

高等院校力学教材

理论力学

郭应征 周志红 编著



清华大学出版社



Springer

高等院校力学教材

理论力学

郭应征 周志红 编著



清华大学出版社
北京



Springer

内 容 简 介

本书是江苏省“工科力学系列课程教学内容课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一,是东南大学普通高等教育“十五”规划教材。全书共分四篇:静力学、运动学、动力学和分析力学基础。

本书可作为高等院校机械、土木、航空和工程力学等专业的理论力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/郭应征,周志红编著. —北京:清华大学出版社,2005.7

(高等院校力学教材)

ISBN 7-302-10713-0

I. 理… II. ①郭… ②周… 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(2005)第023763号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:杨 倩

文稿编辑:赵从棉

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:175×245 印张:30.5 字数:632千字

版 次:2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-10713-0/O·450

印 数:1~3000

定 价:39.80元

前 言

本书是江苏省“工科力学系列课程教学内容课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一,是东南大学普通高等教育“十五”规划教材,是为新世纪的工科大学生编写的多学时理论力学课程的更新教材。主要特色如下:

(1) 适当提高起点,删除了与物理学重复的内容,增加了反映现代科学技术的有关内容。同时注意精选内容,以减少教学学时。

(2) 突出工程观念的培养和力学在工程中的应用。编入了大量密切联系工程实际的例题与习题,以便于教师选用和学生练习之用。在编写过程中,注意通过对工程实例的简化和比较,培养学生建立力学模型和解决实际问题的能力。

(3) 全书体系清楚合理,理论阐述简明,文字简洁。在矢量力学部分,按静力学、运动学、动力学编排,分析力学内容单独成篇,且仍按静力学、运动学、动力学的体系编排,以便与矢量力学方法进行比较和对照。在基本内容的编写中,注意将难点分解,以求易教易学。例如,将静力学中的约束分为简单约束和空间约束,分别在第2章和第4章中讨论,在平面和空间情况下进行反复和深化,以便于学生真正理解和掌握。

(4) 按照最新的理论力学教学基本要求,对非基本内容均加上星号予以区别,以便于使用者根据需要选用。加星号的内容属于加深和拓宽部分,叙述力求简练,内容力求精练并予压缩。例如,将碰撞问题压缩为一节,并入第14章动能定理,作为动力学基本定理在碰撞问题中的工程应用来阐述。

(5) 力求进行启发式教学,在正文中用楷体编入一些思考题,尝试用提问的方式进行教学,以便将有关重要概念的理解引向深入,给学生留下思考的空间。

本书适用于工科各专业。全书共分4篇:静力学、运动学、动力学以及分析力学

基础。编写中为便于使用者取舍,采用了模块式结构,可根据需要拼装成各种学时类型的理论力学教材。

全书由郭应征编写,周志红参加了部分校对工作。东南大学的诸关炯教授和陈笃炎教授等对本书的编写提出了宝贵意见。本书的编者谨向他们表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,主要参考了南京工学院(现为东南大学)和西安交通大学编写的《理论力学》上、下册以及郭应征和李兆霞主编的《应用力学基础》,同时还参考了国内外一些优秀教材,在此谨向这些教材的编著者深表感谢。

郭应征 周志红

2004年12月18日于东南大学

主要符号表

a	加速度	L_O	刚体对点 O 的动量矩
a_n	法向加速度	L_C	刚体对质心的动量矩
a_t	切向加速度	m	质量
a_n	绝对加速度	M_z	对轴 z 的矩
a_r	相对加速度	M	力偶矩, 主矩
a_e	牵连加速度	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
a_C	科氏加速度	M_1	惯性力的主矩
A	面积, 自由振动振幅	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, 质点
F_R	主矢	q	载荷集度, 广义坐标
F_N	法向约束力	Q	广义力, 品质因数
F_{le}	牵连惯性力	r	半径
F_{IC}	科氏惯性力	r	矢径
F_1	达朗贝尔惯性力	r_O	点 O 的矢径
g	重力加速度	r_C	质心的矢径
h	高度	R	半径
i	轴 x 的基矢量	s	弧坐标
I	冲量	t	时间
j	轴 y 的基矢量	T	动能, 周期
J_z	刚体对轴 z 的转动惯量	v	速度
J_{xy}	刚体对轴 x, y 的惯性积	v_a	绝对速度
J_C	刚体对质心的转动惯量	v_r	相对速度
k	弹簧刚度系数, 恢复因数	v_e	牵连速度
k	轴 z 的基矢量	v_C	质心速度
l	长度	V	势能, 体积
L	拉格朗日函数	W	力的功
x, y, z	直角坐标	ρ	密度, 曲率半径
α	角加速度	φ	角度坐标

