

专业装备机械基础



张增 编

北京工业大学出版社

992285

专业装备机械基础

张 增 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书共分三部分:以静力学、材料力学为基础的构件受力分析和材料的机械性能及其在各种变形下的破坏方式;平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等常用机构的分析与设计方法;机械零件中的联接件,各种常见的传动件以及轴、轴承和联轴器、弹簧等通用零件的构造、特点、标准、工作原理及其设计方法。

本书可作为工科院校非机械类专业本科生教材,也可供工程技术人员参考。

专业装备机械基础

编者 张 增

※

北京工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

徐永宏远印刷厂印刷

※

1998年4月第1版 1998年4月第1次印刷

787mm×1092mm16开本 21.75印张 500千字

印数:1~2000册

ISBN 7-5639-0652-5/T·71

定价:21.00元

目 录

绪 论	(1)
第一章 力与受力图	(2)
§ 1-1 力的三要素	(2)
§ 1-2 力的表示法	(2)
§ 1-3 受力图	(3)
第二章 平面汇交力系	(7)
§ 2-1 平面汇交力系的合成	(7)
§ 2-2 平面汇交力系的平衡条件	(7)
第三章 平面一般力系	(11)
§ 3-1 力矩与力偶	(11)
§ 3-2 平面一般力系的平衡	(12)
§ 3-3 空间力系简介	(15)
第四章 摩擦	(19)
§ 4-1 平面摩擦	(19)
§ 4-2 槽面摩擦	(22)
§ 4-3 自锁	(23)
第五章 机械运动的基本概念	(25)
§ 5-1 点的运动	(25)
§ 5-2 刚体的简单运动	(28)
第六章 功率和机械效率	(32)
§ 6-1 功率	(32)
§ 6-2 机械效率	(33)
§ 6-3 电动机的选择	(35)
第七章 材料的拉伸与压缩强度	(38)
§ 7-1 概述	(38)
§ 7-2 拉杆(或压杆)的内力和应力	(39)
§ 7-3 材料的机械性质	(41)
§ 7-4 拉(压)杆的强度计算	(46)
第八章 剪切与挤压强度	(48)
§ 8-1 剪切和挤压的概念	(48)
§ 8-2 剪切与挤压的强度计算	(48)
第九章 弯曲强度	(53)
§ 9-1 弯曲变形的构件——梁	(53)
§ 9-2 梁的支座反力	(54)
§ 9-3 弯曲内力	(55)
§ 9-4 弯矩图	(57)

§ 9-5	弯曲应力	(61)
§ 9-6	梁的弯曲强度计算	(65)
§ 9-7	梁截面的经济形状	(66)
§ 9-8	梁的弯曲变形	(68)
第十章	圆轴的扭转	(73)
§ 10-1	圆轴扭转时的外力与内力	(73)
§ 10-2	圆轴扭转时的剪应力和变形	(74)
§ 10-3	圆轴扭转剪切强度和刚度的计算	(80)
第十一章	组合变形	(83)
§ 11-1	弯曲与拉伸(压缩)组合变形及强度的计算	(83)
§ 11-2	弯扭组合变形强度的计算	(84)
第十二章	交变应力简介	(87)
§ 12-1	交变应力的概念	(87)
§ 12-2	交变应力下的破坏——疲劳破坏	(88)
§ 12-3	持久极限	(89)
§ 12-4	影响持久极限的主要因素	(89)
第十三章	压杆稳定	(97)
§ 13-1	压杆稳定的概念	(97)
§ 13-2	临界力与欧拉公式	(97)
§ 13-3	压杆稳定的计算	(100)
第十四章	薄壁圆筒	(101)
§ 14-1	薄壁圆筒强度的计算	(101)
§ 14-2	端盖(封头)的选择	(103)
第十五章	机械零件常用材料	(105)
§ 15-1	机械零件常用材料	(105)
§ 15-2	钢铁的热处理	(108)
§ 15-3	材料选择的基本原则	(109)
第十六章	平面机构的运动简图及活动度	(111)
§ 16-1	运动副及其分类	(111)
§ 16-2	平面机构的运动简图	(112)
§ 16-3	平面机构的活动度	(115)
第十七章	平面连杆机构	(119)
§ 17-1	铰链四杆机构的基本型式及特性	(119)
§ 17-2	铰链四杆机构的曲柄存在条件	(124)
§ 17-3	铰链四杆机构的演化	(126)
§ 17-4	平面四杆机构的设计	(129)
第十八章	凸轮机构	(133)
§ 18-1	凸轮机构的类型和应用	(133)
§ 18-2	从动件常用的运动规律	(134)
§ 18-3	凸轮轮廓设计	(137)
第十九章	间歇运动机构	(144)
§ 19-1	槽轮机构	(144)

