

21世纪应用型机电规划教材

理论力学

主 编 刘新柱 王 冬

副主编 黄丙申 葛宜元 林吾民 张莹芳



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

21 世纪应用型机电规划教材

理论力学

主 编 刘新柱 王 冬
副主编 黄丙申 葛宜元 林吾民 张莹芳

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是参照教育部高等学校教材指导委员会力学基础课程教学指导分委员会提出的理论力学课程教学基本要求进行编写的。重点介绍最具理论力学课程特点的基础内容,并从多种不同的角度讲解基本概念、基本公式和基本方法。全书共分3篇,分别讲述静力学、运动学、动力学的基本知识。

本书可作为高等院校机械、土建、水利、航空和力学等专业的理论力学或工程力学课程教材,也可作为有关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 刘新柱,王冬主编. --北京:北京航空航天大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-5124-0418-2

I. ①理… II. ①刘… ②王… 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(2011)第069355号

版权所有,侵权必究。

理论力学

主 编 刘新柱 王 冬

副主编 黄丙申 葛宜元 林吾民 张莹芳

责任编辑 刘 晨

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:11.75 字数:263千字

2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷 印数:4 000册

ISBN 978-7-5124-0418-2 定价:25.00元

本书编委

主 编：刘新柱 王 冬(佳木斯大学)

副主编：黄丙申 葛宜元 林吾民 张莹芳(佳木斯大学)

参 编：陈 晶 王鸣东 金黎春 徐 亮 林九燕 沈佳琦

漏利君 於娇娇 赵洁露 王真真 於晓文 丁灵芝

郑学良 王飞凤 戎超娜 张 燕

主 审：魏天路(佳木斯大学)

前言

本书根据培养应用型人才的教学需要,结合目前学生状况,以及培养人才的规格,由北京航空航天大学出版社组织有多年办学经验的学校,以及具有丰富教学实践经验的教师编写。本书的指导思想是教材架构、教材内容、例题难度、习题难度等符合教学应用型学校使用,培养面向 21 世纪的工程师以及新技术开发人员。因此,本书形成了自己的特色,与现有的研究型、研究教学型院校使用的教材有一定的区别。

理论力学是高等院校理工科专业普遍开设的一门技术基础课程,讲授物体机械运动的一般规律及其工程应用。理论力学虽然讲授经典理论,但其概念、理论及方法不仅是许多后继专业课程的基础,甚至在解决现代科技问题中也能直接发挥作用。近年来,许多工程专业的研究生常常要求补充理论力学知识以增强解决实际问题能力的现象就是一个例证。本书结合工程实际的应用,注重与同类教材的区别,着重于学生的实际能力的培养,突出理论与实践相结合,培养学生综合运用所学知识分析与解决实际问题的能力以及创新精神。在编写中对与物理重复的部分以及课程自身重复部分进行了精简和重组,提高了起点;并以学习力学基本知识和能力培养为目标,吸取了现行教材之所长和编者多年的教学经验。在内容叙述方面,深入浅出,注重概念引入以及分析和解决问题的思路和方法。书中安排了较多的例题,精选各类思考题和习题,难度适中。习题均附有答案,既适合课堂教学又便于自学。

本书的编写安排如下:刘新柱编写第 1、4、8、11 章;王冬编写第 2、3、7 章;黄丙申编写第 5、6、10 章;葛宜元编写第 9、14 章;林吾民编写第 12 章;张莹芳编写第 13 章。

本书可作为高等院校机械、土建、水利、航空和力学等专业的理论力学或工程力学课程教材,也可作为有关技术人员的参考用书。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎各位读者批评指正。

编者
2011 年 5 月

目 录

绪 论	1
0.1 理论力学的内容和研究对象	1
0.2 理论力学的研究方法	2
0.3 学习理论力学的目的	2

第 1 篇 静力学

第 1 章 静力学的基础	7
1.1 静力学基本概念	7
1.1.1 力的概念	7
1.1.2 刚体的概念	8
1.2 静力学公理	8
1.2.1 公理一(二力平衡公理)	9
1.2.2 公理二(加减平衡力系公理)	9
1.2.3 公理三(力的平行四边形公理)	10
1.2.4 公理四(作用和反作用公理)	11
1.2.5 公理五(刚化原理)	12
1.3 约束和约束反力	12
1.4 物体的受力分析和受力图	16
习 题	19
第 2 章 平面基本力系	21
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	21
2.1.1 几何法	21
2.1.2 解析法	23
2.2 平面力对点之矩的概念及计算	25
2.2.1 力对点之矩——力矩	25
2.2.2 合力矩定理	25
2.3 平面力偶理论	26

