

Mc
Graw
Hill Education

时代教育 • 国外高校优秀教材精选

工程矢量力学

(动力学)

Vector Mechanics for Engineers
(Dynamics)

(原书第3版)

(美) 费迪南德 P. 比尔 (Ferdinand P. Beer)
E. 罗素 约翰斯顿 Jr. (E. Russell Johnston Jr.) 等编著
李俊峰 王劼 王宗钢 李响 译

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



时代教育·国外高校优秀教材精选

工程矢量力学

(动力学)

(原书第3版)

(美) 费迪南德 P. 比尔 (Ferdinand P. Beer) 等编著
E. 罗素约翰斯顿 Jr (E. Russell Johnston Jr.)

李俊峰 王 劼 王宗钢 李 响 译
王 正 李俊峰 周 宏 周克民 校订



机械工业出版社

Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston Jr.

Vector Mechanics for Engineers: Dynamics

ISBN 0-07-560421-3

Copyright © 1999, 1990, 1981 McGraw-Hill Ryerson Limited, a Subsidiary of the McGraw-Hill Companies.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press House.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳·希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:图字:01-2002-2170

图书在版编目(CIP)数据

工程矢量力学. 动力学 (原书第3版) / (美) 比尔(Beer, F.P.), (美) 约翰斯顿(Johnston, E.R.) 等编著; 李俊峰等译. —北京: 机械工业出版社, 2003.1

(时代教育·国外高校优秀教材精选)

ISBN 7-111-11332-2

I. 工… II. ①比…②约…③李… III 工程力学: 动力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 101399 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑丹 版式设计: 冉晓华 责任校对: 申春香

封面设计: 鞠杨 责任印制: 路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 5 月第 1 版 第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 42.25 印张 · 2 插页 · 1147 千字

定价: 56.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

国外高校优秀教材审定委员会

主任委员：杨叔子

委员(按姓氏笔画为序)：

王先逵 王大康 白峰杉 史荣昌 朱孝禄

陆启韶 张润琦 张 策 张三慧 张福润

张延华 吴宗泽 吴 麒 宋心琦 李俊峰

余远斌 陈文楷 陈立周 俞正光 赵汝嘉

章栋恩 黄永畅 谭泽光

译者简介

李俊峰，1964 年生于黑龙江。清华大学教授，博士生导师，工程动力学研究所所长，理论力学课程负责人、主讲教授。

李俊峰 1987 年毕业于北京大学力学系力学专业，获学士学位。1993 年毕业于莫斯科大学力学数学系一般力学专业，获博士学位。1993 至 1995 年在清华大学工程力学系做博士后。1998 至 1999 年在英国 Surrey 大学空间中心工作。现兼任中国力学学会一般力学专业委员会副主任，中国力学学会青年工作委员会副主任，中国宇航学会空间控制专业委员会副主任，中国空间科学学会空间机械专业委员会委员，《力学学报》编委，《力学与实践》编委，《宇航学报》编委等。

李俊峰教授的研究领域为航天器动力学与控制。他公开发表学术论文 80 余篇，其中 40 余篇被 SCI、EI 检索；负责国家自然科学基金项目、863 项目、教育部及航天部项目等 10 余项，在卫星姿态控制、卫星伸展动力学、卫星晃动动力学、卫星编队飞行动力学、力学系统运动稳定性以及天体力学等方面取得了丰硕的成果。他完成的科研项目曾获国家科技进步三等奖，教育部科技进步二等奖。李俊峰教授获教育部优秀青年教师奖、全国优秀博士后奖、北京市青年科技奖提名奖，入选教育部跨世纪优秀人才培养计划。

李俊峰教授主讲的课程有“理论力学”、“分析力学”、“高等动力学”和“运动稳定性”等。主编理论力学系列教材一套，包括《理论力学》、《理论力学辅导与习题集》、《理论力学（教师参考书）》及教学多媒体光盘，已由清华大学出版社和 Springer 出版社联合出版。

