



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

理论力学 (I)

第2版

蔡泰信 和兴锁 朱西平 编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
理论力学国家精品课程

理论力学(I)

第 2 版

蔡泰信 和兴锁 朱西平 编著
顾致平 贾振波 主审



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书分为两册。第Ⅰ册包括静力学、运动学、动力学的基本内容；第Ⅱ册为动力学的专题部分，可供不同专业选用。

本书的体系完整，推理严谨，叙述恰当，详简适度，理论联系实际，具有通用性。书中相应知识点处附有思考题，便于学生深入理解并拓展所学知识。章末附有知识结构框图，便于学生系统总结所学知识。章后附有习题和答案，为配合本书的教学，配套编有理论力学电子教案和辅助教材，便于教学和自学。

本书可作为高等学校工科各专业的理论力学教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学(Ⅰ)/蔡泰信,和兴锁,朱西平编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2007.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-14409-0

I. 理… II. ①蔡…②和…③朱… 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046722号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:季顺利 责任校对:陈延翔

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年5月第2版第1次印刷

169mm×239mm·13印张·503千字

标准书号:ISBN 978-7-111-14409-0

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话(010)68326294

本社购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线(010)88379729

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书被评选为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”后，我们对它进行了如下修改。本版采用了 GB 3102.1~8—1993 国家规定的物理量名称及符号，对全书的内容和文句进行了适当的增减和修改，还更换了少数例题和部分习题，同时也更正了第1版的错误和个别疏漏之处，使本书更加完善和适应教学需要。

为了便于教师教学和学生学学习，配合本书还编有理论力学电子教案和辅助教材(理论力学解题和应试指南)，供读者选用。

本书的编写和修订工作由蔡泰信教授、和兴锁教授完成，电子教案由朱西平教授设计和制作。全书由蔡泰信教授统稿。

本书由顾致平教授和贾振波教授审阅，在此对他们提出的宝贵意见表示感谢。

本书虽经修订，难免还有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

作者

2007年1月

第 1 版前言

本书是根据教育部理论力学课程教学基本要求，应机械工业出版社的约请，在西北工业大学理论力学课程教学实践和历年来编写出版的理论力学教材的基础上进行编写的。

为了适应 21 世纪本课程的教学需要，我们认真分析和研究了国内外教材的特点，充分利用学生已有的数学和物理学知识，适当提高了教材的起点，部分地改变了本课程原有的体系。力求保持本课程体系的完整性，定理证明和逻辑推理的严谨性；力求思路清晰、叙述恰当、详简适度、富有启发性；注重培养读者分析问题和解决问题的能力，坚持理论联系实际和加强了各专业的通用性。因此，本书既适用于课堂教学，又便于自学。

本书分为两册。第 I 册包括静力学、运动学和动力学的基本内容，一般中、小学时专业只用第 I 册即可。第 II 册为动力学的专题部分，它包括碰撞、虚位移原理、动力学普遍方程、拉格朗日方程、二自由度系统的振动和刚体动力学等专题，各专业可根据需要选用。全书每章穿插有思考题，每章末附有知识结构框图和习题，书末附有习题答案和中英文名词对照表。引伸和加选内容用“*”号标出。

本书可作为高等学校工科各专业的理论力学教材，也可供有关工程技术人员参考。

全书由蔡泰信、和兴锁教授编著，贾振波教授审阅。在编写过程中，曾参阅了兄弟院校的有关教材、专著和文献，并得到许多教师和机械工业出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

