



全国高等农林院校“十一五”规划教材

理论力学

张本华 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

理 论 力 学

张本华 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学/张本华主编. —北京: 中国农业出版社,
2007. 8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11879-9

I. 理… II. 张… III. 理论力学-高等学校-教材
IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113001 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 郭元建

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 720 mm×960 mm 1/16 印张: 18. 75

字数: 333 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材根据高等农业院校学生特点,注重内容的编排和素材的选取。着眼于理论的应用与工程实际问题的解决,尽量减少理论的推导,尽量避开就题论题。例题、思考题和习题精选了工程和生活实际问题,突出了实用性和趣味性。在内容的选取上较好地处理了与大学物理的衔接问题,做到了既有联系、又不重复。全书理论体系清晰,层次分明、重点突出、难点分散。在例题的分析中,做到举一反三,既阐明了解题的思路和步骤,又有较好的教学适用性。全书共分三篇,有 15 章,除了经典内容外,还对计算机技术在理论力学中的应用进行了简要介绍。

本教材可作为高等院校工科类专业理论力学课程的教材和教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

编写人员名单

主 编 张本华 (沈阳农业大学)

副主编 严慕容 (华南农业大学)

何予鹏 (河南农业大学)

编 者 (以姓氏笔画为序)

严慕容 (华南农业大学)

何予鹏 (河南农业大学)

何忠祥 (安徽农业大学)

张本华 (沈阳农业大学)

张洪海 (云南农业大学)

张锋伟 (甘肃农业大学)

崔玉洁 (沈阳农业大学)

崔红光 (沈阳农业大学)

主 审 张洪霞 (黑龙江八一农垦大学)

前 言

理论力学是高等院校理工科类专业一门必修的专业基础课，重点讲授物体机械运动的一般规律及其在工程中的实际应用问题。其中的概念、理论和方法既可以直接用于解决现代科技问题，又是其他专业课程的基础。

随着教学改革的不深入，为了适应对大学生素质拓展的需要，针对农业院校中工科类大学生的特点，在编写过程中重点考虑了以下几方面问题：

1. 保留了国内外经过多年教学经验证明的最为科学的理论力学教学体系，即“静力学—运动学—动力学—分析力学基础”。

2. 重点讲解基本概念、理论及方法的同时，着眼于工程和生活实际问题的解决。通过这些问题的提出，培养学生的逻辑思维能力和利用所学知识解决实际问题的能力。

3. 不追求冗长的公式推导和繁琐的数学运算。

4. 以二维平面问题为重点，同时兼顾空间问题。

5. 删繁就简，又不失完整的理论体系。正确定位理论力学在工科类教学课程中的地位，在不破坏课程的系统性和完整性的前提下，精简了一些与其他先修课程重复的部分内容。

本书编委由沈阳农业大学、华南农业大学、河南农业大学、安徽农业大学、云南农业大学、甘肃农业大学和黑龙江八一农垦大学等学校的理论力学一线教师组成。编写具体分工是：绪论、第一章、

第二章、第十章和第十一章由张本华完成，第三章和第十五章由何忠祥完成，第四章由张洪海完成，第五章和第七章由何予鹏完成，第六章由崔红光完成，第八章由崔玉洁完成，第九章和第十二章由严慕容完成，第十三章和第十四章由张锋伟完成。全书由张本华负责统稿，并对全书的插图进行了绘制或修改。张洪霞完成了书稿的审阅工作，并提出了许多宝贵意见。全书参考了许多国内外专家的著作和论文，未能一一列出，在此一并表示感谢。

限于编者水平有限，加之时间仓促，书中的错误和疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
第一篇 静力学	5
第一章 物体的受力分析	6
§ 1—1 基本概念	6
§ 1—2 静力学公理	8
§ 1—3 约束和约束反力	11
§ 1—4 物体的受力分析和受力图	14
思考题	18
习题	19
第二章 平面汇交力系与平面力偶系	22
§ 2—1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	22
§ 2—2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	24
§ 2—3 平面力对点之矩的概念及计算	29
§ 2—4 平面力偶理论	30
思考题	33
习题	34
第三章 平面一般力系	37
§ 3—1 平面一般力系向作用面内一点简化	37
§ 3—2 平面一般力系的简化结果分析	40
§ 3—3 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	42
§ 3—4 平面平行力系的平衡方程	46
§ 3—5 物体系的平衡	48
§ 3—6 考虑摩擦时物体的平衡问题	56
思考题	65
习题	67