β	角度坐标,放大因子	φ_f	摩擦角
δ	滚阻系数,阻尼系数	ψ	角度坐标
δ	变分符号	ω_0	固有角频率
ζ	阻尼比	ω	角速度
η	减缩系数	ω_a	绝对角速度
λ	频率比	ω_r	相对角速度
Λ	对数减缩	ω_c	牵连角速度

目 录

绪论	1
0.1 理论力学的研究内容	1
0.2 理论力学的研究方法	2
0.3 理论力学课程的任务	2

第1篇 静 力 学

第1章 力系的简化	7
1.1 力	7
1.2 力对点的矩矢 力对轴的矩	8
1.3 力偶矩矢	11
1.4 力系的简化 主矢和主矩	12
1.5 力系的简化结果 合力矩定理	15
习题	19
第2章 物体的受力分析	23
2.1 约束与约束力	23
2.2 载荷 重心	26
2.3 物体的受力分析	31
习题	36

第 3 章 平面力系的平衡	41
3.1 平面力系的平衡方程	41
3.2 物体系统的平衡问题	48
3.3 简单平面桁架	55
习题	58
第 4 章 空间力系的平衡	71
4.1 空间约束与约束力	71
4.2 空间平行分布力	74
4.3 空间力系的平衡问题	77
习题	85
第 5 章 摩擦	93
5.1 滑动摩擦	93
5.2 摩擦角和自锁	95
5.3 考虑摩擦的平衡问题	98
5.4 滚阻	106
习题	110

第 2 篇 运 动 学

第 6 章 点的运动学	121
6.1 矢量法	121
6.2 直角坐标法	122
6.3 自然法	129
6.4 极坐标法	138
习题	140
第 7 章 刚体的基本运动	146
7.1 刚体的平移	146
7.2 刚体的定轴转动	148
7.3 转动刚体内各点的速度和加速度	151
7.4 定轴轮系的传动比	155
习题	156

第 8 章 点的合成运动	162
8.1 相对运动 绝对运动 牵连运动	162
8.2 速度合成定理	166
8.3 加速度合成定理	170
习题	180
第 9 章 刚体的平面运动	190
9.1 刚体平面运动的分解	190
9.2 平面图形上各点的速度	192
9.3 平面图形上各点的加速度	201
9.4 刚体绕平行轴转动的合成	210
习题	214
* 第 10 章 刚体的定点运动和一般运动	226
10.1 刚体的定点运动	226
10.2 刚体绕相交轴转动的合成	233
10.3 刚体的一般运动	237
习题	238

第 3 篇 动 力 学

第 11 章 质点动力学	245
11.1 动力学基本定律	245
11.2 质点运动微分方程	246
11.3 非惯性系中的质点运动微分方程	252
习题	257
第 12 章 动量定理	266
12.1 动量与冲量	266
12.2 动量定理	268
12.3 质心运动定理	273
习题	277
第 13 章 动量矩定理	284
13.1 动量矩	284

13.2	动量矩定理	286
13.3	刚体绕定轴转动的微分方程	291
13.4	质点系相对于质心的动量矩定理	297
13.5	刚体平面运动微分方程	299
	习题	305
第 14 章	动能定理	314
14.1	力的功	314
14.2	动能	318
14.3	动能定理	320
14.4	功率 功率方程 机械效率	326
14.5	势力场 势能 机械能守恒定律	329
14.6	动力学普遍定理的综合应用	335
14.7	动力学普遍定理在碰撞问题中的应用	339
	习题	346
第 15 章	达朗贝尔原理	359
15.1	质点的达朗贝尔原理 惯性力	359
15.2	质点系的达朗贝尔原理	361
15.3	刚体惯性力系的简化	364
15.4	刚体绕定轴转动时轴承的动约束力	371
	习题	376
* 第 16 章	单自由度系统的振动	384
16.1	概述	384
16.2	单自由度系统的自由振动	386
16.3	单自由度系统的受迫振动	395
	习题	404

第 4 篇 分析力学基础

第 17 章	分析静力学	411
17.1	约束 广义坐标 自由度	411
17.2	虚位移与理想约束	413

17.3 虚位移原理.....	414
* 17.4 势力场中质点系的平衡条件与稳定性.....	418
习题.....	420
* 第 18 章 分析运动学	426
18.1 刚体系统的自由度与几何约束方程.....	426
18.2 刚体系统运动的分析法.....	428
习题.....	432
第 19 章 分析动力学	435
19.1 动力学普遍方程.....	435
19.2 拉格朗日方程.....	437
19.3 拉格朗日方程的初积分.....	443
习题.....	446
习题答案	451
参考文献	476

