




高职高专“十一五”规划教材

机电类

# 工程力学



张凤翔 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高职高专“十一五”规划教材·机电类

# 工程力学

主 编 张凤翔

副主编 董天立 林炳尧

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书充分体现高等职业教育特色,理论与技能并重。书中理论知识既体现“必须”、“够用”、“实用”的原则,又着眼为学生未来的发展提供可持续提高的知识保证;突出能力的训练、培养和提高。全书共分为16章,主要内容有:静电力学基础、平面基本力系、平面任意力系、空间力系和重心、轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴扭矩、弯曲、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷与交变应力、运动学基础、点的合成运动和刚体的平面运动、动力学基础和动能定理。全书内容通俗易懂,直观精练、便于自学,注重技能,在每章均精选思考题和习题,并在书后配有答案,便于读者检查和巩固学习成果。

本书突出实用性、应用性、现代性,既可作为高职高专相关专业教材,也可供成人高校、本科院校的二级职业技术学院、民办高校及有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张凤翔主编. —北京:北京理工大学出版社, 2007.8  
高职高专“十一五”规划教材.机电类  
ISBN 978-7-5640-0960-1

I.工… II.张… III.工程力学-高等学校:技术学校-教材 IV.TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第136044号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市业和印务有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17.75

字 数 / 401千字

版 次 / 2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

责任校对 / 张 宏

定 价 / 32.00元

责任印制 / 母长新

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 前 言

《工程力学》是高等职业技术学院机电类系列教材之一，属机电类专业的专业技术基础课。本书根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学的基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的要求，充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的，在内容上充分体现高等职业教育特色，理论与技能并重，其中理论知识既体现“必须”、“够用”、“实用”的原则，又着眼为学生未来的发展提供可持续提高的知识保证；突出了能力的训练、培养和提高。

本书共分为 16 章，主要内容有：静电力学基础、平面基本力系、平面任意力系、空间力系和重心、轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、圆轴扭矩、弯曲、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷与交变应力、运动学基础、点的合成运动和刚体的平面运动、动力学基础和动能定理。在教学内容的安排和取舍上，本书遵循“尊重学科，但不恪守学科”的原则，删旧增新，减少理论推导，着重阐明实际应用价值，强调专业技术基础课和专业课之间的联系，注意与专业课的接口，力求做到立足实践与应用，拓宽知识面，使一般能力的培养与职业能力的培养相结合。

本书体现高职高专教育中专业基础课教材的指导思想，强化培养目标，力求高职高专教育中专业技术基础课的基础性与实用性的和谐统一。本书每章均精选思考题和习题，并在书后配有答案，便于读者检查和巩固学习成果。全书内容通俗易懂，直观精练，便于自学，注重技能；突出实用性、应用性、现代性。

本书由张凤翔任主编，董天立、林炳尧任副主编，参与本书编写的人员有贾拴稳、吴冰、柳世元、刘勇、周哲元。由于编者水平有限，教材中难免有差错、疏漏之处，敬请同行专家及广大读者批评指正。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

绪论.....	1	5.8 应力集中的概念.....	92
<b>第 1 章 静力学基础.....</b>	<b>3</b>	<b>第 6 章 剪切和挤压.....</b>	<b>99</b>
1.1 静力学中的基本概念.....	3	6.1 剪切的概念.....	99
1.2 静力学公理.....	5	6.2 剪切的实用计算.....	100
1.3 约束与约束力.....	7	6.3 挤压及其实用计算.....	101
1.4 物体的受力分析和受力图.....	10	6.4 剪切虎克定律.....	105
<b>第 2 章 平面基本力系.....</b>	<b>15</b>	<b>第 7 章 圆轴扭矩.....</b>	<b>109</b>
2.1 平面汇交力系合成的几何法.....	15	7.1 圆轴扭矩的概念.....	109
2.2 平面汇交力系合成的解析法.....	17	7.2 扭矩图.....	109
2.3 力矩的概念及计算.....	20	7.3 圆轴扭转时的应力和变形.....	113
2.4 平面力偶系.....	23	7.4 圆轴扭转时的强度和刚度计算.....	119
<b>第 3 章 平面任意力系.....</b>	<b>30</b>	<b>第 8 章 弯曲.....</b>	<b>127</b>
3.1 平面任意力系的简化.....	30	8.1 平面弯曲的概念.....	127
3.2 平面任意力系的平衡条件和 平衡方程.....	34	8.2 梁的计算简图.....	128
3.3 物体系统的平衡.....	40	8.3 梁的内力—剪力和弯矩.....	130
3.4 考虑摩擦时的平衡问题.....	43	8.4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图.....	132
<b>第 4 章 空间力系和重心.....</b>	<b>51</b>	8.5 剪力、弯矩与载荷集度.....	136
4.1 力在空间直角坐标轴上的投影.....	51	8.6 纯弯曲梁横截面上的正应力.....	139
4.2 力对轴之矩.....	53	8.7 梁的弯曲强度计算.....	141
4.3 空间任意力系的平衡方程.....	55	8.8 梁的切应力简介.....	144
4.4 平行力系的中心、重心.....	60	8.9 梁弯曲时的强度计算.....	145
<b>第 5 章 轴向拉伸与压缩.....</b>	<b>68</b>	8.10 梁弯曲时的变形.....	148
5.1 材料力学基础.....	68	8.11 提高梁强度和刚度的措施.....	153
5.2 轴向拉伸和压缩.....	71	<b>第 9 章 应力状态分析和强度理论.....</b>	<b>161</b>
5.3 轴向拉压时截面上的应力.....	75	9.1 应力状态的概念.....	161
5.4 拉伸与压缩时的变形.....	80	9.2 平面应力状态分析.....	163
5.5 材料在轴向拉压下的力学性能.....	83	9.3 最大切应力和广义胡克定律.....	166
5.6 拉、压杆的强度计算.....	87	9.4 强度理论.....	167
5.7 拉、压杆超静定问题.....	90	<b>第 10 章 组合变形.....</b>	<b>175</b>

