

Mc
Graw
Hill Education

时代教育 • 国外高校优秀教材精选

工程矢量力学

(静力学)

Vector Mechanics for Engineers
(STATICS)

(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
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

(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
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: STATICS

ISBN 0-07-560076-5

Copyright © 1999, 1988, 1984, 1977, 1972, 1962 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 by any means, or stored in a database or re-
trieval 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 01-2002-2171

图书在版编目(CIP)数据

工程矢量力学·静力学(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 7-111-11331-4

I. 工… II. ①比…②约…③李… III. 工程力学:静力学-高等学校-
教材 IV. TB121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100407 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:刘志文

封面设计:鞠杨 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·38.75 印张·1047 千字

定价:52.00 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。机械工业出版社委托我们将此教材翻译成中文，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，其中王劼负责翻译第3章至第8章，王宗钢负责翻译第9章、第11章至第14章，李响负责翻译第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。

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 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他 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

作为第一门力学专业课程，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^①。

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^②。

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（第2章），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。刚体静力学在第3章和第4章讲。在第3章中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。在严格深入的讨论力系等效之后，通过这些新概念就可以在第4章中直接给出许多刚体在一般力系作用下平衡问题的实际应用。显然，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，在面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静力学的课程，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：部分约束和静不定概念，在书中很早给出，并在整个静力学中反复使用。

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，质点静力学在刚体静力学之前，内力问题在第6章以后才逐渐出现。还有，在第4章，首先考虑的是，可以用初等代数求解的共面力系平衡问题，需要用矢量代数求解的三维力系平衡问题则是在第4章的第二部分才进行讨论的。

隔离体受力图介绍较早，整本书都不断强调其重要性。本书的隔离体受力图，都用不同的颜色^③来表示不同的物体作用于隔离体上的力，这样学生很容易分辨出作用于给定质点或给定刚体上的力，也方便理解例题中的分析。隔离体受力图，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。与代数运动方程相比，“受力图方程”可以更直观、更全面地理解动力学基本定理。由于现在美国工程师流行使用国际单位制，本书将用到的力学中常见的国际单位在第1章作了介绍。

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。选讲内容包括静力学中的力系简化成力螺旋、流体静力学、梁

① 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》。

② 在《工程矢量力学：静力学》第4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。

③ 由于本书的中译本没有采用彩色印刷，因此所有彩色图标都变成黑白的了。——译者注。

的弯矩剪力图、索的平衡、惯量积与莫尔圆、三维刚体的惯量积和惯量主轴、虚功法。本版还包括确定任意形状刚体惯量主轴和惯量矩（见 9.18 节）。对于本课程之后选材料力学课的学生，关于梁的章节非常有用；而三维刚体的惯量特性则给将来学习三维刚体动力学的学生一些初步认识。

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 章和第 3 章都有详细的介绍。一般地，我们应更加强调对数学概念的正确理解，不要仅限于对数学方程的灵活应用。与此相关地，必须指出，将复合面积质心确定放在计算质心的积分方法之前，有利于在介绍积分方法之前建立起牢固的截面系数的概念。考虑到工科学生普遍使用计算器，第 2 章还介绍了如何正确使用计算器求解典型的静力学问题。

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：静力学》的每章习题中都有一些需要借助计算机求解的。很多习题需要设计程序，比如，在静力学中包括各种构型的结构在不同载荷下的结构分析、确定机构的平衡位置，这些可能需要用迭代方法求解。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

