

机械工业出版社

0245055

机 械 基 础

上海机械学院 射流专业
气压传动技术训练班

1975.12.

0245057

江南大学图书馆



91533356

前

在气压传动元件及气动回路中，无论是气动元件的设计计算，还是回路中所采用的各种机械装置，都涉及到不少有关力学、机械方面的知识。为了给学习各有关课程提供一些的基础知识，便于同学们在实践中能简单分析、解决一些有关力学、机械方面的问题。有必要对力学、机械方面的基础知识作些简单介绍。

本篇内容包括三部份：

第一部分、工程力学

第二部分、机械基础

第三部分、自动送料装置。



目 录

第一部分	工程力学	1
第一章	机械运动的一般规律	2
§ 1-1	力的概念和基本性质	2
§ 1-2	物体在平面汇交力系作用下的平衡	10
§ 1-3	物体在平面一般力系作用下的平衡	14
§ 1-4	力与运动 直线运动和圆周运动	24
§ 1-5	摩擦	30
第二章	材料的应力和变形 强度和刚度	35
§ 2-1	拉伸与压缩	35
§ 2-2	剪切与扭转	40
§ 2-3	梁的弯曲	49
第二部分	机械基础	63
第一章	弹性元件	64
§ 1-1	基本知识	64
§ 1-2	弹性元件的材料及许用应力的确定	71
§ 1-3	气弹簧的结构和计算	77
§ 1-4	螺旋弹簧的结构和计算	82
§ 1-5	压力弹簧袋的结构和计算	87
§ 1-6	波纹袋的结构和计算	92
§ 1-7	膜片和膜盒	95

第二章 机械传动 115

§ 2-1 平面四杆机构 115

§ 2-2 凸轮机构 117

§ 2-3 间歇机构 122

§ 2-4 齿轮传动 124

第三部分 自动送料 130

§ 1-1 自动送料概述 130

§ 1-2 自动送料的种类及特点 134

§ 1-3 料斗及料仓送料 143

第一部份 工程力学

工程力学是在长期生产斗争和科学实验中反复实践总结和
发展起来的。它主要包括两部分内容：

一、机械运动的一般规律。包括物体受力的平衡条件和运
动规律。

二、材料内部的应力和变形的规律。包括抵抗破坏（强度）
和抵抗变形（刚度）的能力。统称为材料的承载能力。

气压传动技术中的测量、控制和调节用的仪表和机械中广
泛应用各种构件，我们需要研究它们达到预期运动规律的条件，
也必须研究保证它们具有足够的抵抗破坏和抵抗过份变形的能
力。

我们学习工程力学就是要认识和掌握物体的运动规律和承
载能力，以便在今后的工作中运用这门学科的知识，遵照多快
好省地建设社会主义的总路线精神，为进行气动装置的设计和
选用打下初步的力学基础。

第一章 机械运动的一般规律

§1-1 力的概念及基本性质

一、力的概念

恩格斯指出：“力的概念对我们来说是自然而然地产生的……，特别是臂上的肌肉、我们可以用它来使别的物体发生机械位置的移动。”又说“如果运动从一个物体转移到另一个物体，如果它是自己转移的，是主动的，那末就可以把它看做是被转移的、被动的原因。我们把这种主动的运动叫力，把被动的运动叫做力的表现。因此非常明显，力和力的表现是一样大的，因为它们两者中，完成了同一的运动。”所以运动和力是分不开的。

我们在生产和生活实践中，经常观察到物体互相相互作用后发生运动状态的改变或产生变形，例如推车，由于手对车子的作用，车子就改变它的运动状态（如由静止转入运动，由慢转快等）。又如锻件在铁锤作用下而发生变形。通过长期实践，人们建立了力的概念：力是一物件对另一物体的作用而使该运动状态改变（趋于改变）或使之变形。

上述两种作用，一种是运动状态的改变，在力学上也常称为外效应，而后者也常称为内效应。

实践告诉我们，力对于物体的作用决定于下列三个要素：
(1) 力的大小；(2) 力的方向；(3) 力的作用点。这就是力的三要素。

如果作用于物体上为一组力，则这一组力也称为力系。如果物体在一力系作用下而处于平衡，则此力系称为平衡力系。

在力学中要区别两种量：矢量和标量，如果在确定某种量时，只要考虑它的大小就够了，这种量称为标量，例如体积、时间。如果在确定某种量时，不但要考虑它的大小，还要考虑它的方向，则这种量称为矢量。力是矢量。

