



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Theoretical Mechanics

理论力学 第2版

武清玺 徐 鉴 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

理论力学

Lilun Lixue

(第2版)

武清玺 徐 鉴 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,第1版于2003年8月出版,为教育科学“十五”国家规划课题研究成果。本书保持了第1版的特色,全书以土木、水利等工程实际为背景,注重物理概念的阐述和力学建模能力的培养,通过课程内容与体系的改革,做到理论与应用并重;例题、习题丰富,能达到熟练掌握基本理论、基本方法和计算技能的教学要求;注意与相关课程的贯通和融合,突出土木、水利类专业特色。

全书共5篇,分别为静力学、运动学、动力学、分析力学基础和动力学应用专题。内容包括:基本概念及基本原理,力系的简化,约束·受力分析与示力图,力系的平衡,静力学应用专题(包括桁架、悬索、摩擦等),点的运动与刚体的基本运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点动力学,动量定理,动量矩定理,动能定理,达朗贝尔原理,虚位移原理,动力学普遍方程和拉格朗日方程,线性振动的基本理论,碰撞等。

本书适用于高等学校土木、水利类专业和工科其他专业的本科生使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/武清玺,徐鉴主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2010.7

ISBN 978-7-04-029469-9

I. ①理… II. ①武…②徐… III. ①理论力学—高等学校—教材 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 096450 号

策划编辑	孙成奇	责任编辑	赵向东	封面设计	赵 阳
责任绘图	黄建英	版式设计	张 岚	责任校对	俞声佳
责任印制	张泽业				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 三河市春园印装有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 32.5
字 数 610 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2003年8月第1版
2010年7月第2版
印 次 2010年7月第1次印刷
定 价 45.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29469-00

第 2 版前言

本版是参照教育部力学基础课程教学指导分委员会最新制订的“理论力学课程基本要求(A类)”,在第1版的基础上修改、补充而成的。本书保持了第1版的特色,并在内容上作了如下修改:

(1) 静力学部分将约束与物体受力分析的内容独立为一章,使体系更加顺畅。自由度与广义坐标的概念放在运动学开始时介绍,使后续内容的阐述更为简捷、方便。动力学部分调整了动量定理一章的内容体系,加强了功的计算与分析,增加了碰撞问题的实例等,使动力学部分内容更完整,体系更合理。

(2) 将点的运动和刚体的基本运动两章压缩为一章,精练了这部分内容。动量矩定理一章突出基本内容,删除了关于质点系对动点的动量矩部分。

(3) 对部分例题、习题和思考题作了补充和修改,使教学更为方便。

本书由武清玺、徐鉴主编。其中绪论与第一、五章由武清玺修订,第二、三、四、六章由陆晓敏修订,第七、八章由赵引修订,第九至十二章由温建明修订,第十三至十七章由王斌耀修订。附录A、B分别由武清玺、温建明修订。

本书的修订工作得到理论力学国家精品课程建设项目、江苏省精品教材建设重点项目和河海大学的资助,在此表示衷心的感谢。

本书承蒙清华大学贾书惠教授详细审阅,提出了许多宝贵意见和建议,编者深表感谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏与不妥之处,欢迎读者指正。

编 者
2010年2月

第1版前言

理论力学是高等学校工科专业的技术基础课,研究物体机械运动的一般规律及其在工程实际中的应用,同时也是后续力学课程和某些专业课程的理论基础。长期以来,这门课程的基础课性质普遍得到重视,而其实用性则重视不够。本书力图结合土建、水利类专业特点,在重视理论力学基本概念、理论和方法的同时,突出其专业特色,实现与相关课程的融合和贯通。

随着科学技术的发展,特别是材料科学的发展,土建、水利工程已进入轻型化,大型化阶段,作为技术基础课程的理论力学,其内容、体系也必须进行相应地调整,以适应经济建设的需要。为达此目的,本书在编写过程中作了以下考虑:

1. 提高起点,在删除与大学物理的重复部分的同时,增加反映现代科技的知识;精练内容,以适应当前学时有所减少的状况。

2. 以工程实际为背景,加深物理概念的阐述和工程建模能力的培养。

3. 突出土建、水利类专业特色。除了在这一领域挑选较多的例题、习题和思考题外,还增加了悬索的内容,并在线性振动一章中突出了工程背景和应用。

4. 加强与相关课程的融合与贯通。增加了工程构件的概念,增加了杆件内力变形的阐述,力求使质点、质点系、刚体和变形体物理概念的叙述更加完整和统一。

5. 在编写过程中,本书继承了这门课程理论严密、逻辑性强的优点,同时附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习,设置的思考题可启发思维、培养创新精神。

本书部分内容标有*号,属于加深和拓展部分,非基本要求,可根据需要选用。

本书由武清玺、冯奇主编。其中绪论、第一章和第四章由武清玺编写,第二章和第三章由陆晓敏编写,第五章至第八章由赵引编写,第九章至第十二章以及第十七章由周松鹤编写,第十三章至第十六章由王斌耀编写。附录A、B分别由武清玺、周松鹤编写。

本书的编写,主要参考了华东水利学院(现为河海大学)工程力学教研室理论力学编写组编写的《理论力学》上、下册(高等教育出版社,1984年9月)和同济大学理论力学教研室编写的《理论力学》(同济大学出版社,1995年),同时还参阅了国内外有关教材,吸取了它们的许多长处。

在教材编写过程中得到各方面的关心和支持。清华大学贾书惠教授审阅了

书稿并提出许多宝贵的意见,河海大学陈定圻教授为本书的编写提出了许多有益的建议,在此深表感谢。限于编者水平,本书难免有疏漏与不妥之处,欢迎读者指正。

编 者

2002 年 12 月

目 录

绪论	(1)
§ 0-1 理论力学的内容、任务和研究方法	(1)
§ 0-2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立	(3)
§ 0-3 工程中的构件与分类	(4)

第一篇 静 力 学

第一章 基本概念及基本原理	(9)
§ 1-1 力的概念	(9)
§ 1-2 静力学基本原理	(10)
§ 1-3 力的分解与力的投影	(12)
§ 1-4 力矩	(14)
§ 1-5 力偶与力偶矩	(18)
思考题	(20)
习题	(21)
第二章 力系的简化	(24)
§ 2-1 力系的分类	(24)
§ 2-2 力的平移定理	(28)
§ 2-3 力系的简化	(29)
§ 2-4 重心、质心和形心	(40)
§ 2-5 平行分布力的简化	(45)
思考题	(47)
习题	(48)
第三章 约束·受力分析与示力图	(54)
§ 3-1 约束与约束力	(54)
§ 3-2 受力分析与示力图	(61)
思考题	(65)
习题	(66)
第四章 力系的平衡	(68)
§ 4-1 汇交力系的平衡	(68)

§ 4-2 力偶系的平衡	(71)
§ 4-3 任意力系的平衡	(72)
§ 4-4 静定与超静定问题·物体系统的平衡问题	(77)
思考题	(84)
习题	(85)
第五章 静力学应用专题	(96)
§ 5-1 桁架	(96)
§ 5-2 悬索	(105)
§ 5-3 摩擦及有摩擦的平衡问题	(113)
思考题	(125)
习题	(127)

第二篇 运 动 学

第六章 点的运动与刚体的基本运动	(137)
§ 6-1 自由度与广义坐标	(137)
§ 6-2 点的运动	(138)
§ 6-3 刚体的基本运动	(158)
思考题	(168)
习题	(171)
第七章 点的合成运动	(178)
§ 7-1 合成运动的概念	(178)
§ 7-2 点的速度合成	(180)
§ 7-3 牵连运动为平移时点的加速度合成	(184)
§ 7-4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成	(187)
思考题	(194)
习题	(196)
第八章 刚体的平面运动	(202)
§ 8-1 刚体平面运动的运动方程	(203)
§ 8-2 平面图形内各点的速度	(204)
§ 8-3 平面图形内各点的加速度	(213)
思考题	(217)
习题	(220)

