



iCourse·教材

理论力学

主 编 李永强

副主编 张英杰

李永强 张英杰 李红影 池维超 编

高等教育出版社

Course·教材

理论力学

主 编 李永强

副主编 张英杰

李永强 张英杰 李红影 池维超 编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书主要参照教育部高等学校力学基础课程教学指导委员会制订的“理论力学课程教学基本要求（A类）”编写而成，与爱课程（中国大学MOOC）网上的东北大学理论力学MOOC（2017年国家精品在线开放课程首批认定课程）配套使用。本书率先将AR技术引入到理论力学课程的纸质教材中，通过动画、仿真模型的交互操作，使读者轻松学习理论力学。编写上注重基本概念与基本方法的阐述，并引入工程领域的实例及与工程相关的算例和习题，以培养学生的工程应用能力。

全书共14章，包括静力学（静力学的基本概念与公理、力系的简化、力系的平衡）、运动学（点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动、刚体的平面运动）和动力学（质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理、机械振动基础）。每章后有小结、思考题和习题。

本书可作为高等学校工科专业理论力学课程的教材，也可供相关爱好者自学。

图书在版编目（CIP）数据

理论力学 / 李永强主编；李永强等编. -- 北京：高等教育出版社，2018.3
ISBN 978-7-04-049099-2

I. ①理… II. ①李… 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(2017)第 313199 号

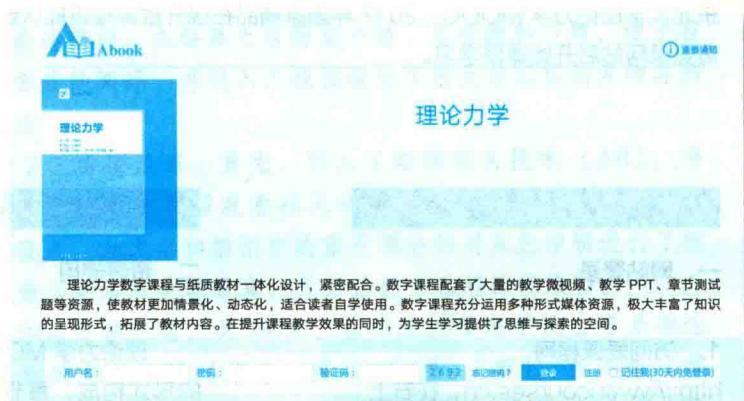
策划编辑	赵向东	责任编辑	赵向东	封面设计	王 洋	版式设计	马敬茹
插图绘制	于 博	责任校对	吕红颖	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	21.25		
字 数	470千字	版 次	2018年3月第1版
购书热线	010-58581118	印 次	2018年3月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	43.40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 49099-00

理论力学

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1254801>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



本书将 AR (增强现实) 技术与教材内容相结合, 只需三步, 即可实现增强现实技术带来的全新体验。

步骤一: 使用手机微信扫一扫, 点击手机屏幕右上角, 使用浏览器打开, 下载并安装“高教 AR”客户端, 客户端下载网址如下:



步骤二: 打开 APP, 允许 APP 调用手机摄像头, 选择《理论力学》教材下载配套资源。

步骤三: 将手机摄像头对准附有“”标志的教材插图进行识别, 动态资源即时呈现。

<http://abook.hep.com.cn/1254801>



扫描二维码

下载 Abook 应用

与本书配套的 理论力学 MOOC 使用说明

本书与爱课程（中国大学 MOOC）网上的
东北大学理论力学 MOOC（2017 年国家精品在线开放课程首批认定课程）配套使用，
请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问爱课程网

<http://www.icourses.cn>，在右上角点击“注册”，在注册页面输入邮箱、密码注册后，登录注册邮箱激活账号。已注册的用户直接输入邮箱和密码登录即可。

2. 希望通过“中国大 MOOC”平台加深课程理解的读者，可以通过以下方式进行学习：

- ①重新访问爱课程网，点击“中国大学 MOOC”栏目，在搜索栏中输入“理论力学”，找到东北大学开设的相应课程；
- ②进入课程后，点击“报名参加”或“立即参加”，开始课程学习。

