

高等学校教材

理论力学

中国地质大学（武汉） 长春地质学院 成都地质学院 合编

张建民 白景岭 主编

上册
第二版

中国地质大学出版社

理论力学

上册

(第二版)

中国地质大学(武汉)

长春地质学院

合编

成都地质学院

张建民 白景岭 主编

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书是根据《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》，在第一版的基础上修订而成的中学时教材。本书第二版在保持第一版体系的基础上对全书的内容和例题、习题、文字进行了全面的增删，并适当提高了起点以减少与先修课程的重复。

本书分为上、下册，上册为静力学和运动学，下册为动力学，上、下册的附录为电子计算技术在理论力学中的应用。

本书在编写上遵循深入浅出，循序渐进的原则，使之通俗易懂；在教材的深度和广度上，既满足中学时教学的基本要求，又略高于基本要求；例题和习题的选择配合得当；贯彻加强基础理论的方针，坚持理论联系实际的原则，并将最新科学技术应用于理论力学。

本书可作为高等工业学校勘察工程、土木、机械、电机、矿业、动力等专业的教材，也可作为职大、夜大、函大的教材，并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学(上册)/张建民,白景岭主编. —武汉:中国地质大学出版社,2001.1

ISBN 7-5625-0469-5

I. 理…

II. ①张…②白…

III. 力学-理论-教材

IV. O31

理论力学(第二版)

张建民 白景岭 主编

责任编辑:方 菊

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)邮编:430074

电话:(027)87483101 传真:87481537 E-mail:cbo@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

开本:850毫米×1168毫米 1/32

字数:220千字 印张:8.375

版次:1990年12月第1版 2001年1月第2版

印次:2001年1月第2次印刷

印刷:中国地质大学印刷厂

印数:5 001—7 000册

ISBN 7-5625-0469-5/O·24

全套定价:25.00元 单本定价:12.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

第二版序言

本书是由中国地质大学(武汉)、长春地质学院、成都地质学院合编的《理论力学》(1990年版)的修定版。

本版是根据1993年《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》(中学时)和近十年教学实践中读者的反馈意见,在第一版的基础上修订而成。

本版保留了原版的体系,对原版的内容、例题、习题和文字进行了较全面的修改和增删,适当提高了起点以减少与先修课程的重复,并力求内容论述、理论推证和例题分析更加简明、严谨,增删了较多的例题和习题并增附了习题答案,以利于读者自学,保留了附录中计算机应用的内容,并重新用FORTRAN语言编制了源程序以满足数字化教学的要求。

第二版编者分工如下:上册主编张建民、白景岭,张建民统稿;下册主编白景岭、张建民,白景岭统稿。杨军(第一至六章),白景岭(绪论、第七至十章),张建民(第十一至十八章及上、下册附录)。张莹、欧阳辉参加了上、下册附录中计算机源程序的编制和调试工作。

本书的插图由徐晓玲、彭妮妮、魏国鹏清绘,在此谨表示衷心的感谢。

本书虽然经过反复修改,但由于我们水平有限,书中内容仍会有错误和缺点,诚恳希望广大教师和读者批评指正。

编者

2000年10月

第一版序言

本书是根据《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》(适合中学时使用)编写的。在编写中,坚持加强基础理论,理论联系实际的原则,尽量注意用典型例题说明各原理的应用;文字力求简明、通俗易懂,便于自学。同时,还编入了电子计算机应用于理论力学的内容。

本书上册为静力学和运动学,下册为动力学。其中带有“*”号的为加深拓宽的内容;上册和下册附录为电子计算机在理论力学中的应用。这两部分内容各专业可根据需要选用。

本书由中国地质大学(武汉)、长春地质学院、成都地质学院合编。上册由白景岭、张建民主编,白景岭统稿;下册由张建民、白景岭主编,张建民统稿。参加编写工作的有:王士升(第一至六章),陈津民(第七至十章),张建民(第十一至十四章及上、下册附录),白景岭(绪论,第十五至十八章)。姜鹏同志参加上、下册附录中的计算机源程序的编制和调试工作。

本书是根据1988年自编油印讲义,经中国地质大学(武汉)和长春地质学院试用、校订、修改而成。并承黄择言教授审阅。本书在编写过程中得到地质矿产部力学课程教学研究会主任黄作宾教授的热心指导。对此,我们表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,书中内容可能存在不足之处,诚恳希望广大教师和读者批评指正。

