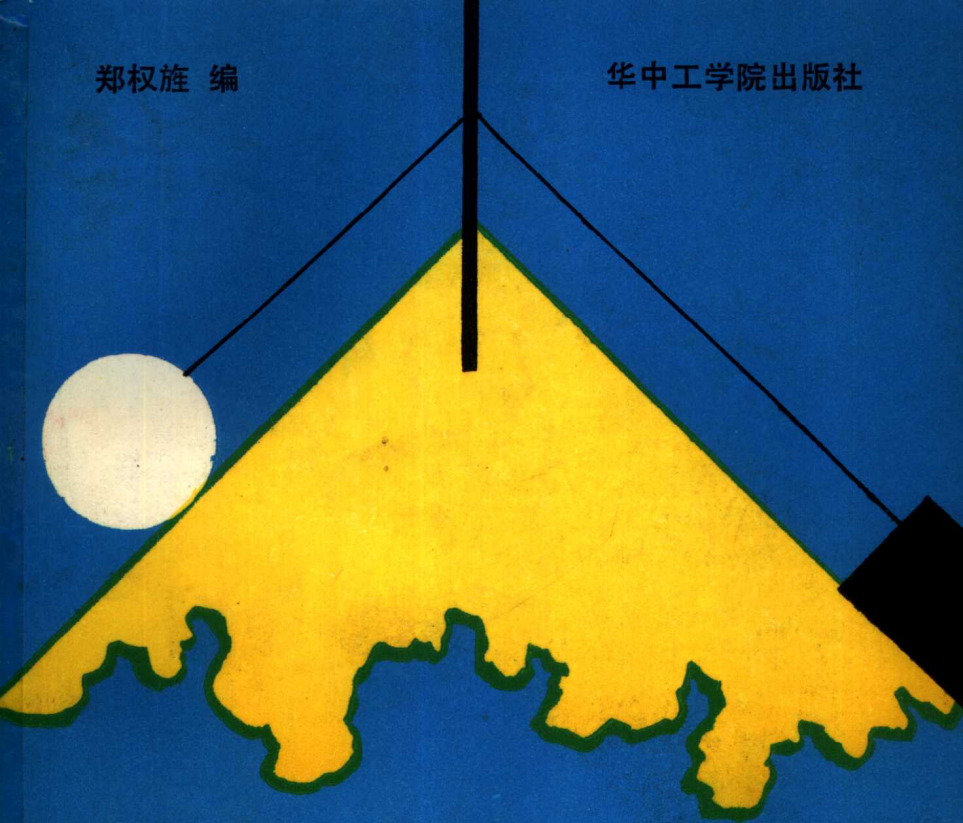


郑权旌 编

华中工学院出版社



工程静力学

静力学是关于物体平衡的科学，其任务是研究物体在各种力系作用下的平衡条件及其应用。



工 程 静 力 学

郑权旌 编

华中工学院出版社

工程静力学

郑权旌 编

责任编辑 杨志锋

华中工学院出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷



开本: 787×1092 1/32 印张: 6.875 字数: 150 000

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 1—7 000

ISBN 7-5609-0126-3/TB·5

统一书号: 15255-128 定价: 1.16元

内 容 简 介

本书是在华中工学院1984年所编《理论力学》教学讲义的基础上，根据1986年国家教委审定的《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》进行了修改，并将该讲义分为《工程静力学》、《工程运动学》和《工程动力学》彼此独立成册又能连贯使用的三本教材，将陆续出版。

本书为《工程静力学》，包括静力学的基本概念及公理、汇交力系、力矩和力偶理论、平面一般力系、考虑摩擦的平衡问题和空间一般力系，共六章。概念清楚，理论严谨，深、广度适中，注意教学和工程实际相结合。各章均附有适量的习题，书末附有习题答案，便于自学者参考。

本书可作为高等工业学校的静力学课程或多、中学时理论力学课程静力学部分的基本教材。也可供有关工程技术人员参考和作为高等教育自学教材。

序 言

本书是以高等工科院校多学时类型理论力学静力学部分的基本要求为依据而编写的。理论力学作为高等工科院校一门理论性较强的技术基础课，由静力学、运动学和动力学三个部分组成，其任务是使学生掌握质点、质点系和刚体机械运动（包括平衡）的基本规律和研究方法；为学习有关的后继课程打好必要的基础。就上述三个部分的研究任务和学科体系而言，也可以将理论力学分设为两门或三门独立的课程，而且这对教学还有一定的好处。近几年，国内有些学校在教学改革中已经这么做了，而在日本、美国等国高等院校中，将理论力学分开设课和出版教材早已极为常见。