10.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形.....	175	速度和加速度.....	229
10.2 扭转与弯曲组合变形.....	179		
<b>第 11 章 压杆稳定.....</b>	<b>186</b>	<b>第 14 章 点的合成运动和刚体的</b>	
11.1 稳定的概念.....	186	<b>平面运动.....</b>	<b>237</b>
11.2 两端铰支细长压杆的临界载荷.....	187	14.1 合成运动的概念.....	237
11.3 不同支承条件下压杆的临界载荷... ..	189	14.2 速度合成定理.....	239
11.4 中小柔度杆的临界应力.....	192	14.3 刚体平面运动的概念及运动方程... ..	242
11.5 压杆的稳定计算.....	195	14.4 平面图形上各点的速度分析.....	244
<b>第 12 章 动载荷与交变应力.....</b>	<b>201</b>	<b>第 15 章 动力学基础.....</b>	<b>254</b>
12.1 动载荷与动应力的概念.....	201	15.1 质点的动力学基本方程.....	254
12.2 构件作匀加速直线运动时的		15.2 质点动力学的两类问题.....	255
动应力计算和强度条件.....	201	15.3 刚体定轴转动的动力学基本方程... ..	257
12.3 构件作匀速转动时的动应力		15.4 刚体定轴转动动力学基本	
计算和强度条件.....	202	方程的应用.....	258
12.4 交变应力和疲劳破坏.....	203	<b>第 16 章 动能定理.....</b>	<b>260</b>
<b>第 13 章 运动学基础.....</b>	<b>213</b>	16.1 力的功.....	260
13.1 点的运动.....	213	16.2 动能定理.....	264
13.2 刚体的平动.....	225	<b>附录 习题答案.....</b>	<b>271</b>
13.3 刚体的定轴转动.....	227	<b>参考文献.....</b>	<b>277</b>
13.4 定轴转动刚体上点的			

# 绪 论

## 1. 工程力学的研究对象及主要内容

工程力学是一门研究物体机械运动和构件承载能力的科学。所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化，而构件承载能力则指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

例如，工程中常见的起重机，设计时，要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析，确定每个构件的受力情况，研究作用力必须满足的条件；当起重机工作时，各构件处于运动状态，对构件进行运动和动力分析，这些问题均属于研究物体机械运动所涉及的内容。为保证起重机安全正常工作，要求各构件不发生断裂或产生过大变形，则必须根据构件的受力情况，为构件选择适当的材料、设计合理的截面形状和尺寸，这些问题则是属于研究构件承载能力方面的内容。

工程力学有其自身的科学系统，本书包括静力学、材料力学和运动力学三部分。

静力学主要研究力系的简化及物体在力系作用下的平衡规律。

材料力学主要研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等的基本原理和计算方法。

运动力学是从几何角度来研究物体运动的规律，以及物体的运动与其所受力之间的关系。

## 2. 工程力学在工程技术中的地位和作用

工程力学是工科各类专业中一门必不可少的技术基础课，在基础课和专业课中起着承前启后的作用，是基础课与工程技术的综合。掌握工程力学知识，不仅为了学习后继课程，具备设计或验算构件承载能力的初步能力，而且还有助于从事设备安装、运行和检修等方面的实际工作。因此，工程力学在专业技术教育中有着极其重要的地位。

力学理论的建立来源于实践，它是以对自然现象的观察和生产实践经验为主要依据，揭示了唯物辩证法的基本规律。因此，工程力学对于我们今后研究问题、分析问题、解决问题有很大帮助，促进我们学会用辩证的观点考察问题，用唯物主义的认识观去理解世界。

## 3. 学习工程力学的基本要求和方法

工程力学来源于实践又服务于实践。在研究工程力学时，现场观察和实验是认识力学规律的重要实践环节。在学习本课程时，观察实际生活中的力学现象，学会用力学的基本知识去解释这些现象；通过实验验证理论正确性，并提供测试数据资料作为理论分析、简化计算的依据。

