

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

世界名校名家基础教育系列
Textbooks of Base Disciplines from World's Top Universities and Experts

Pearson

Fourth Edition

Statics and Mechanics of Materials

工程力学 (静力学与材料力学)

翻译版·原书第4版

[美] R. C. 希伯勒 (R. C. Hibbeler) 编著

范钦珊 王晶 翟建明 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目——世界名校名家基础教育系列

工程力学

(静力学与材料力学)

翻译版·原书第4版

[美] R. C. 希伯勒 (R. C. Hibbeler) 编著
范钦珊 王 晶 翟建明 译

机械工业出版社

本书是作者已有的两本书的组合节略版,这两本书分别是《静力学》和《材料力学》。本书介绍这两个学科与工程领域密切相关的常用的基本理论和应用,特别强调满足平衡和变形协调以及材料力学行为要求的重要性。

本书保留了未经节略版本的特点,特别强调画受力图以及建立力学方程时合适坐标系的选择以及相关符号规则的重要性。全书提供了很多工程实际常用的机器元件与结构构件的分析及设计应用。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Statics and Mechanics of Materials*, 4e, by HIBBELER, RUSSELL C., published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2014 by R. C. Hibbeler.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and CHINA MACHINE PRESS Copyright © 2017 by China Machine Press.

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 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 图字: 01-2014-2257 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学: 静力学与材料力学: 翻译版: 原书第 4 版/(美) R. C. 希伯勒 (R. C. Hibbeler) 编著; 范钦珊, 王晶, 翟建明译. —北京: 机械工业出版社, 2017. 11

书名原文: *Statics and Mechanics of Materials*, 4/E

“十三五”国家重点出版物出版规划项目. 世界名校名家基础教育系列

ISBN 978-7-111-58327-1

I. ①工… II. ①R… ②范… ③王… ④翟… III. ①工程力学-高等学校-教材
IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 253800 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 姜 凤 责任编辑: 姜 凤 李 乐 责任校对: 刘 岚

封面设计: 张 静 责任印制: 孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

205mm×235mm·65.333 印张·1314 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-58327-1

定价: 199.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

译者序

现在我们所看到的《工程力学》（静力学与材料力学）（第4版），是作者所著《静力学》（第13版）和《材料力学》（第9版）的节略综合版。

本书介绍了很多工程学科中常用的静力学和材料力学的基本概念、基本理论和基本方法，是作者多年从事研究和教学工作的成果结晶。

译者认为本书具有以下特点：

第一，在静力学方面，采用矢量运算，既突出了力的基本概念，又简化了分析计算过程；书中特别重视选取研究对象和画出其受力图；在建立平衡方程时强调选择合适的坐标系和参与平衡的相关量的符号规则的重要性。

第二，书中包含了我国目前同类教材中少有的内容，如：带和螺纹的摩擦、应力集中、非圆截面杆的扭转、应用阶跃函数确定梁的挠度，以及应用于偏心载荷作用柱的正切公式等。

第三，全书基本概念准确，对于某些重要概念的特征加以详细阐述，突出力学方程中每一个力学量的物理含义。

第四，特别注重从工程实际引入力学概念，并将力学理论应用于解决工程实际问题。全书提供了大量机械工程与土木工程中的机器零部件与结构构件实例，同时提供了大量的工程实例的图片，每一章都以一幅与本章内容密切相关的工程结构或机器结构的图片开头，启发读者了解这一章的内容要点以及与工程的相关性。

第五，编写了大量习题，分为：基础题、习题以及复习题，其中不少习题都与工程实际相关。

第六，书中每一章的最后都有很有特色的本章回顾。对每章的内容加以概述，列出主要力学方程，力图使读者将注意力集中在主要概念和原理上。

基于此，译者推荐该书作为我国高等学校“工程力学”和“材料力学”课程的教学参考书。该书也可以作为相关工程技术人员的参考书。

此外，译者对个别印刷错误以及个别习题中的不当之处做了订正。

范钦珊 王 晶 翟建明

前言

本书是作者已有的两本书的综合节略版，这两本书分别是：《静力学》第13版和《材料力学》第9版。本书介绍这两个学科与工程领域密切相关的、常用的基本理论和应用。特别强调满足平衡和变形协调以及材料力学行为要求的重要性。

本书保留了未经节略版本的特点，特别强调画受力图以及建立力学方程时合适坐标系的选择以及相关符号规则的重要性。全书提供了很多工程实际常用的机器元件与机构构件的分析与设计应用。