静力学是理论力学的一个独立部分，其主要任务是为解决工程实际中的静力学问题服务，并为学生学习动力学、材料力学、机械零件等后继课程提供必要的基础知识。运动学也是理论力学中的一个重要部分。而从力学的发展历史来看，在过去很长的时期内，运动学一直和动力学合在一起，没有被作为力学中的一个独立部分。实际上学好运动学除了为研究动力学打下基础外，在工程技术上也有着重要意义。在教学中，对于那些对力学知识有较高要求的专业来说，将运动学独立出来讲授，要比分散在动力学的各部分去讲授为好，如使学科本身的系统性更强、更便于教学和联系实际等等。鉴于静力学和运动学两部分之间彼此联系不多的特点，只要在制订教学计划时注意作好有关课程的衔接，在学习顺序上，就可以视情况或者从

静力学开始，或者从运动学开始，或者两门课程并行讲授，都可收到较好的效果。由此可见，将理论力学分设为三门独立的课程不仅是可行的，而且还有助于更合理地组织教学。华中工学院自1985年起，实行了既可仍按原理论力学课程教学，也可以分开设课的办法，实践表明，这对教学的实施是有益的。因此，笔者在总结教学经验和借鉴国内外新编教材的基础上，以高等工科院校多学时类型理论力学的基本要求为依据，按照既可作为单独设课的教材，又可用作理论力学课程教材的原则，编写了《工程静力学》、《工程运动学》和《工程动力学》三本教材，将陆续出版。

本书为静力学部分，在理论上仍采用公理化体系。在篇章结构上将平面汇交力系与空间汇交力系融为一章，将力矩、平面力偶和空间力偶理论融为一章，平面一般力系仍作为重点内容专章讲述并有所加强。另外，书中还增补了分布力的合成和杆件内力分析计算等内容，使课程能更紧密地联系工程实际并为学习后继课程打下坚实基础，还使学生所学到的数学、物理知识得以更多地应用。

本书在编写和修改过程中，得到许家永、何自强、张君明、刘恩远、彭秉忠、何本祥、罗晋华等同志的帮助，他们提出许多宝贵意见，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于本书编写时间仓促和编者水平所限，难免有不少缺点甚至错误，欢迎采用本书为教材的教师、学生和广大读者多加批评指正。

编 者

1986年8月

引 言

静力学是关于物体平衡的科学，其任务是研究物体在各种力系作用下的平衡条件及其应用。

静力学中的平衡是物体机械运动的一种特殊情况，在一般工程问题中，平衡是指物体相对于地球处于静止，而更完备的定义则是指物体处于惯性运动状态。设以地球为惯性参考系，平衡最简单的例子有：点的匀速直线运动，刚体的匀速直线平动和刚体绕固定对称轴的匀速转动。物体作惯性运动的形式可能极其复杂，本课程的讨论将涉及上述惯性运动的例子，在这些情况下，作用于物体上的力系所服从的规律与作用在静止物体上所服从的规律相同。

静力学里着重研究以下两个基本问题：

1、力系的简化

力系是指作用在物体上的一组力。如果一力系能用另一力系来代替，而对物体产生同样作用效果，则此两力系等效。所谓力系的简化，就是将原力系用一个更为简单并和它等效的力系来代替。

由于平衡是运动的特殊情况，因此研究力系的简化可以导出力系的平衡条件。力系的简化理论也是研究动力学的基础，通过力系的简化，可以知道力系对物体作用的总的效果和确定物体运动状态的改变量，这些问题将在《工程动力学》中进行研究。

2、力系的平衡

当物体处于平衡状态时，作用在物体上的各种力系必须满足一定的条件；反之，只有满足一定条件的力系，才能够使物体平衡。求得各种力系的平衡条件，阐明物体受力和求解物体平衡问题的方法，是本课程的基本任务。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如在各种工程结构构件或机械零部件的设计计算中，常需先进行静力分析（包括受力和应用平衡条件求出未知力）。静力分析所得的结果是构件强度和刚度计算的依据，在材料力学、结构力学及机械零件等课程中将研究这方面的问题。

