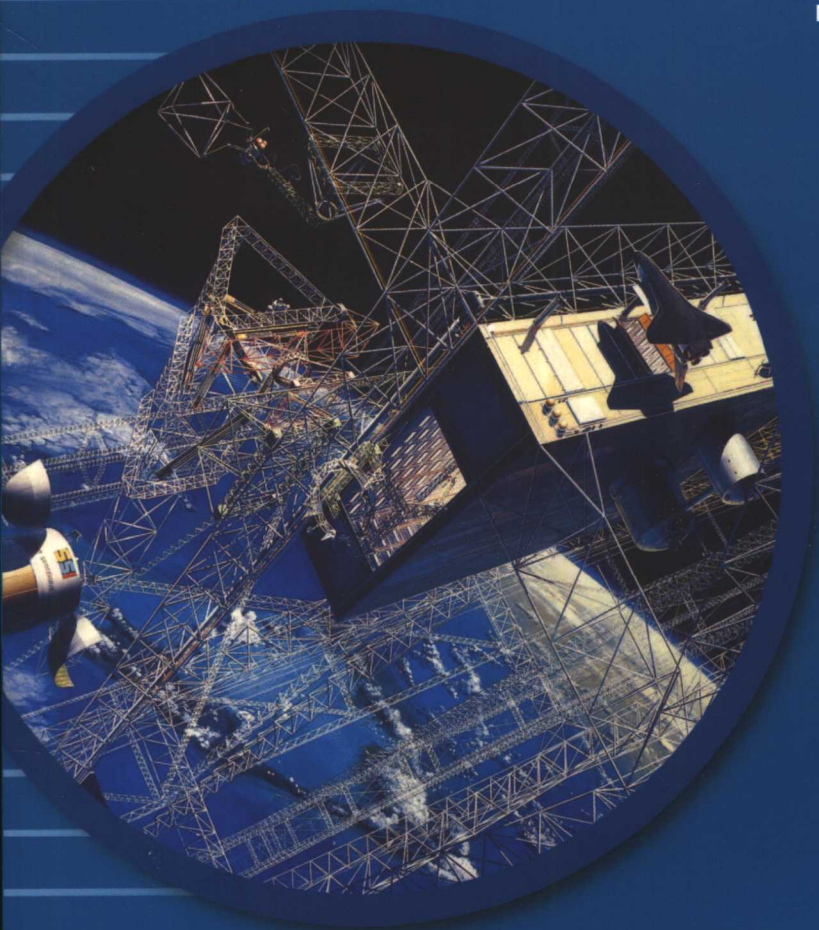


高等学校教材



理论力学

Theoretical mechanics

刘又文 彭 献 编著

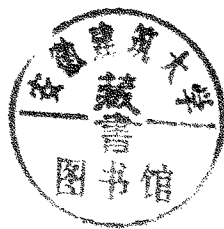


高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校教材

理论力学

刘又文 彭 献 编著



高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/刘又文,彭献编著. —北京:高等教育出版社,2006.7

ISBN 7-04-019329-9

I. 理... II. ①刘... ②彭... 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 032339 号

策划编辑 黄毅 责任编辑 李淑 封面设计 张楠 责任绘图 朱静
版式设计 马静如 责任校对 王效珍 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16

印 张 27.5

字 数 510 000

版 次 2006 年 7 月第 1 版

印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷

定 价 39.40 元(含光盘)

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 19329-00



内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据教育部制定的理论力学教学基本要求编写,包括全部必修基本内容和大部分选修专题内容。本书特点是:以质点系为模型,突出理论力学原理的普遍性,以刚体为主要应用对象,同时涉及有关变形固体和流体问题,与后续材料力学、结构力学、流体力学等课程建立了自然的联系。与以往工科教材明显不同之处还有:其一,各篇的理论体系,均从一般到特殊,起点高,理论严谨,结构紧凑,表述简洁,内容较为深广;其二,除重视理论分析外,特别注重理论的应用,如题型的归纳和分析、难点的剖析和梳理、难题的化简和求解;其三,全书贯穿创新训练,正文内容引导探索思维,问题解析激发直觉与灵感,题型变换训练发散与联想,每章后的习题与讨论题提供了不同层次的训练素材。书中许多问题、例题与讨论题是作者的教研成果。