本版更新

全新习题。这一版中的习题有65%为全新的。这些习题包括许多工程领域的应用。同时，增加了数值运算类的习题，因此可求得广义上的解。

内容修订。教材的每一节都进行了仔细的修订。同时，在某些领域中，为了更好地解释相关概念，本书对某些素材做了进一步阐述。

全新及改版的例题。为了使學生更加清晰地理解相关概念，本书修订或强调了某些例题。在需要突出重要概念的部分，引入了一些新的例题。

增加了部分基础题。由于关键方程和答案已经在教材后面给出，基础题也可作为例题的延伸。在本书部分章节增加了部分基础题。

详细解答。部分概念题给出了更详细的解答，为了更为清晰地理解过程，增加了部分图例。同时，对于一些比较复杂的习题，在书后给出答案的同时也给出了相关解题线索。

全新图片。全书通过许多新图片或者升级的图片来描述相关命题与实际应用的相关性。这些图片一般用于解释相关原理如何应用于实际以及材料在载荷作用下的表现。

特色鲜明

除了上述更新的内容以外，本书还包含下列显著特色。

组织和方法。每一章都由定义明确的节所组成，包括特别主题的阐述、详细解析的例题以及系列的课外作业。每一节的主题都用黑体字的小标题标出。这样做的目的是在引入新的定义和概念时提供知识架构方法，便于读者将来参考和复习。

章节目录。每一章都以展示这一章内容在广泛领域应用的图片开头。一章所列目录力图使读者对于这一章的全部内容有一个总体印象。

突出受力图。在分析和求解问题时，正确画出研究对象的受力图至关重要，因此全书都特别重视受力图。尤其是在静力学的有关章节中，还对如何画受力图做了详细的介绍。相关的课外作业题也有助于扩展

画受力图的能力。

分析过程。第1章的最后介绍了分析任何力学问题的一般过程。这些步骤通常都与一些具体问题相关联，其应用遍布整本教材。这为读者在应用理论时提供了一种合乎逻辑的和有序的方法。通过这种分析步骤求解例题可说明方法的具体应用。然而，实际上，当读者一旦熟悉了相关的原理并且建立起充分的信心和判断力时，他们就会有自己的解题方法和过程。

要点。要点为每一节中最重要的概念所做的摘要和述评，同时重点突出应用理论解决问题时应该认识和理解最关键内容。

概念的理解。为了说明一些重要概念的特性和方程中相关项的物理含义，通过利用遍布整本教材的图片，以一种简洁的方式给出了理论应用的实例。简化方法的运用不仅可以激励读者的兴趣，而且可以训练读者更好地理解所列的实例，更好地解决实际问题。

基础题。这类习题通常放在一组例题的后面。这些题给读者提供简单应用每一节中基本概念的机会，同时也为他们在后面求解标准习题前的解题训练提供条件。由于关键方程和答案已经在教材后面给出，基础题也可作为例题的延伸。此外对于复习，基础题是给学生最好的备考练习题目。

概念题。这类习题通常安排在全书每一章的最后，这类习题都与这章中的基本概念有关。这些分析和设计的习题力图通过图片中描述的实际生活情景，激励学生思考。当读者掌握了相关命题的某些专业知识后，他们个人或者他们的团队将会工作得很好。

课外作业题。除了前面所提到基础题和概念题外，书中还包含了以下其他类型的习题：

- **总体分析与设计习题。**书中的多数习题所描述的都是工程实际中所遇到的真实问题。某些习题源自实际工业产品。希望这一举措一方面能够激发学生对工程力学的兴趣，另一方面能提供一种培养这种从物理描述到模型或符号描述的建立力学模型技能的方式。

全书中使用国际单位制（SI）和英制（FPS）单位的习题大约各占一半。除了一章末尾用于复习的习题随机排列外，我们试图按照难度的增加编排某些习题。对于具有简单编号的习题在书后均附有答案。而对于每四道题中有一道题的题号之前附有星号（*）的这些习题，都没有给出答案。

- **计算机作业题。**我们试图编写若干采用数值方法在台式机或袖珍程序计算器上完成的习题。意图是使学生应用其他节省时间的数学分析方法，将焦点集中在研究力学原理的应用上面。

准确性。除了本书作者外，还有4位对全书的课文和习题进行了校对，他们是：弗吉尼亚理工学院和弗吉尼亚州立大学的 Scott Hendricks；南佛罗里达大学的 Karim Nohra；劳雷尔技术一体化出版服务公司的 Kurt Norlin；最后是从事实际工作的工程师 Kai Beng Yap。

内容安排

全书分为两部分，包含了传统的全部内容。

静力学。静力学内容安排了6章。课文的第1章为力学导论以及关于单位制的讨论。第2章介绍矢量的概念以及汇交力系的性质。第3章包括力系的一般性讨论以及力系的简化方法。第4章研究刚体的平衡原理，并且在第5章将其应用于解决包括桁架、框架以及机械平衡等方面的专门问题。关于重心、形心和惯性矩等命题在第6章中讨论。

