

高等学校工科力学系列教材

THEORETICAL MECHANICS

理论力学

主编 罗特军 副主编 魏泳涛

勘表层拔 000669855 或
02986631855 或 发报 029
移动 33459 联通 93319 资费 0
四川大學出版社



四川大学出版社

高等学校工科力学系列教材

THEORETICAL MECHANICS

理论力学

主编 罗特军 副主编 魏泳涛

四川大学出版社



责任编辑:周树琴
责任校对:高春玉
封面设计:罗 光
责任印制:杨丽贤

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 罗特军主编. —成都: 四川大学出版社,
2006.12

ISBN 7-5614-3350-6

I. 理... II. 罗... III. 理论力学—高等学校—教材 IV.O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 067729 号

书名 理论力学

主 编 罗特军
副 主 编 魏泳涛
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
印 刷 郫县犀浦印刷厂
成品尺寸 170 mm×230 mm
印 张 26.75
字 数 431 千字
版 次 2006 年 12 月第 1 版
印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数 0 001~3 500 册
定 价 43.00 元

◆读者邮购本书, 请与本社发行科
联系。电 话: 85408408/85401670/
85408023 邮政编码: 610065
◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
◆网址: www.scupress.com.cn

版权所有◆侵权必究
此书无本社防伪标识一律不准销售

内 容 提 要

本书是四川省教改项目“工程力学精品课程建设”的研究成果，对传统的理论力学体系进行了较大的改进，以适应面向 21 世纪教学改革及大量培养高等科技人才的需要。本书以理论力学的基本内容为主，适当提高了起点，力求做到逻辑清晰、易于教学。

本书共分为三部分。第一部分静力学，包括：静力学基础，力系的简化，力系的平衡；第二部分运动学，包括：运动学基础，点的合成运动，刚体平面运动，刚体绕定点运动；第三部分动力学，包括：质点动力学，动量定理，动量矩定理，动能定理，动静法，分析力学基础。全书共配 119 道例题和 321 道习题。

本书可作为高等院校工科本科各专业的理论力学教材。少学时理论力学课程可根据需要对内容进行取舍。本书可供成人高校、高职高专的师生及有关工程技术人员参考。

前 言

本书是作者在总结四川大学工科理论力学课程教学经验的基础之上，并结合近年来理论力学教学改革的实践编写的。由于理论力学课程学时普遍压缩较多，为了适应教学需要，本书重点讲述了理论力学的基本内容。包括：静力学基础，力系的简化，力系的平衡；运动学基础，点的合成运动，刚体平面运动，刚体绕定点运动；质点动力学，动量矩定理，动量定理，动静法，分析力学基础。篇幅大体能满足工科大多数专业的需要。

本书主要突出基本内容，希望在有限的学时内能够充分讲述理论力学的基本概念、基本理论和基本方法。作者在以下几个方面进行了尝试。

1. 在静力学部分，用力系等效原理取代了静力学公理，并采用了从一般到特殊的体系，适当加大了知识的跨度。这样做不但减少了学时，而且使系统的主线清晰，使学生容易对力、投影、力矩、平衡方程等基本概念有更完整的理解。

2. 尽量使用矢量、微积分等高等数学手段，使理论推导表达得更加简洁和准确。

3. 对于《理论力学》与其他课程重叠的部分，进行了弱化处理，删去或者简要叙述，尽量避免低层次的重复。

4. 由于分析力学方法在理论和应用方面显示出的重要性，适当增加了分析力学基础的篇幅，对虚位移、广义坐标等基本概念作了较深入的阐述。

5. 针对理论力学课程的特点，坚持“精讲多练”的原则。基本概念力求讲透，例题安排由易到难，注意在题目中体现基本理论和方法的应用，并适度增加了综合性练习。

参加本书编写工作的有四川大学罗特军、魏泳涛、易丽清、李斌；西南科技大学陈国平。由罗特军任主编，魏泳涛任副主编，并由罗特军教授负责总体计划和全书统稿。

由于作者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，衷心希望读者批评指正。

编 者
2006 年 8 月

目 录

绪 论	(1)
第一部分 静力学	
引 论	(5)
第1章 静力学基础	(7)
1.1 力和力矩	(7)
1.1.1 力的概念	(7)
1.1.2 力对点的矩	(9)
1.1.3 力对轴的矩	(11)
1.2 力系等效原理	(14)
1.2.1 力系的主矢和主矩	(14)
1.2.2 力系等效原理	(17)
1.2.3 力系等效原理的适用范围	(19)
1.3 力偶与力偶矩	(21)
1.3.1 力偶的定义	(21)
1.3.2 力偶的主矢和主矩	(21)
1.3.3 力偶矩矢量	(22)
1.4 物体的受力分析	(23)
1.4.1 约束与约束反力	(23)
1.4.2 物体的受力分析	(28)
习题	(33)

