

ENGINEERING MECHANICS

工程力学

上册

顾玉林 胡瑞明 主编



南京工学院出版社

工 程 力 学

上 册

顾玉林 胡瑞明 主编

南京工学院出版社

内 容 简 介

本书上册共六章，主要内容包括：静力学基本概念和公理，平面一般力系，点的运动学，刚体运动学，质点动力学，刚体动力学。

本书可作为高等专科学校、职业大学、职工大学、业余大学中设置的化工、食品、轻纺、电器、企业管理、建筑、城建等专业的教材，也可供工程技术人员参考和自学者之用。

工程力学

上册

顾玉林 胡瑞明 主编

南京工学院出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 浦口柳洲印刷厂印刷

开本787×1092 毫米1/32 印张8.5 字数178千字

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数： 1—8000册

ISBN 7—81023—022—(0)/O·22

统一书号：13409·012 定价：1.35元

前 言

我国高等工业专科学校、职业大学、职工大学、业余大学等许多专科性大学中设置的化工、食品、轻纺、电器、企业管理、建筑、城建等专业，迫切需要一本内容精炼、学时较少的工程力学教材，以改变目前使用其它教材而使学时、内容不相适应的现象。因此，编者在吸收国内24所同类学校部分力学教师的各种意见的基础上，编写成这本教材。

本教材共分四篇：第一篇静力学，第二篇运动学和动力学，第三篇材料力学，第四篇结构力学。对于有些仅需理论力学和材料力学方面的内容的专业，可选用一、二、三篇。第四篇的内容与前三篇的内容既有联系又能自成系统，可供建筑、城建等专业学习结构力学之用，也可供上述其它专业加深和扩充工程力学知识之用。

本书分上下两册出版。上册包括静力学、运动学和动力学，约需40个学时；下册包括材料力学和结构力学，材料力学约需40个学时，结构力学约需30个学时。

本教材编写的体系较国内传统体系有所改革，并力求少而精，突出重点。在讲清基本概念、基本理论的前提下，尽量注意培养应用技术人才的需要，加强了象工程上常用的动静法、材料的机械性能等内容，并安插了较多的联系实际图例。考虑到使用本教材的专业面广，要求也不尽相同，因此，编入书中的例题较多，并附有少量带“※”的内容，供教师选用。

参加本书编写的有：浙江大学附属杭州高等专科学校顾玉林、蒋晓鸣，南京金陵职业大学胡瑞明，苏州职业大学

徐钧德，蚌埠联合大学顾志良，四平职业大学李玉山，襄樊职业大学詹安祥，常州工业技术学院陆加平。

本教材由顾玉林、胡瑞明主编，南京工学院胡增强主审。

无锡轻工业学院吴家骧、同济大学虞澄心参加了审稿会，他们提出了许多宝贵意见。还有南京工学院鲍恩湛教授和河海大学吴永祯教授给予了热情的支持和指点，金陵职业大学沈熙民也对部分章节提出了意见，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，而且时间仓促，误谬之处谨请读者指正。

编 者

1987年7月

目 录

第一篇 静力学

引言	(1)
第一章 静力学的基本概念和公理	
§ 1—1 刚体的概念	(2)
§ 1—2 力的概念	(2)
§ 1—3 静力学公理	(3)
§ 1—4 力对点的矩	(9)
§ 1—5 力偶 力偶矩	(13)
§ 1—6 力的平移	(18)
§ 1—7 约束与约束反力	(20)
§ 1—8 分离体和受力图	(26)
习 题	(29)
第二章 平面一般力系	
§ 2—1 平面一般力系向一点的简化	(34)
§ 2—2 简化结果的分析 合力矩定理	(35)
§ 2—3 平面一般力系的平衡条件	(40)
§ 2—4 物体系的平衡	(48)
§ 2—5 考虑摩擦时物体的平衡	(56)
§ 2—6 空间力系的平衡 重心	(65)
习 题	(75)

第二篇 运动学和动力学

引言	(91)
第三章 点的运动学	

§ 3—1	运动学基本概念	(93)
§ 3—2	点的运动的矢量法	(93)
§ 3—3	点的运动的直角坐标法	(96)
§ 3—4	点的运动的自然法	(104)
§ 3—5	点的合成运动	(112)
习 题		(121)

