

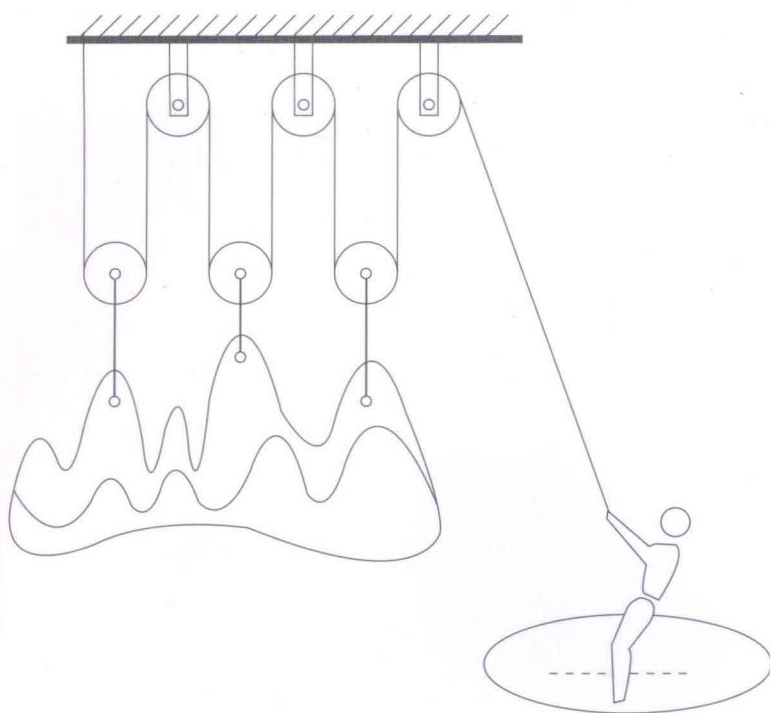
普通高等院校机械工程学科

“十二五”规划教材

理论力学

(第2版)

主 编 牛学仁 戴保东
副主编 王灵卉
主 审 梅凤翔



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十二五”

理论力学

LILUNLIXUE

(第2版)

主 编	牛学仁	戴保东	
副主编	王灵卉		
参 编	李光明	陈艳霞	李兴莉
	李建宝	林金保	
主 审	梅凤翔		

国防工业出版社

· 北京 ·

内容简介

全书分静力学、运动学、动力学三篇。具体内容包括绪论、静力学公理和物体受力分析、平面汇交力系与平面力偶系、平面一般力系、空间一般力系、点的运动学、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理、动力学普遍方程和拉格朗日方程、碰撞。

本书可作为普通高等工科院校力学、机械、土建、水利等相关专业的教材和教学参考书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 牛学仁,戴保东主编. —2 版. —北京:
国防工业出版社,2013.9

ISBN 978 - 7 - 118 - 08828 - 1

I. ①理... II. ①牛...②戴... 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(2013)第 182646 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 23 1/2 字数 545 千字

2013 年 9 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 43.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

丛 书 序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力培养和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设,特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2008 年 6 月

第2版前言

本书第1版于2009年出版,2010年和2011年两次重印。在四年多教学使用过程中,受到广大同行和学生的好评,同时太原理工大学、中北大学、太原工业学院等一些高校及太原科技大学的力学教师对本书提出了许多宝贵的建议。考虑到一些院校的教学实际情况,对第1版的静力学部分做了较大变动,从平面力系讲起,循序渐进过渡到空间力系,使一些抽象的概念易于理解、学习和掌握;对第1版运动学中的“点的合成运动”与“刚体的平面运动”的顺序进行了调换,先讲点的合成运动,再讲刚体的平面运动,使刚体平面运动中刚体的角速度、角加速度是相对于静系的概念更加明确;动力学各章顺序不变。