材料力学。这一部分在教材中共有11章。第7章所讨论的包括正应力和切应力的定义、轴向载荷作

用杆件中的正应力、剪切引起的平均切应力，以及正应变和切应变的定义。第8章讨论了材料的某些重要力学性能。第9、10、11和12章分别研究轴向载荷、扭转、弯曲和横向剪切问题。第13章在回顾前面几章的基础上给出了组合载荷作用下的应力分析。第14章提供了应力与应变变换的概念。为了进一步巩固以前学习的内容，第15章介绍了通过许用应力设计梁的方法。第16章研究了计算梁挠度的不同方法，包括确定超静定问题支座反力的方法。第17章介绍了压杆稳定问题。

书中有关高等问题的章节，均以星号（*）标出。如果课时允许，这些内容可引入课程教学。同时，这些内容也可以作为其他相关课程中基本原理的参考，或者作为某些特别课题的研究基础。

安排材料力学内容的不同方法。关于材料力学内容各个命题，根据老师们的教学取向，可能有不同顺序的安排。例如，某些老师喜欢在讨论轴向载荷、扭转、弯曲和剪切的实际应用之前，首先从讲授应力应变变换开始。这时可行的方法是，先安排第7章的应力和应变的概念以及第14章的应力应变变换。第14章的讨论以及相关例题已做出相关标示，以保证上述教学安排可以实施。而第8~13章的安排仍然可以保持连续性。

习题。书中的数学习题描述了常见工程实际的真实情景。希望这种做法一方面能够激励学生研究问题的兴趣；另一方面能够拓展他们将任意物理意义上的问题简化为用模型或符号表示的、可以应用基本原理的训练。

本书试图按照难度排列习题的顺序。对于每四道题中有一道题的题号之前附有星号（*）的这些习题没有给出答案，其他常规习题在书后都附有答案。读者需要注意的是，有的带星号（*）的习题没有公布答案。所有公布的答案都是3位有效数字，即使已知的材料性能数据精度较低也如此。这种简单化的做法前后保持一致，而且可以使学生的解答得到更好精度。所有习题的解答都经过4次独立的验算以保证正确。

致谢

多年以来，我的同事们在教学过程中给本书提出了宝贵的意见和建议。他们具有建设性意见的鼓励和希望都是非常有价值的，希望他们能够接受不具名的感谢。同时特别感谢静力学和材料力学书稿的评审者们，他们的建议为本书的不断完善指出了方向。

在本书的写作阶段，我要感谢多年以来一直担任我写作编辑的 Rose Kernan 的帮助。在整理出版稿件时，感谢我的妻子 Conny 和我的女儿 Mary Ann 在校对和录入方面的帮助。

同时感谢那些使用了上一版，并对内容方面做出积极建议的学生们；也感谢将这些建议发 e-mail 给我们的老师们。

无论何时，我都将非常乐意收到您对本版的任何建议。

R. C. 希伯勒

hibbeler@bellsouth.net

典型工程材料的平均力学性能^a

(美国惯用单位)

材 料		比重 γ (lb/in ³)	弹性模量 $E(10^3)$ ksi	剪切弹性 模量 G (10^3) ksi	屈服强度 (ksi) σ_Y			极限强度 (ksi) σ_u			2 英寸试样的 伸长率 (%)	泊松比 ν	热膨胀 系数 α (10^{-6}) / °F
					拉伸	压缩 ^b	剪切	拉伸	压缩 ^b	剪切			
金属													
铝锻造合金	2014-T6	0.101	10.6	3.9	60	60	25	68	68	42	10	0.35	12.8
	6061-T6	0.098	10.0	3.7	37	37	19	42	42	27	12	0.35	13.1
铸铁合金	灰铸铁 ASTM 20	0.260	10.0	3.9	—	—	—	26	96	—	0.6	0.28	6.70
	可锻铸铁 ASTM A-197	0.263	25.0	9.8	—	—	—	40	83	—	5	0.28	6.60
铜合金	红黄铜 C83400	0.316	14.6	5.4	11.4	11.4	—	35	35	—	35	0.35	9.80
	青铜 C86100	0.319	15.0	5.6	50	50	—	35	35	—	20	0.34	9.60
镁合金	[Am 1004-T61]	0.066	6.48	2.5	22	22	—	40	40	22	1	0.30	14.3
合金钢	结构钢 A-36	0.284	29.0	11.0	36	36	—	58	58	—	90	0.32	6.60
	结构钢 A992	0.284	29.0	11.0	50	50	—	65	65	—	30	0.32	6.60
	不锈钢 304	0.284	28.0	11.0	30	30	—	75	75	—	40	0.27	9.60
	工具钢 L2	0.295	29.0	11.0	102	102	—	116	116	—	22	0.32	6.50
钛合金	[Ti-6Al-4V]	0.160	17.4	6.4	134	134	—	145	145	—	16	0.36	5.20
非金属													
钢筋混凝土	低强度	0.086	3.20	—	—	—	1.8	—	—	—	—	0.15	6.0
	高强度	0.086	4.20	—	—	—	5.5	—	—	—	—	0.15	6.0
塑料增强	凯夫拉 49	0.0524	19.0	—	—	—	—	104	70	10.2	2.8	0.34	—
	30% 玻璃	0.0524	10.5	—	—	—	—	13	19	—	—	0.34	—
木结构级	花旗松	0.017	1.90	—	—	—	—	0.30 ^c	3.78 ^d	0.90 ^d	—	0.29 ^e	—
	白云杉	0.130	1.40	—	—	—	—	0.36 ^c	5.18 ^d	0.97 ^d	—	0.31 ^e	—