第四章 刚体运动学

§ 4—1	概述	(130)
§ 4—2	刚体的基本运动	(131)
§ 4—3	刚体的平面运动	(138)
习 题		(152)

第五章 质点动力学基本方程

§ 5—1	动力学的基本定律	(163)
§ 5—2	质点运动微分方程	(165)
§ 5—3	质点的达朗伯原理 动静法	(181)
习 题		(186)

第六章 刚体动力学

§ 6—1	质点系和刚体	(193)
§ 6—2	质点系的达朗伯原理 动静法	(193)
§ 6—3	刚体平动时惯性力系的简化 质心运动定理	(195)
§ 6—4	刚体定轴转动时惯性力系的简化 定轴转动微分方程	(200)
§ 6—5	转动惯量与回转半径	(204)
§ 6—6	静平衡和动平衡的概念	(212)
§ 6—7	刚体作平面运动时惯性力系的简化 平面运动微分方程	(215)

§ 6—8	功能原理	(220)
§ 6—9	刚体动力学小结	(238)
习 题		(240)
附 录	部分习题参考答案	(255)

第一篇 静力学

引言

静力学主要研究作用在物体上的力系的简化和物体在力系作用下的平衡条件这两个问题。

(1) 力系的简化 通常作用在物体上的力不是一个而是若干个,这若干个力总称为力系。所谓力系的简化,就是把作用在物体上的较复杂的力系用一个简单的与其作用效应相等的力系来代替。可以互相代替而不改变对物体的作用效应的两个力系称为互等力系或等效力系。通过对力系的等效代替,可以了解力系对物体作用的总效应,并由此推出物体的平衡条件。

(2) 物体的平衡条件 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。在一定的条件下,物体受到力系的作用可以保持平衡,能使物体保持平衡的力系称为平衡力系。物体的平衡条件是指作用在物体上的力系成为平衡力系应满足的条件。根据平衡条件,可以求出作用于物体上的某些未知力。

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1—1 刚体的概念

物体在力的作用下，其运动状态要发生改变，同时物体要发生变形。但是机器的零件以及结构物的构件，通常都有足够的抵抗变形的能力。例如，在房屋建筑中常用的钢筋混凝土梁，在载荷的作用下，其轴线的最大变形（挠度）一般不超过跨度的 $1/250 \sim 1/300$ ；在机械中，各零部件所允许的最大变形更为微小。因此，在很多情况下，都可以忽略物体的变形，而把物体抽象为刚体。所谓刚体，即在力的作用下始终不变形的理想物体。这一特征表现为刚体内任意两点之间的距离保持不变。静力学所研究的物体只限于刚体，所以又称刚体静力学，它是研究变形体力学的基础。

§ 1—2 力的概念

力的概念是人们从长期的观察和实践中经过抽象而得到的。可概括为：力是物体与物体之间的相互作用，其作用结果使物体的运动状态发生变化，或使物体发生变形。

力对物体的作用效应取决于三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制（SI）中用牛顿（N）作为力的单位。力的方向通常包括方位和指向两个涵义。例如重力的方向是“铅垂向下”，“铅垂”是力的方位，“向下”是力的指向。力的作用点是物体间相互作用的地方。实际上

力作用的地方不是一个点而是一部分面积，但是若作用面积很小时就可以近似地看作一个点，称为作用点。而把作用于这个点上的力称为集中力。

力是一个有大小和方向的量，且服从矢量的平行四边形法则（参见 § 1—3），所以力是矢量。本书用粗体字母如（ $\boldsymbol{F}$ ）来标记矢量。在图中力可用一个带有箭头的直线段来表示（图1—1）。线段的长度按比例表示力的大小，线段末端的箭头表示力的作用方向，线段的起点表示力的作用点。

