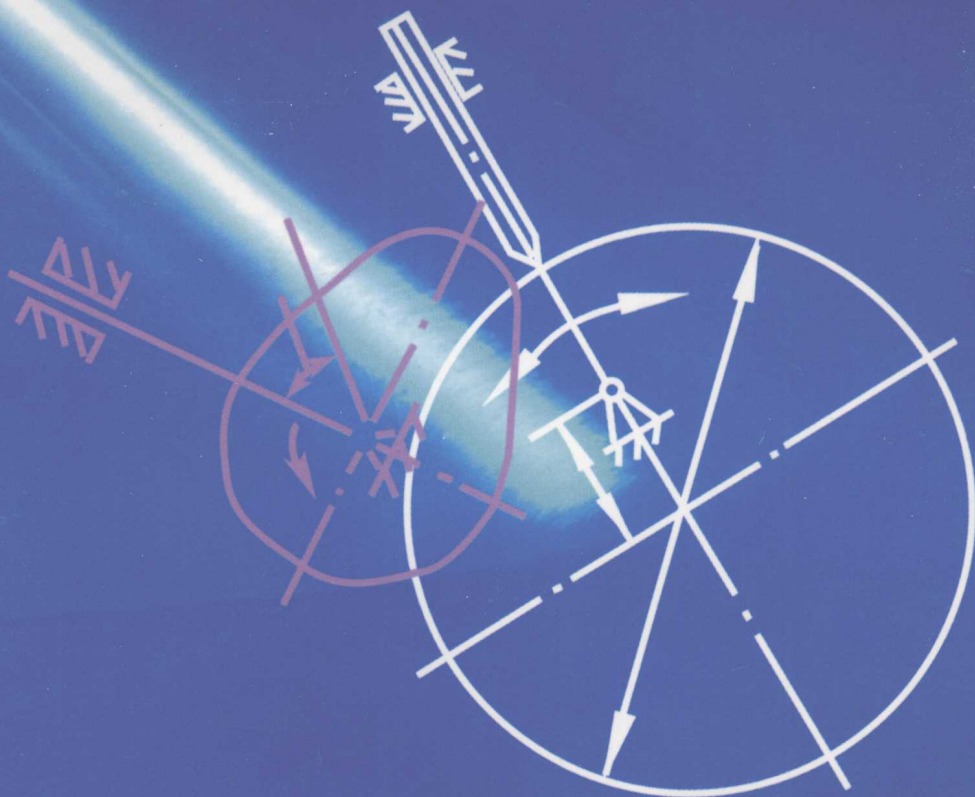


高职高专规划教材

# 机械基础

机械职业教育基础课教学指导委员会机械设计学科组 组编

陈长生 霍振生 主编



高职高专规划教材

# 机械基础

机械职业教育基础课教学指导委员会机械设计学科组 组编

主编 陈长生 霍振生  
参编 武智慧 于兴芝 鹿国庆 叶红朝  
柳欣 薛玮珠 唐汉坤  
主审 胡家秀



机械工业出版社

本书是根据高职高专《机械基础课程教学基本要求》组织编写的，可以满足教学计划 80~110 课时的教学需要，是高职高专机电类规划教材。

本书共分十四章。主要内容包括：构件的静力分析；零件的变形及强度计算；机械工程材料及其选用；公差与配合；常用机构；圆柱齿轮传动；其他齿轮传动；齿轮系与减速器；带传动；链传动；联接；支承零部件；机械的润滑和密封；机械基础综合训练等。

本书特别适用于高职高专机、电结合的应用技术类专业及管理类专业。也可供其他近机类专业和成人高校、中职学校选用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/陈长生, 霍振生主编 —北京: 机械工业出版社, 2003.8

高职高专规划教材

ISBN 7-111-12538-X

I. 机… II. ①陈…②霍… III. 机械学-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 057072 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 宋学敏 王世刚

版式设计: 冉晓华 责任校对: 吴美英

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版·第 5 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·19.25 印张·471 千字

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

在高等职业教育中，由于社会需求的职业岗位与岗位群的多样化，导致专业的多元化，因此必须进行课程综合化与模块化的教学改革。《机械基础》就是在这样的背景下诞生的，它涵盖了原机械类专业所涉及的工程材料、公差配合与技术测量、工程力学、机械原理、机械零件等课程的主要知识，并按机械设计这条主线对各课程的内容进行了重组，使其有机地串联起来，成为一门完整系统的综合课程。本书中带\*的内容，可根据需要作为选修内容。

本书由机械职业教育基础课教学指导委员会机械设计学科组组织编写，是其“十五”教材规划中的教材之一。它不仅适用于机类、近机类专业，而且特别适用于机、电结合的诸多应用技术类专业及管理类专业。

参加本书编写的有：包头职业技术学院霍振生（绪论、第七章），成都航空职业技术学院武智慧（第一、二章），浙江机电职业技术学院陈长生（第三、十四章）、薛玮珠（第四章），河南职业技术学院于兴芝（第五章），深圳市工业学校鹿国庆（第六、八章），浙江机电职业技术学院叶红朝（第九、十章），金华职业技术学院柳欣（第十一、十三章），广西机电职业技术学院唐汉坤（第十二章）。全书由陈长生、霍振生主编，胡家秀主审。

