

中等专业学校教材



理论力学

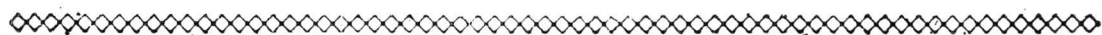
静力学

第二版

黄河水利学校 王棋 主编



中等专业学校教材



理 论 力 学

静 力 学

(第二版)

黄河水利学校 王棋 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共分七章,内容包括:静力学的基本概念和公理、平面汇交力系、力矩和平面力偶理论、平面一般力系、摩擦、空间力系、重心,书中列有较多的例题和大量思考题及习题,并附有习题答案。

本书是中等专业学校水利电力类水利工程、农田水利、水利工程管理等专业的通用教材,也可作为同类专业业余教育和自学用书。

中等专业学校教材

理论力学(静力学)

(第二版)

黄河水利学校 王 棋 主编

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

河北三河市艺苑印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 9.25印张 205千字

1984年11月第一版 1991年9月第二版 2000年8月河北第十次印刷

印数 97271—107270册

ISBN 7-80124-270-X/TV·139

(原 ISBN 7-120-01326-2/TV·467)

定价 9.30 元

第 二 版 前 言

本书是根据水利部科教司“1990~1995 年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划”，按照“普通中等专业学校水利水电工程建筑专业《理论力学》（静力学）教学大纲”编写的。主要适用于水利水电类中等专业学校水利水电工程建筑、水利工程、农田水利工程、水利工程管理等专业的教学用书，也可以作为同类专业业余教育和自学用书。

本书是按精选内容，加强应用的原则编写的。在以下两个方面进行了尝试：一、在精选内容时，既不受传统理论体系的严密性与完整性的束缚，又要保持理论逻辑的连贯与循序渐进的关系；二、在处理理论和应用的关系时，除加强基本概念、基本理论的阐述外，还着重加强了方法性内容的阐述。具体做法是，不过份追求数学推导的严密性，增加了例题、习题的数量。力求达到培养中级应用型人才的分析问题和解决问题的能力。

为便于复习和自学，每章末有小结，且附有较多的思考题和习题，习题都有答案。本书在叙述上力求通俗易懂，列举了较多的例题，以帮助读者弄清概念，掌握理论。

本书由黄河水利学校王棋拟订全书的编写提纲，广泛征求了兄弟学校的意见，并经课程组、编者共同讨论后，开始编写的。王棋编写绪论、第一、二、三、四章，中国人民武装警察部队水电学校戴超然编写第五、六、七章。全书由王棋统稿。本书由东北水利水电专科学校刘恩济主审。

本书在编写过程中得到许多同志和兄弟学校同行的支持和帮助，特别是刘恩济、陈家骥等同志，对本书提出了许多宝贵的修改意见，编者在此表示衷心感谢。由于编者水平所限，书中一定有不少缺点和错误。恳请读者和同行提出宝贵意见。

编 者

1989 年 12 月于开封

第一版前言

本教材系根据水利电力部教育司“1983～1987年中等专业学校水利电力类专业教材编审出版规划”，按照“中等专业学校水利水电工程建筑专业《理论力学》教学大纲”（1982年11月）编写的。

为了正确贯彻党的教育方针，努力提高教学质量，本教材在编写中，在保持课程的系统性前提下，力求理论联系实际（特别是联系水利水电工程的实际），加强基本理论、基本方法的阐述，做到重点分析透彻，难点阐述清楚，解题步骤详明。

本教材主要适用于水利水电类中等专业学校水利工程建筑、农田水利工程、工程地质及水文地质等专业。作适当增删后，也可适用于其他专业。书中带有“※”号的部分系选学内容。

为便于读者复习和自学，各章之后均附有小结、思考题和习题，以帮助读者总结收获、澄清概念和加强基本训练。书末还附有各章习题的答案，以便读者自我检查。

本教材在编写前，系由北京水利水电学校王燮山拟订全书的编写提纲，在广泛征求意见的基础上，经过编者共同讨论之后，才正式开始编写。

本教材由王燮山、唐秀峰主编。具体分工如下：绪论、静力学部分（第一章至第七章），由王燮山执笔；运动学部分（第八章至第十一章）及动力学部分的第十五章至第十七章，由辽宁省水利学校唐秀峰执笔；第十二章至第十四章，由山东省水利学校侯国华执笔；全书由王燮山统稿。本教材由北京水利水电学校潘荣华主审。

