

力学

静力学部分

(棉纺毛纺专业用)

静力学部

(棉纺毛纺专业用)

西北轻工业学院纺织系
一九七六年八月

目

次

第一章 静力分析基础	1
§ 1—1 静力学的任务及内容	1
§ 1—2 力的概念及基本性质	2
§ 1—3 力的合成与分解	6
§ 1—4 物体的受力分析, 受力图	13
本章小结	23
习题	27
第二章 共面力系	30
§ 2—1 共面汇交力系	30
§ 2—2 解决刚体静力学问题的一般步骤	35
§ 2—3 力矩与力偶的概念	39
§ 2—4 共面平行力系	51
§ 2—5 共面一般力系	61
§ 2—6 摩擦	67
本章小结	87
复习思考题	88
习题	90
第三章 空间力系	102
习题	118

第一部分 刚体静力学

第一章 静力分析基础

本章介绍有关力的概念，讨论力的分解和合成。在分析几种常见的物体的受力情况後，讨论研究对象的受力分析与受力图。正确的分析研究对象的受力情况与画出研究对象的受力图，是解决力学问题的前提，贯穿在力学学习的始终，必须重视。

§ 1—1 静力学的任务及内容

静力学是研究物体在平衡状态下，所受外力之间的关系从而可以从已知的外力及内力。例如纺机中杠杆式罗拉加压装置中，加压垂锤是已知外力，如何从该已知外力求出加在各罗拉上的压力就属于这种问题。

这里要说明一下，什么是平衡？“所谓平衡，就是矛盾的、暂时的、相对的统一”，在研究一般的工程问题中，通常将物体相对于地面处于静止或匀速直线运动或绕其重心作匀速转动，这种状态称为平衡。要求物体上未知外力的大小及方向，首先要分析物体受有那些外力，这一步称之受力分析，然后根据平衡条件，求出未知的外力。这一步称之平衡计算。（也叫静力计算）

例如图 1—1 (a) 中垂锤重 W 为已知，以绳子为研究对象，第一步分析绳子受有那些外力：除了锤重 W 以外，还有挂钩对绳的拉力 T 。第二步按平衡条件计算 T 的大小及方向。可以看出绳子要平衡静止不动，只有 T 与 W 大小相等

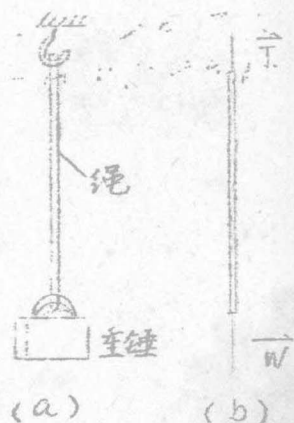


图 1—1

方向相反，并作用在一条直线上，这就是二力平衡条件。要注意，此时二力是作用在全一物体上。

§ 1—2 力的概念及基本性质

(一) 力的概念

毛主席教导我们：“人类的历史，就是一个不断的从必然王国向自然王国发展的历史”。力学规律是劳动人民在长期生产实践中，不断的分析总结和逐步系统化的。在生活实践与生产实践中，力学现象是很普遍的。例如用手推车子，就产生一个推力，由于地球对物体具有引力，物体就受有重力；齿轮能相互传动，是靠啮合处相互作用有力；导线通过罗拉，受到罗拉给它的摩擦力。这些实例说明力普遍存在于机械运动的各种场合，力可以通过物体之间相互的接触作用产生，也可以象磁铁吸力是相隔一段距离作用产生，这种作用就叫做物体之间的机械作用。通过不断的实践和分析总结，我们知道，力可以改变物体的运动状态。原来静止的物体，由于力的作用，就由静止开始运动，如纺织机械的启动；原来运动的物体，由于力的作用速度就会改变，如梭子的运动，其速度的大小及方向在有规律的改变着，开动着的纺织机械在切断电源关车后，由于摩擦力作用，速度就会减小，最后静止下来等等。另外，由于力的作用，还可以改变物体的形状和尺寸，如梳棉机盖板及斩刀由于力的作用会产生弯曲，传动轴会产生弯曲扭转，把对于力的各种感性认识加以提高，我们对力作以下定义：力是物体之间的相互机械作用，这种作用产生的效应是使物体的运动状态发生改变和形状发生改变（即变形）。

力使物体运动状态发生改变的效应叫做力的外效应。而力使物体发生变形的效应，则叫做力的内效应。静力学只研究力的外效应，不考虑力作用后物体的变形，因此把物体就看成是受力后不会变形的理想刚体。实际物体在受力后，必然多少会发生一

些变形，不过在多数情况下，由于变形相对十分微小，而对于研究物体受力后的平衡条件问题中，可以忽略不计。至于要研究考虑物体变形后的力学问题，即弹性体的力学问题，则必然考虑物体本身所具有的一些力学性质，物体也要由理想刚体过渡到比较接近客观实际的弹性体，这主要是第二部分着重研究的问题。