^a具体的值可能因合金、矿物质、试样的机械加工或热处理而不同。关于该材料更有确切价值的参考书籍应该被记入。

^b韧性材料的拉伸和压缩的屈服强度和极限强度可以假设为相等的。

^c垂直于纹理的测量。

^d平行于纹理的测量。

^e在纹理上加载时的变形是垂直于纹理测量的。

典型工程材料的平均力学性能^a

(国际单位制)

材 料	密度 ρ (Mg/m ³)	弹性模量 E (GPa)	剪切弹性 模量 G (GPa)	屈服强度 (MPa) σ_y			极限强度 (MPa) σ_u			50mm 试样 的伸长率 (%)	泊松比 ν	热膨胀 系数 α (10 ⁻⁶)/°C	
				拉伸	压缩 ^b	剪切	拉伸	压缩 ^b	剪切				
金属													
铝锻造合金	2014-T6	2.79	73.1	27	414	414	172	469	469	290	10	0.35	23
	6061-T6	2.71	68.9	26	255	255	131	290	290	186	12	0.35	24
铸铁合金	灰铸铁 ASTM 20	7.19	67.0	27	—	—	—	179	669	—	0.6	0.28	12
	可锻铸铁 ASTM A-197	7.28	172	68	—	—	—	276	572	—	5	0.28	12
铜合金	红黄铜 C83400	8.74	101	37	70.0	70.0	—	241	241	—	35	0.35	18
	青铜 C86100	8.83	103	38	345	345	—	655	655	—	20	0.34	17
镁合金	[Am 1004-T61]	1.83	44.7	18	152	152	—	276	276	152	1	0.30	26
钢合金	结构钢 A-36	7.85	200	75	250	250	—	400	400	—	30	0.32	12
	结构钢 A992	7.85	200	75	345	345	—	450	450	—	30	0.32	12
	不锈钢 304	7.86	193	75	207	207	—	517	517	—	40	0.27	17
	工具钢 L2	8.16	200	75	703	703	—	800	800	—	22	0.32	12
钛合金	[Ti-6Al-4V]	4.43	120	44	924	924	—	1000	1000	—	16	0.36	9.4
非金属													
钢筋混凝土	低强度	2.38	22.1	—	—	—	12	—	—	—	—	0.15	11
	高强度	2.37	29.0	—	—	—	38	—	—	—	—	0.15	11
塑料增强	凯夫拉 49	1.45	131	—	—	—	—	717	483	20.3	2.8	0.34	—
	30% 玻璃	1.45	72.4	—	—	—	—	90	131	—	—	0.34	—
木结构级	花旗松	0.47	13.1	—	—	—	—	2.1 ^c	26 ^d	6.2 ^d	—	0.29 ^e	—
	白云杉	3.60	9.65	—	—	—	—	2.5 ^c	36 ^d	6.7 ^d	—	0.31 ^e	—

^a具体的值可能因合金、矿物质、试样的机械加工或热处理而不同。关于该材料更有确切价值的参考书籍应该被记入。

^b韧性材料的拉伸和压缩的屈服强度和极限强度可以假设为相等的。

^c垂直于纹理的测量。

^d平行于纹理的测量。

^e在纹理上加载时的变形是垂直于纹理测量的。

目录

译者序
前言

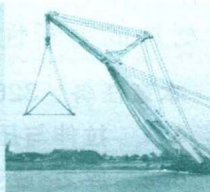
静力学

第1章

一般原理 1

本章任务 2

- 1.1 力学 2
- 1.2 基本概念 2
- 1.3 计量单位 4
- 1.4 国际单位制 5
- 1.5 数值计算 6
- 1.6 一般分析过程 7

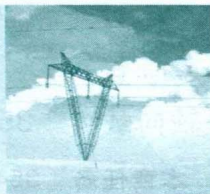


第2章

力矢量 11

本章任务 12

- 2.1 标量与矢量 12
- 2.2 矢量运算 12
- 2.3 力矢量的合成 13
- 2.4 平面力系的合成 21
- 2.5 笛卡儿矢量 29
- 2.6 笛卡儿矢量的合成 32
- 2.7 位置矢量 40
- 2.8 沿作用线指向的力矢量 43
- 2.9 点积 50



第3章

力系的合成 63

本章任务 64

- 3.1 力矩——标量形式 64
- 3.2 叉积 67
- 3.3 力矩——矢量形式 69
- 3.4 力矩原理 73
- 3.5 力对指定轴之矩 83
- 3.6 力偶矩 89
- 3.7 力和力偶系的简化 98
- 3.8 力和力偶系的进一步简化 107