作 者

2003 年 8 月

主要符号表

a 加速度	G 重力
a_c 质心加速度	g 自由落体加速度
a_n 法向加速度	h 高度
a_t 切向加速度	i, j, k 沿正交轴 x, y, z 的单位矢量
a_a 绝对加速度	I 冲量
a_r 相对加速度	J_x, J_y, J_z 刚体对轴 x, y, z 的转动惯量
a_e 牵连加速度	J_{xy} 刚体对轴 x 和 y 的惯性积
a_c 科氏加速度	J_{yz} 刚体对轴 y 和 z 的惯性积
a_{At} 点 A 的切向加速度	J_{zx} 刚体对轴 z 和 x 的惯性积
a_{An} 点 A 的法向加速度	k 弹簧的刚度系数, 曲率
a_{M0}^t 动点 M 绕基点 O 相对转动的切向加速度	L 拉格朗日函数
a_{M0}^n 动点 M 绕基点 O 相对转动的法向加速度	L_O 质点系对点 O 的动量矩
A 自由振动的振幅, 面积	m 质点的质量
C 重心, 速度瞬心	m_R 质点系的质量
dr 实位移	M 力偶矩矢
$d'W$ 元功	M_R 合力偶矩矢
e 碰撞恢复因数	M_O 力系对点 O 的主矩
F 作用力	$M_z(F)$ 力 F 对轴 z 的矩
F_x, F_y, F_z 力 F 在轴 x, y, z 上的投影	$M_O(F)$ 力 F 对点 O 的矩
F_R 力系的合力	M_{10} 惯性力系对点 O 的主矩
F'_R 力系的主矢	$M_O(mv)$ 质点的动量 mv 对点 O 的动量矩
F_s 静滑动摩擦力	n 质点的数目
F_N 法向约束力	O 坐标系原点
F_T 绳的拉力	p 动量
F_I 惯性力	P 功率
F_{ic} 牵连惯性力	Q 广义力
F_{ic} 科氏惯性力	Q_j 对应于第 j 个广义坐标的广义力
F_Φ 附加推力或反推力	q 载荷集度, 广义坐标
F_{\max} 最大静滑动摩擦力	r 半径
f_s 静滑动摩擦因数	r 矢径
f 动滑动摩擦因数, 振动频率	r_O 点 O 的矢径
	s 弧坐标
	T 质点系的动能, 周期

VI

t	时间	φ_f	摩擦角
V	质点系的势能	ρ	曲率半径, 密度
v	质点的速度	δ	滚动摩擦系数, 弹簧变形量, 阻尼系数, 变分符号
v_a	绝对速度	δ_s	弹簧静变形, 静伸长
v_c	牵连速度	δr	虚位移
v_r	相对速度	δW	虚功
v_c	质心速度	η	机械效率
v_{MO}	动点 M 绕点 O 转动的速度	$\omega(\omega)$	角速度(角速度矢), 激振力频率
W	力的功	ω_0	固有频率
x, y, z	直角坐标	ω_a	绝对角速度
x_c, y_c, z_c	质心的直角坐标	ω_c	牵连角速度
$\alpha(\alpha)$	角加速度(角加速度矢)	ω_r	相对角速度
$\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \theta, \psi$	角度		

目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
主要符号表	
绪论	1

第 1 篇 静 力 学

引言	3
----------	---

第 1 章 静力学的基本概念和物体的受力分析

1.1 刚体·力	4
1.2 静力学公理	4
1.3 约束和约束力	6
1.4 受力分析和受力图	11
知识结构框图	15
习题	16

第 2 章 共点力系和力偶系

2.1 共点力系合成与平衡的几何法	19
2.2 力的投影·力沿坐标轴的分解	20
2.3 共点力系合成与平衡的解析法	22
2.4 力偶及其性质	27
2.5 力偶系的合成与平衡	29
知识结构框图	33
习题	34

第 3 章 任意力系

3.1 力对点的矩和力对轴的矩	38
3.2 空间任意力系的简化·主矢和主矩	42
3.3 空间任意力系的合成·合力矩定理	44
3.4 空间任意力系的平衡	48
3.5 平面任意力系的平衡	49
知识结构框图	59