§ 19-2 棘轮机构	(145)
§ 19-3 不完整齿轮机构	(145)
第二十章 机械的调速与平衡	(147)
§ 20-1 机器速度波动的调节	(147)
§ 20-2 机械的平衡	(151)
第二十一章 机械零件设计概论	(157)
§ 21-1 机械零件设计概述	(157)
§ 21-2 机械零件的强度条件	(158)
§ 21-3 机械零件的工艺性及标准化	(162)
第二十二章 联接	(164)
§ 22-1 联接的类型和应用	(164)
§ 22-2 键联接和销联接	(165)
§ 22-3 螺纹联接件	(169)
§ 22-4 螺旋副的受力分析、效率和自锁	(173)
§ 22-5 螺纹联接的强度计算	(177)
§ 22-6 螺旋传动	(185)
§ 22-7 焊接和铆钉联接	(188)
第二十三章 带传动与链传动	(195)
§ 23-1 带传动概述	(195)
§ 23-2 带传动的工作原理	(197)
§ 23-3 三角胶带的设计计算	(201)
§ 23-4 链传动的应用与计算	(213)
第二十四章 齿轮传动	(224)
§ 24-1 齿轮传动的类型与应用	(224)
§ 24-2 齿廓啮合原理	(225)
§ 24-3 标准渐开线齿轮的几何尺寸	(228)
§ 24-4 渐开线标准齿轮的啮合	(230)
§ 24-5 渐开线齿轮的切齿原理与根切现象	(232)
§ 24-6 轮齿的失效形式及材料选择	(236)
§ 24-7 直齿圆柱齿轮的齿面接触强度计算	(240)
§ 24-8 直齿圆柱齿轮的轮齿弯曲强度计算	(244)
§ 24-9 斜齿圆柱齿轮传动	(248)
§ 24-10 直齿圆锥齿轮传动	(254)
§ 24-11 齿轮的构造	(258)
第二十五章 蜗杆传动	(262)
§ 25-1 蜗杆传动概述	(262)
§ 25-2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸的计算	(263)
§ 25-3 蜗杆传动的失效形式、材料与结构	(266)
§ 25-4 蜗杆传动的强度计算	(267)
§ 25-5 蜗杆传动的效率、润滑与热平衡计算	(269)
第二十六章 轮系	(273)
§ 26-1 定轴轮系	(273)

§ 26-2 周转轮系及其传动比	(275)
§ 26-3 减速机	(278)
第二十七章 轴	(283)
§ 27-1 轴的类型和材料	(283)
§ 27-2 轴的结构设计	(285)
§ 27-3 轴的强度计算	(287)
第二十八章 轴承	(293)
§ 28-1 概述	(293)
§ 28-2 滑动轴承的构造	(293)
§ 28-3 滑动轴承的材料及润滑	(295)
§ 28-4 非液体摩擦滑动轴承的计算	(299)
§ 28-5 动压润滑的滑动轴承简介	(300)
§ 28-6 滚动轴承的类型	(301)
§ 28-7 滚动轴承的代号	(305)
§ 28-8 滚动轴承的工程计算	(306)
§ 28-9 滚动轴承的润滑与密封	(313)
§ 28-10 滚动轴承的组合设计	(315)
第二十九章 联轴器	(319)
§ 29-1 概述	(319)
§ 29-2 联轴节	(320)
§ 29-3 离合器	(323)
第三十章 弹簧	(325)
§ 30-1 弹簧的功用和类型	(325)
§ 30-2 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的应力与应变	(326)
§ 30-3 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的设计	(330)