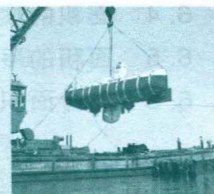


第4章

刚体的平衡 121

本章任务 122

- 4.1 刚体平衡条件 122
- 4.2 受力图 123
- 4.3 平衡方程 132
- 4.4 二力构件与三力构件 138
- 4.5 受力图 147
- 4.6 平衡方程 151
- 4.7 干摩擦特性 157
- 4.8 考虑干摩擦的平衡问题 160
- 4.9 平带上的摩擦力 173
- 4.10 螺纹上的摩擦力 175

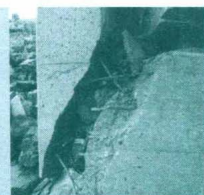


第5章 结构分析 188



- 7.6 许用应力 300
- 7.7 简单连接件的设计 301
- 7.8 变形 311
- 7.9 应变 311

第8章 材料的力学性能 325



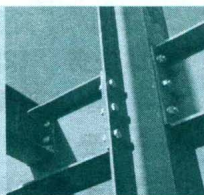
- 本章任务 326
- 8.1 拉伸与压缩试验 326
- 8.2 应力-应变图 327
- 8.3 韧性材料与脆性材料的应力-应变行为 330
- 8.4 胡克定律 333
- 8.5 应变能 334
- 8.6 泊松比 342
- 8.7 切应力-切应变图 343

第6章 重心、形心与惯性矩 229

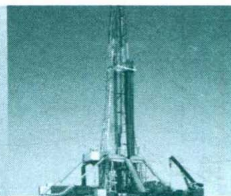


- 本章任务 230
- 6.1 物体的重心、质心与形心 230
- 6.2 组合体 239
- 6.3 分布载荷的合力 246
- 6.4 面积的惯性矩 253
- 6.5 面积的平行轴定理 255
- 6.6 组合面积的惯性矩 260

材料力学 第7章 应力与应变 269



第9章 轴向载荷 353



- 本章任务 354
- 9.1 圣维南原理 354
- 9.2 轴向承载构件的弹性变形 355
- 9.3 叠加原理 366
- 9.4 轴向载荷作用下构件的超静定问题 367
- 9.5 轴向承载构件的力法分析 373
- 9.6 热应力 378
- 9.7 应力集中 384

- 本章任务 270
- 7.1 引言 270
- 7.2 内力的合力 270
- 7.3 应力 281
- 7.4 轴向载荷作用下构件横截面上均匀分布的正应力 283
- 7.5 平均切应力 289

第 10 章 扭转 392



本章任务 393

- 10.1 圆轴的扭转变形 393
- 10.2 扭转公式 395
- 10.3 功率传递 401
- 10.4 扭转角 407
- 10.5 扭转超静定问题 420
- * 10.6 非圆实心截面轴 427
- 10.7 应力集中 432

第 11 章 弯曲 438



本章任务 439

- 11.1 剪力圖与弯矩圖 439
- 11.2 绘制剪力圖与弯矩圖的图解法 446
- 11.3 直杆的弯曲变形 462
- 11.4 弯曲公式 464
- 11.5 非对称弯曲 476
- 11.6 应力集中 484

第 12 章 横向剪切 491



本章任务 492

- 12.1 直梁的剪切 492
- 12.2 切应力公式 493
- 12.3 构件的剪力流 507

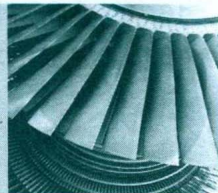
第 13 章 组合受力 519



本章任务 520

- 13.1 薄壁压力容器 520
- 13.2 由组合受力引起的应力状态 525

第 14 章 应力变换和应变变换 544



本章任务 545

- 14.1 平面应力变换 545
- 14.2 平面应力变换的一般表达式 548
- 14.3 主应力和面内最大切应力 551
- 14.4 平面应力状态的莫尔圆 562
- 14.5 单元体内最大切应力 572
- 14.6 平面应变 579
- 14.7 平面应变变换的一般表达式 580
- * 14.8 莫尔圆——平面应变 587
- 14.9 应变花 595
- 14.10 材料常数间的关系 597