编者

1989年10月

目 录

绪论.....	(1)
---------	-----

第一篇 静力学

引言.....	(5)
---------	-----

第一章 静力学公理和物体的受力分析.....	(7)
------------------------	-----

§ 1-1 静力学的基本概念.....	(7)
---------------------	-----

§ 1-2 静力学公理.....	(8)
------------------	-----

§ 1-3 约束与约束反力	(12)
---------------------	------

§ 1-4 物体的受力分析·受力图	(19)
-------------------------	------

习题	(23)
----------	------

第二章 平面汇交力系	(27)
------------------	------

§ 2-1 用几何法研究平面汇交力系的合成与平衡	(27)
--------------------------------	------

§ 2-2 用解析法研究平面汇交力系的合成与平衡	(30)
--------------------------------	------

习题	(36)
----------	------

第三章 力矩和平面力偶理论	(40)
---------------------	------

§ 3-1 力对点的矩	(40)
-------------------	------

§ 3-2 两个平行力的合成	(42)
----------------------	------

§ 3-3 平面力偶理论	(44)
--------------------	------

§ 3-4 平面力偶系的合成与平衡	(46)
-------------------------	------

习题	(49)
----------	------

第四章 平面任意力系	(54)
------------------	------

§ 4-1 平面任意力系向作用面内一点简化	(54)
-----------------------------	------

§ 4-2 平面任意力系的平衡条件及平衡方程	(62)
------------------------------	------

§ 4-3 平面任意力系平衡问题的解法	(65)
§ 4-4 物体系统的平衡·静定与超静定问题	(70)
§ 4-5 平面简单桁架的内力计算	(75)
习题	(79)
第五章 摩擦	(91)
§ 5-1 滑动摩擦	(92)
§ 5-2 摩擦角和自锁现象	(94)
§ 5-3 考虑摩擦时物体的平衡	(97)
§ 5-4 滚动摩擦阻的概念	(103)
习题	(105)
第六章 空间力系	(112)
§ 6-1 空间汇交力系	(112)
§ 6-2 空间力偶理论	(116)
§ 6-3 力对轴之矩与力对点之矩	(119)
§ 6-4 空间任意力系的简化	(121)
§ 6-5 空间任意力系平衡方程及其应用	(125)
§ 6-6 重心	(132)
习题	(142)

第二篇 运动学

引言	(149)
第七章 点的运动学	(151)
§ 7-1 点的运动的矢量表示法	(151)
§ 7-2 点的运动的直角坐标表示法	(153)
§ 7-3 点的运动的自然表示法	(161)
习题	(169)
第八章 刚体的基本运动	(174)
§ 8-1 刚体的平行移动	(174)

§ 8-2 刚体的定轴转动·····	(175)
§ 8-3 转动刚体内各点的速度与加速度·····	(177)
§ 8-4 定轴轮系的传动比·····	(182)
§ 8-5 角速度与角加速度的矢量表示·以矢积表示点的 速度和加速度·····	(183)
习题·····	(186)
第九章 点的合成运动 ·····	(190)
§ 9-1 点的合成运动的概念·····	(190)
§ 9-2 速度合成定理·····	(194)
§ 9-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理·····	(201)
§ 9-4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理·····	(206)
习题·····	(217)
第十章 刚体的平面运动 ·····	(223)
§ 10-1 概述·····	(223)
§ 10-2 平面图形内各点的速度分析——基点法·····	(224)
§ 10-3 平面图形内各点的速度分析——瞬心法·····	(228)
§ 10-4 平面图形内各点的加速度分析——基点法·····	(234)
§ 10-5 刚体绕平行轴转动的合成·····	(238)
习题·····	(240)
附录 计算技术在静力学中的应用 ·····	(247)
桁架内力计算通用程序·····	(247)

绪 论

一、理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。机械运动是人们在生活和生产中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特殊情况。

在客观世界中，物质的运动形式是各种各样的，它表现为位置的变动、发热、发光、发生电磁现象、化学过程，以及人们头脑中的思维活动等。在物质的各种运动形式中，机械运动是最简单的一种运动。物质的各种运动形式在一定条件下可能相互转化。

理论力学属于古典力学的范畴，是以牛顿定律为基础的。这里说的“古典”，是相对于20世纪初出现和发展起来的相对论力学和量子力学而言的。相对论力学研究速度可与光速（ $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ ）相比的运动，量子力学研究微观粒子的运动。这里固然说明了古典力学有局限性，但是，在现代科学技术中，古典力学仍然起着重大作用。因为不仅在一般工程问题中，就是在一些尖端科学技术（如卫星发射、宇宙航行等）中，所涉及的物体都是宏观物体，运动的速度也都远小于光速，所以，有关的力学问题，仍然用古典力学的原理来解决，而且其精确性已被实践所证实。同时，正在迅速发展着的各个新的力学分支是在古典力学基础上诞生的，因此，学习和掌握理论力学有着极其重要的实际意义。