(二) 力的方向性

由观察和实验得知，力对物体作用的效应，完全决定于力的大小、方向及作用点，即所谓力作用的三要素。改变其中任一要素，力的作用效应就随着改变。因而力是有大小、方向的量。凡是一个量需要大小及方向才能确定的，称为矢量。所以力是矢量。

图 1-2 中工人同志用 10 公斤水平力推动小车。我们可以用图中带箭头的线段表示矢量，其中线段的长短按选定的比例尺（例如 3 毫米的线段代表 1 公斤）表示力的大小，则 10 公斤的力就用 30 毫米长的线段 AB 表示），箭头的方向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。并用符号 $\vec{F}$ 或 $\overrightarrow{AB}$ 表示力矢量。

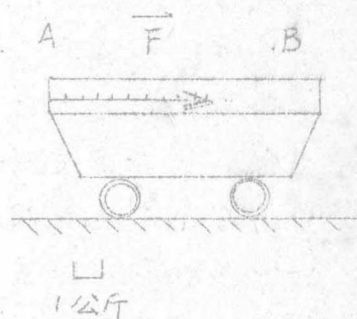


图 1-2

在力学中采用工程单位制，力的单位是克(g)、公斤(Kg)或吨(T)。 $1\text{ T} = 1000\text{ Kg} = 1\text{ Kg} = 10^3\text{ g}$ 。

(三) 力的成对性

由于力是物体间的相互机械作用，大量的观察和实验表明，要有力必须有两个物体，力永远是成对出现的，也就是说每一物

体对另一物体有作用时，必定引起物体对它的反作用力，即作用与反作用力同时存在。作用力与反作用力总是大小相等，方向相反，沿同一直线，但分别作用在二个不同的物体上。这一关系叫做作用反作用定律。

(四) 力的传导性

下面证明一下在力的合成中经常要用到力的传导性问题。前面已经知道，刚体静力学只研究力的外效应，即只研究物体运动状态的改变，而暂不研究物体形状尺寸的改变。而作用在同一物体上的一对等值反向共线的力，组成一个平衡力系。在图 1—3 (a) 中 $\vec{F}$ 力作用在刚体的 A 点。沿力 $\vec{F}$ 的方向通过作用点 A 的直线 MN，我们称为力的作用线。今在力 $\vec{F}$ 的作用线上任取一点 B，并加上一对与 $\vec{F}$ 力大小相等方向相反的力 $\vec{F}'$ 和 $\vec{F}''$ ，即 $F' = F'' = F$ (图 1—3 b) 由于 $\vec{F}'$ 和 $\vec{F}''$ 自成平衡，对原来刚体在 $\vec{F}$ 一个力作用下的运动状态并无影响，即 $\vec{F}$ 、 $\vec{F}'$ 和 $\vec{F}''$ 三个力对刚体的作用效应，与 $\vec{F}$ 一个力对刚体的作用效应是相同的。但 $\vec{F}$ 与 $\vec{F}''$ 也是一对等值反向共线的力，也组成一个平衡力系，故可将这两个力从刚体中去掉而不影响对刚体的作用效应 (图 1—3 c)，这样，刚

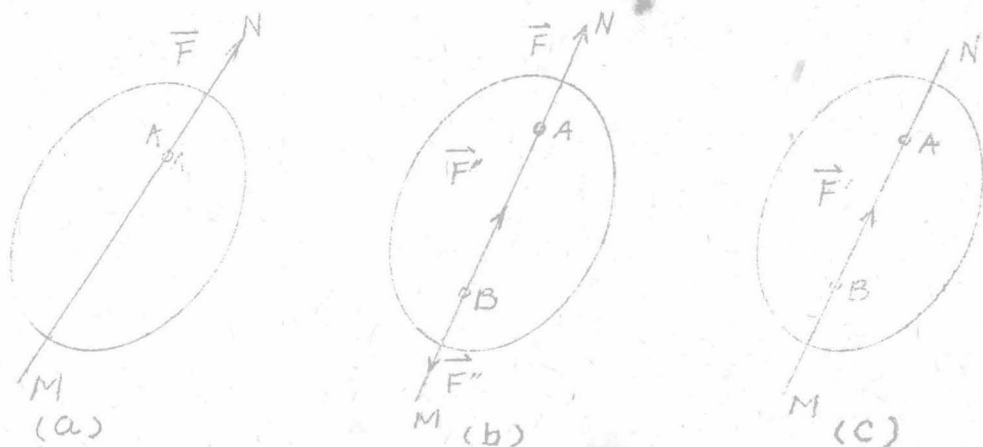


图 1—3

体变成只受到作用在B点的 $\vec{F}$ 力的作用，其作用效应与作用在A点的 $\vec{F}$ 力是一样的，而 $\vec{F}$ 与 $\vec{F}'$ 的大小方向是完全一致的，仅是把作用在A点的力 $\vec{F}$ 沿其作用线传导到B点了。这就是力的传导性，即只要力的大小及方向不变，力的作用点可沿其作用线在刚体上任意改变，而不改变物体的运动状态。

