_{B'}$ ， $\bar{S}_C$ 与 $\bar{S}_{C'}$ 都是系统内部各构件相互作用的力，因此都是内力；而 $\bar{P}$ ， $\bar{N}$ ， $\bar{Q}$ 和 $\bar{N}_A$ （或写成 $\bar{N}_{Ax}$ ， $\bar{N}_{By}$ ）则是外部物体对系统的作用力，因而是外力。然而

内力和外力的区分不是绝对的，它们在一定的条件下可以相互转化，如例1—4所分析，当以连杆BC为研究对象时， $\bar{S}_{B'}$ 和 $\bar{S}_{C'}$ 都成了外力。可见，内力与外力的区分，只有相对于某一确定的研究对象来说才有意义。由于内力总是成对、等值、反向、共线，故在画系统的受力图时，不必画出内力，只需画出外力。这也就是为什么在图(1—18e)所示的系统的受力图中，只画出了外力 $\bar{P}$ ， $\bar{N}$ ， $\bar{Q}$ 和 $\bar{N}_A$ 的缘故。