

高等学校教材

# 机械基础 上册

(工程力学与工程材料)

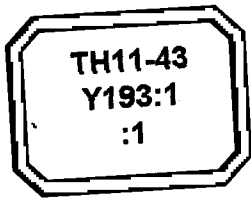
杨洪林 刁可春 袁国兴 编



1-43  
03:1  
1

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS





高等学校教材

# 机 械 基 础

上 册

(工程力学与工程材料)

杨洪林 刁可春 袁国兴 编  
孟庆东 主审



机械工业出版社

本书是根据教育部制订的基础课程教学基本要求，在编者使用多年的《机械基础》讲义的基础上，较广泛地吸收了众多院校的意见修订编写的。本书的特点是：突出了当前教学改革对人才培养目标的要求；反映了编者多年的教学经验；选材较广泛，内容有一定弹性，适应面广；贯彻了最新国家标准等。

本书讲述了“机械基础”中的工程力学和工程材料两部分的基础内容。与本书紧密相配套的还有《机械基础》(机械传动与液气压传动)，两书合起来组成完整的《机械基础》教材，读者采用两书配套使用最为方便适宜，亦可选其中某册使用。

本书主要内容包括：物体的受力分析、平面汇交力系、力矩和平面力偶系、平面任意力系、空间力系、拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、直梁弯曲、组合变形的强度计算、工程力学的其他常用知识、金属材料、常用非金属材料等。每章后附有复习题。

本书可作为各类高等院校的工程、工艺(如轻纺、电子电气、化工、橡胶、塑料、冶金、采矿、企管、维修)等非机类专业本、专科通用教材，适用学时数：50~60学时。还可供有关工程技术人员和管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械基础.上册,工程力学与工程材料/杨洪林等编.一北京:机械工业出版社,2004.4

高等学校教材

ISBN 7-111-13827-9

I.机... II.杨... III.①机械学-高等学校-教材②工程力学-高等学校-教材③工程材料-高等学校-教材 IV.TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第001228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:冯 钺 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·11.5印张·284千字

定价:17.00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)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

机械基础是众多非机械类专业应开设的一门综合性技术基础课程。该课程的开设,将改善学生的知识结构,提高学生的技术应用能力,更好地为社会服务,更广泛地适应人才市场的需求。我们对本课程的教学改革已探索多年,在教学内容和教学方式上都进行了一系列的改革尝试。

为了加强教与学的联系,避免相关课程内容的重复,充分利用日趋紧张的课时,就要解决好教材的配套问题。为此,我们结合多年的教学经验,在试用多年的《机械基础》讲义的基础上,针对人才培养目标和要求,较广泛地吸收了许多院校的意见,现由多所院校参加,对原讲义进行了充实和较大的修改,集体编写成本书,因而本书是集思广益、教学改革的产品。

本课程的目的是使学生获得必要的机械基础理论知识,具体要求就是初步掌握有关工程力学、工程材料、机构和机械传动及液、气压传动等方面的基础知识。这些基础内容对于工程类非机械专业的工程技术人员是必须掌握的。因此,本书包括了上述四部分的基础内容。对这四部分内容,我们在既要尊重它们原学科体系,保证相对的独立性,同时又在分析这几部分内容内在联系的基础上,探讨改变某些传统讲法,力求更贴近实际应用,为使本课程逐步形成自己的课程体系方面作了初步的尝试。

本书编写以精选内容、保证基础、加强实践、重在应用、讲究教学方法为原则。考虑到某些读者(如函授、夜大等成人教育)的特点和学习要求,又考虑到这门课程涉及的内容较广泛,学习本课程的学生先修的与之相关的基础课一般较少,并且各校本、专科各专业对这门课的教学要求差异比较大等特点,我们在编写时有针对性地考虑了三条:

- 1) 内容的选取着眼于加强实践和学以致用。
- 2) 讲述方法要适应非机类专业学生的特点。力求做到由浅入深,循序渐进,实例较多,分析步骤较详尽,并且有相当部分适应于自学。
- 3) 不同的层次、不同的专业对本课程的深度和广度要求有较大差异,即教学要求有较大的弹性。为了适应这一特点,使学时数在90~120学时之间均可使用本教材,所以本书采编的内容较广泛,分为基本、基础部分和选学部分。书中标有\*号的章节,一般为加深加宽或根据专业不同的要求,供选择使用。

本书可以作为化工、电子、电气、自动控制、轻纺、食品、医药、采矿等工程、工艺类非机类本、专科专业的教材。也可供其他专业和工程技术人员参考。

考虑到本书内容较多及本课程的特点,为了教与学的方便,将本书分为两册出版,即《机械基础》上册(工程力学与工程材料)、《机械基础》下册(机械传动与液气、压传动)。两册之间有紧密联系和配合,但又有相对独立性,各独立编章、自成体系,因而可根据不同的教学要求和安排,配套采用两册,亦可采用其中的某一册。