根据力的传导性图1-4中的两种受力情况，只要保证力的大小、方向及作用线一致，对小车的运动效应是完全一致的。以后还可以看到，在力的合成等问题中将要用到力的传导性。必须注意，力的传导性只在研究力的外效应时才成立，即只适用于刚体。在研究力的内效应即变形效应时，力是没有传导性的。从图1-5中可明显看出，当物体受到一个平衡力系 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的作用而平衡时（图1-5a）根据力的传导性， $\vec{F}_1$ 可从作用点A传导B， $\vec{F}_2$ 可从作用点B传导A（图1-5b）从力的外效应讲，物体的平衡状态并没有改变。但从力的内效应，即从变形效应来讲，物体从原来的受拉变成受压了。即物体原来应该伸长而变成缩短了。因此力的传导性只限于暂不考虑变形的刚体静力学。在考虑变

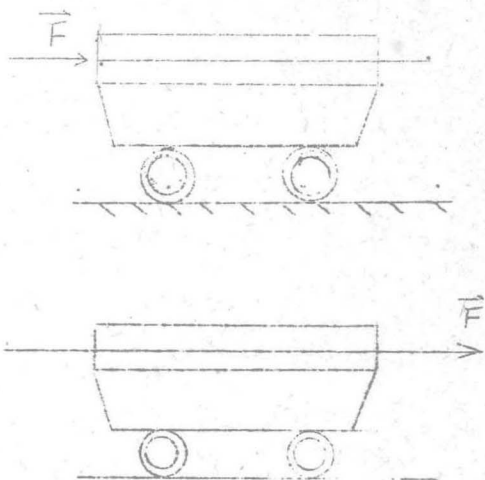


图1-4

形的刚体静力学。在考虑变形的刚体静力学中，力的传导性是不成立的。图1-5a中，一个物体受到两个大小相等、方向相反的力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的作用，处于平衡状态。图1-5b中，根据力的传导性，将 $\vec{F}_1$ 的作用点从A传导到B，将 $\vec{F}_2$ 的作用点从B传导到A，此时物体受到两个大小相等、方向相反的力 $\vec{F}_2$ 和 $\vec{F}_1$ 的作用，仍然处于平衡状态。但从力的内效应来看，图1-5a中物体受到的是拉力，图1-5b中物体受到的是压力，物体的形状会发生改变。

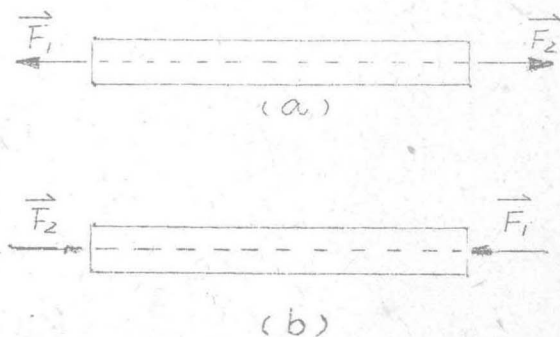


图1-5

形的弹性体力学中，力是没有传导性的。

§ 1-3 力的合成与分解

作用在刚体上的几个力如果可用一个力来代替，而对刚体的外效应和原来几个力对刚体的外效应完全相同的，则这个力就称为这几个力的合力。求几个力的合成方法叫力的合成。

既然作用在刚体上的几个力可合成一个合力，则根据逆过程如果一个力可用几个力来代替，而对刚体的效应和原来一个力对刚体的效应完全相同的，则这几个力^就称为这个力的分力。求一个力的分力的方法叫力的分解。

力的合成与分解的方法有图解法与数解法两种。

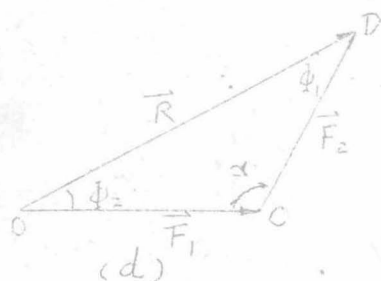
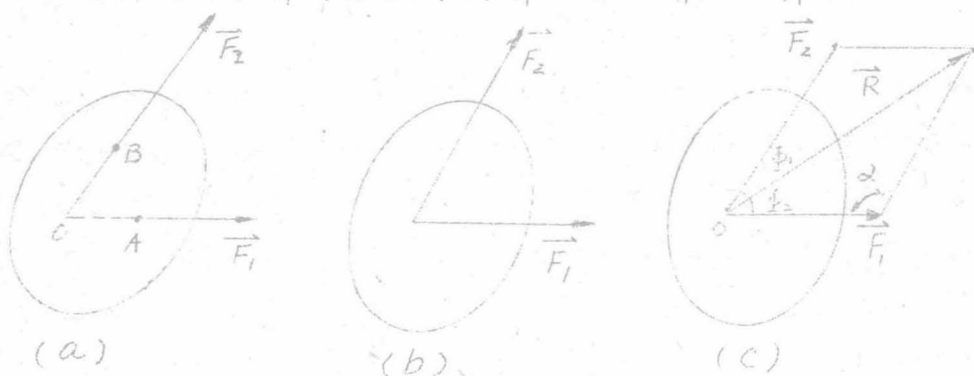


