

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

理论力学

林兰华 主编
王 平 主审



科学出版社

www.sciencep.com

全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材



理论力学

林兰华 主编
王 平 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以土木、水利、机械等工程实际为背景,注重物理概念的阐述和解决实际力学问题能力的培养,通过课程内容与体系的改革,突出针对性、适用性,努力做到理论与应用并重。全书概念严密、内容简明扼要、通俗易懂、图文配合紧密,例题和习题丰富,可满足熟练掌握基本理论、基本方法和计算技能的教学要求。

全书分为三篇,即静力学、运动学、动力学,共计十五章,每章后有小结、思考题、习题,书末附有习题答案。

本书可作为高等工科院校交通土建、建筑工程、水利、交通、机械等专业理论力学课程的教材,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 / 林兰华主编. —北京:科学出版社,2009

(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-024911-1

I. 理… II. 林… 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(2009)第 110026 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:柏连海 王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 8 月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—3 000 字数:480 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229 010-64034315; 13501151303

前 言

作者根据多年来在理论力学教学中积累的经验,并注意汲取各类教材的精华,编写了这本既融合我国传统教材理论性强、内容系统和全面,又简洁扼要的教材,以适应现代教学改革的需求。

本书在编写过程中,结合我国高等教育的实际情况,着重注意了以下几点:

1. 提高起点。考虑到现今高中教学中已经引入了许多现代数学知识,并经过高等数学的学习,学生对矢量知识已有相当基础,因此作者在本书中尽量将矢量方法运用于公式推导和定理证明。

2. 本书注重以工程实际为背景,加深力学概念的阐述和工程建模能力的培养。

3. 本书继承了理论力学课程理论严谨、逻辑性强的特点,同时附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习。

4. 本书注意加强与相关课程的融合和贯通,力求使质点、质点系,刚体等力学概念的叙述更加完整。

本书适用于高等工科院校交通土建、建筑工程、水利、交通、机械等专业理论力学课程(70~80)学时的讲授。

参加本书编写工作的有:东北林业大学林兰华(第三章、第七章、第八章)、李明宝(第十章、第十四章、第十五章)、贾永峰(第四章、第六章、第十三章)、刘瑶(绪论、第一章、第二章、第五章);北华大学杨慧(第九章、第十一章、第十二章);哈尔滨工程大学研究生杨晓峰参与了第三章、第七章、第八章的编写工作。

本书承蒙王平教授认真、细致地审阅,并在本书编写过程中提出了许多宝贵的意见和建议,编者对此表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年4月

主要符号表

a	加速度	k	弹簧刚度系数
a_n	法向加速度	k	z 轴的单位矢量
a_t	切向加速度	l	长度
a_a	绝对加速度	L_O	刚体对点 O 的动量矩
a_r	相对加速度	L_C	刚体对质心的动量矩
a_e	牵连加速度	m	质量
a_C	科氏加速度	M_z	对 z 轴的矩
f_s	静摩擦因数	M	力偶矩, 主矩
f	动摩擦因数	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
F	力	M_I	惯性力主矩
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰链的约束力	n	质点数目
F'_R	主矢	O	参考坐标系的原点
F_s	静滑动摩擦力	p	动量
F_N	法向约束力	P	重量, 功率
F_{le}	牵连惯性力	q	载荷集度, 广义坐标
F_{IC}	科氏惯性力	Q	广义力
F_I	惯性力	r	半径
g	重力加速度	r	矢径
h	高度	r_O	点 O 的矢径
i	x 轴的单位矢量	r_C	质心的矢径
j	y 轴的单位矢量	R	半径
I	冲量	s	弧坐标
J_z	刚体对 z 轴的转动惯量	t	时间
J_{xy}	刚体对轴的惯性积	T	动能, 周期
J_C	刚体对质心的转动惯量	v	速度

v_a	绝对速度	η	机械效率, 减缩因数
v_r	相对速度	ρ	密度, 曲率半径
v_e	牵连速度	φ	角度坐标
v_c	质心速度	φ_f	摩擦角
V	势能, 体积	ψ	角度坐标
W	力的功	ω	角速度
x, y, z	直角坐标	ω_a	绝对角速度
α	角加速度	ω_r	相对角速度
β	角度坐标	ω_e	牵连角速度
δ	滚阻系数, 变分符号		