另外,编者还将编写出版与本书相配套的“机械基础辅导与复习题解”,旨在指导学员、特别是以自学为主的学员理解基本内容要求,掌握重点,消化难点,指导解题,这就更加方

#### IV

便于教与学。

本册由杨洪林、刁可春、袁国兴等编写。分工如下：杨洪林编写绪论、第十、十一、十二、十三章及附录 A；刁可春编写第四、五、六、八章；袁国兴编写第一、二、三章及附录 B；张亚芳编写第七、九章；张春玲负责书中部分插图和附表的设计、描绘。全书由杨洪林负责统稿。

参加本书审稿的有：孟庆东教授、王守成教授、石广岩副教授；全书由孟庆东教授任主审。

本书在编写过程中曾参阅了多本同类教材和习题集，采用了其中部分插图；得到有关院校教学主管部门的协助和支持。在此一并致谢。

编者还要特别指出，机械工业出版社的领导和本书的责任编辑，全力支持教学改革和教材建设，自本书编者提出编写提纲起，每个编写阶段都给予了满腔热情的鼓励，具体的指导和帮助。对此，我们谨表示衷心感谢。

限于编者水平和经验，疏漏不妥及缺点恐有不少，敬请读者提出宝贵意见，不胜感激。

编者

# 目 录

前言

绪论 ..... 1

## 第一篇 工程力学

<b>第一章 物体的受力分析</b> .....	3	<b>第六章 拉伸与压缩</b> .....	54
第一节 力的概念 .....	3	第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例 .....	55
第二节 刚体、力系和平衡的概念 .....	4	第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的 内力 .....	56
第三节 力的基本性质 .....	5	第三节 轴向拉伸(压缩)时横截面上 的应力 .....	58
第四节 约束和约束反力 .....	6	第四节 拉伸和压缩时的应变 .....	59
第五节 物体的受力分析与受力图 .....	9	第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性 能 .....	61
复习题 .....	12	第六节 拉伸和压缩的强度计算 .....	65
<b>第二章 平面汇交力系</b> .....	13	第七节 应力集中的概念 .....	67
第一节 平面汇交力系的合成 .....	13	* 第八节 简单拉(压)超静定问题 .....	68
第二节 平面汇交力系的平衡条件 .....	17	* 第九节 圆柱形薄壁容器的计算 .....	70
复习题 .....	18	复习题 .....	72
<b>第三章 力矩和平面力偶系</b> .....	21	<b>第七章 剪切与挤压</b> .....	75
第一节 力矩 .....	21	第一节 剪切的概念与实例 .....	75
第二节 平面力偶理论 .....	22	第二节 剪切的实用计算及强度条件 .....	76
第三节 平面力偶系的合成和平衡条件 .....	24	第三节 挤压的实用计算及强度条件 .....	77
复习题 .....	26	复习题 .....	82
<b>第四章 平面任意力系</b> .....	28	<b>第八章 圆轴扭转</b> .....	84
第一节 力的平移定理 .....	28	第一节 扭转的概念与实例 .....	84
第二节 平面任意力系的平衡条件及其应 用 .....	29	第二节 外力偶矩和扭矩的计算 .....	85
第三节 平面平行力系的平衡方程 .....	32	第三节 圆轴扭转时的应力 .....	87
第四节 静定与超静定问题的概念 物体 系统的平衡 .....	34	第四节 圆轴扭转时的强度条件 .....	90
第五节 摩擦 .....	37	第五节 圆轴扭转时的变形和刚度条件 .....	92
复习题 .....	41	复习题 .....	94
<b>第五章 空间力系</b> .....	46	<b>第九章 直梁弯曲</b> .....	96
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影 .....	46	第一节 弯曲的概念与实例 .....	96
第二节 力对轴的矩 .....	47	第二节 梁的计算简图——静定梁的形 式 .....	97
第三节 空间任意力系的平衡方程 .....	49	第三节 弯曲内力——剪力和弯矩 .....	98
第四节 重心和形心 .....	51	* 第四节 剪力图和弯矩图 .....	100
复习题 .....	52	第五节 梁弯曲正应力 .....	104

第六节 梁弯曲正应力强度条件 .....	108	第三节 圆轴弯曲与扭转的组合变形 .....	125
*第七节 梁的弯曲变形计算和刚度校核 .....	111	复习题 .....	128
*第八节 简单超静定梁的解法 .....	114	<b>第十一章 工程力学的其他常用知</b>	
第九节 提高梁承载能力的措施 .....	115	<b>识</b> .....	131
复习题 .....	117	*第一节 压杆稳定的概念 .....	131
<b>第十章 组合变形的强度计算</b> .....	121	第二节 交变应力与疲劳破坏的概念 .....	133
第一节 组合变形的概念与实例 .....	121	*第三节 动荷应力的概念 .....	135
第二节 弯曲与拉伸(或压缩)的组合		复习题 .....	136
变形 .....	121		

## 第二篇 工程材料

<b>第十二章 金属材料</b> .....	137	<b>第十三章 常用非金属材料</b> .....	163
第一节 金属材料的力学性能 .....	137	第一节 有机高分子材料 .....	163
第二节 材料的工艺性能 .....	139	第二节 无机非金属材料 .....	168
第三节 碳钢 .....	140	*第三节 复合材料简介 .....	169
第四节 钢的热处理 .....	144	复习题 .....	170
第五节 合金钢 .....	147	附录 A 几种常见图形的几何性质 .....	172
第六节 铸铁 .....	154	附录 B 型钢表 .....	173
第七节 有色金属 .....	157	参考文献 .....	178
复习题 .....	162		

