



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校机械专业教学用书

第2版

机械基础

(含习题册)

JIXIE JICHU HANXITICE

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 组编
机电专业委员会

黄国雄 编



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校机械专业教学用书

机械基础

第2版
(含习题册)

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 组编
机电专业委员会



机械工业出版社

本书为中等职业学校机械专业的专业基础课教材,被评为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。其主要内容包括静力学、材料力学、机械零件、机械传动、机构和液压传动等。本书通俗易懂,详略得当,图文并茂,注重应用。

本书可供中等职业学校机械类专业的师生使用,也可作为技术工人自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础:含习题册/黄国雄编.—2版.—北京:机械工业出版社,2013.5

教育部职业教育与成人教育司推荐教材 中等职业学校机械专业教学用书

ISBN 978-7-111-42583-0

I. ①机… II. ①黄… III. ①机械学—中等专业学校—教材
IV. ①TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第106686号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王晓洁 责任编辑:王晓洁

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·378千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42583-0

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

中等职业学校机械专业教学用书

编审委员会名单

主 任	郝广发					
副 主 任	周学奎	刘亚琴	李俊玲	何阳春	林爱平	李长江
	付 捷	单渭水	卓 嘉	王兆山	张仲民	
委 员	(按姓氏笔画排序)					
	于 平	王 珂	王 军	王洪琳	付元胜	付志达
	刘大力	刘家保	许炳鑫	孙国庆	李木杰	李稳贤
	李鸿仁	李 涛	何月秋	杨柳青	杨耀双	杨君伟
	张敬柱	张跃英	林 青	周建惠	赵杰士	郝晶卉
	荆宏智	贾恒旦	黄国雄	董桂桥	曾立星	甄国令
本书编者	黄国雄					

前言

由中国机械工业教育协会、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组编的“中等职业学校机械专业和电气维修专业教学用书”(共22种)自2003年出版以来,已多次重印,受到了教师 and 学生的广泛好评,其中17种被评为“教育部职业教育与成人教育司推荐教材”。

随着技术的进步和职业教育的发展,本套教材中涉及的一些技术规范、标准已经过时,同时,近年来各学校普遍进行了教学和课程的改革,使教学内容也有了一定的更新和调整。为更好地服务教学,我们对本套教材进行了修订。

在修订过程中,贯彻了“简明、实用、够用”的原则,反映了新知识、新技术、新工艺和新方法,体现了科学性、实用性、代表性和先进性,正确处理了理论知识与技能的关系。本次修订充分继承了第1版教材的精华,在内容、编写模式上做了较多的更新和调整。为适应教学改革的需要,部分专业课教材采用任务驱动模式编写。本套教材全部配有电子课件,部分教材配有习题集或课后习题。第2版教材具有以下特点:

(1) 职业性 专业设置参照有关专业目录,并根据职业发展变化和社会实际需求确定。

(2) 先进性 本套教材在修订过程中,主要是更新陈旧的技术规范、标准、工艺等,做到知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新,并根据教学需要,删除过时和不符合目前授课要求的内容,精简繁杂的理论,适当增加、更新相关图表和习题,重在使学生掌握必需的专业知识和技能。

(3) 实践性 重视实践性教学环节,加强了技能训练和生产实习教学,努力实现产教结合。

(4) 实用性 与企业培训和其他类型教育相沟通,与国家职业资格证书体系相衔接。

本套教材的编写工作得到了各相关学校领导的重视和支持,参加教材编审的人员均为各校的教学骨干,使本套教材的修订工作能够按计划有序地进行,并为编好教材提供了良好的保证,在此对各个学校的支持表示感谢。

本书由黄国雄编写。

尽管我们不遗余力,但书中仍难免存在不足之处,敬请读者批评指正。我们真诚地希望与您携手,共同打造职业教育教材的精品。

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

目 录

前言

绪论	1
第一章 静力学	3
第一节 静力学的基本概念	3
第二节 平面汇交力系	9
第三节 力矩与力偶	14
第四节 平面任意力系的合成与平衡	17
第五节 考虑摩擦力时物体的平衡	20
第六节 空间任意力系	22
复习思考题	24
第二章 材料力学	28
第一节 材料力学概论	28
第二节 拉伸与压缩	29
第三节 剪切与挤压	32
第四节 扭转	35
第五节 直梁弯曲	39
第六节 组合变形	44
第七节 影响构件强度的其他因素	46
复习思考题	49
第三章 机械零件	52
第一节 机械零件与传动概述	52
第二节 螺纹联接	55
第三节 轴	61
第四节 键与销	68
第五节 滑动轴承	71
第六节 滚动轴承	75
第七节 联轴器、离合器、制动器	80
复习思考题	86