第 15 章 梁与轴的设计 611



本章任务 612

- 15.1 梁的设计基础 612
- 15.2 等直梁的设计 614
- * 15.3 等强度梁 627

第16章

梁与轴的挠度 632



本章任务 633

16.1 弹性曲线 633

16.2 确定转角与挠度的积分法 636

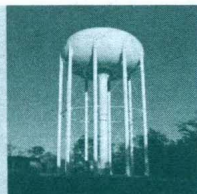
* 16.3 阶跃函数 648

16.4 叠加法 656

16.5 叠加法求解超静定梁和轴 662

第17章

柱(压杆)稳定 674



本章任务 675

17.1 临界载荷 675

17.2 两端铰支的理想柱(压杆) 677

17.3 不同类型支承的柱(压杆) 681

* 17.4 正割公式 691

* 17.5 非弹性屈曲 696

附录 705

附录A 数学知识回顾及相关表达式 705

附录B 常见形状的几何性质 709

附录C 工字钢截面的几何参数 710

附录D 梁的转角与挠度 713

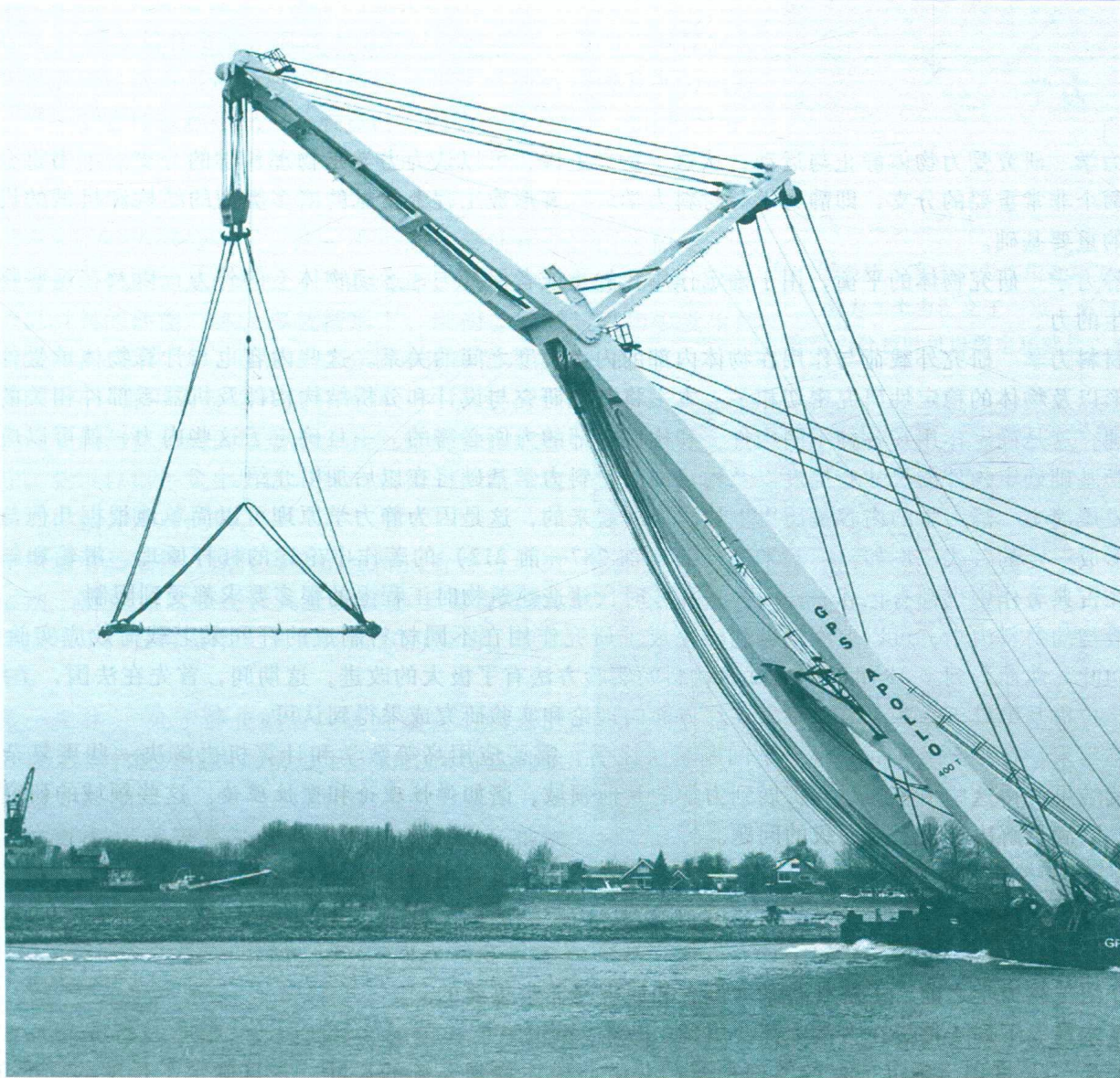
基础题部分解题过程及答案 715

习题答案 744

静力学

第1章 一般原理

1



诸如图中这类大型起重机，要求举升超大载荷。它们的设计都是基于静力学与动力学的基本原理，这些原理构成工程力学的主体。

1 本章任务

- 提供关于力学理想化以及基本量的引言。
- 给出关于牛顿运动定律和万有引力的表述。
- 回顾应用国际单位制 SI 原理。
- 考察进行数字计算的标准过程。
- 提供解题的一般指南。