# 绪 论

无论是机械工业还是其他工业（如化工、石油、采矿、轻纺、食品、医药、自动化、农林、交通运输），生产中都离不开机械设备。或者说，用机械设备进行生产，是现代化生产的主要方式。可靠的、高效能的机械设备，是保证生产实施和确保产品质量的必要条件。因此，即便是非机械专业的工程技术人员和管理人员，也不可避免地会遇到许多机械设备方面的问题，如机械设备的选用、安装、调试、使用、维护以至对机械设备进行必要的改造、革新等。要想妥善地解决这些问题，就应了解或掌握必要的机械方面的知识（在中、小企业部门中，由于技术分工不可能很细，这种需要就显得尤为突出）。因此，各种非机械类专业技术、管理人员不仅需要掌握足够的专业知识，还必须掌握一定的机械基础知识，才能适应现代化工业生产的需要。

但是，由于专业要求不同及学时数的限制，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，把有关机械方面必要的基础知识和技术理论结合起来，培养学生对机械方面的基本分析能力及进行简单设计和选择设备的初步能力的任务，就由本课程来完成。

对机械的研究是以力学理论为基础的，工程材料是制造机械的物质基础，常用的机构、机械零件则是机械基础的基本部分。另外，液、气压传动是近几十年来的一类较新的传动方式，在现代化生产中，液、气压装置的应用已日益广泛，具备这方面的知识对很多专业也是很必要的。考虑到这些情况，并照顾到有关学科的传统体系和便于组织教学，本书共由四部分内容组成：

第一篇 工程力学：主要介绍物体的受力分析和计算，构件在外力作用下的变形和破坏规律，强度和刚度的计算方法及相关知识。本篇是本书和机械工程计算的理论基础。

第二篇 工程材料：主要介绍工程中常用的金属和非金属材料的性能、特点、应用场合等基础知识。

第三篇 机械零件：主要叙述机械中常用的机构和通用零件的工作原理、结构特点和设计计算方法，为选择、使用和维护机械设备中常用的机械传动装置提供必要的基础知识。本篇是本书的基本部分。

第四篇 液、气压传动：主要介绍液压、气压传动的原理，常用液、气压元件的工作原理、特点和应用，基本液压回路等基本内容。

由以上所述可见，机械基础是一门包含广泛内容的技术基础课，学生不仅要学会必要的机械基础知识，而且还需要受到一定的基础技能（如正确运算、查阅手册、图文表达等）训练，为以后顺利学习专业课和从事技术工作、管理工作奠定基础。

应该指出，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学习能具备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广度和深度，以便读者掌握必要的基本理论、基本知识和基本方法。

还应指出，本书所介绍的许多设计计算方法是尽可能简化了的。用它们可以解决一些简



单的生产实际问题，但对于重要的复杂机械，则应采用更加精确和完善的设计方法。这类方法一般都比较复杂，牵涉因素较多，需要较为深厚的理论作基础和完成较大的计算工作量，因此应参阅有关专著方能解决，本书一般仅提示解决方向，不作具体研究。

关于学习方法，应该注意到本书是属于应用性质的课程，具有综合性和实践性较强的特点。在学习时，不仅要注重理论性内容的学习，通过解题来提高运用基本理论去分析和解决问题的能力，还应注意实践能力的培养，并考虑通过实验以及对生活和生产中的现有机械观察、分析和比较，逐步掌握设计的基本方法。因此，学习时应做到理论与实践并重。

# 第一篇 工程力学

## 引言

生产中使用的任何机器或设备，都是由许多形状各异的单件所组成的。这些单件通常称为构件。构件是机械设备的最小单元。经验和实验表明，任何机器或设备在工作时都要受到载荷的作用。这样，构件就受到各种各样的外力作用，而引起不同形式的变形。如果构件材料选择不适当或尺寸设计不合理，则在外力的作用下是不安全的：构件可能产生过大的变形，使设备不能正常工作；构件也可能发生破坏，从而毁坏整个设备；有的构件当外力达到某一定值时，也可能突然失去原来的形状而破坏设备。因此，为了使机器或设备能安全而正常地工作，在设计（或应用）时必须使构件满足以下几方面的要求：要有足够的强度，以保证构件在外力作用下不致破坏；要有足够的刚度，以保证构件在外力作用下不致发生过大的变形；还有的构件要有足够的稳定性，以保证构件在外力作用下不致突然失去原有的形态。

工程力学的任务就是在对构件进行受力和计算的基础上，研究构件在外力作用下变形和破坏的规律，为设计构件时选择适当的材料和尺寸，以保证有足够的强度、刚度和稳定性，为使设备能够满足适用、安全和经济的要求等提供基础理论知识。本篇内容可以归纳为两个方面：

- 1) 研究构件受力的情况，进行受力大小的计算（属于前五章静力学的研究范畴）。
- 2) 研究材料的机械性质和构件受力的变形与破坏的规律，进行构件强度、刚度或稳定性的计算（属于第六至十一章材料力学的研究范畴）。