自 1996 年起，李俊峰教授已为清华大学多个年级的学生讲授了理论力学课程。他的课教学效果良好，受到学生的普遍好评，成为清华大学的观摩课。他曾获清华大学青年教师教学优秀奖，宝钢优秀教师奖，清华大学优秀教学成果奖（三次），清华大学良师益友奖（两次）等。

译 者 的 话

近几年来,基础力学教学改革在全国各高等院校全面展开,出现了体现不同教学改革思想的新教材。在教学改革过程中,国外的教学方法、教学体系和教材均引起了力学教师的广泛关注。McGraw-Hill出版的这本《工程矢量力学》(国际单位制版的第3版),是目前在美国使用比较广泛的基础力学教材之一。机械工业出版社将此教材翻译成中文出版,以便我国的读者更容易使用。由于原著是彩色的,而本书是黑白的,因此译者对原著中相应的几处语句作了调整。

本书由清华大学工程力学系的李俊峰教授、王劼博士后、王宗钢硕士、李响硕士等翻译,其中王劼翻译第3章至第8章,王宗钢翻译第9章、第11章至第14章,李响翻译第15章至第18章,李俊峰负责其他部分的翻译和全书的校订。另外,杨正东同学和杨飞虎同学参与了部分翻译工作,周宏硕士和周克民博士后参与了校订工作。王正教授对本套教材的动力学部分作了最终校订。

译 者

作者的话

“你们一个在 Lehigh 大学，一个在康涅狄格大学，各处一方，怎么能成功地完成一本书的创作？又是怎么保证紧密的合作，成功地完成这套书的修订？”这是两个作者经常被问及的两个问题。

第一个问题的答案非常简单。Russ Johnston 的第一个教学职位就是在 Lehigh 大学土木工程与力学系，而 Ferd Beer 比他早两年来到这个系，并且负责力学课程。Ferd Beer 生于法国，先后在法国和瑞士接受教育（在索邦神学院获得硕士学位，在日内瓦大学获得理学博士学位），在第二次世界大战前夕曾在法国军队服役，来到美国后曾在 Williams 学院的 Williams - MIT 联合艺术与工程计划中任教四年。Russ 生于费城，在特拉华大学土木系获学士学位，在 MIT 获得结构工程领域的理学博士学位。

不久，Ferd 惊喜地发现，这个受聘来主讲研究生结构工程课的青年人，不仅愿意而且非常热衷于协助自己重新组织力学课程。他们两个都认为应该从一些基本原理开始讲这类课程，课程涉及的很多概念，应该通过学生最容易理解并记住的几何方法来介绍。基于共同的观点，他们便在一起写了静力学和动力学的讲义，后来又补充了未来工程师将会遭遇的问题，并且很快就完成了第 1 版“工程力学”的手稿。

《工程力学》的第 2 版和《工程矢量力学》的第 1 版问世的时候，Russ Johnston 已经到了伍斯特技术学院，到再下一版出版的时候，他又已换到了康涅狄格大学。在编写教材的过程中，Ferd 和 Russ 都在各自的系里担任着行政职务，忙于科研、咨询并指导研究生——Ferd 从事的是随机过程和随机振动研究，Russ 从事的是弹性稳定性、结构分析与设计方面的研究。尽管如此，他们仍然对改革基础力学课程教学充满兴趣，他们在教授这些课程的同时不断地对教材进行修订，并着手编写第 1 版“材料力学”。

现在回答第二个问题：在 Russ 离开 Lehigh 后，这两位作者是如何开展有效的合作的呢？他们花在电话和邮件上的钱就是一份答案。在新书出版日期邻近的时候，他们每天通电话、跑邮局发特快专递。他们也通过互访，进行深入的讨论，甚至有一次他们两家还一起去野外宿营，加强交流。现在终于有了传真机，他们的讨论就不再需要频繁会面来维持了。

他们的合作跨越了计算机革命的时代。《工程力学》和《工程矢量力学》的第 1 版中，还包括正确使用计算尺的内容。为了保证书后答案的数值精度，作者使用过 20in (1in = 25.4mm) 的特大计算尺，后来是使用桌式机械计算器和三角函数表，再后来是四功能电子计算器。出现袖珍多功能计算器后，这些工具都被他们束之高阁，书中有关正确使用计算尺的内容也换成了如何使用计算器。现在每章都出现了要求使用计算机的习题，更可贵的是，书中的大部分习题答案，都是 Ferd 和 Russ 亲自编程计算出来的。