目 录

2.3.1 力偶与力偶矩	26
2.3.2 力偶的性质	27
2.3.3 力偶系的简化及平衡条件	27
习 题	29
第3章 平面任意力系和摩擦	32
3.1 平面力系向一点简化	32
3.1.1 力的平移定理	32
3.1.2 力系向任意一点简化、主矢和主矩	33
3.2 力系简化结果的分析·合力矩定理	34
3.3 平面任意力系的平衡条件及平衡方程	35
3.3.1 平面任意力系平衡的充分必要条件	35
3.3.2 平面任意力系平衡方程的基本形式	36
3.3.3 平面任意力系平衡方程的其他两种形式	36
3.3.4 平面平行力系	38
3.4 物体系统的平衡·静定和静不定问题	38
3.5 摩 擦	41
3.5.1 滑动摩擦	42
3.5.2 摩擦角与自锁现象	43
习 题	47
第4章 空间力系和重心	49
4.1 空间汇交力系	49
4.1.1 力在直角坐标轴上的投影及其分解	49
4.1.2 空间汇交力系的合成	51
4.1.2 空间汇交力系的平衡	52
4.2 力 矩	53
4.2.1 空间力对点之矩	53
4.2.2 空间力对轴之矩	54
4.2.3 力对点之矩与力对通过该点的轴之矩的关系	55
4.3 空间力偶理论	56
4.3.1 空间力偶的等效定理·力偶矩矢的概念	56
4.3.2 空间力偶系的合成与平衡	57
4.4 空间力系向一点的简化·主矢和主矩	57
4.4.1 力系的简化	57
4.4.2 简化结果的分析	59

4.5 空间任意力系的平衡条件和平衡方程	59
4.5.1 空间任意力系的平衡条件	59
4.5.2 空间任意力系的平衡方程	60
4.5.3 空间平行力系	60
4.6 物体的重心	62
4.6.1 重心的概念	62
4.6.2 重心的坐标	62
4.6.3 求重心的几种常用方法	64
习 题	67

第 2 篇 运动学

第 5 章 点的运动	71
5.1 矢量表示法	71
5.1.1 点的运动轨迹	71
5.1.2 点的速度	71
5.1.3 点的加速度	72
5.2 直角坐标表示法	73
5.2.1 点的运动轨迹	73
5.2.2 点的速度	74
5.2.3 点的加速度	75
5.3 自然坐标法	75
5.3.1 弧坐标	76
5.3.2 自然轴系	76
5.3.3 自然坐标表示点的速度	77
5.3.4 自然坐标法表示点的加速度	77
习 题	79
第 6 章 刚体的基本运动	81
6.1 刚体的平动	81
6.2 刚体的定轴转动	83
6.2.1 转动方程	83
6.2.2 角速度	83
6.2.3 角加速度	84
6.2.4 刚体做定轴转动时其上各点的速度和加速度	84
6.3 点的速度和加速度的矢量表示	86

目 录

习 题	87
第 7 章 点的合成运动	89
7.1 点的合成运动的基本概念	89
7.2 点的速度合成	90
7.3 点的加速度合成	92
7.3.1 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	92
7.3.2 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	93
习 题	96
第 8 章 刚体的平面运动	99
8.1 刚体的平面运动及其分解	99
8.1.1 刚体平面运动的定义	99
8.1.2 刚体平面运动的简化	100
8.1.3 平面运动方程	100
8.1.4 平面运动的分解	101
8.2 平面图形内各点的速度	102
8.2.1 速度基点法	102
8.2.2 速度投影法	102
8.2.3 速度瞬心法	104
8.3 平面图形内各点的加速度	106
习 题	108

第 3 篇 动力学

第 9 章 质点动力学基本方程	113
9.1 动力学基本定律	113
9.2 质点运动微分方程	114
9.2.1 直角坐标形式的质点运动微分方程	115
9.2.2 自然坐标形式的质点运动微分方程	115
9.3 质点动力学的两类基本问题	115
9.3.1 已知质点的运动,求作用在质点上的力	115
9.3.2 已知作用在质点上的力,求质点的运动	117
习 题	120
第 10 章 动量定理	122
10.1 动量和冲量	122
10.1.1 动 量	122