绪 论

一、引言

人类为了生存的需要，适应生产力的发展，创造了各种机械，以代替和减轻人的体力劳动。

机械学的独立体系已有百年以上的历史，由于人类的艰苦努力，现代的机械工程已取得了辉煌的成绩，如现代超音速飞机，其速度可达音速三倍以上，功率相当于数十万千瓦；用于竞赛的汽车时速可达每小时 1200 千米，为音速的 1.1 倍。

我国历代劳动人民在这些方面亦作出了许多贡献，例如公元前 21 世纪夏时已发明战车；公元前 400 年春秋时期冶金术的发展使青铜兵器及钟鼎等工艺品达到了杰出的水平；公元前 200 年的秦王朝时已有铜制齿轮出现；前后汉时出现了指南车及候风地动仪；公元 300 年前后的晋代出现了轮系结构复杂的记里鼓车；唐宋以来的四大发明及至明中叶的天工开物，使我国出现了资本主义的萌芽；只是由于历代封建统治者闭关自守，兼之近百年来帝国主义的侵略和国内军伐的混战，使我国工业已奄奄一息。解放后我国各种工业全面发展，已取得了明显的进步。今天的大学生应该肩负重任，振兴中华，报效祖国，努力完成目前的学习任务。

二、本课程的教学目的和内容

本课程的教学目的是学会机械中构件的受力分析和能够判别杆件的破坏方式；掌握常见机械的工作原理；能够进行通用零部件的工程设计计算，为今后学习专业装备打下基础。

本课程将首先介绍构件受力分析，着重讨论匀速或静止状态时构件受力的关系（即静力学部分），并讨论材料的机械性质及各种变形下的破坏方式（即材料力学部分），然后讨论工程中常见机构的组成、性质和工作原理（即机械原理部分），同时分析通用零部件的受力情况，失效形式，在选择适当材料时，进行工程设计计算（即机械零件部分）。

对于常见机械，一般可分为四部分：动力装置、传动装置、工作装置以及操纵装置。我们只讨论其中通用零部件的设计问题，对于专用零部件的设计留待以后专业课中讨论。通常所说机器应有三个条件，即：由多个零件组成，各零件之间有确定的相对运动，并作机械功或有能量的变换，如果只具备前两项条件，则称其为机构。机器或机构中以运动来划分的最小单元称为构件。讨论静力学及机械原理内容时多以构件为准；而机器或机构中以制造划分的最小单元为零件，讨论材料力学及机械零件时多以零件为准。

第一章 力与受力图

§ 1-1 力的三要素

一、力的概念

力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生变化或者使物体产生变形。为研究问题方便，今后在讨论静力学部分时将构件视为刚体，即在力的作用下不变形的物体，以便于讨论构件的受力关系、运动状态等（即力的外效应）。而在材料力学中应将物体视为弹性体，即在力作用下，物体产生相应的变形，并随之破坏（即力的内效应）。

二、力的三要素

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点，此称为力的三要素。

力的单位为吨（t）、牛顿（N）等。

在静力学中，受力物体为相对静止或匀速运动，其运动状态不发生变化，作用于同一构件的各力相互抵消，即所谓“平衡”，根据力的平衡规律，可以求出构件所受各力之间的大小关系。