本书分为3篇共9章。静力学篇包含力系的简化和力系的平衡两章;运动学篇包含点的复合运动和刚体的平面运动两章;动力学篇包含动量定理和动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理与能量法、分析动力学基础五章。与本教材配套的教学辅助课件《理论力学概念·题型与方法》,内容包含概念答疑、典型例题与习题选解等。与本教材配套的还有多媒体电子教案,均以光盘形式与教材同时出版。

本书内容分为两个层次,以不带*号和带*号表示,前者为各类专业的必修内容;后者是供不同专业选用的专题内容。本书可作为高等院校土木、交通、水利、地矿、材料、能源、动力和机械类专业本科生教材或教学参考书。

□ 前言

本教材是根据教育部最新制定的理论力学教学基本要求编写的,是作者二十多年教学经验与教学改革成果的体现之一,并列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材和“湖南省高等教育 21 世纪课程教材”建设项目。本教材着力体现的理论力学基本模型和基本理论是一切力学课程的基础,以质点系为模型,导出普遍理论,以刚体系为主要应用对象,同时涉及有关变形固体与流体问题,与后续的材料力学、结构力学和流体力学教材前后呼应,融会贯通,形成有机的知识整体。

本教材与以往工科教材明显的不同之处还有:其一,各篇的理论体系,均从一般到特殊,起点高,理论严谨,结构紧凑,表述简洁,内容较为深广;其二,除重视理论分析外,特别注重理论的应用,如题型的归纳和总结、难点的剖析和梳理、难题的分析和求解;其三,全书贯穿创新训练,正文论述引导探索思维,问题解析激发直觉与灵感,例题变换训练发散思维与联想。每章后的习题与讨论题提供了不同层次的训练素材,特别是例题解答后的思考问题和每章的讨论题,有的难度较大,可供课堂讨论和学有余力的学生课外训练。书中许多问题、例题与讨论题是作者的教学研究成果。

全书分为 3 篇共 9 章。静力学篇包含力系的简化和力系的平衡两章;运动学篇包含点的复合运动和刚体的平面运动两章;动力学篇包含动量定理和动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理与能量法,分析动力学基础五章。考虑到不与结构力学内容重复,机械振动不另设专章,相关内容分散在第 5 章和第 9 章中。本书内容分为必修与专题两个层次,以不带 * 号和带 * 号表示,适用于不同专业的课程要求。与本教材密切配套的辅助课件《理论力学概念·题型与方法》内容包含概念答疑、思考解析与习题选解等。与本教材配套的还有多媒体电子教案,均以光盘形式与教材同时出版。

本教材在编写中参考了大量国内外优秀教材,并得到了全国高等学校教学研究中心、高等教育出版社、湖南省教育厅、湖南大学教务处以及其他相关兄弟院校的大力支持和帮助;本书承北京航空航天大学谢传锋教授和中南大学林丽川教授审阅,并提出了许多宝贵修改意见,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中不足和疏漏之处,恳请读者指正。

编著者

2005 年 12 月于湖南大学

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

目 录

绪论	1
0.1 力学、土木工程力学与理论力学	1
0.2 理论力学的研究途径与方法	2
0.3 学习理论力学的目的	2
第一篇 静力学	5
引言	5
第1章 力系的简化	7
1.1 静力学公理	7
1.2 力的投影、力矩与力偶	13
1.2.1 力的投影	13
1.2.2 力矩	14
1.2.3 力偶	17
1.3 力系的简化	20
1.3.1 力的平移定理	20
1.3.2 一般力系向一点的简化	21
1.3.3 力系的最简形式	24
1.4 物体的重心、质心和形心	28
1.5 物体的受力分析	33
1.5.1 受力的简化——分布力与集中力	34
1.5.2 典型约束模型	35
1.5.3 研究对象和受力图	40
习题	44
讨论题	50
第2章 力系的平衡	53
2.1 一般力系的平衡原理	53
2.1.1 一般力系的平衡条件	53
2.1.2 特殊力系的平衡方程	54
2.2 物体系统的平衡问题	65