10.1.2 冲 量	123
10.2 动量定理	123
10.2.1 质点系的动量定理	123
10.2.2 质点系动量守恒定理	124
10.3 质心运动定理	126
10.3.1 质心运动定理	126
10.3.2 质心运动守恒定理	127
习 题	128
第 11 章 动量矩定理	130
11.1 质点及质点系的动量矩	130
11.1.1 质点的动量矩	130
11.1.2 质点系的动量矩	131
11.2 刚体对轴的转动惯量	132
11.2.1 转动惯量	132
11.2.2 回转半径	133
11.2.3 转动惯量的平行移轴定理	135
11.2.4 组合体的转动惯量	135
11.3 动量矩定理	136
11.3.1 质点的动量矩定理	136
11.3.2 质点系的动量矩定理	137
11.4 刚体的定轴转动微分方程	140
11.5 刚体的平面运动微分方程	141
习 题	143
第 12 章 动能定理	145
12.1 力的功	145
12.1.1 常力在直线位移中的功	145
12.1.2 变力在有限曲线位移上做的功	145
12.1.3 汇交力系合力之功	146
12.1.4 几种常见的力的功的计算	146
12.2 动 能	148
12.2.1 质点的动能	148
12.2.2 质点系的动能	149
12.2.3 刚体的动能	149
12.3 动能定理	150

目 录

12.3.1 质点的动能定理·····	150
12.3.2 质点系的动能定理·····	151
12.4 动力学普遍定理的综合应用·····	153
习 题·····	154
第 13 章 达朗贝尔原理 ·····	157
13.1 惯性力及其力系的简化·····	157
13.1.1 惯性力·····	157
13.1.2 惯性力系及其简化·····	158
13.2 达朗贝尔原理·····	160
13.2.1 质点的达朗贝尔原理·····	160
13.2.2 质点系的达朗伯原理·····	161
习 题·····	163
第 14 章 虚位移原理 ·····	165
14.1 约束 自由度 广义坐标·····	165
14.1.1 约束和约束方程·····	165
14.1.2 自由度和广义坐标·····	166
14.2 虚位移及虚位移原理·····	168
14.2.1 虚位移·····	168
14.2.2 虚位移的计算·····	169
14.2.3 约束力和理想约束·····	170
14.2.4 虚位移原理·····	170
习 题·····	174
参考文献 ·····	176

绪 论

0.1 理论力学的内容和研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的学科。

自然界中所有物质都处在不断的运动之中。运动是物质存在的形式和固有属性。物质运动的形态是多种多样的,例如,物体在空间的位移、变形、发热、电磁现象以及人类思维、生命的兴衰等现象都是物质运动的形态。在各种各样的运动形态中,机械运动是最简单、最普遍的一种。机械运动是指物体在空间的位置随时间而变化的运动形态。机器的运转、车辆的行驶、河水的流动、飞机火箭的运行、天体的运动等都属于机械运动。因此,研究理论力学不仅可以揭示自然界各种机械运动的规律,还是研究物质其他运动形态的基础。这就决定了理论力学在自然科学研究中所处的重要基础地位。

理论力学的研究体系是以伽利略和牛顿总结的物体机械运动的基本定律为基础的,在 15~17 世纪中逐步形成、完善和发展起来,属于古典力学的范畴。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质运动,也不适用于微观粒子的运动。因此,这门学科仅适用于研究速度远小于光速的宏观物体的机械运动。由于在一般工程实际中,绝大多数是宏观物体,其运动速度远小于光速,所以解决这类物体机械运动中的力学问题,仍必须采用古典力学的原理。也就是说,古典力学仍然是研究机械运动的既准确又方便的工具之一。

理论力学的特点是:要求建立运用理论知识对从实际问题,特别是工程问题中抽象出来的各种力学模型进行分析和计算。所谓力学模型就是对自然界和工程技术中复杂的实际研究对象的合理简化。作为一门力学课程,理论力学涉及力学的最普遍和最基本的概念、定律和定理,是各门力学分支的共同基础。同时,理论力学也是相关专业后续课程的基础。

理论力学的内容与力分不开。按照对问题的理解和认识特点,理论力学的内容一般

绪 论

分为静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究力的基本性质、力系的简化方法及力系平衡的理论;运动学从几何角度研究物体机械运动的规律,不考虑引起运动的原因;动力学研究物体机械运动与作用于物体上的力之间的关系。

0.2 理论力学的研究方法

理论力学课程研究物理现象,具有物理科学的特点;理论力学与数学中的矢量运算、微积分、线性代数和微分方程关系密切;同时理论力学是工程专业后续课程的基础。由于系统完整,逻辑严谨,演绎严密,理论力学在一定程度上具有数学课程的特点。同时,理论力学又不是抽象的纯理论学科,而是应用学科。事实上,对多数工科学生而言,理论力学是从纯数理学科过渡到专业课程过程中需要学习的、与工程技术有关的第一门力学课程。

理论力学的研究方法与任何一门学科的研究方法一样,都必须遵循认识过程的客观规律,符合自然辩证法的认识论。理论力学的形成与发展是在人类对自然的长期观察、实验以及生产活动中获得的经验与材料进行分析、综合、归纳、总结的过程中逐步形成和发展的。

