

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



Foundation of Mechanics

JIXIE JICHU

机械基础

吕海鸥 陈丽华 主 编
李 健 张国俊 副主编
曾志莲 孙泰鹏



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



JIXIE JICHU

机械基础

主 编 吕海鸥 陈丽华
副主编 李 健 张国俊 曾志莲 孙泰鹏
编 写 王 琳 白 斌 李铁钢 马 涛
主 审 付大鹏



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书从理论与生产实际相结合的角度出发,以培养应用型人才为主导思想,提供最必要的基础理论和基本知识为宗旨,弱化推导,突出应用,方便教学。全书分三篇共十九章。第一篇工程力学,内容包括静力学基本概念及受力分析、平面汇交力系、平面力偶系、平面一般力系、轴向拉伸和压缩、圆轴的扭转、直梁的弯曲;第二篇常用机构和通用零件,内容包括平面机构及运动简图、平面连杆机构、凸轮机构和其他常用机构、机械工程常用材料、螺纹连接和螺旋传动、带传动、齿轮传动、轴及其连接、轴承;第三篇液压传动,内容包括液压传动的基本知识、液压元件、典型液压系统。

本书可作为高等工科院校非机类专业的教材,也可供高等职业院校相关专业学生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/吕海鸥,陈丽华主编. —北京:中国电力出版社,2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8175-6

I. 机… II. ①吕…②陈… III. 机械学-高等学校-教材
IV. TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第203683号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年2月第一版 2009年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16印张 385千字

定价 26.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

机械是现代社会进行生产和服务的五大要素(即人、资金、能量、材料和机械)之一,而能量和材料的生产还必须有机械的参与。任何现代产业和工程领域都需要应用机械,例如农业、林业、矿山等需要农业机械、林业机械、矿山机械;冶金和化学工业需要冶金机械、化工机械;纺织和食品加工工业需要纺织机械、食品加工机械;房屋建筑和道路、桥梁、水利等工程需要工程机械;电力工业需要动力机械;交通运输需要各种车辆、船舶、飞机等,各种商品的计量、包装、储存、装卸需要各种相应的工作机械,就是人们的日常生活,也越来越多地应用机械,如汽车、自行车、缝纫机、钟表、照相机、洗衣机、冰箱、空调机、吸尘器等等。

“机械基础”是非机械类专业的一门技术基础课。由于专业要求不同和学时的限制,在非机械类专业的教学中,不可能设置有关机械方面的一系列课程。因此,提供有关机械方面最必要的基础理论和基本知识,培养学生对机械的分析能力和进行简单设计计算的初步能力的任务,就由本课程来完成。

对机械的研究是以力学理论为基础的,常用机构和通用零件则是本课程的主要研究对象。此外,现代机械中又经常采用液压传动的装置,考虑到这些情况,并照顾到有关学科的传统体系和便于进行教学,本书内容分为以下三篇。

第一篇,工程力学——主要介绍物体的受力分析、力系的简化和物体的平衡条件,以及物体在外力作用下的变形,受力和破坏的规律,强度(抵抗破坏的能力)和刚度(抵抗变形的能力)计算的方法。

第二篇,机构及机械零件——主要阐述一般机械中常用机构的工作原理、运动特点和设计方法,以及通用机械零件的工作原理、类型、特点、材料和设计计算方法,其中第十一章专门介绍常用工程材料的基本知识。

第三篇,液压传动——主要介绍常见液压元件和简单液压系统的工作原理。液压系统在机械中的应用日益广泛,具备这方面的知识是必要的。

本书旨在对机械方面的一般知识作一较系统的介绍,并不要求读者通过本书的学习能具备进行复杂设计计算的能力。但是,本书在内容和作业编排上又具有一定的深度和广度,以使读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

研究机械的目的可以归纳为解决两类问题:一是分析已有的机械,二是设计新的机械。以力学理论为基础的理论分析计算方法,是解决这些问题的一个主要方法。由于实际问题很复杂,影响因素很多,作理论分析时必须抓住重要因素,暂时撇开次要因素,使问题得到简

化,从而建立力学模型,据以进行逻辑推理和数学运算,求得问题的解答,这实际上是一种近似的简化计算方法,其结果近似地反映了客观实际。

理论分析计算并非研究机械的唯一方法。根据实际经验,在参考同类机械或零件的基础上进行分析和设计的经验方法(参照或对比法),是研究机械的另一个重要方法。这种方法以大量的实践经验和统计结果为依据,实用价值很高,常用于设计次要的机械或零件,或用于确定零件的次要尺寸。