§ 1-2 力的表示法

力的表达可用矢量法和解析法两种方式。

一、矢量表示法

只有大小的量称为标量，如时间、面积等，兼有大小和方向的量称为矢量。力是矢量，可用带箭头的线段表示，其线段长度表示大小，箭头表示方向，线段起点或矢端表示作用点。

二、解析表示法

设某力 F ，以线段表示如图 1-1 (a)，取直角坐标系 xoy ，分别由 A 点和 B 点向 x 轴及 y 轴作垂线，则此力在轴上投影为 $a_1b_1a_2b_2$ 。

通常规定， a_1b_1 的方向与 x 轴方向一致为正，反之为负， a_2b_2 亦如此。此对于区别两个大小相等方向一致而指向相反的力尤为必要，如图 1-1 (b) 所示， α 表示力的相位。

三、力的合成与分解

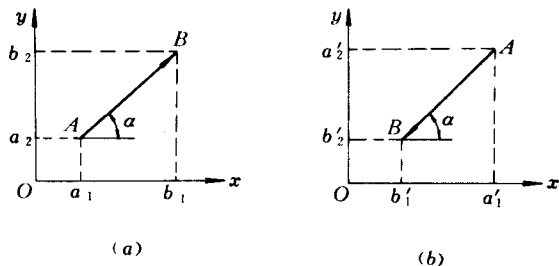


图 1-1

两个力 F 、 P 同时作用于同一构件，其作用可用一个合力 R 来代替，合力 R 的大小、方向和作用点可用 F 、 P 的矢量合成来求得。即以 F 、 P 为邻边所画的平行四边形，其对角线即为合力 R ，如图 1-2 所示。

力的分解过程与上述相反，仍按平行四边形法则处理。力的分解方向通常按规定的相互垂直的两个方向进行。

例 1-1 斜面上的小车见图 1-3，重力 $Q=1000\text{N}$ ，斜面夹角 $\alpha=15^\circ$ ，试求小车的下滑力及对斜面的压力。（不计摩擦）

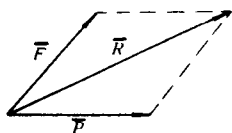


图 1-2

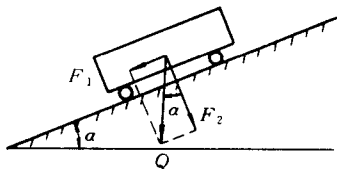


图 1-3

解：（1）沿斜面及斜面的垂直方向将 Q 力分解为两个分力 F_1 及 F_2 。

（2）计算分力的大小：

$$F_1 = Q \sin \alpha = 1000\text{N} \times \sin 15^\circ = 259\text{N} \quad (\text{下滑力})$$

$$F_2 = Q \cos \alpha = 1000\text{N} \times \cos 15^\circ = 966\text{N} \quad (\text{斜面压力})$$

对于两个或两个以上的力同时作用在一个构件之上而不改变构件原有状态（静止或等速运动）时，称为力的平衡。故在受力平衡时，作用于构件上的诸力之和应该等于零，同时尚有其它条件的限制。今后将逐步讨论。

§ 1-3 受力图

研究物体的平衡或运动问题时，首先应该分析物体受到何种力的作用，为清楚表达物体的受力情况，则有必要将所讨论的构件从周围的物体中分离出来，画出受力构件独立的简单轮廓图形，并表示出它所受到的全部力，这种图形称为受力图。

为简便正确地绘制受力图，应该掌握力的一些基本规律。

1. 二力平衡条件

欲使作用在一个刚体上的两个力平衡，其二力应大小相等，方向相反，并且作用在同一直线之上，即：

$$F_1 = -F_2$$

如图 1-4 所示。

2. 可以等效替换的力系

对于受力系作用的刚体，可以加上或减去任意的平衡力系，而并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说，相差任意平衡力系的两个力系作用效果相同，可以相互替换。