第四章 机械传动	88
第一节 带传动	88
第二节 链传动	94
第三节 齿轮传动	96
第四节 蜗杆传动	113
第五节 轮系	116
第六节 螺旋传动	121
复习思考题	125
第五章 机构	127
第一节 平面连杆机构	127
第二节 凸轮机构	133
第三节 间歇运动机构	137
第四节 变速变向机构	140
第五节 安全保险机构	142
复习思考题	144
第六章 液压传动	146
第一节 液压传动的基本概念	146
第二节 液压泵和液压缸	150
第三节 液压控制阀	156
第四节 液压辅件	171
第五节 液压传动系统的应用	173
复习思考题	175
参考文献	179

绪 论

现代化的工业生产广泛使用各种机械设备,如车床、铣床、刨床、磨床、钻床以及组合机床等各种工作母机,电动机、内燃机、汽轮机等将电能、化学能、热能转变为机械能的各種原动机,泵、压缩机等利用原动机提供的机械能完成有用功的工作机。机械设备是工业生产的重要技术装备,它们的质量直接影响工业生产的水平,生产的机械化程度已是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

对于从事机械加工及机械维修的技术工人来说,其工作内容就是直接与各种机械打交道,如按图样要求采用适当的方法加工机械零件,把零件按机械设备的技术条件进行部件装配和总装配、调整和修配,对机械设备进行维护保养,对在使用中出现故障、损坏或长期使用后精度降低的机械设备进行维修等。这些工作都要求其掌握机械的基础知识和机械操作技能,了解机器和设备的构造和原理,分析机械的受力情况和工作能力,能按照标准和规范正确选择机械的通用零、部件等。这就是我们学习这门课程的目的。

《机械基础》是一门重要的专业基础课,它研究的内容主要有以下几部分:

(1) 静力学基础 研究物体在静载荷作用下的平衡问题,分析物体平衡时的受力情况,确定各力的大小和方向,为分析机械的受力及力学计算打下基础。

(2) 材料力学 研究物体受力时的变形情况及如何进行强度计算,为机械设备的零部件确定合理的材料、形状和尺寸,以达到安全及经济的目的。

(3) 机械零件 研究螺纹联接、轴、轴承、键与销、联轴器、离合器、制动器等机械零件的基本参数、结构特点及应用情况。

(4) 机械传动 研究带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、螺旋传动等各类机械传动的类型、特点与基本计算及应用。

(5) 机构 研究机械中平面连杆机构、间歇运动机构、变速变向机构及安全保险机构的组成、工作原理、运动特性等。

(6) 液压传动 了解液压传动的基本原理,各种液压泵、液压缸、控制阀的结构、工作原理及性能特点。各种液压辅助元件的结构与作用,简单液压回路的分析等。

机械基础课程是一门有一定理论知识且实践性又较强的课程,学习本课程时要注意以下几个方面:

- 要注意掌握静力学和材料力学中的基本概念、基础理论和基本计算方法,学习时要注意掌握和应用合理的假设、准确的概括与抽象、严密的逻辑推理等科学方法,以解决机械中的一些力学分析和计算问题。

- 机械零件、机械传动、机构、液压传动等在生产实践中应用十分广泛,我们要仔细观察、积极思考,弄清其中的结构和原理。

- 学习中要运用辩证唯物主义观点,认真理解基本概念、定理、公式的意义,并且要注意通过例题、习题等的训练,掌握基本的分析、运算技能,同时还应熟悉一些机械类标准等相关资料。



- 学习中注意与其他课程学习之间的联系，特别注意与机械制图、公差与技术测量、金属材料及各工种专门工艺学的联系，打好基础，拓宽知识面，加强学习的目的性与针对性，不断提高学习效率和效果。

- 本课程理论与实际联系比较密切，学习时要坚持理论联系实际的原则，注意与实习教学相结合，不断积累感性知识，重视生产实习、实验和参观，并用所学的理论去分析和指导实践。

机械是人类进行生产劳动的重要工具，也是社会生产力发展水平的一个重要标志。在古代社会，人类就已开始利用杠杆、滚子等简单工具从事劳动，这些可以说是机械的鼻祖，18世纪中叶，随着蒸汽机的发明出现了由原动机、传动机、工作机所组成的近代机器，促进了机械工业的大发展，从而带动了整个工业革命。