由于编者水平有限，缺点在所难免，恳请读者批评指正。

编 者  
2003年7月

# 目 录

## 前言

绪论 .....	1	第二节 形位公差简介 .....	123
第一节 引言 .....	1	第三节 表面粗糙度简介 .....	131
第二节 机械概述 .....	1	思考题与习题 .....	136
第三节 本课程的性质、内容和任务 .....	2	<b>第五章 常用机构</b> .....	138
<b>第一章 构件的静力分析</b> .....	4	第一节 构件和运动副 .....	138
第一节 静力分析基础 .....	4	第二节 平面连杆机构 .....	139
第二节 平面汇交力系 .....	10	第三节 凸轮机构 .....	149
第三节 力矩与平面力偶系 .....	14	第四节 间歇运动机构 .....	158
第四节 平面任意力系 .....	18	第五节 螺旋机构 .....	160
第五节 空间力系简介 .....	23	思考题与习题 .....	165
第六节 滑动摩擦简介 .....	26	<b>第六章 圆柱齿轮传动</b> .....	168
思考题与习题 .....	29	第一节 齿轮传动概述 .....	168
<b>第二章 零件的变形及强度计算</b> .....	34	第二节 渐开线齿轮 .....	169
第一节 零件的拉伸和压缩 .....	34	第三节 直齿圆柱齿轮的结构 .....	172
第二节 零件的剪切和挤压 .....	41	第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮啮合传动 .....	173
第三节 圆轴的扭转 .....	43	第五节 渐开线齿轮的切齿原理与根切现象 .....	176
第四节 直梁的弯曲 .....	50	第六节 渐开线直齿圆柱齿轮传动的设计 .....	179
第五节 零件组合变形的强度计算 .....	57	第七节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动 .....	188
第六节 交变应力作用下零件的疲劳强度 .....	58	思考题与习题 .....	193
思考题与习题 .....	60	<b>第七章 其他齿轮传动</b> .....	194
<b>第三章 机械工程材料及其选用</b> .....	63	第一节 锥齿轮传动 .....	194
第一节 金属材料的力学性能 .....	63	第二节 蜗杆传动 .....	198
第二节 影响金属材料性能的因素 .....	66	思考题与习题 .....	205
第三节 铁碳合金 .....	69	<b>第八章 齿轮系与减速器</b> .....	207
第四节 有色金属与粉末冶金材料 .....	90	第一节 齿轮系的分类及功用 .....	207
第五节 非金属材料 .....	96	第二节 定轴轮系传动比计算 .....	208
*第六节 机械工程材料的选用 .....	102	第三节 周转轮系传动比计算 .....	210
思考题与习题 .....	104	第四节 齿轮减速器简介 .....	212
<b>第四章 公差与配合</b> .....	106	思考题与习题 .....	215
第一节 光滑圆柱的极限与配合 .....	107		

<b>第九章 带传动</b> .....	217	第六节 联轴器 .....	255
第一节 概述 .....	217	第七节 离合器 .....	260
第二节 普通 V 带和 V 带轮 .....	218	思考题与习题 .....	262
第三节 带传动的受力分析和应力 分析 .....	221	<b>第十二章 支承零部件</b> .....	263
第四节 带传动的弹性滑动及其传 动比 .....	223	第一节 轴 .....	263
第五节 普通 V 带传动的设计 .....	223	第二节 滚动轴承 .....	271
第六节 V 带传动的张紧、安装和 维护 .....	230	第三节 滑动轴承 .....	277
思考题与习题 .....	231	思考题与习题 .....	279
<b>第十章 链传动</b> .....	233	<b>第十三章 机械的润滑和密封</b> .....	281
第一节 概述 .....	233	第一节 摩擦、磨损和润滑 .....	281
第二节 滚子链和链轮 .....	234	第二节 常用润滑剂的选择 .....	282
第三节 滚子链传动的设计 .....	237	第三节 常用传动装置的润滑 .....	285
思考题与习题 .....	240	第四节 机械装置的密封 .....	288
<b>第十一章 联接</b> .....	241	思考题与习题 .....	291
第一节 键联接 .....	241	<b>第十四章 机械基础综合训练</b> .....	292
第二节 花键联接 .....	245	第一节 机械的基本要求和一般 设计程序 .....	292
第三节 销联接 .....	246	第二节 典型机械传动装置设计 实例 .....	293
第四节 螺纹联接 .....	247	第三节 机械基础综合训练课题 .....	297
* 第五节 螺栓联接的强度计算 .....	252	<b>参考文献</b> .....	299

# 绪 论

## 第一节 引 言

人类从使用简单工具到今天能够设计复杂的现代机械，经历了漫长的过程。随着生产的不断发展，品种繁多的机械进入了社会的各个领域，承担着大量人力所不能或不便进行的工作，大大改善了劳动条件，提高了生产率。

近代机械是在蒸汽机发明后才纷纷出现的。早在 16 世纪第一次工业革命期间意大利人达·芬奇、英国人牛顿等就研究用蒸汽作为动力的机械。1690 年法国人巴本制造了一台蒸汽机；1698 年，英国人塞维利制造了用于矿井抽水的蒸气泵；1705 年，苏格兰人 T·纽科门在前两人的基础上制造了一台蒸汽机，1712 年这种蒸汽机开始在英国矿井中用于运输煤炭。当时的蒸汽机效率很低，英国人 J·瓦特在此基础上用了六年的时间，对蒸汽机作了两次重大改革，才使蒸汽机奔跑于陆地。1802 年美国富尔顿以蒸汽机为动力，制造了世界上第一艘轮船。蒸汽机的出现使 19 世纪欧洲产业革命形成了机械工业，并得到了迅猛发展。