3. 力的可传性

作用于刚体上的力,其作用点可沿着它的作用线任意移动,而不改变力对刚体的作用。如图 1-5 所示。但应指出,当涉及构件变形时,此性质不复存在。

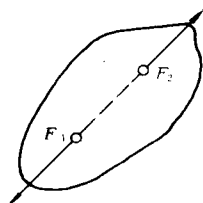


图 1-4

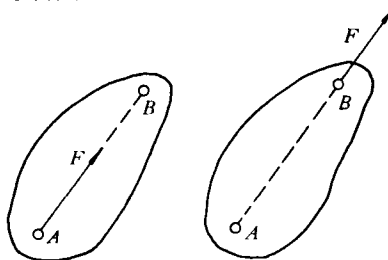


图 1-5

4. 作用力与反作用力

力的作用总是成对同时存在的。有作用力必有反作用力,且其大小相等,方向相反,相互作用于同一条直线上。必须注意:作用力和反作用力是分别作用在两个构件之上。

由众多构件组成的机器,为完成既定的相对运动规律,构件之间应相互制约,当构件甲的运动受到构件乙的限制时,则甲称之为被约束的构件,构件乙与甲相接触的部位称之为“约束”。如机械中轴承是轴的“约束”。我们把“约束”作用在“被约束构件”上的力称为“约束反力”。

不同约束形式,约束反力亦有不同之处。

(1) 刚性光滑面约束。由完全光滑的接触表面构成的约束,在不计摩擦的情况下,认为支承面不能限制物体沿其切线方向滑动,仅能阻止物体沿支承面法线方向运动,故其约束反力之方向将沿接触面的法线且指向物体。如图 1-6 所示。

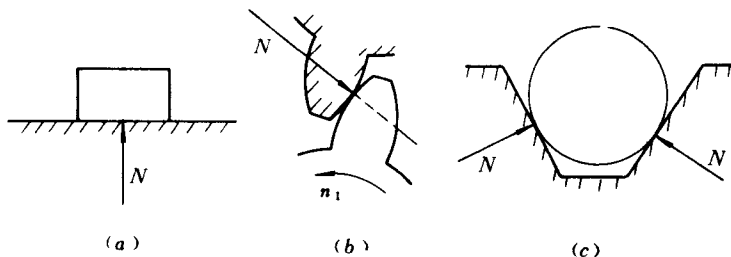


图 1-6

(2) 柔性约束。由柔软的绳索、胶带等形成的约束称为柔性约束,此只能承受拉力,限制构件沿柔性件伸长的方向运动,故约束反力在不计自重的情况下应为柔性件拉力。如起重机的钢绳即如此。

(3) 圆柱形的铰链约束。例如销钉、轴承等,此时构件可绕柱销轴心自由转动,约束表面为一圆周面,在不计摩擦力时,约束反力应沿接触点的法线方向(即全圆各点的法线方向),故可阻止构件在所处平面 $yo\alpha$ 内任意方向移动。所以,固定铰链支座的反力作用线应通过销钉中心,而方向酌情判定,常以 R_x 及 R_y 两个方向的分力来表示。对于活动铰链支座约束,其反力作用线应通过铰链中心,方向垂直于支承面。