工程实际问题，往往比较复杂，为了使研究的问题简单化，通常抓住问题的本质，忽略次要因素，将所研究的对象抽象为力学模型。如研究物体平衡时，用抽象化的刚体这一

理想模型取代实际物体；研究物体的受力与变形规律时，用变形固体模型取代实际物体；对构件进行计算时，将实际问题抽象化为计算简图等等。所以，根据不同的研究目的，将实际物体抽象化为不同的力学模型，是工程力学研究中的一种重要方法。

工程力学有较强的系统性，各部分内容之间联系较紧密，学习中要循序渐进，要认真理解基本概念、基本理论和基本方法。要注意所学概念的来源、含义、力学意义及其应用；要注意有关公式的根据、适用条件；要注意分析问题的思路，解决问题的方法。在学习中，一定要认真研究，独立完成一定数量的思考题和习题，以巩固和加深对所学概念、理论、公式的理解、记忆和应用。



# 第 1 章 静力学基础

本章主要介绍静力学的基础知识，静力学的基本概念、静力学公理、约束及约束反力和受力图的绘制等内容。

## 1.1 静力学中的基本概念

### 1. 力的概念

力的概念是人们在长期的生活与生产实践中逐步形成，并经过归纳、概括和科学的抽象建立的。例如，人挑担、举重、推车等都要用力。力的作用不仅存在于人与物体之间，而且广泛地存在于物体与物体之间。例如，空中自由下落的物体，球拍击打乒乓球，机车牵引列车，吊车吊起物体等，都是力的作用。大量事实说明，力是物体之间的相互机械作用。作用的结果可以是物体的运动状态发生改变也可以是物体发生变形。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应；而力使物体发生形状改变的效应称为力的内效应或变形效应。静力学和运动力学两篇只研究力的外效应，力的内效应则在材料力学中研究。

实践表明，力对物体的作用效应决定于三个因素：

(1) 力的大小。它是指物体间机械作用的强弱，度量力的大小，本书采用国际单位制(SI)，力的单位是牛顿，用符号 N 来表示，或千牛顿用符号 kN 表示。

(2) 力的方向。它包含方位和指向两个方面，如谈到某钢索拉力竖直向上，竖直是指力的方位，向上是说它的指向。

(3) 力的作用点。它是指力在物体上作用的地方，实际上它不是一个点，而是一块面积或体积。当力的作用面积很小时，就看成是一个点，如钢索起吊重物时，钢索的拉力就可以认为力集中作用于一点，而成为集中力。当力的作用地方是一块较大的面积时，如蒸汽对活塞的推力，就称做分布力。当物体内每一点都受到力的作用时，如重力，就称做体积力。

上述三因素称为力的三要素，这三个要素中，只要有一个发生变化，力的作用效应就随之发生改变。例如图 1.1 用手推一木箱，若力  $F$  作用在  $A$  点能使木箱向前运动，力小木箱速度增加就缓慢，力大则速度增加就较快；用同样大小的力  $F$ ，反向作用在  $B$  点，则木箱后退；若力作用在  $C$  点，木箱就有绕  $K$  点翻倒的危险。因此要确定一个力，必须说明它的大小、方向和作用点。

力的作用效果与它的大小、方向都有关，表明力是矢量。图示中表示一个矢量可以用一个带箭头的有向线段，按一定比例画出的线段长度表示力的大小，线段的方位(如与水平线的夹角  $\theta$ )和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，如图 1.2 中的  $A$  或  $B$  点。通过力的作用点沿力矢量画的直线  $KL$ ，称为力的作用线。本书中，力矢

用黑体字表示，如  $F$ ，力的大小是标量，用白体字表示。

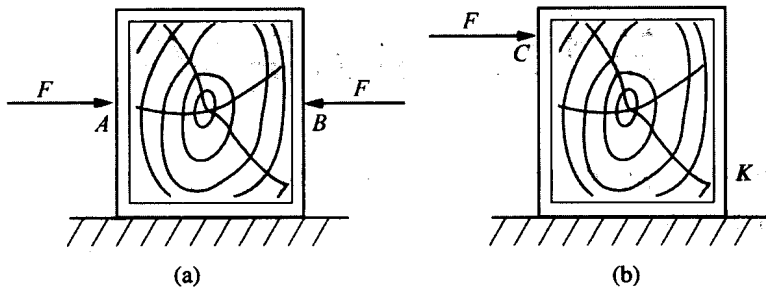


图 1.1

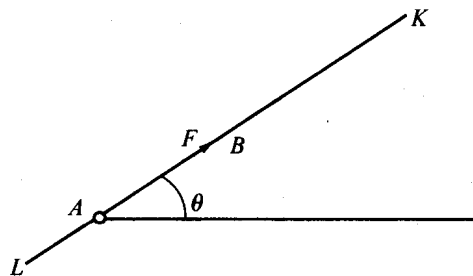


图 1.2

为了准确地理解力的概念，必须强调指出，既然力是物体间的相互机械作用，所以力是不能脱离物体而存在，即有作用力就必有反作用力，力总是成对出现的。分析问题时，常将它们区分为施力物体和受力物体。但二者是没有严格界限的，通常把研究对象称为受力物体，而把与它发生机械作用的其他物体称为施力物体。物体之间的相互机械作用可以是直接接触，如灯绳与灯之间的作用；也可以是非接触作用，如重力、万有引力等场力。