本教材在编写过程中，承北京水利水电学校领导同志支持，有关兄弟院校提供了许多宝贵意见和帮助，谨在此一并表示谢意。

由于编者水平所限，诚恳地盼望广大师生和读者提出宝贵意见，以便再版时改正。

编者
1983年6月

目 录

第二版前言	
第一版前言	
绪 论	1
第一章 静力学的基本概念和公理	3
第一节 力的概念	3
第二节 静力学公理	4
第三节 约束与约束反力	9
第四节 物体的受力分析·受力图	14
小 结	18
思考题	18
习 题	21
第二章 平面汇交力系	23
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	23
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	29
小 结	38
思考题	38
习 题	39
第三章 力矩·平面力偶理论	45
第一节 力矩的概念·合力矩定理	45
第二节 力偶及其性质	49
第三节 平面力偶系的合成与平衡	52
小 结	55
思考题	56
习 题	57
第四章 平面一般力系	60
第一节 力的平移定理	60
第二节 平面一般力系向一点简化	63
第三节 简化结果分析·合力矩定理	65
第四节 平面一般力系的平衡条件及平衡方程	68
第五节 平面平行力系的平衡方程	75
第六节 物体系统的平衡·静定与超静定问题的概念	78
小 结	88
思考题	89
习 题	90
第五章 摩擦	97

第一节	滑动摩擦	97
第二节	考虑滑动摩擦时的平衡问题	100
第三节	滚动摩擦的概念	106
小 结		108
思考题		109
习 题		110
第六章	空间力系	113
第一节	空间力系概述	113
第二节	力在空间直角坐标轴上的投影	114
第三节	力对轴之矩	116
第四节	空间力系的平衡方程	119
小 结		126
思考题		126
习 题		127
第七章	重心与形心	131
第一节	物体的重心与形心	131
第二节	平面图形形心位置的求法	133
第三节	分布荷载简介	136
小 结		140
思考题		140
习 题		140

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学科。

所谓**机械运动**，是指物体在空间的位置随时间的变化。由物理学知道，世界是物质的，运动是物质存在的固有属性。物质的运动形式是多种多样和复杂的，它包括了宇宙中发生的一切变化和过程。机械运动则是物质运动的最简单、最初级的一种形式，如人的行走、车辆的行驰、飞行器的飞行、机器的运转、河水的流动……等等，都是机械运动。

机械运动既包含物体的显著运动状态，也包含物体相对于其它物体的静止(或平衡)。所谓**物体的平衡**，一般是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。平衡是机械运动的特殊情形，所以理论力学也研究物体的平衡规律。

理论力学的内容包括以下三部分：

静力学——研究物体在力作用下的平衡规律；

运动学——研究物体运动的几何性质，不涉及引起物体运动改变的原因；

动力学——研究物体的运动与其所受力之间的关系。

理论力学的内容属于古典力学的范畴。之所以称为古典力学，是为了区别于20世纪初发展起来的近代力学及其以后的现代力学。古典力学只限于研究速度远小于光速(30万公里/秒)的宏观物体的运动。但是，在研究一般的工程技术问题时，仍可应用古典力学的理论加以解决，并且具有足够的精确度。因此，古典力学不但没失去其实际意义，它仍是研究机械运动的既准确又方便的工具，而且还在不断地发展。

二、静力学的内容

静力学是研究物体机械运动的特殊情形——物体的平衡规律，同时还研究力的基本性质和力系的简化。物体的运动是绝对的，平衡是相对的和暂时的。例如地面上的水坝和厂房看来是静止的，但它们相对于太阳来说，确又在随地球不停地运动着，所以平衡是相对的。以后所说的物体处于平衡状态，都是相对于地球而言的。

静力学主要研究两个基本问题：

1. 力系的简化

作用于物体上的一群力，称为**力系**。在研究物体的平衡或运动问题时，为了方便地显示各种力系对物体作用的总效应，就必须将已知的比较复杂的力系用另一个与其等效的最简单的力系来代替，这个过程称为**力系的简化**。如果作用于物体上的某一个力系可以用另一个力系来代替，而不改变物体的原有状态，这两个力系就是彼此等效的，互称为**等效力系**。另外，力系简化的结果也是建立平衡条件的根据。

2. 力系的平衡条件

当物体在某一力系作用下处于平衡状态，则该力系称为**平衡力系**。欲使物体处于平衡

状态，则作用于物体的力系必须满足一定的条件，这些条件称为**力系的平衡条件**。

研究物体平衡规律的主要任务，就是已知物体在某力系作用下处于平衡时，应用力系的平衡条件确定力系中的未知力。因此，力系的平衡条件及其应用是静力学研究的主要任务。

三、刚体的概念

静力学所研究的物体只限于**刚体**。所谓**刚体**，是指在任何力的作用下，其大小尺寸和形状始终保持不变的物体，即刚体内所有点的相对位置都保持不变。事实上，任何物体在力的作用下，都或多或少会产生变形。而实际工程中的构件在力作用下产生的变形是很微小的，如果忽略这微小变形对所研究的问题没有实质性的影响，即可将物体看作为刚体。显然，刚体是一个抽象化的理想模型。这种抽象化的方法，在研究问题时是非常必要的，其基本核心是忽略一些次要的非本质的因素，突出事物的主要矛盾，将所研究的问题得以简化。但是，将物体抽象为刚体是有条件的，这与所研究问题的性质和内容有关，如果变形这一因素在所研究的问题中成为主要矛盾时，就必须以变形体为模型。这类问题将在变形体力学（如材料力学，结构力学等）中研究。

