

理论力学

胡运康 景荣春 主编



教育科学“十五”国家规划课题研究成果



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

理论力学

胡运康 景荣春 主编

高等教育出版社

内容简介

本书主要适用于高等学校本科应用型人才的培养需要。本书对传统的工科理论力学教材体系作了较大改革。静力学采用以动力学为基础的理论体系和新的内容编排。运动学加强解析法,在按课程基本要求讲授合成法之余,在全部运动学中贯穿解析法。动力学加强动力学普遍定理。考虑应用型本科学生的特点,讲透解题方法。采用新的体系和讲透解题方法,使理论力学比较容易学。

全书包括3篇16章,静力学篇:力系作用量,物体的受力分析,平衡力系作用下物体的受力;运动学篇:点的运动学,刚体的基本运动,刚体的平面运动,点的复合运动;动力学篇:质点动力学基本方程,动量定理,动量矩定理,动能定理,动静法,碰撞,虚位移原理,拉格朗日方程,振动。

本书包括理论力学多学时课程基本要求的内容,可作为高等学校本科机械、土建类专业理论力学课程教材,也可供高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

本书配有电子教案。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/胡运康,景荣春主编. —北京:高等教育出版社, 2006.7

ISBN 7-04-016452-3

I. 理… II. ①胡…②景… 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(2006)第059939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	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京印刷一厂		http://www.landracom.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006年7月第1版
印 张	25.75	印 次	2006年7月第1次印刷
字 数	480 000	定 价	29.50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 16452-00

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在做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

前 言

我们努力编写一本有特色、比较科学又比较容易学的工科理论力学教科书。

特色之一是改革。在满足现行课程基本要求的前提下,对工科理论力学的教学体系和内容作力所能及的改革。

静力学采用新的理论体系和内容编排。这个新体系首见于1982年朱照宣等的《理论力学》。力是看不见测不到的,只能由力对物体的效应来研究。由动力学得出:力对物体的作用的特征量是力系的主矢和主矩。由此出发建立全部静力学理论,包括由主矢、主矩直接得出力系向一点简化和力系求合力的最简单的方法。扬弃了旧体系通过力系各力向简化中心平移,然后有点含糊地引出主矢、主矩的做法。新体系的理论推导简练、顺畅,有清楚的物理意义。

静力学内容编排(参考 I. H. Shames 的 Engineering Mechanics):第1章力系作用量,抽象地研究力的理论;第2章物体的受力分析和第3章平衡力系作用下物体的受力,着重研究力是物体间的关系。各部分系统清晰,内容完整,避免重复,大幅度提高课程起点,减少学时,给学生新鲜感。

运动学加强解析法。解析法是统一的也是更容易学的方法,而且切合工程实际应用。在按课程基本要求讲授合成法之余,我们在全部运动学中贯穿了解析法。传统上用合成法解的题,往往用解析法更方便。

动力学加强动力学普遍定理,而给动静法以实事求是的地位。

特色之二是把概念和方法讲透,容易学。

上述改革,不但提高了课程的科学性,也使概念和方法更清楚更容易学。此外,我们还讲透了一些概念,如:为什么叫“主动力”;什么是点的合成运动;质心定义的物理意义;质点系运动量的主矢、主矩。

我们着重帮助学生解决理论力学做题难的问题,主要是把例题编写好。

1. 例题多,类型多。

2. 讲透解题方法,总结解题规律。如:静力学物体系平衡问题,我们点出“三未知对象”、“四未知三汇交对象”,便于学生识别,找到解题的切入点;在点的复合运动中讲透动点动系的选择;运动学和动力学中多讲一题多解,比较不同解题方法的特点、相互关系和适用范围。对有些例题我们提出新颖的解法。

3. 例题编写格式有突破。传统的题解是夹叙夹算。我们把“分析”和“解”分开。“分析”:着重分析解题思路,要求在解题之前“全局在胸”;也对解题作

必要的解释。“解”:写成学生作业规范格式,要求首先写出全部原始方程,表现未知量个数与方程数的封闭关系,表现清晰的思路。部分例题在“解”之后有“讨论”或“说明”。

本书内容满足工科多学时理论力学基本要求,不加深加宽,理论精炼,内容简明,叙述简洁,易学易懂。本书适用于一般高等学校机械、土建等专业理论力学课程,着重考虑培养应用型人才的需要,也可供其他专业选用,或作自学、函授教材。