习题	61
第 4 章 物体系的平衡	
4.1 静定问题与超静定问题的概念	68
4.2 物体系平衡问题的举例	69
4.3 物体系平衡问题的解题步骤和要点	76
4.4 简单平面桁架的内力计算	76
4.5 重心	80
知识结构框图	86
习题	87
第 5 章 摩擦	
5.1 滑动摩擦	92
5.2 考虑滑动摩擦时的平衡问题	94
5.3 滚动摩阻的概念	102
知识结构框图	104
习题	105
第 2 篇 运 动 学	
引言	109
第 6 章 点的运动学和刚体的基本运动	
6.1 点的运动的矢量法	111
6.2 点的运动的直角坐标法	112
6.3 点的运动的自然法	114
6.4 刚体的平动	124
6.5 刚体的定轴转动	126
6.6 角速度和角加速度的矢量表示法·刚体内各点的速度和加速度的矢积表示法	131
知识结构框图	134
习题	137
第 7 章 点的复合运动	
7.1 基本概念	140
7.2 点的速度合成定理	143
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	147
7.4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	151
知识结构框图	160
习题	160

第 8 章 刚体的平面运动·运动学综合应用

8.1 刚体的平面运动方程	167
8.2 平面运动的分解	168
8.3 用基点法求平面图形内各点的速度	169
8.4 用瞬心法求平面图形内各点的速度	173
8.5 平面图形内各点的加速度	178
*8.6 刚体绕平行轴转动的合成	183
8.7 运动学综合应用	188
知识结构框图	198
习题	199

第 3 篇 动 力 学

引言	206
----------	-----

第 9 章 质点动力学

9.1 动力学基本定律	207
9.2 质点运动微分方程	208
9.3 质点动力学的基本问题	209
9.4 质点相对运动微分方程	216
知识结构框图	221
习题	221

第 10 章 质点的振动

10.1 概述	225
10.2 质点的无阻尼自由振动	226
10.3 质点的衰减振动	230
10.4 质点的强迫振动	235
知识结构框图	244
习题	246

第 11 章 动能定理

11.1 动力学普遍定理概述	250
11.2 力的功	250
11.3 动能	257
11.4 动能定理的推导和举例	260
11.5 功率·功率方程	267
11.6 势力场·势能·机械能守恒定理	269

知识结构框图	274
习题	275
第 12 章 动量定理	
12.1 动量	282
12.2 动量定理的推导和举例	284
12.3 冲量定理	289
12.4 质心运动定理	291
12.5 变质量质点的运动微分方程	296
知识结构框图	301
习题	303
第 13 章 动量矩定理·动力学普遍定理综合应用	
13.1 动量矩	307
13.2 动量矩定理的推导和举例	309
13.3 刚体定轴转动微分方程	314
13.4 相对于动矩心的动量矩定理·相对于质心的动量矩定理	317
13.5 刚体平面运动微分方程	319
13.6 陀螺力矩和陀螺效应	323
13.7 动力学普遍定理综合应用	325
知识结构框图	331
习题	332
第 14 章 达朗贝尔原理和动静法	
14.1 达朗贝尔原理	337
14.2 惯性力系的简化	338
14.3 动静法的应用举例	341
14.4 定轴转动刚体对轴承的动压力	348
知识结构框图	352
习题	354
附录	
附录 A 转动惯量	359
附录 B 相对于速度瞬轴的动量矩定理	371
附录 C 习题答案	373
附录 D 中英文名词对照表	388
Synopsis	397
参考文献	398