二、资源使用

理论力学 MOOC 的课程资源按章、节知识树的形式构成，每节均配有微视频、教学 PPT、章节作业等内容。本书以下特定图标内容既可通过爱课程网学习使用，也可通过本书配套数字课程（网址见封底）学习使用：



1. 微视频：针对知识点的系统讲解，视频时长为 5 ~ 15 分钟，方便读者学习；



2. 教学 PPT：与微视频紧密配套的教学 PPT，可以下载使用，也可以供读者课前预习或课后复习使用；



3. 章节测试：针对章节讲解的随堂测验，可以有效测试读者对知识的掌握程度，提高学习效率。

前 言

理论力学作为高等学校本科相关专业的基础课程，是培养学生工程应用分析能力和科学研究素养的重要课程。本书主要参照教育部高等学校力学基础课程教学指导委员会制订的“理论力学课程教学基本要求（A类）”进行编写。在编写过程中力求做到理论严谨、逻辑清晰、由浅入深、论述简明。在每章之后附有小结、思考题和习题，便于自学。本书注重基本概念与基本方法的阐述，并引入工程领域的实例及与工程相关的算例和习题，以培养学生的工程应用能力。

本书编写过程中主要进行了三方面改革。首先，引入了增强现实技术（AR），书中带有“”图标插图，均可通过手机扫描观看相关动画资源；其次，为了便于读者自学，能够快速掌握章节的重点，对文字和插图中的重点部分利用双色印刷进行了标注，使重点更加突出；最后，为了使本书生动逼真，大部分插图采用三维绘制。

本书分为静力学、运动学和动力学三篇，共14章，由东北大学理学院力学系理论力学教研室编写，参加编写工作的有李永强（绪论、第4、5、6、7章），张英杰（第3、8、9、13、14章），李红影（第10、11、12章）和池维超（第1、2章）。全书由李永强统稿，担任主编，张英杰任副主编。

本书的全部插图原稿由程皖东、王世雄、杨洪朋三位本科生绘制，其中王世雄、杨洪朋负责三维图形制作，程皖东负责二维图形制作。

本书的出版得到了东北大学“百种优质教材建设”项目的资助和东北大学理学院力学系全体教师的全力支持，谨致谢意。

浙江大学庄表中教授仔细审阅了本书，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。书中利用AR技术进行辅助教学，对我们来说，尚属首次，难免有不足之处，但其内容可以随时进行修改，欢迎读者提出宝贵意见和建议（yqli@mail.neu.edu.cn），在此致谢。

编者

2017年10月于沈阳

目 录

绪论	1
第一篇 静力学	
引言	5
第一章 静力学的基本概念与公理	7
§ 1-1 静力学的基本概念	7
§ 1-2 静力学公理	7
§ 1-3 约束与约束力	10
§ 1-4 受力分析和受力图	14
小结	17
思考题	17
习题	18
第二章 力系的简化	21
§ 2-1 汇交力系的简化	21
§ 2-2 力对点之矩与力对轴之矩	24
§ 2-3 力偶理论	27
§ 2-4 任意力系向某点的简化	30
§ 2-5 平行力系的中心与重心	36
小结	39
思考题	40
习题	41
第三章 力系的平衡	45
§ 3-1 汇交力系的平衡条件和平衡方程	45
§ 3-2 力偶系的平衡条件和平衡方程	48
§ 3-3 任意力系的平衡条件和平衡方程	51
§ 3-4 物体系的平衡 静定与静不定	57
§ 3-5 平面简单桁架的内力计算	64
§ 3-6 考虑摩擦时的平衡问题	68
小结	81
思考题	82
习题	85