所以，本书所研究的工程力学是由静力学和材料力学两部分组成。

## 第一章 物体的受力分析

### 第一节 力的概念

力的概念是人们在生产和生活实践中通过反复的观察、实验和分析而逐渐建立起来的。力改变物体的机械运动状态（又称外效应），使原来静止的物体，在力的作用下由静止开始动起来，如机床的起动、汽车的开动等。行驶的汽车刹车时，靠摩擦力使它停止下来。有时力作用在物体上，并不改变客观存在的运动状态，这是因为作用在物体上的这些力相互平衡，它们的运动效果互相抵消的缘故。

力还能使物体产生变形（又称内效应），如弹簧受力会伸长，起重机横梁在起吊重物时会产生弯曲变形。

实践证明，力对物体的效应取决于力的基本要素，即力的大小、方向和作用点。这三个

基本要素，简称为力的三要素。只要其中的任何一个量改变，该力对物体的作用效应就要改变。因此，力是一种矢量，可以记作  $F$ 。图 1-1 中的  $F$  是用一个带箭头的有向线段  $AB$  来同时表示力的三个要素，也就是：

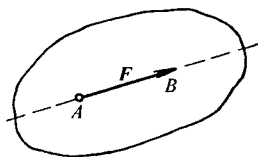


图 1-1 力的三要素

(1) 力的大小 反映了物体间机械作用的强弱。用线段  $AB$  的长度按一定的比例尺表示。在国际单位制中，力的单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)， $1\text{kN} = 10^3\text{N}$ 。

(2) 力的方向 表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方向和力沿作用线的指向，用箭头表示力的方向。

(3) 力的作用点 作用点是力作用在物体上的部位。如果力作用的面积很小，可近似地看成作用在一个点上，这种力称为集中力，通常用  $F$  或  $P$  等表示。力作用的点称为力的作用点，如图 1-2a 所示的单臂吊车的水平梁  $AB$ ，在  $B$  点和  $C$  点分别受到集中力  $T$  和  $P$  的作用 (图 1-2b)。如果两个物体相互作用，而力的作用范围较大时，这种力称为均布力或均布载荷。如作用于化工塔器上的风载  $p_1$ 、 $p_2$  (图 1-2c)，或在同一水层的水对水坝的水压力。均布载荷密度用  $q$  表示。

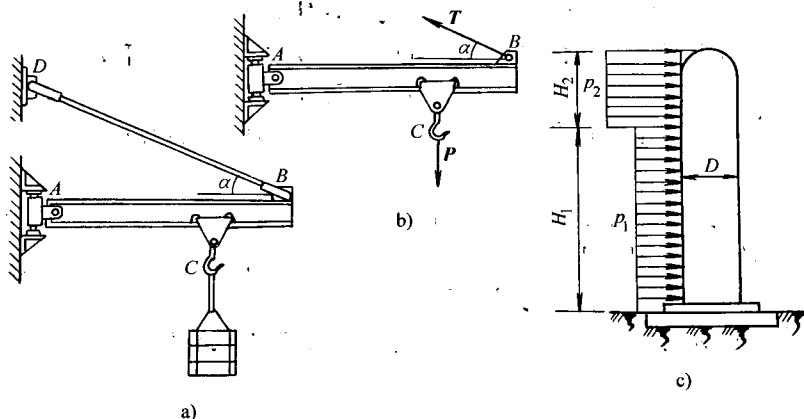


图 1-2 力的作用方式

在静力学中，用黑体字母表示矢量 (如  $\mathbf{F}$ )，而用普通字母表示力的大小 (如  $F$ )。

## 第二节 刚体、力系和平衡的概念

### 一、刚体的概念

前面讲过，力对物体的效应，除了使物体的运动状态发生改变外，还使物体发生变形。在正常情况下，工程上的机械零件和结构构件在力的作用下发生的变形是很微小的，甚至只有用专门的仪器才能测量出来。这种微小的变形在研究力对物体的外效应时影响极小，因此可以略去不计。这时就可以把物体看作是不变形的。在受力情况下保持形状和大小不变的物体称为刚体。刚体是对物体进行抽象后得到的一种理想模型，它可使理论推导和计算大大简化。在静力学 (即前五章) 中不研究内效应，而只研究力的外效应，因而可将物体视为刚体。然而，当变形这一因素在所研究的问题中是处于主要地位时 (如材料力学)，即使变形

量很小，也不能把物体看作是刚体。

## 二、平衡的概念

在工程中，把物体相对于地面处于静止或作匀速直线运动的状态称作平衡。例如静止的房屋建筑；在直线轨道上等速前进的火车，都是处于平衡状态。

作用于物体上的一群力称为力系。如果一力系可以用另一个适当的力系代替而对物体的效应相同，则此两个力系互称为等效力系。如果物体在力系作用之下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。

## 第三节 力的基本性质

实践证明，力具有下述四个性质（也可称为力的四个公理）：

**性质1 二力平衡公理** 作用在刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。如图 1-3 所示，即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

二力平衡公理总结了作用在刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。它对刚体来说既必要又充分；但对非刚体，却是不充分的。如绳索受两个等值、反向的拉力作用可以平衡，而受两个等值、反向的压力作用就不平衡。

