

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

理论力学教程

杨静宁 赵晓军 赵永刚 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

理论力学教程

杨静宁 赵晓军 赵永刚 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

理论力学教程/杨静宁,赵晓军,赵永刚主编. —武汉:武汉大学出版社,
2011.8

21 世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

ISBN 978-7-307-09034-7

I. 理… II. ①杨… ②赵… ③赵… III. 理论力学—高等学校—教材 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 153128 号

责任编辑:胡 艳 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:485 千字 插页:1

版次:2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-09034-7/O·454 定价:35.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前言

多年来,编者一直希望编写一套适合独立学院教学的力学系列教材,把长期积累的教学经验和体会反映出来,希望对独立学院力学课程的教学有所帮助。

本教材依据教育部《高等学校工科本科理论力学课程教学基本要求》及培养应用型人才的教学需要,结合独立学院培养目标,由长期在独立学院工作的具有丰富教学实践经验的教师编写而成。本教材的指导思想是教材架构、教材内容、例题难度、习题难度等符合应用型院校教学要求,培养工程师以及新技术开发人员。因此,本套教材形成了自己的特色,与现有的研究型、研究教学型院校使用的教材有一定的区别。

在基础理论知识上,以够用为度,以基本理论为主,不过多地强调理论推导,主张掌握基本原理,并辅之相应的例题、习题,以加深学生的理解,使学生掌握基本的方法。

本教材结合工程实际的应用,注重与同类教材的区别,着重于学生实际能力的培养,突出理论与实践相结合,培养学生综合运用所学知识分析与解决实际问题的能力以及创新精神。

本教材由杨静宁负责全书的结构设计、组织编写工作和最后统稿。具体参编人员包括李清禄(第1章~第5章)、杨静宁(绪论、第6章~第9章)、赵永刚(第10章~第13章)、雷芳明(第4章~第7章习题)、赵晓军(第1章~第3章习题)和黄玉玲(第8章~第13章习题)。教材中的科学家简介由雷芳明搜集整理。

本教材是21世纪独立学院应用型创新人才培养工科力学系列教材之一,在编写和出版过程中得到了兰州理工大学技术工程学院以及武汉大学出版社的支持,在此一并表示感谢。

本教材在编写过程中,参考了国内外一些优秀教材,并选用了其中的部分例题和习题,在此谨向这些教材的编著者深表感谢。

本书可作为普通高等院校工科类少学时专业教材,也可供有关工程技术人员作为自学用书。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请同仁和读者批评指正。

编者

2011年5月



目 录

绪论	1
----	---

第一篇 静力学

引言	5
第 1 章 静力学的基本概念和物体的受力分析	6
1.1 静力学基本概念	6
1.2 静力学公理	7
1.3 常见的约束类型及其约束力	9
1.4 物体的受力分析和受力图	13
习题	17
第 2 章 平面汇交力系和平面力偶系	20
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	20
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	22
2.3 平面力对点之矩	26
2.4 平面力偶系	28
习题	33
第 3 章 平面任意力系	37
3.1 平面任意力系向一点的简化	37
3.2 平面任意力系的平衡条件 平衡方程	42
3.3 物体系统的平衡	46
习题	51
第 4 章 空间力系	55
4.1 力在直角坐标轴上的投影	55
4.2 力对点的矩和力对轴的矩	57
4.3 空间力系的平衡方程	61
习题	63
第 5 章 摩擦	66
5.1 滑动摩擦的性质 滑动摩擦定律	66
5.2 摩擦角和自锁现象	68
5.3 考虑摩擦时物体的平衡	69
*5.4 滚动摩擦阻的概念	72
习题	74