例 1-2 分析图 1-9 中 AB 梁的受力情况,画出受力图。

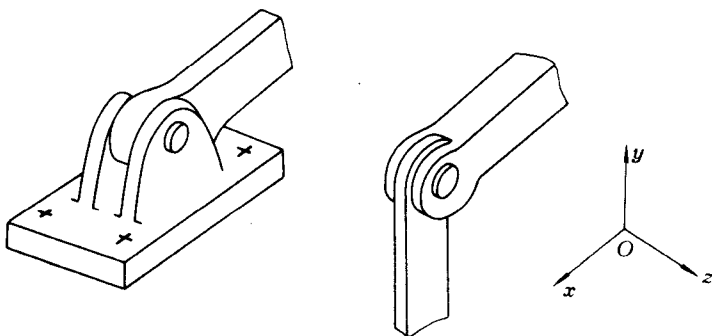


图 1-7

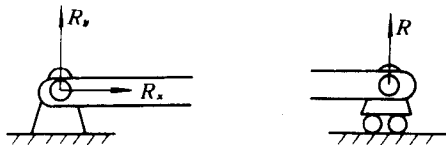


图 1-8

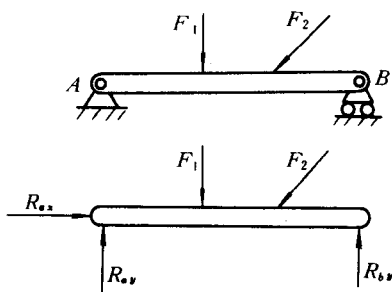


图 1-9

解: (1) 选 AB 梁为研究对象。

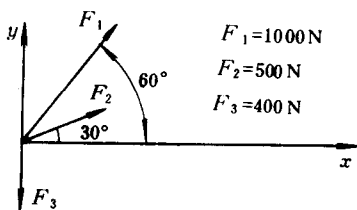
(2) 去掉约束, 以约束反力代之, A 端为固定铰链, 支座反力用 R_{Ax} 及 R_{Ay} 表示, B 端为活动铰链, 支座反力只有 R_{By} (如图所示), 此即为 AB 杆之受力图。

习 题 一

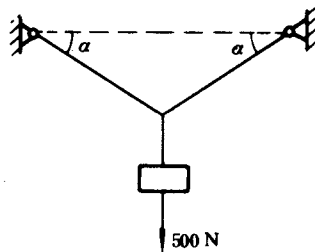
1-1 什么是力的三要素? 当两个力的大小相同方向相反时, 其对物体的作用是否相同?

1-2 计算题图 1-2 中力在 x 轴及 y 轴上的投影值为多少?

1-3 某 500N 的重物, 悬挂在 AB 及 AC 二根绳上, 当 α 角分别为 15° , 30° , 60° 时, 求绳上拉力各为多少?

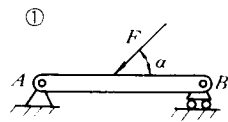


题图 1-2

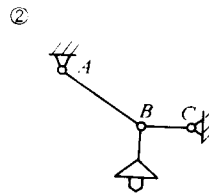


题图 1-3

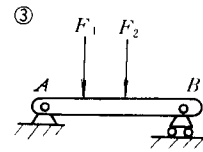
1-4 绘出下列受力图：



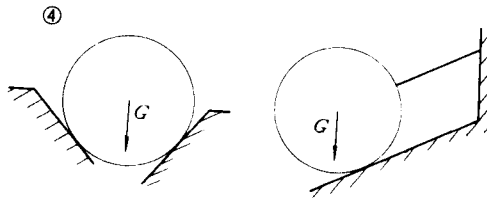
画 AB 杆受力图



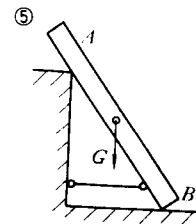
画 B 点受力图



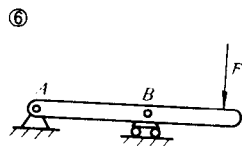
画 AB 受力图



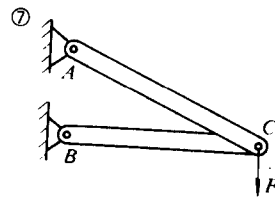
画球的受力图



画 AB 杆受力图



画 AB 受力图



画 AC、BC 及 C 点受力图

题图 1-4

第二章 平面汇交力系

§ 2-1 平面汇交力系的合成

对于所有作用力均处在同一平面的力系称为平面力系。如果平面力系中诸力汇交于一点时则为平面汇交力系。此为工程计算中最简单也是最基本的一种力系。

平面汇交力系中诸力合成的方法，常用两种。其一为几何法，即平行四边形法则，逐次合成求出合力。此作图结果为一个力的多边形，即把力系的各力依原有大小和方向首尾相接，最后所得多边形的封闭边将是诸力之合力。如图 2-1 所示一平面汇交力系，其中包括分力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，欲求合力，则将三力首尾相接画出，最后之封闭边即为合力 R 。另外一种力的

