

144

普通高等教育“十五”国家级规划教材

理论力学(I)

第六版

哈尔滨工业大学理论力学教研室 编

高等教育出版社

内容提要

本书第一版至第五版受到广大教师和学生的欢迎,本版仍保持前五版理论严谨、逻辑清晰、由浅入深、宜于教学的风格和体系,适当提高了起点,增加了部分新内容,以适应 21 世纪的需要。本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本版分为两册,第 I 册内容包括静力学、运动学、动力学普遍定理、达朗贝尔原理及虚位移原理等,一般中等学时时的专业只用第 I 册即可;第 II 册内容包括非惯性系中的质点动力学、碰撞、分析力学基础、机械振动基础、刚体定点运动与自由体运动及变质量动力学等,各专业可根据需要来选取。全书配有大量思考题和习题。

本书可作为高等院校工科各专业理论力学课程的教材,可作为夜大、函授大学、职工大学相应专业的自学和函授教材,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 /哈尔滨工业大学理论力学教研室编.
6 版. - 北京:高等教育出版社,2002.8
高等学校教材
ISBN 7-04-011070-9

I.理… II.哈… 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(2002)第 043274 号

理论力学(I)(第六版)

哈尔滨工业大学理论力学教研室 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京人卫印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.5
字 数 470 000

版 次 1961 年 7 月第 1 版
2002 年 8 月第 6 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 29.20 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

第六版序

本书从1961年出版以来,已经修订多次,这次是第六版。前五版受到了广大教师和学生的欢迎,曾获国家优秀教材奖。

为适应21世纪的需要,本书对第五版进行了修订。通过多年的教学实践,本书的体系和风格已经比较成熟,大多数使用者希望保留和发扬这一风格。本版仍保留前五版的风格,坚持理论严谨、逻辑清晰、由浅入深的原则,适当提高起点,增加部分新内容。本版分为两册。第Ⅰ册为基础部分,包含了理论力学的基本内容,包括:静力学、运动学、动力学三大基本定理、达朗贝尔原理、虚位移原理等,一般中等学时专业只用第Ⅰ册即可。第Ⅱ册为专题部分,内容包括:非惯性系动力学、碰撞、分析力学基础(含第一类拉格朗日方程)、机械振动基础、定点运动及变质量动力学。不同专业可选用不同的专题。

本书适用于高等工科院校四年制机械、土建、交通、水利、动力、航空航天等专业,也可供其他专业选用,或作为自学、函授教材。

本版由王铎教授和程靳教授主编,经教材审定小组讨论,第Ⅰ册由王宏钰教授(第一,二,三,四,五章),程靳教授(第六,七,八,九章),赵经文教授(第十,十一,十二,十三章),程燕平副教授(第十四,十五章)执笔;第Ⅱ册由程靳教授(第一,五,六章),程燕平副教授(第二章),孙毅教授(第三章)执笔,第四章由程靳教授与程燕平副教授共同执笔;全书由程靳教授和程燕平副教授统稿。

本版由清华大学贾书惠教授审阅,并提出了很多宝贵意见,特此致谢。

本书虽经多次修订,但限于我们的水平和条件,缺点和错误仍在所难免,衷心希望大家提出批评和指正,使本书不断提高和完善。

第五版序

本书为第五版。初版于1961年出版,1962年和1965年经过修订,出版了第二版上、下册和第三版上册,第三版下册因故未能正式出版。1981年出版的第四版上、下册对以前的版本作了较大的调整,在各章末增加了小结、思考题和习题,更有利于教师的讲授,也便于学生自学。本书第四版在国内得到了广泛的选用,荣获国家优秀教材奖。本书第四版出版十余年来,也收到了很多教师和读者的宝贵意见和建议,对此我们深表感谢。

为适应我国科学技术和生产建设的发展,适应学生水平的普遍提高,我们根据近年来的教学实践和兄弟院校的意见,对本书第四版作了适当的修订。修订后的第五版符合国家教委新颁布的“高等学校工科本科理论力学课程教学基本要求”,适用于四年制机械、土建、水利、航空和动力等专业,可供企业管理、化工、电器等其他专业选用,亦可作为自学和函授教材。

本版保持了第四版的体系和风格,继承了前一版便于教师讲授和学生自学的优点,在下列几方面作了一些修改:减少了与数学、物理等课程简单重复的内容;删去了图解静力学一章;减少了几何法求解问题的篇幅,适当加强了便于计算机应用的解析方法和综合分析问题的训练;合并了部分章节,精炼了文字叙述;减少了部分简单习题,扩展了习题的类型,适当增加了综合练习题;附录中给出了几个有关静力学内容的微机计算程序。