目 录

引言

第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析 (1)

§ 1-1 刚体和力的概念 (1)

§ 1-2 静力学公理 (4)

§ 1-3 约束与约束力 (11)

§ 1-4 物体的受力分析和受力图 (15)

习题 (21)

第二章 汇交力系 (24)

§ 2-1 汇交力系的合成 (24)

§ 2-2 汇交力系的平衡 (32)

习题 (43)

第三章 力矩和力偶理论 (48)

§ 3-1 力矩 (48)

§ 3-2 力偶和力偶矩 (57)

§ 3-3 力偶系的合成与平衡 (61)

习题 (68)

第四章 平面一般力系 (73)

§ 4-1 力的平移定理 (73)

§ 4-2 平面一般力系向一点简化 (75)

§ 4-3 平面一般力系简化结果的讨论 合力矩定理 (78)

§ 4-4 平面一般力系的平衡方程 (85)

§ 4-5 物体系统的平衡问题 (95)

§ 4-6 平面静定桁架内力的分析 (107)

习题 (116)

第五章 考虑摩擦的平衡问题	(127)
§ 5-1 滑动摩擦力和摩擦定律	(127)
§ 5-2 摩擦角和自锁现象	(130)
§ 5-3 考虑滑动摩擦的平衡问题	(132)
§ 5-4 滚动摩擦	(143)
习题	(150)
第六章 空间一般力系	(158)
§ 6-1 空间一般力系向一点简化	(158)
§ 6-2 空间力系简化的最后结果	(161)
§ 6-3 空间一般力系的平衡方程	(164)
§ 6-4 平行力系的中心与重心	(175)
习题	(191)
习题答案	(203)

第一章 静力学的基本概念和 物体的受力分析

§ 1-1 刚体和力的概念

在静力学中经常用到刚体和力这两个基本概念，下面分别加以阐述。

1、刚体的概念

本书的研究对象是刚体或由若干个刚体通过一定的方式相互联接组成的物体系统，所以本书所论述的内容也称为刚体静力学。所谓刚体，是指受力时不变形的物体。也就是说，刚体在受力作用时，体内任何两点间的距离始终保持不变。实际上，任何物体在受力时，或多或少都要发生变形。但是，如果物体的变形很小，而且不影响所研究的问题的实质，我们就可以忽略物体的变形而把它视为刚体。因此，刚体是一个在研究物体运动或平衡规律时被抽象化了的理想模型。

在材料力学、弹性力学、流体力学等课程中，将在研究刚体的力学规律的基础上，进一步研究变形体的运动规律和平衡问题。

2、力的概念

普通物理中已经对力的概念给出如下的定义：力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。力的概念是从观察物体的相互作用，通过物体间运动的传递和物体速度的改变得来的。若把力理解为脱离物质并与物质

运动无关的特殊因素而单独存在着，则是完全错误的。因此，当我们分析任何力的时候，必须明确它是哪个物体对哪个物体的作用，也就是说，要明确施力物体与受力物体。

力对物体的作用效果，主要表现为两个方面，其一是使物体改变运动状态（在诸力的作用相互抵消的特殊情况下，物体处于平衡），这一效果称为力的外效应；其二是引起物体内部的应力和变形，称为力的内效应。本课程着重研究力的外效应，同时也阐明分析杆件内力的基本方法，至于对内效应的详细研究，则属于材料力学、弹性力学和结构力学等课程的研究范围。

实践证明，力对物体的效应决定于以下三个要素：

(1) 力的大小

力的大小是指物体间相互作用的强弱程度，它可以用测力器来测定。在国际单位制（SI制）中以“牛顿”作为力的常用单位，记作N。有时也以“千牛顿”作为单位，记作kN。在工程单位制中，力的常用单位是公斤力（kgf），有时也采用千公斤力，即吨力（tf）。本书采用国际单位制。牛顿和公斤力的换算关系是