在我国，机械的创造发展和使用有着悠久的历史。早在公元前五世纪时，墨翟在所著的《墨经》中就论述了杠杆平衡原理；东汉时期张衡将杠杆机构用于人类第一台地震仪上；杜诗发明了用水作为动力，带动水排运转，驱动风箱炼铁的连杆机械装置，成为现代机械的雏形；西汉时期，刘歆在《西京杂谈》中，论述了由齿轮机构组成的记里鼓车（计量里程的仪表机构）；元朝时，人们利用曲柄、滑块和飞轮制成了纺织机等。由于近代外敌入侵，朝廷腐败，闭关锁国，长年战乱，使我国机械工业发展滞后，停止不前。

新中国成立后，我国科学技术有了巨大的发展，万吨水压机、万吨远洋货轮的制造；人造卫星的太空遨游以及大型精密的高新技术设备的生产等，都标志着我国的机械工业正在朝着世界先进水平迈进，有的已处于领先地位。

## 第二节 机械概述

机械是机器和机构的总称。

### 一、机器和机构

机器在人们感性认识中早已形成，如蒸汽机、内燃机、发电机、电梯、机器人及各种机床。

图 0-1 所示为带式输送机示意图，它是由电动机 1、小带轮 2、大带轮 3、主动齿轮 4、从动齿轮 5、联轴器 6、滚筒 7、输送带 8、箱体和支承轴等组成，以电动机为动力，通过带传动、齿轮传动使滚筒转动，从而实现输送带输送物料的功能。

以上仅为机器实例之一。尽管机器品种繁多，形式多样，用途各异，但都具有如下特

征:

- 1) 都是人为的各种实物的组合。
- 2) 组成机器的各种实物间具有确定的相对运动。
- 3) 可代替或减轻人的劳动, 完成有用的机械功或转换机械能。

凡具备上述三个特征的实物组合体称为机器。

所谓机构, 它也是具有确定相对运动的各种实物的组合, 即符合机器的前两个特征。如图 0-1 所示, 齿轮 4、5、箱体等组成的齿轮传动机构; 滚筒与输送带组成的工作机构。机构主要用来传递和变换运动, 而机器主要用来传递和变换能量, 从结构和运动学的角度分析, 机器与机构之间并无区别。

## 二、零件与构件

机器是由若干不同零件组装而成, 零件是组成机器的基本要素, 即机器的最小制造单元。各种机器经常用到的零件称为通用零件, 如螺钉、螺母、轴、齿轮、弹簧等。在特定的机器中用到的零件称为专用零件。如汽轮机中的叶片、起重机的吊钩、内燃机中的曲轴、连杆、活塞等。

构件是机器的运动单元, 一般由若干个零件刚性联接而成, 也可以是单一的零件。

## 三、机器的组成

根据功能的不同, 一部完整的机器由以下几部分组成:

- (1) 原动机部分 如图 0-1 所示的电动机, 是机器的动力来源。常用的原动机有电动机、内燃机及液压机等。
- (2) 工作机部分 处于整个机械传动路线终端, 是完成工作任务的部分, 如图 0-1 中的滚筒和输送带。
- (3) 传动部分 介于原动机与工作机之间, 起的作用是把原动机的运动和动力传递给工作机, 如图 0-1 中的带传动和齿轮传动。但也有一些机器原动机直接驱动工作机。

较复杂的机器还包括控制部分, 如控制离合器、制动器、变速器等, 能够使机器的原动机部分, 传动机和工作机部分按一定的顺序和规律运动, 完成给定的工作循环。

## 四、机械的类型

机械种类较多, 根据用途不同, 可分为:

- 1) 动力机械, 如电动机、内燃机、发电机、液压机等, 主要用来实现机械能与其他形式能量间的转换。
- 2) 加工机械, 如轧钢机、包装机及各类机床, 主要用来改变物料的结构形状、性质及状态。
- 3) 运输机械, 如汽车、飞机、轮船、输送机等, 主要用来改变人或物料的空间位置。
- 4) 信息机械, 如复印机、传真机、摄像机, 主要用来获取或处理各种信息。

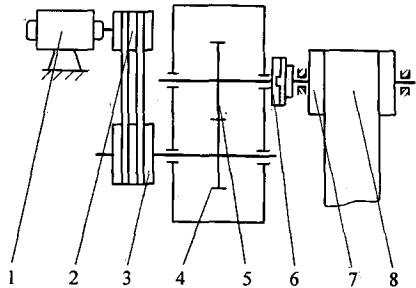


图 0-1 带式输送机简图

## 第三节 本课程的性质、内容和任务

本课程的性质是一门综合性的技术基础课, 主要介绍机械中的基本知识、基本方法。



### 一、具体内容

(1) 工程力学 各种机械设备都是由若干构件组成, 构件工作时均承受载荷作用。这就需要用力学分析的方法, 对构件承载能力加以分析, 使之工作可靠。

(2) 机械工程材料 介绍机械工程材料的组织结构、成分和性能, 为提高及挖掘材料的潜能的热处理方法, 以及合理地选择机械工程材料。

(3) 公差与配合 介绍机械零件几何精度、互换性、标准化及有关公差与配合的基本知识, 学习国家标准的相关内容。

(4) 机械设计 主要讲述机械中常用机构和通用零件的工作原理, 运动特性, 结构特点和设计方法等。同时, 简要地介绍国家标准, 标准零部件的选用原则, 以及机器设备的使用与维护。

### 二、本课程的任务

1) 能熟练地运用力学平衡条件求解简单力系的平衡问题。掌握零部件的受力分析和强度计算方法。

2) 了解常用工程材料种类、牌号、性能、应用和热处理知识。合理选用常用金属材料。正确选定零件的热处理技术条件。

3) 掌握有关公差标准基本内容和主要规定。对图样上的常见公差配合能正确理解, 具有选用公差与配合的初步能力。

4) 熟悉通用零件的工作原理、特点、应用及其结构和标准, 掌握通用零件的选用和设计方法。

5) 具有与本课程有关的解题、运算、绘图能力和应用标准、手册、图册等有关技术资料的能力。具备正确分析、使用及维护机械的能力。初步具有设计通用零件和简单机械传动装置的能力。