本书由吕海鸥、陈丽华任主编,李健、张国俊、曾志莲、孙泰鹏任副主编。具体编写分工如下:沈阳工程学院吕海鸥(前言、第八、九、十、十二、十七、十八、十九章、附录)、沈阳工程学院陈丽华(第一、二、三、四章)、沈阳工程学院王琳(第五章)、保定电力职业技术学院曾志莲(第六、七章)、沈阳工程学院李健(第十一章)、沈阳工程学院孙泰鹏(第十三、十四章)、保定电力职业技术学院张国俊(第十五、十六章)。沈阳工程学院白斌、李铁钢、马涛三位老师参与了教材的资料收集、整理和图片采集方面的工作。感谢沈阳工程学院李彪教授为本书出版付出的辛苦工作和提出的宝贵意见和建议。

本书由东北电力大学付大鹏教授主审,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平所限,疏漏不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008年10月

目 录

前言

第一篇 工 程 力 学

第一章 静力学基本概念及受力分析	1
第一节 静力学基本概念	1
第二节 静力学公理	2
第三节 约束与约束反力	4
第四节 受力分析与受力图	7
思考与练习	9
第二章 平面汇交力系	11
第一节 概述	11
第二节 平面汇交力系合成的解析法	12
思考与练习	15
第三章 平面力偶系	18
第一节 力矩	18
第二节 力偶	20
第三节 力的平移定理	23
思考与练习	24
第四章 平面一般力系	26
第一节 平面一般力系的简化	26
第二节 平面一般力系的平衡方程	28
第三节 物体系统的平衡	32
第四节 摩擦	34
思考与练习	38
第五章 轴向拉伸和压缩	41
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	41
第二节 轴向拉伸压缩时横截面上的内力	42
第三节 轴向拉伸压缩时横截面上的应力	45
第四节 轴向拉伸或压缩时的变形——胡克定律	46
第五节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	49
第六节 轴向拉伸或压缩时的强度计算	52
思考与练习	55
第六章 圆轴的扭转	58
第一节 扭矩和扭矩图	58

第二节	剪切——剪切胡克定律	61
第三节	圆轴扭转时横截面上的应力	62
第四节	圆轴扭转时强度计算	63
第五节	圆轴扭转时变形和刚度计算	64
	思考与练习	65
第七章	直梁的弯曲	68
第一节	弯曲的概念	68
第二节	梁弯曲时横截面的内力	69
第三节	梁纯弯曲时的正应力	75
第四节	梁弯曲时正应力的强度计算	77
	思考与练习	80

第二篇 常用机构和通用零件

第八章	平面机构及运动简图	84
第一节	机构及其组成	84
第二节	运动副及其分类	85
第三节	平面机构的运动简图	87
	思考与练习	88
第九章	平面连杆机构	90
第一节	概述	90
第二节	铰链四杆机构	91
第三节	其他平面连杆机构	95
	思考与练习	98
第十章	凸轮机构和其他常用机构	99
第一节	凸轮机构的应用和分类	99
第二节	凸轮机构的基本参数和从动件常用运动规律	101
第三节	凸轮轮廓曲线的确定	103
第四节	凸轮设计中的几个问题	104
第五节	棘轮机构和槽轮机构	105
第六节	其他常用机构	107
	思考与练习	108
第十一章	机械工程常用材料	109
第一节	常用金属材料	109
第二节	常用非金属材料 and 复合材料	116
第三节	钢的热处理工艺	118
第四节	机械零件材料及毛坯选择	120
	思考与练习	123
第十二章	螺纹连接和螺旋传动	125
第一节	螺纹	125

第二节	螺纹连接的基本类型和螺纹连接件	126
第三节	螺旋副的受力分析、效率和自锁	127
第四节	螺纹连接的预紧和防松	130
第五节	螺栓连接的强度计算	131
第六节	螺旋传动	135
思考与练习	.....	136
第十三章	带传动	138
第一节	带传动概述	138
第二节	带传动的受力分析	141
第三节	带传动的计算	143
第四节	V带轮的结构	147
第五节	带传动的张紧装置	148
思考与练习	.....	149
第十四章	齿轮传动	150
第一节	齿轮机构的应用和分类	150
第二节	齿廓啮合基本定理	152
第三节	渐开线的形成及特性	153
第四节	渐开线齿廓啮合传动的特性	154
第五节	渐开线标准齿轮的参数和几何尺寸	155
第六节	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	157
第七节	齿轮传动设计	159
第八节	轮系	163
思考与练习	.....	168
第十五章	轴及其连接	170
第一节	轴的分类、材料和结构	170
第二节	轴的结构设计	173
第三节	轴的强度计算	177
第四节	键与花键连接	182
思考与练习	.....	187
第十六章	轴承	189
第一节	滑动轴承	189
第二节	滚动轴承	195
思考与练习	.....	209