第二篇 运动学

引言	97
第四章 点的运动学	99
§ 4-1 描述点运动的矢量法	99
§ 4-2 描述点运动的直角坐标法	100
§ 4-3 描述点运动的自然法	103
小结	108
思考题	108
习题	109
第五章 刚体的简单运动	112
§ 5-1 刚体的平行移动	112
§ 5-2 刚体的定轴转动	113
§ 5-3 定轴轮系的传动比	118
§ 5-4 点的速度和加速度的矢积表示	120
小结	123
思考题	123
习题	123
第六章 点的合成运动	127
§ 6-1 点的合成运动概念	127
§ 6-2 点的速度合成定理	135
§ 6-3 点的加速度合成定理	139
小结	142
思考题	143
习题	143
第七章 刚体的平面运动	146
§ 7-1 刚体平面运动概述	146
§ 7-2 平面图形内各点速度的求解	148
§ 7-3 用基点法求平面图形内各点的加速度	153
§ 7-4 运动学综合问题分析	156
小结	161
思考题	162
习题	163

第三篇 动力学

引言	169
第八章 质点动力学基本方程	171

§ 8-1 动力学基本定律	171
§ 8-2 质点的运动微分方程	173
§ 8-3 质点动力学的基本问题	173
小结	178
思考题	178
习题	179
第九章 动量定理	183
§ 9-1 动量与冲量	183
§ 9-2 动量定理	186
§ 9-3 质心运动定理	190
小结	193
思考题	194
习题	194
第十章 动量矩定理	198
§ 10-1 动量矩	198
§ 10-2 动量矩定理	199
§ 10-3 刚体的定轴转动微分方程	203
§ 10-4 刚体对轴的转动惯量	205
§ 10-5 质点系相对于质心的动量矩定理	209
§ 10-6 刚体平面运动微分方程	211
小结	213
思考题	215
习题	215
第十一章 动能定理	220
§ 11-1 力的功	220
§ 11-2 动能	225
§ 11-3 动能定理	227
§ 11-4 功率、功率方程和机械效率	231
§ 11-5 势力场、势能和机械能守恒定律	232
§ 11-6 动力学普遍定理的综合应用	235
小结	238
思考题	240
习题	241
第十二章 达朗贝尔原理	249
§ 12-1 质点的达朗贝尔原理 惯性力	249
§ 12-2 质点系的达朗贝尔原理	250
§ 12-3 刚体惯性力系的简化	251
§ 12-4 定轴转动刚体的轴承约束力	257
小结	259

思考题	259
习题	260
第十三章 虚位移原理	264
§ 13-1 约束 自由度与广义坐标	264
§ 13-2 虚位移原理	267
§ 13-3 以广义坐标表示的质点系平衡条件	273
小结	277
思考题	278
习题	278
第十四章 机械振动基础	283
§ 14-1 单自由度系统的自由振动	284
§ 14-2 单自由度系统的有阻尼自由振动	291
§ 14-3 单自由度系统的受迫振动	295
§ 14-4 减振与隔振	304
小结	306
思考题	308
习题	309
参考文献	313
习题答案	314
主编简介	

绪 论

§ 0-1 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一门科学。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间变化的过程。机械运动是自然界和工程技术中最为常见的一种运动。物体的平衡是机械运动的特殊情况，理论力学也研究物体的平衡问题。

理论力学研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础，属于古典力学的范畴。由于近代物理学的重大发展，人们发现，许多力学现象不能用古典力学加以解释。对于速度接近于光速的物体以及微观粒子的运动，则需要用相对论和量子力学的观点才能合理解释。这说明了古典力学的局限性。但是，对于速度远小于光速的宏观物体的运动，古典力学具有足够的精确性。同时，在古典力学基础上诞生的各种近代力学也正在迅速发展。因此，无论是在现代科学技术的研究，还是大量的工程实际问题 and 日常生活中，理论力学都具有非常重要的作用。

 微视频

绪论

 教学 PPT

绪论

§ 0-2 理论力学的任务及其研究内容

理论力学是一门理论性较强的课程。学习本课程的任务是：一方面，学会运用力学基本知识直接解决工程实际问题；另一方面，为学习一系列后续课程打下重要的理论基础，如材料力学、结构力学、弹塑性力学、流体力学、机械原理、机械零件、飞行力学、振动理论、断裂力学及许多专业课程等，都要以理论力学为基础。

