

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

工 程 力 学

静 力 学

武汉水利电力学院 编

高等教育出版社

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

工程力学

(静力学)

武汉水利电力学院 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二〇七工厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 6.75 字数 160,000

1983年10月第1版 1984年4月第1次印刷

印数 00,001—5,900

书号 15010·0524 定价 0.78 元

前 言

本书是根据一九八一年十二月教育部召开的高等工业学校函授教育工作会议审订的《工程力学函授教学大纲》(草案)的要求编写的,适用于电力、电子、冶金、地质、化工、轻纺等类专业。

《工程力学》分为静力学、运动学和动力学、材料力学,共三册,分别出版,各校可根据专业要求选用。书中标有“*”号的节次为加深加宽内容,可按照教学需要选学或完全不用。

本书在编写过程中,为了便于自学,力求讲述清楚,并且在阐明基本概念和基本理论的基础上,结合工程实际列举了较多的例题,以帮助读者理解概念,掌握理论,提高分析问题和解决问题的能力。同时考虑到工程力学与物理学的衔接,本书适当提高了学习的起点,减少了不必要的重复。此外,本书各章写有学习指导、小结、思考题和习题;习题并附有答案。

本书一律采用国际单位制,考虑到目前的实际情况,本书在运动学和动力学、材料力学两册书末附有工程单位制与国际单位制的单位换算表,供读者参考。

本书作为高等学校电力、电子、冶金、地质、化工、轻纺等类专业的函授教材,兼作高等教育自学用书,也可供其它专业和有关工程技术人员参考。

本书初稿由武汉水利电力学院理论力学教研室和建筑力学教研室集体讨论编写,经过试用,在广泛征求函授辅导站师生意见的基础上进行了修订。参加本书静力学、运动学和动力学编写工作的有:汪厚礼、胡性侃、黄汉权、李廷孝、尤书平和周巨伯同志;参加本书材料力学编写工作的有:王文安、刘翠莲、邓训和欧阳民康同

志。全书统稿工作，静力学、运动学和动力学由周巨伯同志负责，材料力学由王文安同志负责。

参加本书审稿的有：天津大学李骊、苏翼林，东北工学院刘思汉、于绶章，华东化工学院陈维新、陆钟瑞、贾宝范，华中工学院余天庆、李伯谅、俞诗玲、黄炳燊同志。审稿的同志对本书提出了不少很好的意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九八三年六月

目 录

绪论	1
静力学	6
第一章 静力学的基本概念和公理	8
学习指导	8
§ 1-1 力的概念	8
§ 1-2 静力学公理	11
§ 1-3 约束和约束反力	17
§ 1-4 受力分析和受力图	25
小结	32
思考题	33
习题	34
第二章 平面汇交力系	39
学习指导	39
§ 2-1 平面汇交力系合成和平衡的几何法	40
§ 2-2 三力平衡定理	45
§ 2-3 力的投影和分解	48
§ 2-4 平面汇交力系合成和平衡的解析法	52
小结	61
思考题	64
习题	65
第三章 力矩和平面力偶系	70
学习指导	70
§ 3-1 力对点的矩	71
§ 3-2 力偶和力偶矩	74
§ 3-3 平面力偶系的合成和平衡条件	78
小结	83
思考题	84

习题	86
第四章 平面任意力系	89
学习指导	89
§ 4-1 力的平移定理	91
§ 4-2 平面任意力系向一点的简化·力系的主矢量和主矩	93
§ 4-3 平面任意力系简化的最后结果·合力矩定理	97
§ 4-4 平面任意力系的平衡条件·平衡方程	105
§ 4-5 静定和静不定问题·物体系统的平衡	117
小结	126
思考题	128
习题	129
第五章 摩擦	141
学习指导	141
§ 5-1 滑动摩擦	143
§ 5-2 考虑摩擦时的平衡问题	149
* § 5-3 滚动摩擦阻力的概念	159
小结	160
思考题	162
习题	163
第六章 空间力系	167
学习指导	167
§ 6-1 力在空间直角坐标轴上的投影	169
§ 6-2 力对轴的矩	172
§ 6-3 空间任意力系的平衡	178
§ 6-4 平行力系中心·重心和形心	191
小结	203
思考题	205
习题	206