$$1\text{kgf} = 9.8\text{N}.$$

(2) 力的方向

力使静止的自由质点运动的方向，称为力的方向。它包含“方位”和“指向”两个意义。例如，我们说重力的方向是铅垂朝下的，“铅垂”是力的方位，“朝下”是力的指向。

(3) 力的作用点、作用线

物体上承受力作用的一点称为力的作用点。通过力的作用点沿力的方向的直线，称为力的作用线。

上述力的三要素中，若改变其中任一个要素，也就改变了

力对物体作用的效果。因此，要确定一个力，必须同时说明它的大小、方向和作用点（对刚体只须考虑作用线），三者缺一不可。

力的三要素可以用一矢量表示，该矢量称为力矢量，或简称为力矢，通常以 F 、 P 、 T 、 N 、 S 等粗体字母表示，而以对应的细体字母 F 、 P 、 T 、 N 、 S 等表示矢量的大小，即矢量的模。若在图上表示力矢量，则其起点或终点代表力的作用点；其长度按照一定的比例尺代表力的大小（例如1cm代表10N）；其所在的直线即为力的作用线，该线的方位即力的方位，通常以 α 、 β 、 γ 、 θ 、 φ 等角度表示之；矢端的箭头则表示力的指向。图1-1表示一高炉上料小车的受力情况，其中

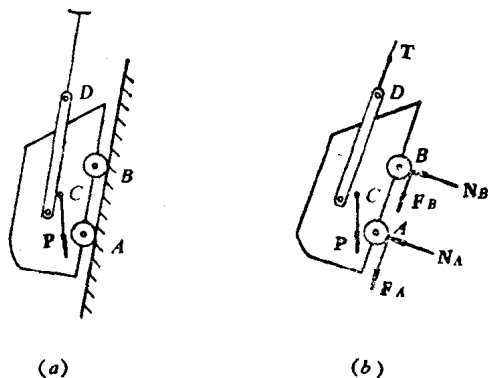


图 1-1

P 为小车的重力， T 为钢索的拉力， N_A 和 N_B 为铁轨对车轮的正压力， F_A 和 F_B 为铁轨对车轮的摩擦力。以上诸力分别作用于 C 、 D 、 A 、 B 各点。这样的图称为小车的受力图。

物体所受的力通常分为体积力和面积力两种。体积力是指

物体的每个质点上都受到该种力的作用的力，例如重力或其它场力。面积力是指物体在表面上受到其它物体作用的力，例如人对物体的推力，蒸汽对活塞的压力等。体积力和面积力实质上都是分布力，但若物体的体积或接触面积很小，则往往可将其略去不计而视为一点，这时便可将力作为集中力。此外，在物体的体积或接触面积不能视为一点的情况下，分布于体积或面积上的力也常常可用集中作用于某一点的一个与之等效的合力（如重力作用于重心）来代替。本课程所研究的力，大多可视为集中力。

对于所选择的物体研究对象而言，可以将力区分为外力和内力两类。凡是研究对象以外的物体作用于研究对象的力都称为外力，而研究对象内部各部分之间相互作用的力则称为内力。图1-1所示的力都是小车所受的外力。必须注意，同一个力对于不同的对象来说，其性质可能不同。例如太阳对地球的引力，对于地球来说是外力，但对于整个太阳系来说则是内力。由此可见，外力和内力的区分，完全决定于研究对象的选取。就刚体而言，其运动或平衡的规律完全决定于它所受的全部外力。因此，全面、正确地分析研究对象所受外力作用的情况，对于解决力学问题具有极为重要的意义。

§ 1-2 静力学公理

自然科学的公理是人类通过长期实践，从积累的经验中总结抽象出来的最基本最简单的原理，它的价值在于其理论推论均与实际相符合，也可以直接用实验加以检验。静力学的全部理论，即关于力系简化和平衡的理论都是建立在下述五个公理的基础上的。

公理一（二力平衡公理）

受二力作用的刚体处于平衡状态的充分和必要条件是：此二力等值（大小相等）、反向（方向相反）、共线（沿着同一条作用线）。

公理一说明了最简单的力系的平衡条件。但必须注意，此公理对变形体来说，它所给出的平衡条件只是必要的，而不是充分的。例如绳索的两端受到等值、反向、共线的两个拉力作用时处于平衡，但如受到等值、反向、共线的两个压力的作用时，就不能平衡了。