符 号 表

a	常数; 半径; 距离	O	坐标原点
$A, B, C, \dots$	支撑与铰链的反力	p	压力
$A, B, C, \dots$	点	P	力; 矢量
A	面积	Q	力; 矢量
b	宽度; 距离	r	位置矢量
c	常数	r	半径; 距离; 极坐标
C	质心, 形心	R	合力; 合矢量; 反力
d	距离	R	地球半径
e	自然对数的底	s	位置矢量
F	力; 摩擦力	s	弧长; 索长
g	重力加速度	S	力; 矢量
G	重心; 万有引力常数	t	厚度
h	高; 索的垂度	T	力
i, j, k	坐标轴的单位矢量	T	张力
$I, I_x, \dots$	惯性矩	U	功
$\bar{I}$	质心惯性矩	V	剪力; 矢量积
$I_{xy}, \dots$	惯性积	V	体积; 势能; 剪力
J	极惯性矩	w	单位长度载荷
k	弹簧刚度系数	W, W	重量; 载荷
k_x, k_y, k_O	回转半径	x, y, z	直角坐标; 距离
$\bar{k}$	质心回转半径	$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	质心的直角坐标; 重心 (或质心)
l	长度	α, β, γ	角
L	长度; 跨度	δ	伸长率
m	质量	δr	虚位移
M	力偶; 力矩	δU	虚功
M_O	对 O 点的力矩	λ	沿着线的单位矢量
M_O^R	对 O 点的合力矩	η	效率
M	力偶或力矩的大小; 地球质量	θ	角坐标; 角; 极坐标
M_{OL}	对 OL 轴的力矩	μ	摩擦因数
N	反力的法向分量	ρ	密度
		ϕ	摩擦角; 角

目

录

译者简介
译者的话
作者的话
前言
符号表

第 1 章 引言	1
1.1 什么是力学?	2
1.2 基本概念和原理	2
1.3 单位制	4
1.4 解题方法	8
1.5 数值精度	8
第 2 章 质点静力学	11
2.1 引言	12
平面力系	12
2.2 作用在质点上的力、两个力的合力	12
2.3 矢量	13
2.4 矢量相加	14
2.5 多个共点力的合成	16
2.6 力的分解	16
2.7 力的垂直分量、单位矢量	23
2.8 力的相加: x 和 y 分量求和	25
2.9 质点平衡	31
2.10 牛顿第一定律	32
2.11 质点平衡问题、受力图	32
空间力系	41
2.12 空间力的垂直分量	41
2.13 用大小和作用线上两点确定力	43
2.14 空间共点力相加	44
2.15 空间质点的平衡	53
第 2 章复习和总结	60
复习题	63
第 3 章 刚体: 等效力系	67
3.1 引言	68
3.2 外力和内力	68

3.3 力的可传递原理、等效力系	69
3.4 两个矢量的矢量积	71
3.5 矢量积的直角坐标分量表达	73
3.6 力对点的矩	74
二维问题	76
3.7 伐里农定理	76
3.8 力矩的直角坐标分量	77
3.9 两个矢量的标量积	87
标量积的应用	88
3.10 三个矢量的混合积	89
3.11 力对给定轴的力矩	90
3.12 力偶矩	100
3.13 等效力偶	101
3.14 力偶相加	104
3.15 力偶的矢量表示	104
3.16 将已知力分解为作用在点 O 的力和力偶	105
3.17 将一个力系简化为一个力和一个力偶	117
3.18 等效力系	118
3.19 等价的矢量系	118
3.20 力系的进一步化简	119
* 3.21 将力系化简为力螺旋	121
第 3 章复习和总结	141
复习题	146
第 4 章 刚体的平衡	151
4.1 引言	152
4.2 受力图	152
二维平衡问题	153
4.3 二维结构的支承和连接反力	153
4.4 刚体二维平衡	155
4.5 静不定反力与部分约束	156
4.6 二力体的平衡	174
4.7 三力体的平衡	175
三维平衡问题	182
4.8 刚体三维平衡	182
4.9 三维结构支承和连接处的反力	183