当然，对工程教育的贡献也让 Ferd 和 Russ 获得了很多荣誉和奖励。由于在工科大学生教育中的出色工作，他们分别被美国工程教育协会、不同地区的分会授予西部电气基金奖，还双双获得了该协会力学专业组的优秀教育工作者奖。1991 年，Russ 获得美国土木工程协会康涅狄格地区杰出土木工程师奖，1995 年 Ferd 被 Lehigh 大学授予荣誉工学博士学位。

现在又增加了两位新作者，宾夕法尼亚州立大学工程专业教授 Elliot Eisenberg 和 Lehigh 大学机械工程和力学教授 Robert Sarubbi，他们在新一版的创作中，加盟到 Beer 和 Johnston 的班子里。Elliot

是在康奈尔大学获得的工学学士和硕士学位，他的学术活动集中在专业和教学工作上，因他在机械工程与技术教育以及在本协会和工程教育协会的出色工作，1992 年美国机械工程协会授予 Ben C. Sparks 奖章。Bob 在 Cooper Union 获得土木工程学士学位，在 Lehigh 大学获得土木工程硕士和应用力学博士学位。他的研究领域包括结构力学、热流系统、随机过程和随机振动。在从事四年导弹系统与与设计之后，他于 1968 年从贝尔电话实验室进入 Lehigh 大学专门讲授系统动力学与设计的课程。

前 言

作为第一门力学课程,工程矢量力学的主要目标是,提高工科专业学生用简单的、逻辑的方式分析力学问题的能力,以及通过对一些基本原理的透彻理解,提高解决力学问题的能力。本书适用于大学二年级或三年级学生的静力学和动力学课程的教学,希望本书能帮助教师实现上述目标[○]。

本书第一部分介绍的矢量分析,将贯穿整个静力学和动力学的学习过程。这种矢量方法可以简化力学基本原理的推导,使三维静力学问题求解更简单,也使得分析那些不能用标量方法求解的运动学和动力学问题成为可能。当然,本书的重点仍然是正确理解力学原理,及其在工程问题中的应用,矢量分析则只是一种方便的工具[○]。

本书的特点之一是将质点力学从刚体力学中分出来,这就能够比较早地研究简单的实际应用问题,而比较难的概念可以稍后再讲。例如:静力学中质点静力学讲得最早,在介绍矢量加减法之后,马上可以应用质点平衡原理研究仅包括共点力的实际问题。然后介绍刚体静力学,同时引入两个矢量的标量积和矢量积,并用以定义力对点的矩和对轴的矩。在动力学中也利用了类似的办法。力、质量、加速度、功、能、冲量和动量这些基本概念都是首先针对质点引入和使用的。因此,在对刚体运动进行分析之前,学生可以熟练掌握三种动力学基本方法,并充分认识到各种方法的优点。

因为本课是第一门关于动力学的课程,新概念都从简单情况引入并逐步深入讲解,另一方面,通过广泛讨论和强调一般的应用方法,使得定义逐步完善。例如:势能的概念在讨论保守力的一般情形时给出。又如,由刚体平面运动自然而然地过渡到刚体在空间中的一般运动。在运动学和动力学中,外力与有效力相等的原理直接用于分析平面运动,然后很容易推广到研究三维运动。

应该强调一个事实,力学本质上是基于几个基本原理的演绎科学,公式推导逻辑严谨。但是,学习过程大部分是归纳过程,首先考虑简单应用。因此,质点动力学在刚体动力学之前,动力学基本原理首先用于求解学生更容易理解的二维问题(16章和17章),而三维问题到18章才讲。