第四章 空间力系	75
§ 4—1 空间力系的简化	75
§ 4—2 空间力系的平衡方程及应用	81
思考题	85
习题	86
第二篇 运动学	89
第五章 点的运动学	90
§ 5—1 点的运动方程	90
§ 5—2 点的速度和加速度	92
思考题	97
习题	97
第六章 刚体的简单运动	99
§ 6—1 刚体的平行移动	99
§ 6—2 刚体绕定轴的转动	100
§ 6—3 转动刚体内各点的速度和加速度	101
思考题	105
习题	105
第七章 点的复合运动	108
§ 7—1 基本概念	108
§ 7—2 速度合成定理	110
§ 7—3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	114
§ 7—4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	118
思考题	122
习题	122
第八章 刚体的平面运动	126
§ 8—1 基本概念	126
§ 8—2 平面图形内各点的速度分析	128
§ 8—3 平面图形内各点的加速度分析	137
思考题	141
习题	143
第三篇 动力学	147
第九章 质点动力学的基本方程	148

§ 9—1 基本概念与牛顿运动定律	148
§ 9—2 质点的运动微分方程	149
§ 9—3 质点动力学的两类基本问题	150
思考题	155
习题	156
第十章 动量定理	158
§ 10—1 基本概念	158
§ 10—2 动量定理	160
§ 10—3 质心运动定理	165
思考题	169
习题	170
第十一章 动量矩定理	173
§ 11—1 基本概念	173
§ 11—2 动量矩定理	174
§ 11—3 刚体绕定轴转动微分方程	179
§ 11—4 刚体对轴的转动惯量	181
§ 11—5 质点系相对质心的动量矩定理	187
§ 11—6 刚体平面运动微分方程	189
思考题	192
习题	193
第十二章 动能定理	197
§ 12—1 基本概念	197
§ 12—2 动能定理	207
§ 12—3 机械能守恒定律	214
§ 12—4 动力学普遍定理的综合应用举例	216
思考题	220
习题	222
第十三章 动静法	227
§ 13—1 基本概念	227
§ 13—2 达朗贝尔原理	229
§ 13—3 刚体惯性力系的简化	234
§ 13—4 刚体绕定轴转动刚体的轴承动约束力	241
思考题	247
习题	249

第十四章 虚位移原理	252
§ 14—1 约束、虚位移、虚功	252
§ 14—2 虚位移原理	257
思考题	264
习题	265
第十五章 典型理论力学问题计算机求解	269
§ 15—1 力系的简化与物体系统的平衡问题	269
§ 15—2 平面机构的运动学分析	274
习题	278
习题参考答案	280
主要参考文献	288

绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。具体地说就是研究力与机械运动改变之间的关系。

所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。物体的运动有各种各样，表现为位置的变动、发光、发热、电磁现象、化学过程，还包括人们头脑中的思维活动等不同的运动形式。机械运动是物质运动中最简单、最初级的一种形式，人们在生产和生活中经常遇到。例如：各种交通工具的运行、机器的运转、大气和河水的流动、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。物体的平衡（例如相对于地球静止或匀速直线运动）是机械运动的特殊情况，因此理论力学也研究物体的平衡规律。由于物体之间相互的机械作用，即力的作用，使物体的运动状态发生改变。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础。研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动，属于古典力学的范畴。19 世纪后半期，由于近代物理的发展，发现许多力学现象不能用古典力学的定律来解释，因而产生了研究高速（接近光速）物质运动规律的相对论力学和研究微观粒子运动规律的量子力学。在这些新的研究领域内，古典力学内容已不再适用。但在研究低速（远小于光速）、宏观物体的运动，特别是一般工程上的力学问题时，古典力学的结果就足够精确。目前，在古典力学基础上诞生的各个新的力学分支正在迅速地发展。

本课程内容分为静力学、运动学和动力学三部分。

静力学：研究物体在力作用下的平衡规律即物体平衡时作用力所应满足的条件，同时也研究力的一般性质及其力系的简化方法。

运动学：从几何学的角度来研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），不研究引起运动的物理原因。

动力学：研究作用于物体上的力与其运动变化之间的关系。

二、理论力学的研究方法

力学是最古老的科学之一，它的产生和发展的过程就是人类对于物体运动认识的深化过程。而这种认识是通过长期的生产实践和无数次的科学实验而形成的。经过无数次“实践—理论—实验”的循环反复过程。认识不断提高和深化，逐步总结和归纳出物体机械运动的一般规律。

(1) 观察和实验是理论力学发展的基础 在力学的萌芽时期，人类通过从事建筑和农业等劳动，以及对自然现象的直接观察，建立了力的概念，并得出杠杆原理等一些力学的规律。实验是力学研究的重要一环，理论力学中的摩擦定律和惯性定律等都是直接建立在实验基础上的。从近代力学的研究和发展来看，实验更是重要的研究方法之一。

