



国外高校经典教材译丛

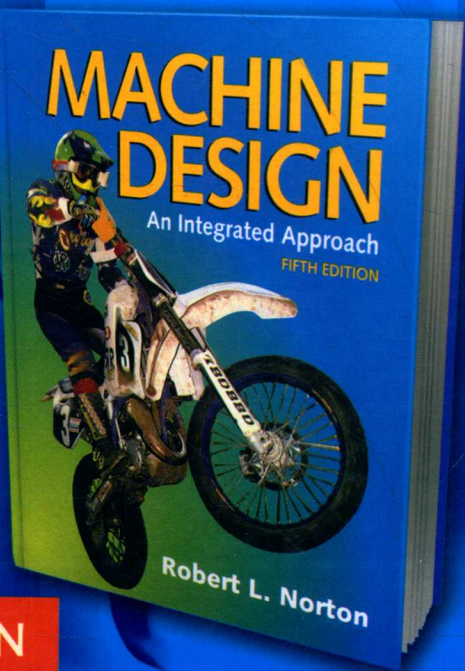


机械设计

Machine Design
An Integrated Approach (5th Edition)

(原书第5版)

[美] 罗伯特·诺顿 (Robert L. Norton) 著
黄平 李静蓉 翟敬梅 陈扬枝 等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

PEARSON



国外高校经典教材译丛

机械设计

(原书第5版)

[美] 罗伯特·诺顿 (Robert L. Norton) 著
黄平 李静蓉 翟敬梅 陈扬枝 等译



机械工业出版社

本书是美国大学本科机械设计课程的一本优秀教材。全书分两篇。第1篇为基础篇，共8章，分别是：设计介绍，材料和工艺，运动与受力分析，应力、应变与挠度，静态失效理论，疲劳失效理论，表面失效和有限元分析。第2篇为机械设计篇，共9章，分别是：设计案例研究，轴、键与联轴器，轴承与润滑，直齿圆柱齿轮，斜齿轮、锥齿轮和蜗轮蜗杆，弹簧设计，螺纹与紧固件，焊接，离合器与制动器。

本书特别强调综合设计方面的内容，以培养学生将来在实际工作中解决工程问题的能力。除了传统的解析与图解分析计算方法外，还加入了有限元方法，并在本书网站中提供了多个计算机辅助分析的程序，从而突出现代设计方法与计算机辅助设计在机械基础课程教学中的应用。为本书开设的网站提供了原作者的课程讲座演讲视频、应力分析视频、常用机械零件例子视频和工作机械的视频等。通过观看视频，可以帮助学生和自学人员更加直观地理解书本上的内容。

本书可作为国内机械类和近机械类专业的相关课程教学的教材或教学参考书，也可作为从事机械基础教学或设计的其他专业师生和工程技术人员的参考书。本书结合原版教材也可以作为双语教材使用。

Authorized translation from the English language edition, entitled MACHINE DESIGN, 5E, by NORTON, ROBERT L., published by Pearson Education Inc, publishing as Prentice Hall Copyright© 2014 Pearson Education Inc.

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© [2016].

本书中文简体字版由培生教育出版公司授权机械工业出版社合作出版，未经出版者书面许可，不得以任何形式复制或抄袭本书的任何部分。

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：01-2013-9371号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计：原书第5版/ (美) 诺顿 (Norton, R. L.) 编著；黄平等译. —北京：机械工业出版社，2015.11

(国外高校经典教材译丛)

ISBN 978-7-111-53324-5

I. ①机… II. ①诺… ②黄… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 061462 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：李馨馨 责任校对：张艳霞

责任印制：李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016年6月第1版·第1次

184mm×260mm·56.75印张·1409千字

0001—3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-53324-5

定价 198.00 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

网络服务

服务咨询热线：(010) 88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：(010) 88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

中文版序

由美国马萨诸塞州伍斯特理工学院罗伯特·诺顿教授编著的《Machine Design: An Integrated Approach》一书是美国大学本科机械设计课程的一本优秀教材。自1988年第1版出版以来,已经再版了5次,其第5版于2014年出版,由Prentice Hall出版公司出版。

全书分两篇。第1篇为基础篇,共8章,分别是设计介绍,材料和工艺,运动与受力分析,应力、应变与挠度,静态失效理论,疲劳失效理论,表面失效和有限元分析;第2篇为机械设计篇,共9章,分别是设计案例研究,轴、键与联轴器,轴承与润滑,直齿圆柱齿轮,斜齿轮、锥齿轮和蜗轮蜗杆,弹簧设计,螺纹与紧固件,焊接,离合器与制动器。