本版对第1版的部分内容进行了修改,使之更加完善和符合教学实际,同时又坚持了第1版中的特色。

(1) 精简与物理的重复部分,但仍注意理论的系统性、完整性、科学性和衔接自然。摩擦部分不单独列章,在突出摩擦特点的同时,将具有摩擦的平衡问题作为平面力系的应用来处理。点的运动学、质点动力学等部分中一些简单的概念、结论已在物理中介绍过的,尽量叙述简明扼要,重在对其力学意义的阐述和应用。这样既提高了起点,节约课时,又能被学生所接受。

(2) 紧密结合工程实际,加强力学建模能力的培养。书中相当数量的例题、习题都来自工程实际。在概念的引出和内容的叙述上,尽量与工程实际相结合,使读者清楚工程背景,提高力学建模的能力。

(3) 书中各章后编有小结、思考题和习题。小结帮助读者总结、概括、归纳每章的内容,使读者对每章内容有一个清晰的了解,便于复习;思考题帮助读者正确理解概念和掌握基本理论,以便夯实基础;习题分为A、B两个部分,A部分着重练习对基本理论和基本方法的掌握和应用,B部分着重培养综合应用知识的能力。全书层次清晰、体系科学、重点突出、难点分散,理论结合实际。

本书是为了适应教育教学改革的需要,遵循“内容精、学时少、起点高、重应用”的改革思想,并参照高等学校工程力学教材编审委员会审定的“理论力学教学大纲”编写的。书中采用我国最新颁布的国家标准(GB 3100~3102—1993)《量和单位》中的符号。

本书由牛学仁、戴保东担任主编,王灵卉担任副主编,由北京理工大学梅凤翔教授主审。

绪论、静力学引言、动力学引言、第15章、第16章由牛学仁编著,第1章、第2章

由李光明编著,第3章、第9章由王灵卉编著,第4章、第14章由陈艳霞编著,运动学引言、第7章、第11章由戴保东编著,第5章、第13章由李建宝编著,第6章、第12章由林金保编著,第8章、第10章由李兴莉编著。

北京理工大学宁建国教授、西安交通大学朱因远教授、太原理工大学陈昭怡教授、中北大学王月梅教授对本书提出了许多宝贵的建议,谨此向他们致以衷心的感谢。

太原科技大学教务处领导、力学系全体老师对本书的出版给予了热情的支持,在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限,书中难免存在不足之处,真诚希望专家和读者批评指正。

编者
2013.2

第 1 版前言

理论力学是一门技术基础课,也是各门后续力学课程的基础。它的任务是研究物体机械运动的一般规律,并运用这些规律分析、解决工程中的力学问题。理论力学的显著特点是其理论的严密性与工程实际结合的紧密性。

本教材是为了适应教育教学改革的需要,遵循“内容精、学时少、起点高、重应用”的改革思想,并参照高等学校工程力学教材编审委员会审定的“理论力学教学大纲”编写的。书中采用我国最新颁布的国家标准(GB 3100~3102—1993)《量和单位》中的符号。本书适用于本科力学、机械、土建、水利、航空等专业(参考学时 70~90),也可作为从事力学教学和研究人员参考书。

作者在编写本书时,在以下方面作了一些工作:

(1) 提高起点,精简与物理的重复部分,但仍注意理论的系统性、完整性、科学性和衔接自然。静力学部分作了较大的改动,以力系的简化(合成)、力系的平衡条件及其应用为主线,从空间力系讲起,把平面力系作为特殊情况来处理。摩擦部分不单独列章,在突出摩擦特点的同时,将具有摩擦的平衡问题作为平面力系的应用来处理。运动学部分先讲刚体的平面运动,后讲点的合成运动,这样可分析牵连运动为平面运动的情况;点的运动学、质点动力学等部分中一些简单的概念、结论已在物理中介绍过的,尽量叙述简明扼要,重在对其力学意义的阐述和应用。这样既提高了起点,又节约课时,还能被学生所接受。