工程上将自重不计、只受两个力作用而处于平衡的物体称为二力杆。工程中二力杆是很常见的，如图 1-4a 所示结构中的 BC 杆，不计其自重时，就可视为二力杆或二力构件。其受力如图 1-4b 所示。

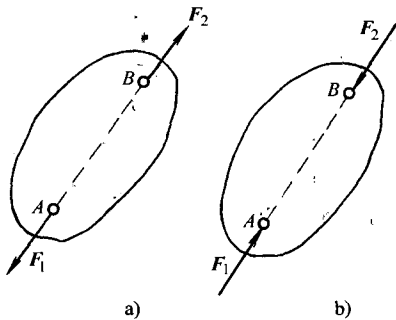


图 1-3 二力平衡条件

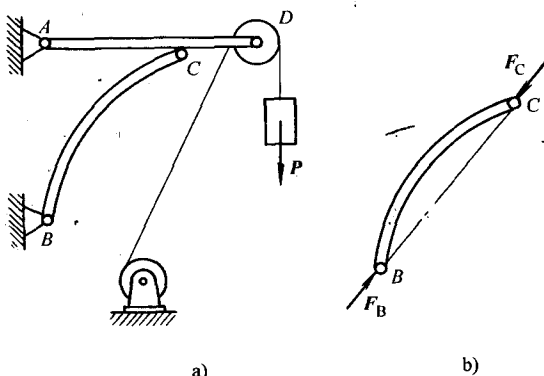


图 1-4 二力杆

**性质2 加、减平衡力系公理** 在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个性质的正确性也是很明显的，因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响。这个性质是力系简化的理论根据之一。

根据性质2可以导出如下推论——力的可传性：作用在刚体上的某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用。该性质称为力在刚体上的可传性。我们有这样的体会：在水平道路上用水平力  $F$  作用于 A 点推车或用  $F$  力作用于 B 点拉车

(图 1-5) 可以产生同样效果。

由此可见, 对刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效果的要素, 它可用力的作用线所代替, 即力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。

必须注意, 加、减平衡力系原理和力的可传性只适用刚体, 不适用于变形体。这个问题将在第六章中讨论。

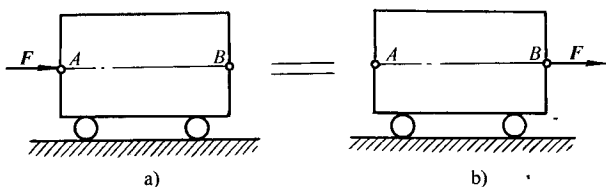


图 1-5 力的可传性

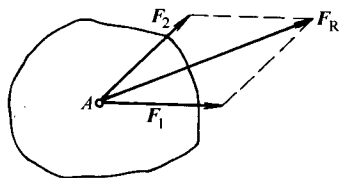


图 1-6 力的平行四边形公理

**性质 3 力的平行四边形公理** 作用在物体上同一点的两个力  $F_1$  和  $F_2$ , 可以合成为一个合力  $F_R$ 。合力的作用点也在该点: 合力的大小和方向, 由这两个力的力矢为边所构成的平行四边形的对角线矢量  $F_R$  确定。如图 1-6 所示, 如果将原来的两个力  $F_1$  和  $F_2$  称为分力, 此法则可简述为合力  $F_R$  等于两分力的矢量和。即

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-2)$$

这个公理总结了最简单的力系的简化规律, 它是其他复杂力系简化的基础。

**性质 4 作用和反作用公理** 任何两个物体间相互作用的作用力和反作用力, 总是大小相等、方向相反, 并分别作用在两个相互作用的物体上。

这一公理概括了任何两物体间力相互作用的一般定律。由此可知, 力总是成对出现的, 有作用力必有反作用力。

必须注意, 作用力和反作用力不是作用在同一物体上, 而是分别作用在两个相互作用的物体上, 因此, 二者不能相互平衡, 要把作用与反作用定律和二力平衡条件严格区别开来。读者试分析图 1-7 所示各力之间是什么关系。

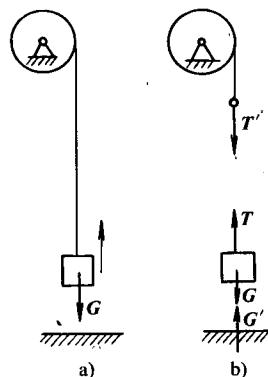


图 1-7 作用与反作用、二力平衡关系

## 第四节 约束和约束反力

在分析物体的受力情况时, 常将力分为主动力和约束反力。工程上把能使物体产生某种形式的运动或运动趋势的力称为主动力 (又称为载荷), 通常是已知的。常见的主动力有重力、磁力、流体压力、弹簧的弹力和某些作用于物体上的已知力。

物体在主动力的作用下, 其运动大多受到某些限制。对物体运动起限制作用的其他物体称为约束物, 简称为约束。被限制的物体称为被约束物。如吊式电灯被电线限制使电灯不能掉下来, 电线就是约束 (物), 电灯是被约束物。