目 录

前言

主要符号表	xi
绪论	1
0.1 理论力学的研究对象和内容	1
0.2 理论力学的研究方法	1
0.3 学习理论力学的目的	2

第一篇 静 力 学

第一章 静力学公理和物体的受力分析	7
1.1 刚体和力的概念	7
1.2 静力学公理	8
1.3 约束与约束力	11
1.3.1 由柔软的绳索、链条或胶带等构成的约束	11
1.3.2 具有光滑接触表面的约束	12
1.3.3 向心轴承(径向轴承)	12
1.3.4 圆柱铰链和固定铰链支座	13
1.3.5 滚动支座	14
1.3.6 光滑的球铰链	14
1.3.7 止推轴承	15
1.3.8 二力杆	15
1.4 物体的受力分析和受力图	16
1.5 小结	20
思考题	21
习题	21
第二章 平面汇交力系和平面力偶系	25
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	25
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法、力多边形法则	25
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	26
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	28
2.2.1 力在直角坐标轴系的投影与力的解析表达式	28
2.2.2 平面汇交力系合成的解析法	29
2.2.3 平面汇交力系的平衡方程	30
2.3 平面力对点之矩	31

2.3.1 力对点之矩(力矩)	32
2.3.2 合力矩定理与力矩的解析表达式	32
2.4 平面力偶理论	34
2.4.1 力偶	34
2.4.2 力偶矩	34
2.4.3 平面力偶等效定理	35
2.4.4 平面力偶系的合成与平衡条件	35
2.5 小结	38
思考题	39
习题	40
第三章 平面任意力系	45
3.1 平面任意力系向作用面内一点简化	45
3.1.1 力的平移定理	45
3.1.2 平面任意力系向作用面内一点简化 主矢和主矩	46
3.1.3 平面任意力系的简化结果分析	47
3.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	50
3.3 静定和超静定问题、物体系统的平衡	54
3.3.1 静定和超静定概念	54
3.3.2 物体系统的平衡	55
3.4 平面简单桁架的内力计算	61
3.4.1 平面桁架的基本概念	61
3.4.2 节点法计算桁架杆件的内力	62
3.4.3 截面法计算桁架杆件的内力	63
3.5 小结	65
思考题	66
习题	68
第四章 空间力系	78
4.1 空间汇交力系	78
4.1.1 力在直角坐标轴上的投影和分解	78
4.1.2 空间汇交力系的合成和平衡条件	79
4.2 空间力矩理论和力偶理论	81
4.2.1 力对轴的矩	81
4.2.2 力对点的矩	82
4.2.3 力对点的矩与力对通过该点的轴的矩的关系	83
4.2.4 空间力偶	83
4.3 空间任意力系向一点的简化	84
4.3.1 空间任意力系向一点简化	84

4.3.2 空间任意力系的简化结果分析	85
4.4 空间任意力系的平衡方程	87
4.4.1 空间任意力系的平衡方程	87
4.4.2 空间约束的类型举例	89
4.5 重心	92
4.5.1 重心的概念	92
4.5.2 重心坐标公式	92
4.5.3 确定物体重心的方法	94
4.6 小结	98
思考题	99
习题	99
第五章 摩擦	103
5.1 滑动摩擦、摩擦角和自锁现象	103
5.1.1 滑动摩擦	103
5.1.2 摩擦角	105
5.1.3 自锁现象	105
5.2 考虑摩擦时物体的平衡问题	107
5.3 滚动摩擦阻的概念	113
5.4 小结	115
思考题	116
习题	117

第二篇 运 动 学

第六章 点的运动学	125
6.1 矢量法研究点的运动	125
6.1.1 用矢量表示点的运动方程	125
6.1.2 用矢量表示点的速度	125
6.1.3 用矢量表示点的加速度	126
6.2 直角坐标法研究点的运动	126
6.2.1 用直角坐标表示点的运动方程	126
6.2.2 用直角坐标表示点的速度	127
6.2.3 用直角坐标表示点的加速度	127
6.3 自然法研究点的运动	129
6.3.1 用弧坐标表示点的运动方程	129
6.3.2 自然轴系	130
6.3.3 用自然法表示点的速度	130
6.3.4 用自然法表示点的加速度	131