在几千年的文明史中，我国劳动人民在机械领域中，曾有过辉煌的成就，公元前2世纪，发明了齿轮系传动的记道车和司南车，在陕西临潼出土的秦陵彩绘铜车马，显示出当时已具备高超的机械制造工艺。张衡发明的相当复杂的天文仪器，距今约有一千八百多年，我国在机械工程中的发明，源远流长，足以显示出我国劳动人民的聪明才智，值得我们引以自豪。新中国成立后，特别是改革开放30多年来，我国的机械工业有了较快的发展，机械工程领域成就卓著，正在努力赶上和超越世界先进水平。机械类职业学校的学生是机械工业战线上的后备力量，肩负着振兴机械工业的历史使命，将来要直接修理及使用各种机械设备，所以现在必须努力学好《机械基础》这门课程，掌握各种机械设备的构造原理和运动规律，为今后在工作岗位上，合理地使用、维护和改革各种机械设备创造条件，为后续专业课的学习打好基础。

第一章

静力学

静力学研究物体受力分析的方法和物体在力系作用下处于平衡的条件,物体受力分析的方法和平衡条件在机械中有较多应用,如轴、齿轮、螺栓等机械零件及手动工具和低速运转的机械等,它们大多在平衡状态下工作,或者可近似地看作为平衡状态。为了保证机械零件和工程构件能安全可靠的工作,许多工程技术中的问题都直接需要采用静力学的理论和方法进行求解,根据静力学的基本知识进行受力分析及根据平衡条件求出其未知力,从而合理地选择零件的形状和尺寸,以满足生产实际的需要。

第一节 静力学的基本概念

一、力的基本概念

1. 力

人们在长期的生产和生活实践中逐步形成了力的概念,如推动小车、搬运重物、拧紧螺母等都要用到力,力是物体与物体间的相互作用,一个物体受到力的作用必定有另一个对它施力的物体,如果没有施力物体,力也就不可能存在。列车在机车的牵引下,由静止到运动,由慢到快,速度大小发生变化;小球受到细绳的牵引(见图 1-1a),运动方向发生变化;所有这些物体运动状态的变化,都是物体受力作用的结果,即力是使物体运动状态发生变化的原因。弹簧受到重物的作用或受到手的作用会伸长或缩短(见图 1-1b),是重物的重力或手对弹簧拉(压)力作用的结果。即使作用力很小或弹簧非常坚硬,变形不易被人们所察觉,但变形是客观存在,受力作用而不产生变形的物体是没有的,只是程度不同而已,即力是使物体形状发生变化的原因。总之,力是物体间相互的机械作用,力不能脱离物体而独立存在,力的作用效果是使物体运动状态发生变化或使物体产生变形。

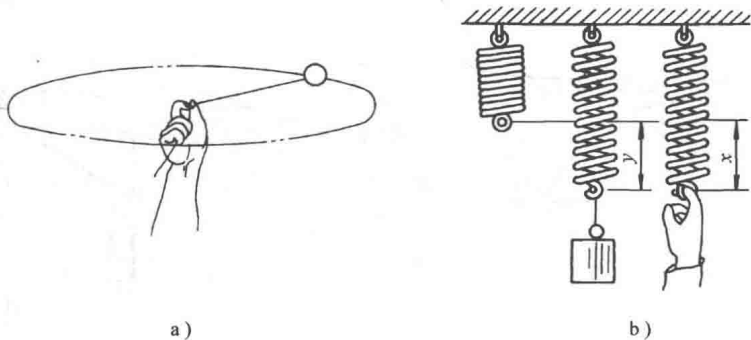


图 1-1 力的作用效果

a) 力改变物体的运动状态 b) 力使物体产生变形

由实践可知,力对物体的作用效果取决于三个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度,其大小可以用测力器测定,在国际单位



制中,力的单位是 N (牛顿) 和 kN (千牛顿)。在工程单位制中,力的单位是 kgf (千克力),其换算关系为

$$1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

力具有方向,用同样大小的力从左向右或从右向左推动小车,小车的运动效果是不同的。

力的作用点不同,对物体的作用效果也不同,如图 1-2 所示,用同样大小和方向的推力推木块,推力作用点居中,木块向前移动,如作用点在上端,木块可能翻倒。

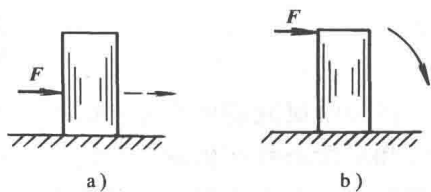


图 1-2 力的作用点影响力
的作用效果

力的三要素可用带箭头的有向线段来表示,称为力矢。按一定比例所画的力矢长度表示力的大小;力矢的起点或终点表示力的作用点;沿力矢顺着箭头的指向表示力的方向。

2. 刚体

在力的作用下形状和大小都保持不变的物体称为刚体。如前所述,任何物体在力的作用下都会产生不同程度的变形,但实际工程构件的变形一般都很微小,为使研究的问题得以简化,常常将微小的变形略去不计,以更合理地反映客观事物的本质及方便力学问题的分析和计算。

