



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 理论力学

第3版

郝桐生 编

殷祥超 巫静波 杨 静 修订

高等教育出版社

031/26=3

2003

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 理论力学

第3版

郝桐生 编

殷祥超 巫静波 杨静 修订

高等教育出版社

## 内容提要

本书属于“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。本书在获得高等学校优秀教材二等奖的第二版的基础上,保持原有简明严谨、逻辑清晰、由浅入深的特点,为了适应教育和科技的发展及贯彻新的国家标准和规范,适当提高了部分内容的起点,更新了部分内容,对各章小结作了修改,增加了一定量的思考题、习题,并对全书物理量的名称和符号进行了修改。

全书分为静力学、运动学、动力学三大部分,各部分内容都具有相应的深度,使用时可根据不同的教学时数,选择相应章节的内容。可满足不同学时数的教学要求。

本书可作为高等学校工科本科各专业的教材,也可供高职高专与成人高校师生及有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

理论力学/郝桐生编. —3版. —北京:高等教育出版社,2003.9(2007重印)

ISBN 978-7-04-011854-4

I. 理... II. 郝... III. 理论力学-高等学校-教材  
IV. O31

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第056882号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京铭成印刷有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
开 本	787×960 1/16	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
印 张	27.25	版 次	1965年1月第1版
字 数	510 000		2003年9月第3版
		印 次	2007年12月第7次印刷
		定 价	31.10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 11854-00

# 总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的

创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

## 第三版序

本书原为北京矿业学院理论力学教研组郝桐生教授所编，原书于1964年出版。1982年中国矿业大学理论力学教研室郭桢等老师对原书作了修订，出版了第二版。第二版对原书的部分内容作了调整，修改了单位制，在每章后增加了小结、思考题和习题。第二版出版后受到了广大读者的欢迎，许多兄弟院校的教师反馈了宝贵的意见和建议。第二版教材曾获得了国家优秀教材奖。

为了适应科学技术发展的需要，根据教学实践的经验 and 广大教师的意见及建议，对本书第二版又作了修订。本次修订仍保持前两版简明严谨、逻辑清晰、由浅入深的特点，适当提高了部分内容的起点，增加了部分内容，对各章小结作了修改，并增加了部分的思考题、习题。

本次修订工作得到《中国矿业大学工科力学基地建设项目》的资助，由殷祥超、巫静波、杨静三位老师负责。第一章到第六章内容由杨静和茅献彪修订，第七章到第十章和第十八章由殷祥超和雷胜梅修订，第十一章到第十七章由巫静波老师修订；殷祥超负责全书的定稿工作。

本书由北京航空航天大学谢传锋教授审阅，提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

最后希望大家提出宝贵意见，以便不断改进和完善。

中国矿业大学理学院力学与工程科学系

2003年3月

## 第二版序

本书原为北京矿业学院理论力学教研组郝桐生教授所编，现根据一九八〇年五月高等学校工科力学教材编审委员会理论力学编审小组审订的《理论力学教学大纲》(90学时)修订，适用于高等学校工科电机、动力、采矿等类专业。

在修订中，我们注意保持原书简明的特点，考虑便于自学和适应各类专业的要求，根据多年来的教学经验以及广大读者对原书的反映，并参照兄弟院校的教材，对原书增减了一些内容，将单位制改为国际单位制(SI)，增换了部分例题，在每章后增附了小结、思考题和习题。

参加修订工作的：主要是一九六四年曾协助编者工作的郭桢同志及马向前同志(运动学部分)。我组其他同志参加了对修订稿的讨论和部分例题与习题答案的校核工作。最后由郭桢同志负责全书的修改定稿工作。

本书承北京航空学院黄克累、马宗祥同志审阅，提出了不少宝贵的意见，对此我们表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中定有不少缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

中国矿业学院理论力学教研组

1982年6月

## 初 版 序

本书是根据一九六二年五月审订的高等工业学校电机制造、动力类专业适用的《理论力学教学大纲》(试行草案)编写的,可作为上述专业和采矿、冶金类各专业理论力学课程的教学用书。本书主要满足110学时类型各专业的要求,但在讲授时如作适当删减和增补,亦可适用于90—130学时范围内的各专业。