第2章 力系的简化	(38)
2.1 汇交力系与力偶系的简化	(38)
2.1.1 汇交力系的简化	(38)
2.1.2 力偶系的简化	(38)
2.2 任意力系的简化	(39)
2.2.1 力线平移定理	(39)
2.2.2 空间任意力系向一点简化	(39)
2.2.3 力系的简化在固定端约束反力分析中的应用	(40)
2.2.4 空间任意力系的简化结果	(41)
2.3 平行力系的简化	(44)
2.3.1 平行力系的简化	(44)
2.3.2 平行力系中心	(45)
2.3.3 重心与形心	(46)
2.3.4 平行分布载荷	(48)
习题	(51)
第3章 力系的平衡	(55)
3.1 力系的平衡方程	(55)
3.1.1 空间力系的平衡方程	(55)
3.1.2 平面力系的平衡方程	(56)
3.2 平衡方程的应用	(58)
3.3 刚体系统的平衡	(65)
3.3.1 刚体系统的平衡 静定与超静定问题的概念	(65)
3.3.2 刚体系统平衡问题应用举例	(66)
3.3.3 平面桁架	(72)
3.4 考虑摩擦的平衡问题	(75)
3.4.1 摩擦的基本概念	(75)
3.4.2 摩擦角和自锁现象	(76)
3.4.3 考虑摩擦的平衡问题	(77)
3.4.4 滚动阻力偶	(82)

习题	(85)
----------	------

第二部分 运动学

引论	(103)
----------	-------

第 4 章 运动学基础

4.1 点的运动学	(105)
4.1.1 矢量法	(105)
4.1.2 直角坐标法	(107)
4.1.3 自然法	(112)
4.1.4 点的速度和加速度在柱坐标中的投影	(119)
4.1.5 点的速度和加速度在球坐标中的投影	(122)
4.2 刚体的基本运动	(125)
4.2.1 刚体的平行移动	(125)
4.2.2 刚体绕定轴的转动	(126)
习题	(134)

第 5 章 点的合成运动

5.1 绝对运动、相对运动与牵连运动	(141)
5.1.1 绝对运动、相对运动与牵连运动	(141)
5.1.2 动点的相对运动方程	(142)
5.2 速度合成定理	(143)
5.2.1 绝对速度、相对速度和牵连速度	(143)
5.2.2 变矢量的相对导数和绝对导数	(144)
5.2.3 速度合成定理	(145)
5.3 加速度合成定理	(149)
5.3.1 绝对加速度、相对加速度和牵连加速度	(149)
5.3.2 加速度合成定理	(149)
5.3.3 科氏加速度	(151)

习题	(158)
第 6 章 刚体平面运动	(168)
6.1 刚体平面运动的分解	(168)
6.1.1 简化模型的建立	(168)
6.1.2 刚体平面运动方程	(169)
6.1.3 刚体平面运动的分解	(169)
6.2 平面图形上各点的速度分析	(170)
6.2.1 基点法	(170)
6.2.2 瞬心法	(175)
6.3 平面图形上各点的加速度分析	(179)
6.4 运动学综合应用问题	(182)
习题	(190)
第 7 章 刚体的定点运动和一般运动	(203)
7.1 刚体绕定点运动	(203)
7.1.1 刚体绕定点运动的运动方程	(203)
7.1.2 欧拉转动定理 无限小转角的矢量性	(206)
7.1.3 瞬时转动轴 角速度和角加速度矢量	(209)
7.1.4 刚体上各点的速度和加速度	(212)
7.2 自由刚体的运动	(214)
7.2.1 刚体一般运动的分解	(214)
7.2.2 刚体上各点的速度和加速度	(215)
7.2.3 刚体运动的合成	(216)
习题	(220)