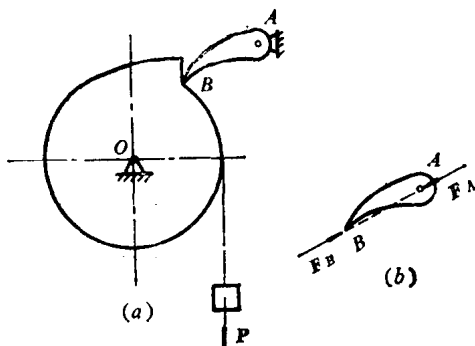


图 1-2

在本课程或工程实际中，常遇到仅受二力而处于平衡的物体，这样的物体称为二力体，在构造物中则称为二力构件。图 1-2 所示为工程上常用的棘轮机构的简图，棘爪 AB （图 1-2 (b)）在 A 处受到圆柱形销钉所给的力 F_A ，在爪尖 B 处受到棘轮所给的力 F_B ，棘爪自重很轻可略去不计，所以棘爪是二力体。根据公理一， F_A 与 F_B 必须等值、反向、共线，亦即 F_A 、 F_B 的作用线一定沿 A 、 B 两点的连线。可见，利用公理一极易确定二力体所受两个力的作用线。

公理二（加减平衡力系公理）

刚体在已知力作用下所产生的效应，不因加上或除去任何平衡力系而改变。

公理二对于研究各种力系的合成有着重要的应用价值。又由此公理可见，任何平衡力系皆与零等效，亦即与无力作用的情况等效。

根据公理二，可以导出作用于刚体上的力的一个重要性质，即作用于刚体上的力，可沿其作用线移至刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的外效应。此性质称为力的可移性。证明如下：

设力 F 作用于刚体上 A 点（图1-3（a））。根据公理二，可在力 F 的作用线上任一点 B 加上两个互成平衡的力 F' 和 F'' ，并且使 $F'' = -F' = F$ （图1-3（b））。由于力 F' 和 F 满足公理一的条件组成平衡力系，因此，根据公理二，此二力又可以除去，于是剩下的力 F'' （图1-3（c））仍和原来的力 F 等效。亦即 F 由 A 点沿其作用线移至 B 点并不改变其对刚体的外效应。

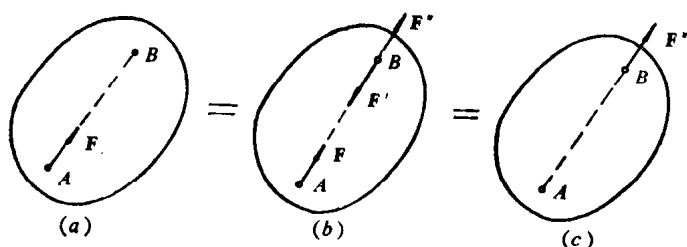


图 1-3

根据上述力的可移性，可知，当研究刚体的运动或平衡问题时，可将力矢量视为滑动矢量（可沿其作用线任意移动的矢量），即对刚体而言，力的三要素是：力的大小、方向和作用

线位置。

必须注意，公理二和力的可移性都只适用于刚体，而不适用于变形体，而且它们只适用于研究刚体的外效应，而不适用于研究刚体的内效应。例如在求刚体的内力时，就不能把外力沿其作用线任意移动。

公理三（力的平行四边形公理）

作用于物体上同一点的二力可合成为一合力。合力也作用于同一点，且等于此二力的矢量和（几何和），即合力可由以此二力为边所构成的平行四边形的对角线来表示（图1-4）。

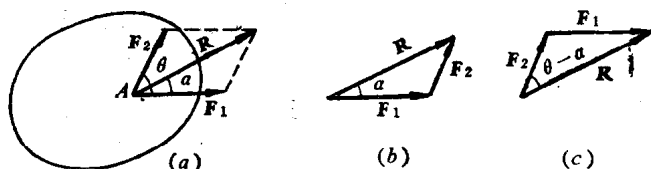


图 1-4

设在物体上A点作用着二力 F_1 和 F_2 ，以 R 表示它们的合力，则有矢量等式

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2. \quad (1.1)$$

为使作图简便，通常在求合力大小和方向时，可以用力三角形（图1-4（b）或图1-4（c））代替力平行四边形。只要按比例尺正确地作出力平行四边形或力三角形，即可由图中直接量得合力 R 的大小（ R ）和方向（ α 角）。合力 R 的大小和方向也可按照下列三角公式计算：

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \\ \sin\alpha &= \frac{F_2\sin\theta}{R} \quad \text{或} \quad \tan\alpha = \frac{F_1\sin\theta}{F_1 + F_2\cos\theta} \end{aligned} \right\} (1.2)$$