Contents

Preface 2

Preface 1

List of Symbols

Introduction 1

Part 1 STATICS

Introduction 3

Chapter 1 Fundamental Concepts of Statics and Free-body Diagram

1.1 Rigid Body • Force 4

1.2 Axioms of Statics 4

1.3 Constraints and Reactions of Constraint 6

1.4 Analysis of Forces and Free-body Diagram 11

Frame of Knowledge 15

Exercises 16

Chapter 2 Concurrent Force Systems and Couple Systems

2.1 Geometrical Method of Resultant and Equilibrium of Concurrent Force Systems 19

2.2 Projection of Forces • Resolution of Forces in Coordinate Axes 20

2.3 Analytical Method of Resultant and Equilibrium of Concurrent Force Systems 22

2.4 Couple and its characteristics 27

2.5 Resultant and Equilibrium of Couple Systems 29

Frame of Knowledge 33

Exercises 34

Chapter 3 General Force Systems

3.1 Moment of Force about a Point and about an Axis 38

3.2 Reduction of General Spatial Force System • Principal Vector and Principal Moment 42

3.3 Resultant of General Spatial Force System • Theorem of the Moment of a Resultant 44

3.4 Equilibrium of General Spatial Force System 48

3.5 Equilibrium of General Plane Force System 49

Frame of Knowledge 59

Exercises 61

Chapter 4 Equilibrium of Body System

4.1 Concepts of Statics Determinable and Indeterminable Problems	68
4.2 Illustrations of Equilibrium of Body Systems	69
4.3 Solution Steps and Keys of Equilibrium Problems of Body System	76
4.4 Calculation of Internal Forces of Simple Plane Truss	76
4.5 Center of Gravity	80
Frame of Knowledge	86
Exercises	87

Chapter 5 Friction

5.1 Sliding Friction	92
5.2 Equilibrium Problem of the Body with Friction	94
5.3 Concept of Rolling Resistance	102
Frame of Knowledge	104
Exercises	105

Part 2 KINEMATICS

Introduction	109
--------------------	-----

Chapter 6 Kinematics of a Particle and Fundamental Motion of Rigid Bodies

6.1 The Vector Method of Kinematics of a Particle	111
6.2 The Rectangular Coordinating Method of Kinematics of a Particle	112
6.3 The Natural Method of Kinematics of a Particle	114
6.4 Translation of a Rigid Body	124
6.5 Rotation of a Rigid Body about a Fixed-axis	126
6.6 Vector Form of Angular Velocity and Angular Acceleration • Vector Product	
Expressions of the Velocity and Acceleration of the Points of a Rigid Body	131
Frame of Knowledge	134
Exercises	137

Chapter 7 Resultant Motion of a Particle

7.1 Fundamental Concepts	140
7.2 Theorem of Composition of the Velocities of a Particle	143
7.3 Theorem of Composition of the Acceleration of a Particle in Translational	
Motion of Transport	147
7.4 Theorem of Composition of the Acceleration of a Particle in Rotation about a Fixed-axis	
of Transport	151

Frame of Knowledge	160
Exercises	160

Chapter 8 Plane Motion of a Rigid Body · The Synthetic Application of Kinematics

8.1 Equations of plane Motion of a Rigid Body	167
8.2 Resolution of Plane Motion	168
8.3 Determination of the Velocity of the Points of a Body by the Pole Method	169
8.4 Determination of the Velocity of the Points of a Body by the Instantaneous Center of Zero Velocity	173
8.5 Determination of the Acceleration of the Points of a Body by the Pole Method	178
8.6 Resultant Motion of a Rigid Body about Parallel axes	183
8.7 The Synthetic Application of Kinematics	188
Frame of Knowledge	198
Exercises	199

Part 3 DYNAMICS

Introduction	206
--------------------	-----

Chapter 9 Particle Dynamics

9.1 Fundamental Laws of Dynamics	207
9.2 Differential Equations of Motion for a Particle	208
9.3 Fundamental Problems of Particle Dynamics	209
9.4 Differential Equations of Relative Motion for a Particle	216
Frame of Knowledge	221
Exercises	221

Chapter 10 Linear Vibration of a Particle

10.1 Introduction	225
10.2 Free Vibration Neglecting Resisting Forces of a Particle	226
10.3 Damped Vibration of a Particle	230
10.4 Forced Vibration of a Particle	235
Frame of Knowledge	244
Exercises	246

Chapter 11 Theorem of Kinetic Energy

11.1 Summary of Generalized Theorems of Dynamics	250
11.2 Work Done by Forces	250

11.3	Kinetic Energy	257
11.4	Inference and Illustrations of Theorem of Kinetic Energy	260
11.5	Power · Power Equation	267
11.6	Potential Force Field · Potential Energy · the Law of Conservation of Mechanical Energy	269
	Frame of Knowledge	274
	Exercises	275