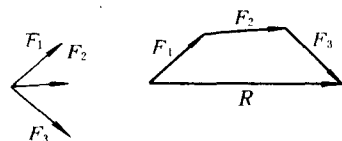


图 2-1

的合成方法为解析法，对平面汇交力系，先取一平面坐标 xoy ，则合力在 x 轴及 y 轴上的投影，分别等于诸分力在 x 轴及 y 轴上投影的代数和，即：

$$\begin{aligned} R_x &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ R_y &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \\ R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \alpha &= \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| \end{aligned}$$

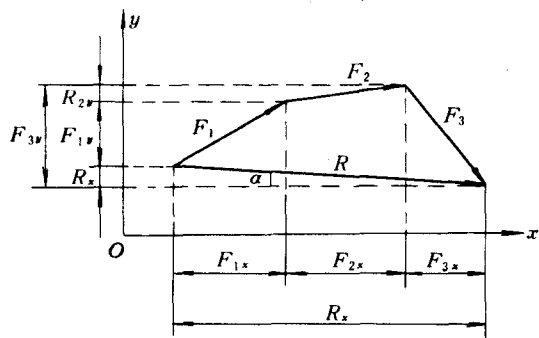


图 2-2

在平面汇交力系中，各分力对物体的总作用将与合力对物体的作用相同。我们称之为“等效”。

§ 2-2 平面汇交力系的平衡条件

平面汇交力系的平衡条件为：合力等于零，即 $R=0$ ，这是一个重要概念。当受汇交力系作用的物体处于平衡状态时，其分力自身将组成一个封闭的多边形，亦即 $R=0$ ， $R_x=0$ ， $R_y=0$ ，可用

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

来表达平面汇交力系的平衡条件。式 (2-1) 称为平面汇交力系平衡方程式。

例 2-1 某重物 $P=20000\text{N}$ ，用钢绳吊在支架的滑轮 B 上，钢绳另一端绕在绞车的卷筒 D 上，如图 2-3 所示。若滑轮大小及其中摩擦、支架重量等略去不计时， A 、 B 、 C 处均为铰接，当重物处于平衡状态时，求杆 AB 及杆 CB 所受力的大小。

解：此处的杆 AB 和杆 BC 均不计自重，两端铰接，它们都是只承受两个力就处于平衡状态的构件，根据二力平衡条件可知，它们必然大小相等，方向相反，并且作用于同一条直线上，亦即作用线必是两端铰链的中心连线。故此，工程上常将本身不受主动力作用的双铰链杆视为刚体，其约束反力方向沿两端铰链中心连线称为“二力杆”。

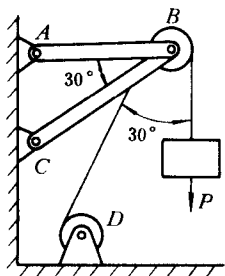


图 2-3

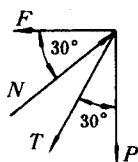


图 2-4

由此，可画出受力图。取滑轮 B 为讨论对象，其上作用四个力：重物拉力 P ，卷筒上钢丝绳拉力 T ，($T=P$) AB 杆上的反作用力 F ， CB 杆上的反作用力 N ，如图 2-4 所示。图中 F 与 N 的指向暂定，但其方向总是沿本身轴线，因均是二力杆。