由于在静力学中，只研究刚体及刚体系统的平衡问题，所以又称为**刚体静力学**。

静力学理论在工程实际中有着广泛的应用，又是学习一系列后继课程（如材料力学、结构力学等）的必备基础，因此，学好静力学是非常必要的。

第一章 静力学的基本概念和公理

本章将先介绍力的概念和静力学公理，这是静力学理论的基础。然后介绍几种常见的典型平面约束及其约束反力的性质。最后介绍物体的受力分析和画受力图的方法与步骤。

第一节 力的概念

力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变，或使物体产生变形。力的这一科学概念是人们在生活和生产实践中，经过长期的观察和分析，逐步形成和建立起来的。既然力是物体间相互的机械作用，所以力不能脱离物体而存在，而且还与物体的运动相联系着。

必须指出，上述的机械作用是指改变物体机械运动的作用，而不考虑其物理本质和作用形式。从相互作用的物理本质来看，有机械作用、热作用、化学作用等产生的力；从相互作用的形式来看，有物体直接接触作用产生的力（如水的压力、土的压力、摩擦力等）和通过场的作用产生的力（如重力、万有引力、电磁力等）。在力学中，不研究力的物理本质，只研究力对物体机械作用的效应。

力对物体机械作用的效应表现为两个方面：一是使物体的机械运动状态发生改变，例如使物体运动速度的大小或方向改变，这种效应称为力的**外效应或运动效应**；二是使物体产生变形，例如使梁弯曲或弹簧伸长，这种效应称为力的**内效应或变形效应**。力的这两种效应是同时出现的。由于在理论力学中，将物体抽象为刚体，因此，本课程只研究力的外效应。对于力的内效应，将在有关变形体力学的学科中进行研究。

由经验可知，**力对于物体的效应决定于力的大小、方向和作用点三个因素，通常称为力的三要素。**

力的大小是指物体间相互机械作用的强弱程度。力的量度单位根据所采用的单位制而定。本书采用法定计量单位制，力的单位是牛顿（N），简称牛，或千牛顿（kN），简称千牛。目前在工程上，有的仍采用工程单位制，以公斤（kgf）或吨（t）作为力的单位。牛顿和公斤力的换算关系是 $1 \text{ 公斤力 (kgf)} = 9.8 \text{ 牛顿 (N)}$ 。

力的方向包含方位和指向两个意思。比如说重力“铅垂向下”，“铅垂”是指力的方位，“向下”是指力的指向。

力的作用点是物体相互作用位置的抽象化结果。实际上，力的作用位置不是一个点而是分布作用于一定的面积或体积上的。如果这个面积或体积很小，则可将其抽象为一个点，称为力的作用点，这时的作用力称为**集中力**；如果力分布作用的面积或体积比较大且不可忽略时，其作用力则称为**分布力**。

很显然，改变力的大小、方向和作用点这三个要素中的任何一个要素，都会影响力对

物体的效应。

在力学中有两类物理量：标量和矢量（或向量）。标量仅具有大小和正负，如质量、长度、温度等都是标量。矢量具有大小和方向，如力、速度、加速度等都是矢量，因为确定这些量时，不仅要说明其大小，还要说明方向。矢量又有定位矢量、滑动矢量和自由矢量之分。

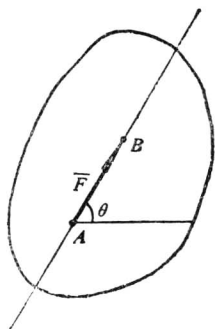


图 1-1

力既然是一种矢量，就可以用一带箭头的直线段表示力的三要素，如图 1-1 所示。图中线段 AB 的长度（按一定的比例尺）表示力的大小，线段与某一参考线之间的夹角（如角 θ ）表示力的方位，箭头表示力的指向；线段的始端 A （或末端 B ）表示力的作用点。通过力的作用点沿 AB 所作的直线称为力的作用线。