1.1 力学

力学 研究受力物体静止与运动，从这一意义上讲，可以认为力学是物理科学的分支。本书将介绍力学的两个非常重要的分支，即静力学与材料力学。二者形成工程上常见的诸多类型的结构和机械的设计与分析的重要基础。

静力学 研究物体的平衡，用于确定作用在静止或者保持匀速运动物体上的外力，以及在这些物体内部产生的力。

材料力学 研究外载荷与作用在物体内部的内力集度之间的关系。这些内容也与计算物体承受外力时的变形以及物体的稳定性研究密切相关。本书将首先研究与设计和分析结构构件及机器零部件相关的静力学原理，这是确定作用在各种不同构件上和构件内部的力所必需的。一旦确定了这些内力，就可以应用材料力学基础确定构件的尺寸、挠度以及稳定性。材料力学基础将在以后加以介绍。

发展简史 静力学的内容是历史上最早发展起来的，这是因为静力学原理可以简单地根据几何与力的量测形成一定的公式。例如，阿基米德（公元前 287—前 212）的著作中论述的杠杆原理。滑轮和斜面的研究在古典著作中也都有记载——因为在那些时代建造建筑物时工程上的很多要求都受到限制。

最初的材料力学，可以追溯到伽利略完成了研究作用在不同材料制成的杆和梁上载荷效应实验的 17 世纪初叶。然而，到了 18 世纪初，试验材料的实验方法有了极大的改进，这期间，首先在法国，圣维南、泊松、拉梅及纳维等一些著名科学家在这方面的理论和实验研究成果得到认可。

多年来，在很多经典的材料力学问题解决之后，需要应用高等数学和计算机去解决一些更复杂的问题。其结果使得这些内容的研究扩展到力学的其他领域，诸如弹性理论和塑性理论。这些领域的研究不断进展，以满足解决工程上更高级的问题。

1.2 基本概念

介绍工程力学之前，了解某些基本概念和原理是非常重要的。

基本量 下列 4 种量在力学中都会用到。

长度 长度用于确定一点的空间位置，并由此描述物理系统的尺寸。一旦确定了长度的标准单位，就可以用这种单位的倍数描述距离和几何特征。

时间 时间可以想象为事件的连续性。虽然静力学的原理与时间无关，但在动力学研究中这一量却

是非常重要的。

质量 质量是量度物质的量的量，用于比较一个物体与另一个物体的活动能力。这一特性表明两个物体之间的引力，同时可以量度物质抵抗速度改变的能力。

力 一般地讲，力被认为是一个物体对另一个物体的“推”或“拉”。这种相互作用可能在物体间相互直接接触时发生，例如人推墙。也可以当物体完全分开一段距离时发生。典型例子包括重力、电场力和磁力。在所有情形下，力都由其大小、方向和作用点所确定。

理想化 力学中的模型和理想化的应用，是为了使力学理论的应用得以简化。下面将介绍3种重要的简化。

质点 质点具有质量，但其大小可以忽略不计。例如，地球的大小与其轨道相比微不足道，所以当研究轨道运动时可以将其视为质点模型。当一个物体被理想化为一质点时，因为不涉及物体的几何尺寸，所以在分析问题时，力学原理精炼为更加简化的形式。

刚体 刚体可以认为是许多质点的集合，无论是加载前或是加载后，质点间的距离保持不变。这一模型的重要性在于，因为假定了任何物体材料的性能都是刚性的，所以在研究作用在物体上力的效应时，不必考虑材料的性能。绝大多数情形下，结构、机械与机构中发生的变形相对而言是小变形，故此，在分析中刚体的假定是合理的。

集中力 集中力是指作用在物体上一点载荷的效应。只要载荷作用的区域远小于其所作用物体的整体尺寸，就可以以一集中力表示这一载荷。车轮与地面之间的接触力即属此例。

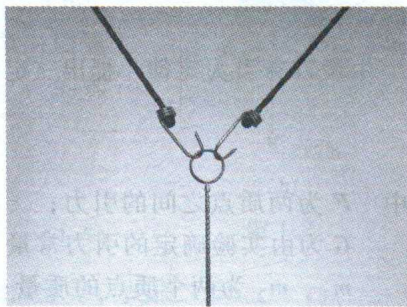
牛顿运动三定律 刚体力学的全部内容都可以由牛顿运动三定律加以表述，其正确性基于实验结果。三定律应用于在参考系中无加速度质点的运动。现简述如下。

第一定律 处于静止或者匀速直线运动状态的质点，在无非平衡力作用的情形下，力图保持这种状态，如图1-1a所示。

第二定律 承受非平衡力 F 作用的质点，将产生加速度 a ，其方向与力的方向相同，大小与力的大小成比例，如图1-1b所示^①。如果力 F 施加在质量为 m 的质点上，这一定律可以用数学表达为