第二篇 运动学

引言	79
第6章 点的运动学	80
6.1 点的运动方程、速度和加速度	80
6.2 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	83
6.3 点的速度和加速度在自然轴上的投影	88
习题	94
第7章 刚体的基本运动	96
7.1 刚体的平行移动	96
7.2 刚体绕定轴的转动	97
7.3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	98
7.4 定轴轮系的传动比	100
习题	105
第8章 点的合成运动	108
8.1 点的合成运动的概念	108
8.2 点的速度合成定理	110
8.3 牵连运动为平移时点的加速度合成定理	114
*8.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理 科氏加速度	118
习题	124
第9章 刚体的平面运动	128
9.1 刚体的平面运动方程	128
9.2 平面图形内各点的速度	130
9.3 平面图形内各点的加速度分析	141
9.4 运动学综合应用举例	146
习题	153

第三篇 动力学

引言	161
第10章 质点动力学基础	162
10.1 动力学基本定律	162
10.2 质点的运动微分方程	163
10.3 两类动力学基本问题	164
习题	168
第11章 动量定理	172
11.1 动量与冲量	172
11.2 动量定理	174
11.3 质心运动定理	177
习题	181

第12章 动量矩定理	185
12.1 质点和质点系的动量矩	185
12.2 动量矩定理	187
12.3 刚体绕定轴转动的微分方程	192
12.4 刚体对轴的转动惯量	194
12.5 质点系相对于质心的动量矩定理	201
12.6 刚体的平面运动微分方程	204
习题.....	207
第13章 动能定理	213
13.1 力的功	213
13.2 质点和质点系的动能	219
13.3 动能定理	221
13.4 功率 功率方程	224
13.5 动力学普遍定理的综合应用	227
习题.....	233
习题答案	242
参考文献	252



绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。所谓机械运动,是指物体在空间位置随时间的变化。例如天体的运行,车辆、船只的行驶,各种机器的运转,空气、河水的流动等。平衡是机械运动的特殊情况,也包括在理论力学研究的内容之中。对各种不同形态的机械运动的研究,产生了不同的力学分支学科。其中,理论力学是各门力学学科的基础,也是各门与机械运动密切联系的工程技术学科的基础。

现代哲学指出,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中所发生的一切变化与过程。因此,物质的运动形式是多种多样的。除机械运动外,物理中的发热、发光和电磁现象,化学中的化合与分解以及人的思维活动等,都是物质的运动形式。在多种多样的运动形式中,机械运动是自然界和工程中最常见、最简单的一种。而在更为高级和复杂的运动中,往往也会伴随着机械运动。所以,理论力学的概念、规律和方法在一定程度上也被应用于自然科学的其他领域中,对它们的发展起到了积极的作用。

理论力学所研究的内容以伽利略和牛顿所总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。随着近代物理的发展,发现许多力学现象不能用古典力学的定律加以解释,因而,在 20 世纪初,就产生和发展了以研究高速物体运动规律的相对力学和研究微观粒子运动规律的量子力学。在这些新的研究领域,古典力学已不再适用,这说明古典力学是有局限性的。但对于研究远小于光速($3 \times 10^5 \text{ km/s}$) 的宏观物体的运动,特别是一般工程中的力学问题,古典力学是足够准确的,即使在一些尖端科学技术(如火箭、宇宙航空等) 领域的研究中,所考察的物体都是宏观物体,其运动速度也都远小于光速,所以也仍然可采用古典力学的原理去解决有关力学问题。同时,在古典力学基础上诞生的各种近代力学也正在迅速发展。因此,无论是在现代科学技术的研究中,还是在大量的工程实际问题中,理论力学作为一门基础学科,都具有非常重要的作用,并显现出勃勃生机。

为了便于研究,理论力学通常分为以下三部分:

静力学——研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学——从几何的角度研究物体的运动(如轨迹、速度和加速度等),而不考虑引起物体运动的原因。

动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

二、理论力学的研究方法

理论力学研究的问题都是工程或生活实际中的问题。观察与实践是理论力学发展的基础,抽象化和数学演绎这两种方法是形成理论力学的概念和理论系统的主要方法。通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的规律。然后再回到实践中验证理论的正确性,并在更高的水平上指导实践,同时从这个过程中获得新的材料、新的认识,再进一步完善和发展理论力学。