第三篇 液 压 传 动

第十七章	液压传动的基本知识	211
第一节	液压传动的工作原理	211
第二节	液压传动的的基本参数及应用	213
思考与练习	.....	216

第十八章 液压元件	217
第一节 液压动力元件	217
第二节 液压执行元件	220
第三节 液压控制元件	222
第四节 液压辅件	233
思考与练习	235
第十九章 典型液压系统	237
第一节 YT4543 型液压滑台的液压系统	237
第二节 汽车起重机液压系统	239
思考与练习	241
附录	243
参考文献	245

第一篇 工程力学

工程力学是力学的一个重要分支，是力学理论在工程上的应用，所包含的内容极其广泛。考虑到读者的实际需求，本书只研究工程力学中最基础的内容——静力学和材料力学。

静力学主要研究作用在物体上的力及其平衡条件；材料力学研究物体在外力作用下的变形和破坏规律，为合理设计构件提供基本理论和计算方法。

工程力学的研究对象不是某一台完整的机器或建筑物，而是构成机器和建筑物的工程构件。从力学的角度上看，要保证构件正常工作，就必须要求每个构件都具有一定的承载能力，即强度要求、刚度要求和稳定性要求。而工程力学的任务就是为受力构件提供强度、刚度和稳定性计算的理论基础，从而为构件选用合适的材料，确定合理的形状和尺寸，达到既经济又安全的要求提供依据。

静力学和材料力学在如何看待研究对象上具有不同的前提和假设。静力学忽略物体在载荷作用下形状尺寸的改变，将物体抽象为永不变形的刚体；但材料力学所研究的正是作用在物体上的力与受力物体的变形规律，因此将研究对象抽象为变形体。

本篇由七章组成，其中第一章~第四章为静力学，第五章~第七章为材料力学。

第一章 静力学基本概念及受力分析

静力学研究物体的平衡问题，即研究物体在力系作用下的平衡规律。

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。对于一般工程问题，平衡是指物体相对于地球处于静止或做匀速直线运动的状态。例如，桥梁、各种机器、做匀速直线运动的汽车等都处于平衡状态。

物体处于平衡状态时，作用于物体上的力应满足一定的条件，这个条件就是力系的平衡条件。研究物体的平衡问题，就是研究物体在各种力系作用下的平衡条件，进而解决工程技术问题。

静力学主要研究物体的受力分析、力系的简化和力系的平衡条件三个方面的问题。

第一节 静力学基本概念

一、力的概念

1. 力的定义

力是指物体之间相互的机械作用。力的作用有两种效应：使物体的运动状态或形状发生变化。例如用手推小车，手对小车的作用力使它由静止开始运动；置于弹簧上的作用力使弹簧发生变形。前者称为力的外效应（运动效应），后者称为力的内效应（变形效应）。静力学

研究的是力对物体的外效应。

2. 力的三要素

实践表明,力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,简称为力的三要素。

力的大小反映了物体间相互作用的强弱程度,可以用弹簧或测力计来测定。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN),其换算关系为 $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

力的方向包含方位和指向两个意思,如水平向右、铅直向下等,水平、铅直是方位,向右、向下是指向。静止的质点仅受一个力的作用而运动,则运动的方向就是力的方向。

力的作用点是指物体间相互作用的位置。实际上物体间相互接触时,力总是分布作用在一定面积上,称为分布力。例如,分布于整个容器壁上的蒸汽压力,作用在水坝上的水压力等。如果作用面积很小可以对其大小忽略不计时,则可将其抽象为一个点,这种力称为集中力。

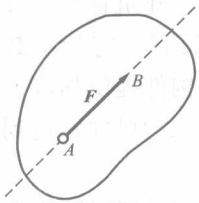


图 1-1 力的表示法

力的三要素表明力是矢量,可用一带箭头的有向线段来表示,如图 1-1 所示。线段的长度 AB 按一定比例表示力的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点,与线段重合的直线表示力的作用线。在本书中,矢量用粗体字表示,如力 \boldsymbol{F} ,力的大小用普通字母 F 表示。

3. 力系

作用在物体上的一组力,称为力系。若一力系能使物体保持平衡状态,则称该力系为平衡力系。若两力系分别作用于同一物体,而产生的效应相同时,称两力系互为等效力系。如果一个力与一力系等效,则称此力为该力系的合力,力系中的各力为合力的分力。