3. 平衡

平衡是指物体相对于惯性参照系保持静止或作匀速直线运动的状态。工程上所指的物体平衡,一般是相对于地球而言。所以,常将固联于地球或相对于地球作匀速直线运动的参考系视为惯性参考系。静力学主要研究物体的平衡问题,其所研究的物体只限于刚体,如刚体只受两个力作用而处于平衡状态时,这两个力则必定大小相等、方向相反且作用在同一直线上,如图 1-3 所示。

4. 力的合成与分解

图 1-4 所示为两根绳悬挂重物处于平衡状态,此时一个力 F_R 对重物的作用相当于两个力 F_1 、 F_2 对重物的作用,我们把力 F_R 叫做力 F_1 、 F_2 的合力。而力 F_1 、 F_2 叫做力 F_R 的两个分力。

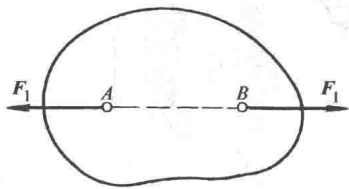


图 1-3 二力平衡

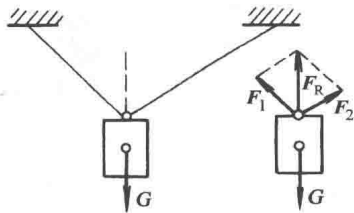


图 1-4 力的合成

交于一点的两个力的合力,可由力的平行四边形法则来确定,作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点就在该点,合力的大小和方向用该两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示,如图 1-4 中的 F_R 。



两个分力可以合成为一个合力，一个合力也可以分解成两个分力。力的分解同样可用平行四边形法则进行，但将一个已知力分解成两个分力有多种分法，如图 1-5a 所示， F_R 可以分解为 F_1 、 F_2 ，也可以分解为 F'_1 、 F'_2 。要想得到惟一的解答，必须增加条件，如已知合力的两个分力方向或已知一个分力的大小和方向。在工程实际中常将一个力沿直角坐标轴方向分解，得到两个互相垂直的分力，如图 1-5b 所示。

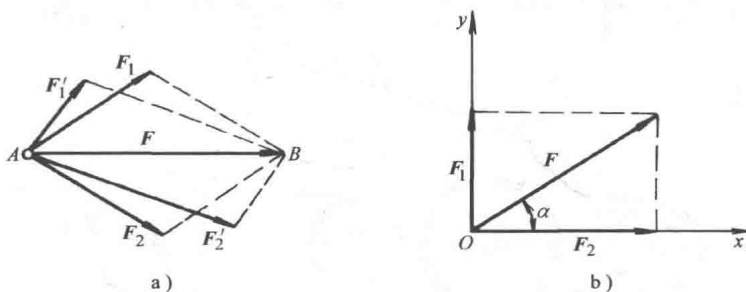


图 1-5 力的分解

a) 将力分解成多对分力 b) 将力分解成相互垂直的分力

二、约束和约束反力

研究物体的平衡或运动问题时，首先必须分析物体受到哪些力的作用，并确定物体所受到的力的大小、方向和作用点位置。自然界的一切事物总是以各种形式与周围事物互相联系而又互相制约的。在机械中，任何构件的运动都会受到与它相联系的其他构件的限制，如轴受到轴承的限制，使其只能绕轴线旋转，车床尾座受导轨的限制只能沿其床身做平移运动等。一个物体的运动受到周围物体的限制时，这些周围物体就称为约束。约束对物体的运动起限制作用的力，称为约束力，又称约束反作用力或约束反力。约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。

下面分析机械工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特点：

(1) 柔性约束 指由线绳、链条或胶带等非刚性体所形成的约束。柔性约束只能承受拉力，而不能承受压力，它们只能限制物体沿着柔性体伸长的方向运动。即柔性体对物体的约束反力是通过接触点，沿柔性体中心线作用的拉力，柔性约束反力常用符号 F_T 表示，如图 1-6 所示。