本书由胡运康、景荣春主编。参加编写的人员有:绪论、第2章、第3章,江苏科技大学景荣春教授;第1章、第7章,湖北汽车工业学院吴云存副教授;第4章、第5章、第6章,茂名学院贺景文副教授;第8章、第9章,兰州理工大学宋曦副教授;第10章、第11章、第12章,湖北汽车工业学院胡运康副教授;第13章、第16章,河海大学机电学院楼力律讲师;第14章、第15章,广西大学王文宁副教授、胡运康。

本书承清华大学贾书惠教授详细审阅,提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。在编写过程中参考了国内外一些优秀教材,吸取它们的许多长处,选用其中部分例题和习题,在此谨向这些教材的编者致谢。特别感谢湖北汽车工业学院汽车工程系的大力支持。

书中有些内容是学生的创造,如合力的作用线方程、相对运动的轨迹方程,在此表示感谢。

限于编者水平,缺点和错误可能较多,衷心希望读者批评指正。

编者

2006年5月

主要符号表

A	面积	i, j, k	x, y, z 方向单位矢
A	振幅	J	转动惯量(惯性矩)
a	加速度	J_{xy}, J_{yz}, J_{zx}	惯性积
a_n, a_t	法向, 切向加速度	k	弹簧刚度系数
a_a, a_c, a_r, a_c	绝对, 牵连, 相对, 科氏加速度	L, l	长度
b	宽度	L	拉格朗日函数
b	副法线单位矢	L_A	对点 A 动量矩
C	质心, 重心	L_A	对点 A 相对运动动量矩
c	粘性阻尼系数	M	力偶、力偶矩
D, d	直径	M_A	力系对点 A 主矩
d	距离	$M_A(F)$	力 F 对点 A 的矩, 在不混淆时可简化为 M_A
d	力偶臂	M_{I_A}	惯性力系对点 A 主矩
E	机械能	M_r	滚动阻力偶
e	偏心距	M_x, M_y, M_z	力系对点 A 的主矩 M_A 在 x, y, z 轴上投影; 力系对 x, y, z 轴的矩
e	恢复因数	M_x, M_y, M_z	力偶矩 M 在 x, y, z 轴上投影
F	力	$M_x(F), M_y(F), M_z(F)$	力 F 对 x, y, z 轴的矩, 在不混淆时符号可简化为 M_x, M_y, M_z
F_v	主矢	m	质量
F_R	合力	n	法向单位矢
F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Az}	作用于点 A 的力 F_A 沿 x, y, z 方向的分力	n	转速
F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Az}	作用于点 A 的力 F_A 在 x, y, z 轴上的投影	P	速度瞬心
F_N	法向力	P	功率
F_s, F_d	静摩擦力, 动摩擦力	p	动量
F_k	弹簧弹性力	Q	加速度瞬心
F_i	惯性力(动静法)	Q	广义力
F_{ic}, F_{ic}	牵连, 科氏惯性力	q	广义坐标
f, f_s	动摩擦因数, 静摩擦因数	q	分布载荷集度
g	重力加速度	R, r	半径
H	冲量矩(角冲量)	r	位矢(径矢)
h	高度		
I	冲量		

s	路程	δ	阻尼系数
s	弧坐标	ζ	阻尼比
T	动能	η	效率
T	周期	θ	角坐标
t	时间	λ	频率比
t	切向单位矢	μ, μ_s	动摩擦因数, 静摩擦因数
V	体积	ρ	位矢
V	势能	ρ	曲率半径
v	速度	ρ	回转半径(惯性半径)
v_a, v_c, v_r	绝对, 牵连, 相对速度	φ_i	摩擦角
W	重力(重量)	φ	角坐标
W	功	ω	角速度
x, y, z	笛卡儿坐标	ω_n	固有(角)(圆)频率
α	角加速度	ω	激励(角)(圆)频率
Δ, δ	弹簧变形	注: 据国家标准 GB 3100 ~ 3102—93。	
δ	滚阻系数		

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑	黄 毅
责任编辑	李 澈
封面设计	于 涛
责任绘图	朱 静
版式设计	马静如
责任校对	金 辉
责任印制	陈伟光