图 1-6

(一) 图解法

图 1-6 (a) 中刚体上 A、B 两点作用有两个汇交力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 。汇交点是 O，根据力在刚体上传导的特点，这两个汇交力与共同作用在汇交点 O 的两个共点力^是等效的（图 1-6 b），从实践中我们知道，作用在同一点的两个力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的

合力 $\vec{R}$ ，可根据力的平行四边形法则求出（图1-6c）用矢量式表示为：

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

合力 $\vec{R}$ 等于分力 F_1 、 F_2 的矢量和

在求力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 时，为了作图简单，可不必画出整个平行四边形。要从表示 $\vec{F}_1$ 的矢量 $\vec{OC}$ 的终点 C ，作表示 $\vec{F}_2$ 的矢量 $\vec{CD}$ ， F_1 的起点 O 与 F_2 的终点 D 成合矢量 $\vec{OD}$ ，合矢量 $\vec{OD}$ 的大小与方向和合力 $\vec{R}$ 的大小与方向是完全一致的（图1-6d）。

四边形简化为三角形了，因此就成为求合力的力三角形法则。

如果有两个以上的汇交力作用在刚体上（图1-7a），则仍可接平行四边形法则依次合成，得作用线通过汇交点 O 的合力 $\vec{R}$ （图1-7b）。但若用三角形法则依次合成也可求得（图1-7c）。从图1-7(c)可以明显的看出，若将各力矢量依次头尾相连，并连结第一个力矢量的起点 O 和最后一个力矢量的终点 H ，也可求得合矢量 $\vec{OH}$ （图1-7d），合矢量 $\vec{OH}$ 的大小与方向和合力 $\vec{R}$ 的大小与方向也是完全一致的。

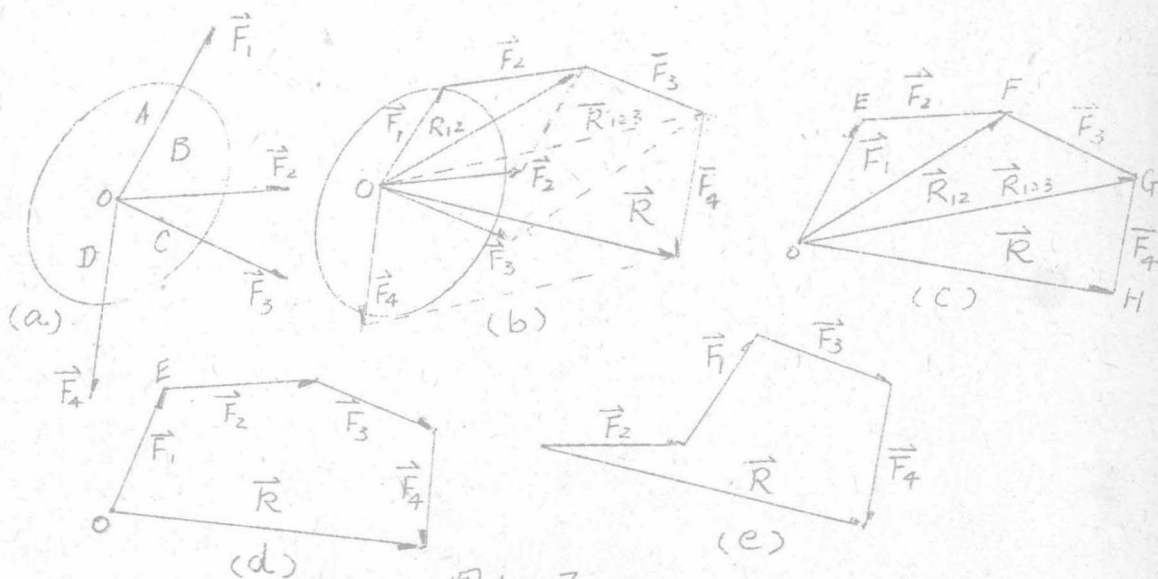


图1-7

这样把力三角形推广到了多边形，因此就称为求合力的多边形法则，用矢量式表示为：

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

显然用力多边形法则求合力要比连续使用力平行四边形法则方便得多。此外从图 1-7(c) 可以看出，若各力不按图 1-7(d) 的次序相加，也可得同样的结果，即各力相加的次序与最后合成结果毫无影响，尽管力多边形的样子变了。