# 第一章 构件的静力分析

机器的运行是由于力的作用引起的，构件的受力情况直接影响机器的工作能力。因此，在设计或使用机器时需要对构件进行受力分析。机器平稳工作时，许多构件的运动处于相对静止或匀速运动的状态，即平衡状态。静力学是研究物体处于平衡状态时所受各力之间关系的一门学科。

力是物体间相互的机械作用。力的作用有两种效应：使物体的机械运动状态发生变化和使物体的形状发生改变，前者称为运动效应，后者称为变形效应。力系是指作用于被研究物体上的一组力。若物体处于平衡状态，则作用于物体上的力系会满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。物体平衡时的力系也称为平衡力系。为使问题简化，静力分析中通常将物体视为刚体。所谓刚体就是指在力系作用下不会变形的物体。因为微小变形对研究平衡问题不起主要作用，可以略去不计。

## 第一节 静力分析基础

### 一、力的三要素

力既然是物体与物体之间相互的机械作用，所以，力不能脱离周围物体而存在。实践证明，力对物体的作用效应，决定于力的大小、方向和作用点。这三个因素通常称为力的三要素，当这三个要素中任何一个改变时，力的作用效应就会改变。

由物理学可知，机器的功率  $P$ 、运行速度  $v$  和力  $F$  之间存在关系  $P = Fv \cos \alpha$  ( $\alpha$  为力  $F$  的方向与速度  $v$  方向之间的夹角)。可见，当机器功率一定时，力和速度成反比。

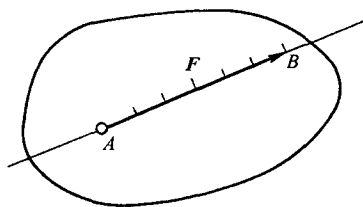


图 1-1 力的表示

力是矢量，可用一带箭头的有向线段表示。如图 1-1 中的有向线段  $\overline{AB}$ ，按一定的比例尺所作的线段长度  $\overline{AB}$  表示力的大小 ( $F = 60\text{N}$ )；箭头的指向表示力的方向；线段的起点（或终点）表示力的作用点；通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。

力的矢量常用黑体字母表示，而力的大小用明体字母表示。力的单位采用牛 (N) 或千牛 (kN)。

### 二、静力学公理

静力学公理是人类经过长期经验积累和实践验证总结出来的最基本的力学规律性。它们是静力学的基础。

#### 1. 二力平衡公理

刚体仅受两力作用而保持平衡的充分必要条件是：两力大小相等、方向相反，且作用在同一直线上。如图 1-2 所示，即

$$F_1 = F_2$$

这个公理总结了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说这个条件既必要又充分。但对非刚体来说，这个条件是不充分的。例如：软绳受两个等值、反向且共线的拉力时可以平衡，但受两个等值、反向且共线的压力时就不能平衡了。

在两个力作用下处于平衡的刚体，称为二力构件。如果该构件为杆件，又称为二力杆（图 1-2b）。二力构件受力的特点是两个力的作用线必定是沿其作用点的连线，且等值、反向。

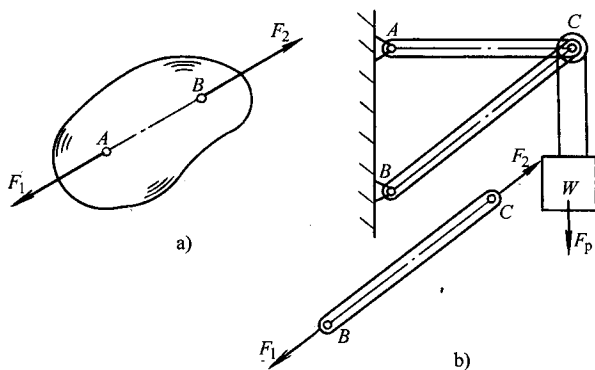


图 1-2 二力平衡及二力杆  
a) 二力平衡 b) 二力杆

### 2. 加减平衡力系公理

在任意一个已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不会改变原力系对刚体的作用效应。

这一公理对于研究力系的简化问题很重要。由这个公理可以导出力的可传性推理：作用在刚体上的力，沿其作用线移到刚体上任意一点，不会改变它对刚体的作用效应。

如图 1-3 所示，图 1-3a 为原力系，图 1-3b 在原力系上加了一个  $F_1 = F_2$  的平衡力系，设  $F = F_1$ ，显然  $F$  与  $F_2$  也构成一平衡力系，可以减去，于是变为图 1-3c 的情况，力在刚体上成功地实现了平移。