第二篇

第3章

2.2.1 静定与超静定问题的概念	65
2.2.2 物体系统平衡问题的解法	67
2.3 考虑摩擦的物体平衡	79
2.3.1 滑动摩擦	79
2.3.2 摩擦角与自锁	80
2.3.3 滚动摩阻	82
2.3.4 典型摩擦平衡问题	83
习题	89
讨论题	101
运动学	107
引言	107
点的复合运动	109
3.1 运动学基础	109
3.1.1 点的运动描述	109
3.1.2 点的运动问题	115
3.1.3 刚体平移	118
3.1.4 刚体定轴转动	119
3.2 点的复合运动概念	126
3.2.1 点的绝对运动、相对运动和牵连运动	126
3.2.2 动点的运动方程、三种速度和加速度	127
3.3 点的运动合成定理	129
3.3.1 动点运动量的坐标表示	129
3.3.2 点的速度合成定理与加速度合成定理	130
3.4 点的复合运动问题	132
3.4.1 点的复合运动的研究方法	132
3.4.2 典型复合运动问题	133
习题	140
讨论题	149

第4章

刚体的平面运动	151
4.1 刚体平面运动方程	151
4.2 平面图形上各点的速度与加速度	154
4.2.1 基点法	154
4.2.2 瞬心法	157
4.2.3 投影形式	162

	4.3 平面机构的运动分析	165
	4.3.1 一般分析方法	165
	4.3.2 典型机构分析	165
	习题	174
	讨论题	180
第三篇	动力学	183
	引言	183
第5章	动量定理和动量矩定理	185
	5.1 质点动力学	185
	5.1.1 牛顿三大定律	185
	5.1.2 质点的运动微分方程	187
	5.2 质点系动量定理	194
	5.2.1 质点系的动量	194
	5.2.2 质点系动量定理	195
	5.2.3 质心运动定理	197
	5.2.4 动量守恒与质心运动守恒	198
	*5.2.5 变质量系统的质心运动定理	203
	5.3 质点系动量矩定理	206
	5.3.1 刚体的转动惯量	206
	5.3.2 质点系的动量矩	209
	5.3.3 质点系相对固定点的动量矩定理	213
	5.3.4 质点系相对运动点的动量矩定理	219
	5.4 动量定理和动量矩定理的应用	223
	习题	231
	讨论题	239
第6章	动能定理	243
	6.1 功与动能	243
	6.1.1 力的功	243
	6.1.2 质点系的动能	247
	6.2 质点系动能定理	250
	6.2.1 动能定理的三种形式	251
	6.2.2 动能定理的应用	254
	*6.3 碰撞	257
	6.3.1 碰撞过程的特点与简化	258

第 7 章

6.3.2	材料对碰撞的影响·恢复因数	258
6.3.3	对心碰撞的动能损耗	261
6.3.4	碰撞冲量对定轴转动刚体的作用·撞击中心	263
6.3.5	碰撞系统的动能定理	268
6.4	动力学普遍定理的综合应用	269
	习题	276
	讨论题	285
达朗贝尔原理		288
7.1	质点系的达朗贝尔原理	288
7.1.1	惯性力与质点的达朗贝尔原理	288
7.1.2	质点系的达朗贝尔原理	290
7.2	惯性力系的简化	290
7.2.1	质点系惯性力系的主矢和主矩	291
7.2.2	刚体惯性力系的简化	291
7.3	动静法的应用	295
7.3.1	动静法的特点	295
7.3.2	典型非碰撞动力学问题	295
*7.4	定轴转动刚体的轴承约束力	300
7.4.1	定轴转动刚体惯性力系的简化	300
7.4.2	轴承约束力	301
*7.5	非惯性系动力学	304
7.5.1	非惯性系质点动力学	304
7.5.2	非惯性系动力学普遍定理	306
	习题	311
	讨论题	317

第 8 章

虚位移原理与能量法		320
8.1	约束分类与位形描述	320
8.1.1	约束及其分类	320
8.1.2	广义坐标与位形描述	322
8.2	虚位移与虚位移原理	324
8.2.1	虚位移	324
8.2.2	虚功与理想约束	326
8.2.3	虚位移原理	327
8.3	虚功方程应用于刚体系统	329