绪 论

0.1 理论力学的研究内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动是指物体在空间的位置随时间而发生的变化,自然界中的一切物质都是相互联系和相互作用的,构成了物质世界各种不同的运动形式,包括热、声、光、电磁、化学以及生命现象。在物质的各种运动形式中,机械运动是最为常见也是最基本的运动形式。物体的平衡是机械运动的特殊情况,所以理论力学也研究物体的平衡规律。由于物体之间的相互作用,即力的作用,使物体的运动状态发生改变,因此,理论力学研究作用于物体上的力与运动之间的关系。理论力学研究机械运动最基本最普遍的规律,是各门力学学科的基础。

本课程研究的内容是以伽利略和牛顿所总结的基本定律为基础的,属于经典力学的范畴,它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,在一般的工程问题中,物体都是宏观的,且其运动速度远远小于光速,应用经典力学理论研究这些物体的运动是足够精确的。所以,经典力学在日常生活和各种工程中具有非常重要的实用价值,是各种工程技术学科的基础。

理论力学的内容通常分为三部分,即**静力学**、**运动学**和**动力学**。

静力学研究物体在力系作用下平衡的普遍规律。

运动学是以几何的观点研究物体的运动,而不考虑作用于物体上的力。
动力学研究作用于物体上的力与物体运动之间的关系。

0.2 理论力学的研究方法

理论力学研究的问题,都是工程或生活实际中的问题。遵循认识论的规律,其研究方法首先是从生活、工程或实验中观察各种现象,从复杂的现象中抓住共性,找出反映事物本质的主要因素,略去次要因素,经过简化,把作机械运动的实际物体抽象为力学模型。建立力学模型是理论力学研究方法中很重要的一个步骤。因为实际中的力学问题往往是很复杂的,这就需要对同一个研究对象,为了不同的研究目的,进行多次实验,反复观察,仔细分析,抓住问题的本质,作出正确的假设,使问题理想化或简化,从而达到在满足一定精确度的要求下用简单的模型解决问题的目的。

理论力学的研究与数学有着密切的关系。建立了力学模型以后,还要按照机械运动的基本规律和力学定理,对力学模型进行数学描述,建立力学量之间的数量关系,得到力学方程,即数学模型。然后,经过逻辑推理和数学演绎进行理论分析和计算,或用计算机求数值解。最后,所得到的结果和结论是否正确,还要进一步通过实验或工程实践来检验。

0.3 理论力学课程的任务

理论力学和现代工程技术有着极为广泛的联系,现代生产和科学技术的飞速发展对力学提出了更多、更高的要求。例如,人造卫星的发射和航天飞机的研制,就要涉及火箭的轨道计算和制导以及卫星姿态控制等问题。工业生产过程自动化的发展,机器人的研发,要求在控制理论和多刚体系统设计理论方面有相应的发展等,这些问题的研究都涉及理论力学的基本概念。随着现代科学技术的进一步发展,力学理论已渗透到其他科学领域,形成了大批新的力学分支学科,因此理论力学不仅是一门基础科学,也是现代工程技术的重要理论基础之一。我们必须掌握这些基础理论,才有可能去研究不断出现的新理论和新技术。

理论力学将阐述质点、质点系、刚体和刚体系统运动的基本规律。这些理论知识为学习一系列后继课程,如材料力学、结构力学、机械原理、机械零件、振动力学、流体力学和弹塑性力学等专业课程提供理论基础。因此,理论力学是普通高等工科院校的一门重要的学科基础课。

此外,理论力学的分析和研究方法在科学研究中具有一定的代表性,有助于培养学生的辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力。使学生在学理论力学课程的过程中,了解和掌握机械运动的基本规律和研究方法,逐步发展形成科学的逻辑思维能力,对实际问题进行抽象简化和理论分析的能力,为今后进一步的学习活动和研究工作奠定基础。

第1篇 静力学

静力学研究物体在力系作用下平衡的规律。在静力学中物体被抽象化为刚体,力系(system of forces)是指作用于物体上的一组力,平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线平移的状态。物体在力系的作用下保持平衡时,力系应满足的条件称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。研究物体的平衡规律,就是研究作用于物体上力系的平衡条件及其应用。

在研究物体的平衡问题时,需要将复杂的力系进行简化。将作用于物体上的复杂力系用另一与其等效的简单力系代换,称为力系的简化(reduction of force system)。

静力学主要研究以下两个问题:

- (1)力系的等效代换和简化;
- (2)力系的平衡条件及其应用。

静力学在工程中有着广泛的应用,例如,在土木工程中,设计屋架、水坝、桥梁等结构时,需要按照静力学理论对结构进行细致的受力分析,以便得到既安全又经济的设计方案。在机械设计中,也要应用静力学的基本知识对复杂力系进行简化,分析计算机械零、部件受力情况,为强度、刚度和稳定性设计提供依据。