(2) 在观察和实验的基础上，经过抽象化建立力学模型，上升到理论 由于人们所观察到的素材复杂多样，一时不易认识它的本质。所以，必须从这些复杂的现象中，抓住主要的因素，撇开次要的、局部的、偶然的因素，才能深入到现象的本质，理解事物的内在联系，这就是抽象的过程。通过抽象，把所研究的对象简化为理想模型。例如，在研究物体的机械运动时，略去了物体的变形，就得到了刚体的模型；略去了物体的几何尺寸，就得到了质点的概念。正确的抽象，不仅简化了所研究的问题，而且更深刻地接近了实际。如果客观条件改变了，事物的内在矛盾就会转化。这时，就需要引入新的主要因素，建立新的模型，使它更接近于实际。

通过抽象，进一步把人类长期以来从直接观察、实验，以及生产活动中得来的经验与认识到的个别特殊规律加以分析、综合、归纳，找出事物的普遍规律，从而建立起一些最基本的普遍定律作为本学科的理论基础。

(3) 根据基本理论，进行数学演绎推理，得出各种形式的定理和结论 在理论力学中，广泛地利用数学这一有利工具。数学不仅应用在逻辑推理方面，而且还运用于量的计算方面。力学现象之间的关系是通过数量来表示的，计算技术对力学的应用和发展有着巨大的作用。近代计算机的发展和普及，不仅能完成力学问题中大量而繁杂的数值计算，而且在逻辑推演、公式推导等方面也是非常有效的工具。当然，数学不能脱离具体的研究对象，只有将数学运算与力学现象的物理本质紧密地联系起来，才能得出符合实际的正确结论。而这些结论还必须回到实践中接受实践的检验，只有当理论正确地反映了客观实际时，才能确定这个理论正确与否。

三、学习理论力学的意义

(1) 理论力学是解决工程实际问题的重要基础理论 有些工程问题可以直接应用理论力学的一些定理和结论去解决, 有些则需要用理论力学与其他专业知识共同来解决。因此学习理论力学可以为解决工程问题打下一定的基础。

(2) 学习理论力学是为学习一系列后续课程打基础 例如, 材料力学、结构力学、弹性力学、水利学、机械原理(含振动理论)等课程, 都要以理论力学为基础。在很多专业课程中, 也不同程度地用到理论力学的知识。

(3) 理论力学的分析和研究方法具有一定的典型性 学生在学习过程中, 逐步形成正确的逻辑、思维, 以及对待实际问题具有抽象、简化和正确进行理论分析的能力。因此, 本课程有助于培养学生辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力。

四、理论力学的学习方法

(1) 正确地理解并能灵活应用课程中所涉及的基本概念、公理、定律、定理和结论。

(2) 对所学的基本理论及解题方法进行恰当的分类 如对杆、轮的动力学问题应分别采用什么样的方法来解决, 各需要什么样的运动学补充方程, 一个自由度及两个自由度的动力学问题一般采用什么方法求解更容易一些, 等等。即善于将学过的知识、掌握的解题方法进行归纳、总结, 举一反三, 找出一些规律性的东西。

(3) 解题是理论力学学习中的一个重要的环节 只有通过必要的、相当数量的解题训练, 才会深刻地理解理论、概念、公式及定理的细节和实际运用的灵活技巧, 并从中发现学习中存在的问题。解题时特别应注意的问题是: 严格按例题的解题步骤和要求认真做题, 一个受力图、速度矢量图或加速度矢量图的正确与否直接影响结果的正确性。

(4) 学习新知识, 复习学过的内容 理论力学课程学习周期长、课时多, 不能学了后面的, 忘了前面的。静力学、运动学是动力学的学习基础, 其受力分析方法、力系简化方法及一系列的运动学关系经常被应用于动力学的解题过程。只有经常不断地复习前面的知识, 才能适时地、正确地将其用于动力学的学习中。

五、理论力学的发展史

(1) 理论力学的萌芽 理论力学基础建立时期早在 (公元前 287—212) 古希腊阿基米德著的《论比重》就奠定了静力学基础, 我国的墨翟 (公元前 468—382) 所著的《墨经》是最早记述有关力学理论的著作。意大利的达·芬奇 (1452—1519) 研究了滑动摩擦、平衡、力矩。波兰的哥白尼 (1473—1543) 创立宇宙“日心说”。德国的开普勒 (1571—1630) 提出行星运动三定律。意大利的伽利略 (1564—1642) 提出自由落体规律、惯性定律及加速度的概念。英国伟大科学家牛顿 (1643—1727) 在 1687 年版的《自然哲学的数学原理》一书中提出动力学的三个基本定律、万有引力定律、天体力学等, 是力学奠基人。