二、力的可移性

作用于物体上的力，可沿其作用线任意移动而不改变其外效应。

这一特性是很容易证明的，例如设在物体的A点作用有力 $\vec{F}$ （图1-1），AB为作用线。今欲将力移至B点，则可在B点沿作用线加上一对大小等于 $\vec{F}$ 的平衡力系（ $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ ），因为 $\vec{F}$ 和 $\vec{F}_2$ 作用在同一直线，大小相等，方向相反，显然其对外效应的相互抵消，也就相当于力 $\vec{F}$ 从A点移到了B点。

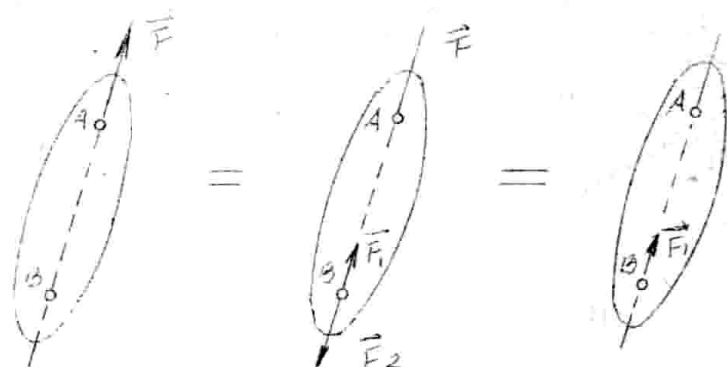


图 1-1

内效应问题将在第二章中讨论，本章只讨论作用于物体上的力的外效应。

三、力的平行四边形定律

列宁教导我们：“一切科学的（正确的、郑重的、非臆造的）抽象，都更正确、更完全地反映着自然。”

实践告诉我们，作用于物体上的几个力，它们对物体的作用，往往可以用一个力来代替而效果相同，这个力称为前面那几个力的合力，而前面那几个力称为分力。将几个分力等效地合并为一个合力，称为力的合成，反之，将一个力等效地分为几个分力，称为力的分解。从实践中，人们归纳出了分力与合力的关系，此关系称为力的平行四边形定律。

力的平行四边形定律：作用于物体上同一点的两个力可以

合成为一个合力，此合力用以两分力为邻边所作成的平行四边形的对角线来表示。

例如，两人分别用力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 拉压路滚子（图1-2），画出力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 。以 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 为邻边作平行四边形，其对角线AD就代表力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 。合力 $\vec{R}$ 对滚子的作用，与分力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 对滚子的合作用相同。

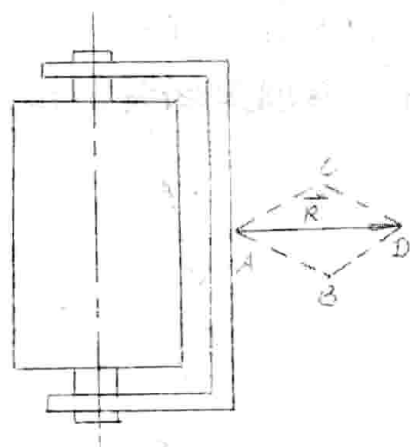
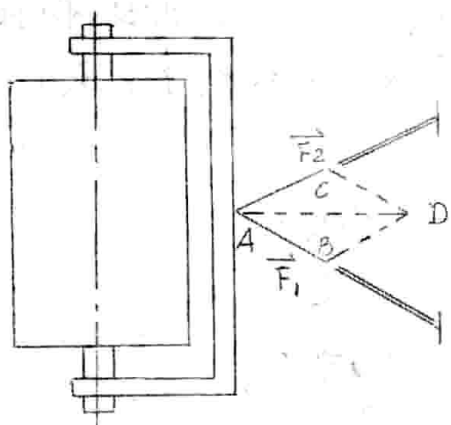


图 1-2

力的平行四边形定律告诉我们，两个力之相加（合成）须按照矢量加法，用数学式子表示，即

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

以上所述是力合成。反之，应用力的平行四边形定律，亦可将一力沿两规定方向将其分解。

四、作用和反作用定律

作用和反作用定律：一物体对另一物体有一作用力时，另一物体对此物体必有大小相等，方向相反且在同一直线上的反作用力。

例如，工人用力向前推车，那么车子必有一向后的反作用力作用于工人的手，这两个力一定大小相等，方向相反，且在同一直线上。如图1-3所示吊钩吊重物的情况，吊钩作用于绳索上一力 $\vec{F}_1$ ，则绳索也必定作用于吊钩上一力 $\vec{F}_2$ ，