二、刚体的概念

实践表明,任何物体受力后都会产生变形,但在通常情况下绝大多数零件和构件的变形是很微小的,不影响所研究问题的实质,可以忽略不计,将其视为刚体。所谓刚体,是指受力时永不变形的物体。刚体是对实际物体经过科学抽象得到的一种理想模型,这种抽象使问题的研究得以简化,可按照原尺寸进行计算。一个具体的物体是否能视为刚体,主要取决于所研究问题的性质。同一物体在静力学中被视为刚体,而在材料力学中,要研究该物体受力和变形之间的关系,就不能视为刚体,而应视为变形体。

第二节 静力学公理

公理是经反复实践所证实的,是证明科学定理的基本依据。静力学公理是人类从长期的生活和生产实践中总结出来的,其正确性已被人们所公认。静力学公理是静力学全部理论的基础。

一、二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力使刚体平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上。

二力平衡公理揭示了作用于物体最简单的力系平衡时必须满足的条件。对于刚体而言,这个条件是必要与充分的。对于变形体,这个条件必要但不充分。

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力构件或二力杆。根据二力平衡公理,作用于二

力构件上的两个力必沿两个力作用点的连线，且等值、反向。

二、加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上，加上或减去任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理常用来简化某一已知力系，是力系等效替换的重要理论依据。

实践表明，作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内的任意一点，而不改变它对刚体的作用效应。如图 1-2 所示，作用于小车 A 点的推力 F 可沿其作用线移到 B 点，得到拉力 F' 。虽然推力变为拉力，但小车运动效果不变，即效应相同。力的这种性质称为力的可传性。

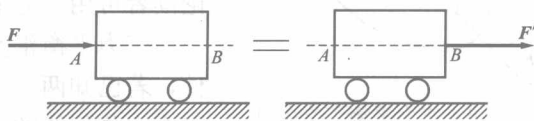


图 1-2 力的可传性

对于刚体而言，力的三要素为力的大小、方向和作用线。可见，作用于刚体上的力是滑动矢量。

应该指出，力的可传性并不适用于变形体。如图 1-3 (a) 所示，直杆 AB 受到一对平衡力 F_1 、 F_2 的作用，杆件将产生拉伸变形。若将作用于 A 点的力 F_1 沿其作用线移到 B 点，而将力 F_2 移到 A 点，杆件将产生压缩变形，如图 1-3 (b) 所示。

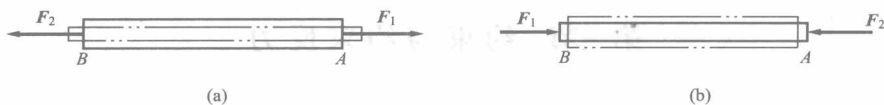


图 1-3 作用在变形体上的力产生不同变形效应

三、力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个力，合力也作用于该点，其大小和方向用以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

如图 1-4 所示。其矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

因为合力 \mathbf{F}_R 的作用点亦为 A 点，求合力的大小和方向实际上只需画出平行四边形的一半，即三角形即可。作图方法如下：自任意点 O 先画出一力矢 \mathbf{F}_1 ，然后再由 \mathbf{F}_1 的终端画出力矢 \mathbf{F}_2 ，最后由 O 点至力矢 \mathbf{F}_2 的终端作一矢量 \mathbf{F}_R ，即表示 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 的合力矢 [见图 1-5 (a)]。合力的作用点仍为 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 的汇交点 A。这种作图法称为力的三角形法则。显然，若改变 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 的作图次序，其结果不变，如图 1-5 (b) 所示。

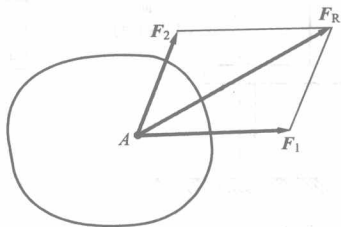


图 1-4 力的合成

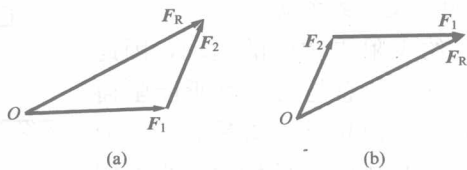


图 1-5 三角形法则

利用力的平行四边形公理也可以将一个力分解为作用于同一点的两个分力。工程中常将一个力分解为方向已知的两个力，当分解为方向相互垂直的两个力时，这种分解称为正交分解，所得两分力称为正交分力。