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。

所谓物体的机械运动是指物体在空间的(相对)位置随时间的变化。例如,机器的运转、河水的流动、车辆的行驶、人造卫星和宇宙飞船的运行、建筑物的振动,等等,都是机械运动。

我们知道运动是物质存在的形式,是物质的固有属性。物质运动的形式除了机械运动之外,还有热、光、电、磁等物理现象,化学变化,生命过程,以及人的思维活动,等等。因而物质的运动包括宇宙中发生的一切变化和过程,从单纯的位置变化直到人的思维活动。其中,机械运动是物质运动最简单的一种形式,也是日常生活和工程实际中最常见的一种运动。物质的各种形式的运动在一定的条件下可能相互转化,而且在高级和复杂的运动中,往往存在着简单的机械运动。

理论力学所研究的物体机械运动的一般规律,是以伽利略(1564—1642)和牛顿(1643—1727)所总结的基本定律为基础的,属于古典力学的范畴。十九世纪后半期,由于近代物理的迅速发展,发现许多问题不能用古典力学的定律来解释,因而产生了相对论力学和量子力学。相对论力学研究速度接近光速(30万公里/秒)的物体的运动规律,量子力学研究微观粒子(如原子、分子等)的运动规律,而古典力学则是研究速度远小于光速的宏观物体的运动规律。因此,古典力学的应用范围是有局限性的。但是,古典

力学仍然具有很强的生命力。因为,不仅一般工程技术问题,就是一些尖端科学技术问题,所研究的也有许多是宏观物体,它们运动的速度也远小于光速;有关它们的力学问题,仍然可以用古典力学来解决;而且,随着生产和科学的发展,在古典力学的基础上产生的新的力学分支也正在迅速发展。应用古典力学来解决力学问题,不仅方便,而且能够保证足够的精确性,所以古典力学至今仍有很大实用意义,并且还在不断发展。

理论力学的内容分为三个部分:静力学、运动学和动力学。

静力学——研究物体受力平衡时作用于物体上的力系所应满足的条件;同时也研究物体受力的分析方法,力系的简化方法等。

运动学——研究物体运动的几何性质,而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学——研究物体运动变化与所受力之间的关系。

二、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习理论力学有下述的任务:

理论力学是现代工程技术的重要基础理论之一。无论是工程结构、机械与电气设备、控制与自动化、航空与航天技术等等技术科学都需要理论力学的知识。因此,工程技术人员必须掌握一定的理论力学知识,才能为解决有关的工程技术问题打下基础,才能掌握当今不断出现的新理论、新技术,从而解决现代工程技术提出的新问题。

理论力学所研究的是力学中最普遍、最基本的规律,很多工科专业的课程,例如,材料力学、机械原理、机械零件、结构力学、弹性力学、流体力学和振动理论等,都要用到理论力学的基本原理和方法。因此,理论力学也是学习一系列后续课程的重要基础。

此外，学习理论力学也有助于我们树立辩证唯物主义的世界观，培养正确的分析问题和解决问题的能力，为今后解决生产实际问题，从事科学研究工作打下基础。

三、理论力学的研究方法

毛泽东同志所提出的“实践——理论——实践”的认识过程，概括了人类认识客观世界的共同规律。力学的研究方法也毫不例外地遵循这条辩证唯物主义的认识论规律。这种方法简要说来就是：从观察、实践出发，经过抽象化和归纳，建立概念和公理或定律，用数学演绎法推导出定理和结论，再回到实践中去解决实际问题并验证理论。

1. 观察和实验是理论力学发展的基础。在力学的萌芽时期，人们在从事建筑、农业等劳动中和对自然现象的观察中，积累了大量的感性的经验，经过归纳建立了力的概念和早期的力学理论。此后人们又学会通过有目的的实验来探索理论。例如惯性定律、摩擦定律就是直接建立在实验的基础上的。从近代力学的研究和发展来看，实验更是重要的研究方法之一。