第4章复习和总结	199	*7.3 不同类型的载荷与支承	349
复习题	201	*7.4 梁的剪力和弯矩	351
第5章 分布力: 质心和重心	207	*7.5 剪力图和弯矩图	352
5.1 引言	208	*7.6 载荷、剪力和弯矩之间的关系	361
面和线	208	绳索	372
5.2 二维物体的重心	208	*7.7 受集中载荷的绳索	372
5.3 面和线的形心	209	*7.8 受分布载荷的绳索	374
5.4 面和线的一次矩	211	*7.9 抛物线型绳索	375
5.5 组合板和线	214	*7.10 悬链线	384
5.6 通过积分确定形心	225	第7章复习和总结	392
5.7 巴普斯—古丁内斯定理	226	复习题	395
*5.8 梁的分布载荷	236	第8章 摩擦	399
*5.9 浸没曲面的载荷	237	8.1 引言	400
三维体	248	8.2 干摩擦定律、摩擦因数	400
5.10 三维物体的重心、体积的形心	248	8.3 摩擦角	402
5.11 组合体	251	8.4 涉及干摩擦的问题	403
5.12 通过积分确定三维体形心	251	8.5 楔子	419
第5章复习和总结	264	8.6 矩形螺纹	420
复习题	267	*8.7 滑动轴承、轴向摩擦	429
第6章 结构分析	271	*8.8 止推轴承(推力轴承)、圆盘摩擦	430
6.1 引言	272	*8.9 轮摩擦、滚动摩擦阻	431
桁架	273	8.10 传动带摩擦	438
6.2 桁架的定义	273	第8章复习和总结	449
6.3 简单桁架	274	复习题	451
6.4 桁架分析的节点法	275	第9章 分布力系: 惯性矩	457
*6.5 特殊载荷条件下的连接节点	278	9.1 引言	458
*6.6 空间桁架	280	面积的惯性矩	459
6.7 桁架分析的截面法	290	9.2 面积的二次矩或者惯性矩	459
6.8 多个简单桁架构成的桁架	291	9.3 用积分法求惯性矩	460
框架和机构	302	9.4 极惯性矩	461
6.9 包含多力构件的结构	302	9.5 面积的回转半径	461
6.10 框架的分析	303	9.6 平行轴定理	469
6.11 与支承分离后不再保持刚性的框架	304	9.7 组合面积的惯性矩	471
6.12 机构	319	*9.8 惯性积	482
第6章复习和总结	332	*9.9 主惯性轴和主惯性矩	483
复习题	335	*9.10 惯性矩和惯性积的莫尔圆	493
第7章 梁和绳索的内力	341	转动惯量	498
*7.1 引言	342	9.11 转动惯量	498
*7.2 构件的内力	342	9.12 平行轴定理	500
梁	349	9.13 薄板的转动惯量	501
		9.14 用积分法求三维物体的转动惯量	502
		9.15 组合物体的转动惯量	503

* 9.16 物体对经过 O 点的任意轴的 转动惯量、惯性积	520	* 10.6 力在有限位移上做的功	561
* 9.17 惯性椭球、惯性主轴	521	* 10.7 势能	563
* 9.18 任意形状物体的惯性主轴和主转动 惯量	522	* 10.8 势能与平衡	564
第 9 章复习和总结	535	* 10.9 平衡稳定性	565
复习题	540	第 10 章复习和总结	574
第 10 章 虚功方法	543	复习题	576
* 10.1 引言	544	附录	580
* 10.2 力的功	544	A.1 美国传统单位	580
* 10.3 虚功原理	546	A.2 单位制之间的转换	581
* 10.4 虚功原理的应用	547	习题答案	584
* 10.5 真实机器、机械效率	549	教师反馈表	602