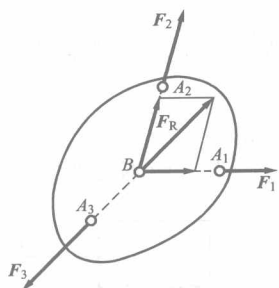


图 1-6 三力平衡汇交条件

推论 三力平衡汇交定理

作用于刚体上同平面内互不平行的三个力平衡的必要条件是：三个力的作用线汇交于同一点，如图 1-6 所示。对此推论读者可用二力平衡公理和力的平行四边形公理自行证明。

三力平衡汇交定理说明了不平行的三个力平衡的必要条件，若已知两个力的交点及第三个力的作用点，即可判断出第三个力作用线的方位。

四、作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力必定等值、反向、共线，分别同时作用在这两个物体上。

作用与反作用公理指出，力总是成对出现的，有作用力必有一反作用力。作用力与反作用力一般用同一字母表示，如用 F 表示作用力，则用 F' 表示反作用力。

需要指出的是，作用力和反作用力虽然大小相等、方向相反，且沿同一条作用线，但它们并不是平衡力，因为它们作用在不同的物体上。

第三节 约束与约束反力

一、约束的概念

1. 约束

在空间可以任意运动的物体称为自由体，如在空中飞行的飞机、火箭等。在各种机器和工程结构中，每一构件都根据工作要求以一定的方式与周围其他构件连接在一起，它的运动一般都受到与之相连接物体的阻碍、限制，这样的物体称为非自由体。例如，火车受到钢轨的限制，只能沿轨道行驶；转轴受到轴承的限制，只能绕轴线转动等。

对物体在某些方向的位移所加的限制条件称为约束。机械中的各个构件若不按照适当的方式相互联系而受到限制，就不能恰当地传递运动。约束是由与非自由体相互接触的周围物体构成的，也称作约束体。例如，书放在光滑的桌面上，桌面就是书的约束，轴承是转轴的约束等。

2. 约束反力

约束会阻碍物体某些方向的运动，当物体沿约束所限制的方向有运动趋势时，约束对物体必产生一作用力，以阻碍其运动。约束作用于被约束物体上的力称为约束反力。

3. 约束反力的方向

由于约束阻碍物体的运动，因此约束反力的方向总是与约束所能阻碍物体的运动方向相反。如图 1-7 (a) 所示，桌面是物体 A 的约束，桌面限制物体 A 向下运动，必然给它一个向

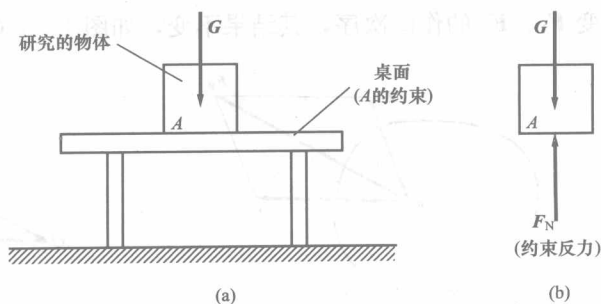


图 1-7 约束示例

上的约束反力，如图 1-7 (b) 所示，约束反力的作用点则在研究物体上与约束的接触处。

物体除受约束反力作用外，还会受到像重力、风力、油压力、机械的动力等载荷的作用，这些能促使物体运动或有运动趋势的力，称为主动力。主动力和约束反力不同，它们的大小和方向一般是预先给定的，彼此是独立的。而约束反力的大小通常是未知的，取决于约束的性质，也取决于主动力的方向和大小，是一种被动力，需要根据平衡条件确定。

二、常见约束类型

1. 柔性体约束

工程中常用的钢丝绳、皮带、链条等柔软的物体都可以简化为柔性体约束。这类约束的特点是，只能限制物体沿绳索或皮带伸长的方向上位移，因此只能承受拉力，不能承受压力。柔性体的约束反力作用在与物体的连接点上，方向沿着柔性体的轴线，背离物体，通常用 F_T 表示。