第三部分 动力学

引论	(225)
----	-------

第 8 章 质点动力学	(227)
8.1 惯性参考系中的质点动力学	(227)
8.1.1 质点动力学基本定律	(227)
8.1.2 质点运动微分方程	(228)
8.1.3 质点动力学两类基本问题的求解	(230)
8.2 非惯性参考系中的质点动力学	(233)
习题	(239)
第 9 章 动量定理	(244)
9.1 质点系的动量定理	(244)
9.1.1 质点和质点系的动量	(244)
9.1.2 冲量	(245)
9.1.3 质点系的动量定理	(245)
9.1.4 质点系的动量守恒	(247)
9.2 质心运动定理	(249)
9.2.1 质点系的质量中心	(249)
9.2.2 质心运动定理	(249)
9.2.3 质心运动守恒定律	(250)
9.2.4 变质量系统的质心运动定理	(253)
习题	(256)
第 10 章 动量矩定理	(261)
10.1 质点和质点系的动量矩	(261)
10.1.1 质点对固定点的动量矩	(261)
10.1.2 质点系对固定点的动量矩	(262)
10.2 质点系相对固定点(轴)的动量矩定理	(262)
10.2.1 质点系的对固定点(轴)的动量矩定理	(262)
10.2.2 质点系的动量矩守恒定律	(263)
10.3 刚体的定轴转动微分方程	(263)
10.3.1 刚体的定轴转动微分方程	(263)

10.3.2 刚体对轴的转动惯量	(265)
10.4 质点系相对质心的动量矩定量	(271)
10.5 刚体的平面运动微分方程	(274)
10.6 碰撞	(278)
10.6.1 碰撞现象	(278)
10.6.2 冲量定理	(279)
10.6.3 冲量矩定理	(279)
10.6.4 碰撞对平面运动刚体的作用	(280)
10.6.5 两球的正碰撞 恢复系数	(281)
习题	(286)
第 11 章 动能定理	(298)
11.1 质点系和刚体的动能	(298)
11.1.1 质点和质点系的动能	(298)
11.1.2 刚体的动能	(299)
11.2 力的功	(301)
11.2.1 力和力系的功	(301)
11.2.2 几种常见力的功	(302)
11.3 质点系的动能定量	(306)
11.3.1 质点的动能定理	(306)
11.3.2 质点系的动能定理	(306)
11.3.3 理想约束	(307)
11.3.4 动能定理的应用	(308)
11.4 机械能守恒定律	(312)
11.4.1 势力场 势能	(312)
11.4.2 常见的势力场	(313)
11.4.3 机械能守恒定律	(313)
11.5 普遍定理的综合应用	(315)
习题	(322)

第 12 章 动静法	(337)
12.1 质点的达朗贝尔原理	(337)
12.1.1 质点的达朗贝尔原理	(337)
12.1.2 关于惯性力的概念	(338)
12.2 质点系的达朗贝尔原理	(339)
12.2.1 质点系的达朗贝尔原理	(339)
12.2.2 刚体惯性力系的简化	(339)
12.3 刚体定轴转动时轴承的动反力	(346)
习题	(349)
第 13 章 分析力学基础	(356)
13.1 基本概念	(356)
13.1.1 约束及约束方程	(356)
13.1.2 虚位移 系统的自由度	(359)
13.1.3 广义坐标	(361)
13.2 虚功原理	(364)
13.2.1 虚功 广义力 理想约束	(364)
13.2.2 虚功原理	(368)
13.2.3 质点系在势力场中的平衡条件及平衡的稳定性	(376)
13.3 动力学普遍方程及拉格朗日方程	(379)
13.3.1 动力学普遍方程	(379)
13.3.2 拉格朗日方程的导出	(381)
13.3.3 拉格朗日方程的应用	(384)
13.3.4 拉格朗日方程的首次积分	(390)
习题	(395)
附录	(410)
主要参考书目	(413)

绪 论

1. 理论力学的研究对象和内容

力学是研究物体机械运动规律的学科。物体在空间的位置随时间而改变,称为机械运动。它包括移动、转动、流动和变形等等,而平衡或静止,则是其中的特殊情况。机械运动是物质运动的最基本形式,也是自然界最一般,最普遍的运动形式之一。在物质的复杂运动或更高级的运动形态中,如物理、化学,甚至生命运动中,都包含有机械运动的内容。

理论力学是研究物体机械运动的一般规律、各门力学学科的基础。其理论体系是以伽利略和牛顿建立的力学基本定律为基础,属于经典力学的范畴。随着近代物理学的重大发展,指出了经典力学的局限性。20 世纪初,爱因斯坦创立的相对论指出牛顿力学不适用于运动速度接近于光速或宇宙尺度内的物体的运动。上世纪 20 年代,量子力学也表明牛顿力学对于原子、分子等微观粒子运动的描述也不适合,这反映出人们对力学认识的深化,认识到物质在不同层次上的机械运动规律是不相同的。但并不因此就说明经典力学已经失去了任何实际意义,计算表明,应用于经典力学和相对论力学的理论所得出的结果,只有当物体的速度接近于光速时才会有显著差别,因此理论力学的研究对象被限制在由大量分子组成的,且运动速度远小于光速的宏观物体,或简称为宏观低速物体。大量的工程实际问题都属于理论力学的研究范围,实践证明,采用理论力学的基本定理和研究方法可以得出足够高的计算精确度。