(2) 光滑接触面约束 指物体与光滑面成点、线、面刚性接触（摩擦力很小，可忽略不计）所形成的约束。这种约束只能限制物体沿着光滑面的公法线方向并指向光滑面的运动，而不能限制物体沿着光滑面的切线方向或背离光滑面的运动。即光滑面的约束反力方向是沿接触面的法线方向而指向物体，使物体受一法向压力的作用。这种约束反力又称法向反力，常用符号 F_N 表示。机械中光滑面约束的实例很多，如机床工作台与导轨的接触面、变速箱中齿轮的啮合等，如图 1-7 所示。

(3) 光滑铰链约束 物体经圆柱铰链所形成的约束，如图 1-8 所示，圆柱形铰链是由两个端部带圆孔的杆件，用一个销钉联接而成的。这种联接限制了两构件彼此的相对平移，而只允许它们绕销钉轴线转动。

光滑铰链约束应用广泛，如图 1-9 所示内燃机中曲柄与连杆用销 A 的联接，连杆与活塞用活塞销 B 的联接；光滑铰链约束又可分为中间铰链约束、固定铰链支座约束和活动铰链

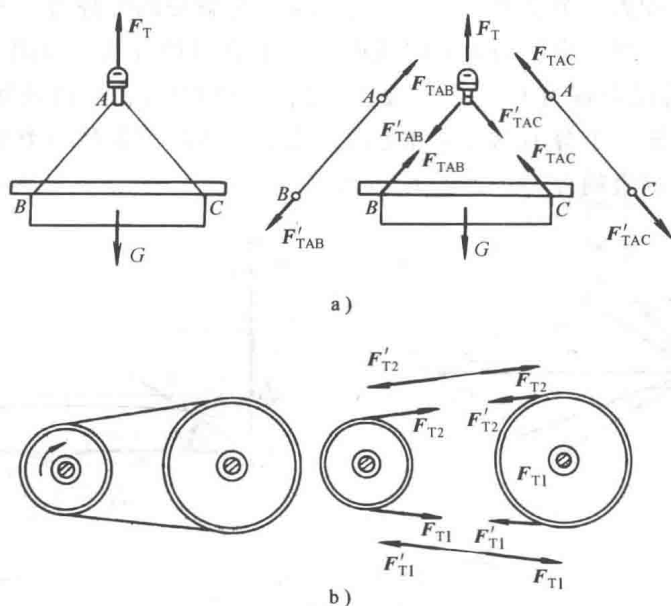


图 1-6 柔性约束

a) 绳索 b) 传动带或链条

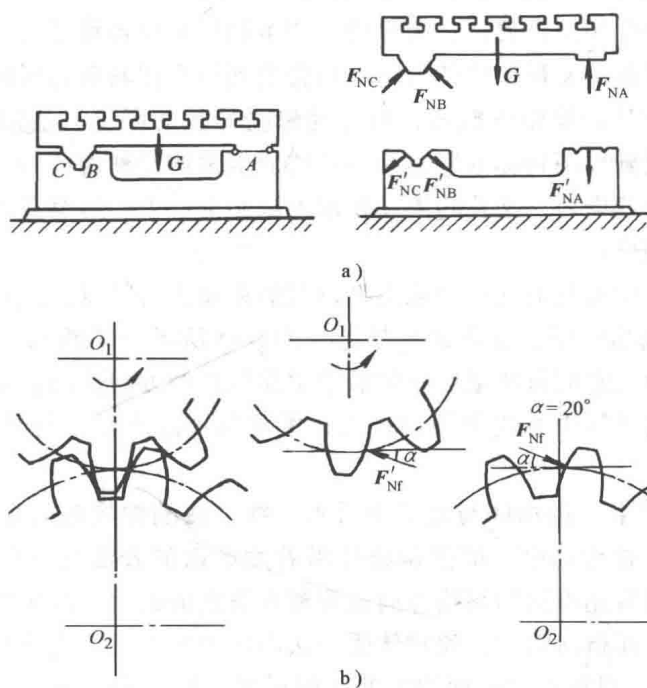


图 1-7 光滑面约束

a) 机床工作台与导轨的接触面 b) 齿轮啮合

支座约束。用销子联接的两个构件中，如有一个是固定件，则称其为支座，销子固定于支座上，另一构件可绕销子的中心旋转，这种支座称固定铰链支座，其形式和简图如图 1-10 所示。在图 1-9 中 O 点即为固定铰链支座约束。