图 1-8 (a) 所示为用钢丝绳吊一个重物，钢丝绳对重物的约束反力分别是 F_{TA} 、 F_{TB} ，如图 1-8 (b) 所示。

图 1-9 所示带传动中，带作用于带轮的力都是拉力。作用在两轮上的约束反力分别为 F_{T1} 、 F'_{T1} 和 F_{T2} 、 F'_{T2} 。

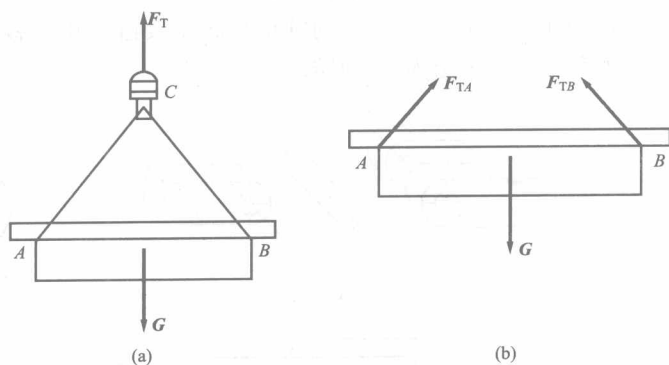


图 1-8 柔性体约束示例之一

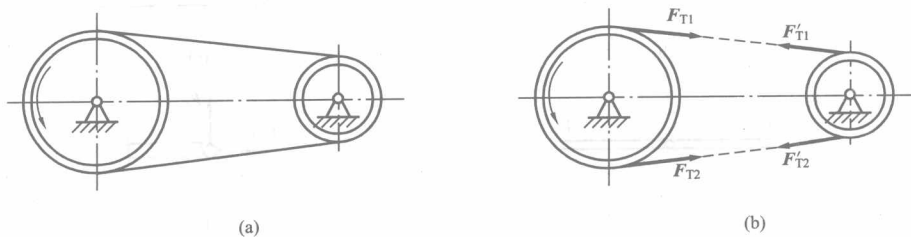


图 1-9 柔性体约束示例之二

2. 光滑接触面约束

两物体相互接触，当接触面非常光滑，摩擦力可忽略不计时，这种约束称为光滑接触面约束。光滑接触面约束的接触面无论是平面或曲面，都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的公法线方向指向接触面的运动。因此，光滑接触面约束反力只能是压力，通过接触点，方向沿该点的公法线，指向被约束物体，通常用符号 F_N 表示。

如图 1-10 所示，直杆在接触点 A、B、C 三处所受的约束反力分别是 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} 。当忽略摩擦时，齿轮传动中一对齿廓曲面间的接触也是光滑接触，因此两齿轮的相互作用力 F_N 、 F'_N 一定沿着齿廓曲面在啮合点 K 的公法线方向，如图 1-11 所示。

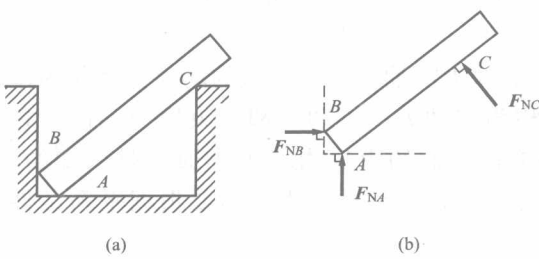


图 1-10 光滑接触面约束示例之一

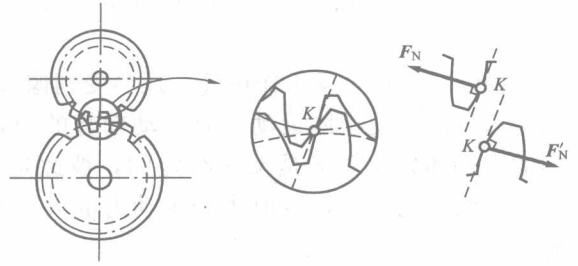


图 1-11 光滑接触面约束示例之二

3. 光滑圆柱铰链约束

两物体上钻有直径相同的孔，并用销钉将它们连接起来，若不计摩擦，就构成了光滑圆柱铰链约束（简称铰链），其构成如图 1-12 (a)、(b) 所示，可用简图 1-12 (c) 表示。例如，门窗上的合页、机器上的轴承都属于铰链约束。铰链约束只能限制物体的径向移动，不能限制物体绕圆柱销轴线的转动。