(2) 紧密结合工程实际,加强力学建模能力的培养。书中相当数量的例题、习题都来自工程实际。在概念的引出和内容的叙述上,尽量与工程实际相结合,使读者清楚工程背景,提高力学建模的能力。

(3) 书中各章后编有小结、思考题和习题。小结帮助读者总结、概括、归纳每章的内容,使读者对每章内容有一个清晰的了解,便于复习;思考题帮助读者对概念的准确理解和对理论的掌握,以便夯实基础;习题注重对问题的分析、理论的应用、基本技能的训练和综合应用知识能力的提高。

本书由太原科技大学牛学仁担任主编,戴保东、王灵卉担任副主编,由北京理工大学梅凤翔教授主审。

绪论、静力学引言、动力学引言、第 10 章、第 11 章、第 14 章、第 15 章由牛学仁编著,第 1 章、第 2 章由李光明编著,第 3 章、第 8 章由王灵卉编著,运动学引言、第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 13 章由戴保东编著,第 9 章、第 12 章由北华航天工业学院刘卫编著。

西安交通大学朱因远教授、太原理工大学陈昭怡教授、中北大学王月梅教授,北京理工大学刘海燕副教授、青岛海洋大学李晓玲副教授对本书提出了许多宝贵的建议,谨此向他们致以衷心的感谢。

太原科技大学教务处领导、力学系全体老师对本书的出版给予了热情的支持,在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中一定存在不少不足之处,我们真诚希望专家和广大读者批评指正。

编者
2009.4

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

静力学引言	4
第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	6
1.1 静力学基本概念	6
1.1.1 刚体的概念	6
1.1.2 力的概念	6
1.2 静力学公理	7
1.3 约束和约束力 物体的受力分析	9
1.3.1 约束和约束力	9
1.3.2 物体的受力分析和受力图	12
本章小结	16
思考题	16
习题 A	17
习题 B	18
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	20
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	20
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法 力多边形法则	20
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	21
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	22
2.2.1 力的投影	22
2.2.2 力的分解	23
2.2.3 平面汇交力系合成的解析法及平衡方程	23
2.3 平面力对点之矩的概念及其计算	26
2.3.1 力对点的矩	26
2.3.2 平面汇交力系的合力矩定理	26
2.4 平面力偶理论	28
2.4.1 力偶与力偶矩	28
2.4.2 同平面内力偶的等效定理	29
2.4.3 平面力偶系的合成与平衡条件	30

本章小结	32
思考题	34
习题 A	36
习题 B	38
第3章 平面一般力系	41
3.1 平面一般力系的简化 主矢和主矩	41
3.1.1 力向一点的平移定理	41
3.1.2 平面一般力系向作用面内一点的简化 主矢和主矩	42
3.1.3 平面一般力系简化结果的分析	44
3.2 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	46
3.3 物体系统的平衡 静定和静不定问题	49
3.4 平面桁架及其内力计算	53
3.5 摩擦问题	56
3.5.1 滑动摩擦	56
3.5.2 摩擦角与自锁现象	57
3.5.3 滚动摩阻	58
3.5.4 考虑摩擦时物体的平衡问题	59
本章小结	62
思考题	63
习题 A	64
习题 B	68
第4章 空间一般力系	71
4.1 空间汇交力系	71
4.1.1 力在直角坐标轴上的投影	71
4.1.2 空间汇交力系的合成与平衡条件	72
4.2 力对点的矩与力对轴的矩	73
4.2.1 力对点的矩以矢量表示	73
4.2.2 力对轴的矩	74
4.2.3 力对点的矩与力对过该点的轴的矩的关系	74
4.3 空间力偶	76
4.3.1 力偶矩以矢量表示	76
4.3.2 空间力偶的等效定理	77
4.3.3 空间力偶系的合成与平衡条件	77
4.4 空间一般力系向一点的简化 主矢和主矩	79
4.4.1 空间一般力系向一点的简化	79
4.4.2 空间一般力系的简化结果分析	79
4.5 空间一般力系的平衡方程及举例	81
4.5.1 空间一般力系的平衡方程	81