8.3.1	方法要点	329
8.3.2	典型问题	330
*8.4	虚功方程应用于变形体·卡氏定理·莫尔定理	334
8.4.1	虚功方程应用于变形体	334
8.4.2	卡氏定理	335
8.4.3	莫尔定理	336
8.5	势力场虚功方程·平衡稳定性	338
8.5.1	势力场虚功方程	338
8.5.2	平衡的稳定性	339
	习题	341
	讨论题	346
第9章	分析动力学基础	349
9.1	动力学普遍方程	349
9.1.1	动力学普遍方程的一般形式	349
9.1.2	动力学普遍方程的广义坐标形式	350
9.1.3	动力学普遍方程的应用	351
9.2	拉格朗日第二类方程	353
9.2.1	两个经典拉格朗日关系式	353
9.2.2	基本形式的拉格朗日方程	354
9.2.3	势力场中的拉格朗日方程	355
9.2.4	拉格朗日方程的应用	356
9.3	碰撞系统的拉格朗日方程	362
9.4	拉格朗日方程的首次积分	365
9.4.1	广义动量积分	365
9.4.2	广义能量积分	367
9.5	拉格朗日第一类方程	370
9.5.1	拉格朗日第一类方程的建立	371
9.5.2	拉格朗日第一类方程的应用	374
9.6	哈密顿正则方程	376
9.6.1	正则方程的建立	376
9.6.2	正则方程的初积分	377
9.7	哈密顿原理	380
9.7.1	完整系统的哈密顿原理	380
9.7.2	哈密顿原理的应用	381

	习题	384
	讨论题	390
主要参 考书目		394
附录 A	简单均质几何体的重心和转动惯量	395
附录 B	习题答案	399
附录 C	索引	412
Synopsis		418
Contents		420
作者简介		426

绪 论

0.1 力学、土木工程力学与理论力学

力学是研究机械运动的学科,凡研究力和运动时都需要力学,它是人类认识自然,改造自然的重要武器。力学是与数学、物理等平行的七大基础学科之一,又是应用科学与工程技术的基础,分为一般力学、固体力学、流体力学和工程力学4个分支学科。

自1687年牛顿发表巨著《自然哲学的数学原理》,在前人研究成果的基础上,总结出牛顿三大定律和万有引力定律,至1788年拉格朗日发表名著《分析力学》,建立了约束系统动力学理论,为研究复杂机械系统提供了新的力学方法。这两大力学体系的形成和发展,构成了20世纪以前经典力学所经历的一个辉煌时代,推动了影响整个人类文明的第一次工业革命。20世纪以来,经典力学取得丰硕成果,无论是导弹、飞机、海底隧道,还是高层建筑、远洋巨轮、海洋平台、机器人、高速列车等的诞生都充分运用了经典力学,并产生了多体系统动力学、弹性动力学、计算动力学等新学科。进入21世纪,力学面临新的机遇和挑战,不但孕育着理论体系的革命性突破,而且力学加计算机将成为工程设计的主要手段。

土木工程力学研究土木工程,包括建筑工程、地下工程、道路交通工程和桥梁工程的力学模型,包括杆、梁、柱、索、膜、拱、板、壳及其组合结构,通常分为理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学和流体力学等课程。

理论力学研究质点系模型的一般力学规律,只考虑肉眼可见的宏观物体运动,不考虑原子、电子等微观结构所遵循的量子力学规律;只考虑运动速度远远小于光速的情形,而不考虑运动速度接近光速的相对论效应。它是力学各分支学科的基础,对于解决自然界和工程中相关问题是行之有效的。理论力学的研究内容通常分为3个部分:

静力学——研究力系的简化与受力物体的平衡条件;

运动学——研究点和刚体运动的几何性质,包括位移、轨迹、速度和加速度;

动力学——研究物体的运动与其所受力的关系,包括牛顿力学和分析力学。

0.2 理论力学的研究途径与方法

理论力学的研究途径可分为理论体系的建立和理论的工程应用两个方面,如图 0.1 所示。

理论力学的研究方法包括:从实际对象经合理简化到力学模型的抽象化方法;从基本模型经数学推理到普遍定理的公理化方法,其中包含逻辑与演绎的方法;从数学模型经分析求解到理论解答的数学与计算机方法;误差检验的实验方法等等。这些研究方法都是贯穿于理论力学中的重要科学方法。