第三篇 动力学

第九章 质点动力学	(229)
§ 9-1 牛顿运动定律·惯性坐标系	(229)
§ 9-2 质点运动微分方程	(231)
§ 9-3 质点在非惯性坐标系中的运动	(238)
思考题	(242)
习题	(243)
第十章 动量定理	(249)
§ 10-1 动量和冲量	(249)
§ 10-2 动量定理的表述	(252)
§ 10-3 质心运动定理	(257)
思考题	(260)
习题	(261)
第十一章 动量矩定理	(268)
§ 11-1 质点系的动量矩	(268)
§ 11-2 质点系动量矩定理	(272)
§ 11-3 刚体定轴转动微分方程	(276)
§ 11-4 刚体平面运动微分方程	(279)
思考题	(283)
习题	(284)
第十二章 动能定理	(290)
§ 12-1 功与功率	(290)
§ 12-2 动能	(296)
§ 12-3 动能定理与功率方程	(299)
§ 12-4 势力场与势能	(304)
§ 12-5 机械能守恒定律	(307)
§ 12-6 动力学普遍定理的综合应用	(308)
思考题	(313)
习题	(314)
第十三章 达朗贝尔原理	(323)
§ 13-1 惯性力的概念	(323)
§ 13-2 质点和质点系的达朗贝尔原理	(324)
§ 13-3 质点系惯性力系的简化	(329)

* § 13-4 一般定轴转动刚体的轴承动约束力	(339)
思考题	(342)
习题	(344)

第四篇 分析力学基础

第十四章 虚位移原理	(351)
§ 14-1 约束和约束方程	(351)
§ 14-2 虚位移的概念与分析方法	(353)
§ 14-3 虚位移原理的表述	(355)
§ 14-4 以广义力表示的质点系平衡条件	(363)
§ 14-5 势力场中质点系的平衡及其稳定性	(367)
思考题	(373)
习题	(374)
第十五章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(380)
§ 15-1 动力学普遍方程	(380)
§ 15-2 拉格朗日方程(第二类)	(384)
§ 15-3 拉格朗日方程的初积分	(389)
* § 15-4 哈密顿原理	(394)
思考题	(401)
习题	(402)

第五篇 动力学应用专题

第十六章 线性振动的基本理论	(407)
§ 16-1 单自由度系统的自由振动	(407)
§ 16-2 单自由度系统的受迫振动	(419)
§ 16-3 振动的隔离	(424)
§ 16-4 两个自由度系统的无阻尼自由振动	(426)
§ 16-5 两个自由度系统的无阻尼受迫振动	(436)
思考题	(440)
习题	(440)
第十七章 碰撞	(447)
§ 17-1 碰撞现象及其基本假设	(447)
§ 17-2 恢复因数	(448)

§ 17-3 研究碰撞的矢量力学方法	(449)
§ 17-4 碰撞中心	(456)
思考题	(457)
习题	(458)
 附录 A 矢函数的导数	 (462)
附录 B 转动惯量	(465)
思考题	(470)
习题	(471)
参考文献	(474)
习题参考答案	(475)
索引	(495)
Synopsis	(500)
Contents	(501)
主编简介	(506)

绪 论

§ 0-1 理论力学的内容、任务和研究方法

1. 理论力学的内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。

按照辩证唯物主义的观点,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化到人的思维活动。机械运动则是所有运动形式中最简单的一种,指的是物体在空间的位置随时间的变化。例如,车辆的行驶,机器的运转,空气和水的流动,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。

平衡(如物体相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情形,也包括在理论力学研究内容之中。

理论力学研究的内容是远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。这固然说明古典力学有局限性,但是,经过长期的实践证明,不仅在一般工程中,就是在一些尖端科学技术(如火箭、宇宙航行等)中,所考察的物体都是宏观物体,运动速度也都远远小于光速,用古典力学来解决,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的实用意义,并且还在不断地发展。

研究物体机械运动的普遍规律有两种基本方法,从而形成理论力学的两大体系,一是用矢量的方法研究物体机械运动的普遍规律,称为矢量力学;二是用数学分析的方法进行研究,称为分析力学。本书以矢量的方法研究为主。

本书内容分为静力学、运动学、动力学、分析力学基础和动力学应用专题五篇,每篇的研究对象、研究方法及其在工程中的应用将在后文中分别说明。

2. 理论力学的任务

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任务:

(1) 土木、水利、机械等工程专业一般都要接触机械运动的问题。有些工程实际问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,如土木、水利工程中的平衡问题;传动机械的运动学分析;机器和机械设计中的平衡问题、振动问题和动反力问题等。至于一些比较复杂的工程实际问题,则需要用本书中的理论和其他专门知识共同来解决,如土木、水利工程中动力荷载的影响以及建筑物的抗震设计等。在许多尖端科学技术中,如人造地球卫星和宇宙火箭的发射、运行等,更包含着许多动力学问题。虽然我们不可能在理论力学中讨论这些专门问题,但理论力学的基本理论,却是研究这些问题的必备基础。由此可见,掌握理论力学知识至为重要。

(2) 理论力学研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程,如材料力学、结构力学、流体力学、振动理论、机械原理等课程,都要用到理论力学的知识,所以理论力学是学习一系列后续课程的基础。

现代科学技术的发展,还使理论力学的研究内容渗透到其他科学领域,形成了一些新的边缘学科。例如:理论力学用于研究人体的运动而形成运动力学;理论力学与固体力学、流体力学结合用来研究人体内骨骼的强度,血液流动的规律,人体的力学模型,以及植物中营养的输送问题等,形成了生物力学;此外,还有爆炸力学、电磁流体力学,等等。总之,为了探索新的科学领域,必须打下坚实的理论力学基础。

(3) 理论力学的理论来源于实践又服务于实践,既抽象而又紧密结合实际,研究的问题涉及面广,而且系统性和逻辑性很强。这些特点,对培养我们的辩证唯物主义世界观,培养逻辑思维和分析解决问题的能力,也起着重要作用。

3. 理论力学的研究方法

科学研究的过程,就是认识客观世界的过程,任何正确的科学研究方法,一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学的研究和发展也必须遵循这个正确的认识规律。

(1) 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行无数次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的概念和定律。如“力”和“力矩”的概念,“加速度”的概念;摩擦定律以及动力学三定律等都是在大量实践和实验的基础上经分析、综合和归纳得到的。

(2) 在对事物观察和实验的基础上,通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的,当我们拥有大量来自实践的资料之后,必须根据所研究的问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系,这就是力学中普遍采用的抽象化方法。例如,在某些问题中忽略实际物体受力后的变形,得到刚体的模型;在另一些问题中则忽略物体的大小和形状,得到质点的模型,等等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待,主要决定于所讨论问题的性质,而不决定于物体本身的大小和形状。如机器上的零件,尽管尺寸不大,当要考虑它的转动时,就须作为刚体看待。一列火车的长度虽然以百米计,当将列车作为一个整体来考察它沿铁道线路运行的距离、速度和加速度时,却可以作为一个点来看待。即使同一个物体,在不同的问题里,随着问题性质的不同,有时可作为质点,有时则要作为刚体。如地球半径为 6 370 km,但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时,可以看作质点,而当考察它的自转时,却必须看作刚体。

(3) 在建立力学模型的基础上,从基本定律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论,在更高的水平上指导实践,推动生产的发展。

从实践到理论,再由理论回到实践,通过实践进一步补充和发展理论,然后再回到实践,如此循环往复,每一个循环都在原来的基础上提高一步。和所有的科学一样,理论力学也是沿着这条道路不断向前发展的。

§0-2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立

在工程实际问题中,所考察的物体复杂多样,即使是同一类型的问题,其受力状况也不尽相同,为便于研究,须将工程实际问题进行简化,以得到合理的力学模型,再在此基础上作进一步的计算和分析。将一个实际问题抽象成为力学模型并不是很容易的事,需要在实践中锻炼和不断提高这方面的能力,一般来说,需从三方面加以简化:物体的几何尺寸、物体承受的荷载(力)和受到的约束。

在简化过程中,因为要略去一些次要因素,必然包含着某种近似性。例如,某些尺寸远比其他有关尺寸为小则可忽略不计,因而在微小面积上的力可看作集中力,接触面很光滑或经过充分润滑时可不计摩擦,等等。究竟哪些因素可以看作次要因素而略去,与所需的资料及其精确度有关。例如,在研究一般抛射运动时,把抛射体作为质点看待,且只计重力而不计空气阻力,得到的结果已属可用,但在研究远射程炮弹的运动时,如果作同样的假设,则炮弹可能偏离射击目标。另一方面,如果对实际存在的一些因素,不分主次,全都计入,看起来似乎是