约束作用于被约束物的力称为约束反力, 简称为反力。如电线作用于吊式电灯的力即为约

束反力。显然，约束反力是由于有了主动力的作用才引起的，所以约束反力是被动力。约束（物）是通过约束反力来实现限制被约束物的运动的，所以约束反力的方向总是与约束物所能阻止的运动方向相反。至于约束反力的大小，则需要通过以后几章研究的平衡条件求出。

下面介绍几种常见的约束形式和确定约束反力的分析。

### 1. 柔性约束

由绳索、链条或带等柔性物体构成的约束称为柔性约束。由于柔性物体本身只能受拉，不能受压，因此，柔性约束对物体的约束反力，必沿着柔性物体的轴线方向，作用于连接点处，并背离被约束物体。这类约束通常用  $T$  或  $W$  表示，如图 1-8a 所示的用链条悬吊一重物  $W$ ，链条对重物的约束反力为  $T_A$  和  $T_B$ 。

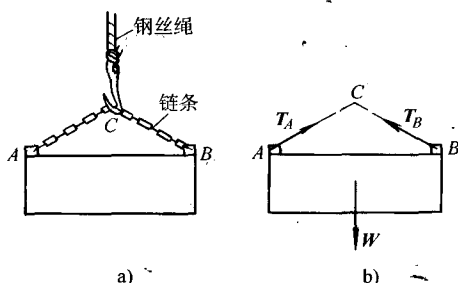


图 1-8 柔性约束

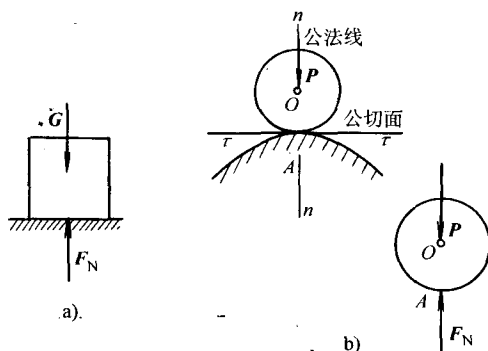


图 1-9 光滑接触面（线、点）约束

### 2. 光滑接触面（线、点）约束

当物体与平面或曲面接触时，如果摩擦力很小而忽略不计，就可以认为接触面是“光滑”的。光滑面约束只能阻止物体在接触点处沿公法线方向接触面内部的位移（图 1-9a），不能限制物体沿接触面切线方向的位移。所以，光滑面对物体的约束反力，作用在接触处，方向沿接触面的公法线，并指向被约束物体，通常用符号  $F_N$  表示。

如果两物体在一个点或沿一条线相接触，且摩擦力可以略去不计，则称为光滑接触点或光滑接触线约束。例如图 1-9b 所示为一圆球（或圆柱） $O$  放置在光滑圆球（或圆柱） $A$  上，则  $A$  对  $O$  就构成约束，其约束反力  $F_N$  作用在接触点（或接触线）， $F_N$  应沿接触点（或接触线）的公法线，并指向受力物体  $O$ 。

### 3. 圆柱销铰链约束

将两零件  $A$ 、 $B$  的端部钻孔，用圆柱形销钉  $C$  把它们连接起来，如图 1-10a 所示。如果销钉和圆孔是光滑的，那么销钉只限制两零件的相对移动，而不限制两零件的相对转动。具有这种特点的约束称为铰链。图 1-10d 所示为其简化图。由图可见，销钉与零件  $A$ 、 $B$  相接触，实际上是与两个光滑内孔圆柱面相接触。按照光滑面约束的反力特点，以零件  $A$  为例，销钉给  $A$  的约束反力  $F_R$  应沿销钉与圆孔的接触点  $K$  的公法线，即沿孔的半径方向（图 1-10b）。但因接触点  $K$  一般不能预先确定，故反力的方向也不能预先确定。在受力分析中，常常用两个正交分力  $F_x$ 、 $F_y$  来表示，如图 1-10c 所示。同理，若以零件  $B$  作分析，也可得到同样结果，只不过与上述力的方向相反。读者可自行验证。

### 4. 圆柱销铰链支座约束

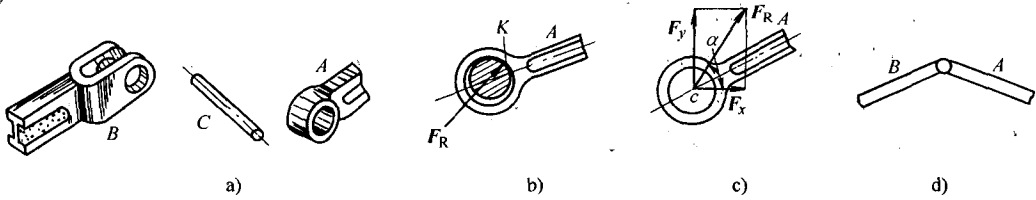


图 1-10 圆柱销铰链

将构件连接在机器的底座上的装置称为支座。用圆柱销钉将构件与底座连接起来，构成圆柱销铰链支座约束。如图 1-11a 所示钢桥架 A、B 端用铰链支座支承。根据铰链支座与支承面的连接方式不同，分成固定铰链支座和活动铰链支座。