实际的工程结构和机器，都是同时受到很多个力的作用，作用在物体上的一群力成为力系。作用线在同一平面内的力系叫平面力系。作用线不在同一平面内的力系叫空间力系。如果一物体在力系作用下处于平衡状态，则称这一力系为平衡力系。如一力系用另一力系代替而对物体产生相同的外效应，则称这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效，则称此力为该力系的合力，而该力系中的各力称为此力的分力。

## 2. 物体的理想模型——刚体

理想模型是对实际问题或过程的合理抽象与理想化。理想模型在各种学科的研究中都占有非常重要的地位，它的建立和引入可以突出问题的主要方面，避免次要因素的干扰。也可以使研究得到简化。实际的研究过程都是由简单的理想模型逐渐过渡到实际的复杂类型。对于初学者掌握理想模型的概念是非常重要的。静力学中的理想模型主要包括三个方面的内容：研究对象的理想化、受力分析的理想化和接触与连接方式的理想化。

物体受力时，其内部各点之间的相对距离要发生改变，各点位置改变的累加效果便导致物体的形状和尺寸发生改变，这种改变称为变形。物体的变形很小时，变形对物体的运动和平衡影响甚微，因而在研究力的运动效应时，可以忽略不计，这时的物体便可以抽象

为刚体。因此宏观上可以说刚体就是在任何力的作用下都不变形的物体，微观上说刚体就是内部任何两个点间距离不发生变化的物体。

刚体是一个抽象化的力学模型，实际上并不存在真正的刚体，任何物体受力后都会发生变形。实际的物体能否看成刚体要看能否用刚体的有关规律得出符合实际的结果。在实际问题中如果实际物体的形变可以忽略，则在这个问题中物体就可以看成刚体，否则就不能看成刚体。刚体可以是单个工程的构件；也可以是工程结构整体。例如，建筑工地上常见的塔式吊车，当设计其每一个部件或零件时，都不能视为刚体，而必须视为变形体，这时的零件或部件就是变形体模型。但是当需要确定保证塔式吊车在各种工作状态下都不发生倾覆所需的配重时，整个塔式吊车又可以视为刚体(见图 1.3)。

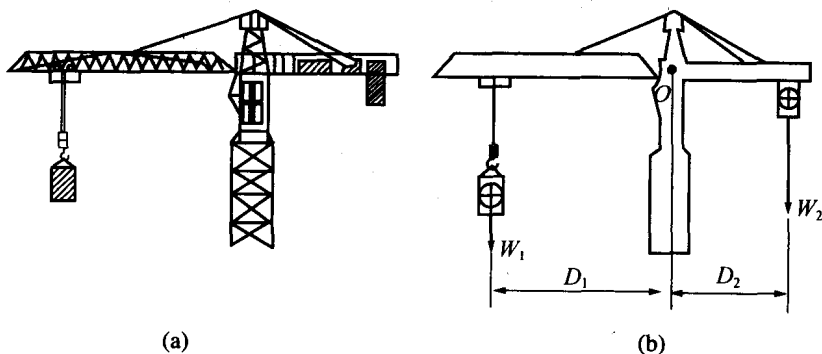


图 1.3

(a) 塔式吊车的变形体模型；(b) 塔式吊车的刚体模型

## 1.2 静力学公理

公理是人类在长期的生活和生产实践中，经过观察和实验，根据大量事实，加以抽象、归纳和总结而得到的科学结论，其正确性可以在实践中得到验证，并为大家所公认而无需证明。静力学公理概括了力的性质，是静力学的理论基础。

**公理 1 二力平衡公理** 作用于一个刚体上的二力，使刚体保持平衡状态的必要与充分条件是：此二力大小相等、方向相反、且沿同一直线。如图 1.4 所示，即  $F_1 = -F_2$ 。

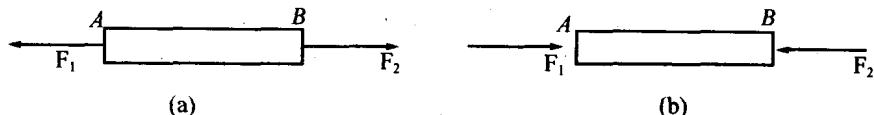


图 1.4

二力平衡公理是作用于刚体上最简单力系的平衡条件。对于刚体来说，这个条件是充分的，也是必要的；而对于变形体，它只是必要条件，并非充分条件。例如一软绳受等值、反向、共线的两个拉力，可以平衡，而受到两个等值、反向、共线的压力时就不能平衡。