很符合实际,而结果可能使问题无法求解,或者虽能求解,但困难极大,费时费力,而实际工作中并不需要这样高的精确度。所以,对一个具体问题,在抽象成为力学模型时,可作哪些近似的假设,可忽略哪些因素,必须深入分析,力求合理,既要满足实际要求,又必须在数学计算上既方便且可行。

有关工程实际问题的简化方法将在后面章节中进一步叙述,下面介绍由实际问题抽象而得到的质点、刚体和质点系三种力学模型。

1. 质点

如果一个物体的大小和形状对所讨论的问题无关紧要,可以忽略不计,而只需计及其质量,就可将物体作为只有质量但没有大小的点,称为质点。

2. 刚体

刚体是指这样一种物体:它的大小和形状对所讨论的问题来说,不能忽略;但它受到力的作用时,大小和形状都保持不变,即不发生变形。事实上,刚体当然是不存在的,因为任何物体受力后都将或多或少地发生变形。但在许多情况下,在研究物体的平衡或运动时,变形只是次要因素,可以忽略不计,因而可将物体视为刚体。

3. 质点系

质点系是相互间有一定联系的有限或无限多质点的总称。刚体可以认为是不变形的质点系。由若干个刚体组成的系统称为刚体系统,有时也称为物体系统。

上述几种理想的力学模型,都是客观存在的实际物体的科学抽象,它们并不特指某些具体物体,而是概括了各种物体。不论物体是金属的、木质的、混凝土的或其他材料的,也不论是土建、水利工程中的建筑物构件或机械的零、部件,在研究它们的平衡或运动时,都可作为上述几种模型之一来加以考察(需要考虑变形者除外)。这是人们认识深化的结果,也表明了理论的普遍意义。

§0-3 工程中的构件与分类

在工程实际中,各种机械与结构得到广泛应用。组成机械与结构的零、部件,统称为构件。工程实际中的构件,形状多种多样,按照其几何特征,可分为三类:杆件、板和壳、块体。

1. 杆件

一个方向的尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件称为杆件或杆,如图0-1a所示。杆的几何形状可用一根中心轴线和与中心轴线正交的横截面表示。根据轴线的形状,可分为直杆和曲杆;根据横截面沿轴线变化的情况,可分为等截面杆和变截面杆。如组成屋架的杆多为等截面直杆,而起重用的吊钩为变截面曲杆。

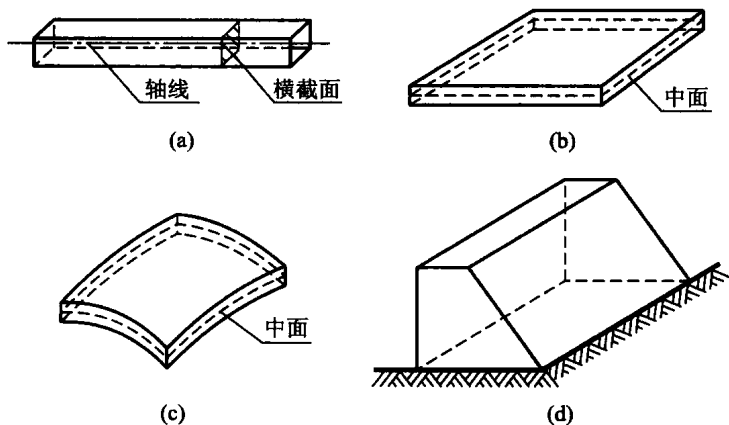


图 0-1 工程中的构件类型

2. 板和壳

一个方向的尺寸(厚度)比其他两个方向的尺寸小得多的构件称为板或壳。平分厚度的面称为中面。当中面为平面时,该构件称为板(或平板),如图0-1b所示;当中面为曲面时,该构件称为壳(或壳体),如图0-1c所示。如楼板为平板,有些建筑物的屋顶为壳体。

3. 块体

三个方向的尺寸相差不很大的构件称为块体。如图0-1d所示的挡水坝即为块体。