2. 由于人们所观察到的现象是复杂多样的，一时不易认识它的本质，所以必须根据所研究的问题的性质，从来自实践的材料中抓住主要的、起决定作用的因素，撇开次要的、偶然的因素，才能深入事物的本质，了解事物的内在联系，这就是力学中普遍采用的抽象化的方法。通过抽象，把所研究的对象简化为力学模型。例如，在某些问题中，撇开物体的几何尺寸，就得到了质点的概念；在另外一些问题中，撇开物体的变形，就得到了刚体的概念；而质点和刚体是力学中的两种重要的力学模型。这种抽象化的方法，不仅简化了所研究的问题，而且更深刻地反映了实际。正如列宁所说的：“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象等等，一句话，那一

切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象, 都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”

3. 人们将长期实践和实验所得到的感性材料加以分析、综合、抽象、归纳, 得到一些基本的概念和公理或定律, 再借助于数学工具进行演绎推理, 得出一些定理和结论, 从而形成系统的理论。理论力学中的许多定理都是以牛顿定律为基础, 经过严密的数学推导而得出的。这些定理揭示了力学中一些物理量之间的内在联系, 并经过实践证明是正确的。但是这些定理只是相对真理, 只在一定的条件和范围内才成立。因此, 对数学演绎既要重视, 又不能把它绝对化, 更不能把力学理论只是看作数学演绎的结果而忽视实践的作用。

4. 实践是检验真理的唯一标准。从实践中得到的理论还必须回到实践中去, 接受实践的检验。只有当理论正确地反映了客观实际时, 这个理论才是正确的。同时, 实践又是认识的目的。因而要用理论去解决实际问题, 并在新的实践中进一步发展理论。这就是理论力学和其它科学共同的发展道路。

从理论力学的研究方法的论述中, 可以得到学习理论力学在方法上应该注意的问题: 第一, 学习理论力学必须深刻地反复地理解它的基本概念和公理或定律, 因为理论力学的一切理论都是建立在这些概念和公理或定律的基础上的。读者可以充分地利用自己的实践经验或在日常生活中对机械运动一些现象的观察, 来加深对基本概念和公理或定律的实质的理解。第二, 要掌握抽象化的方法, 要逐步培养把具体问题抽象成为力学模型的能力。第三, 要透彻理解由基本概念和公理或定律导出的定理和结论, 以及从这些定理和结论引出的基本方法, 它们是理论力学的主要部分。只有牢固掌握这些定理、结论和基本方法, 才能应用它们去解决力学问题。第四, 要把学到的理论知识用到实践中去。初步的实

静力学

静力学是研究物体在力系的作用下的平衡规律的科学。

所谓平衡，是指物体相对于惯性参考系^①处于静止或作匀速直线运动。它是物体机械运动的一种特殊状态。在一般工程问题中，通常把与地球相固结的参考系当作惯性参考系。若物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动，就称此物体处于平衡状态。例如，在地面上静止着的厂房、高压输电铁塔、采矿的井架，在直线轨道上匀速行驶的火车等，都是处于平衡状态。

按照辩证唯物主义的观点，运动是绝对的，而任何平衡或静止都只是相对的。所谓相对，就是暂时的，有条件的。例如，发电厂的锅炉固定在基础上，只是相对于地球处于静止状态。而实际上，锅炉随着地球自转，并同时以大约30公里/秒的速度随地球绕太阳公转。可见以太阳为参考系时，锅炉就不再是静止的了。

静力学中所采用的力学模型是刚体，所以静力学又称为刚体静力学。所谓刚体，就是在任何情况下，体内任意两点间的距离都不会改变的物体，也就是在力的作用下不变形的物体。这是一个理想化的力学模型。实际上，任何物体受力以后，都将产生不同程度的变形，例如，列车驶过铁桥，桥墩发生压缩变形，桥梁发生弯曲变形，等等。可见，刚体实际上是不存在的，它只是实际物体抽象化的模型。但是，对于受力作用后变形微小的物体来说，在研究它的运动变化规律时，特别是研究它的平衡规律时，可以略去变形，而