**公理 2 加减平衡力系公理** 在作用于刚体的已知力系中，加上或减去任一平衡力

系, 不改变原力系对刚体的作用。

加减平衡力系公理只对刚体适用, 对变形体增减平衡力系, 就会影响其变形, 所以不适用于变形体。

**公理 3 力的平行四边形公理** 作用于物体上同一点的两个力, 可以合成为一个合力, 合力也作用在该点, 合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线来确定。

在图 1.5 中, 以  $F_R$  表示  $F_1$  和  $F_2$  的合力,  $A$  为力的作用点, 则这个公理可表示为

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

即作用于刚体上同一点的两个力的合力等于这两个力的矢量和。

如图 1.5 所示, 为求合力  $F_R$  的大小和方向, 可用几何作图法或利用几何关系计算。

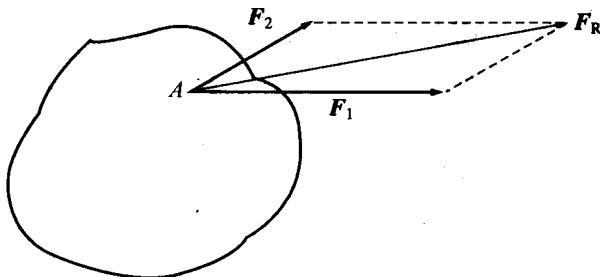


图 1.5

注意: 式(1-1)是矢量相加, 必须遵循平行四边形法则, 它与代数相加是不同的。

**公理 4 作用与反作用公理** 两个物体间的作用力和反作用力, 总是同时存在, 且大小相等、方向相反, 沿同一直线(简称等值、反向、共线)分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了自然界物体间相互作用的关系, 表明一切力都是成对出现的。

需要注意的是作用与反作用公理中的二力与二力平衡公理中的二力是截然不同的, 作用力与反作用力是分别作用在两个物体上, 当然不能平衡, 而一对平衡力是作用在同一个物体上的。

**公理 5 刚化公理** 当变形体(或刚体组成的可变形的刚体系统)在已知力系作用下处于平衡时, 如将此变形后的变形体刚化为刚体, 则平衡状态保持不变。

该公理指出了刚体静力学的平衡理论能应用于变形体的条件: 若变形体处于平衡状态, 则作用于其上的力系一定满足刚体静力学的平衡条件。也就是说, 对已知处于平衡状态的变形体, 可以应用刚体静力学的平衡理论。然而, 刚体平衡的必要与充分条件, 对于变形体的平衡, 只是必要条件而不是充分条件。

由上述公理可得如下推论:

**推论 1 力的可传性** 作用于刚体上的力, 可沿其作用线移动到刚体任一点, 而不改变该力对刚体的作用效果。

**证明** 设力  $F$  作用于物体上的  $A$  点[图 1.6(a)], 依公理 2 可在该力作用线上的任一点  $B$  加一对平衡力  $F' = F = -F''$  (图 1.4 b), 而力系  $(F, F', F'')$  与力  $F$  是等效的。从另一个角度看, 作用于  $A$  点的力  $F$  与作用于  $B$  点的力  $F''$  也是一对平衡力, 故可减去而不改变其效应。于是, 只剩下作用在  $B$  点的力  $F'$  了[图 1.6(c)]。它与原来作用于  $A$  点的力  $F$  等

效。依公理 2 可知, 小车仍将维持原有运动状态。但  $B$  点的力  $F'$  是原  $A$  点的力  $F$  顺着力作用线移动的结果, 这就证明了力的可传性。

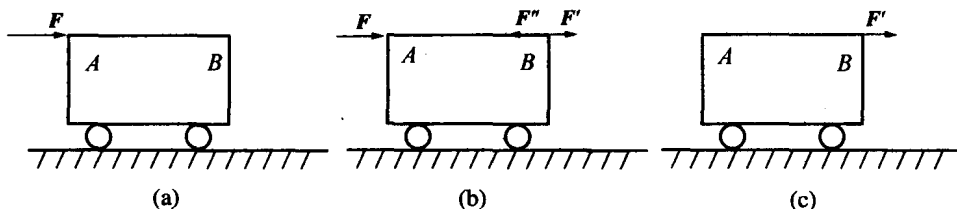


图 1.6

力的可传性只适用于刚体。对刚体而言, 力的三要素可改为大小、方向、作用线。

**推论 2 三力平衡汇交定理** 刚体只受三力作用而平衡, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力必共面, 且必汇交于一点。

**证明** 设刚体上  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点分别作用三个相互平衡的力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ , 如图 1.7 所示。依力的可传性, 可将  $F_1$ 、 $F_2$  移动到汇交点  $O$ , 并依平行四边形公理得合力  $F_R$ , 则  $F_3$  与  $F_R$  平衡。依二力平衡公理,  $F_3$  与  $F_R$  必共线, 当然  $F_3$  与  $F_1$ 、 $F_2$  共面, 且必通过  $O$  点。