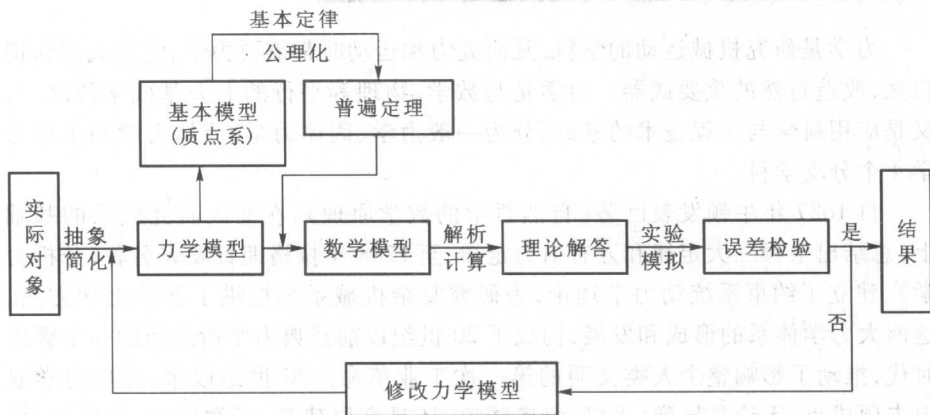


图 0.1 理论力学研究途径

0.3 学习理论力学的目的

理论力学的主要研究对象是实际工程的力学模型,例如静力学中的屋架结构、运动学中的平面机构、动力学中的振动系统。运用理论力学可以直接解决许多工程实际问题。

理论力学又是工科专业一些后续课程的基础,例如材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、振动学、土力学、混凝土结构、机械设计等,都以理论力学原理为基础。在建立这些课程的基本理论时可以直接应用理论力学的定理和公式。

学习理论力学十分有益于训练思维,可在如下几个方面得到提高:

① 抽象思维能力——一种在复杂事物面前去伪存真、抓住本质进行合理简化的能力。它将工程问题抽象为合理的力学模型,如图 0.2 所示的电动机偏心引起的支撑体振动可抽象为弹簧、阻尼、质量系统的振动。

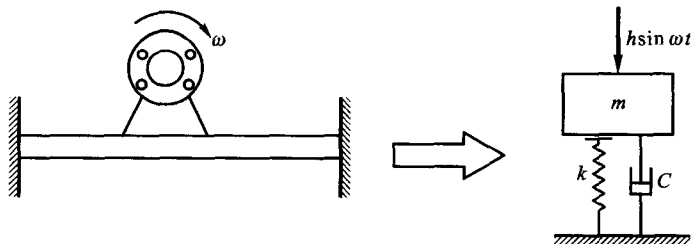


图 0.2 偏心电动机的振动模型

② 逻辑思维能力——一种由已知到未知的演绎、推理与判断的能力。这种集中性、收敛性和定向性的思维训练始终贯穿于传统教学的各个环节中。

③ 创新思维能力——一种创造新思想、新方法、新产品的能力。这种发散性、开放性和多向性的创新思维能力训练在传统教学中没有得到重视。实践证明：在学习理论力学的过程中，通过启发式教学，能激发探索性思维；通过命题变换，能训练发散性思维；通过新颖灵活的思考题，能激发灵感与直觉思维；通过自我构思命题，能培养想像性思维；通过解决实际问题，能培养综合分析能力。

第一篇 静力学

引言

静力学研究物体的平衡规律。在工程中,把物体相对于地球静止或作匀速直线平移运动的状态,称为平衡。

静力学的主要任务是确定平衡物体系统中各个构件的外部 and 内部机械作用。为了进行定量分析,把物体之间的这种相互机械作用抽象为力。力对被作用物体来说是定位矢量,其大小、方向与作用点,称为力的三要素。作用在物体上的一群力,称为力系。根据力系中诸力作用线的空间位置关系,可分为平行力系、汇交(共点)力系、力偶系、平面力系、空间力系等。

静力学的分析方法是:在研究力的外效应时,把物体抽象为其内部各点间距离保持不变的刚体,使问题得到简化,也使研究得到深入;在需要研究力对物体的内部效应时,这种理想化的刚体模型不再适用,而应采用各点间距离可发生改变的变形体模型。变形体的平衡也是以刚体静力学为基础的,只是还需补充变形的几何条件与物理条件。

静力学的研究途径是:首先,把受载的平衡构件从其所在位置隔离出来,用力取代周围物体对它的作用,简化为受力系作用的平衡刚体;其次,运用矢量知识及静力学公理将力系简化,研究力系的整体特征,推演出作用在平衡刚体上的全部外力组成的平衡力系所满足的平衡条件;最后,运用这些条件,由已知荷载,求出构件所受的全部未知外力。

静力学研究两个基本问题:

- ① 力系的简化;
- ② 力系的平衡。

本篇静力学建立在力的矢量数学基础上,称为矢量静力学。它所涉及的物理量如力、力矩和力偶矩都是矢量,各矢量之间以简明的几何关系相联系。运用矢量在坐标轴上的投影,可将矢量关系转化为标量运算。除矢量静力学外,还有一种用解析方法表达的分析静力学,将在本书第8章中介绍。