《工程矢量力学》第6版的这个版本(即国际单位制版的第3版——译者注),仍然像前4版那样统一介绍动力学定理。线动量和角动量的概念在第12章就介绍了,所以牛顿第二定律不仅可以表示为常见的 $F = ma$ 形式,而且可以分别给出作用在质点上的合力和合力矩与线动量和角动量的变化率之间的关系。这就能更早地讨论角动量守恒以及质点在有心力作用下的运动(见12.9节)。更为重要的是,这些可以推广到研究质点系的运动(第14章),还可以给出处理刚体二维和三维运动(第16章、18章)的简明统一的方法。

隔离体受力图在静力学中介绍较早,受力图不仅可用于平衡问题,而且可用于表示力系或更一般的矢量系等价的问题,在研究刚体动力学时其优点也是显然的,它可以用于求解二维和三维问题。强调“受力图方程”比强调代数运动方程,可以更直观更全面理解动力学基本定理。这样的处理在1962年第1版的《工程矢量力学》中就已使用,被美国力学教师广泛接受。因此这一版中解决简单问题时,这种方法比动静法和运动方程更常用。

○ 本书也可以分成两卷,《工程矢量力学:静力学》和《工程矢量力学:动力学》。

○ 在《工程矢量力学:动力学》第四版中,矢量代数的使用仅限于矢量的加减,而矢量微分没有使用。

本书有很多用星号表示的选讲章节，它们完全可以从力学课程的核心内容中分离出来，不讲这些内容不会影响对其他内容的理解。选讲内容包括直线运动的几何法、有心力作用下质点的轨迹、流体流动的偏转、火箭和推进器的问题、三维刚体运动学和动力学、阻尼机械振动、电比拟。三年级的学生会对这些内容特别感兴趣。

除了代数、三角和初等运算，本书内容不要求其他预备知识，本书所需的矢量代数的知识在第2和第3章都有详细的介绍[○]。但是，需要更多计算知识的特殊问题和章节，如19.8节和19.9节的有阻尼振动，只有数学基础较好的学生可以阅读。

每章开头都简要介绍本章的目的和内容，以及相应工程问题的背景材料。课文分成若干单元，每个单元包括一个或几个理论内容、一个或几个例题和大量习题。每个单元都是组织好的一个专题，一般可以作为一次课的内容。不过，有些情况下教师愿意花更多的时间讲这些内容。每章结尾给出本章内容总结。页边注释可以帮助学生复习，交叉引用提醒学生特别注意的问题。

例题采用相同的格式，学生作业也将采用这种格式。因此，例题兼有两种功能：补充理论内容和演示整洁规范的作业格式。

在每次课的内容之后，在例题与习题之间增加了一节“解题指导”，其目的是帮助学生按自己的思路总结前述理论内容和例题的解题方法，顺利完成课外作业，也包括一些帮助学生更有效地完成作业的建议和对策。

大部分习题是工科学生感兴趣的实际问题。但是这些习题是用来验证理论内容，帮助学生理解基本力学原理的。按照需要验证的理论内容将习题分成组，并按难度增加的顺序排好。需要特别注意的习题用星号表示。70%的习题在书后给出了答案，没有答案的习题用斜体序号表示。

随着工科课程增设计算机编程内容以及个人计算机或主机终端在大学里的普及，使得工科学生可以解一些具有挑战性的动力学问题。以前由于需要大量的计算，这些问题在大学生课程中根本无法研究，在这一版《工程矢量力学：动力学》的每章习题中都有一些需要借助计算机求解的，包括确定质点在不同初始条件下的运动、机构的运动学和动力学分析，或者各种运动微分方程的数值积分。研究解决力学问题需要的算法对学生有两个好处：(1) 帮助学生更好地理解相应的力学原理；(2) 给学生提供应用在计算机课程中掌握的技能去解决工程问题的机会。

最后，作者感谢 Elliot Eisenberg 教授，感谢他为本书提供了大量的具有新意和挑战性的习题，同时感谢那些提供了大量的意见和建议的《工程力学》和《工程矢量力学》的读者们。特别感谢他们提供了很多新的有挑战性的习题。作者衷心感谢使用前几版《工程力学》和《工程矢量力学》的读者提出的有益的意见和建议。