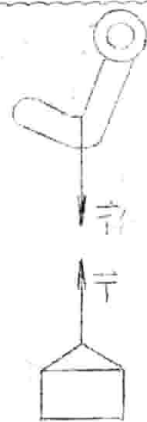


图 1-3

$\vec{T}$ 和 $\vec{T}'$ 是一对作用和反作用力。

必须注意，作用力和反作用力不是作用在同一物体上，而是分别作用在互相作用的两个物体上的。例如推车时作用力作用在车子上，而反作用力却要作用在推车子的手上的。

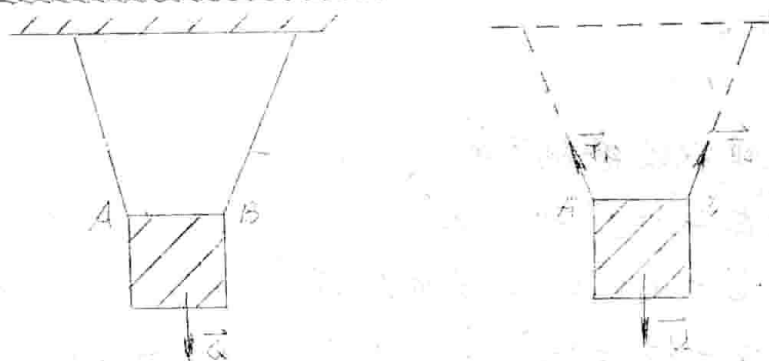
五、约束与反约束力

在工程中，有些物体可以在空间任何方向运动，例如在空中飞行的飞机，这些物体称为自由体。在静力学中研究的物体，其位置大都受到某些限制，例如机床的工作台只能沿导轨滑动，轴只能在轴承中转动，吊索吊住重物限制了重物的向下掉落。由于这种限制，使物体在某些方面的运动就不可能发生。这种物体称为非自由体。那些使物体不能在某些方向运动的限制称为约束，约束施于物体的力则称之为约束反力，简称反力。其方向与约束所阻碍的物体运动方向相反。

约束反力以外的力，即非约束反力（例如重力），统称主动力。

下面介绍几种常见的约束形式。

(1) 绳索等约束，如绳索、皮带等。我们可以认为绳索、皮带等只能承受拉力，而不能抵抗压力和弯曲。根据这一特性，我们可以确定绳索、皮带等这种约束所产生的反力必沿着绳索、皮带等本身，而只能是拉力（图1-4、1-5）。



$\vec{G}$ —— 重力；

$\vec{T}_A, \vec{T}_B$ —— 绳索拉力

图1-4

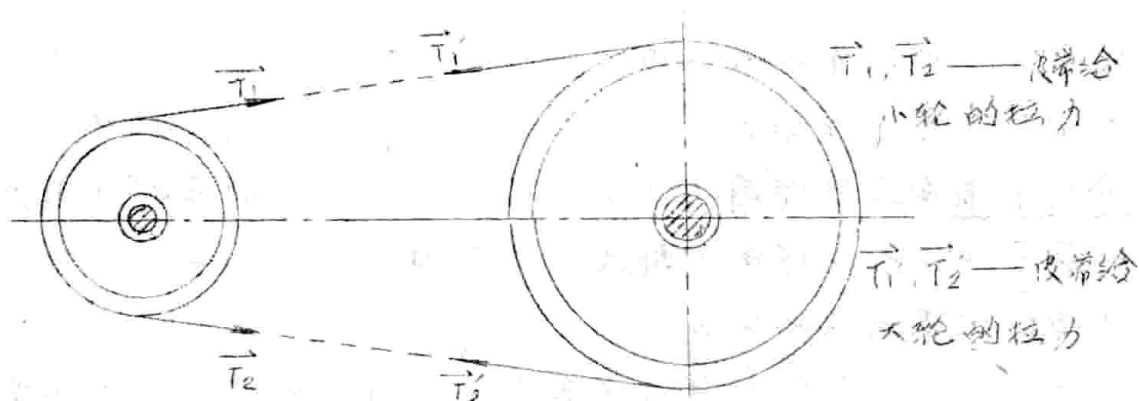
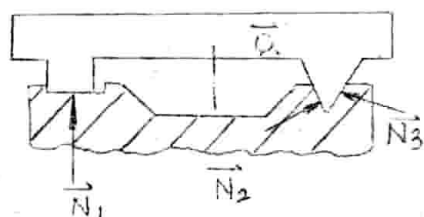


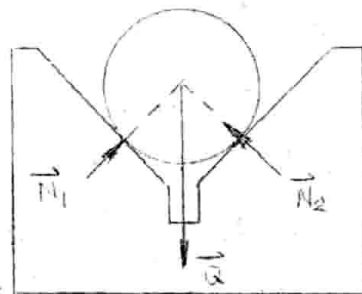
图 1-5

(2) 光滑接触面的约束：如果所研究的物体接触面之间的摩擦力与物体所受其它力相比地很小的，可以略去不计，则这种接触面可以认为是光滑的。此时物体可以自由地沿接触面滑动或离开接触面，但决不能沿公法线方向压入接触面。因此，光滑接触面的约束反力必沿此面的法线而为压力（图 1-6、1-7）。