4.5.2 空间约束的类型举例	82
4.5.3 空间力系平衡问题举例	83
4.6 重心	85
4.6.1 重心的概念	85
4.6.2 物体的重心坐标公式	85
本章小结	88
思考题	90
习题 A	90
习题 B	92

第二篇 运动学

运动学引言	94
第 5 章 点的运动学	95
5.1 点的运动的矢径法	95
5.1.1 点的运动方程	95
5.1.2 点的速度	95
5.1.3 点的加速度	96
5.2 点的运动的直角坐标法	97
5.2.1 点的运动方程	97
5.2.2 点的速度在直角坐标轴上的投影	97
5.2.3 点的加速度在直角坐标轴上的投影	98
5.3 点的运动的自然法	103
5.3.1 点的运动方程	103
5.3.2 自然坐标轴系	103
5.3.3 点的速度在自然坐标轴上的投影	104
5.3.4 点的加速度在自然坐标轴上的投影	105
本章小结	110
思考题	111
习题 A	112
习题 B	113
第 6 章 刚体的基本运动	115
6.1 刚体的平行移动	115
6.2 刚体的定轴转动	116
6.2.1 转动方程	116
6.2.2 角速度	117
6.2.3 角加速度	117
6.3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	118
6.4 轮系的传动比	120

6.4.1 齿轮传动	121
6.4.2 带轮传动	121
6.5 以矢量表示角速度和角加速度 以矢积表示点的速度和加速度	123
本章小结	126
思考题	127
习题 A	128
习题 B	129
第7章 点的合成运动	131
7.1 绝对运动 相对运动 牵连运动	131
7.2 点的速度合成定理	134
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	137
7.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	141
7.4.1 特例的证明	141
7.4.2 矢量的绝对导数和相对导数	143
7.4.3 用矢量分析法证明牵连运动为转动时点的加速度合成定理	144
本章小结	149
思考题	150
习题 A	150
习题 B	153
第8章 刚体的平面运动	156
8.1 刚体平面运动的概述和运动简化	156
8.2 平面图形的运动方程及运动分解	157
8.3 平面图形内各点的速度分析	158
8.3.1 求平面图形内各点速度的基点法	158
8.3.2 求平面图形内各点速度的瞬心法	161
8.4 平面图形内各点的加速度分析	166
8.5 运动学综合应用举例	169
本章小结	173
思考题	174
习题 A	175
习题 B	178

第三篇 动力学

动力学引言	181
第9章 质点动力学的基本方程	182
9.1 动力学基本定律	182
9.2 质点的运动微分方程	183
9.2.1 质点运动微分方程在直角坐标轴上的投影	184

9.2.2 质点运动微分方程在自然坐标轴上的投影	184
9.2.3 质点动力学的两类问题	184
*9.3 质点相对运动动力学的基本方程	189
本章小结	193
思考题	193
习题 A	194
习题 B	195
第 10 章 动量定理	197
10.1 动量与冲量	197
10.1.1 动量	197
10.1.2 冲量	199
10.2 质点系的动量定理	199
10.2.1 质点系的动量定理	199
10.2.2 质点系动量守恒定律	201
10.3 质心运动定理	206
10.3.1 质心运动定理	206
10.3.2 质心运动守恒定律	207
本章小结	210
思考题	211
习题 A	212
习题 B	213
第 11 章 动量矩定理	215
11.1 质点和质点系的动量矩	215
11.1.1 质点的动量矩	215
11.1.2 质点系的动量矩	216
11.2 动量矩定理	217
11.2.1 质点的动量矩定理	217
11.2.2 质点的动量矩守恒定律	217
11.2.3 质点系的动量矩定理	219
11.2.4 质点系的动量矩守恒定律	220
11.3 刚体绕定轴的转动微分方程	223
11.4 刚体对轴的转动惯量	226
11.4.1 简单形状物体转动惯量的计算	227
11.4.2 惯性半径(或回转半径)	228
11.4.3 平行轴定理	230
11.5 质点系相对于质心的动量矩定理	230
11.5.1 质点系相对质心的动量矩	231
11.5.2 质点系相对于质心的动量矩定理	232