考虑到同学的接受能力,本书在静力学中汇交力系和力偶系采取了平面情形与空间情形分开讲授的安排。在动力学中普遍定理不按质点与质点系分章而是按定理分章,这样的安排一方面是为了节省篇幅,另一方面也是为了便于安排习题课。

本书中例题大致可分为两种类型,一种是典型例题,着重于理论的应用和解题方法的训练;另一种是联系工程实际的例题,便于培养同学的工程概念。例题数量虽多,但不可能满足各类专业的需要,因此在讲授时可作必要的增删。

本书中带有星号“\*”或用小字排印的内容,可根据专业要求决定取舍。

本书在编写过程中得到了北京矿业学院理论力学教研室同志们的大力协助,同时也吸取了西北工业大学、哈尔滨工业大学和清华大学等学校理论力学教研室所编理论力学讲义中的不少宝贵经验。

初稿完成后曾在北京矿业学院采煤专业、矿山机电专业试用一次,在试用时教研室同志又提出了不少建设性的意见。本书承唐山铁道学院金传炳同志和西安交通大学施明诚同志等审阅,并蒙北京航空学院理论力学教研室提出了宝贵意见,在此一并致谢。

本书虽经几次修改,但限于编者水平,缺点和错误在所难免,恳切希望读者提出批评和指正。

编 者

1964年8月



# 目 录

绪论 .....	1
§ 0-1 理论力学的研究对象 .....	1
§ 0-2 理论力学的任务及其研究内容 .....	1
§ 0-3 理论力学的研究方法 .....	2
§ 0-4 理论力学发展简史 .....	3

## 静 力 学

<b>1</b> 静力学的基本公理与物体的受力分析 .....	9
§ 1-1 静力学的基本概念 .....	9
§ 1-2 静力学公理 .....	11
§ 1-3 约束与约束力 .....	14
§ 1-4 受力分析与受力图 .....	19
小结 .....	22
思考题 .....	23
习题 .....	24
<b>2</b> 平面汇交力系 .....	27
§ 2-1 平面汇交力系的合成与平衡——几何法 .....	27
§ 2-2 力在坐标轴上的投影 .....	30
§ 2-3 平面汇交力系的合成与平衡——解析法 .....	31
小结 .....	35
思考题 .....	35
习题 .....	36

<b>3</b>	<b>力矩与平面力偶理论</b> .....	40
§ 3-1	力矩的概念与计算 .....	40
§ 3-2	力偶及其性质 .....	42
§ 3-3	平面力偶系的合成与平衡 .....	45
小结	.....	48
思考题	.....	49
习题	.....	49
<b>4</b>	<b>平面任意力系</b> .....	53
§ 4-1	力线平移定理 .....	53
§ 4-2	平面任意力系向已知点的简化·主矢与主矩 .....	54
§ 4-3	简化结果的分析·合力矩定理 .....	56
§ 4-4	平面任意力系的平衡条件与平衡方程 .....	58
§ 4-5	平面平行力系的合成与平衡 .....	61
§ 4-6	物体系统的平衡·静定与静不定问题的概念 .....	63
* § 4-7	平面静定桁架的内力分析 .....	69
小结	.....	73
思考题	.....	74
习题	.....	75
<b>5</b>	<b>摩擦</b> .....	83
§ 5-1	摩擦现象 .....	83
§ 5-2	滑动摩擦 .....	84
§ 5-3	具有滑动摩擦的平衡问题 .....	87
§ 5-4	滚动摩擦 .....	93
小结	.....	97
思考题	.....	97
习题	.....	98
<b>6</b>	<b>空间力系和重心</b> .....	102
§ 6-1	空间力沿坐标轴的分解与投影 .....	102
§ 6-2	空间汇交力系的合成与平衡 .....	104

§ 6-3 空间力偶理论 .....	106
§ 6-4 力对于点之矩与力对于轴之矩 .....	108
§ 6-5 空间任意力系向已知点的简化·主矢与主矩·空间力系的 合力矩定理 .....	112
§ 6-6 空间任意力系的平衡条件与平衡方程 .....	115
§ 6-7 平行力系的中心与重心 .....	121
小结 .....	126
思考题 .....	127
习题 .....	127