(1) 固定铰链支座 如图 1-11a 所示钢桥架 A 端的铰链支座为固定铰链支座。其结构如图 1-11b 所示。它可用地脚螺栓将底座与固定支承面连接起来，如图 1-11c 所示。其约束反力与铰链约束反力有相同的特征，所以也可用两个通过铰心的大小和方向未知的正交分力  $F_x$ 、 $F_y$  来表示。固定铰链支座的简图如图 1-11d 所示。

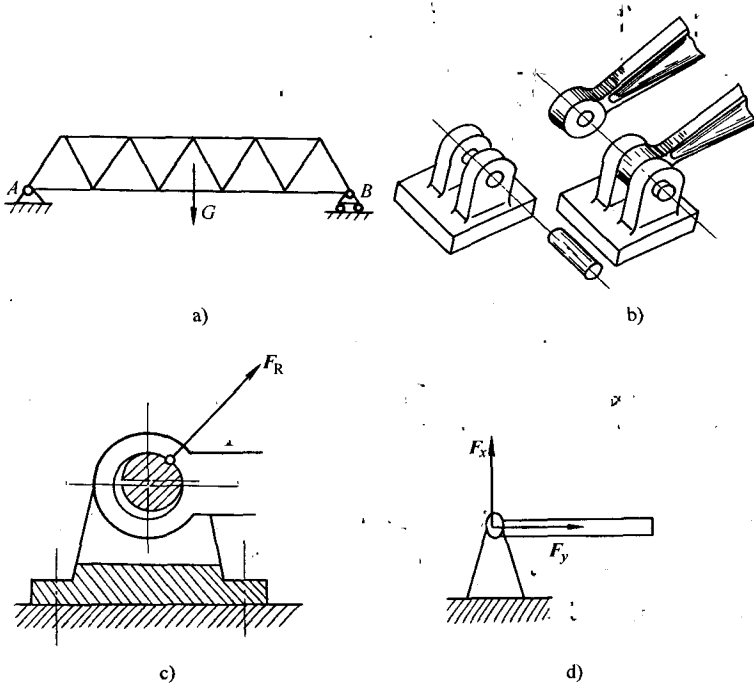


图 1-11 固定铰链支座

(2) 活动铰链支座 如果在支座和支承面之间有辊轴，就成为活动铰链支座，又称辊轴支座。如图 1-10a 钢桥架的 B 端支座即是。其结构如图 1-12a 所示，简图如图 1-12b 所示。

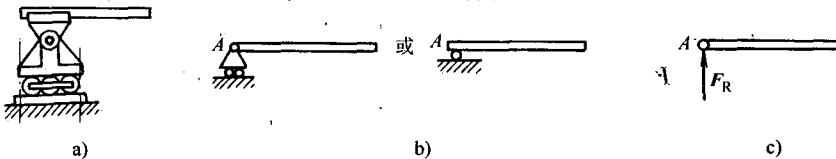


图 1-12 活动铰链支座

这种支座的反力  $F_R$  垂直于支承面 (图 1-12c)。

### 5. 向心轴承 (径向轴承) 约束

机器中的向心轴承对轴形成约束, 如图 1-13a 所示, 它允许轴转动, 但限制轴做垂直于轴线的任何方向的位移。因此, 其约束反力的特征与光滑圆柱铰链相同, 可用垂直于轴线的大小和方向未知的正交分力  $F_x$ 、 $F_y$  来表示, 如图 1-13b 所示。

除以上几种比较简单的常见约束外, 还有固定端等形式的约束, 将在适当的章节作介绍。

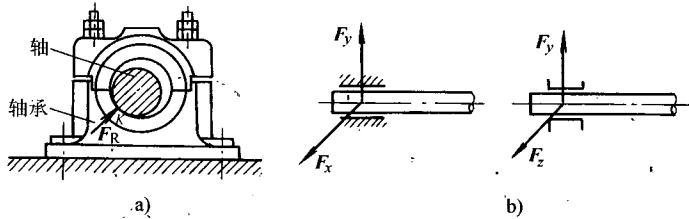


图 1-13 向心轴承 (径向轴承) 约束

## 第五节 物体的受力分析与受力图

受力分析就是研究某个指定物体受到的力 (包括主动力和约束力), 并分析这些力的三要素; 将这些力全部画在图上。该物体称为研究对象, 所画出的这些力的图形称为受力图。所以, 受力分析的结果, 体现在受力图上。画受力图的一般步骤为:

(1) 确定研究对象 根据所研究的问题, 首先要确定何者为研究对象。研究对象是受力物, 周围的其他一些物体是施力物。受力图上画的力来自施力物。为清楚起见, 一般需将研究对象的轮廓单独画出, 并在该图上画出它受到的全部外力。

(2) 画给定力 给定力常为已知或可测定的, 按已知条件画在研究对象上即可。

(3) 画约束力 画约束力是受力分析的主要内容。研究对象往往同时受到多个约束。为了不漏画约束力, 应先判明存在几处约束; 为了不画错约束力, 应按各约束的特性确定约束力的方向, 不要主观臆测。