根据平衡条件： $\Sigma F_y=0$ ，故

$$N \cos 60^\circ - T \cos 30^\circ - P = 0$$

$$N \times 0.5 - 20000 \times 0.866 - 20000 = 0$$

因为

$$N = 74600 \text{ N}$$

又， $\Sigma F_x=0$ 时，则：

$$N \cdot \cos 30^\circ - F - T \cos 60^\circ = 0$$

$$N \times 0.866 - F - 20000 \times 0.5 = 0$$

将 $N=74600$ 代入得：

$$F = 54600 \text{ N}$$

由于求出 N 与 F 均为正值，故原假设指向正确。应当指出，此处是 B 点的受力图， F 对于 AB 杆来说应该是拉力， N 对 CB 杆来说应该是压力。

例 2-2 如图 2-5 所示某三角支架 ABC ，在 AB 杆上作用有 P ，试画 AB 杆受力图。

解：取 AB 杆为研究对象， B 点反力必沿 CB 杆轴线（因为 CB 杆为二力杆），以 R_B 表示， A 点反力 R_A 方向一时难以确定，但因 AB 杆只受 P 、 R_B 及 R_A 三个力作用达平衡状态，则 R_A 的方向必然过 P 与 R_B 的交点 O ，故 R_A 方向即可决定。此即三力平衡定理：当物体受三个同平面的力作用而平衡时，如果其中两个力的作用线相交于一点，则第三个力的作用线亦必通

过此点。

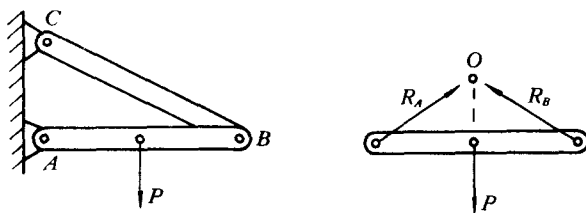
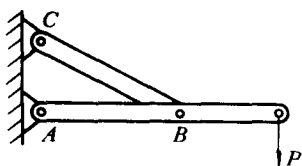


图 2-5

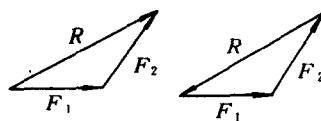
习 题 二

2-1 什么是平面汇交力系？其平衡条件是什么？

2-2 试画题图 2-2 中支承架中杆 AB 的受力图。



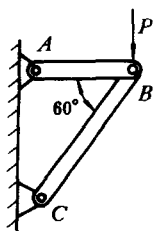
题图 2-2



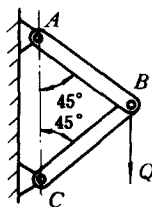
题图 2-3

2-3 试分析题图 2-3 中两力的三角形各表示什么意义？

2-4 题图 2-4 所示支架 B 点处所受力 $P=2000\text{N}$ ，求 AB 杆及 AC 杆上所受力的大小。

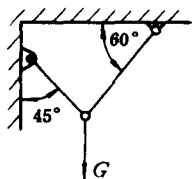


题图 2-4

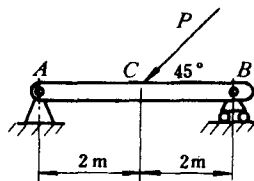


题图 2-5

2-5 题图 2-5 中支架 B 点处所受力 $Q=1000\text{N}$ ，求 AB 杆及 BC 杆上所受力的大小。



题图 2-6

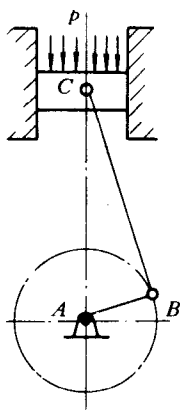


题图 2-7

2-6 用两根钢绳如题图 2-6 所示角度悬挂重物 $G=10000\text{N}$ ，当不计钢绳自重时，各自的拉力有多大？

2-7 题图 2-7 所示简支梁 AB ，在中点 C 处作用 $P=20000\text{N}$ ，自重不计，求支座反力大小。

2-8 题图 2-8 所示曲柄滑块机构中，已知曲柄 $AB=10\text{cm}$ ，连杆 $BC=30\text{cm}$ ，活塞直径 $d=10\text{cm}$ ，设汽缸内的压强 $p=400\text{MPa}$ ，试求在图示位置时连杆推动曲柄的力，活塞对汽缸壁的压力。（自重及摩擦力不计）



题图 2-8