第1章

引言

引言

17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。

17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。

17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。

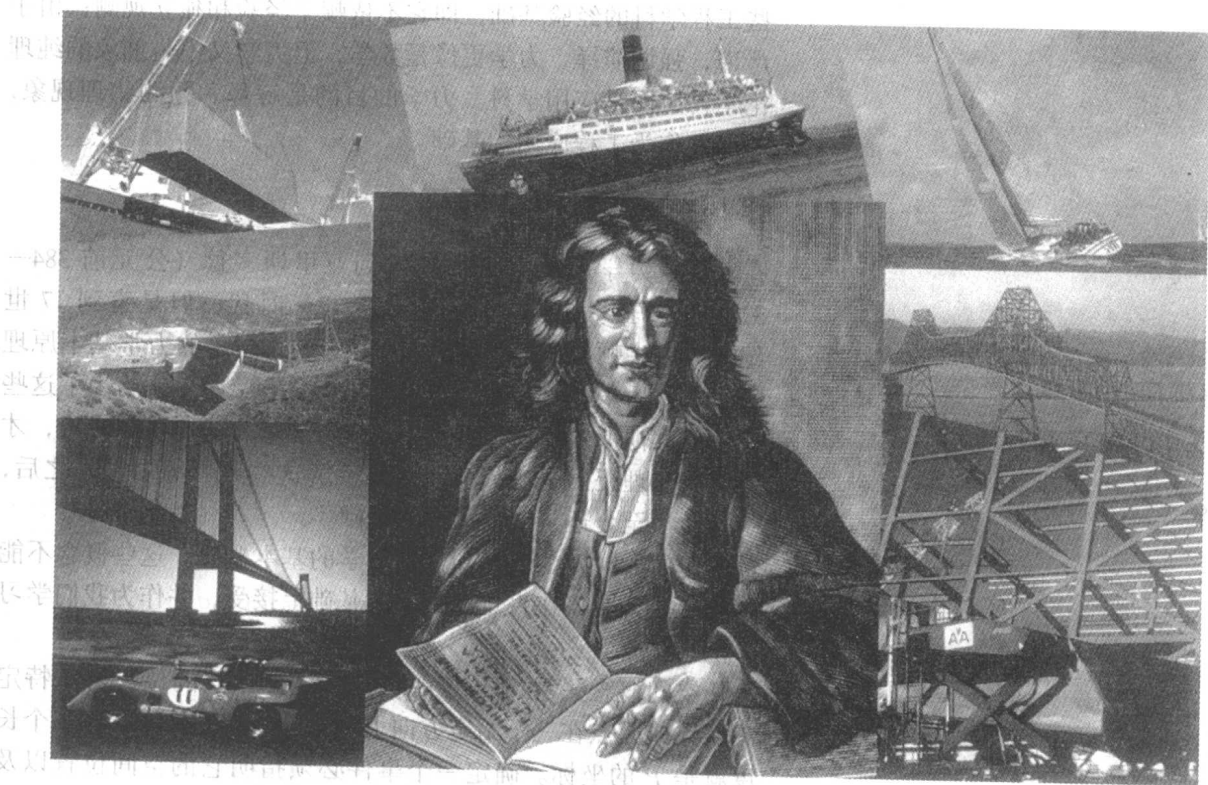


图1-1 牛顿与工程

牛顿的力学原理为工程奠定了基础。17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。17世纪后半叶，牛顿提出了力学的基本原理，奠定了今天的工程基础。

1.1 什么是力学?

力学可以定义为描述和预测物体在力作用下静止或者运动条件的科学。力学分为三个部分:刚体力学、固体力学和流体力学。

刚体力学又分为静力学和动力学,前者处理刚体平衡问题,后者研究刚体运动。在研究刚体力学时,假设物体是绝对刚性的。然而实际的结构和机构没有绝对刚性的,它们在载荷作用下会变形。但这种变形通常非常小,不影响所研究结构的静止或者运动的条件。当然,变形也非常重要,它与结构失效有关,这将在固体力学的分支——材料力学中研究。力学的第三部分流体力学又分为不可压流体和可压缩流体研究。水力学是不可压流体力学的一个重要部分。

力学研究物理现象,是物理科学,但力学又和数学紧密联系,还有不少人认为力学是工程学科。这些观点都有正确的部分。力学是很多工程学科不可缺少的必备基础,但它不具有某些工程学科的经验基础,即它不依赖于经验和独立观测;由于严谨,强调演绎,力学更像是数学,但力学又不是抽象的纯理论学科,而是应用学科。力学的目的是解释和预测物理现象,并以此作为工程应用的基础。