^① 由普通物理学已知，凡是对牛顿运动定律成立的参考系称为惯性参考系。

把物体看作刚体。实践表明,这种科学的抽象是必要的,也是合理的,它将使力对物体的作用以及力系平衡条件等问题的研究大为简化。以后我们将会看到,变形体平衡问题的研究,也是以刚体静力学为基础的。至于研究物体在受力时所发生的变形,将是本教材的材料力学部分的任务。

在静力学中主要研究以下两个问题:

1. 力系的简化 通常一个物体总是受到许多力的作用。我们把作用在物体上的一群力称为力系。所谓力系的简化,就是把作用在物体上的较复杂的力系,用一个最简单的与其等效的力系来代替。

2. 力系的平衡条件 即物体处于平衡状态时,作用于物体上的力系所应满足的条件。

静力学在工程技术中有广泛的应用。例如,高压输电线路的导线是悬挂在杆塔上的,导线在各种荷载的作用下,可能发生断线事故。为了保证线路运行安全可靠,在选择导线时,除了应满足电力负荷的要求外,还必须对导线进行静力学分析,即分析导线的受力情况,如导线的自重、风力和冰雪等荷载,以及导线的未知拉力,并应用平衡条件求出这未知的拉力,以作为选取导线材料和截面尺寸的重要依据。各种工程结构和机器的设计,都要应用静力学理论分析其构件或零、部件的受力情况,求出其中的未知力,以便对它们进行强度和刚度的计算。关于强度和刚度等问题将在本教材的材料力学部分进行讨论。此外,力系的简化理论和物体受力分析的方法也是研究动力学的基础。

第一章 静力学的基本概念和公理

学习指导

本章所阐述的静力学的基本概念和公理, 以及物体的受力分析, 是理论力学中重要的基本内容。

学习本章的目的是掌握静力学公理; 学会物体受力分析的方法, 并能正确地画出受力图; 为学习静力学和动力学打下必要的理论基础。

通过本章的学习, 要求:

1. 深刻领会力、刚体、平衡和约束的概念, 它们是理论力学中最基本的概念。

2. 深刻理解各个公理的内容和意义。静力学的全部理论都建立在这些公理的基础上, 它们在本质上反映了作用在刚体上的力的最简单最基本的性质。

3. 要熟练地掌握常见约束的构造、性质以及相应的约束反力的特征。

4. 要能正确地分析物体的受力情况, 画出单个物体和物体系统的受力图, 这是本章的重点。

§ 1-1 力的概念

1. 力的定义

力, 是人们生产和生活中很熟悉的概念, 是力学的基本概念。人们对于力的认识, 最初是与推、拉、举、掷时肌肉的紧张和疲劳的

主观感觉相联系的。后来在长期的生产和生活中，通过反复的观察、实验和分析，逐步认识到，无论在自然界或工程实际中，物体机械运动状态的改变或变形，都是物体间相互机械作用的结果。例如，机床、汽车等在刹车后，速度很快减小，最后静止下来；吊车梁在跑车起吊重物时产生弯曲，等等。这样，人们通过科学的抽象，得出了力的定义：力是物体间相互的机械作用，这种作用的结果是使物体的机械运动状态发生改变，或使物体变形。

物体间机械作用的形式是多种多样的，大体上可以分为两类：一类是通过物质的一种形式——场而起作用的，如重力、万有引力、电磁力等；一类是由两个物体直接接触而发生的，如两物体间的压力、摩擦力等。这些力的物理本质各不相同。在力学中，我们不研究力的物理本质，而只研究力对物体的效应。一个力对物体的效应，一般可以分为两个方面：一是使物体的机械运动状态发生改变，二是使物体的形状发生改变，前者叫做力的运动效应或外效应，后者叫做力的变形效应或内效应。在理论力学中只研究力对物体的外效应，而力对物体的内效应将在本教材的材料力学部分研究。