Chapter 12 Theorem of Linear Momentum

12.1	Linear Momentum	282
12.2	Inference and Illustrations of Theorem of Linear Momentum	284
12.3	Theorem of Impulse	289
12.4	Theorem of the Motion of the Mass Center of a Particle System	291
12.5	Differential Equations of Motion of a Particle with Variable Mass	296
	Frame of Knowledge	301
	Exercises	303

Chapter 13 Theorem of Angular Momentum · The Synthetic Application of Generalized Theorems of Dynamics

13.1	Angular Momentum	307
13.2	Inference and Illustrations of Theorem of Angular Momentum	309
13.3	Differential Equation of Rotation of Rigid Body about a Fixed-axis	314
13.4	Theorem of Angular Momentum about a Moving Point · Theorem of Angular Momentum about the Mass Center of a Particle System	317
13.5	Differential Equations of Plane Motion of a Rigid Body	319
13.6	Gyroscopic Moment and Gyroscopic Effect	323
13.7	The Synthetic Application of Generalized Theorems of Dynamics	325
	Frame of Knowledge	331
	Exercises	332

Chapter 14 D'Alembert's Principle and Method of Dynamic Statics

14.1	D'Alembert's Principle	337
14.2	Reduction of Inertia Force System	338
14.3	Illustration of the Application of Method of Dynamic Statics	341
14.4	Dynamic Reactions on the Bearing of a Rotating Rigid Body about a Fixed-axis	348
	Frame of Knowledge	352
	Exercises	354

Appendix

Appendix A	<i>Moment of Inertia</i>	359
Appendix B	Theorem of Angular Momentum about Instantaneous Axis of Velocity	371
Appendix C	Key to Exercises	373
Appendix D	Contrastive Table of Chinese-English Terms	388
Synopsis	397
References	398

绪 论

1. 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。

所谓**机械运动**，是指物体在空间的位置随时间而发生的改变。它是人们在日常生活和生产实践中最常见的一种运动。但是，机械运动只是物质运动的最简单的一种形式。除机械运动外，物质还有表现为发热、发光、电磁现象、化学过程，甚至人们头脑的思维活动等多种不同的运动形式。

在高等工科院校，理论力学是一门理论性较强的技术基础课。本课程所研究的内容，属于**经典力学**范围，它是一门成熟的科学。理论力学课程的基本定律早已由伽利略提出，并由牛顿精确地归纳为完备的形式。实践证明，理论力学在当今一般工程技术（例如机械、土建、航空与航天技术等）中得到极其广泛地应用。但是，经典力学的应用范围也有局限性。它不适用于速度接近于光速的宏观物体的运动，也不适用于微观粒子的运动。由于一般工程技术中宏观物体的速度远小于光速（ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ），因此一般所遇到的力学问题仍广泛应用经典力学来研究。

本书按照教育部理论力学教学的基本要求和教学大纲，系统叙述本课程的全部内容，包括理论力学的基本概念、基本理论、基本计算方法及其在工程中的典型应用。本课程的内容包括以下三部分。

静力学：研究物体机械运动的特殊情形，主要研究物体受力作用时处于平衡的条件，同时也研究物体的受力分析方法，力系的简化和合成等。

运动学：撇开引起物体运动的原因，只从几何观点描述物体运动的方式及其特征（如运动规律、速度和加速度等）。

动力学：研究物体运动状态的变化与其作用力之间的关系。

本书在物理学知识的基础上，全面深入地研究物体机械运动的一般规律及其在一般工程中的应用。

2. 学习理论力学的目的

1) 理论力学是现代工程技术的理论基础，是工程技术人员必备的知识。实际工程中一般都会遇到与机械运动有关的问题，其中有些问题可以直接应用理论力学的理论和方法去解决，有些比较复杂的问题，则需要结合其他专门知识共同来解决。

2) 理论力学的知识是后继课程的必备基础。例如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、流体力学、飞行力学、振动理论、弹塑性力学、断裂力学以