目 录

主要符号表	1
绪论	1

第1篇 静 力 学

第1章 力系作用量	5
1-1 主矢,汇交力系合力	5
1-2 力矩,主矩	9
1-3 力系作用量、等效、平衡	16
1-4 力偶	19
1-5 力系简化	22
1-6 重心,平行分布力	30
小结	34
习题	36
第2章 物体的受力分析	42
2-1 约束、约束力和主动力	42
2-2 常见约束及其约束力	43
2-3 受力分析与受力图	48
小结	52
习题	52
第3章 平衡力系作用下物体的受力	55
3-1 力系平衡条件和平衡方程	55
3-2 平面力系平衡方程及应用	55
3-3 简单物体系的平衡问题	64
3-4 静定和超静定问题的概念	73
3-5 平面简单桁架	74
3-6 摩擦	78
3-7 滚动阻力偶	84
3-8 空间力系平衡方程的应用	88
小结	92
习题	93

第2篇 运 动 学

第4章 点的运动学	115
4-1 矢量法	115
4-2 笛卡儿坐标法	115
4-3 自然法	118
小结	120
习题	120
第5章 刚体的基本运动	123
5-1 刚体的平移	123
5-2 刚体的定轴转动	124
小结	128
习题	129
第6章 刚体的平面运动	132
6-1 概述	132
6-2 刚体平面运动的解析法	132
6-3 刚体平面运动的分解	133
6-4 速度分析	134
6-5 加速度分析	143
小结	146
习题	147
第7章 点的复合运动	152
7-1 概述	152
7-2 速度、加速度合成定理	153
7-3 科氏加速度	162
7-4 运动学综合题	172
小结	184
习题	185

第3篇 动 力 学

第8章 质点动力学基本方程	197
8-1 惯性参考系中的质点动力学基本方程(质点运动微分方程)	197
8-2 非惯性参考系中的质点动力学基本方程	201
小结	206
习题	207
第9章 动量定理	209
9-1 动力学普遍定理的意义	209
9-2 质点与质点系动量定理	209

9-3 质心运动定理	211
9-4 动量定理应用举例	214
小结	218
习题	219
第10章 动量矩定理	222
10-1 质点系运动量的主矢、主矩	222
10-2 矩心为定点的动量矩定理	224
10-3 刚体定轴转动动力学方程	225
10-4 转动惯量	226
10-5 相对运动动量矩定理	234
10-6 对质心的动量矩定理,刚体平面运动动力学方程	236
小结	241
习题	242
第11章 动能定理	248
11-1 质点和质点系动能定理	248
11-2 质点系动能	249
11-3 力的功	251
11-4 约束力的功,内力的功,理想约束	254
11-5 势能,机械能守恒	256
11-6 功率	257
11-7 动能定理的应用	258
11-8 动力学普遍定理综合题	262
小结	270
习题	271
第12章 动静法	279
12-1 质点和质点系动静法	279
12-2 惯性力系的简化	280
12-3 动静法的应用	282
12-4 轴承动约束力,动平衡	290
小结	291
习题	292
第13章 碰撞	296
13-1 碰撞的基本概念	296
13-2 应用于碰撞问题的动量和动量矩定理	298
13-3 恢复因数	300
13-4 质点碰撞的动能损失	304
13-5 撞击中心	305
小结	307

习题	308
第 14 章 虚位移原理	311
14-1 约束、虚位移、虚功、理想约束	311
14-2 虚位移原理	313
14-3 广义坐标与自由度	324
14-4 广义力与平衡条件	326
小结	331
习题	332
第 15 章 拉格朗日方程	336
15-1 达朗贝尔原理	336
15-2 动力学普遍方程(达朗贝尔-拉格朗日方程)	336
15-3 拉格朗日方程	337
15-4 拉格朗日方程的初积分	345
小结	347
习题	347
第 16 章 振动	351
16-1 单自由度无阻尼自由振动	351
16-2 能量法	358
16-3 单自由度有阻尼自由振动	359
16-4 单自由度无阻尼受迫振动	362
16-5 单自由度有阻尼受迫振动	365
小结	367
习题	368
主要参考书目	372
习题答案	373
索引	388
Synopsis	393
Contents	394

绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学研究物体力学运动^①的基本规律。力学运动指物体在空间的位置变化。

在理论力学中,除特殊指明者外,都把物体假设为刚体。

本书分为以下三部分:

静力学——研究力系作用量、等效、简化与平衡,以及在平衡力系作用下物体的受力;

运动学——从几何角度研究物体运动;

动力学——研究物体的运动与所受力之间的关系。

二、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课,又是学生接触工程实际的第一门课程。学习本课程的主要目的:

(1) 理论力学是一切力学课程的基础,也是许多专业课程的基础。

(2) 有些工程问题可以直接利用理论力学知识解决。因此,通过理论力学的学习,要初步掌握处理工程实际问题的方法,包括工程实际问题的力学建模。

(3) 理论力学是一门演绎性较强的课程,对训练逻辑思维颇有好处;习题变化多端,可以培养灵活运用能力。

三、力学基本定律

理论力学研究的是速度远小于光速的宏观物体的力学运动,它以牛顿总结的三个基本定律和力的平行四边形定律为基础:

^① 中国科学院自然科学名词审定委员会力学名词审定委员会《力学名词》(1993),定名为“力学运动”,mechanical motion,又称“机械运动”(不推荐)。

牛顿第一定律 每个物体倘非有外力影响使其改变状态,则该物体仍保持其原来静止的或等速直线运动的状态。

牛顿第二定律 运动之变化,与动力之作用相比,其所循方向则为力施作用的方向。

牛顿第三定律 作用恒与其反作用相等,或,二物体之相互作用恒等,方向则恒相反。

力的平行四边形定律 二力联结时,物体即循一平行方形之对角线,其所用时间,一如力单独时循各边所需者。

以上引文来自 1931 年郑太朴译的牛顿《自然哲学的数学原理》(1687 年),转引自朱照宣等的《理论力学》。其中的力的平行四边形定律,牛顿原文为“系 1”,即“推论 1”,实际是一条独立的定律。

力的平行四边形定律在牛顿之前已经提出和在静力学中应用。牛顿重新提出,赋予这个定律以新的动力学意义,由力的效应说明力的性质。

这四个定律构成理论力学的基础。理论力学的全部理论由这四个基本定律演绎导出。

四、惯性系、质点、质点系、刚体

牛顿定律适用的参考系称为惯性参考系;相对于惯性参考系有加速度的参考系称为非惯性参考系。

质点和质点系是两个力学模型。质点是具有一定质量而可以忽略形状、大小的物体。质点系是由几个或无数个有一定联系的质点组成的系统。刚体是一种特殊的质点系,由无数个质点组成,且其中任意两质点间的距离不变,也称为不变形的质点系。

第1篇 静力学

本篇主要研究三个问题:

- (1) 力系的作用量、等效和简化;
- (2) 物体的受力分析;
- (3) 平衡力系作用下物体的受力。

总之,静力学研究力。用什么方法研究力?力是看不见的。我们看得见测得到的是力对物体的效应:物体的变形和物体运动的变化。前者称为内效应,后者称为外效应。理论力学研究力的外效应,假设物体不变形。不变形的物体称为**刚体**,它是由实际问题近似抽象的理论力学模型。人们看到物体运动的变化,伽利略和牛顿以之归因于力的作用。力的定义由此而来。我国国家标准 GB 3102.3—93《力学的量和单位》中规定力的定义是:“作用在物体上的合力等于物体动量的变化率”。可见力的定义是由力的运动效应得来。牛顿第二定律是人类第一次揭示物体运动量与力的作用量之间的关系。物体的运动状态的变化是看得见测得到的。人们正是,也只是,根据物体运动状态来判断力的存在、度量力的作用量。

动力学研究物体运动量与力的作用量之间的关系。力的作用量主矢、主矩的定义由动力学得出。静力学是动力学的特例:物体运动状态不变。静力学的理论建立在动力学的基础上。本书以动力学得出的力系作用量作为研究静力学的出发点。

在牛顿定律之前,已经发展了静力学。由于当时不了解力的作用量与物体运动状态之间的关系,只能建立静力学公理体系,独立地发展静力学体系。本书不采用这个体系。

静力学的理论和方法在解决工程技术问题中有着广泛的应用;静力学知识也是学习本课程后续内容和后继课程所必需的。