1.2 基本概念和原理

尽管力学的研究可以追述到亚里斯多德(公元前 384—322)和阿基米德(公元前 287—212)时代,但是直到 17 世纪,才由牛顿(1642—1727)给出了令人满意的力学基本原理表达式,后来又由达朗贝尔、拉格朗日和哈密尔顿给出了这些原理的其他形式。只是到爱因斯坦(1905)建立了相对论,才对这些原理提出了挑战。但是,了解这些原理的局限性之后,牛顿力学至今还是工程科学的基础。

空间、时间、质量和力是力学的基本概念。这些概念不能确切定义,应该在直觉和经验的基础上接受,并作为我们学习力学的基础。

空间概念关系到 P 点的位置描述。 P 点的位置可从特定参照点或原点在三个给定方向上测量的长度来确定,这三个长度就是 P 的坐标。确定一个事件必须指明它的空间位置以及事件发生的时间。

借助特定的力学实验,质量的概念用于描述和比较物体的特性。例如两个质量相同的物体受到地球的引力相同,对物体平动的阻碍作用也相同。

力表示一个物体对另一个物体的作用。它可以在物体相互

接触时产生,也可以在物体之间有一定距离时产生,如引力和磁力。力由其作用点、大小和方向描述,可以用矢量表示(2.3节)。

在牛顿力学中空间、时间和质量都是绝对的,相互独立的(在相对论中不是这样,事件的时间依赖于位置,质量随着速度变化)。力的概念不是独立于这三个概念的。从下面将介绍的牛顿力学基本原理可以看出,作用在物体上的合力与物体的质量和速度的改变方式有关。

利用上面介绍的四个基本概念,就可以研究质点和刚体的静止或运动条件了。质点的含义是非常小的物体,可以假设它在空间只占一个点。而刚体是由很多质点组成的,质点之间的相互位置是固定的。显然质点力学是研究刚体力学的必要基础。此外,研究质点的结果可以直接用于解决实际物体的静止或运动问题。

下面六个经过实验证明的基本原理是力学研究的依据。

力相加的平行四边形法则。其叙述为:作用在质点上的两个力可以用一个称为合力的力代替,以两个力为平行四边形的两个边,合力就是平行四边形的对角线(2.2节)。

可传性原理。其叙述为:将作用在刚体上给定点的力,用大小、方向和作用线都相同而作用点不同的另一个力代替,刚体的平衡或运动条件不会改变。

三个牛顿基本定律是牛顿在17世纪后半叶提出的,其叙述如下。

牛顿第一定律:如果作用在质点上的合力为零,则质点将静止(如果原来静止)或作匀速直线运动(如果原来运动)(2.10节)。

牛顿第二定律:如果作用在质点上的合力不为零,质点将获得方向与合力相同、大小与合力成正比的加速度。

在12.2节将看到,这个定律可以表示为

$$F = ma \quad (1-1)$$

其中 F 、 m 和 a 分别表示作用在质点上的合力、质点质量和质点的加速度,它们都用相同的单位制表示。

牛顿第三定律:相互接触的物体之间的作用力和反作用力大小相等、方向相反、作用线相同(6.1节)。

牛顿万有引力定律:质量为 M 和 m 的质点以大小相等、方向相反的力 F 和 $-F$ 相互吸引(如图1-1所示),力的大小 F 由下面公式给出

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1-2)$$

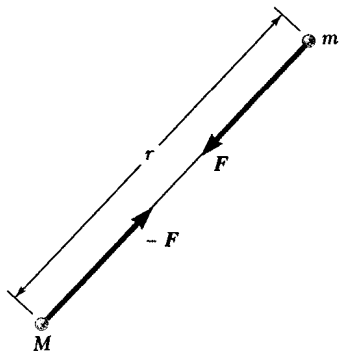


图 1-1