## 运 动 学

<b>7</b> 点的运动学 .....	137
§ 7-1 运动学的基本概念 .....	137
§ 7-2 决定点的运动的基本方法·点的运动方程 .....	138
§ 7-3 速度与加速度的矢径表示法 .....	141
§ 7-4 速度与加速度的直角坐标表示法 .....	142
§ 7-5 自然坐标轴系 .....	145
§ 7-6 速度与加速度的自然坐标表示法 .....	147
小结 .....	152
思考题 .....	153
习题 .....	153
<b>8</b> 刚体的基本运动 .....	157
§ 8-1 刚体的平行移动 .....	157
§ 8-2 刚体的定轴转动 .....	159
§ 8-3 转动刚体内各点的速度与加速度 .....	161
§ 8-4 绕定轴转动刚体的传动问题 .....	165
§ 8-5 角速度及角加速度的矢量表示·以矢积表示转动刚体 内点的速度与加速度 .....	167
小结 .....	169
思考题 .....	170
习题 .....	171

<b>9</b>	<b>点的合成运动</b> .....	174
§ 9-1	点的合成运动的概念 .....	174
§ 9-2	绝对运动、相对运动和牵连运动的速度与加速度 .....	175
§ 9-3	点的速度合成定理 .....	177
§ 9-4	牵连运动为平动时点的加速度合成定理 .....	180
§ 9-5	牵连运动为转动时点的加速度合成定理 .....	183
	小结 .....	186
	思考题 .....	187
	习题 .....	187
<b>10</b>	<b>刚体的平面运动</b> .....	193
§ 10-1	刚体平面运动的概述 .....	193
§ 10-2	平面运动分解为平动与转动·刚体平面运动的运动方程 .....	194
§ 10-3	平面图形内各点的速度·速度投影定理·速度瞬心 .....	195
* § 10-4	平面图形内各点的加速度 .....	202
* § 10-5	刚体绕平行轴转动的合成 .....	204
	小结 .....	208
	思考题 .....	208
	习题 .....	209

## 动 力 学

<b>11</b>	<b>动力学基本定律·质点的运动微分方程</b> .....	217
§ 11-1	引言 .....	217
§ 11-2	动力学基本定律 .....	218
§ 11-3	质点的运动微分方程 .....	220
	小结 .....	228
	思考题 .....	228
	习题 .....	229
<b>12</b>	<b>动量定理</b> .....	232
§ 12-1	动力学普遍定理 .....	232

§ 12-2 质点的动量定理 .....	232
§ 12-3 质点系的动量定理 .....	235
§ 12-4 质心运动定理 .....	239
小结 .....	243
思考题 .....	243
习题 .....	244
<b>13</b> 动量矩定理 .....	248
§ 13-1 质点的动量矩定理 .....	248
§ 13-2 质点系的动量矩定理 .....	251
§ 13-3 刚体的定轴转动微分方程 .....	254
§ 13-4 转动惯量 .....	259
§ 13-5 质点系相对于质心的动量矩定理 .....	264
§ 13-6 刚体的平面运动微分方程 .....	265
* § 13-7 碰撞 .....	267
小结 .....	273
思考题 .....	274
习题 .....	275
<b>14</b> 动能定理 .....	282
§ 14-1 力的功 .....	282
§ 14-2 质点的动能定理 .....	285
§ 14-3 作用于质点系与刚体上的力系的功 .....	287
§ 14-4 质点系和刚体的动能 .....	290
§ 14-5 质点系的动能定理 .....	291
§ 14-6 功率·功率方程 .....	296
§ 14-7 势力场·势能·机械能守恒定律 .....	300
§ 14-8 动力学普遍定理的综合应用 .....	302
小结 .....	306
思考题 .....	307
习题 .....	307
<b>15</b> 达朗贝尔原理 .....	315
§ 15-1 惯性力的概念 .....	315

§ 15-2 达朗贝尔原理 .....	316
§ 15-3 刚体惯性力系的简化 .....	320
* § 15-4 定轴转动刚体的动约束力·静平衡与动平衡的概念 .....	326
小结 .....	332
思考题 .....	333
习题 .....	333