固定铰链支座约束反力的方向是随转动零件所处的位置的变化而变化的，通常可用两个

相互垂直的分力 F_x 、 F_y 来表示。约束反力的作用线必定通过铰链的中心。

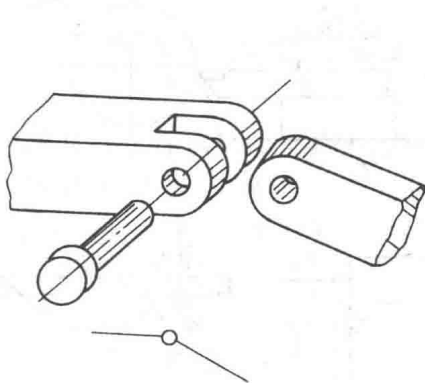


图 1-8 光滑铰链约束

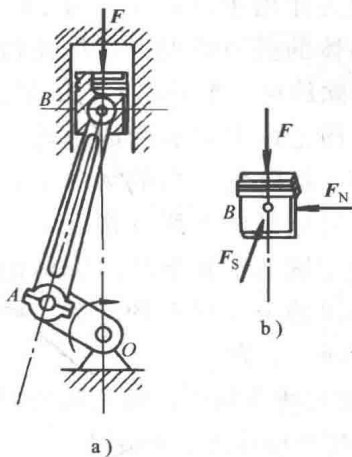


图 1-9 曲柄连杆机构中的铰链约束

在桥梁等结构中，常采用一种搁在几个圆柱形滚子上的铰链支座，支座在滚子上可任意左右移动，允许两支座间距稍有变化，这种支座称为活动铰链支座，其形式和简图如图 1-11 所示。在不计摩擦的条件下，支座只能限制构件沿支承面垂直方向的运动，故活动铰链支座的约束反力必定通过铰链中心，并与支承面垂直。

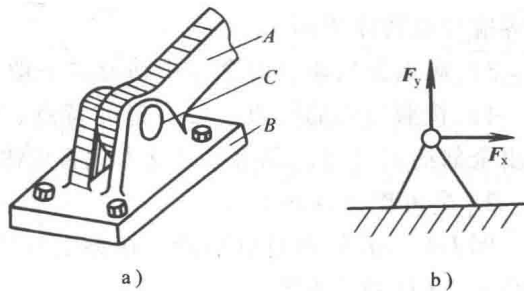


图 1-10 固定铰链支座约束形式及简图

(4) 固定端约束 物体的一部分固嵌于另一物体所构成的约束。例如：车床上的刀架对车刀的约束，自定心卡盘对工件的约束等。固定端约束可阻止被约束物体沿任何方向的移动和转动，即这种约束在一般情况下，除存在互相垂直的约束反力的两分力外，还存在一个阻止其转动的力偶矩，它的约束形式及简图如图 1-12 所示。

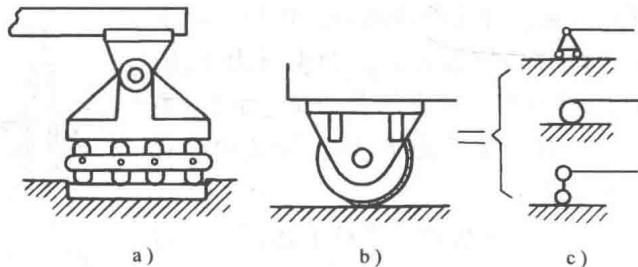


图 1-11 活动铰链支座约束形式及简图

三、物体的受力和受力图

1. 物体的受力分析及受力图的画法

物体受到的力一般可分为两类，一类是使物体产生运动的主动动力；另一类是约束对物体的运动起限制作用的约束反力，当物体受到主动力作用后，将对其所有的约束产生作



用力,从而各个约束将以等值、反向的反作用力作用于该物体。为了清楚地表示物体的受力情况,可把要研究的物体解除约束,单独画出它的简图,并在其简图上画出它所受的主动力和约束反力。解除约束后的物体称为分离体,画出分离体上所有作用力的简图称为受力图。正确地画出物体的受力图是解决静力学问题的基础。画受力图的步骤一般为:

1) 确定研究对象,即明确要研究机构中的哪个构件的受力情况。

2) 解除研究对象上的全部约束,画出分离体。所画的分离体的形状、方位等应与原物体相同。

3) 画出分离体上的全部主动力(一般为已知力)。

4) 按照约束的性质(二力杆的特点、作用力与反作用力公理、三力平衡汇交定理等)画出全部约束反力,即用约束反力代替原来约束对物体的作用力。

2. 受力图画法举例

例 1-1 AB 杆的自重不计,在梁上作用一个力 F ,其支承及受力情况如图 1-13a 所示,试画出 AB 杆的受力图。

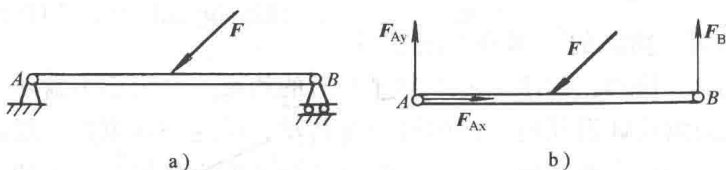


图 1-13 例 1-1 图

解 以杆 AB 为研究对象,将其单独画出。作用在梁上的主动力是已知力 F , A 端是固定铰链,其约束反力 F_A 的大小和方向未知,可以用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示, B 端为活动铰链支座,其约束反力 F_B 通过铰链中心且与支承面垂直,如图 1-13b 所示。

例 1-2 图 1-14 所示为一凸轮机构,推杆上作用一个力 F ,试画出推杆的受力图。

解 取推杆为分离体,主动力为 F ,凸轮与推杆在 E 点接触,故凸轮给推杆的约束反力 F_{RE} 的方向为凸轮曲线上 E 点的法线方向,推杆在负荷 F 及凸轮法向压力 F_{RE} 的作用下会发生倾斜,因而推杆与滑道在 b 、 c 点接触,滑道给予推杆的约束反力为垂直于推杆的 F_{Nb} 、 F_{Nc} 两个力,如图

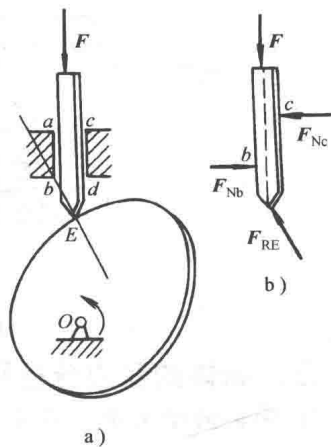


图 1-14 例 1-2 图

1-14b所示。

第二节 平面汇交力系

作用在刚体上各个力的作用线如果均在同一平面内,则这种力系称为平面力系,在平面力系中如果各力的作用线都汇交于一点,这样的力系又叫做平面汇交力系。平面汇交力系在机械中经常遇到,如图 1-15 所示,在组合机床上同时加工一壳体上的四个径向孔。而该四个孔的中心线汇交于一点,即该壳体同时受到四个汇交于中心 O 的力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 的作用。

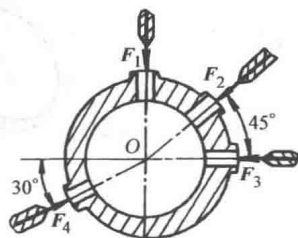


图 1-15 组合机床上孔的加工

一、平面汇交力系合成的几何法

1. 两个汇交力的合成 (力三角形法)

设作用在刚体上有汇交于 A 点的两个力 F_1 和 F_2 , 如上所述, 这两个力的合力可根据力的平行四边形法则求得。这两个力的合力 F_R 的作用点是原力系 F_1 、 F_2 的汇交点 A , 其大小和方向是以 F_1 和 F_2 为邻边所构成的平行四边形的对角线, 如图 1-16a 所示。实际上只要画出力的平行四边形的一半, 即可得到合力, 如图 1-16b 所示。可省略 AC 与 CD , 从留下的 $\triangle ABD$ 中即可解得合力 F_R 的大小与方向。这种方法称力三角形法, 如严格地按一定比例作图, 合力 F_R 的大小及方向可由图上量得。此法简便, 工程上亦常采用, 但作图易产生误差, 如需精确解, 则可用余弦定理进行计算。