本书中力矢量一律用带上划横线的字母表示，例如 $\vec{F}$ ；而不带上划横线的字母表示该力矢量的大小（亦称矢量的模）。

必须指出，力对物体的作用效应决定于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。而力矢量（简称力矢）只表示力的大小和方向而不涉及力的作用点。例如两个力的力矢量相等，这两个力不一定相等（或不一定等效）；反之，如两个力相等，则其力矢量必相等。由此可定义：若两个力分别作用于同一物体上，而不改变物体的运动状态，则此二力为等效力。

第二节 静力学公理

所谓公理，就是无需证明就为大家所公认的真理。静力学公理是人们从长期的生活和生产实践中，对客观现实经过观察、分析、抽象、归纳和总结而得出的结论。它揭示了力的一系列基本性质，其正确性为长期以来的大量实践所证明，是静力学的理论基础。

为叙述方便，再补充两个有关力的定义：

（1）**平衡力** 平衡力系中的任意一个力都称为其余所有力的平衡力。

（2）**合力和分力** 若一个力对物体的作用和一个力系等效，则称这个力为这个力系的合力，而该力系中的所有各力都称为这个合力的分力。

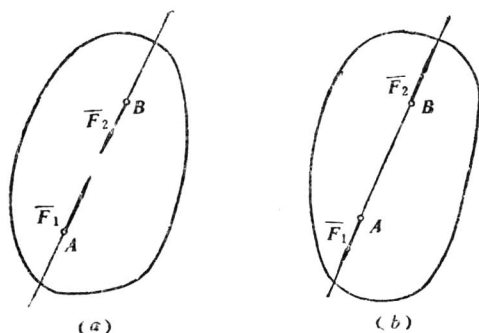


图 1-2

一、公理一（二力平衡公理）

作用在同一刚体上的两个力成平衡的必要与充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，作用在同一直线上。见图 1-2 (a) (b)。

公理一说明，两个等值、反向、共线的力构成最简单的平衡力系，这是推证其它力系

平衡条件的基础。同时还说明，作用在同一刚体上的两个不共线的力（即使二力等值、反向）也不可能成为平衡力系。

生活和生产实践中，经常遇到处于平衡状态的不计重量的刚性杆件或物体，需要确定其两端所受力的问题。如图1-3（a）所示支架，由不计重量的刚性直杆AC和曲杆BC构成，当支架悬挂重物E平衡时，AC杆（或BC杆）只在杆的两端A、C（或B、C）点受力，根据公理一，杆两端所受的二力必须大小相等、方向相反，沿着两端点A、C（或B、C）的连线，如图1-3（b）（c）所示。至于力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ （或 $\vec{F}_3$ 、 $\vec{F}_4$ ）的实际指向，以及它们的大小将由力系的平衡条件确定。

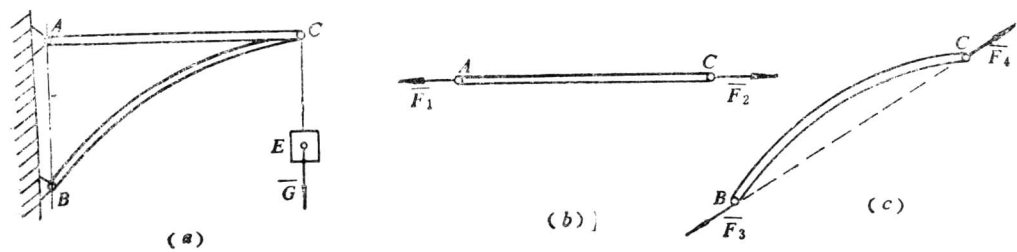


图 1-3

这种仅受二力作用而处于平衡的杆件或构件称为二力杆（或二力构件），图1-3中的AC杆和BC杆都是二力杆。对于二力杆，如果知道了二力的作用点，即可根据二力平衡条件确定出二力的作用线。对于刚性二力直杆（如AC杆），只受轴向力（拉力或压力）作用。

需要强调的是，二力平衡公理只适用于刚体，而不适用于变形体。对于变形体来说，二力平衡公理中的条件只是必要条件而不是充分条件。例如将图1-3（b）的刚性直杆AC换成软绳，显然，软绳在拉力作用下可以保持平衡，而在压力作用下，则不能保持平衡。

二、公理二（加减平衡力系公理）

在作用于刚体上的任一力系中，加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。

公理二的正确性是显而易见的，由平衡力系的定义可知，平衡力系不改变刚体的平衡或运动状态。公理二常被用来简化已知力系和推导一些定理。

同公理一一样，公理二也只适用于刚体。对于变形体来说，加上或减去一平衡力系后，将会引起其外效应或内效应的变化。

由前面两个公理可以证明作用于刚体上的力的一个重要性质。

三、推论1（力的可传性原理）

作用在刚体上的力，可以沿其作用线移至刚体内任意一点，而不改变该力对该刚体的效应。

[证明] 设刚体上的A点作用一力 $\vec{F}_A$ ，如图1-4（a）所示。根据公理二，在力 $\vec{F}_A$ 的作用线上的任一点B加上一个平衡力系（ $\vec{F}_B$ ， $\vec{F}'_B$ ），并使 $\vec{F}_B = \vec{F}'_B = \vec{F}_A$ ，如图1-4（b）所