图解法就是上述那样，用比例尺和绘图仪器等仔细画出力多边形，最后在力多边形上直接量出合力 $\vec{R}$ 的大小和方向。

关于力的分解的图解法，是力三角形及力多边形的逆过程，显然如果没有条件的限制，从一个力可画出无限个力多边形，即分力无论在数量上，数值上和方向上的无限制的。

(二) 数解法

用图解法解决力学问题并列的，还有用数学方法解决力学问题的方法，可称为数解法。在本课程中，解决某些问题以数解法为主。如图 1-6(c) 和 1-6(d) 中可以求得：

$$\text{合力的大小: } R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

$$\text{合力的方向: } \sin\phi_1 = \frac{F_1}{R} \sin\alpha$$

$$\sin\phi_2 = \frac{F_2}{R} \sin\alpha$$

(例 1-1) 我校纺织厂 1292 型细纱机的牵伸装置中，后罗拉的自垂上罗拉 A 位于下罗拉 B 上 (图 1-8) 若牵伸区域 MN 与水平面成 $\alpha = 35^\circ$ 角度，上罗拉 A 的自重力 $W = 2.6 \text{ Kg}$ 。试求上罗拉 A 作用于下罗拉 B 及皮辊架 C 的压力。

解：应用力平行四边形法则，将上罗拉 A 的自垂 $\vec{W}$ 平行于 MN 与垂直于 MN 方向分解为两个分力 $\vec{F}_C$ 与 $\vec{F}_B$ (图 1-8b)，则 F_B 即作

用于下罗拉的压力，而 $\vec{F}_C$ 即为作用于皮辊架 C 的压力。

用图解解：(图 1-8c)

这是一个力的分解问题。按 $1\text{ cm} = 1\text{ kg}$ 的比例，画出矢量 $\vec{AB}$ 表示上罗拉 A 的自重 $\vec{W}$ 的大小及方向，从 $\vec{AB}$ 的 A 点作 MN 的垂线，从 $\vec{AB}$ 的 B 点作 MN 的平行线，两线相交于 C 点。根据力三角形中合矢量与矢量之间的关系，可确定 AC 与 CB 的指向，即：

$$\vec{AC} + \vec{CB} = \vec{AB} \quad \text{或} \quad \vec{F}_B + \vec{F}_C = \vec{W}.$$

按原定 $1\text{ cm} = 1\text{ kg}$ 的比例值线从图上另得：

$$F_B = 2.1\text{ kg}$$

$$F_C = 1.5\text{ kg}$$

用代数法解：

从图 1-8(b) 或图 1-8(c) 可得：

$$\because \sin \alpha = \frac{F_C}{W}, \quad \therefore F_C = W \sin \alpha = 2.6 \sin 35^\circ = 1.5\text{ kg}$$

$$\because \cos \alpha = \frac{F_B}{W}, \quad \therefore F_B = W \cos \alpha = 2.6 \cos 35^\circ = 2.13\text{ kg}$$

但如果力比较多时，连续应用上式计算将较繁杂，因此在做解法的广泛应用下面介绍的投影法去求合力，它是建立在力在坐标轴上的投影基础上的。

首先说明力的分力与力的投影之间的关系。

图 1-9 中，为了把力 F 分解为平行于坐标轴的两个互相垂直的分力（称力的正交分解），通过力矢量 $\vec{F}$ 的端点 A，B 作 X ，

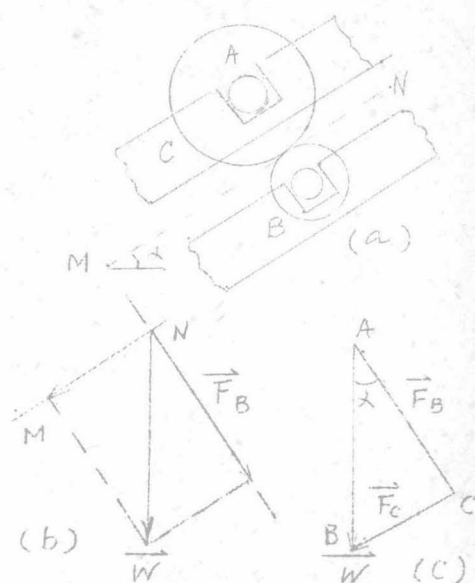


图 1-8

Y轴的平行线，就可以把力 $\vec{F}$ 分解又方向的分力 $\vec{F}_1$ 与Y轴力的 $\vec{F}_2$ 。其大小为：

$$F_1 = F \cos \alpha$$

$$F_2 = F \sin \alpha$$

方向如图所示。

$\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 也称为 $\vec{F}$ 的两个正交分力， $\vec{F}$ 为 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的合力，

力平行于坐标轴分解后分力的大小与方向，也可应用力

在坐标轴上的投影来计标，由数学可知，矢量 $\vec{F}$ 在X、Y轴的投影 F_x 、 F_y 分别为：

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \cos (90^\circ - \alpha) = F \sin \alpha$$

可见矢量 $\vec{F}$ 在X、Y轴上的投影的大小分别和力矢量 $\vec{F}$ 沿X、Y轴方位的分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的大小相等，而力矢量 $\vec{F}$ 在X、Y轴上投影的正负号也分别与分力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 的指向一致。因此力在坐标轴上的投影与力沿同一坐标的方位分解的分力，二者是有一定的联系的。计标力在坐标轴上的投影的一般公式为

$$F_x = F \cos(\vec{F}, x)$$

$$F_y = F \cos(\vec{F}, y)$$

其中 F 指力的大小； $(\vec{F}, x)$ 、 $(\vec{F}, y)$ 分别指力矢量 $\vec{F}$ 和x、y轴正向之间的夹角，例如图1-9中 $(\vec{F}, x) = \alpha$ 、 $(\vec{F}, y) = (90^\circ - \alpha)$ 。