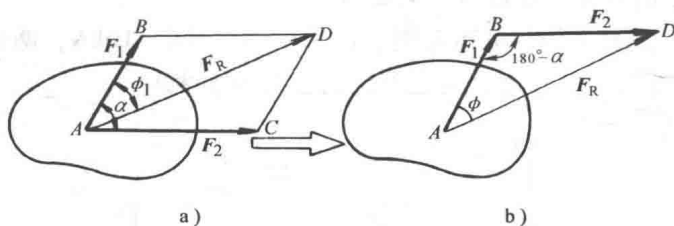


图 1-16 两个汇交力的合成

由 $\triangle ABD$ 得

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

再由正弦定理确定其方向

$$\frac{F_2}{\sin\phi_1} = \frac{F_R}{\sin(180^\circ - \alpha)} \quad (1-2)$$

2. 多个汇交力的合成

设在刚体上的 O 点作用了一个平面汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 , 如图 1-17a 所示, 要求这个汇交力系的合力时, 可以连续应用力的三角形法则。如图 1-17b 所示, 先求出 F_1 和 F_2 的合力 F_{R1} , 再求 F_{R1} 和 F_3 的合力 F_{R2} , 最后求出 F_{R2} 和 F_4 的合力 F_R , 力 F_R 就是原汇交力系的合力。实际作图时, 虚线所表示的 F_{R1} 、 F_{R2} 不必画出, 只要按一定的比例分别依次作出代表力 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 的矢量 AB 、 BC 、 CD 和 DE , 则首端 A 和尾端 E 的连线 AE 即为合力的大小和方向。合力的作用点仍是原汇交力系的交点 O 。多边形 $ABCDE$ 叫做力多边形,



这种求合力的方法叫做力多边形法则，力多边形法则中力多边形的封闭边（首尾的连线）就代表原汇交力系的合力。实际使用中在精度要求不高的情况下，可采取精确画图，最后量出封闭边的尺寸及方向。

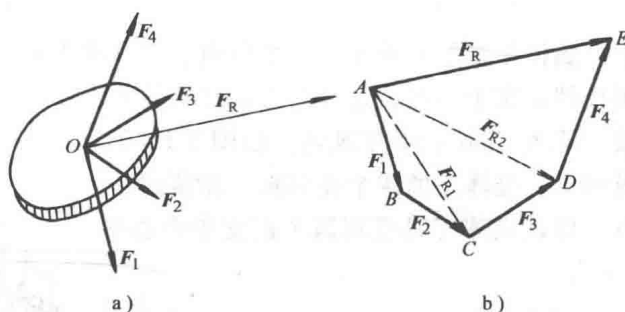


图 1-17 力的多边形法则

二、平面汇交力系平衡的几何条件

平面汇交力系可以合成为一个合力 F_R ，即合力 F_R 与原力系等效。如果某平面汇交力系的力多边形首尾相重合，即力多边形自行封闭，则力系的合力 F_R 等于零，物体处于平衡状态，这样的力系称为平衡力系。反之若平面汇交力系平衡，则力多边形必自行闭合，此时力系的合力 F_R 为零。这也被称为平面汇交力系平衡的几何条件，用公式表示为

$$F_R = 0, \text{ 或 } \sum F = 0$$

如果已知物体在平面汇交力系作用下处于平衡状态，则可以应用力平衡的几何条件，通过作用在物体上的已知力求出未知的约束反力。

例 1-3 图 1-18a 是起吊构件的示意图。已知构件自重 $G = 10\text{kN}$ ，两钢丝绳与铅垂线的夹角均为 45° 。求当构件匀速起吊时，两钢丝绳的拉力为多少？

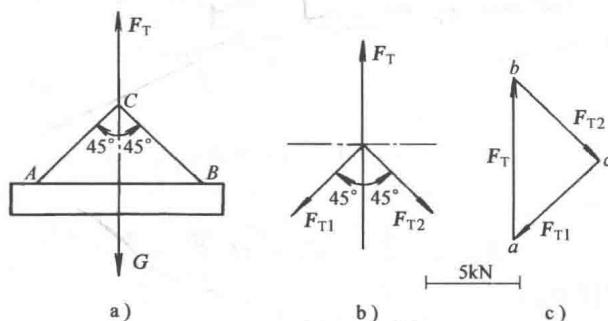


图 1-18 例 1-3 图

解 对整个起吊系统而言，这是一个二力平衡问题。构件的重力 G 及拉力 F_T 构成平衡力系， $F_T = G = 10\text{kN}$ 。吊钩 C 受到三个汇交于 C 点的拉力 F_T 、 F_{T1} 、 F_{T2} 作用且平衡，可用平面汇交力系平衡的几何条件求解。这里 F_{T1} 、 F_{T2} 的方向已知，而 F_{T1} 、 F_{T2} 的大小未知，如图 1-18b 所示。

选择适当的比例作 $ab = F_T$ ，过 a 、 b 分别作 F_{T1} 和 F_{T2} 的平行线相交于 c ，即得自行闭合的力三角形 abc 。 bc 代表 F_{T2} 的大小和方向； ca 代表 F_{T1} 的大小和方向，如图 1-18c 所示。按比例可量得