示, 于是力 $\vec{F}_A$ 与力系 $(\vec{F}_A, \vec{F}_B, \vec{F}'_B)$ 等效。根据公理一, $\vec{F}_A$ 与 $\vec{F}'_B$ 本身是一个平衡力系, 因此, 再根据公理二减去这一平衡力系, 并不影响对刚体的效应, 于是刚体上只剩下一个作用在 B 点的力 $\vec{F}_B$, 如图 1-4 (c) 所示。由于力 $\vec{F}_B$ 与力 $\vec{F}_A$ 等值同向, 且沿同一作用线, 这就说明力 $\vec{F}_B$ 与力 $\vec{F}_A$ 是等效的, 也就相当于将原来作用在 A 点的力 $\vec{F}_A$ 沿其作用线移到刚体内任意一点 B 。

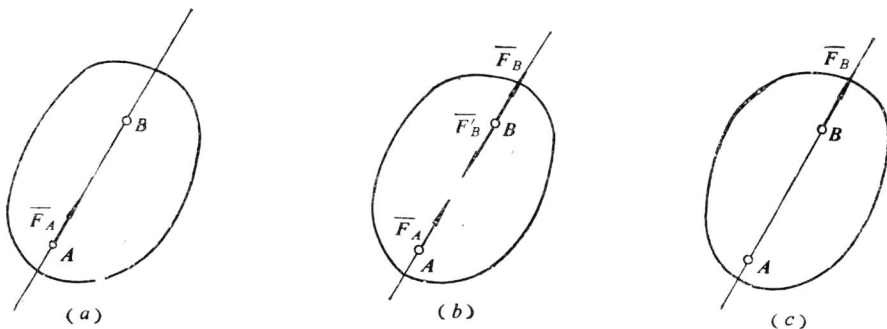


图 1-4

必须注意, 力的可传性原理也只适用于刚体, 而不适用于变形体。例如图 1-5 (a) 所示的可变形杆件 AB , 受平衡力系 $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ 作用, 将产生拉伸变形。若将这两个力沿其作用线分别移至杆件的另一端, 如图 1-5 (b) 所示, 则杆件的变形性质发生了改变, 由拉伸变成压缩了。所以, 对变形体不能应用力的可传性原理。

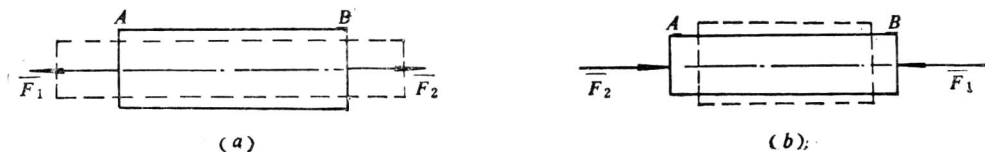


图 1-5

另外, 力的可传性原理多用于理论的推导和论证方面, 在研究具体的平衡问题进行受力分析时, 不能应用力的这一性质将力沿其作用线随意移动。

四、公理三 (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作用于该点的一个合力, 它的大小和方向由以这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。见图 1-6 (a)。

由于力是矢量, 因此力矢量的运算也符合矢量的基本运算法则。图 1-6 (a) 中, 根据矢量相加的平行四边形法则, 作用在物体 A 点的两个力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$, 与合力 $\vec{R}$ 的数学关系式为

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

上式为矢量表达式, 即作用在物体上同一点的两个力的合力 $\vec{R}$ 等于这两个力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的矢量和 (或几何和)。求合力 $\vec{R}$ 的大小和方向时, 可以根据力的平行四边形应用图解法或几何关系求解, 这种合成的方法, 称为几何法。