实际从图1-9中已可初步看出合力与分力在x、y轴上投影之间的关系。为更普遍起见，用力多边形进行说明。

图1-10中 $\vec{R}$ 与 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 是合矢量之间的关系。选取

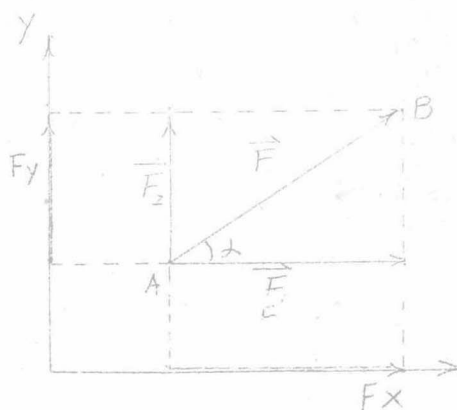


图 1-9

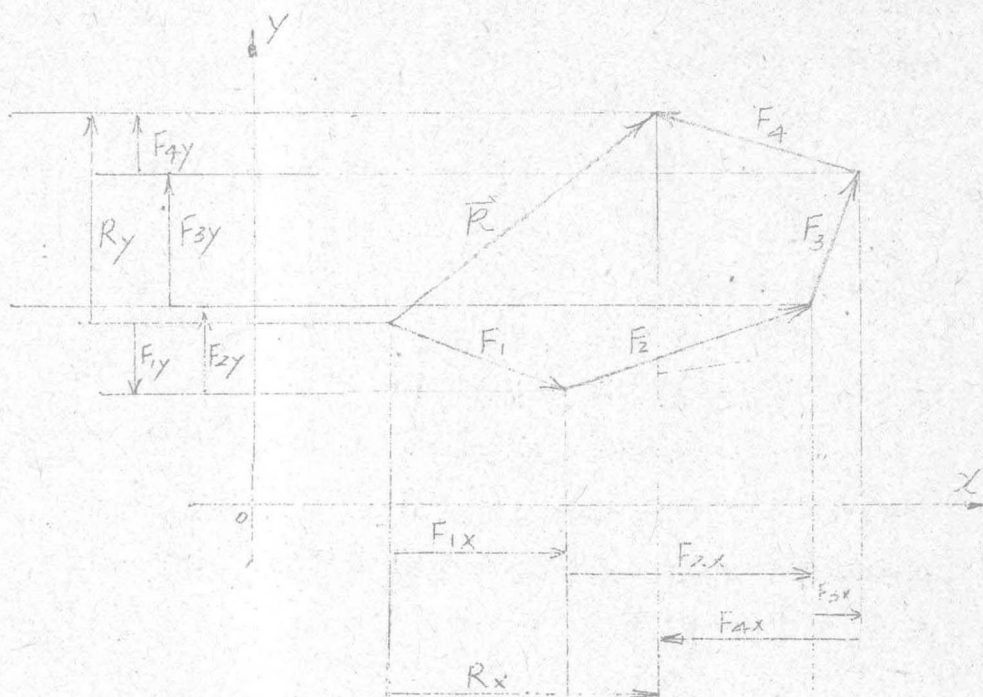


图 1—10

坐标轴如图则 $F_{1x}, F_{2x}, F_{3x}, F_{4x}$ 分别是矢量 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ 在 x 轴上的投影； $F_{1y}, F_{2y}, F_{3y}, F_{4y}$ 分别是矢量 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ 在 y 轴上的投影；而 R_x, R_y 分别是合矢量 $\vec{R}$ 在 x、y 轴上的投影。（为清楚起见，各矢量在坐标轴没画在轴上）从图中可清楚看出：

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} - F_{4x}$$

$$R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y}$$

即合矢量在某一轴上的投影等于各分矢量在同一轴上投影的代数和。这就是合矢量投影定律。

以上结论可推广应用到任何多个汇交力组成的力系 $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ 故

$$\begin{cases} R_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_{ix} \\ R_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_{iy} \end{cases}$$

或简写成：

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \sum F_x \\ R_y &= \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

即合力在某一轴上的投影等于各分力在同一轴上投影的代数和。故得：

$$\left\{ \begin{aligned} \text{合力的大小: } R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \end{aligned} \right. \quad (1-2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \text{分力的方向: } \tan \theta &= \frac{|R_y|}{|R_x|} \end{aligned} \right. \quad (1-3)$$

式中 θ 为合力 R 与 x 轴正向之间的夹角

(例 1-2) 图 1-11(a) 中, 固定环受三根绳的拉力作用。已知各绳的拉力 $F_1 = 100 \text{ Kg}$, $F_2 = 200 \text{ Kg}$, $F_3 = 150 \text{ Kg}$, 方向如图所示。如用另一绳来代替这三根绳而不改变原来三根绳对固定环的作用。试求这绳的拉力的大小及方向