Ferdinand P. Beer
E. Russell Johnston, Jr

○ 原书（英文版）将矢量代数中一些有用的定义和性质（已在静力学部分介绍了）及有关质量惯性矩（9.11节~9.18节）的内容作为附录附于书后，考虑到篇幅等原因本中译本没有收录此部分内容，读者可根据需要查阅《工程矢量力学：静力学》。——译者注

符号表

a, a	加速度	l	长度
a	常数; 半径; 距离; 椭圆半长轴	L	线动量
$\bar{a}, \bar{a}$	质心加速度	L	长度; 感应系数
$a_{B/A}$	B 相对随 A 平动的参考系的加速度	m	质量
$a_{P/F}$	P 相对转动参考系 F 的加速度	m'	单位长度质量
a_c	科氏加速度	M	力偶; 力矩
$A, B, C, \dots$	支撑与铰链的反力	M_O	对 O 点的力矩
$A, B, C, \dots$	点	M_O^R	对 O 点的合力矩
A	面积	M	力偶或力矩的大小; 地球质量
b	宽度; 距离; 椭圆半短轴	M_{OL}	对 OL 轴的力矩
c	常数; 粘性阻尼系数	n	法向
C	质心; 瞬心; 电容	N	反力的法向分量
d	距离	O	坐标原点
e_n, e_t	法向和切向单位矢量	P	力; 矢量
e_r, e_θ	径向和横向单位矢量	$\dot{P}$	矢量 P 相对固定参考系的变化率
e	恢复系数	q	质量流量; 电荷
E	总机械能; 电压	Q	力; 矢量
f	标量函数	$\dot{Q}$	矢量 Q 相对固定参考系的变化率
f_t	强迫振动频率	$(\dot{Q})_{Oxyz}$	矢量 Q 相对参考系 $Oxyz$ 的变化率
f_n	固有频率	r	位置矢量
F	力; 摩擦力	$r_{B/A}$	B 相对 A 的位置矢量
g	重力加速度	r	半径; 距离; 极坐标
G	重心; 质心; 引力常数	R	合力; 合矢量; 反力
h	单位质量角动量	R	地球半径; 电阻
H_O	对 O 点的角动量	s	位置矢量
$\dot{H}_G$	角动量 H_G 相对固定参考系的变化率	S	弧长
$(\dot{H}_G)_{Gxyz}$	角动量 H_G 相对转动参考系 $Gxyz$ 的变化率	t	时间; 厚度; 切向
i, j, k	坐标轴的单位矢量	T	力
i	电流	T	张力; 动能
$I, I_x, \dots$	惯性矩	u	速度
$\bar{I}$	质心惯性矩	u	变量
$I_{xy}, \dots$	惯性积	U	功
J	极惯性矩	v, v	速度
k	弹簧常数	v	速率
k_x, k_y, k_o	回转半径	$\bar{v}, \bar{v}$	质心速度
$\bar{k}$	质心回转半径	$v_{B/A}$	B 相对随 A 平动的参考系的速度
		$v_{P/F}$	P 相对转动参考系 F 的速度
		V	矢量积

V	体积; 势能; 剪力	θ	角坐标; 欧拉角; 角; 极坐标
w	单位长度载荷	μ	摩擦系数
W, W	重量; 载荷	ρ	密度; 曲率半径
x, y, z	直角坐标; 距离	τ	周期
$\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$	坐标 x, y, z 的导数	τ_n	自由振动周期
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	质心的直角坐标; 重心; 或质心	ϕ	摩擦角; 欧拉角; 相位角; 角
α, α	角加速度	φ	相位差
α, β, γ	角	ψ	欧拉角
γ	重度	ω, ω	角速度
δ	伸长率	ω_f	强迫振动圆频率
ε	圆锥曲线的偏心率或轨道偏心率	ω_n	固有圆频率
λ	沿着线的单位矢量	Ω	参考系的角速度
η	效率		