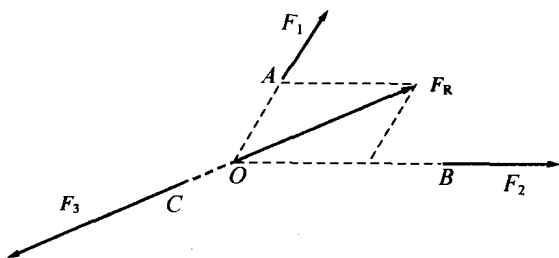


图 1.7

### 1.3 约束与约束力

工程中的约束种类很多。根据约束物体与被约束物体接触面之间有无摩擦, 约束可分为:

(1) 理想约束——接触面绝对光滑的约束。

(2) 非理想约束——接触面之间存在摩擦时, 一般为非理想约束。本章将主要讨论理想约束。

根据约束物体的刚性程度, 约束又可分为柔性约束和刚性约束。

现分别介绍如下。

#### 1. 柔性约束

缆绳、工业带、链条等都可以理想化为柔性约束, 统称柔索。这种约束的特点是其所产生的约束力只能沿柔索方向, 并且只能是拉力, 不能是压力。

例如, 图 1.8 中的带轮传动机构中, 带虽然有紧边和松边之分, 但两边的带所产生的

约束力都是拉力，只不过紧边的拉力要大于松边的拉力。

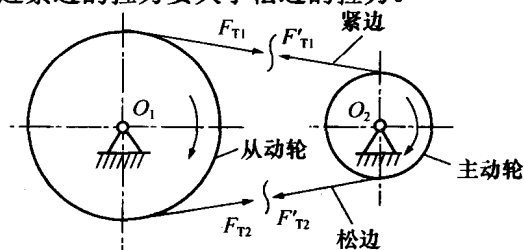


图 1.8

## 2. 刚性约束

约束体与被约束体都是刚体，因而二者之间为刚性接触。常见的刚性约束有以下几种：

### 1) 光滑面约束

两个物体的接触面处光滑无摩擦时，约束物体只能限制被约束物体沿二者接触面公法线方向的运动，而不限制沿接触面切线方向的运动。因此，光滑面约束的约束力只能沿着接触面的公法线方向，并指向被约束物体。图 1.9(a)和(b)所示分别为光滑曲面对刚体球的约束和齿轮传动机构中齿轮的约束。

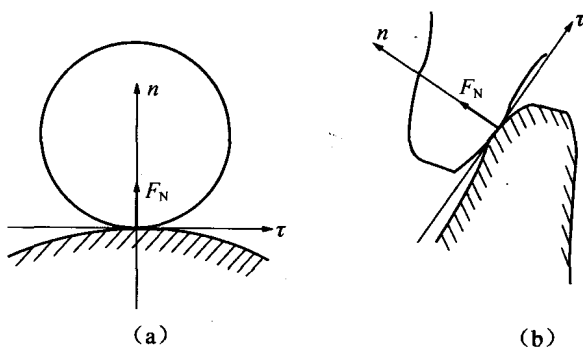


图 1.9

桥梁、屋架结构中采用的辊轴支承也是一种光滑面约束，见图 1.10(a)。采用这种支承结构，主要是考虑由于温度的改变，桥梁长度会有一定量的伸长或缩短，为使这种伸缩自由，辊轴可以沿伸缩方向前后作微小滚动。当不考虑辊轴与接触面之间的摩擦时，辊轴支承实际上也是光滑面约束。其简图和约束力方向如图 1.10(b)或(c)所示。

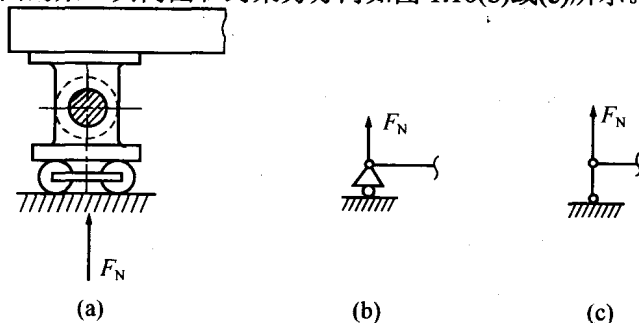


图 1.10

需要指出的是,某些工程结构中的辊轴支承,既限制被约束物体向下运动,也限制向上运动。因此,约束力  $F_N$  垂直于接触面,可能背向接触面,也可能指向接触面。

## 2) 光滑圆柱铰链

光滑圆柱铰链又称为柱铰,或者简称为铰链,若约束物体为固定支座,则又称这种约束为固定铰支座。其结构简图如图 1.11(a)所示:约束与被约束物体通过销钉连成一体。这种连接方式的特点是限制了被约束物体只能绕销钉轴线转动,而不能有移动。