理论力学有着严密的逻辑系统,它与数学的关系非常密切,数学不仅是推理的工具,同时还是计算的工具。力学现象之间的关系总是通过数量表示的。因此,计算技术在力学的应用和发展上有巨大的作用。现代电子计算机的出现,为计算技术在工程技术问题中的应用开辟了广阔的前景,大大促进了数学在力学中的应用。处理力学问题的一般途径是:先将所研究的问题抽象为力学模型,这些模型既要能反映问题的矛盾主体,又要便于求解;再按力学的基本原理和各力学量间的数学关系建立方程;然后运用一定的数学工具求解;最后根据具体问题,对数学解进行分析讨论,甚至确定取舍。其中,建立力学模型的抽象化过程是很重要的一步,它包含对所研究的问题和对象的认真周密的观察和了解,确定问题的要点,忽略问题的次要因素,用一理想的模型来反映客观事物的本质。当然,力学模型的建立也并非绝对的。同一事物、同一问题,由于在不同情况下着重反映它本质的不同方面,因而也就可能建立起不同的力学模型。

三、理论力学课程的任务

理论力学和现代工程技术有着极为广泛的联系,现代生产和科学技术的飞速发展对力学提出了更多、更高的要求。例如,人造卫星的发射和航天飞机的研制,就涉及火箭的轨道计算和制导以及卫星姿态控制等问题。随着工业生产过程自动化的发展,机器人的研发,要求在控制理论和多刚体系统设计理论方面有相应的发展等,这些问题的研究都涉及理论力学的基本概念。随着现代科学技术的进一步发展,力学理论已渗透到其他科学领域,形成了大批新的力学分支学科,因此,理论力学不仅是一门基础科学,也是现代工程技术的重要理论基础之一。我们必须掌握这些基础理论,才有可能去研究不断出现的新理论和新技术。

理论力学将阐述质点、质点系、刚体和刚体系统运动的基本规律。这些理论知识为学习一系列后继课程,如材料力学、结构力学、机械原理、机械零件、振动力学、流体力学和弹塑性力学等专业课程提供了理论基础。因此,理论力学是普通高等工科院校的一门重要的学科基础课。

此外,理论力学的分析和研究方法在科学研究中具有一定的代表性,有助于培养学生的辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力,使在学习理论力学课程的过程中,了解和掌握机械运动的基本规律和研究方法,逐步发展形成科学的逻辑思维能力、对实际问题进行抽象简化和理论分析的能力,为今后进一步的学习活动和研究工作奠定基础。

四、理论力学的学习目的

既然机械运动是自然界和工程中最常见的一种运动,那么也就不难理解理论力学对现代自然科学和工程技术起着何等重要的作用。我们掌握了物体机械运动的规律,就可以解决在工程上所遇到的有关问题。当然,有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,而有些则需要用理论力学和其他专门知识来共同解决。因此,学习理论力学是为解决工程问题打下一定的基础。

由于理论力学是现代工程技术的基础,所以它是工科院校各专业的教学计划中的一门重要的技术基础课,它为学习一系列后续课程打下基础。另外,随着现代科学技术的发展,力学与其他学科相互渗透,形成了许多边缘学科,它们也都是以理论力学为基础的。可见,学习理论力学,也有助于学习其他的基础理论,掌握新的科学技术。

此外,理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性,有助于培养学生对工程实际问题抽象、简化和正确进行分析的能力;有助于培养学生的辩证唯物主义世界观,树立正确的思想方法,并能自觉地运用科学规律来改造自然,提高分析问题和解决问题的能力,为以后参加生产实践和从事科学研究打下良好的基础。

第一篇 静力学





引 言

一、几个基本概念

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体发生运动状态变化和形状变化。前者称为力的运动效应或力的外效应,后者称为力的变形效应或力的内效应。理论力学主要研究力的运动效应。力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个要素,故力应以矢量表示,本书中用黑斜体字母 F 表示力矢量,而用一般斜体字母 F 表示力的大小。