本版采用了GB 3100~3102—93《量和单位》中规定的有关通用符号。

本修订版由王铎教授和赵经文教授任主编,经教材修订小组讨论,由王宏钰教授(静力学)、程靳教授(运动学)、赵经文教授(动力学)和陈明副教授、程燕平副教授(习题)等执笔,并由赵经文教授统稿,最后由王铎教授定稿完成。

本版由清华大学贾书惠教授和华东船舶工业学院董雷强副教授审阅,他们对本书提出了很多宝贵意见,特此致谢。

本书虽经多次修订,但由于水平和条件所限,还会有不少缺点和错误,诚恳欢迎读者批评指正。衷心希望大家对本书提出修改意见和建议,使之能不断地提高和改进。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1996年10月

第四版序

本书初版于1961年出版。1962年和1965年经过修订,出版了第二版上、下册和第三版上册,第三版下册因故未能正式出版。

为了适应社会主义现代化建设的需要,我们根据多年来的教学实践并按照高等学校工科力学教材编审委员会理论力学编审小组1980年审订的高等工业学校《理论力学教学大纲》(草案)(四年制机械、土建、水利、航空等类专业试用)的要求,对本书在前三版的基础上进行了修订,作为第四版出版。本版对以前各版的章节作了适当的调整,对各章的内容、例题作了增删和修订;为便于自学,在各章末增加了小结、思考题和习题,并在书末附有习题答案。

本版采用国际单位制。

本版基本内容课内为120学时。附有“*”号的章节,不是120学时内的基本内容,可根据专业需要选取。绪论的内容不必在第一次课上全部讲授,例如关于理论力学的研究方法可在课程结束时加以总结。

本版的修订由王铎同志主编,修订方案经过教材修订小组讨论,由王宏钰(第一章至第八章)、洪敏谦(绪论和第九章至第二十章)、邹经湘(第二十一章至第二十四章)、杨英烈(静力学习题)、于永德(运动学和动力学习题)同志执笔,并由洪敏谦同志统稿,最后由王铎同志校阅。

本版上册插图部分底图由冯年寿同志重新绘制。

本版由北京航空学院黄克累和张大源同志审阅,并提出了很好的意见,特此致谢。

本书虽经多次修订,但限于我们的水平,还会有不少缺点和错误,衷心希望读者批评指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1981年6月

第三版序

为了适应当前教学改革形势,我们对本书第二版作了较全面的修订。在修订中,注意了贯彻“理论联系实际”的方针和“少而精”的原则。

修订时,注意了工科院校的特点,删去了不适合一般专业需要的部分,精简了次要内容,合并了一些章节;在内容叙述和定理推证方面力求物理概念清晰;各章问题尽量从工程实际引出,并增加了联系实际的例子。

本修订版在修订前,经过教研室全体同志讨论,然后分工执笔修改,最后由王铎同志统一校订。本版全部插图都系重新绘制。

本修订版由北京航空学院黄克累同志审阅,并提出了很多宝贵的意见。

由于我们对教学改革精神领会不够,并受政治和业务水平所限,错误和缺点在所难免,衷心地希望大家批评指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1965年8月

第二版序

本书的第一版出版后,我们听取了兄弟院校教师和读者的意见,对它进行了修改。

在本版中,我们对全书的内容和文句作了必要的增删和修改,也订正了第一版中的印刷错误。

本版的修改工作是由洪敏谦同志执笔和完成的。修改的内容曾由教研室部分教师参加讨论。改写的章节中的第二十章§7和第二十九章§10分别由陈长庚和谈开孚同志执笔。最后,由王铎同志对全书进行了校阅。

为了提高出版质量,本版中的部分附图是由屠良尧等同志重新绘制的。

本书虽经修改,但由于水平所限,缺点和错误仍在所难免,衷心地希望大家提出批评和指正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1962年3月

第一版序

本书是根据1959年我教研室所编理论力学讲义经过局部修改而出版的。几年来,特别是在贯彻党的教育方针以后,在党的领导下,学习先进经验,并结合我们的教学实践,总结了点滴体会,先后编写了一些讲义,供校内同学参考。由于讲义本来只反映本校的局部情况,加以出版时间仓促,没有来得及根据兄弟院校的教学经验多加修改。