本书内容分为静力学、运动学及动力学三篇，每篇的研究对象及其在工程中的作用将在后面分别说明。

二、学习理论力学的目的

学习理论力学的主要目的是掌握机械运动的规律，以便在生产实践中应用这些规律，从而更好地为祖国建设服务。因为从土建、水利工程的结构物的设计和施工，机械的制造和运转，直到人造卫星、宇宙飞船的发射和运行，都有着大量的力学问题。尽管这些问题并不都是单靠理论力学知识就能解决，但在解决这些问题时，理论力学的知识是必不可少的。

理论力学的基本理论又是很多学科（如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、振动理论、机械原理等）的基础，学习理论力学也是为学习这一系列学科做好准备。

理论力学的理论来源于实践又服务于实践，既抽象又紧密联系实际，而且系统性和逻辑性很强。这个特点，对培养学生唯物主义世界观，培养逻辑思维和分析问题的能力起着重要的作用。

理论力学又是大多数工科专业的学生从纯数学、物理学科的学习过渡到专业学科的学习的过程中首先遇到的与工程技术有关的力学课程。通过学习，可初步懂得如何将工程问题简化，并应用基本原理来解决问题。同时，还可学会数学计算及表达的能力。

三、理论力学的研究方法

理论力学是人们通过“实践—理论—实践”这一反复过程，使认识不断提高和深化的过程。在长期的生活实践、生产实践和科学实验中，人们积累了关于机械运动的丰富材料，经过抽象化和数学演绎这两种方法得到定理和结论，形成理论体系，再回到实践中去，验证理论的正确性并指导实践，又从实践中获得新的材料，从而推动理论的进一步发展。

观察和实验是理论发展的基础。在此基础上，经过抽象化建立起力学模型；在建立力学模型的基础上，从基本规律出发，利用数

学工具进行推演。这两种方法在形成理论力学的概念和系统理论的过程中起着重要的作用。

对于抽象化，就是在研究复杂问题时，要根据问题的性质，抓住主要的、起决定性作用的因素，去掉次要的、偶然的因素，从若干现象中抓住本质，明确事物间的内在联系，这才是科学的抽象化。例如，在研究机械运动时，由于物体变形很小，就略去了变形，从而得到了刚体的模型；对物体的大小、形状可以不考虑时，就得到了质点的模型；等等。这样不仅能简化研究的问题，而且能更深刻地反映事物的本质。

利用数学演绎的方法，就是以基本概念、定律和原理为依据，经过严密的数学推演和逻辑推理得到一些定理和公式。理论力学的许多定理都是以牛顿定律为基础，经过严格的数学推导得到的。这些定理揭示了力学中一些物理量之间的内在联系，并经过实践检验是正确的。但是，数学推演的结果只在一定范围内才成立。数学不仅用在理论力学的逻辑推理方面，而且用于量的计算方面，因为力学现象之间的关系是通过数量来表示的。当今，电子计算机的普遍应用，必将促进力学计算的现代化，使越来越复杂的力学问题将逐步得到解决。当然，数学决不能脱离具体研究对象，只有将数学运算与力学现象的物理本质紧密联系起来，才能得出合乎实际的正确结论。

第一篇 静力学

引 言

静力学是研究物体在力的作用下平衡规律的科学。

平衡是指物体相对于惯性参考系^①处于静止或匀速直线运动的情况。对于一般工程问题，平衡是相对地球来说的。

一个物体上受到的力常常不是一个，而是一群力，这一群力称为力系。若力系满足某些条件，物体将处于平衡，这些条件称为平衡条件，而该力系则称为平衡力系。静力学研究物体的平衡规律，实际上就是研究作用于物体上力系的平衡规律。

在工程实际中，作用于物体上的力系一般比较复杂，为了弄清它对物体的总效应，常用一个与其等效的简单力系来替代，这就是力系的简化。根据对简化结果分析，就可得到力系的平衡条件。

综上所述，在静力学里着重研究以下三个问题：

(1) 物体的受力分析

物体的受力分析即分析物体共受几个力，以及每个力的作用位置、大小和方向。分析物体所受的力，画出它的受力图，是解决静

① 惯性参考系是指适用牛顿运动定律的参考系，将在动力学中详细说明。

力学问题的一个重要步骤，也是本课程的基本训练之一。

(2) 力系的简化

如前所述，所谓力系的简化，就是将原力系用一个与之等效的更为简单的力系来替代。这时，这两个力系互称等效力系。

(3) 力系平衡

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。求得各种力系的平衡条件，阐明物体受力和求解的方法，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，各种工程结构的构件（如梁、桥墩、屋架等）设计时，首先用到静力学的理论进行受力和计算。在机械工程设计中，常常也要应用静力学的知识分析机械零、部件的受力情况，作为强度计算的依据。对于一些运转速度缓慢或其速度变化不大的零、部件的受力分析，通常都可简化为平衡问题来处理。静力学中的力系简化理论和物体受力的方法在动力学和其他学科中也有应用。