6.4 小结	135
思考题	136
习题	136
第七章 刚体的简单运动	138
7.1 刚体的平行移动	138
7.2 刚体的定轴转动	139
7.2.1 刚体定轴转动的运动方程、角速度与角加速度	139
7.2.2 转动刚体内各点的速度与加速度	141
7.2.3 以矢积表示转动刚体上一点的速度与加速度	143
7.3 小结	144
思考题	145
习题	146
第八章 点的合成运动	150
8.1 点的合成运动的基本概念	150
8.1.1 运动的分解	150
8.1.2 三种运动中的速度和加速度	151
8.1.3 点的绝对运动方程和相对运动方程	152
8.2 点的速度合成定理	154
8.3 点的加速度合成定理	157
8.3.1 牵连运动为平移时的加速度合成定理	158
8.3.2 牵连运动为转动时的加速度合成定理	161
8.4 小结	167
思考题	167
习题	169
第九章 刚体的平面运动	176
9.1 刚体平面运动的概述和运动分解	176
9.2 平面图形内各点之间的速度关系	178
9.2.1 基点法	179
9.2.2 速度投影法	180
9.2.3 速度瞬心法	180
9.3 用基点法求平面图形内各点的加速度	185
9.4 运动学综合应用举例	187
9.5 小结	193
思考题	194
习题	195

第三篇 动力学

第十章 质点动力学的基本方程	205
10.1 动力学的基本定律.....	205
10.1.1 牛顿第一定律 惯性定律	205
10.1.2 牛顿第二定律 力与加速度关系定律	205
10.1.3 牛顿第三定律 作用与反作用定律	206
10.2 质点运动微分方程.....	206
10.2.1 质点运动微分方程的三种形式	206
10.2.2 质点动力学的两类基本问题	207
10.3 小结.....	210
思考题.....	211
习题.....	211
第十一章 动量定理	213
11.1 动量与冲量.....	213
11.1.1 动量	213
11.1.2 冲量	214
11.2 动量定理.....	215
11.2.1 质点的动量定理	215
11.2.2 质点系的动量定理	215
11.2.3 质点系动量守恒定律	218
11.3 质心运动定理.....	219
11.3.1 质量中心	219
11.3.2 质心运动定理	220
11.3.3 质心运动守恒定律	221
11.4 小结.....	223
思考题.....	223
习题.....	225
第十二章 动量矩定理	229
12.1 质点和质点系的动量矩.....	229
12.1.1 质点的动量矩	229
12.1.2 质点系的动量矩	229
12.1.3 质点系对某固定点的动量矩与对质心动量矩的关系	230
12.1.4 定轴转动刚体的动量矩	231
12.2 动量矩定理.....	231
12.2.1 质点的动量矩定理	231
12.2.2 质点系的动量矩定理	232

12.2.3 动量矩守恒定律	234
12.3 刚体绕定轴的转动微分方程	235
12.4 刚体对轴的转动惯量	237
12.4.1 简单形状物体的转动惯量	237
12.4.2 平行轴定理	238
12.4.3 回转半径(或惯性半径)	239
12.5 刚体的平面运动微分方程	243
12.6 小结	245
思考题	246
习题	248
第十三章 动能定理	254
13.1 力、力偶的功	254
13.1.1 功的定义	254
13.1.2 几种常见力所做的功	255
13.1.3 约束力的功	258
13.2 质点和质点系的动能	259
13.2.1 质点的动能	259
13.2.2 质点系的动能	260
13.2.3 刚体的动能	260
13.3 动能定理	261
13.3.1 质点动能定理	261
13.3.2 质点系的动能定理	261
13.4 功率 功率方程 机械效率	264
13.4.1 功率	264
13.4.2 功率方程	265
13.4.3 机械效率	265
13.5 势力场 势能 机械能守恒定律	267
13.5.1 势力场	267
13.5.2 势能	267
13.5.3 机械能守恒定律	269
13.6 普遍定理的综合应用举例	272
13.7 小结	275
思考题	276
习题	277
综合习题	281
第十四章 达朗贝尔原理	285
14.1 质点的达朗贝尔原理	285

14.2 质点系的达朗贝尔原理·····	287
14.3 刚体惯性力系的简化·····	290
14.3.1 刚体作平动 ·····	290
14.3.2 刚体定轴转动 ·····	291
14.3.3 刚体平面运动 ·····	292
14.4 绕定轴转动刚体的轴承动反力·····	295
14.5 小结·····	297
思考题·····	298
习题·····	298
第十五章 虚位移原理 ·····	301
15.1 约束 虚位移 虚功·····	301
15.1.1 约束及其分类 ·····	301
15.1.2 虚位移·····	303
15.1.3 虚功 ·····	305
15.1.4 理想约束 ·····	306
15.2 虚位移原理·····	306
15.3 小结·····	309
思考题·····	310
习题·····	311
部分习题参考答案 ·····	314
主要参考文献 ·····	327

绪 论

0.1 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。作为高等工科院校的专业基础课程,理论力学是其中最基础的部分。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。在客观世界中,存在各种各样的物体运动,例如机器的运转、车辆的行驶、人造卫星的飞行、建筑物的振动、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、最基本也是最常见的一种。物质的各种运动形式在一定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。平衡是机械运动的特殊情况。