本书的篇幅只大体适合于机械、动力、电机、土建等类各专业理论力学课程的要求。对变质量力学、物体在中心力场中的运动、回转仪理论和振动理论等专题只作了简略的叙述。因此有必要结合学校和专业的特点,增删部分内容,指定相应的参考资料。

总之,本书无论在体系、篇幅、内容、教学方法等各个方面都不够成熟,必须随着教育的不断深入发展,吸取兄弟教研室的宝贵经验,大力加以修改,热烈地希望兄弟院校的教师和同学提出批评指正。

本书是在党的直接领导和关怀下,由教研室同志集体编写的,参加的主要成员有童秉纲、钟宏九、黄文虎、谈开孚、叶谋仁等。

最后,衷心地感谢兄弟院校的理论力学教研室,他们为了促使本书提高质量,早日出版,对本书提出了许多宝贵的修改意见,主动地为本书提供了他们所编讲义的个别章节及例题,并承清华大学理论力学教研组有关同志对全书进行了校阅和订正。

哈尔滨工业大学理论力学教研室

1961年4月于哈尔滨

主要符号表

a	加速度	L	拉格朗日函数
a_n	法向加速度	L_O	刚体对点 O 的动量矩
a_t	切向加速度	L_C	刚体对质心的动量矩
a_a	绝对加速度	m	质量
a_r	相对加速度	M_z	对 z 轴的矩
a_e	牵连加速度	M	力偶矩, 主矩
a_C	科氏加速度	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
A	面积, 自由振动振幅	M_I	惯性力的主矩
e	恢复因数	n	质点数目
f	动摩擦因数	O	参考坐标系的原点
f_s	静摩擦因数	p	动量
F	力	P	重量, 功率
F'_R	主矢	q	载荷集度, 广义坐标
F_s	静滑动摩擦力	Q	广义力
F_N	法向约束力	r	半径
F_{ic}	牵连惯性力	r	矢径
F_{IC}	科氏惯性力	r_O	点 O 的矢径
F_I	惯性力	r_C	质心的矢径
g	重力加速度	R	半径
h	高度	s	弧坐标, 频率比
i	x 轴的基矢量	t	时间
I	冲量	T	动能, 周期
j	y 轴的基矢量	v	速度
J_z	刚体对 z 轴的转动惯量	v_a	绝对速度
J_{xy}	刚体对 x, y 轴的惯性积	v_r	相对速度
J_C	刚体对质心的转动惯量	v_e	牵连速度
k	弹簧刚度系数	v_C	质心速度
k	z 轴的基矢量	V	势能, 体积
l	长度		

W	力的功	ρ	密度, 曲率半径
x, y, z	直角坐标	φ	角度坐标
α	角加速度	φ_f	摩擦角
β	角度坐标	ψ	角度坐标
δ	滚阻系数, 阻尼系数	ω_0	固有角频率
δ	变分符号	ω	角速度
ζ	阻尼比	ω_a	绝对角速度
η	减缩因数	ω_r	相对角速度
λ	本征值	ω_e	牵连角速度
Λ	对数减缩		

目 录

绪论	1
----------	---

静 力 学

引言	5
第一章 静力学公理和物体的受力分析	6
§ 1-1 静力学公理	6
§ 1-2 约束和约束力	8
§ 1-3 物体的受力分析和受力图	13
小结	18
思考题	18
习题	20
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	27
§ 2-4 平面力偶	29
小结	32
思考题	33
习题	36
第三章 平面任意力系	41
§ 3-1 平面任意力系向作用面内一点简化	41
§ 3-2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	46
§ 3-3 物体系的平衡·静定和超静定问题	50
§ 3-4 平面简单桁架的内力计算	56
小结	59
思考题	61
习题	63
第四章 空间力系	73
§ 4-1 空间汇交力系	73
§ 4-2 力对点的矩和力对轴的矩	75
§ 4-3 空间力偶	79
§ 4-4 空间任意力系向一点的简化·主矢和主矩	83