## 16 虚位移原理 .....

§ 16-1 质点系的自由度·约束与广义坐标 .....	339
§ 16-2 虚位移与理想约束 .....	342
§ 16-3 虚位移原理 .....	343
§ 16-4 用虚位移原理求约束力 .....	348
* § 16-5 动力学普遍方程 .....	349
小结 .....	351
思考题 .....	352
习题 .....	352

## 17 质点的相对运动 .....

§ 17-1 质点的相对运动动力学 .....	357
§ 17-2 牵连运动为平动时质点的相对运动微分方程 .....	358
§ 17-3 牵连运动为定轴转动时质点的相对运动微分方程 .....	360
小结 .....	364
思考题 .....	365
习题 .....	365

## 18 振动理论基础 .....

§ 18-1 振动的概念 .....	367
§ 18-2 自由振动 .....	368
§ 18-3 阻尼对自由振动的影响 .....	374
§ 18-4 强迫振动·共振 .....	379
§ 18-5 阻尼对强迫振动的影响 .....	384
§ 18-6 转轴的临界转速 .....	386
§ 18-7 减振和隔振的概念 .....	389

---

小结 .....	391
思考题 .....	392
习题 .....	393
<b>综合题</b> .....	<b>398</b>
<b>主要参考书目</b> .....	<b>404</b>
<b>索引</b> .....	<b>405</b>
<b>Synopsis</b> .....	<b>412</b>
<b>Contents</b> .....	<b>413</b>

# 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学科。

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。然而，在宇宙中没有绝对的平衡，一切平衡都只是相对的和暂时的。

机械运动是自然界和工程技术中最常遇到的运动，因而力学是发展最早的自然科学之一，可见力学的研究具有实际的意义。

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的，属于经典力学的范畴。由于近代物理学的重大发展，指出了经典力学的局限性：不适用于速度接近光速的物体的运动，也不适用于微观粒子的运动。但是，对于速度远小于光速的宏观物体的运动，经典力学具有足够的精确度。因此，在日常生活和一般的工程技术问题中，经典力学仍然是研究机械运动的既准确又方便的工具。

## § 0-2 理论力学的任务及其研究内容

学习理论力学的目的在于掌握机械运动的客观规律，能动地改造客观世



界，为生产建设服务。因此学习本课程的任务：一方面是运用力学基本知识直接解决工程技术中的实际问题；另一方面是为学习一系列的后继课程提供重要的理论基础，如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、机械原理、机械零件等以及有关的专业课程。此外，理论力学的学习还有助于培养辩证唯物主义世界观，树立正确的逻辑思维方法，提高分析问题与解决问题的能力。

根据循序渐进的认识规律及科学体系，理论力学的内容通常分为静力学、运动学及动力学三部分。

### 1. 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。

### 2. 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。

### 3. 动力学

研究物体的运动变化与其所受的力之间的关系，是理论力学最主要的组成部分。

## § 0-3 理论力学的研究方法

理论力学的研究方法是从实践出发，经过抽象化、综合、归纳，建立公理，再应用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论，形成理论体系，然后再通过实践来证实理论的正确性。这也是自然科学研究的一般方法。

观察和实验是理论发展的基础。从力学发展的历史过程可以看出，理论体系的建立和形成的每一阶段都是与人类在生产劳动中的观察和实验分不开的。从观察实际得到的材料必须经过思考的加工才能上升到理论。因为我们所观察到的材料是复杂多样的，不易从中抓住事物的本质；因此必须在各种现象中抓住起决定性作用的主要因素，撇开次要的、局部的、偶然性的因素，这样才能深入现象的本质，明确事物间的内在联系。这就是力学中普遍采用的抽象化方法。抽象化的力学现象也称为力学的理想模型。例如，在研究物体的机械运动时，撇开物体的变形就得到刚体的概念，撇开物体的广延性就得到质点的概念，撇开流体的粘性就得到理想流体的概念，撇开摩擦的作用就得到理想约束的概念，等等。经过第一次简化之后，为了满足进一步的要求，再考虑初步近似中所未计入的因素建立新的模型，得出更接近于实际情况的结果。这种由粗到精、由简单到复杂的研究方法在科学技术中得到广泛地应用。例如，建立刚体平衡规律之后，考虑物体变形的特征就得到弹塑性物体的模型，可以进一步研究变形体的平衡规律。实践证明，正确的抽象不是脱离实际而是更深刻地接