11.6 刚体的平面运动微分方程·····	232
本章小结·····	236
思考题·····	237
习题 A ·····	239
习题 B ·····	242
第 12 章 动能定理 ·····	244
12.1 功和动能的概念及其计算·····	244
12.1.1 常力的功 ·····	244
12.1.2 变力的功 ·····	244
12.1.3 质点系的动能 ·····	248
12.2 动能定理·····	250
12.2.1 按内力和外力分类动能定理的表达形式·····	251
12.2.2 按主动力和约束反力分类动能定理的表达形式·····	252
12.3 功率和功率方程·····	256
12.3.1 功率 ·····	256
12.3.2 功率方程 ·····	256
12.3.3 机械效率 ·····	257
12.4 势力场和势能及其性质·····	259
12.4.1 势力场 ·····	259
12.4.2 势能 ·····	259
12.4.3 有势力的功 ·····	260
*12.4.4 势力场的其他性质·····	261
12.5 机械能守恒定律·····	262
12.6 动力学普遍定理的综合应用·····	264
本章小结·····	269
思考题·····	270
习题 A ·····	272
习题 B ·····	276
第 13 章 达朗贝尔原理 ·····	280
13.1 惯性力与达朗贝尔原理·····	280
13.1.1 质点的达朗贝尔原理 ·····	280
13.1.2 质点系的达朗贝尔原理 ·····	281
13.2 刚体惯性力系的简化·····	283
13.2.1 平动刚体惯性力系的简化 ·····	284
13.2.2 定轴转动刚体惯性力系的简化 ·····	284
13.2.3 平面运动刚体惯性力系的简化 ·····	285
13.3 刚体绕定轴转动时轴承的动约束力·····	290
13.4 静平衡与动平衡的概念·····	392

13.4.1 静平衡	393
13.4.2 动平衡	293
本章小结	295
思考题	296
习题 A	296
习题 B	298
第 14 章 虚位移原理	301
14.1 约束的分类 自由度与广义坐标	301
14.1.1 约束及其分类	301
14.1.2 质点系的自由度与广义坐标	303
14.2 虚位移和虚功 理想约束	303
14.2.1 虚位移和虚功	303
14.2.2 理想约束	306
14.3 虚位移原理及其应用	306
本章小结	311
思考题	312
习题 A	312
习题 B	314
* 第 15 章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	317
15.1 动力学普遍方程	317
15.2 拉格朗日方程	321
15.3 拉格朗日方程的首次积分	327
15.3.1 循环积分	327
15.3.2 广义能量积分	327
15.3.3 能量积分	329
本章小结	332
思考题	333
习题 A	334
习题 B	336
第 16 章 碰撞	338
16.1 碰撞现象的特征及其假定	338
16.1.1 碰撞现象的特征	338
16.1.2 基本假定	338
16.2 恢复系数	339
16.3 用于碰撞过程的基本定理	340
16.3.1 用于碰撞过程的动量定理——冲量定理	340
16.3.2 用于碰撞过程的动量矩定理——冲量矩定理	340
16.4 两物体的对心碰撞	341

16.4.1 两平动物体的对心正碰撞	341
16.4.2 两平动物体对心正碰撞的动能损失	343
16.4.3 两平动物体的对心斜碰撞	346
16.5 碰撞冲量对绕定轴转动刚体的作用 撞击中心	348
16.5.1 刚体角速度的变化	348
16.5.2 支座的反碰撞冲量 撞击中心	348
16.6 碰撞冲量对平面运动刚体的作用	351
本章小结	353
思考题	354
习题 A	355
习题 B	357
参考文献	359