导轨给工作台的压力

图 1-6



V形槽给轴的反力

图 1-7

(3) 铰接支座或铰接的约束：铰接支座即用圆柱销将活动构件和支座联结在一起（图 1-3a），使构件只能绕销钉轴承转动，而限制了它在与销钉轴线垂直的平面内任意运动的可能性。因此它的约束反力只是一个方向未定的力，因销钉与销钉孔认为是光滑接触，故此反力作用线必通过销钉孔的中心。

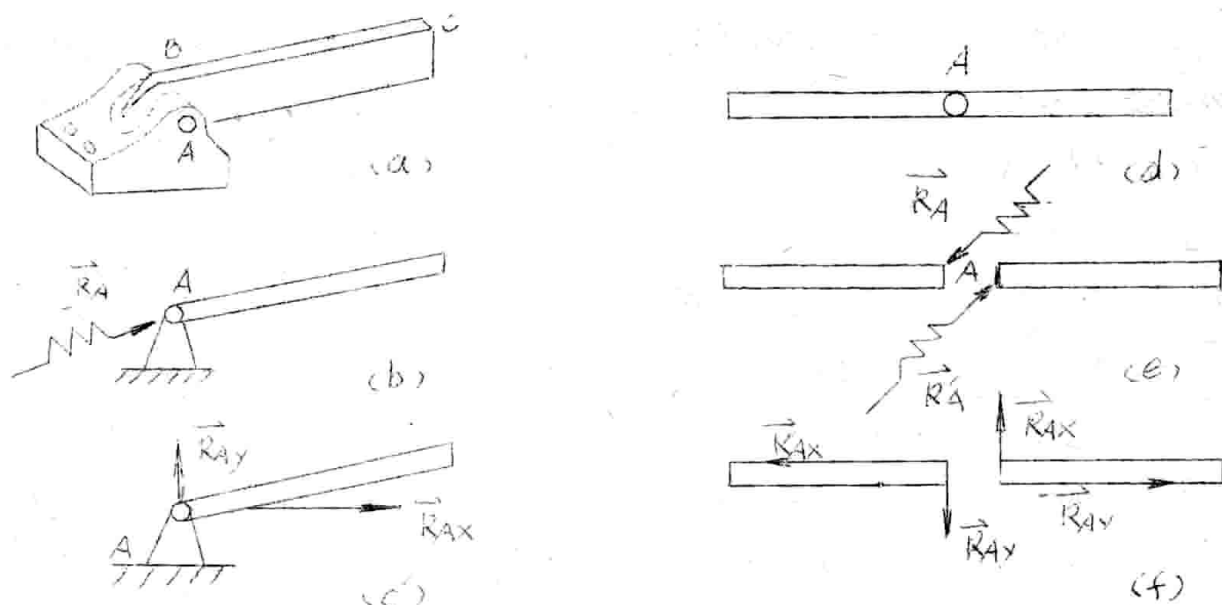


图 1-8

为简化起见，通常将铰接支座绘成如图 1-8(b) 所示。因约束反力方向未定，通常以带波纹的力矢表示，或将此方向未定的力分解成两个相互垂直的分力，如图 1-8(c) 所示。

在工程中，常用销钉将两构件联接。这种联接称为铰接，如曲柄连杆机构中，曲柄和连杆的联接。铰接反铰接时两构件的约束反力，其简图如图 1-8(d)、(e)、(f) 所示。

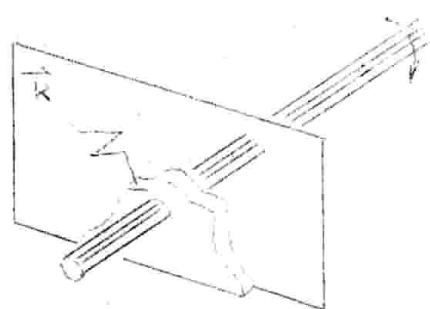


图 1-9

平轴承之约束与铰接反座之约束相同，其约束反力也是垂直于轴线的平面内，通过轴心，但方向不定，见图 1-9。

(4) 辊轴支座的约束：所谓辊轴支座即在铰接反座下装上几个辊轴，以便无阻碍地在支承面上滚动(图 1-10(a))。

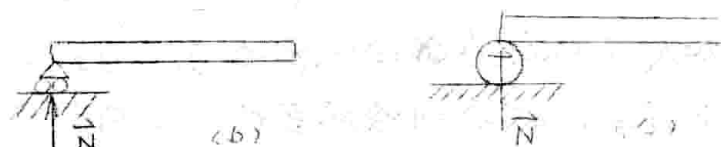
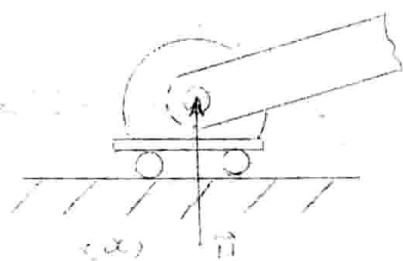