力系是指作用在物体上的若干个力。工程中常见的力系,按其作用线所在的位置,可以分为平面力系和空间力系;又可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动。它是机械运动的特殊形式。平衡是相对的,在工程实际中,通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系来研究物体相对于地球的平衡问题,其分析计算的结构具有足够的精确度,也能较好地与实际情况相吻合。

在静力学中所指的物体都是刚体。所谓刚体,是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的模型。事实上,任何物体受力后或多或少都会发生变形,并不存在绝对的刚体。但是,对那些在运动中变形极小,或虽有变形但其整体运动影响较小的物体,忽略其变形,对问题的研究结果不仅没有显著的影响,而且可以使问题得以简化,这时,该物体可抽象为刚体。将物体抽象为刚体是有条件的,这与所研究的问题的性质有关,当物体的变形成为所研究问题的主要方面而不能忽略时,则不能抽象为刚体,而应按变形体处理。

二、静力学研究的三类问题

1. 物体的受力分析

分析物体或物体系共受几个力,以及每个力的作用位置和方向。

2. 力系的等效替换或简化

作用于物体上的力系可以用另一个与它作用效果相同的力系来代替,这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。如果一个力系与一个力等效,则此力系成为力系的合力,而该力系中的各个力成为此力系的分力。

3. 力系的平衡条件及其应用

研究物体处于平衡时,作用于物体上的力系所应满足的条件即为力系的平衡条件。

物体的受力分析是解决力系问题的关键,研究力系等效替换是为了便于了解力系对物体作用的总效应,并为导出各种力系的平衡条件做准备,也为动力学奠定了基础。利用平衡条件求解物体或物体系的平衡问题,则是静力学的核心问题。

静力学在工程实际中有着广泛的应用,利用平衡条件求解平衡问题所得的结果是设计结构、构件和机械零件的静力计算的依据。静力学中物体的受力分析方法和力系的简化理论也将直接应用于动力学中。

第1章 静力学的基本概念和物体的受力分析

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章介绍刚体与力的概念及静力学公理,并阐述工程中常见的约束和约束反力的分析;最后介绍物体的受力分析及受力图,它是解决力学问题的重要环节。

1.1 静力学基本概念

力和刚体是静力学中两个重要的基本概念。这里将介绍这两个基本概念的含义,说明它们反映了客观事物的何种本质特征,是概括了客观事物的哪些共性而抽象化形成的。

1.1.1 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态和物体的形状发生变化。物体间相互作用力的形式多种多样,归纳起来,可分为两大类:一类是物体间的直接接触作用产生的作用力,如压力、摩擦力等;另一类是通过场的作用产生的作用力,如万有引力、电磁场对物体作用的电磁力。

力是物体间的相互作用。有一个力,就必然有一个施力物体和一个受力物体,离开物体间的作用是不能进行受力分析的。

实践证明,力对物体的作用效果取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。其中任何一个要素发生变化,力的作用效果也随之发生变化。因此,力是矢量。我们用一个矢量表示力的三要素,如图 1-1 所示。

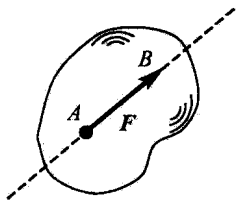


图 1-1

力是具有大小和方向的量,作用在物体上的力需要用矢量来表示。矢量的起点 A 表示力的作用点;矢量的长度 AB 按选定的比例尺表示力的大小;矢量的方向表示力作用的方向。

在国际单位制中,力的单位是牛[顿](N) 或千牛[顿](kN)。

在本书中,凡是矢量都用黑斜体字母表示,如力 F ;而这个矢量的大小则用一般斜体的同一字母表示,如 F 。

1.1.2 力系

力系是指作用在物体上的一群力。力的作用线在同一平面内,该力系称为平面力系;力作用线为空间分布,该力系称为空间力系;力的作用线汇交于同一点,该力系称为平面汇交力系或空间汇交力系;力的作用线相互平行,该力系称为平面平行力系或空间平行力系;力的作用线既不平行又不相交,该力系称为平面任意力系或空间任意力系。力系作用于物体上而不改变物体的运动状态,称该力系为平衡力系。如果两个力系分别作用于同一个物体上其效应相同,则这两个力系称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则称这个力是这个力系的合力,而该