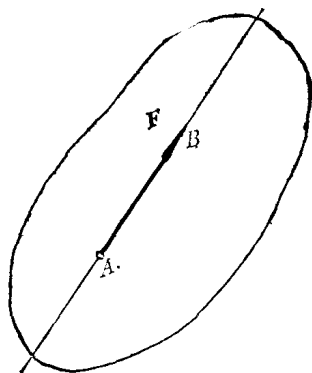


图 1—1

§ 1—3 静力学公理

公理是符合客观现实并为实践所检验过的科学真理，它是人类对客观现实长期观察和实验得出的结论。它的正确性只能用实验方法来证实，而不能用更基本的原理来证明。静力学的全部理论就是以一些公理为依据推导出来的。下面我们介绍静力学中所用到的几个公理。

公理一——两力平衡公理 作用在刚体上的两个力平衡的必要与充分条件是：两个力的大小相等、指向相反且沿同一作用线（图1—2）。

只受两个力作用而处于平衡的物体称为二力体（对细长者称二力杆）。根据公理一，我们能够立刻确定二力体上两个

力的方位：必定沿着两个力作用点的连线（图1—3）。公理一对于非刚体是不充分的。例如软绳，受两个等值反向的拉力作用能够平衡，但受两个等值反向的压力作用就不能够平衡了。

公理二——加减平衡力系公理 在作用于刚体的任意力系上加上或去掉任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

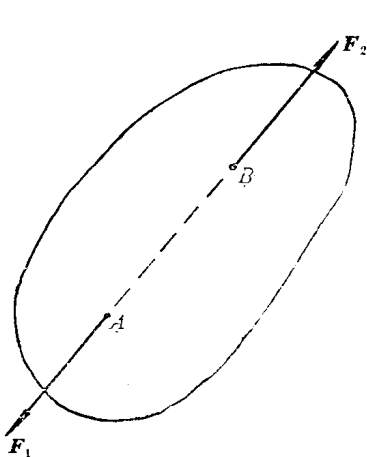


图 1—2

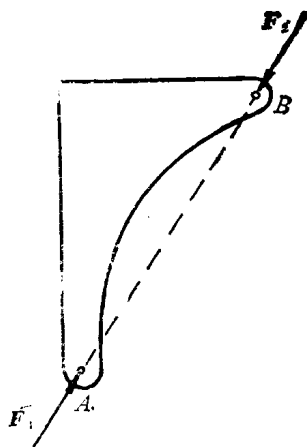


图 1—3

由平衡力系的定义可知其正确性。公理二对于研究力系的简化很重要。这个公理也只适用于刚体而不适用于变形体。对于变形体，虽然不改变整个物体的运动状态，但将影响物体的变形。

根据公理一和公理二可得如下推论。

推论（力的可传性原理） 作用于刚体上某点的力，

可沿着它的作用线移到刚体上任一点，并不改变该力对刚体的作用效应。

证明：设力 F 作用在刚体的A点，如图1—4所示。根据公理二，可在力的作用线上任取一点B，加上两个互相平衡的

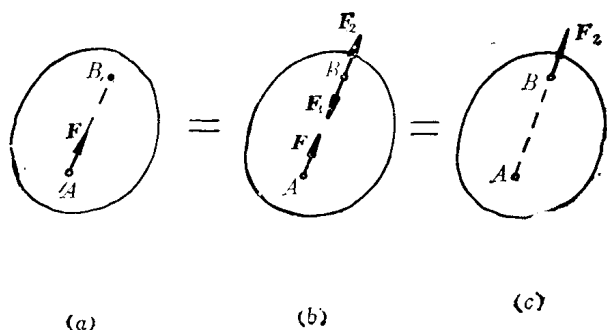


图 1—4

力 F_1 和 F_2 ，使 $F_2 = -F_1 = F$ ，由于力 F 和 F_1 也是一对平衡力系，可以去掉，只剩下一个作用在B点的力 F_2 ，即力可以沿力的作用线移动。得证。