图 1-10

， 辊轴支座因为只能限制构件在支承面法向的移动，构件可以沿支承面移动，也可以绕销钉转动，所以辊轴支座的约束反力必为沿支承面法向而指向压力的反力。

辊轴反力的简图如图 1-10 (b)、(c) 所示。

(5) 连杆的约束：两端铰接而不计自重
的构件称为连杆（图 1-11 (a)）。连杆在气动仪表中应用很广泛。气动仪表中起传动放大作用的四连杆机构及曲柄滑块机构均由连杆组成。

分取连杆 BC 来看，杆 BC 两端各受一力（图 1-11 (b)），如不计杆之自重，则可知在平衡情况下，此两力必在同一直线上，即在 $B、C$ 之连线上。再根据作用和反作用定律，可知 AD 杆在 B 处所受之约束反力必沿 BC 线，但指向不定。通常，连杆约束反力以虚线的矢量表示之。

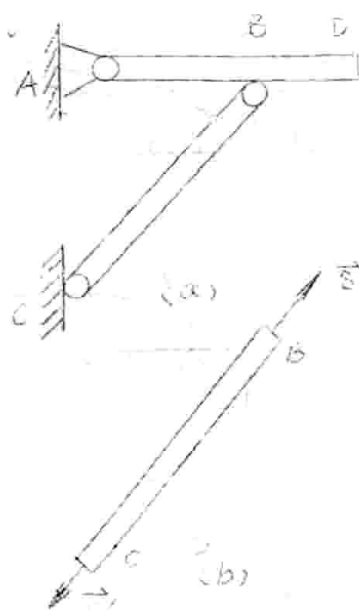


图 1-11

六. 受力图

“就人类认识的秩序说来，总是由以认识个别的事物，逐步地扩大到认识一般的事物”。在我们熟悉了几种常见的约束及其约束反力后，我们就可以进一步来分析物体的受力情况。

在工程实际中，为了便于研究作用于构件上的力起见，通常将所研究的对象和其周围的构件隔离开来，而将作用于该构件上的所有主动力及约束反力全部画出。这样的一张解除约束后的图即称为分离体图或受力图。

例 1. 图 1-12 表示一铁路起重机，停在水平铁轨上。已知起重机的各部份重量为 G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_4 ，重物之重量为 G_5 。试分别绘出重物、动臂和整体之受力图。

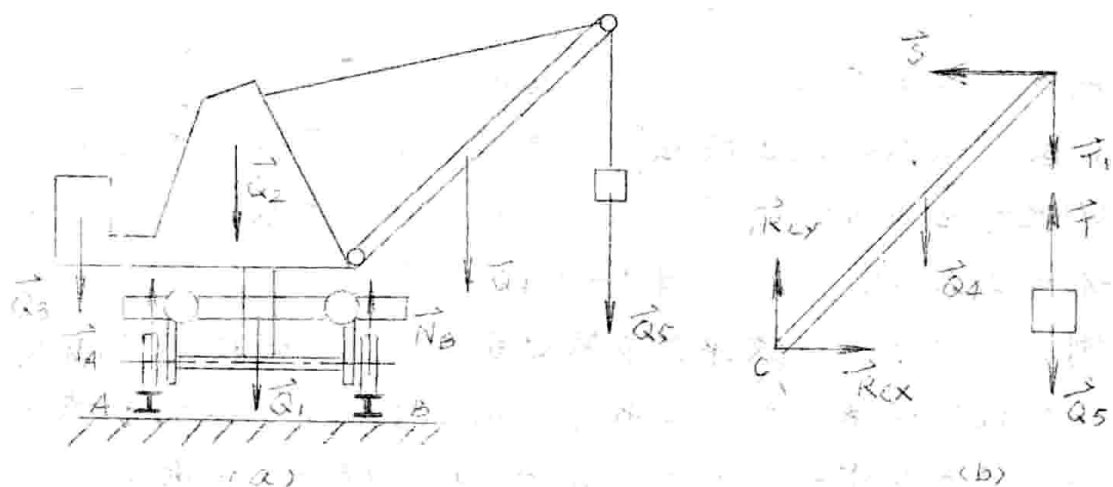


图 1—12

解。重物：作用着重力 $\vec{Q}_5$ 及绳索拉力 $\vec{T}$ ，受力图如图1-12(b)所示。

动臂：受到四个力：(1)重力 $\vec{Q}_4$ ；(2)绳索拉力 $\vec{T}$ ， $\vec{T}$ 方向与 $\vec{T}$ 相反，为一对作用与反作用；(3)绳索中间的拉力 $\vec{S}$ ；(4)铰链C处的反力 $\vec{R}_C$ ，方向未定，可分成 $\vec{R}_{Cx}$ 及 $\vec{R}_{Cy}$ 。