力系中的每一个力是这个合力的分力。对一个比较复杂的力系,求与它等效的简单力系的过程称为力系的简化。

1.1.3 刚体的概念

任何物体受力作用时都要发生变形,即便变形极其微小,也能用各种测试手段证明变形的存在。但是,在研究物体机械运动规律时,如果物体受力作用所引起的变形很小,对所研究的问题影响甚微;或者物体的变形已经结束,不再继续发生,且已发生的变形与所研究的问题无关,则为使物体得到简化,可以略去物体变形这一次要因素,把所研究的物体看成是不变形的物体——刚体。刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。

1.1.4 二力杆

不考虑自重,只在两个铰链处受力而处于平衡的构件称为二力杆。

由二力平衡的条件可知,当铰杆处于平衡状态时,其上所受的两个力必定是大小相等、方向相反地作用在链杆两个铰链中心的连线上。按作用与反作用定律,链杆对物体的约束反力也必定作用在链杆两铰链中心的连线上。反力的大小和指定待定。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在实践中总结出的关于力的一些基本规律,这些规律又在实践中得到验证,而被人们所公认。静力学公理反映的规律是极其简单的,但是,它是建立静力学理论的基础。

公理一 二力平衡的条件

物体受到两个力作用而处于平衡状态,此二力必须满足的条件是:作用在同一条直线上,且大小相等、方向相反。

由两个力所组成的力系是最简单的力系。公理一给出了这种最简单力系的平衡条件。由图 1-2 所示,这两个矢量的关系为

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

此公理揭示了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。

公理二 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-3(a) 所示;或者说,合力矢等于这两个力矢的矢量和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

为简便起见,求合力的大小和方向时,也可以用力的平行四边形的一半来表示合成的过程。即由任意一点 a 起,作一力三角形,如图 1-2(b) 或(c) 所示,力三角形的两个边分别为 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$,第三边 $\mathbf{F}_R$ 即代表合力矢量,这种求合力的方法称为力的三角形法则。应注意,力三角形只表示力的大小和方向,而不表示力的作用点或作用线,合力作用点仍在原来的汇交点 A 。

力的平行四边形法则与力的三角形法则表明了最简单力系简化的规律,是复杂力系简化的依据。

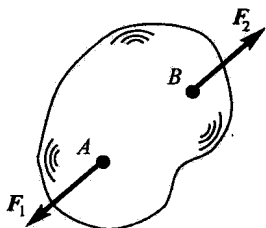


图 1-2

有效地予以利用，不产生无用而又污染环境的废渣，馏分油几乎没有损耗。

溶剂精制的主要缺点是溶剂萃取不能彻底除掉所有馏分油中的不良组分，去除率仅为杂质（芳香烃、极性物质、含硫及含氮化合物）的50%~80%。

溶剂精制的基础油一般称为Ⅰ类基础油，其饱和烃含量小于90%（芳香烃含量大于10%），硫含量低于300 $\mu\text{g/g}$ 。

3. 白土精制

白土精制是利用吸附材料的物理吸附性能，除去液体中的少量极性杂质。在油品加工过程中，常使用漂白土作为吸附剂。由于该工艺一般不独立使用，而常在酸碱精制和溶剂精制后，用来去除油品中残留的胶质和沥青组分，故又称为白土补充精制。