理论力学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,对于运动速度接近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。这固然说明古典力学有局限性,但是,经过长期的实践证明,不仅在一般工程中,就是在一些尖端的科学领域中(如火箭,宇宙航行等),所考察的物体都是宏观物体,运动速度也都远远小于光速,用古典力学来解决,不仅方便,而且能够保证足够的精确性,所以古典力学至今仍有很大的实用意义,并且还在不断地发展。

由于质点和质点系是力学研究的最基本的物质模型,从知识体系上讲,理论力学中的力学定律、定理和基本方程也适用于其他所有力学分支,是整个力学的重要基础。学习理论力学是学习和研究力学的起点,在土木、交通、航空航天、电力、机械等重要工程领域中,大量的力学问题需要解决,其中大部分问题都涉及理论力学的基本概念和基本方法,因此理论力学是现代工程技术的重要理论基础之一,它与其他专业知识结合,可以帮助解决实际工程技术问题,促进科学技术和社会经济的发展。

理论力学的研究内容包括以下三个部分:

静力学:研究物体在力系作用下的平衡规律,同时也研究物体受力的一般性质以及力系的简化方法。

运动学:研究物体运动的几何性质(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变化与作用力之间的关系。

0.2 理论力学的研究方法

科学研究的过程,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,理论力学的研究和发展也必须遵循这个正确的认识规律。

(1) 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行无数次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的概念和定律,如“力”和“力矩”的概念,摩擦定律以及动力学三大定理等都是在大量实践和实验的基础上经过分析、综合和归纳得到的。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,通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。客观事物总是复杂多样的,通过对大量来自实践的资料的研究,根据所研究的问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内部联系,这就是力学中普遍采用的抽象化方法。例如,在某些问题中忽略实际物体受力后的变形,建立在力的作用下物体形状、大小均不改变的刚体模型;为分析复杂的振动现象,建立了弹簧质点的力学模型等。机器上的零件,尽管尺寸不大,当要研究它的转动时,就须作为刚体看待。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待,主要决定于所讨论问题的性质,而不决定于物体本身的大小和形状。例如地球半径约为 6370km,但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时,可以看作质点,而当考察它的自转时,却必须看作刚体。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因素,建立新模型。

对于实际系统,将其抽象为质点、质点系或刚体组成的力学模型(本课程主要研究刚体系统),再对力学模型进行准确的受力、运动分析,然后应用力学基本定理和基本方程建立力学模型的具体力学方程,这样,就将实际系统转化为一个数学描述,也称为数学模型。数学方法在理论力学的发展中起着重大的作用。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。如果条件允许,设计一些数值计算方面的题目、开设一些典型的理论力学实验,对学生进行课内或课外的训练,会加强学生对实际的认识。

(3) 从实践到理论,再由理论返回到实践,通过实践进一步补充和发展理论,然后再回到实践,如此循环往复,每一个循环都在原来的基础上提高一步。理论力学和所有的科学一样,也是沿着这条道路不断向前发展的。

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发展。理论力学就是经过长期反复的实践、深化和提高,逐步归纳总结出来的一个力学知识体系,这个体系是经过长期提炼、发展形成的,它适合理论力学知识的论述,符合人们的认知过程。在新的条件下,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,建立新的力学分支。

0.3 学习理论力学的目的

学习理论力学的主要目的是掌握机械运动的规律,以便在生产实践中应用这些规律,更好地为祖国建设服务。从土建、水利工程结构物的设计和施工,机械的制造和运转,到人造卫星、宇宙飞船的发射和运行,都存在着大量的力学问题。尽管这些问题并不都是单

靠理论力学知识就能解决的,但在解决这些问题时,理论力学的知识是必不可少的。

理论力学的基本理论又是很多课程,如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、振动理论、机械原理等的基础,这些课程中的理论推导和计算,都需要经常用到本课程的基本原理和方法,因此,学习理论力学也是为学习这一系列课程做好准备。

理论力学来源于实践又服务于实践,既抽象又紧密联系实际,而且系统性和逻辑性很强,这对培养学生的唯物主义世界观、逻辑思维和分析问题的能力起着重要的作用。理论力学又是大多数工科专业的学生从纯数学、物理学科的学习过渡到专业学科的学习,首先遇到的与工程技术有关的力学课程。通过学习,可初步懂得如何将工程问题简化,并应用基本原理来解决,为今后解决生产实际问题,从事科学研究工作打下基础。