观察和实验是理论力学发展的基础。理论力学的基本概念和基本定律的建立正是以对自然的直接观察和生产生活中获得的经验为出发点并系统组织实验,从观察和实验的复杂现象中,抓住主要的因素和特征,去掉次要的、局部的和偶然的因素,深入现象的本质,找到事物的内在联系,从感觉经验上升到理性认识。总结出普遍规律性的东西,并经过数学演绎和逻辑推理而形成理论。

在具体的学习过程中,要注意以下三方面:

(1) 正确理解有关力学概念的来源、含义、用途及有关理论公式推导的根据和关键,公式的物理意义及应用条件和范围;理论力学分析和解决问题的方法;各章节的主要内容和要点;各章节在内容和分析问题的方法上的区别和联系。

(2) 理论力学基本概念的理解和理论应用能力是通过大量习题的求解逐步加深和提高的。因此,在学习中必须要做一定量的习题。

(3) 温故而知新,及时复习并常做小结。

0.3 学习理论力学的目的

理论力学和其他学科一样,是随着人类社会的发展和生产发展的需要逐步形成和发展起来的。工程实践是理论力学形成的基础,而力学理论与工程实践经验的结合,又使各种工程逐渐由经验发展成为与之相关的科学,并进而指导和促进工程的发展与进步。以建筑结构的学

科为例,人类社会的发展,必然形成对建筑结构不断的、新的需求,而要满足这些需求,就必须有新的材料、新的机械设备以及能源技术作为保证,这些都与力学息息相关,因而促进了理论力学的发展和其他力学学科的分支,诸如材料力学、结构力学、流体力学、连续介质力学、弹性力学、计算力学等的形成和发展。安全可靠、经济合理、造型精美,是人们对建造工程设施的追求,无论历史上还是现代的优秀建筑结构,无一不体现着力与美的和谐与统一。其中安全性的保证,就取决于对结构正确的受力分析和计算,对材料力学性能的正确认识和使用。因此,要成为一名合格的工程技术人员,在学习专业知识的过程中,必须学习力学知识,它是学习其他专业课程必备的基础。理论力学作为一门理论性较强的技术基础课,又是基础的基础。学习理论力学课程主要有以下目的:

(1) 日常生活和工程实际中的机械运动现象十分普遍,学习理论力学,掌握机械运动规律,对提高工程技术人员的科学素质是必不可少的:一方面可以为解决较复杂的工程实际问题打下一定的基础;另一方面也可以直接应用理论力学的理论解决一些较简单的工程问题。

(2) 作为一门理论性较强的技术基础课,在工程类专业的课程中,它是材料力学、弹性力学、结构力学、振动理论、土力学及地基基础、钢结构、建筑结构抗震等一系列课程的基础,是学好这些课程的基本保证。

(3) 理论力学的研究方法与其他学科的研究方法有许多相通之处,充分理解理论力学的研究方法,不仅可以深入掌握这门学科,而且有助于后续其他学科内容的学习。同时,因为理论力学具有研究内容涉及面广、系统性和逻辑性强、既抽象又联系实际等特点,所以通过本书的学习,对培养辩证唯物主义的世界观,培养逻辑思维能力、抽象化能力、正确分析和解决问题的能力都有十分重要的作用。

第1篇 静力学

静力学研究作用于物体上力系的平衡规律以及力的性质及其合成法则。

力系是指作用于物体上的一组力。平衡是物体机械运动的一种特殊情况。因为物体机械运动的传递和变换是通过物体之间的相互作用力来实现的,所以作为理论力学的首篇,静力学首先建立理论力学中最重要的概念——力,并研究力的性质,在此基础上进一步研究物体和物体系统平衡时作用力之间的平衡条件。

在静力学中,主要研究以下三个问题:

1. 物体的受力分析

分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用大小、方向和作用位置。

2. 力系的等效替换和简化

将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。

研究力系等效替换并不限于分析静力学的问题,静力学中关于力的概念、有关的分析理论和分析方法,在运动学和动力学的研究中还将用到,所以它也是研究运动学和动力学内容的基础。同时,静力学的内容也是后续的材料力学、结构力学等课程的重要基础。由于建筑结构及其相关设施多数首先是作为静止物体受平衡力系作用来处理的,所以静力学的理论与方法本身在工程技术中也有着广泛的应用。

3. 建立各种力系的平衡条件

这种平衡条件物体处于平衡状态时,作用在物体上的各个力所满足的条件。

工程上常见的力系,按其作用线位置在空间的分布可以分为平面力系和空间力系;按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力

系。不同力系的平衡条件各有其不同的特点。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

本篇内容在理论力学课程中占有十分重要的地位,是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。对机械、建筑等工程类专业来说,静力学是学习理论力学的重点,所以学习一开始就应给予足够的重视。