必须指出, 在力的矢量表达式中, 每个力矢量只表示它的大小和方向, 而不涉及它的

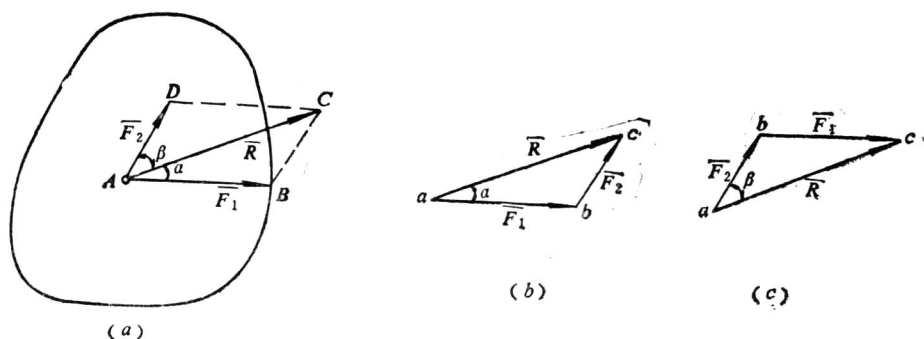


图 1-6

作用点。

在求两个共点力的合力时，另一种简单的方法是用三角形作图法将力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 相加。如图1-6(b)所示，从任意一点开始先画线段 ab 表示力矢 $\vec{F}_1$ ，再从力矢量 $\vec{F}_1$ 的末端 b 画线段 bc 表示力矢 $\vec{F}_2$ ，连接力矢 $\vec{F}_1$ 的始端 a 和力矢 $\vec{F}_2$ 末端 c 的线段 ac ，就是力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的合力矢 $\vec{R}$ 。如果先作力矢 $\vec{F}_2$ ，后作力矢 $\vec{F}_1$ ，也能得到相同的合力矢 $\vec{R}$ 。如图1-6(c)所示。可见，作力三角形各分力矢的先后次序不同，并不影响合力 $\vec{R}$ 的大小和方向，这种求合力的方法，称为**力三角形法则**。力三角形法则也是矢量的一种运算法则，但这种方法只能求出合力的大小和方向，不能确定合力 $\vec{R}$ 的作用点，其作用点仍在物体的 A 点。

力的平行四边形法则是力系简化的重要基础，该法则既适用于刚体也适用于变形体。现在讨论两个汇交力的合成。

当**刚体**上 A 、 B 两点分别作用着力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ ，它们的作用线汇交于一点 O 如图1-7(a)所示，这时，可先应用力的可传性原理，将这两个力变为共点力如图1-7(b)所示，再应用力的平行四边形法则或力三角形法则求得它们的合力 $\vec{R}$ ，如图1-7(b)(c)所示。但是，不能确定合力 $\vec{R}$ 的作用点，只能确定出合力的作用线 KL 。

两个汇交力可以根据力的平行四边形法则或力三角形法则合成为一个力，反过来，一

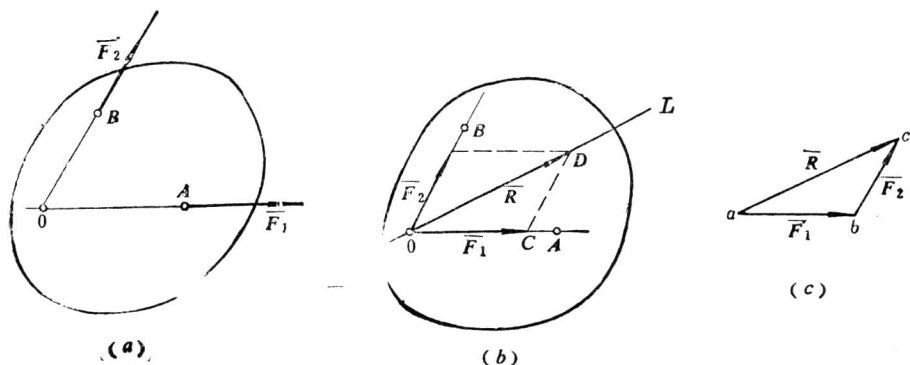


图 1-7

个力也可以分解为两个力。但是，如果没有足够的限制条件，一个力分解为两个力可以有多种解答，因为由一个力为对角线可以作出无穷多个平行四边形。如图1-8(a)所示，力 $\vec{F}$ 既可以分解为 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 两个力，也可以分解为 $\vec{F}_3$ 和 $\vec{F}_4$ 两个力，等等。因此，要想得出确定的分解结果，就必须附加足够的条件。常见的条件是用力 $\vec{F}$ 沿已知方向分解如图1-8(b)，此时可得唯一的解答。

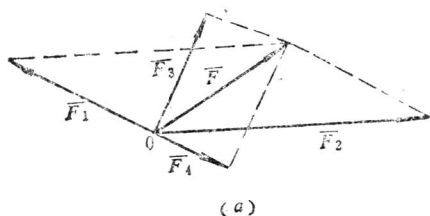


图 1-8

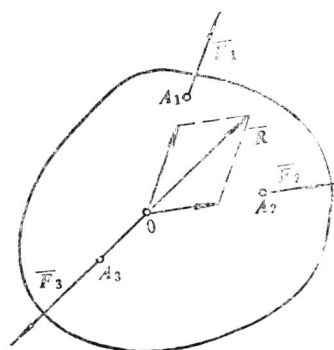
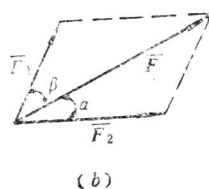