若将销钉与被约束物体视为一整体,则其与约束物体(固定支座)之间为线(销钉圆柱体的母线)接触,在平面图形上则为一·点。

接触线(或点)的位置随荷载的方向而改变,因此在光滑接触的情形下,这种约束的约束力通过圆孔中心,但其大小和方向均不确定,通常用分量表示。在平面问题中这些分量分别为  $F_x$ 、 $F_y$ 。即  $F_R=(F_x, F_y)$ 。

这种约束的力学符号如图 1.11(b)或(c)所示。

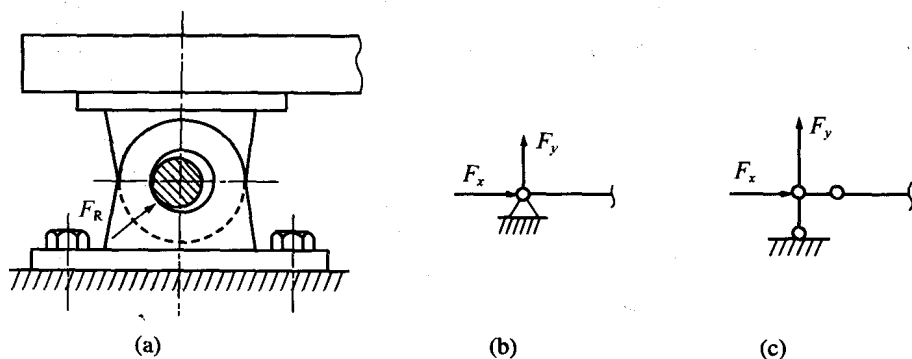


图 1.11

支承传动轴的向心轴承,见图 1.12(a),也是一种固定铰支座约束,其力学符号如图 1.12(b)所示。

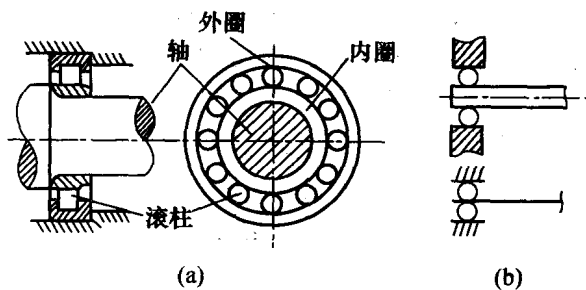


图 1.12

实际工程结构中,铰链约束除了上述约束物体为固定支座外,还有两个构件通过铰链连接,称为活动铰链,其实际结构简图如图 1.13(a)所示。这时两个相连的构件互为约束与被约束物体,其约束力与固定铰支座相似,如图 1.13(b)所示。图 1.13(c)所示为这种铰链的力学符号。

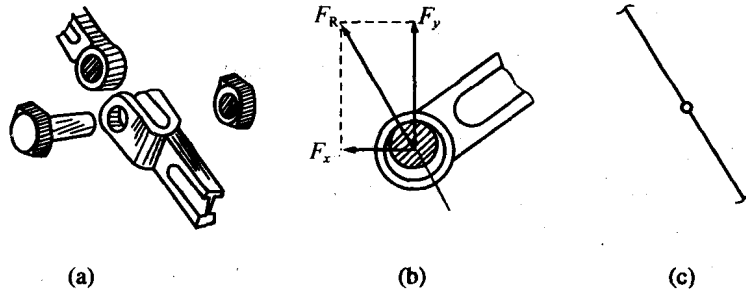


图 1.13

3) 球形铰链

球形铰链简称球铰。与一般铰链相似但也有固定球铰与活动球铰之分。其结构简图如图 1.14(a)所示，被约束物体上的球头与约束物体上的球窝连接。这种约束的特点是被约束物体只绕球心作空间转动，而不能有空间任意方向的移动。因此，球铰的约束力为空间力，一般用三个分量表示，见图 1.14(b):  $F_R=(F_x, F_y, F_z)$ 。其力学符号如图 1.14(c)所示。

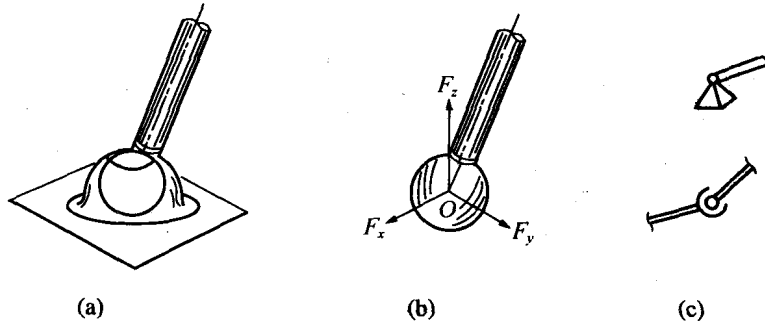


图 1.14

4) 止推轴承

图 1.15(a)中所示的止推轴承，除了与向心轴承一样具有作用线不定的径向约束力外，由于限制了轴的轴向运动，因而还有沿轴线方向的约束力，如图 1.15(b)所示。其力学符号如图 1.15(c)所示。

