



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材



iCourse · 教材

理论力学

第3版

主 编 武清玺 徐 鉴

副主编 陆晓敏 温建明

高等教育出版社



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材



iCourse · 教材

LILUN LIXUE

理论力学

第3版

主 编 武清玺 徐 鉴

副主编 陆晓敏 温建明

高等教育出版社·北京

内容提要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在2010年7月第2版的基础上修订而成的。本书保持了前两版的特色,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,约束及物体受力分析,力系的平衡,静力学应用专题(包括静定桁架、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,质点系的动量定理、动量矩定理和动能定理,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。

本书是与爱课程网上理论力学课程配套的教材,该课程的网址是 http://www.icourses.cn/coursestatic/course_2875.html。

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. -- 3版. -- 北京: 高等教育出版社, 2016. 9

iCourse · 教材

ISBN 978-7-04-046018-6

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(2016)第 173787 号

策划编辑 黄 强 责任编辑 赵向东 封面设计 王 鹏 版式设计 杜微言
插图绘制 杜晓丹 责任校对 陈旭颖 责任印制 耿 轩

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
印 刷 北京市大天乐投资管理有限公司

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 33.25
字 数 610 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

版 次 2003 年 8 月第 1 版
2016 年 9 月第 3 版
印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷
定 价 53.00 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 46018-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1206305>, 点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”,按网站提示输入教材封底防伪标签上的数字,点击“确定”完成课程绑定。

3. 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程,点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程资源包含新增的例题和习题的解答,并以二维码的形式在书中出现,扫描后即可查看。

第3版前言

本书是参照教育部高等学校力学教学指导委员会 2008 年 10 月制订的《理论力学课程教学基本要求(试行)》,在第 1、2 版的基础上修改、补充而成的。本书保持了第 1、2 版的特色,并在内容上作了如下修改:

(1) 全书内容体系保持不变,仅对部分章节作了适当修改。

(2) 利用现代科学技术拓展教学空间,在不增加教材篇幅的前提下,通过二维码标识引导学生自主学习,深入探讨,提高研究能力。

(3) 通过二维码增加了 30% 左右的例题,以拓宽教学内容,使教师选讲更自如,学生学习更灵活。

(4) 考虑学生需求和教学需要,通过二维码新增了部分习题(约占习题的 30%)的解答。

本书是与爱课程网上理论力学课程配套的教材,该课程的网址是

http://www.icourses.cn/coursestatic/course_2875.html

本书由武清玺、徐鉴主编。绪论、第一章和第五章由武清玺修订,第二、三、四、六章由陆晓敏修订,第七、八章由赵引修订,第九至十二章由孙杰修订,第十三至十七章由温建明修订,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、工程力学江苏省品牌专业建设重点项目和河海大学的资助,在此表示衷心的感谢。

北京航空航天大学王琪教授详细审阅了本书,提出了许多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

限于编者水平,书中难免疏漏与不妥之处,欢迎读者指正。

编者

2016 年 4 月

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《理论力学课程教学基本要求(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、清晰。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各专业的技术基础课,主要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受到重视,而其实用性则受到的重视不够。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,增加了杆件内力和变形的阐述,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

II 第1版前言

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

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	(8)
§ 1-1 力的概念	(8)
§ 1-2 静力学基本原理	(9)
§ 1-3 力的分解与力的投影	(11)
§ 1-4 力矩	(12)
§ 1-5 力偶与力偶矩	(17)
思考题	(19)
习题	(19)
第二章 力系的简化	(23)
§ 2-1 力系的分类	(23)
§ 2-2 力的平移定理	(27)
§ 2-3 力系的简化	(28)
§ 2-4 重心、质心和形心	(38)
§ 2-5 平行分布力的简化	(43)
思考题	(46)
习题	(47)
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	(65)

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	(71)
	§ 4-4 静定与超静定问题·物体系统的平衡问题	(77)
	思考题	(83)
	习题	(84)
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	(126)

第二篇 运 动 学

第六章	点的运动与刚体的基本运动	(136)
	§ 6-1 自由度与广义坐标	(136)
	§ 6-2 点的运动	(137)
	§ 6-3 刚体的基本运动	(155)
	思考题	(165)
	习题	(168)
第七章	点的合成运动	(176)
	§ 7-1 合成运动的概念	(176)
	§ 7-2 点的速度合成	(178)
	§ 7-3 牵连运动为平移时点的加速度合成	(182)
	§ 7-4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成	(185)
	思考题	(192)
	习题	(193)
第八章	刚体的平面运动	(200)
	§ 8-1 刚体平面运动的运动方程	(200)
	§ 8-2 平面图形内各点的速度	(202)
	§ 8-3 平面图形内各点的加速度	(210)
	思考题	(214)

习题	(217)
----------	-------

第三篇 动力学

第九章 质点动力学	(226)
§ 9-1 牛顿运动定律·惯性坐标系	(226)
§ 9-2 质点运动微分方程	(228)
§ 9-3 质点在非惯性坐标系中的运动	(235)
思考题	(239)
习题	(240)
第十章 动量定理	(247)
§ 10-1 动量和冲量	(247)
§ 10-2 动量定理	(250)
§ 10-3 质心运动定理	(255)
思考题	(258)
习题	(259)
第十一章 动量矩定理	(266)
§ 11-1 质点系的动量矩	(266)
§ 11-2 质点系动量矩定理	(270)
§ 11-3 刚体定轴转动微分方程	(275)
§ 11-4 刚体平面运动微分方程	(278)
思考题	(281)
习题	(283)
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	(306)
§ 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	(324)
§ 13-1 惯性力的概念	(324)

§ 13-2 质点和质点系的达朗贝尔原理	(325)
§ 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	(352)
§ 14-1 约束和约束方程	(352)
§ 14-2 虚位移的概念与分析方法	(354)
§ 14-3 虚位移原理的表述	(356)
§ 14-4 以广义力表示的质点系平衡条件	(364)
§ 14-5 势力场中质点系的平衡及其稳定性	(368)
思考题	(374)
习题	(375)
第十五章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	(381)
§ 15-1 动力学普遍方程	(381)
§ 15-2 拉格朗日方程(第二类)	(385)
§ 15-3 拉格朗日方程的初积分	(390)
* § 15-4 哈密顿原理	(395)
思考题	(402)
习题	(403)

第五篇 动力学应用专题

第十六章 线性振动的基本理论	(408)
§ 16-1 单自由度系统的自由振动	(408)
§ 16-2 单自由度系统的受迫振动	(420)
§ 16-3 振动的隔离	(426)
§ 16-4 两个自由度系统的无阻尼自由振动	(427)
§ 16-5 两个自由度系统的无阻尼受迫振动	(437)
思考题	(442)
习题	(442)

第十七章 碰撞	(449)
§ 17-1 碰撞现象及其基本假设	(449)
§ 17-2 恢复因数	(450)
§ 17-3 研究碰撞的矢量力学方法	(451)
§ 17-4 碰撞中心	(458)
思考题	(460)
习题	(460)
附录 A 矢函数的导数	(465)
附录 B 转动惯量	(468)
参考文献	(477)
习题参考答案	(478)
索引	(501)
Synopsis	(506)
Contents	(507)
主编简介	

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运动速度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,对培养辩证唯物主义世界观,培养逻辑思维和分析问题、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,进行大量的科学实验,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。

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