目 录

译者简介
译者的话
作者的话
前言
符号表

第 11 章 质点运动学 1

11.1 动力学引言	2
质点的直线运动	3
11.2 位置 速度和加速度	3
11.3 确定质点的运动	5
11.4 匀速直线运动	15
11.5 匀加速直线运动	15
11.6 几个质点的运动	16
* 11.7 直线运动问题的几何解法	28
* 11.8 其他几何方法	29
质点的曲线运动	39
11.9 位置矢量 速度和加速度	39
11.10 矢量函数的导数	41
11.11 速度和加速度的直角坐标分量	43
11.12 相对平动坐标系的运动	44
11.13 切向和法向分量	60
11.14 径向和横向分量	63
第 11 章复习和总结	77
复习题	81

第 12 章 质点动力学：牛顿第二定律 85

12.1 引言	86
12.2 牛顿第二定律	86
12.3 质点的线动量和线动量的变化率	88
12.4 单位制	88
12.5 运动方程	89
12.6 动力学平衡	91
12.7 质点的角动量和角动量的变化率	110
12.8 径向和横向分量表示的运动方程	112
12.9 在有心力作用下的运动和角动量守恒	112

12.10 牛顿万有引力定律	113
* 12.11 在有心力作用下的质点的运动 轨迹	123
* 12.12 在航矢力学中的应用	123
* 12.13 开普勒的行星运动定律	127
第 12 章复习和总结	136
复习题	139

第 13 章 质点动力学：能量和动量法 145

13.1 引言	146
13.2 力做的功	146
13.3 质点的动能 动能定理	150
13.4 动能定理的应用	151
13.5 功率和效率	152
13.6 势能	169
* 13.7 保守力	171
13.8 能量守恒	172
13.9 在保守的有心力作用下的运动 在航天 力学中的应用	173
13.10 动量定理	193
13.11 冲击运动	196
13.12 碰撞	208
13.13 对心正碰撞	208
13.14 对心斜碰撞	211
13.15 碰撞中的能量与动量问题	213
第 13 章复习和总结	228
复习题	233

第 14 章 质点系 239

14.1 引言	240
14.2 牛顿第二定律在质系运动中的应用 有效力	240
14.3 质系的动量和角动量	242
14.4 质系质心的运动	243
14.5 质系对质心的角动量	244
14.6 质系动量守恒	246
14.7 质系的动能	255
14.8 动能定理 质系能量守恒	256

14.9 质系动量定理	256	第 17 章 刚体平面运动: 能量和动量 方法	449
* 14.10 变质量质系	266	17.1 引言	450
* 14.11 稳态质量流系统	267	17.2 刚体的动能定理	450
* 14.12 质量增加或减少的质系	269	17.3 作用在刚体上的力所做的功	451
第 14 章复习和总结	283	17.4 平面运动刚体的动能	452
复习题	287	17.5 刚体系	452
第 15 章 刚体运动学	293	17.6 能量守恒	453
15.1 引言	294	17.7 功率	454
15.2 平动	296	17.8 刚体平面运动的动量定理	470
15.3 定轴转动	296	17.9 刚体系	473
15.4 确定刚体定轴转动的公式	299	17.10 动量矩守恒	473
15.5 一般的平面运动	308	17.11 冲击运动	485
15.6 平面运动中的绝对速度和相对 速度	310	17.12 偏心碰撞	486
15.7 平面运动的瞬时转动中心	321	第 17 章复习和总结	499
15.8 平面运动中的绝对加速度和相对加 速度	331	复习题	502
* 15.9 以一个参量来分析平面运动	333	第 18 章 刚体三维运动动力学	507
15.10 矢量在转动坐标系中的变化率	346	* 18.1 引言	508
15.11 点相对于转动坐标系的平面运动 科氏加速度	347	* 18.2 刚体三维运动的动量矩	509
* 15.12 定点运动	359	* 18.3 动量定理在刚体三维运动 中的应用	512
* 15.13 刚体的一般运动	361	* 18.4 刚体三维运动的动能	513
* 15.14 点相对于转动坐标系的三维运动 科氏加速度	373	* 18.5 刚体三维运动	526
* 15.15 一般运动的参考坐标系	374	* 18.6 欧拉方程 达朗贝尔原理在刚体三维 运动中的推广	527
第 15 章复习和总结	385	* 18.7 刚体的定点运动	528
复习题	390	* 18.8 刚体的定轴转动	529
第 16 章 刚体平面运动: 力和加速度	395	* 18.9 陀螺仪的运动 欧拉角	543
16.1 引言	396	* 18.10 陀螺仪的规则进动	544
16.2 刚体的运动方程	397	* 18.11 不受力作用的轴对称刚体的 运动	545
16.3 刚体平面运动的动量矩	397	第 18 章复习和总结	560
16.4 刚体平面运动 达朗贝尔原理	398	复习题	565
* 16.5 关于刚体力学公理的一点说明	400	第 19 章 机械振动	571
16.6 刚体运动问题的求解	400	19.1 引言	572
16.7 刚体系	402	无阻尼振动	572
16.8 受约束的平面运动	420	19.2 质点的自由振动 简谐运动	572
第 16 章 复习和总结	443	19.3 单摆 (近似解)	575
复习题	445	* 19.4 单摆 (精确解)	576