白土精制的优点是可以明显地改善油品的颜色、气味，提高油品的氧化安定性；其缺点是吸附剂选择性差，产生大量污染环境的废渣，且油品的损耗大。

为了尽可能地减少油品损耗及工业废渣，该工艺一般只作为润滑油精制加工的最后一道工序，以降低白土的用量和馏分油的损耗。

4. 加氢技术

加氢技术主要有三种：加氢精制、加氢处理和加氢裂化。

（1）加氢精制。加氢精制是指在保持原料油分子骨架结构不发生变化或变化很小的情况下将杂质脱除，以达到改善油品质量为目的的加氢反应，即“在有催化剂和氢气存在下，将石油馏分中含有硫、氮、氧及金属的非烃类组分加氢脱除以及烯烃、芳烃发生加氢饱和反应”。

该工艺主要用于去除非烃类化合物，使含有硫、氮、氧等的非烃化合物通过加氢反应生成硫化氢、氨、水等气体从油中分离出来，从而使油品的颜色变浅，安定性提高，产品质量提高。

加氢精制与白土精制相似，常作为润滑油加工的最后一道工序，但产品收率比白土精制收率高，没有白土供应和废白土处理等问题，是取代白土精制的一种较好的方法。

（2）加氢处理。加氢处理是介于加氢裂化和加氢精制之间的一种工艺，是指在比加氢精制苛刻一些的条件下，除了加氢精制的各种反应以外，还有多种加氢裂化反应，使大部分或全部非理想组分经过加氢变为环烷烃或烷烃，并转化为理想组分。例如，多环烃类加氢开环，形成少环长侧链的烃。因此，加氢处理生成油的黏温性能较好。

该工艺不仅能改善油品的颜色、安定性和气味，而且可以提高黏温性能，可以代替溶剂精制-白土精制联合处理工艺，具有一举两得的作用。

（3）加氢裂化。加氢裂化是指通过催化加氢反应，使原料油中10%及以上的分子变小的一些加氢过程，包括馏分油加氢改质、渣油加氢改质、减压瓦斯油加氢改质生产润滑基础油料和其他加氢工艺（催化脱蜡和异构脱蜡）等。根据压力的高低可分为三类：常规（高压）加氢裂化、缓和加氢裂化和中压加氢改质。

加氢裂化可改善原料油中的分子组成，去除大部分硫、氮和芳香烃化合物；使部分芳香烃通过加氢开环，形成烷烃；大分子正构烷烃被裂化，变成小分子烷烃或异构烷烃。该工艺操作灵活，可按产品需求调整，但不属于润滑油精制的工序。加氢裂化的尾油可以作为精制润滑油的原料。例如，加氢裂化尾油经溶剂脱蜡-加氢精制工艺可得到

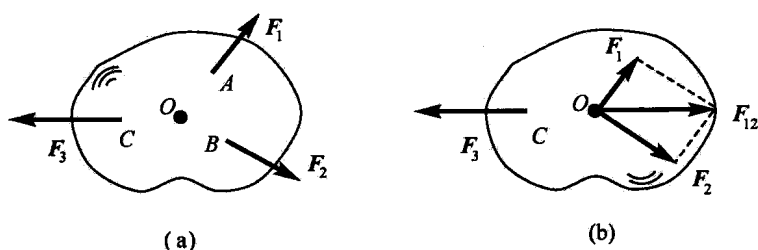


图 1-5

两个相互作用的物体上。若用 F 表示作用力,用 F' 表示反作用力,则

$$F = F'$$

这一公理概括了物体间相互作用力的关系,表明作用力和反作用力总是成对出现的。由于作用力和反作用力分别作用在两个物体上,不能视为平衡力系。这是物体受力分析必须遵循的原则。

公理五 刚化原理

变形体在某一力作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体抽象成刚体模型的条件。绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化为刚体,则平衡状态保持不变。而若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下不能平衡,则这时绳索就不能刚化为刚体。刚体在上述两种力系作用下是平衡的。

由此可见,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件,在刚体静力学的基础上,考虑变形体的特征,可进一步研究变形体的平衡问题。