同任何其他自然科学相同,人们对力学知识的获取源自于对实际现象的观察和归纳。理论力学不仅要求建立起与力学有关的各种基本概念和理论,而且能够运用理论知识对从实际问题中抽象出的力学模型进行分析和计算。在理论力学所研究的理想化的力学模型中,如果当物体的运动范围远大于它本身的几何尺度,它的形状对于所研究问题的结果的影响足够小时,我们就将其简化为只有质量而忽略其大小的一个点,称为质点;一般情况下,任何物体都可以看作由许多质点所组成的系统,称为质点系;物体在受到力的作用时都会产生变形或运动,如果这种变形极小,或该变形对物体运动的影响可以忽略,则将该物体抽象为不变形的刚体进行处理。概而言之,理论力学的研究对象是由质点和刚体组成的离散系统。

理论力学的研究内容包括:静力学、运动学和动力学三大部分。其中:

静力学研究力系的等效替换和简化,以及物体在力系作用下平衡的规律;

运动学研究物体在空间的位置随时间变化的几何性质,而不考虑与运动有关的物理因素;

动力学研究物体的运动与其受力之间的定量关系。

2. 理论力学的研究方法

理论力学的研究方法是:首先通过观察生活和生产实践中的各种现象,经过分析、综合和归纳,建立起研究对象的力学模型和基本概念,进而总结出反映物体机械运动最基本的原理和定律,然后以此为依据,运用数学演绎和逻辑推理得到有关定理和结论,并应用于实践。

力学知识最早起源于对自然现象的观察和在生产劳动中的经验。人们在建筑、灌溉等劳动中使用杠杆、斜面、汲水等器具,逐渐积累起对平衡物体受力情况的认识。古希腊的阿基米德对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等作了系统研究,确定它们的基本规律,初步奠定了静力学,即平衡理论的基础。

伽俐略在实验研究和理论分析的基础上,最早阐明自由落体运动的规律,正确地认识了惯性和加速度的概念,提出了运动相对性原理。

牛顿继承和发展前人的研究成果(特别是开普勒的行星运动三定律),提出了物体运动三定律。伽利略、牛顿等奠定了动力学的基础,牛顿运动定律的建立标志着力学开始成为一门科学。

力学的研究对象由单个的自由质点,转向受约束的质点和受约束的质点系。这方面的标志是达朗贝尔提出的达朗贝尔原理,以及拉格朗日、哈密顿建立的分析力学。其后,欧拉又进一步把牛顿运动定律用于刚体和理想流体的运动方程,这看作是连续介质力学的开端。

力学在中国的发展经历了一个特殊的过程。我国的墨翟(公元前465—382年)在《墨经》里就有了关于力和重心等概念的叙述,这可以说是世界上最早的有关力学的论述。在文艺复兴前约一千年时间内,整个欧洲的科学技术进展缓慢,而中国科学技术的综合性成果堪称卓著,其中有些在当时居于世界领先地位,这些成果反映出了丰富的力学知识,但终未形成系统的力学理论。

力学的研究需要实验、计算和理论三方面的配合,离不开对力学量及其变化规律的精确测量和计算。这一特点决定了力学与数学有着紧密的联系,并在发展中始终相互推动,相互促进。一种力学理论往往和相应的一个数学分支相伴产生,如运动基本定律和微积分,运动方程的求解和常微分方程,弹性力学及流体力学和数学分析理论,天体力学中运动稳定性和微分方程定性理论等,因此有人甚至认为力学应该也是一门应用数学。但是力学和其他物理学分支一样,还需要实验基础的一面,而数学寻求的是比力学更带普遍性的数学关系,两者有各自不同的研究对象。

3. 学习理论力学的意义

理论力学是一门理论性较强的技术基础课,学习理论力学的意义在于:

(1)理论力学不仅是一门基础科学,同时也是一门技术科学,它是许多工程技术的理论基础,又在广泛的应用过程中不断得到发展。无论是历史较久的土木工程、建筑工程、水利工程、机械工程、船舶工程等,还是现代的航空工程、航天工程、核技术工程、生物医学工程等都会直接或间接的应用到理论力学的基本原理和方法。

(2)理论力学研究的是物体机械运动中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程,如机械设计原理、材料力学、液体力学、结构力学、建筑力学、弹塑性力学、飞行力学、断裂力学、生物力学以及其他许多专业课程,都要以理论力学为基础,因此它是工程类学科的一门重要的专业基础课程。

(3)作为一门既有较强理论又有一定的工程应用的课程,对理论力学的学习有助于培养严谨的逻辑思维能力,以及分析问题和解决问题的能力。