§ 4-5 空间任意力系的平衡方程	86
§ 4-6 重心	93
小结	99
思考题	101
习题	102
第五章 摩擦	109
§ 5-1 滑动摩擦	109
§ 5-2 摩擦角和自锁现象	111
§ 5-3 考虑摩擦时物体的平衡问题	113
§ 5-4 滚动摩擦阻的概念	119
小结	122
思考题	123
习题	125
运 动 学	
引言	131
第六章 点的运动学	132
§ 6-1 矢量法	132
§ 6-2 直角坐标法	133
§ 6-3 自然法	137
· § 6-4 点的速度和加速度在柱坐标和极坐标中的投影	144
· § 6-5 点的速度和加速度在球坐标中的投影	146
小结	148
思考题	149
习题	150
第七章 刚体的简单运动	155
§ 7-1 刚体的平行移动	155
§ 7-2 刚体绕定轴的转动	156
§ 7-3 转动刚体内各点的速度和加速度	157
§ 7-4 轮系的传动比	160
§ 7-5 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	162
小结	165
思考题	165
习题	166
第八章 点的合成运动	170
§ 8-1 相对运动·牵连运动·绝对运动	170
§ 8-2 点的速度合成定理	173

§ 8-3 点的加速度合成定理	177
小结	186
思考题	186
习题	188
第九章 刚体的平面运动	196
§ 9-1 刚体平面运动的概述和运动分解	196
§ 9-2 求平面图形内各点速度的基点法	199
§ 9-3 求平面图形内各点速度的瞬心法	205
§ 9-4 用基点法求平面图形内各点的加速度	209
§ 9-5 运动学综合应用举例	213
小结	220
思考题	220
习题	223
动 力 学	
引言	233
第十章 质点动力学的基本方程	234
§ 10-1 动力学的基本定律	234
§ 10-2 质点的运动微分方程	235
小结	240
思考题	240
习题	241
第十一章 动量定理	244
§ 11-1 动量与冲量	244
§ 11-2 动量定理	246
§ 11-3 质心运动定理	249
小结	253
思考题	254
习题	255
第十二章 动量矩定理	259
§ 12-1 质点和质点系的动量矩	259
§ 12-2 动量矩定理	260
§ 12-3 刚体绕定轴的转动微分方程	264
§ 12-4 刚体对轴的转动惯量	267
§ 12-5 质点系相对于质心的动量矩定理	273
§ 12-6 刚体的平面运动微分方程	275
小结	277
思考题	278

习题	279
第十三章 动能定理	286
§ 13-1 力的功	286
§ 13-2 质点和质点系的动能	290
§ 13-3 动能定理	292
§ 13-4 功率·功率方程·机械效率	298
§ 13-5 势力场·势能·机械能守恒定律	301
§ 13-6 普遍定理的综合应用举例	308
小结	311
思考题	313
习题	314
综合问题习题	318
第十四章 达朗贝尔原理(动静法)	323
§ 14-1 惯性力·质点的达朗贝尔原理	323
§ 14-2 质点系的达朗贝尔原理	324
§ 14-3 刚体惯性力系的简化	326
§ 14-4 绕定轴转动刚体的轴承动约束力	331
小结	334
思考题	335
习题	336
第十五章 虚位移原理	341
§ 15-1 约束·虚位移·虚功	341
§ 15-2 虚位移原理	344
小结	350
思考题	351
习题	352
附录 静力学计算程序选例	356
参考文献	364
习题答案	365
索引	382
Synopsis	386
Contents	387

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。

物体在空间的位置随时间的改变,称为**机械运动**。机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特殊情况。

在客观世界中,存在各种各样的物质运动,例如发热、发光和产生电磁场等物理现象,化合和分解等化学变化,以及人的思维活动等。在物质的各种运动形式中,机械运动是最简单的一种。物质的各种运动形式在一定的条件下可以相互转化,而且在高级和复杂的运动中,往往存在着简单的机械运动。

本课程研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。宏观物体远小于光速的运动是日常生活及一般工程中最常遇到的,古典力学有着最广泛的应用。理论力学所研究的则是这种运动中最一般、最普遍的规律,是各门力学分支的基础。

本课程的内容包括以下三个部分:

静力学——主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件;同时也研究物体受力的分析方法,以及力系简化的方法等。

运动学——只从几何的角度来研究物体的运动(如轨迹、速度和加速度等),而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学——研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

二、理论力学的研究方法

研究科学的过程,就是认识客观世界的过程,任何正确的科学研究方法,一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学也必须遵循这个正确的认识规律进行研究和发展的。