就力对物体的外效应来说，又可以分为两种情况。例如，人沿直线轨道推小车使小车产生移动，这是力的移动效应；人作用于绞车手柄上的力使鼓轮转动，这是力的转动效应。而在一般情况下，一个力对物体作用时，既有移动效应，又有转动效应。如打乒乓球时，如果球拍作用于乒乓球的力恰好通过球心，只有移动效应；如果此力不通过球心，则不仅有移动效应，还有绕球心的转动效应。

2. 力的三要素

实践证明，力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点。这三者称为力的三要素。

(1) 力的大小 力的大小表示物体间机械作用的强弱，它可

通过力的运动效应或变形效应来度量，在静力学中常用测力器和弹性变形来测量。为了度量力的大小，必须确定力的单位。本教材采用国际单位制，力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)， $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

(2) 力的方向 力的方向表示物体间的机械作用具有方向性。它包含方位和指向两层涵义。如重力“铅直向下”，“铅直”是指力的作用线在空间的方位，“向下”是指力沿作用线的指向。

(3) 力的作用点 力的作用点是力作用在物体上的部位。实际上，当两个物体直接接触时，力总是分布地作用在一定的面积上。如手推车时，力作用在手与车相接触的面积上。当力作用的面积很小以至可以忽略其大小时，就可以近似地看成作用在一个点上。作用于一点上的力称为集中力。

如果力作用的面积很大，这种力称为分布力。例如，作用在墙上的风压力或压力容器上所受到的气体压力，都是分布力。有的力不是分布地作用在一定的面积上，而是分布地作用于物体的每一点上，如地球吸引物体的重力。

在力学中有两类量：标量和矢量。如果在确定某种量时，只需考虑其大小，则称这类量为标量，如质量、长度、时间等都是标量。如果在确定某种量时，不仅要考虑其大小，而且要考虑其方向，并且这种量又符合矢量运算法则，则称这类量为矢量(或向量)。力既然是一个有大小和方向的量，而且符合矢量运算法则(将在§1-2公理三中说明)，所以力是矢量。在图上，可以用一带箭头的直线段将力的三要素表示出来，如图1-1所示，线段的长度AB按一定

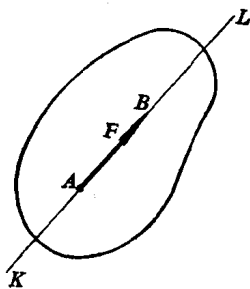


图 1-1

的比例尺表示力的大小；线段的方位以及箭头的指向表示力的方向；线段的始端 A 或末端 B 表示力的作用点。通过力的作用点并沿着力的方位的直线，称为力的作用线，如图 1-1 中的半直线 KL 。在本教材中，矢量均用黑体字母表示，例如图 1-1 用 F 表示的力的矢量。

3. 力系

前面讲过，作用在物体上的一群力称为力系。如果物体在一力系的作用下保持平衡状态，则该力系称为平衡力系。如果作用于刚体上的一力系可用另一力系来代替，而不改变刚体的运动状态，则此两力系称为等效力系。如一个力与一个力系等效，则这个力称为该力系的合力；原力系中的各个力称为其合力的各个分力。

§ 1-2 静力学公理

静力学的理论，建立在下面几个公理的基础上。这些公理是人类经验的累积，是大量的观察和实验结果的总结，是对于力的基本性质的认识的概括。公理本身的正确性是显而易见的，被公认的；由公理推导出来的结论，也为大量的实践所证实。

公理一(二力平衡公理) 作用在同一刚体上的两个力使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，并且作用在同一直线上(或简称这两个力等值、反向、共线)。

这个公理阐述了静力学中最简单的二力平衡条件，这是刚体平衡最基本的规律，是推证力系平衡条件的理论基础。

必须指出，这个公理只适用于刚体。对于变形体来说，公理一给出的平衡条件是不充分的。例如，在一重量可以忽略不计的刚杆 AB 上加上一对大小相等、方向相反、作用在同一直线上的拉力 F_1 、 F_2 或压力 F_3 、 F_4 ，如图 1-2 a 、 b 所示，根据公理一，刚杆 AB 将保持