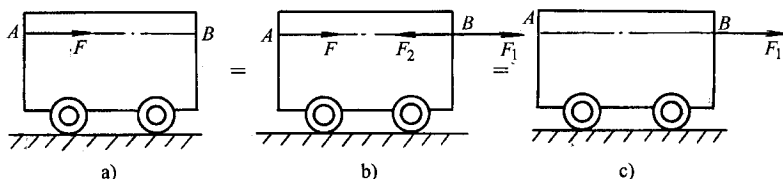


图 1-3 力的可传性证明

### 3. 平行四边形公理

作用于物体上某一点的两个力，可以合成为一个合力，其作用点也在该点，合力的大小和方向由两已知力为边所构成的平行四边形的对角线确定。此公理也称为平行四边形法则。如图 1-4a 所示。力的合成法则可写成矢量式

$$F = F_1 + F_2$$

即合力等于两个分力的矢量和。合力  $F$  的大小不仅与两分力大小有关，而且还与二分力方向有关。

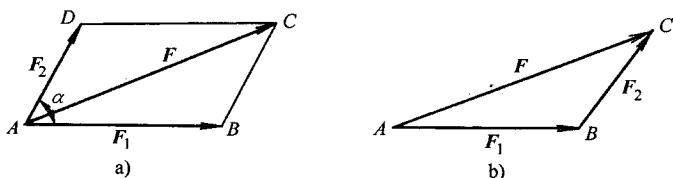


图 1-4 力的平行四边形法则

运用前面的公理，还可以得出三力平衡汇交定理：若刚体受到同一平面内互不平行的三个力

作用而平衡时,则该三力的作用线必汇交于一点。如图 1-5 所示刚体受到三个互不平行的力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  作用,当刚体处于平衡时,三力的作用线必汇交于  $O$  点,读者可自己给出证明。

#### 4. 作用力与反作用力公理

两物体之间的作用力与反作用力,总是同时存在,且两力等值、反向、共线,分别作用在这两个物体上。

这个公理说明,力总是成对出现的,物体间的作用总是相互的,有作用力就有反作用力,两者永远是同时存在,又同时消失。例如,图 1-6 车刀在工件上切削,车刀作用在工件上的切削力为  $F_p$ ,与此同时,工件必有一反作用力  $F'_p$  作用在车刀上。这两个力  $F_p$ 、 $F'_p$  总是等值、反向、共线的。必须注意,由于作用力与反作用力作用在两个物体上,因此不能说成是一对平衡力。

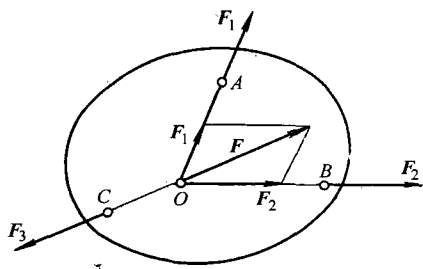


图 1-5 三力平衡汇交的证明

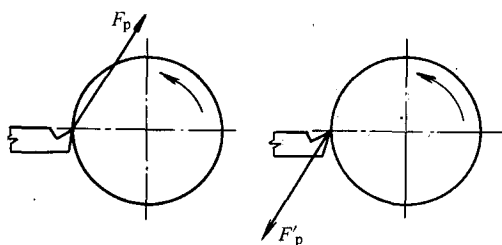


图 1-6 作用力与反作用力

### 三、约束与约束反力

在工程中,构件总是以一定的形式与周围其他构件相互联接的,例如转轴受到轴承的限制,使其只能产生绕轴心的转动;汽车受到地面的限制,使其只能沿路面运动等。这种限制物体运动的周围物体,称为约束。上面的轴承就是转轴的约束,地面是汽车的约束。

物体的受力可分为两类:主动力和约束反力。主动力是指使物体产生运动或运动趋势的力,如物体的重力、零件的载荷等。而约束对物体运动起限制作用的力称为约束反力。由于约束的作用是限制物体的运动,所以约束反力的方向总与限制的运动方向相反,其作用点在约束与被约束物体相互联接或接触之处。

工程中约束的种类很多,下面介绍几种典型的约束模型。

#### (一) 柔性约束

由线绳、链条或胶带等非刚性体所形成的约束。它们只能受拉不能受压,约束反力的方向沿着中心线而背离被约束物体。约束反力通常用符号  $F_T$  来表示。如图 1-7 中线绳上的约束反力  $F_{T1}$  和  $F_{T2}$ 。

#### (二) 光滑面约束

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。其约束反力的方向沿接触表面的公法线并指向被约束物体。这种约束反力也称为法向反力,通常

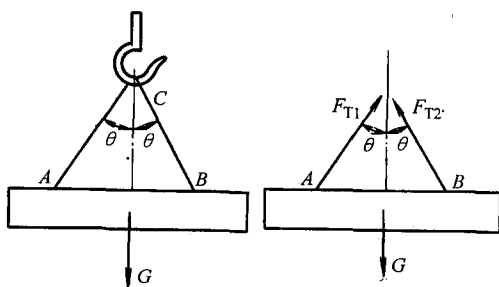


图 1-7 柔性约束

用符号  $F_N$  来表示，如图 1-8 中的  $F_N$ 。

(三) 光滑铰链约束

物体经圆柱铰链联接所形成的约束。如图 1-9a 所示，圆柱形铰链是由两个端部带圆孔的杆件，用一个销轴联接而成的。此时，受约束的两个物体都只能绕销钉轴线转动。由于销钉与物体的圆孔表面都是光滑的，两者之间总有缝隙，物体受主动力后形成线接触点  $K$ ，根据光滑面约束反力的特点，销钉对物体的约束反力应沿接触点  $K$  处的公法线通过物体圆孔中心（即铰链中心）。但因为主动力的方向不能预先确定，接触点不能确定，所以约束反力  $F_R$  的方向也不能预先确定。画约束反力  $F_R$  时，通常用两个通过铰链中心的互相垂直的分力  $F_x$  和  $F_y$  来表示，如图 1-9b 所示。