解: 这是一个求合力的问题。因为这三根绳的拉力都要通过固定环的中心 O 点, 故求一根代替绳子的拉力, 就是求 $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ 三个力矢组成的力系的合力 $\vec{R}$ 。

① 用代数法解

选取直角坐标轴如图。将三力分别向 x 、 y 轴上投影 (凡与 x 、 y 轴正向一致为正反之为负)、得:

$$F_{1x} = 0$$

$$F_{2x} = F_2 = 200 \text{ Kg}$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 60^\circ = 150 \times \frac{1}{2} = 75 \text{ Kg}$$

$$F_{1y} = F_1 = 100 \text{ Kg}$$

$$F_{2y} = 0$$

$$F_{3y} = -F_3 \sin 60^\circ = -150 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = -130 \text{ Kg}$$

根据公式 (1-1), 得合力 $\vec{R}$ 在 x 、 y 轴上的投影 (图 1-11b) 分别为:

$$R_x = \Sigma F_x = 0 + 200 + 75 \\ = 275 \text{ Kg.}$$

$$R_y = \Sigma F_y = 100 + 0 - 130 \\ = -30 \text{ Kg.}$$

故根据(1-2)(1-3)式
得合力 $\vec{R}$ 的大小和方向为

$$R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2} \\ = \sqrt{(275)^2 + (-30)^2} \\ = 277 \text{ Kg.}$$

$$\tan \theta = \frac{|R_y|}{|R_x|} = \frac{30}{275}$$

$$= 0.109$$

$$\therefore \theta = 6^\circ 13'$$

(2) 用图解法解

按 $1\text{cm} = 50\text{Kg}$ 的比例
画出力多边形 ABCD 如图

1-11(C) 所示。按同样的

比例另画 $\vec{AD} = 5.5\text{cm}$ ，故合力 $\vec{R}$ 的大小为：

$$R = 275 \text{ Kg.}$$

而合力 $\vec{R}$ 与水平线夹角为： $\theta = 6^\circ 15'$ 指向如图所示。

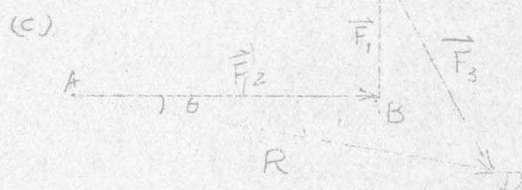
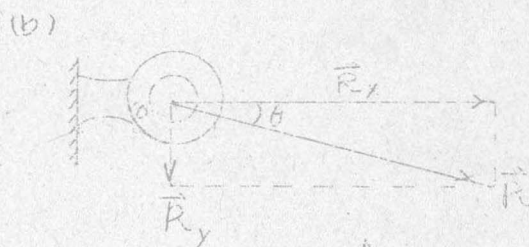
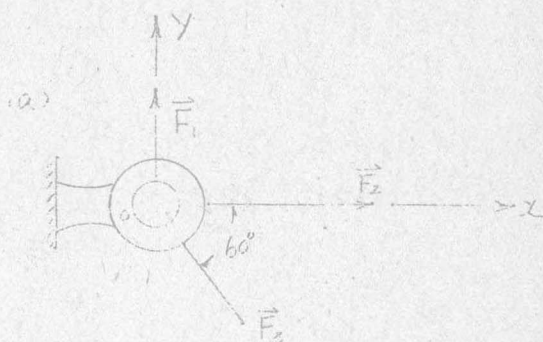


图 1—11

§ 1 4 物体的受力分析 受力图

刚体静力学的主要任务是研究刚体在力系作用下的平衡条件。因此，首先要弄清两问题：第一要正确哪一个刚体是我们的研究对象；第二要知道刚体上要受到那些力的作用，这就是要对……

研究对象进行受力分析，并画云受力图

一、物体的受力分析

纺织机械中的每个另件都和它周围的另件相互联系，相互接触，相互制约的。也就是说另件之间相互作用着力。凡是使物体产生运动趋势的力称主动力、凡是限制物体某些运动方向的相邻物体称约束，约束作用在物体上的力称为约束力。下面就几种常见的情况进行受力分析，它为我们进一步分析研究对象的受力情况提供了基础。

(1) 柔性物体(绳索、皮带、链条等)对物体作用的约束力
根据绳索、皮带、链条的柔性特点，它们只能承受拉力。故绳索、皮带、链条等柔性物体对物体作用的约束力只能是作用线沿着绳索、皮带、链条的拉力，以 $\vec{T}$ 表示。如粗纹形成机构中，棉绳吊着的成形歪锤，棉绳对成形歪锤作用的拉力 $\vec{T}$ (图12a)；皮带传动中，皮带对大皮带轮作用的拉力 $\vec{T}_1$ 与 $\vec{T}_2$ 及对小皮带轮作用的拉力 $\vec{T}_1$ 与 $\vec{T}_2$ (图1-12b)；及差动葫芦中，链条对下面链轮作用的拉力 $\vec{T}_1$ 与 $\vec{T}_2$ (图12c)等