对物体进行受力分析, 即恰当地选取分离体并正确地画出受力图, 是解决力学问题的基础, 它不仅在本课程的学习中, 而且在工程实际中都很重要。受力分析错误, 据此所作的进一步计算必将出现错误的结果。因此, 必须准确、熟练地画出受力图来。在画受力图时还必须注意以下几点:

1) 研究由多个物体组成的物体系统 (简称物系) 时, 应区分系统外力与内力。物系以外的物体对物系的作用称为系统外力, 物系内各部分之间的相互作用力称为系统内力。同一个力可能由内力转化为外力 (或相反)。例如, 将汽车与拖车这个物系作为研究对象时, 汽车与拖车之间的一对拉力是内力, 受力图上不必画出; 若以拖车这个物系为研究对象, 则汽车对它的拉力是系统外力, 应当画在拖车的受力图上。

2) 物体系统中一般都有二力构件。分析物体系统受力时, 应先找出二力构件, 然后依次画出与二力构件相连构件的受力图, 这样画出的受力图可得到简化。

3) 当分析两物体间相互的作用力时, 应遵循作用力与反作用力定律。若作用力的方向一旦假定, 则反作用力的方向应与之相反。



下面举例说明物体受力和画受力图的方法。

**例 1-1** 画出图 1-14a 中球形物体的受力图。

**解** 取圆球为研究对象，画出其轮廓简图。首先画主动力  $G$ ，再根据约束特性，画约束反力。圆球受到斜面的约束，如不计摩擦，则为光滑面接触，故圆球受斜面的约束反力  $F_N$  在接触点  $A$  沿斜面与球面的公法线方向并指向球心；圆球在连接点  $B$  受到绳索  $AB$  的约束反力  $T$  沿绳索轴线而背离圆球。圆球受力图如图 1-14b 所示。

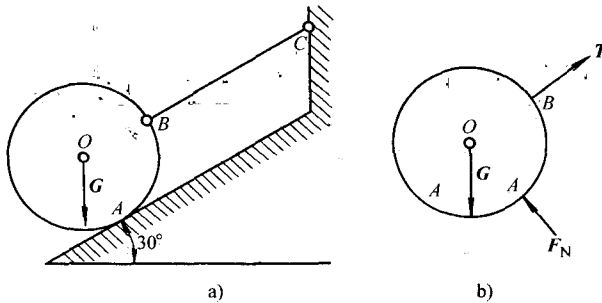


图 1-14 圆球受力图

**例 1-2** 简支梁  $AB$  如图 1-15a 所示。A 端为固定铰链支座，B 端为活动铰链支座，并放在倾角为  $\alpha$  的支承斜面上，在  $AC$  段受到垂直于梁的均布载荷  $q$  的作用，梁在  $D$  点又受到与梁成  $\beta$  倾角的载荷  $Q$  的作用。梁的自重不计。试画出梁  $AB$  的受力图。

**解** 画出梁  $AC$  的轮廓。

画主动力 有均布载荷  $q$  和集中载荷  $Q$ 。

画约束反力 梁在  $A$  端为固定铰链支座，约束反力可以用  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$  两个分力来表示； $B$  端为活动铰链支座，其约束反力  $F_N$  通过铰心而垂直于斜支承面。梁的受力图如图 1-15b 所示。

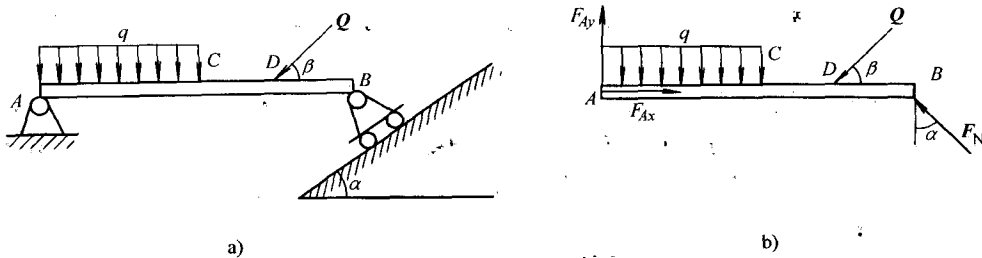


图 1-15 简支梁受力图

**例 1-3** 如图 1-16a 所示的三铰拱桥，由左右两拱铰链联接而成。设各拱自重不计，在拱  $AC$  上作用载荷  $P$ 。试分别画出拱  $AC$  和  $BC$  的受力图。

**解** 此题是物体系统的平衡问题，需分别对各个物体进行分析。

(1) 先分析  $BC$  拱的受力。拱  $BC$  受有铰链  $C$  和固定铰链支座  $B$  的约束，其约束反力在  $C$ 、 $B$  处各有  $x$  和  $y$  方向的约束反力。但由于拱  $BC$  自重不计，也无其他主动力作用，所以在  $C$  和  $B$  处各只有一个约束反力  $F_{NC}$  和  $F_{NB}$ ， $CB$  杆为二力杆。根据二力平衡原理， $F_{NC} = -F_{NB}$ ，只在两力作用下处于平衡的拱，其  $F_{NC}$  和  $-F_{NB}$  二力的作用线应沿  $C$ 、 $B$  两铰心的连