图 1-9

五、推论2（三力平衡汇交定理）

刚体受同平面内互不平行的三个力作用而平衡时，则此三力的作用线必汇交于一点。

[证明] 设在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点分别作用着三个共面互不平行的力组成的平衡力系 $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ ， $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 的作用线交于 O 点，如图1-9所示。根据力的可传性原理和力的平行四边形法则，即可求得 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的合力 $\vec{R}$ 。显然，力系 $(\vec{F}_3, \vec{R})$ 不仅与原力系 $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ 等效，并且也为平衡力系。根据公理一， $\vec{F}_3$ 与 $\vec{R}$ 必共线，即 $\vec{F}_3$ 的作用线也必定通过交点 O 。此定理证毕。

必须指出，该定理所讲的只是共面不平行的三个力成平衡的必要条件，而不是充分条件。换句话说，如果共面的不平行的三个力的作用线汇交于一点，它们不一定组成平衡力系。

在工程实践中，有许多结构物或构件是受共面不平行的三力作用的平衡问题，该定理常被用来确定某些未知力的作用线位置。

六、公理四（作用与反作用定律）

两个物体间相互作用的力，总是同时存在，它们的大小相等，指向相反，并沿同一直线分别作用在这两个相互作用的物体上。

公理四概括了任何两个物体间相互作用的关系，不论物体是处于平衡状态还是处于运动状态，也不论物体是刚体还是变形体，公理四都是普遍适用的。公理四表明一切力总是成对出现，有作用力就必有反作用力，两者总是同时存在又同时消失。应该注意的是，作用力和反作用力是分别作用在两个不同的物体上，它们不能互成平衡，因此必须将公理四与公理一严格区分开来。如图1-10(a)所示，一个重量为 G 的小球用绳子 AB 吊着的静止系统，绳重不计，其上端固定在顶板上。现在分析各物体所受的力及它们之间的关系。 $\vec{G}$ 为小球受到的地球的引力，称为小球的重力， $\vec{T}_B$ 为小球受到的绳子的作用力，见图1-10

(b); $\bar{T}'_B$ 为小球作用于绳子的力, $\bar{T}_A$ 为顶板作用于绳子的力, 见图1-10(d)。由于系统静止, 所以力 $\bar{G}$ 与 $\bar{T}_B$ 、力 $\bar{T}'_B$ 与 $\bar{T}_A$ 必定满足公理一的条件, 是平衡力系。而小球所受重力 $\bar{G}$ 的反作用力是小球吸引地球的力 $\bar{G}'$, 它作用在地球中心如图1-10(c)所示; 小球所受绳子的作用力 $\bar{T}_B$ 的反作用力 $\bar{T}'_B$, 则作用在绳子AB的B端如图1-10(d)所示; 绳子AB所受顶板的作用力 $\bar{T}_A$ 的反作用力 $\bar{T}'_A$, 则作用在顶板的A点如图1-10(e)所示。由此可见, $\bar{G}$ 与 $\bar{G}'$ 、 $\bar{T}_B$ 与 $\bar{T}'_B$ 、 $\bar{T}_A$ 与 $\bar{T}'_A$ 各对力虽然也是等值、反向、共线, 但它们的物理意义是不同的。在以后分析多个物体组成的物体系统的受力情况时, 根据作用与反作用定律可以把相邻物体的受力关系联系起来, 因此, 该定律也是分析物体系统问题的基本力学定律。