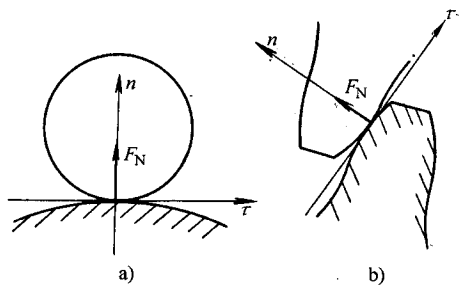


图 1-8 光滑面约束  
a) 固定约束 b) 活动约束

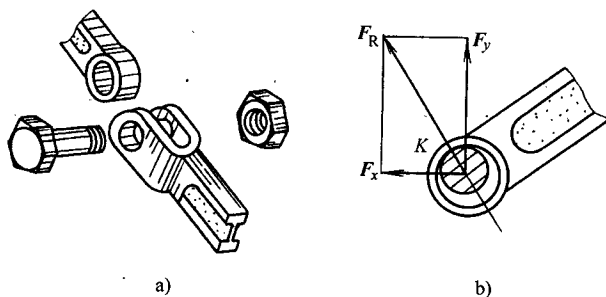


图 1-9 光滑圆柱铰链  
a) 结构 b) 受力

根据被联接物体的形状、位置及作用，光滑圆柱铰链约束又可分为：中间铰链约束，如图 1-10a；固定铰链支座约束，如图 1-10b 和活动铰链支座约束，如图 1-10c。由于活动铰链支座约束只能限制物体沿支承面法线方向的运动，因此其约束反力  $F_R$  的作用线通过销钉中心且垂直于支承面。

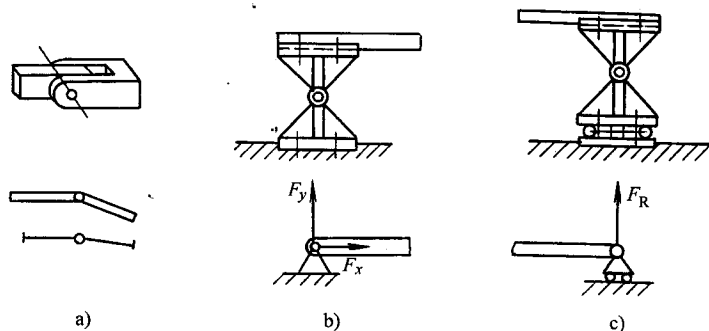


图 1-10 光滑圆柱铰链的类型  
a) 中间铰链约束 b) 固定铰链支座约束 c) 活动铰链支座约束

(四) 固定端约束

物体的一部分固嵌于另一物体所构成的约束，称为固定端约束。如车床刀架上的刀具（图 1-11a）、卡盘上的工件（图 1-11b）等都属于这种约束。

固定端约束的构件可以用一端插入刚体内的悬臂梁来表示（图 1-12a），这种约束限制

物体沿任何方向的移动和转动，其约束作用包括限制移动的两个正交约束反力  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$  和限制转动的约束反力偶  $M_A$  (图 1-12c)。

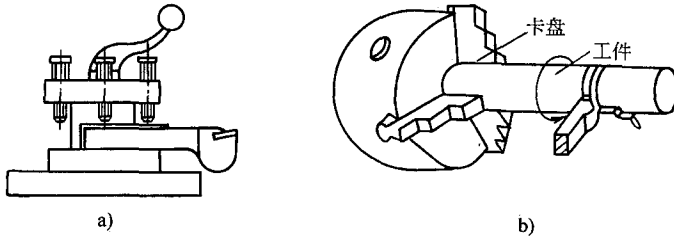


图 1-11 固定端约束

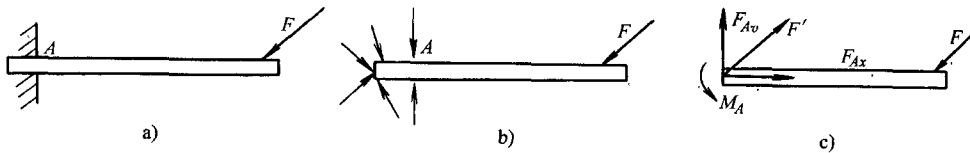


图 1-12 固定端约束反力

#### 四、受力图

在对物体进行受力分析时，为了清楚地表示物体的受力情况，需将研究对象从周围的物体中分离出来，即解除全部约束，成为分离体。为了使分离体的受力情况与原来的受力情况一致，必须在分离体上画出所有主动力，在解除约束的地方画出相应的约束反力。这样所得到的画有分离体及其全部主动力和约束反力的简图称为受力图。

受力图是解决工程力学问题的关键，掌握画受力图对于静力分析非常重要。下面举例说明受力图的画法。

**例 1-1** 重  $W$  的均质圆球  $O$ ，由杆  $AB$ 、绳索  $BC$  与墙壁来支持，如图 1-13a 所示。各处摩擦与杆重不计，试分别画出球  $O$  和杆  $AB$  的受力图。

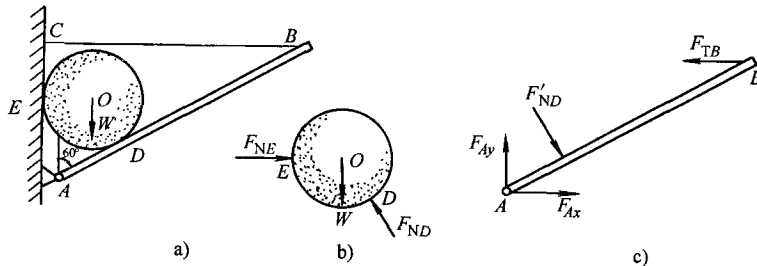


图 1-13 受力图画法实例一

解

(1) 以球为研究对象

1) 解除杆和墙的约束，画出其分离体图。

2) 画出主动力：球受重力  $W$ 。

3) 画出全部约束反力：杆对球的约束反力  $F_{ND}$  和墙对球的约束反力  $F_{NE}$  ( $D$ 、 $E$  两处

均为光滑面约束)。球  $O$  的受力图如图 1-13b 所示。

(2) 以  $AB$  杆为研究对象

1) 解除绳子  $BC$ 、球  $O$  和固定铰支座  $A$  的约束, 画出其分离体图。

2)  $A$  处为固定铰支座约束, 画上约束反力  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$ 。