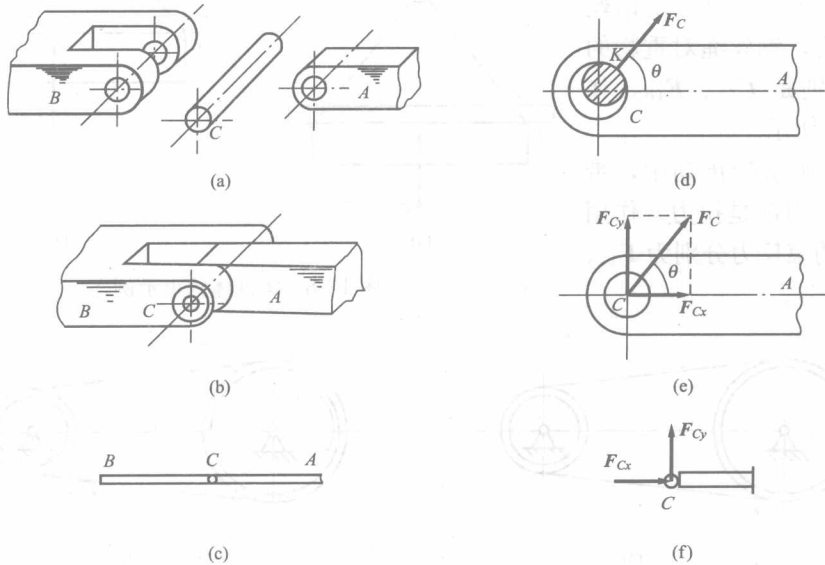


图 1-12 铰链约束构成

由图 1-12 可见，由于销钉与圆柱孔是光滑曲面接触，则约束反力应是沿接触线上的一点到圆柱销中心的连线，且垂直于销钉轴线，指向物体，如图 1-12 (d) 中的 F_C 。由于接触点 K 的位置不能预先确定，一般情况下，用过圆柱销中心且相互垂直的两个分力 F_{Cx} 、 F_{Cy} 来表示，如图 1-12 (e)、(f) 所示。

下面介绍两种以铰链约束构成的支座——固定铰支座和辊轴支座。

若将圆柱铰链约束中的一个物体相对固定，例如与地面或机架固连在一起，就构成了固定铰支座，如图 1-13 (a)、(b) 所示，计算时所用简图如图 1-13 (c) 所示。固定铰支座的约束与圆柱铰链约束完全相同，一般也分解为两个正交分力，如图 1-13 (d) 所示。

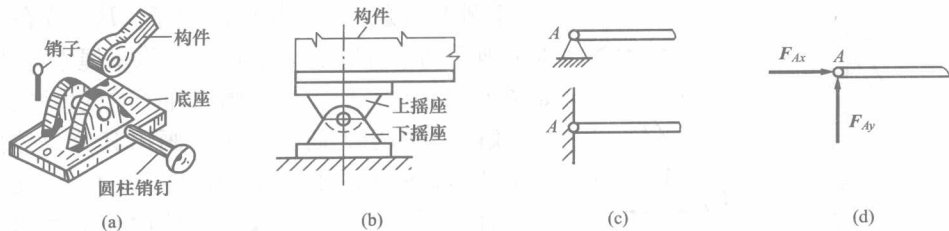


图 1-13 固定铰支座

为保证构件变形时能发生微小的移动，通常在固定铰链支座的底部安装一排辊轴，这种约束称为可动铰链支座，又称辊轴支座，如图 1-14 (a) 所示，计算时所用简图如图 1-14 (b) 所示。这种支座的特点是只能限制物体沿垂直于支撑面方向的运动，而不能阻碍物体沿着支撑面方向的运动，所以辊轴支座的约束反力应垂直于支撑面，通过圆柱销中心，指向可任意假定，如图 1-14 (c) 所示。

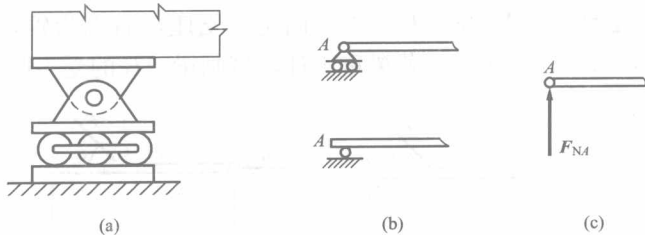


图 1-14 辊轴支座

4. 链杆约束

两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑本身重量的杆称为链杆，如图 1-15 (a) 所示。由于作用于链杆上的力可简化为两个力，链杆也是二力杆，既能受拉也能受压，所以链杆约束的约束反力沿两端铰链中心的连线，指向不能预先确定，可假设一个方向，如图 1-15 (b) 所示。

二力杆可以是直杆，也可以是曲杆，图 1-16 中的曲杆 BC 也是二力杆。

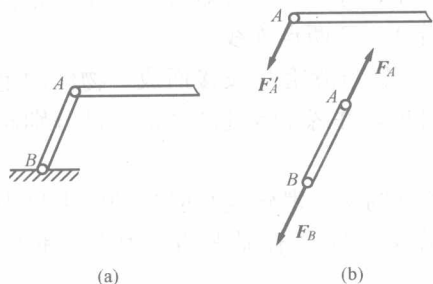


图 1-15 二力构件

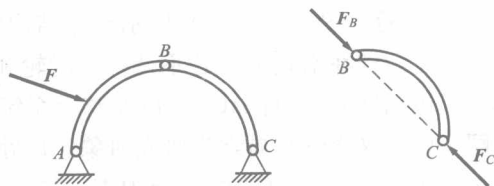


图 1-16 曲杆二力构件示例

第四节 受力分析与受力图

在研究静力学平衡问题时，必须首先分析物体受到哪些力的作用，每个力的作用位置及方向，这个过程称为受力分析。为清晰表达物体的受力情况，需要将研究对象解除全部约束，将其从周围物体中分离出来，画出其简图。这个被解除了约束的物体称为分离体。在分离体上画出全部主动力和约束反力的简明图形称为受力图。正确地绘制受力图，是解决力学问题的关键。