上述推论表明，作用于刚体的力可沿其作用线移动，因此力是滑动矢量。

公理三——作用与反作用定律 作用力与反作用力总是同时存在，并且大小相等，方向相反且沿同一直线，分别作用在两个物体上。

这个公理就是牛顿第三定律。它告诉我们，宇宙中作用的力总是成对出现。例如物体A受到地球的引力 F (图1—5)，根据公理三，地球必受到与力 F 大小相等、方向相反且沿同一作用线的 F' 吸引地球。应当注意，公理三和公理一不能混淆，公理一指的是同一物体上的两个力，而公理三指的是

两个物体上的相互作用力。

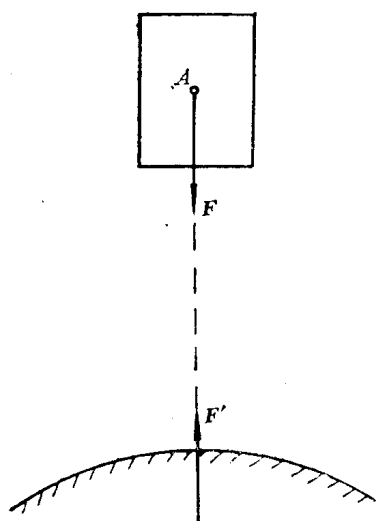


图 1—5

公理四——力的平行四边形法则 作用在物体上同一点的两个力，可合成为一个合力，合力矢等于这两个分力矢的几何和（矢量和），合力的大小和方向可由这两个力构成的平行四边形的对角线来表示（图1—6(a)）。

合力矢可表示为分力矢的矢量和，即

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

为了方便，在用矢量加法求合力时，可不必画出整个平行四边形，只需画出平行四边形的一半（图1—6(b)），使ab、bc两边分别代表 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ ，则第三边就ac是合力 $\mathbf{R}$ 。这种求合力的作图规则，称为力三角形法则。

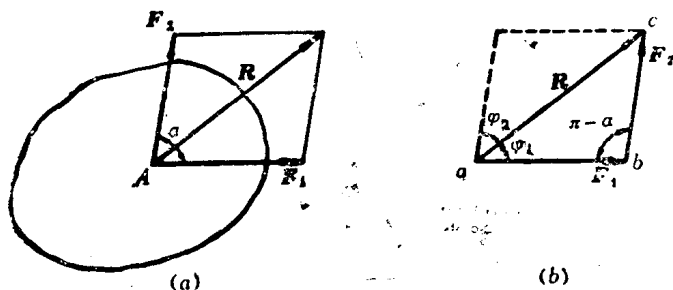


图 1—6

合力 R 的大小可从力三角形 abc 应用余弦定理求得

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-2)$$

合力 R 的方向由正弦定理确定:

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2}{R} \sin\alpha, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_1}{R} \sin\alpha \quad (1-3)$$

推论 (三力平衡汇交定理) 当刚体受三个力作用而平衡时, 若其中任意两个力的作用线汇交于一点, 则第三个力的作用线必通过汇交点。

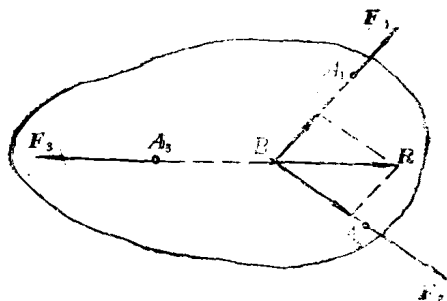


图 1—7

证明: 如图1—7所示。在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点上, 分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。将力 F_1 和 F_2 滑移到汇交点 B , 根据公理四作平行四边形, 得合力 R , 则力 F_3 应和 R 平衡。根据公理一, 力 F_3 必定与 R 共线, 且大小相等, 指向相反。即 F_3 必通过交点 B , 得证。

平行四边形法则的推广应用 平行四边形法则不仅可对作用于物体上同一点的两个力进行合成, 也可推广到作用线汇交于同一点的 n 个力的合成。例如图1—8 (a) 中的四个力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 , 在同一平面内作用于物体上的 A 点。我们来