本课程的内容包括以下三部分：

静力学——研究物体的平衡规律，同时也研究力的一般性质及其合成法则；

运动学——研究物体运动的几何性质，而不考虑物体运动的原因；

动力学——研究受力物体的运动变化与作用力之间的关系。

§ 0-3 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。理论力学的研究方法符合辩证唯物主义认识论的实践、认识、再实践的循环发展过程。

观察和实验是理论发展的基础。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，总结出力学的公理和最基本的概念和定律。如力、力矩、加速度等概念，动力学三大定律等，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。

通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的，当我们在实践中获得大量资料之后，必须根据所研究问题的性质，抓住主要的、起决定性作用的因素，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，在研究物体机械运动时，忽略物体的变形，就得到刚体的模型；在另一些问题中，忽略物体的大小和形状，就得到质点的模型等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体来看待，主要取决于所讨论问题的性质，而不是取决于物体本身的大小和形状。例如机器上的零件，尽管尺寸不大，但是当要研究它的运动时，就必须将其视为刚体。一列火车虽然很长，但当我们考察其沿铁路运行的距离、速度和加速度时，却可以作为一个质点来看待。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。例如当研究地球绕太阳公转的运行规律时，可以将地球看作质点，而当考察地球的自转时，却必须将地球看作刚体。

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，得出正确的具有理论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。

数学方法在理论力学的发展中起了重要的作用。随着计算机技术的发展和普及，计算机不仅能完成力学问题中大量繁杂的数值计算，而且在逻辑推理、公式推导等方面也是极有效的工具。

从实践中得到理论，再将理论运用于实践，以此来解释世界、改造世界，并使理论不断得到验证和发展，理论力学便不断趋于完善。

§ 0-4 力学的发展简史

力学知识最早起源于对自然现象的观察和在生产劳动中总结的经验。人们在建筑、灌溉等劳动中使用杠杆、斜面、汲水器具，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做了系统研究，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。古代人们还从对日、月运行的观察和弓箭、车轮等的使用中了解到一些简单的运动规律，如匀速的移动和转动。但是对力和运动之间的关系，则是在欧洲文艺复兴时期以后才逐渐有了正确的认识。伽

利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,提出加速度的概念。牛顿继承和发展了前人的研究成果,提出了物体运动三定律。伽利略、牛顿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。此后,力学的进展在于它所考虑的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和拉格朗日建立的分析力学。欧拉又进一步把牛顿运动定律推广,用于刚体和理想流体的运动方程。欧拉建立理想流体的力学方程可看作是连续介质力学的创举。在此以前,有关固体的弹性、流体的黏性、气体的可压缩性等物质属性方程已经陆续建立。运动定律和物性定律这两者的结合,促使弹性固体力学基本理论和黏性流体力学基本理论孪生于世,在这方面做出贡献的是纳维、柯西、泊松、斯托克斯等人。弹性力学和流体力学基本方程的建立,使得力学逐渐脱离物理学而成为独立学科。另一方面,从拉格朗日分析力学基础上发展起来的哈密顿体系,继续在物理学中起作用。从牛顿到哈密顿的理论体系组成了物理学中的经典力学或牛顿力学。弹性和流体基本方程建立后,所给出的方程一时难以求解,工程技术中许多应用力学问题还须依靠经验或半经验的方法解决,这使得 19 世纪后半叶在材料力学、结构力学同弹性力学之间,水力学和水动力学之间一直存在着风格上的显著差别。直到 20 世纪初,在流体力学和固体力学中,实际应用同数学理论开始结合,此后力学便蓬勃发展起来,出现了许多新的理论,同时也解决了工程技术中大量的关键性问题,如航空工程中的声障问题和航天工程中的热障问题。将理论和实际密切结合的力学先导者是普朗特和冯·卡门。他们在力学研究工作中善于从复杂的现象中洞察事物本质,又能寻找到解决问题的数学途径,逐渐形成一套特有的方法。从 20 世纪 60 年代起,计算机应用渐广,力学无论在应用上或理论上都有了新的进展。