(2) 理论力学的发展期 瑞士的数学家伯努利 (1667—1748) 1717 年提出虚位移原理。瑞士的数学力学家欧拉 (1707—1783) 的著作《力学》提出了用微分方程表示的分析方法解决质点运动的问题, 并发展了摩擦、刚体运动等方面的研究。1743 年法国科学家达朗贝尔 (1717—1785) 在名著《动力学专论》中提出达朗贝尔原理。法国拉格朗日 (1736—1813) 在分析力学上获得了辉煌的成绩, 他把虚位移和达朗贝尔原理结合起来, 提出第二类拉格朗日方程。英国数学物理学家哈密顿 (1805—1865) 提出哈密顿原理。

(3) 理论力学的现代问题 物理学家爱因斯坦 (1879—1955) 创立了相对论力学, 为力学学科的发展做出了划时代的贡献。力学学科极其广泛地与数学、物理、化学、天文、地理、生物等基础学科和几乎所有的工程学科相交叉、渗透, 形成了大量的新兴交叉学科, 使力学学科保持着旺盛的生命力。近年来在分析力学、运动稳定性理论、非线性振动、陀螺理论等方面有了很大的发展。我国力学家如钱学森、周培源、钱伟长等也做出了突出贡献。美国近年来研制出的 10 倍音速的飞机就是根据钱学森在上个世纪 50 年代提出的理论研发的。

第一篇 静力学

静力学主要研究三方面问题：

(1) 物体的受力分析 即分析物体共受多少力，每个力的大小、方向和作用点位置，以便对所研究的力系作初步了解。

(2) 力系的简化 力系就是作用在一个物体上的一群力。力系的简化的目的是抓住不同力系的共同本质，明确力系对物体作用的总效果。

所谓力系的简化，就是将作用在物体上的一个复杂力系用一个最简单的和它等效的力系来代替。这个最简单的和它等效的力系的作用效果就是力系的总的作用效果，它确定了物体的运动状态的改变量。例如正在田间工作的农具，它受到牵引力、土壤阻力、重力等力的作用，这些力分别作用在农具的各处，每个力都影响农具的运动。要了解农具的运动规律，就必须了解这些力的总作用效果。这就需要将这此力组成的力系加以简化，然后才能进一步确定农具的运动规律。由于平衡是运动的特殊情况，因此研究力系的简化还可以导出力系的平衡条件。所以，不论研究物体的哪一种运动状态，平衡与否，都必须从力系的简化开始。

(3) 建立力系的平衡条件 即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

在工程实际中存在着大量的静力学问题，例如，当对各种工程结构的构件（如梁、桥墩、屋架等）进行设计时，须用静力学理论进行受力和计算；机械工程设计时，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；对于运转速度缓慢或速度变化不大的构件的受力分析通常都可简化为平衡问题来处理。另外，静力学中力系的简化理论与物体的受力分析方法可直接应用于动力学和其他学科，而且动力学问题还可从形式上变换成平衡问题，从而应用静力学理论求解。因此，静力学在工程中有着广泛的应用，在力学理论中占有重要的地位。

第一章 物体的受力分析

【内容提要】本章包括静力学基本概念、公理及物体的受力分析等基本内容。静力学公理是整个静力学理论的基础，对物体进行受力分析则是理论力学中的重要基本技能。

§ 1—1 基本概念

1. 力的概念

力的概念是广大劳动人民在日常生活和长期的生产斗争实践中建立起来的。最初，人们对力的认识是由推、提、拉、搬等活动中感到肌肉紧张而得来。例如，用手推动小车、提起重物、拉长弹簧等，肌肉就会感到紧张。这时，我们就说人对小车、重物和弹簧作用了力，使小车和重物改变了运动状态或使弹簧改变了形状。后来人们又通过实践，进一步认识到，不仅人对物体能产生力的作用，而且物体对物体也能产生力的作用。例如物体自由下落时越来越快，这是因为物体受到地球的吸引力；拖拉机牵引犁前进，是拖拉机的牵引力使犁的运动状态发生变化；气缸内静止的活塞开始运动，是燃烧气体的压力使活塞运动状态发生了变化；气锤锻压工件，是气锤的锻压力使工件的形状发生了变化。

将以上的实例概括起来，加以抽象，可以得出力的概念：力是物体与物体之间的相互机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化或者使物体产生变形。理论力学不探究力的物理来源，而仅研究力的表现。力对物体产生两方面的效应，一是使物体的运动状态发生改变（称为外效应），一是使物体产生变形（称为内效应）。理论力学主要是研究物体机械运动的一般规律，所以着重考虑力的外效应；而材料力学则着重研究力的内效应。

实践表明，力对物体的作用效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。所以力是矢量，而且是定位矢量。

在作图时，我们可用一个矢量表示力的三要素，如图 1-1 所示。该矢量的长度（AB）按一定比例表示力的大小。矢量线的方位和箭头的指向表示力的方向，矢量的始端（点 A）或终端（点 B）表示力的作用点。