本书与国内同类教材相比有以下特点。

1) 本书的内容与国内的教学体系不完全相同,它涵盖了国内“材料力学”“机械原理”与“机械设计”三个课程的教学内容,而且这些内容具有一定的深度,因此本书适合国内大专院校机械类和近机械类专业等有这三门课程教学需求的专业师生使用,从而以一门课程的教学实现了三门课程内容的整合,这也是目前专业教学改革的一个方向。

2) 本书特别强调综合设计方面的内容,以培养学生将来在实际工作中解决工程问题的能力。除了传统的解析与图解分析计算方法外,还加入了有限元方法,并在本书网站中提供了多个计算机辅助分析的程序,从而突出现代设计方法与计算机的发展及其在机械基础课程教学中的应用。

3) 在零件失效分析方面,本书通过静态失效、疲劳失效和表面失效3种失效理论来分析失效零件的破坏形式。这与学科研究方向紧密联系,将科研与教学内容进行了有机结合。

4) 为本书开设的网站提供了原作者的课程讲座演讲视频、应力分析视频、常用机械零件例子视频和工作机械的视频等。通过观看视频,可以帮助学生和自学人员更加直观地理解书本内容。

机械工业出版社将罗伯特·诺顿教授编著的《Machine Design: An Integrated Approach》(第5版)作为优秀教材引进,为国内机械基础教学借鉴国外先进教学体系、方法和内容做了有益尝试。该书由华南理工大学机械基础国家教学团队的教师翻译,由黄平担任主译,李静蓉、陈扬枝、翟敬梅担任副主译,具体分工为:黄平(前言、目录、第1、8、9章)、孙建芳(第2章)、李静蓉(第3章)、邱志成(第4章)、谢龙汉(第5、6章)、苏峰华(第7章)、李旻(第10章)、胡广华(第11章)、翟敬梅(第12、13章)、邹焱飏(第14章)、陈扬枝(第15章)、徐晓(第16章)、张东(第17章、附录A~附录D)。本中译本可作为国内机械类和近机械类专业师生相关课程教学的教材或教学参考书,也可作为从事机械基础教学或设计的其他专业师生和工程技术人员的参考书,还可以结合原版教材作为双语教材使用。

译者

2015年3月

前 言

介绍

本书是机械零件设计课程教材，特别适合大多数机械工程专业学生第一年课程使用。学习本课程的先修课程包括静力学和动力学，以及与材料强度相关的课程。本书的目的是：为专业问题提供一种新的方法，以强调设计重点。本书适用于低 - 高年级的机械工程专业的学生。撰写本书的初衷是使其易于阅读，使学生有兴趣阅读这些枯燥无味的专业内容。

本书比其他现有教材做了改进，所提供的方法和技术充分利用计算机辅助分析优势。本书强调设计和综合，以及分析，给出了详细和独立的例题、案例研究和求解技术。所有的插图采用双色绘制。每章都提供了简短的习题，且在适当的位置给出了较长的非结构化的设计项目任务。

本书不依赖于任何特定的计算机程序。与例题和案例研究对应的所有计算机文件均用几种不同的语言（Mathcad，MATLAB，Excel 和 TK Solver）编写，它们可在本书网站中查到（<http://www.pearsonhighered.com/norton>）。网站中还提供了作者编写的其他一些程序的执行文件，它们包括莫尔圆生成器（MOHR.exe）、矩阵求解器（MATRIX.EXE）、连杆设计程序和凸轮设计程序。在网站中还给出网站内容索引。

本书试图对工程力学中的失效理论和分析的内容给予全面和深入的介绍，还在很大程度上比本门学科的其他大多数教材更强调专业综合与设计方面的内容。书中指出了各种零件设计所需的分析方法的通用性，并强调计算机辅助工程作为一种方法在这类问题的设计和分析中的应用。作者对本门课程的方法是基于在机械工程设计行业中从业和咨询 50 年的实践经验总结而成的。作者在大学教授了 40 年的机械工程设计。

在第 5 版有什么新内容？

- 在第 3 章中增加了运动学基础的几节内容。因为运动学的这些内容加入到机械设计课程教学大纲中对许多相关课程具有价值。
- 在网站中提供了 21 个与各章节有关主题的授课视频。这些视频都是从作者在伍斯特理工学院的现场教学录像中选出的。学生可以通过观看这些视频复习和提高对本书这些主题的理解。
- 网站提供了 8 个简短的视频来演示应力分析的各种原理，以及展示常用机械零件，如弹簧、齿轮和轴承等。
- 网站上提供了 6 个工作中的真实机械的视频。
- 作者最新的程序（如 Linkages 和 dynacam）也放在了网站上。
- 添加或修订了 90 多道全部采用国际单位的习题。