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的规律。

远在古代,人们为了提水,制造了辘轳;为了搬运重物,使用了杠杆、斜面和滑轮;为了利用风力和水力,制造了风车和水车,等等。制造和使用这些生活和

生产工具,使人类对于机械运动有了初步的认识,并积累了大量的经验,经过分析、综合和归纳,逐渐形成了如“力”和“力矩”等基本概念,以及如“二力平衡”、“杠杆原理”、“力的平行四边形规则”和“万有引力定律”等力学的基本规律,并总结于科学著作中。我国的墨翟(公元前 468—前 382 年)所著的《墨经》,是一部最早记述有关力学理论的著作。

人们为了认识客观规律,不仅在生活和生产实践中进行观察和分析,还要主动地进行实验,定量地测定机械运动中各因素之间的关系,找出其内在规律性。例如伽利略(公元 1564—1642 年)对自由落体和物体在斜面上的运动作了多次实验,从而推翻了统治多年的错误观点,并引出“加速度”的概念。此外,如摩擦定律、动力学三定律等,都是建立在大量实验基础之上的。实验是形成理论的重要基础。

2. 在对事物观察和实验的基础上,经过抽象化建立力学模型,形成概念,在基本规律的基础上,经过逻辑推理和数学演绎,建立理论体系。

客观事物都是具体的、复杂的,为找出其共同规律性,必须抓住主要因素,舍弃次要因素,建立抽象化的力学模型。例如,忽略一般物体的微小变形,建立在力作用下物体形状、大小均不改变的刚体模型;抓住不同物体间机械运动的相互限制的主要方面,建立一些典型的理想约束模型;为分析复杂的振动现象,建立了弹簧质点的力学模型等。这种抽象化、理想化的方法,一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映出事物的本质。当然,任何抽象化的模型都是相对的。当条件改变时,必须再考虑到影响事物的新的因素,建立新的模型。例如:在研究物体受外力作用而平衡时,可以忽略物体形状的改变,采用刚体模型;但要分析物体内部的受力状态或解决一些复杂物体体系的平衡问题时,必须考虑到物体的变形,建立弹性体的模型。

生产实践中的问题是复杂的,不是一些零散的感性知识所能解决的。理论力学成功地运用逻辑推理和数学演绎的方法,由少量最基本的规律出发,得到了从多方面揭示机械运动规律的定理、定律和公式,建立了严密而完整的理论体系。这对于理解、掌握以及应用理论力学都是极为有利的。数学方法在理论力学的发展中起了重大的作用。近代计算机的发展和普及,不仅能完成力学问题中大量的繁杂的数值计算,而且在逻辑推理、公式推导等方面也是极有效的工具。

3. 将理论力学的理论用于实践,在解释世界、改造世界中不断得到验证和发展。

实践是检验真理的唯一标准,实践中所遇到的新问题又是促进理论发展的源泉。古典力学理论在现实生活和工程中,被大量实践验证为正确,并在不同领域的实践中得到发展,形成了许多分支,如刚体力学、弹塑性力学、流体力学、生

物力学等。大到天体运动,小到基本粒子的运动,古典力学理论在实践中又都出现了矛盾,表现出真理的相对性。在新条件下,必须修正原有的理论,建立新的概念,才能正确指导实践,改造世界,并进一步地发展力学理论,形成新的力学分支。

三、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。学习理论力学的目的是:

1. 工程专业一般都要接触机械运动的问题。有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,有些比较复杂的问题,则需要用理论力学和其他专门知识共同来解决。所以学习理论力学是为解决工程问题打下一定的基础。

2. 理论力学是研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程,例如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹塑性力学、流体力学、飞行力学、振动理论、断裂力学以及许多专业课程等,都要以理论力学为基础,所以理论力学是学习一系列后续课程的重要基础。

随着现代科学技术的发展,力学的研究内容已渗入到其他科学领域,例如固体力学和流体力学的理论被用来研究人体内骨骼的强度,血液流动的规律,以及植物中营养的输送问题等,形成了生物力学;流体力学的理论被用来研究等离子体在磁场中的运动,形成电磁流体力学;还有爆炸力学、物理力学等都是力学和其他学科结合而形成的边缘科学。这些新兴学科的建立都必须以坚实的理论力学知识为基础。

3. 理论力学的研究方法,与其他学科的研究方法有不少相同之处,因此充分理解理论力学的研究方法,不仅可以深入地掌握这门学科,而且有助于学习其他科学技术理论,有助于培养辩证唯物主义世界观,培养正确的分析问题和解决问题的能力,为今后解决生产实际问题,从事科学研究工作打下基础。