整体：作用有重力 $\vec{Q}_1$ 、 $\vec{Q}_2$ 、 $\vec{Q}_3$ 、 $\vec{Q}_4$ 及 $\vec{Q}_5$ ，此外还有铁轨之反力 N_A 及 N_B （见图1-12(a)）。拉力 $\vec{T}$ ， $\vec{T}$ 以及 $\vec{S}$ 对整体来说都是内力，不必考虑。

例2。图1-13是冲床结构中冲头和连杆的示意图，试分别绘出冲头和连杆的受力图。

解。连杆：因为连杆BC两端铰接，且自重可以忽略不计，所以是两力杆件。杆两端的反力 $\vec{S}_1$ 、 $\vec{S}_2$ 必沿BC线，且 $S_1 = S_2$ 。在图1-13(b)中 $\vec{S}_1$ 、 $\vec{S}_2$ 的指向是根据作用于曲柄AB上的力矩M而定的。

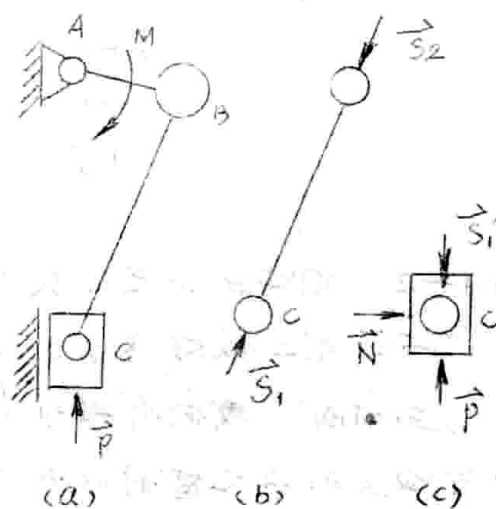


图 1—13

滑块：作用着三个力：(1)主动力 P ，即冲力；(2)滑道之反力 N ，因滑块与滑道之接触作为光滑面考虑，故 N 垂直于接触面；(3)连杆之反力 S_1 ， S_1 与 S_2 是一对作用力与反作用力，故 $S_1=S_2$ ，而其方向必沿 BC 方向（图1-13(c)）。

例3 图1-14是单臂吊架起重机，它是由横梁 AB 及连杆 BC 组成的构架，吊钩上装有小轮，使整个吊钩能沿横梁移动，各构件之重量略去不计，试绘连杆及横梁（包括吊钩及重物）之受力图。