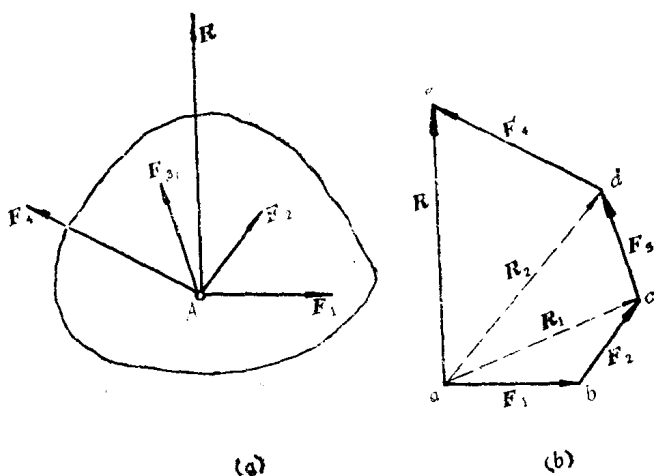


图 1—8

求此汇交力系的合力。为此，可利用力三角形法则，先将力 F_1 、 F_2 合成得 R_1 ，再把 R_1 与 F_3 合成得 R_2 ，最后将 R_2 与 F_4 合成得 R （图1—8(b)）。力 R 就是此汇交力系的合力，其作用线通过原力系的汇交点。从图中可以看出，求合力时可不画出中间过程的力 R_1 和 R_2 。只要按适当的比例尺将各力首尾相连，则连接第一个力的始端与最后一个力的末端的矢量 $\overline{ae}$ 就是合力 R （图1—8(b)）。这样画成的封闭折线 $abcde$ 称为力多边形。用力多边形求合力的作图规则称为力多边形法则。对于 n 个汇交力的合力也可表示为矢量和的形式，即

$$R = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \Sigma F \quad (1-4)$$

若对作用于刚体上的汇交力系用力多边形法则合成，所得力多边形的最后一个力的末端与第一个力的始点重合，则表示合力 R 等于零，这个汇交力系是平衡力系。其平衡条件表示为

$$\mathbf{R} = 0 \quad \text{或} \quad \Sigma \mathbf{F} = 0$$

例 1—1 在物体的O点作用有四个力(图1—9), 已知 $\mathbf{F}_1 = 100\text{N}$, $\mathbf{F}_2 = 100\text{N}$, $\mathbf{F}_3 = 150\text{N}$, $\mathbf{F}_4 = 200\text{N}$, $\mathbf{F}_1$ 水平向右, 试用几何法求合力大小和方向。

解 选取力的比例尺 $1\text{cm} = 100\text{N}$, 自任一点a开始画 $\mathbf{F}_1$ (可从任一力开始), 然后依次画 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 、 $\mathbf{F}_4$, 使各力首尾相连, 作用线分别平行于图1—9(a)中各力作用线, 最后得到力多边形abcde(图1—9(b))。所加封闭边ce即为合力 $\mathbf{R}$ 。按同一比例尺量得合力的大小和方向角为

$$R = 169\text{N}, \quad \theta = 54^\circ 20'$$

这一合力 $\mathbf{R}$ 通过各力的汇交点O, 与 $\mathbf{F}_1$ 夹角为 $\theta = 54^\circ 20'$ 。

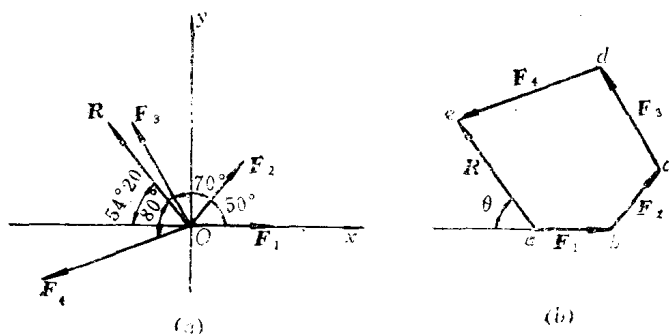


图 1—9

§ 1—4 力对点的矩

力对点的矩的概念是很早以前人们在使用杠杆、滑车、绞盘等工具时形成的一个概念。例如用扳手拧螺母(图1—10), 经验告诉我们, 作用于扳手一端的力 $\mathbf{F}$ 使扳手产生绕O点