力学在我国的发展经历了一个特殊过程。与古希腊几乎同时,我国古代对平衡和简单的运动形式就已具备了相当水平的力学知识,所不同的是,未建立起像阿基米德那样的理论系统。在文艺复兴前的约一千年时间内,整个欧洲的科学技术进展缓慢,而我国科学技术的综合性成果显著,其中有些在当时居于世界领先地位。这些成果反映出丰富的力学知识,但终未形成系统的力学理论。到明末清初,我国科学技术已显著落后于欧洲。经过曲折的过程,到 19 世纪中叶,牛顿力学才由欧洲传入我国。以后,我国力学的发展便随同世界潮流前进。

引言

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

平衡，是指物体相对于惯性参考系（如地面）保持静止或做匀速直线运动。平衡是机械运动的特殊形式，是相对于特定参考系而言的。在工程实际中，通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系来研究物体相对于地球的平衡问题，其分析计算的结果具有足够的精确度，也能较好地与实际情况相吻合。

理论力学中研究的物体在力的作用下，其内部任意两点间的距离始终保持不变。这样的物体叫作**刚体**。刚体是对实际受力物体的抽象，是一种理想化的力学模型。实际的物体在力的作用下，都会产生不同程度的变形。但是，如果物体的变形很小，且不影响所研究问题的结果，就可忽略变形，把物体视为刚体。在静力学中，所研究的物体仅限于刚体，故又称为刚体静力学。

静力学既是理论力学中动力学部分的基础，也是研究变形体力学（如材料力学、结构力学等）的基础。例如在研究复杂机械结构的动力学特性时，需要使用静力学原理分析物体及各部件的受力情况，将复杂力系进行等效简化，得出部件之间的受力关系，从而进一步分析结构的受力与运动的关系。材料力学中，研究受力物体的应力、变形以及强度问题时，构件约束力和内力的求取也都要应用静力平衡理论。

本篇主要围绕解决静力学的三类基本问题展开。首先介绍物体的受力分析，即分析物体或物体系所受力的数量、位置 and 方向；其次介绍力系的简化，即使用一个简单力系等效替换一个复杂力系；最后介绍力系的平衡，即物体系处于平衡时，作用于物体上的力系应满足的条件及其应用。



微视频

静力学引言



教学 PPT

静力学引言

第一章 静力学的基本概念与公理

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究力系简化和平衡的基础。本章将介绍静力学的基本概念及静力学公理，对工程中常见的约束和约束力进行分析，最后介绍物体的受力分析方法及受力图的画法。

§ 1-1 静力学的基本概念

力，是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体变形。

力系，是指作用于物体上的一群力。

力按照物体接触与否可分为两类：一类是接触作用，例如物体之间的挤压力、摩擦力等；另一类是“场”对物体的作用，例如地球引力场对物体的引力、电场对电荷的引力或斥力等。各种物体间相互作用力的来源和性质不尽相同，但在理论力学中只研究力对物体产生的效应。

实践表明，力对物体的作用效果取决于力的三要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。因为力具有大小和方向，同时力的运算又满足矢量运算法则，所以用一个矢量来表示力，本书中用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，而用白体字母 F 表示矢量的模，即力的大小。在国际单位制中，力的单位是“牛顿”，记作 N；或“千牛顿”，记作 kN。

§ 1-2 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结，又经过实践反复检验，被确认为是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。静力学公理是静力学的理论基础，静力学的全部推论都可由静力学公理通过数学论证推导出来。

公理 1 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力（如图 1-1 中 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ ）使刚体保持平衡的充分必要条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一条直线上。

公理 1 总结了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。需要指出的是，此公理只适用于刚体，对于变形体而言，

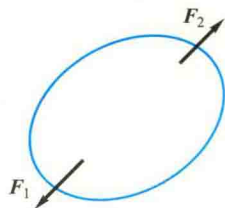


图 1-1

微视频

1-1

静力学公理

教学 PPT

1-1

静力学公理