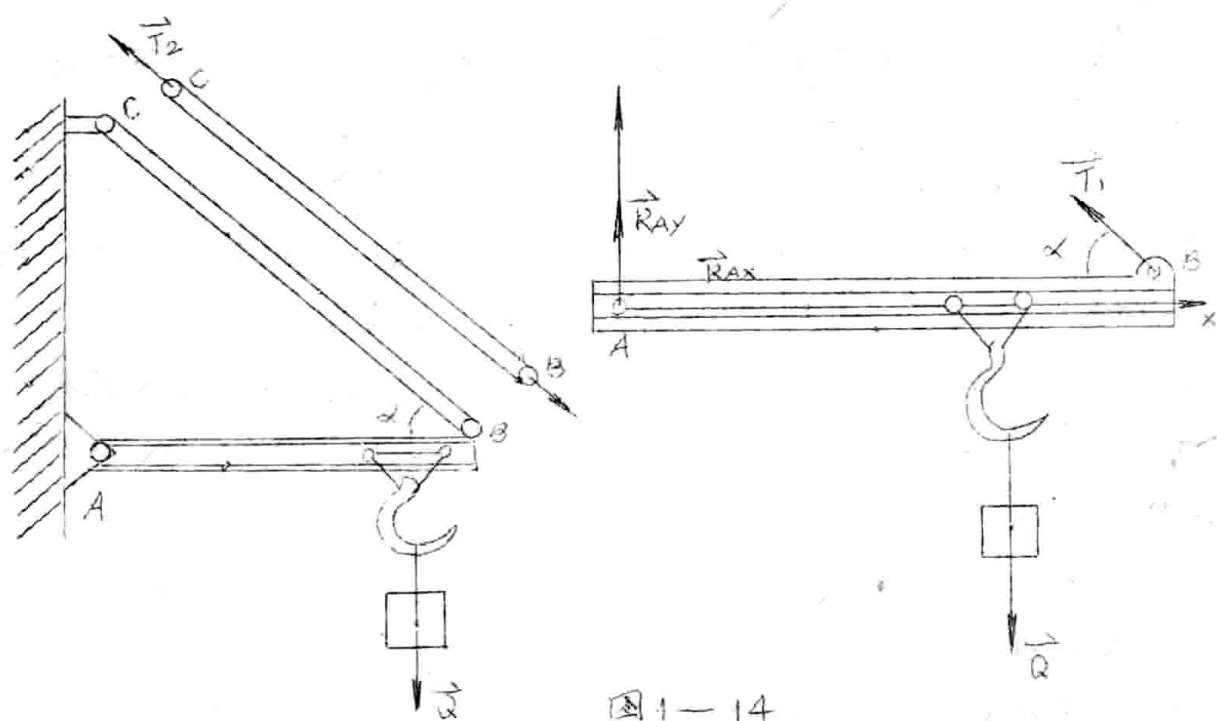


图1-14

§1-2. 物体在平面汇交力系作用下的平衡

一、力之投影及合力投影定理

在前面，我们介绍了利用力的平行四边形的几何图形来求解力之合成。在工程实际中，常采用投影法来求解力学问题，此法的基础是建立在轴上的投影的。

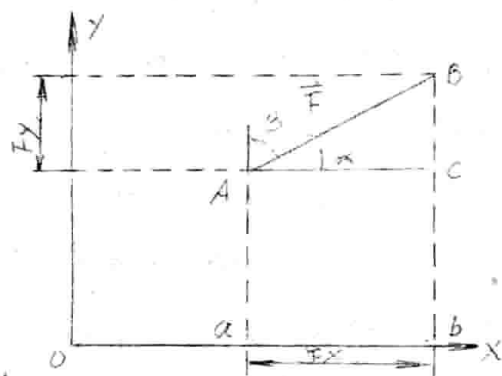


图1-15

设力 F 作用于物体的 A 点 (图 1-15), 在力的平面内设立直角坐标轴 Oxy 。以力矢的两端 A 和 B 分别向 x 轴作垂线, 得垂足 a 和 b 。线段 ab 便是力 F 在 x 轴上的投影, 记作 F_x 。力在轴上的投影是一标量, 它的符号规定如下: 如 a 到 b 的指向与轴向一致时取正号; 反之, 取负值。同样, 可求得力 F 在 y 轴上的投影 F_y 。显然

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \cos \beta = F \sin \alpha$$

其中 α 、 β 分别是力 F 与 x 、 y 轴正向之间的夹角。

以上所述, 是已知力之大小及方向求其投影。反之, 如果一力之投影 F_x 、 F_y 为已知, 则从 $\triangle ABC$ 不难看出力 F 之大小与方向为:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\tan \alpha = F_y / F_x$$