3)  $B$  处受绳索约束, 画上拉力  $F_{TB}$ 。

4)  $D$  处为光滑面约束, 画上法向反力  $F'_{ND}$ , 它与  $F_{ND}$  是作用与反作用的关系。 $AB$  杆的受力图如图 1-13c 所示。

例 1-2 图 1-14a 所示的结构, 由杆  $AC$ 、 $CD$  与滑轮  $B$  铰接组成。物重  $W$ 、用绳子挂在滑轮上。杆、滑轮及绳子的自重不计, 并忽略各处的摩擦, 试分别画出滑轮  $B$ 、重物、杆  $AC$ 、 $CD$  及整体的受力图。

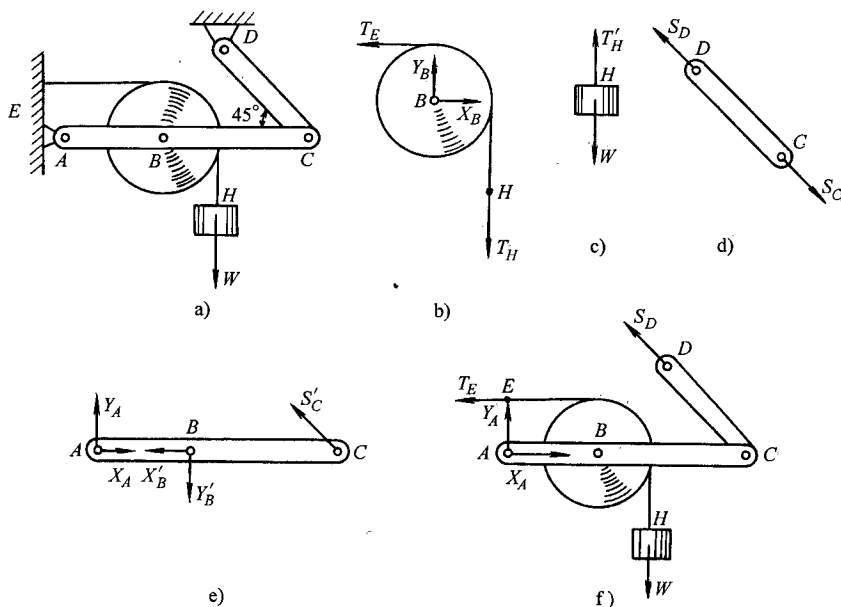


图 1-14 受力图画法实例二

解

(1) 以滑轮及绳索为研究对象。解除  $B$ 、 $E$ 、 $H$  三处约束, 画出其分离体图。在  $B$  处为光滑铰链约束, 画出销钉对轮孔的约束反力  $X_B$ 、 $Y_B$ 。在  $E$ 、 $H$  处有绳索的拉力  $T_E$ 、 $T_H$ 。其受力图如图 1-14b 所示。

(2) 以重物为研究对象。解除  $H$  处约束, 画出其分离体图。画出主动力重力  $W$ 。在  $H$  处有绳索的拉力  $T'_H$ , 它与  $T_H$  是作用与反作用的关系。其受力图如图 1-14c 所示。

(3) 以二力杆  $CD$  为研究对象 (在系统问题中, 先找出二力杆将有助于确定某些未知力的方位)。画出其分离体图。由于  $CD$  杆受拉 (当受力指向不明时, 可先假设一方向), 在  $C$ 、 $D$  处画上拉力  $S_C$  与  $S_D$ , 且  $S_C = -S_D$ 。其受力图如图 1-14d 所示。

(4) 以  $AC$  杆为研究对象。解除  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三处约束, 画出其分离体图。在  $A$  处为固定铰支座, 故画上约束反力  $X_A$ 、 $Y_A$ 。在  $B$  处画上  $X'_B$ 、 $Y'_B$ , 它们分别与  $X_B$ 、 $Y_B$  互为作用

力与反作用力。在  $C$  处画上  $S'_C$ ，它与  $S_C$  是作用与反作用的关系，即  $S'_C = -S_C$ 。其受力图如图 1-14e 所示。

(5) 以整体为研究对象。解除  $A$ 、 $E$ 、 $D$  处约束，画出其分离体图。画出主动力重力  $W$ 。画出约束反力  $X_A$ 、 $Y_A$ 。画出约束反力  $S_D$  和  $T_E$ 。其受力图如图 1-14f 所示（对整个系统来说， $B$ 、 $C$ 、 $H$  三处受的均是内力作用，在受力图上不必画出）。

## 第二节 平面汇交力系

静力分析的主要问题是力系的合成与平衡。力系有各种不同的类型，其合成结果和平衡条件也各不相同。按照力系中各力是否作用在同一平面，可将力系分为平面力系和空间力系两类；按照力系中各力是否相交或平行，力系又可分为汇交力系、平行力系和任意力系。本节主要研究平面汇交力系的合成与平衡问题。分析平面汇交力系一般有两种方法：几何法与解析法。