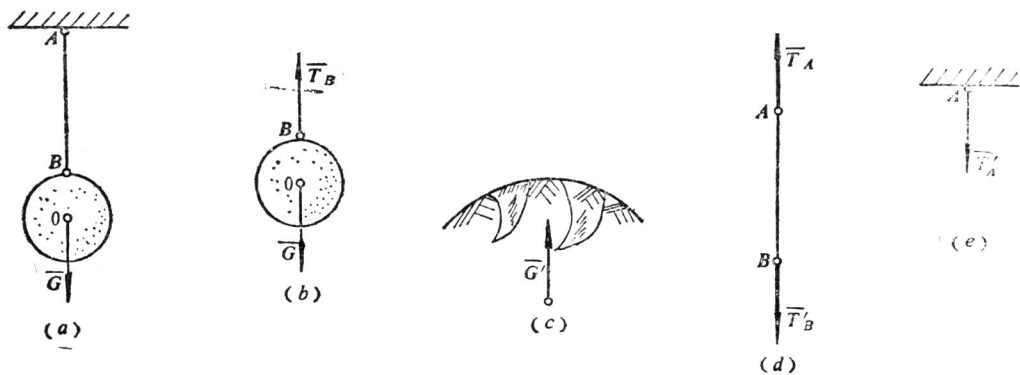


图 1-10

七、公理五（刚化原理）

变形体在已知力系作用下平衡时, 若将此变形体视为刚体（刚化），则其平衡状态不变。

这个原理表明, 变形体平衡时, 作用于其上的力系必然满足作用于刚体上的力系的平衡条件。即总可以将实际处于平衡状态的变形体, 当作刚体来研究, 这就扩展了刚体模型的适用范围。刚化原理建立了刚体静力学与变形体静力学间的关系, 也说明了刚体力学理论的普遍意义。

必须指出, 刚体的平衡条件对于变形体来说, 只是必要条件而不是充分条件。对于变形体的平衡问题, 除应满足刚体静力学的平衡条件外, 还应满足与变形有关的其他附加条件。

第三节 约束与约束反力

物体无论是处于平衡或运动状态, 总是与周围其它物体相互联系着。在力学问题中, 首先需要了解物体与周围其它物体的机械联系形式和方式, 进而分析该物体的受力情况。按照物体是否与周围其它物体直接接触可将物体分为两类: 凡能在空间不受限制地作任意运动的物体称为**自由体**。例如飞行中的子弹和飞行器等。凡受到周围其它物体的限制, 使其沿某些方向的运动或位移受到限制的物体称为**非自由体**。凡是限制非自由体运动的其它

物体称为该非自由体的**约束**。

例如用绳索悬挂的重物、搁置在墙上的梁、沿钢轨行驶的火车等都是**非自由体**。由此，绳索是重物的约束；墙是梁的约束；钢轨是火车的约束。约束是通过物体间的直接接触构成的。也可以说，受有约束的物体就是非自由体。静力学的内容主要是研究非自由刚体的平衡问题。

约束既然限制了物体的运动，改变了物体的运动状态，因此，约束对物体必然有力的作用。约束作用在被其约束物体上的力称为**约束反力**或**约束力**，简称**反力**。例如绳索对重物的作用力就是绳索对重物的约束反力，钢轨对火车的作用力就是钢轨对火车的约束反力。

约束反力的作用点应在约束与被约束物体相互接触处。**约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反**，这是确定约束反力方向的准则。至于约束反力的大小则需要根据平衡条件来确定。

物体除受约束反力作用外，还受到如重力、风力、水压力、土压力等能主动促使物体运动或具有运动趋势的力的作用，这些力称为**主动力**，主动力在工程上也称为**荷载**。约束反力通常是由主动力的作用而引起的，因此，约束反力也称为**被动力**。约束反力随主动力的改变而改变，而且常常是未知的。在静力学中，主动力是作为已知条件给出，被动力是确定的对象，本课程的重点是根据平衡条件确定约束反力。

但是，约束反力除了与作用在物体上的主动力有关外，还与约束本身的性质有关。工程中实际约束的形式和结构是各式各样的，通常是将工程中常见的约束理想化，归结为几种基本类型。下面就介绍几种常见的典型平面约束和根据其各自的特性确定其约束反力的方法。

一、柔性体约束

由绳索、链条、皮带、钢丝绳等所构成的约束称为**柔体约束**。理想化条件是不计自重，忽略刚性且看作是绝对柔软的。这类约束的特点是柔软易变形，只能承受拉力，不能承受压力和抗拒弯曲，只能限制物体沿着柔性体伸长方向的运动，而不能限制物体在其它方向的运动。因此，**柔性体对物体的约束反力只能是拉力，作用在与物体的连接点上或假想的截割处，作用线沿柔体的中心线，指向背离物体**。通常用字母 $\overline{T}$ 表示，如图1-11(a)(b)所示。

二、光滑接触（面、线、点）约束

两物体的接触有可能是面接触或是线、点接触。

当忽略两物体接触处的摩擦力时，它们的接触就可视为绝对光滑的。这类约束的特点是不能限制物体沿接触处公切面任何方向的运动，只能限制物体沿接触处公法线而趋向约束方向的运动。因此，**光滑接触对物体的约束反力只能是压力，作用在接触处，沿接触处的公法线而指向被约束物体**。这种约束反力又称为**法向反力**，通常用 $\overline{N}$ 表示。在图1-12(a)(b)中，所有的接触都是光滑的，它们对物体的约束反力都分别通过各自的接触点，并沿接触处的公法线而指向物体。

三、光滑铰链约束

在工程结构和机械设备中，铰链约束常用来联结构件或零部件，它是一个圆柱形零