1.3 常见的约束类型及其约束力

1.3.1 约束

在力学中,物体可以分为两类。一类称为自由体,它们在空间的位移不受任何限制,例如空中飞行的飞机、炮弹和火箭等。另一类称为非自由体,它们在空间的位移受到一定的限制,例如绳索悬挂的重物受绳索的限制而不能发生向下的移动;门、窗只能绕合页转动。工程实际中的构件或机械零件都是非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。约束是以物体相互接触的方式构成的。例如,绳子是电灯的约束;合页是门、窗的约束。

约束对于物体的作用,实际上就是力,这种力成为约束力。除约束力以外,作用于物体上的重力、水压力、土压力、风力、电磁力等,这些力一般是给定的,不取决于物体上其他的力,称为主动力。

通常约束力是未知的,约束力的大小和方向不能预先确定,只能由约束的性质和主动力状况来决定,因此,确定约束力就成为力学分析的重要任务之一。确定约束力方向的准则是约束力的方向总是与该约束所能阻碍的位移方向相反。应用这个准则,可以确定约束力的方向或作用线的位置。至于约束力的大小,在静力学问题中,约束力和物体受到的其他主动力组成平衡力系,因此,可用平衡条件求出约束力。



1.3.2 工程中常见的约束类型

下面介绍工程中常见的几种约束的实例、简化记号及对应的约束力的表示方法。

1. 柔索

柔索约束由软绳、链条或胶带等构成。如图 1-6(a) 所示, 绳索 AB 一端固定于天棚, 而另一端悬挂一重物, 由于软绳索只能受拉力, 如图 1-6(b) 所示, 即只能限制物体在柔索受拉方向的移动, 而不能阻止其他方向的运动, 所以绳索给物体的约束反力也只能是拉力, 如图 1-6(c) 所示。

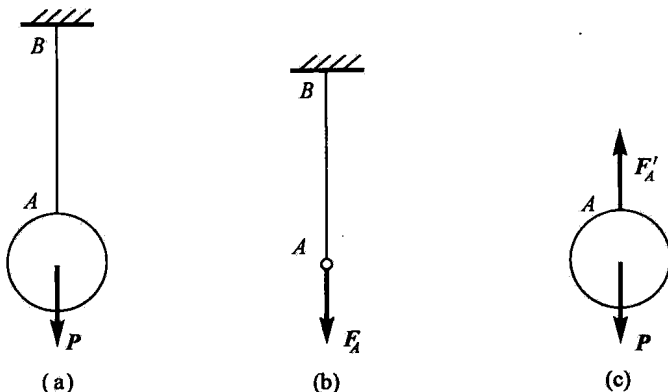


图 1-6

结论: 柔索的约束反力通过接触点, 沿着柔索而背离物体。

2. 光滑接触面约束

光滑接触面约束是将接触面视为理想光滑的约束。此时, 不论接触面是平面或曲面, 都不能限制物体沿约束表面切线方向的位移, 而只能限制物体沿着接触表面法线方向并向约束内部的位移。因此, 光滑接触面对物体的约束力通过接触点, 方向沿接触表面的公法线, 并指向被约束的物体, 这种约束力称为法向约束力, 通常用 F_N 表示。如图 1-7 所示支持物体的固定面、啮合齿轮的齿面都可视为光滑接触面, 它们的约束力分别为 F_{NA} 和 F_{NB} 。

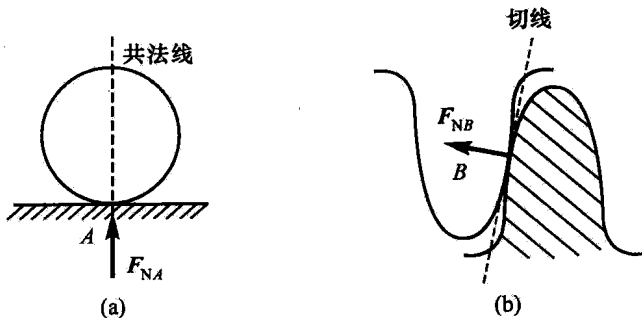


图 1-7