现在来研究合力与分力在坐标轴上之投影关系。设有两相交力 F_1 、 F_2 与其合力 R , 现在来看这些力之间的投影关系 (图 1-16)。

分别作各力之投影 F_{x1} 、 F_{x2} 与 F_{y1} 、 F_{y2} 、 R_y 。根据平行四边形两平行边投影相等的关系, 显然得

$$R_x = F_{x1} + F_{x2}$$

$$R_y = F_{y1} + F_{y2}$$

同理, 当两个以上的力相交时, 依次利用平行四边形定理

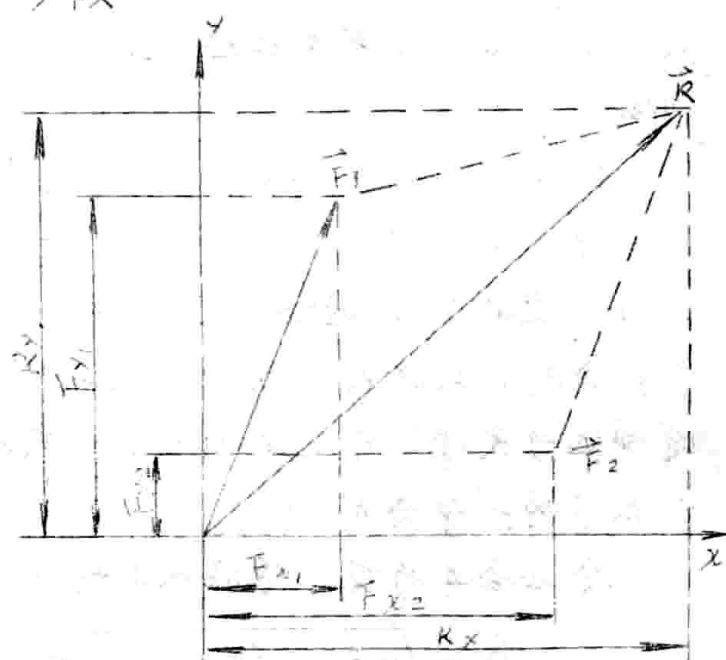


图 1-16

求合力与分力之投影关系，最后得

$$R_x = F_{x1} + F_{x2} + \dots$$

$$R_y = F_{y1} + F_{y2} + \dots$$

$$R_x = \sum F_x$$

$$R_y = \sum F_y$$

即合力在轴上的投影等于各分力在同一轴上的投影之代数和，此即合力投影定理。

由合力投影定理，相交数力的合力可根据各力的投影求得：

合力的大小及方向为：

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x} = \frac{\sum F_y}{\sum F_x}$$

二、平面汇交力系的平衡条件

作用线在同一平面内且相交于一点的力系称为平面汇交力系。平面汇交力系在工程实际中经常遇到的，图1-7及图1-13的例子均是。

设有一平面汇交力系 $F_1, F_2, F_3, \dots$ ，根据力的平行四边形定律，既然相交两力 F_1, F_2 的合成结果为过交点而以此两力为邻边的平行四边形的对角线所表示的一个力，将此力再与 F_3 合成，其结果必然为过交点的一个力。因此，依此应用平行四边形定律，可见平面汇交力系的合成结果必为过交点（汇交点）的一个合力。

令此合力为 R ，根据以上所述的合力投影定理，

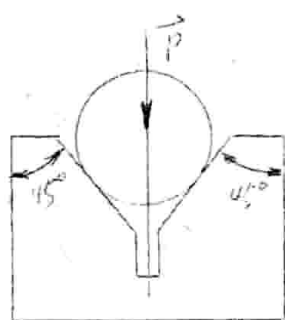
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

显然，如果构件在此力系作用下处于平衡，则合力 R 必应为零，亦即

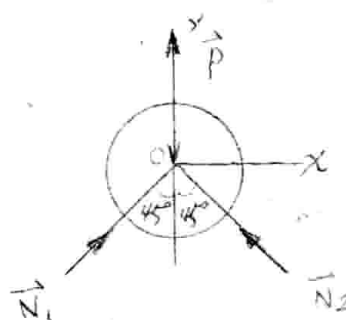
$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

此两方程称为平面汇交力系的平衡方程。它说明，平面汇交力系的平衡条件是：力系中所有各力在两座标轴上的投影的代数和等于零。

例1. 圆轴置于V型槽中(图1-17(a))，设轴所受之压力为300公斤，求轴与V形槽之间的压力。



(a)



(b)

解：取圆轴为研究对象。画出受力图(图1-17(b))。主动力 $\vec{P}$ 为已知，两约束反力 $\vec{N}_1$ 、 $\vec{N}_2$ 与 $\vec{P}$ 交于O点。取座标轴如图所示。列出平衡方程：

平衡方程：

$$\sum F_x = 0, \quad N_1 \sin 45^\circ - N_2 \sin 45^\circ = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0, \quad -P + N_1 \cos 45^\circ + N_2 \cos 45^\circ = 0 \quad (2)$$

由(1)得 $N_1 = N_2$ ，代入(2)得

$$N_1 = N_2 = \frac{P}{2 \cos 45^\circ} = \frac{300}{2 \times 0.707} = 212 \text{ 公斤}$$

例2. 冲床的曲柄滑块机构，当曲柄AB与铅垂线成角度 $\theta = 30^\circ$ 时，滑块(冲头)上受压力 $P = 60$ 吨，求连杆BC中的压力及滑道上的压力。连杆长 $l = 54.6$ 厘米，曲柄长 $r = 8$ 厘米(图1-18(a))。

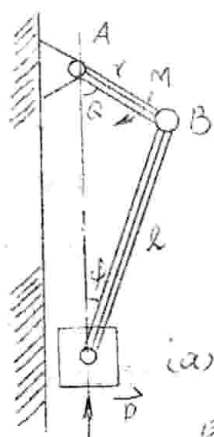
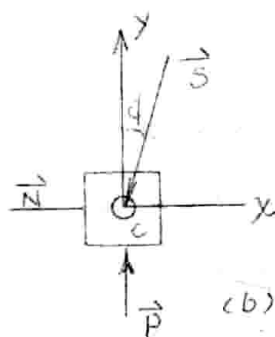


图1-18



(b)

解：取滑块为研究对象，画出受力图(图1-18(b))。主动力为 $\vec{P}$ ，连杆压力 $\vec{S}$ 及沿道压力 $\vec{N}$ 。 $\vec{N}$ 、 $\vec{P}$ 与 $\vec{S}$ 交于C点。选座标轴 xy 如图所示。列出平衡方程