第一章 静力学公理和物体的受力分析

§ 1-1 静力学的基本概念

(一) 刚体的概念

刚体是指在力的作用下不变形的物体。实际上,任何物体受力作用时,多少会产生一些变形,但是许多物体受力后,变形非常小,对于平衡或运动问题的研究来说,可以忽略不计,因而可看作刚体。所以,刚体只是实际物体抽象化了的模型。

静力学所考察的物体只限于刚体,或由若干个刚体组成的刚体系统(也可称为物体系统)。也就是说,静力学讨论的是刚体及刚体系统的平衡问题,所以又称为刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

(二) 力的概念

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体运动状态发生变化,或使物体变形。使物体运动状态发生变化的效应,称为力对物体的外效应,使物体发生变形的效应,称为力对物体的内效应。理论力学只研究力对物体的外效应,至于力对物体的内效应将在材料力学等学科中讨论。

力对物体的作用效果(效应)取决于力的大小、方向(包括方位和指向两个含义)、作用点三个要素。

度量力的大小的单位,在国际单位制(SI)中用牛顿(N),或千牛顿(kN)。

通过力的作用点,沿力的方位的一条直线,称为力的作用线。

力的方向包括方位和指向两个方面,例如,重力的方向是“铅垂朝下”,“铅垂”是力的方位,“朝下”是力的指向。

力既然是一个有大小和方向的量,所以力是矢量。它可以用一个带箭头的线段来表示,如图 1-1 所示。其中线段的长度按一定比例表示力的大小,线段的方位(例如与水平线夹角 θ)和箭头的指向表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点。过力的作用线沿力的矢量方位画出的直线(如图 1-1 中 KL),称为力的作用线。

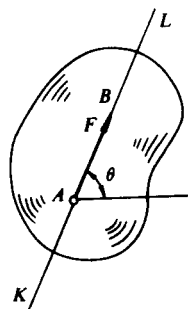


图 1-1

在本书中,凡是矢量都用某一粗斜体字母表示,如力 F 。而这个矢量的大小(模)则用细斜体的同一字母表示,如 F 。

§ 1-2 静力学公理

静力学的理论是建立在被称为静力学公理基础之上的。这些公理是人们在生活和生产活动中长期积累的经验的总结,并经过反复实践所证明是正确的。下面讲述这些公理。

公理一(二力平衡公理) 作用于同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等、方向相反、作用线相同。如图 1-2(a)、(b)所示,若 F_1 、 F_2 沿 AB 线作用,且 $F_1 = -F_2$,则此二力平衡。

该公理阐述了静力学最简单力系的平衡条件。应当指出,这个公理对刚体来说是必要和充分的,但对于变形体就不是充分的。例如,软绳的两端受两个等值、反向的拉力可以平衡,而受两个等值反向的压力时就不能平衡。

根据二力平衡公理,受两个力作用处于平衡的杆件(构件)称为

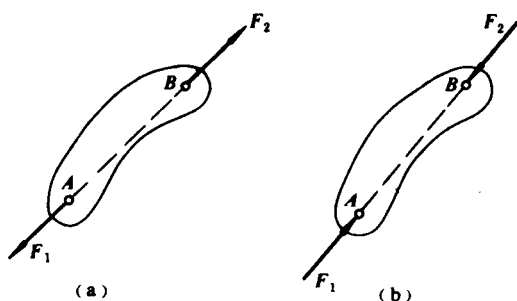


图 1-2

二力杆(构件)。

公理二(加减平衡力系公理) 在作用于刚体上的已知力系中, 加上或减去任意一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用。

本公理的正确性是显而易见的, 因为平衡力系中各力对刚体作用的总效应等于零, 它不能改变其平衡或运动状态。

推论(力的可传性原理) 作用在刚体上的力, 可沿其作用线移动, 而不改变该力对刚体的作用。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点, 如图 1-3(a) 所示。在力 F 的作用线上任取一点 B , 根据公理二可在 B 点加上一对平衡力 F_1 和 F_2 , 使 $F = F_1 = -F_2$, 如图 1-3(b) 所示。由于 F 和 F_2 也是一个平衡力系, 由公理二可以将其减去, 这样就只剩下一个作用于 B 点的力 F_1 。于是, 原来作用在 A 点的力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 等效, 而且与力 F_1 等效。 F_1 就是原来的力 F , 只是作用点已移到了 B 点。

由此可见, 对刚体而言, 力的作用点已不是决定力对物体作用效果的要素, 它已为作用线所代替。故作用在刚体上的力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。因此, 力是滑动矢量。

应当指出, 加减平衡力系公理只适用于刚体。对于需要考虑变形