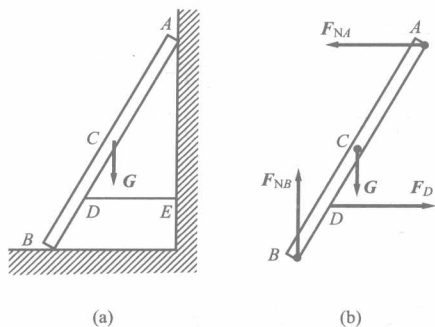


图 1-17 梯子及受力图

【例 1-1】 重量为 G 的梯子 AB ，放在光滑的水平地面和铅直墙上。在 D 点用水平绳索与墙相连，如图 1-17 (a) 所示。试画出梯子的受力图。

解 取梯子为研究对象，画出其分离体图。先画主动力即梯子的重力 G ，作用于梯子的重心 C ，方向铅直向下。再画约束反力。墙面和地面均为光滑接触面约束， A 、 B 处的约束反力 F_{NA} 、 F_{NB} 分别与墙面和地面垂直并指向梯子；绳索的约束反力 F_D 沿着绳索的方向为一拉力。图 1-17 (b) 所示为梯子的受力图。

【例 1-2】 梁 AB 左端为固定铰支座，右端为辊轴支座，在 C 处作用一集中力 F ，如图 1-18 (a) 所示。若梁重不计，试画梁 AB 的受力图。

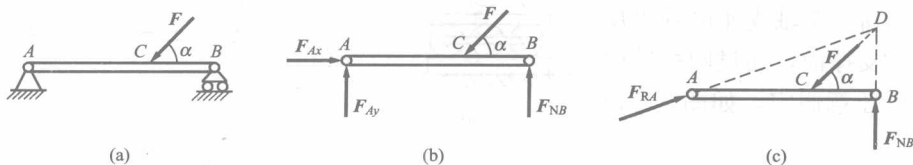


图 1-18 简支梁及受力图

解 取梁 AB 为研究对象。先画主动力，主动力为已知力 F 。然后，再根据约束的性质，画出约束反力， B 端为可动铰支座，约束反力垂直于支撑面向上，用 F_{NB} 表示。 A 端为固定铰支座，约束反力用通过 A 点的相互垂直的两个分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。受力图如图 1-18 (b) 所示。

梁 AB 的受力图还可以画成图 1-18 (c)。根据三力平衡条件，已知力 F 与 F_{NB} 相交于 D 点，则其余一力 F_{RA} 也必交于 D 点，从而确定 F_{RA} 沿 A 、 D 两点连线。

【例 1-3】 图 1-19 (a) 所示滑轮结构由杆 AC 、 CD 与滑轮 B 铰接而成。物体的重量为 G ，用绳索挂在滑轮上。若不计杆、滑轮和绳索的自重，并忽略各处的摩擦，试分别画出滑轮 B (包括绳索)，杆 AC 、 CD 及整个系统的受力图。

解 (1) 取滑轮及绳索为研究对象。 B 处为光滑铰链约束，滑轮轮孔受到的约束反力可用通过 B 点的相互垂直的两个分力 F_{Bx} 和 F_{By} 表示；在 E 、 H 处有绳索的拉力 F_{TE} 和 F_{TH} ，如图 1-19 (b) 所示。

(2) 取斜杆 CD 为研究对象。由于杆 CD 自重不计，两端为铰链连接，因此 CD 杆为二力杆。作用于杆 CD 两端的力 F_{CD} 、 F_{DC} 沿铰链中心的连线，为拉力。杆 CD 的受力图如图 1-19 (c) 所示。

(3) 取杆 AC 为研究对象。 A 处为固定铰支座，约束反力用通过 A 点的两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示；在 B 处画 F'_{Bx} 和 F'_{By} ，它们分别与 F_{Bx} 和 F_{By} 互为作用力与反作用力。在铰链 C 处受到杆 CD 给它的约束反力 F'_{CD} ，该力与 F_{CD} 大小相等、方向相反。杆 AC 的受力图如图 1-19 (d) 所示。

(4) 取整体为研究对象。这时 AC 杆与 CD 杆在 C 处铰接，滑轮 B 与 AC 杆在 B 处铰接，这两处的约束反力互为作用力与反作用力，并成对出现，在研究系统平衡时不必画出。