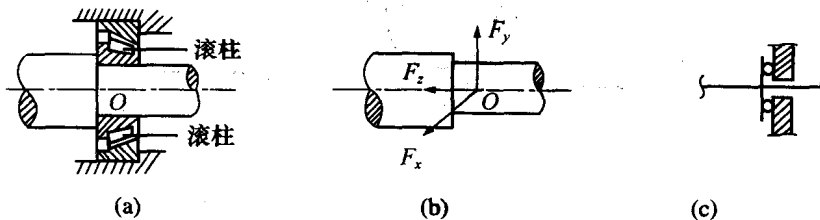


图 1.15

## 1.4 物体的受力和受力图

无论研究静力学问题，还是动力学问题，一般都需要分析物体受到哪些力的作用，即



对物体进行受力分析。

工程上遇到的物体几乎全是非自由体，它们同周围物体相联系。为了能清晰地表示物体的受力情况，往往把所要研究的物体(称为研究对象)，从与它相联系的周围物体中分离出来，单独画出(即解除约束)，这个被取出来的物体就叫分离体。

在分离体上画出它所受的全部力(包括主动力及周围物体对它的约束力)，称为受力图。下面举例说明受力图的画法。注意：凡图中未画出重力的就是不计自重；凡不提及摩擦时，则接触面视为光滑的。

**【例 1.1】** 分析图 1.16 所示球及杆的约束力。

**解：**图 1.16(a)、(b)所示球、杆均为单个刚体，可在原图上画受力图。在图(a)中，圆球除受主动力  $P$  外，在  $A$ 、 $B$  两点还受到约束，均属光滑接触，故约束力  $F_{NA}$ 、 $F_{NB}$  应分别过接触点沿接触面的公法线方向，指向圆心(压力)，如图 1.16(a)所示。

在图(b)中，杆  $AB$  除在  $A$ 、 $B$  两点受到约束外，还受绳索约束，绳索对杆的约束力，只能沿绳索的方向，且为拉力  $F$ 。  $A$ 、 $B$  处为光滑接触，反力如图(b)中  $F_{NA}$ 、 $F_{NB}$  所示。

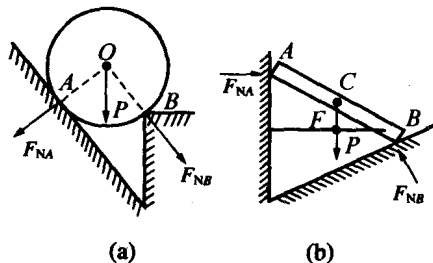


图 1.16

**【例 1.2】** 如图 1.17(a)所示棘轮机构，试画出棘轮、棘爪  $AB$ 、重物及机构整体的受力图。

**解：**分别取棘爪  $AB$ 、物块、棘轮为分离体，并单独画出其简图。

(1) 棘爪。只在  $A$ 、 $B$  两点受到约束。仅在两点受力而平衡的构件，称为二力构件或二力杆。根据二力平衡公理，约束力必沿  $A$ 、 $B$  两点连线。设为压力，如图 1.17(b)中  $F_A$ 、 $F_B$  所示。

(2) 重物。受重力  $P$  及绳子拉力  $F$  作用。

(3) 棘轮。除受到绳子的约束外，还在  $B$  处及  $O$  铰处受到约束。依作用与反作用公理， $F = -F'$ ， $F_B = -F'_B$ ， $O$  铰处的约束力，可用二正交分力  $X_O$ 、 $Y_O$  表示。

(4) 棘轮机构整体。 $B$  处所受为内力(系统内部物体间的相互作用力)即  $F_B = -F'_B$ ，内力对系统的作用效果相互抵消，不影响整个机构的平衡，因此可以除去，故受力图上不画内力。在受力图上只需画出系统所受外力(系统以外物体给系统的作用力)，这里  $P$ 、 $F_A$ 、 $X_O$ 、 $Y_O$  都是作用于整个系统的外力。各构件及整体受力图如图 1.17(a)、(b)所示。

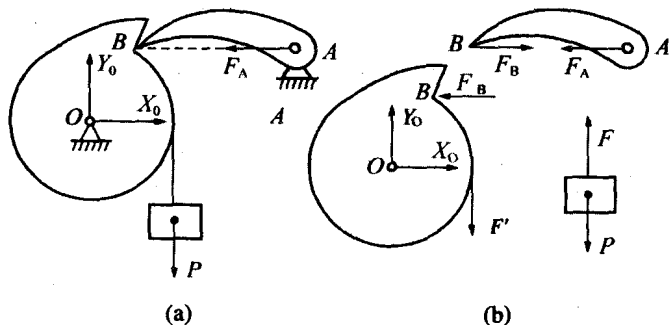


图 1.17