19.5 刚体的自由振动 586

19.6 能量守恒的应用 598

19.7 受迫振动 608

有阻尼振动 618

* 19.8 有阻尼的自由振动 618

* 19.9 有阻尼的受迫振动 620

* 19.10 电比拟 622

第 19 章复习和总结 631

复习题 635

习题答案 639

附录 657

 附录 A 常用形状的面积和线的形心 657

 附录 B 常用几何形状的惯性矩 658

 附录 C 常用几何形状的质量惯性矩 658

教师反馈表 659

第 11 章

质点运动学

要刻画图中三辆车在任意瞬时的运动，需要用到位置、速度和加速度这三个量，另外，研究这些车之间的相对运动也非常有意义。运动学就是研究物体的运动，这也是本章讨论的主题。



11.1 动力学引言

从第1章到第10章我们主要讨论静力学问题,例如,分析静止的物体。现在开始学习动力学,这部分内容主要研究运动中的物体。

静力学的研究可以追溯到古希腊时代,而动力学的研究只是到了伽里略(1564—1642)时代才开始,在伽里略关于匀加速运动物体的实验基础上,牛顿(1642—1727)建立了著名的物体运动的基本定律。

动力学包括:

1. 运动学。运动学研究的是运动的几何学。运动学不涉及运动的原因,而是讨论位移、速度、加速度与时间的关系。
2. 动力学。动力学是研究作用在物体上的力、物体的质量和物体的运动之间的关系。动力学可以由物体的受力得到物体的运动,也可以由物体的运动得到其受力情况。

本书从第11章到第14章,主要讨论质点动力学。第11章主要讲质点的运动学,用质点这个词并不是表明研究局限于微小物体上,在前面章节中提到的所有运动的物体,只要能够忽略它们的尺寸对运动的影响,大到像汽车、火箭、或飞机一样的物体,都是第11章的研究对象。当然在将物体看作质点来分析时,只是研究物体作为一个整体的运动,忽略任何绕其质心的转动。一旦转动不能忽略,就不能将物体当作质点,这样的运动将在有关刚体动力学的章节中讲解。

第11章的第1部分,主要研究质点的直线运动,即当质点沿直线运动时,研究它每一瞬时的位置、速度、加速度。首先用最一般的分析方法研究质点的运动,然后讨论两个重要的特殊情况:质点的匀速运动和匀加速运动(11.4节和11.5节)。11.6节将主要讨论几个质点的共同运动,并且介绍质点间相对运动的概念。本章的前半部分用几何分析方法进行研究,在涉及到质点的直线运动的各类问题当中,几何法都是一种可用的方法(11.7节和11.8节)。

本章的第2部分主要讨论质点的曲线运动。由于质点的位置、速度、加速度可以定义为矢量,所以在11.10节中引入矢量函数导数的概念,作为解决力学问题的数学工具。

另外,还要在直角坐标系中介绍用质点运动的速度和加速度分量来刻画质点运动的方法,并用于分析抛物体的运动(11.11节)。在11.12节中主要讨论质点相对于平动坐标系的运动。最后,在非直角坐标系下讨论质点的曲线运动。其中11.13节主要介绍质点曲线运动的速度和加速度的切向和法向分量。11.14节则讨论质点曲线运动的速度和加速度在径向和