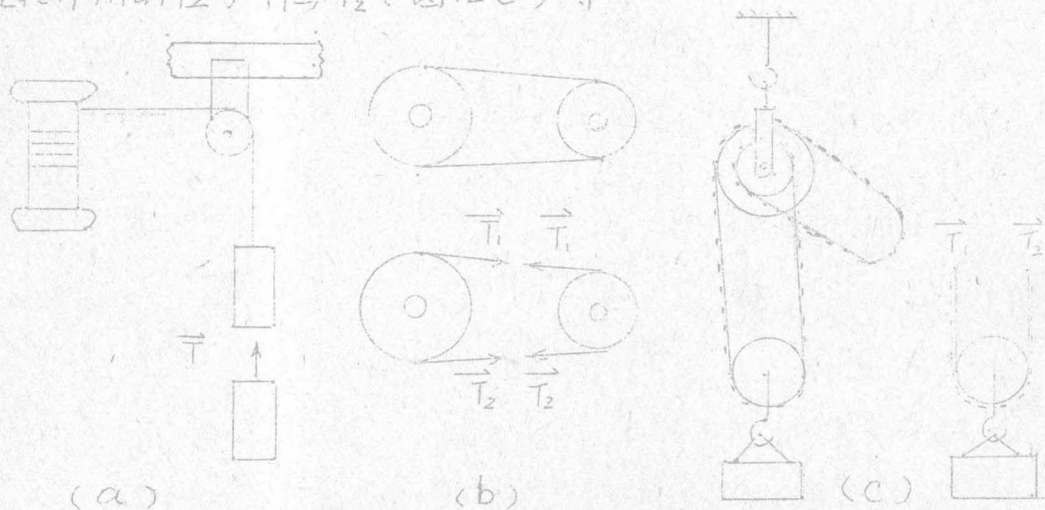


图 1—12

(2) 光滑接触面对物体作用的约束力

当物体接触面之间的摩擦很小，和其他作用力相比摩擦力成了次要因素而可忽略不计时，这样的接触面就可认为是理想光滑的光滑接触面，不管是平面或曲面，不能限制物^体沿接触面切线方向的运动，只能限制物体沿接触面公法线方向压入接触面，因此光滑接触面对物体作用的约束力，其作用线只能沿接触面垂在接触点处的公法线，并指向物体。故光滑接触面对物体作用的力亦称法向作用力或法向反力，以 $\vec{R}$ 表示。如齿轮啮合时，两齿轮相互作用的力 $\vec{R}$ 与 $\vec{R}'$ 沿齿廓曲面在啮合点A处的公法线（亦称啮合线），并指向齿廓曲面（图1-13a），细纹机中升降托脚与小转子的接触，升降托脚与小转子之间相互作用的力 $\vec{R}$ 与 $\vec{R}'$ （图1-13b），以及杆件搁在光滑棱边上，光滑棱边对杆件的法向反力 R_A 、 R_B 与 R_C （图1-13c）等

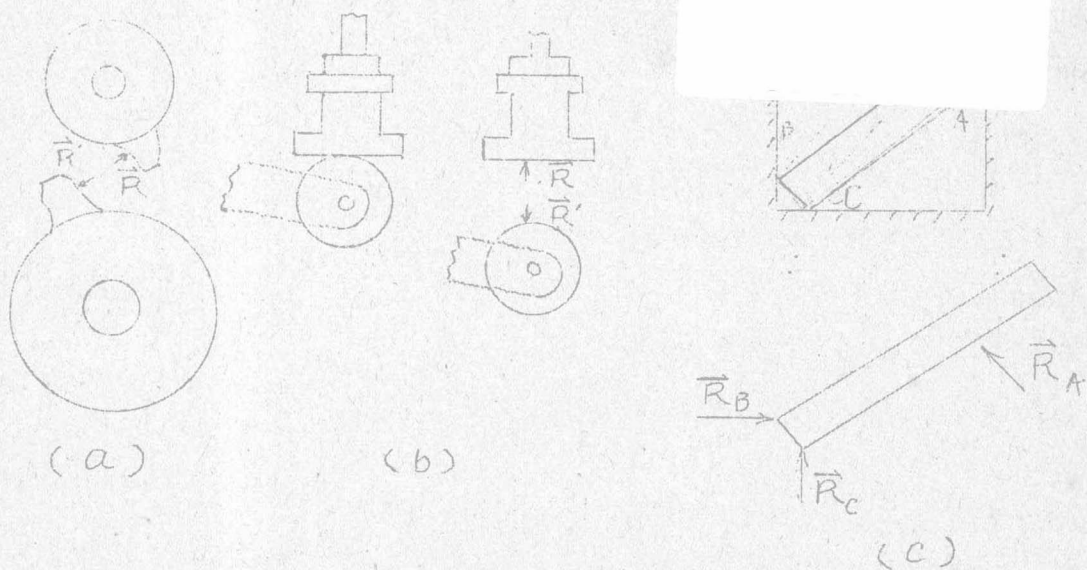


图 1—13