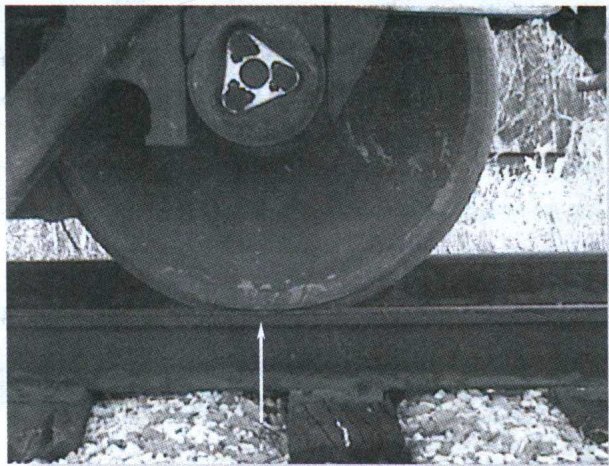
$$F = ma \quad (1-1)$$

第三定律 两个质点之间的相互作用力与反作用力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上，如图1-1c所示。



图中所示为3个力作用在环上。

因为3个力汇交于一点，所以在受力分析时可以假定环就是一质点



钢材是工程中常用的一种材料，在一般载荷作用下变形不会很大。所以，可以将火车轮作为一刚体，将一集中力施加在铁轨上

^① 从另一角度讲，作用在质点上的非平衡力与质点的线动量对时间的变化率成比例。

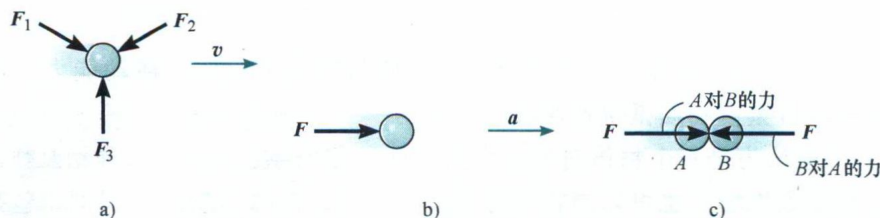


图 1-1

a) 平衡 b) 加速运动 c) 作用与反作用力

牛顿万有引力定律 提出三定律后不久，牛顿又提出了决定两质点间的万有引力定律。其数学表达式为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-2)$$

式中 F 为两质点之间的引力；

G 为由实验确定的引力常量， $G = 66.73(10^{-12}) \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ ；

m_1 、 m_2 为两个质点的质量；

r 为两个质点之间的距离。

重量 根据方程 (1-2)，任何两个质点或物体之间存在相互引力（万有引力）。当质点位于地球表面或者地球表面附近时，地球与质点之间的万有引力将具有可观的数值。这种引力称为重量。重量是力学研究中唯一考虑的万有引力。

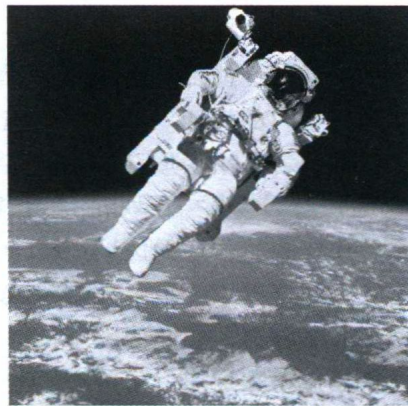
根据方程 (1-2) 可以导出一个质量为 $m_1 = m$ 的质点的重量 W 的表达式。假如地球是一个具有均匀密度、质量为 $m_2 = M_e$ 的不旋转的球体， r 为质点到地球中心的距离，则有

$$W = G \frac{m M_e}{r^2}$$

令 $g = GM_e/r^2$ ，得到

$$W = mg \quad (1-3)$$

将此式与 $F = ma$ 相比较，可以看出， g 即为重力加速度。因为重量与 r 有关，所以它不是绝对不变的量，其大小决定于在何处测量。在绝大多数工程计算中， g 是在纬度 45° 处的海平面上确定的，该处被认为是“标准位置”。



宇航员因远离地球的引力场而失重

1.3 计量单位

长度、时间、质量和力这四个量都是彼此相依的，事实上它们通过牛顿运动第二定律 $F = ma$ 相互关联。正因为如此，用以量度这些量的单位不能任意选择。等式 $F = ma$ 的成立，只需要四个单位中的三个，这些单位称为基本单位，一旦确定了这三个单位，就可以根据上述等式导出第四个单位。

SI 制 国际单位制，简称 SI 制，它是继法国“国际单位制”之后米制的现代版本，已经获得国际上的广泛认可。正如表 1-1 中所示，SI 制中，长度以米 (m) 计，时间以秒 (s) 计，质量以千克 (kg) 计。根据 $F = ma$ 导出力的单位为牛顿 (N)。因此，1 牛顿等于使 1 千克的质量产生 1 m/s^2 的加速度所需要的力