### 一、平面汇交力系合成的几何法

#### (一) 力的三角形法则

设有  $F_1$  和  $F_2$  两力作用于某刚体的  $A$  点，则其合力  $F$  可由平行四边形法则确定（图 1-4a）。不难看出，在求合力时可不画出整个平行四边形。如图 1-4b 所示，从  $A$  点作一矢量  $\overline{AB} = F_1$ ，过  $B$  点再画矢量  $\overline{BC} = F_2$ ，连接  $F_1$  的起点  $A$  与  $F_2$  的终点  $C$ ，矢量  $\overline{AC}$  就是力  $F_1$ 、 $F_2$  的合力  $F$ 。这种通过画三角形求合力的方法称为力的三角形法则。

三角形法则实质上是力的四边形法则的另一种表达方式，它应用起来更加方便，不仅可用于力的合成，也常用于力的分解。

#### (二) 力的多边形法则

设刚体上作用有一平面汇交力系  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$ ，如图 1-15a 所示。现求其合力。

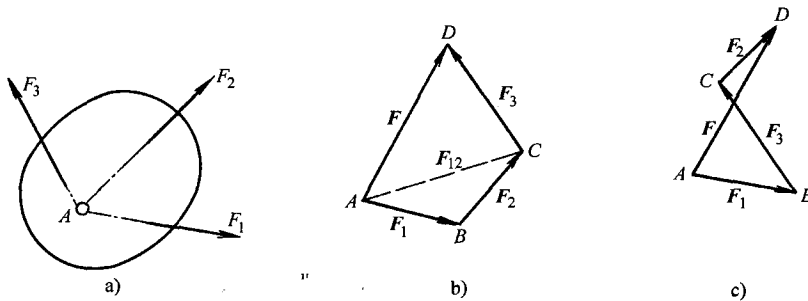


图 1-15 力合成的多边形法则

根据力的可传性原理，首先将各力沿其作用线移到  $A$  点，然后连续应用力的三角形法则，先将  $F_1$  和  $F_2$  合成为  $F_{12}$ （见图 1-15b 中的虚线），再将  $F_{12}$  与  $F_3$  合成，即得  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  的合力  $F$ ，如图 1-15c 所示。

实际作图时，虚线  $F_{12}$  不必画出，只要把各分力矢量首尾相接，得到一开口的多边形  $ABCD$ ，然后将第一个力矢量  $F_1$  的起点  $A$  和最后一个力矢量  $F_3$  的终点  $D$  相连，作为多边形的封闭边，所得矢量就代表该力系合力  $F$  的大小和方向。这种用力多边形求合力的方法



称为力多边形法则。运用力多边形求合力时，可以任意变换各分力矢量的次序，得到不同形状的力多边形，但求得的合力  $F$  不变，如图 1-15c 所示。

显然，无论汇交力系中力的数目有多少，均可用此法来求出其合力。用矢量式表示为

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = \sum \vec{F}_i \quad (1-1)$$

## 二、平面汇交力系合成的解析法

解析法的基础是力在坐标轴上的投影，它是利用平面汇交力系在直角坐标轴上的投影来求力系合力的一种方法。

### (一) 力在直角坐标轴上的投影

设刚体的某点  $A$  作用一力  $F$ ，在  $F$  的平面内取直角坐标系  $xOy$ 。从力  $F$  的两端  $A$  和  $B$  分别向  $x$ 、 $y$  轴作垂线，得线段  $ab$  和  $a_1b_1$ ，如图 1-16a 所示。线段  $ab$  和  $a_1b_1$  分别为力  $F$  在  $x$ 、 $y$  轴上投影的大小，分别以  $F_x$  与  $F_y$  来表示。

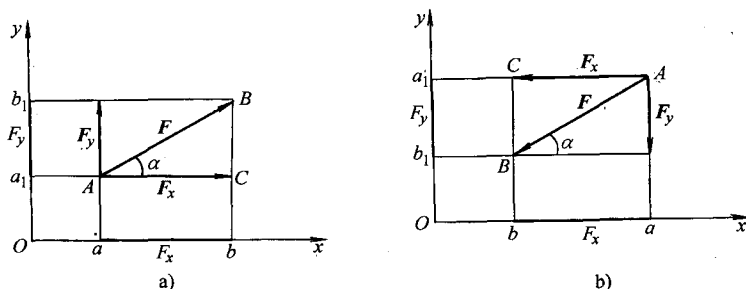


图 1-16 力在坐标轴上的投影

力的投影是代数量，其正负规定如下：若从  $a$  到  $b$ （或  $a_1$  到  $b_1$ ）的指向与坐标轴正向一致时，投影值为正，反之为负。如图 1-16a 中的  $F_x$  与  $F_y$  均为正值，图 1-16b 中的  $F_x$  与  $F_y$  均为负值。

若已知力  $F$  的大小为  $F$ ，它与  $x$  轴所夹锐角为  $\alpha$ ，则由图 1-16 可知

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \pm F \cos \alpha \\ F_y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

反之，若已知力  $F$  在  $x$ 、 $y$  轴上投影  $F_x$  与  $F_y$ ，则由图 1-16 中的几何关系，可得

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= |F_y / F_x| \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

力  $F$  的指向由  $F_x$  与  $F_y$  的正负号确定。

如果把力  $F$  沿两直角坐标轴分解，可得到两正交分力  $F_x$  和  $F_y$ ，其大小与力  $F$  在相应坐标轴上的投影的绝对值相等，如图 1-16a 所示。必须注意，力的投影与分力是不同的，投影是代数量，而分力是矢量，两者不可混淆。

### (二) 合力投影定理

设在刚体上有一平面汇交力系  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ ，用力多边形法则可知其合力为  $F$ ，如图 1-17 所示。取坐标系  $xOy$ ，将合力  $F$  及力系中的各力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  向  $x$  轴投影，由图可得

$$ad = ab + bc - cd$$