理念

机械设计通常是机械工程专业的学生遇到的在设计方面具有挑战性的第一门课程，它不是求解简单的习题。这门课程强调的设计类型是细节设计，它仅仅是整个设计过程的一部分。在细节设计中，待设计设备的一般构造、应用，甚至整体形状在一开始通常是知道的。我们不是要发明一个新的装置，只是确定一个待定的机器零件的形状、大小和材料，使它不会在已知的加载和环境条件下的预期服务期内失效。

传统讲授零件课程的方法强调的是单个机器部件或零件的设计，如齿轮、弹簧、轴等。对此

方法的一个批评是：有时针对零件的课程（或教材）可能很容易成为一本“食谱”，即只是收集零散的主题，却无法帮助学生解决在现有“食谱”中找不到的其他问题。确实有发生这种情况的风险。这样，教师（或作者）比较容易让课程（或教材）变成这种模式：“嗯，今天是星期二，让我们设计弹簧；星期五我们将设计齿轮。”如果发生这种情况，它可能使学生受到误导，因为它不再需要学生对设计问题的理论基础在实际中的应用进行理解。

本课程给出的许多机器零件为基本理论提供了极好的范例。如此看来，在一般情况下，它们能够成为帮助学生理解复杂和重要的工程理论的一个很好的工具。例如，在预紧螺栓的主题中，用金属薄垫片抗疲劳载荷可以作为一个完美的工具引出预应力的概念。学生不可能被要求在实践中总是设计预紧螺栓，但他或她可能利用预应力的经历获得对预应力的理解。承受随时间变化的载荷的斜齿轮设计提供给学生作为理解组合应力、赫兹应力和疲劳失效的一个极好的工具。因此，只要在教材中所采取的方法足够普适，单一零件的方法是一种有效且可靠的方法。也就是说，它不应该退化成一系列的明显不相关的练习，而应提供一种集成的方法。

作者发现现有教材（和机械零件课程）的另一个缺陷是在系统动力学和系统应力分析之间缺乏联系。通常，这些教材中给出的机械零件都（魔法般地）预先给了施加在它们上面的载荷。然后教学生如何通过这些载荷确定所引起的应力和变形。而在实际机械设计中，力往往是不确定的，在很大程度上，载荷可能是由各运动零件的质量的加速度引起的。然而，只有当几何尺寸确定且通过应力分析得到待设计零件的强度后，质量才能准确确定。因此，存在一个僵局，这个僵局只有通过迭代打破，即假设零件的几何尺寸，获得这一零件的几何性质和质量性质，计算零件由于材料和零件几何形状导致的动载荷，然后计算载荷产生的应力和变形，如果失效，则重新设计，并重复上述步骤。

一种集成方法

本书分为两篇。第1篇介绍了应力、应变、变形、材料性质、失效理论、疲劳现象、断裂力学和有限元分析等基础内容。这些理论方法的内容与其他现有教材类似。第2篇介绍了如何处理具体的、常见的设计零件，作为理论的应用实例，为避免只是给出一系列不同的主题，通过给出的集成方法将各种主题以案例研究的形式联系在一起。

大多数零件教材包含了超过在一个学期内讲授完一门课程的主题和内容。在写这本书的第1版之前，通过向美国200位讲授零件课程的大学教师发送调查问卷，征求他们对零件教材主题相对重要性和期望内容设置的意见。从第2版到第5版的每一次修订，都进行了用户调查，以确定应该改变或增加什么。对这些反馈进行的分析影响了本书所有版本的结构和内容。来自受访者的最强的愿望之一就是案例研究，希望它们提出切合实际的设计问题。

我们试图通过围绕10个系列性的案例研究来构建本书以实现这一目标。这些案例研究给出同一设计问题的不同方面案例，在多个章节中出现，例如，在第3章中确定装置的静态载荷或动态载荷、在第4章中计算静载荷应力以及在第5章中应用适当的失效理论确定安全系数。在后面的章节中还提出更复杂、更多设计内容的案例研究。第6章关于疲劳设计的案例研究就是从作者在咨询实践中遇到的一个真实问题来进行案例讲解。第8章介绍了几个有限元分析的案例研究与前面章节做过的经典解的比较。

案例研究提供了一系列贯穿本书的机械设计项目，它包含了这类教材通常处理的各类零件的组合。这些组件包含一些零件的集合，如受轴向和弯曲载荷联合作用的连杆、压杆，弯曲与扭转组合的轴，在交变载荷作用下的齿轮副、回位弹簧，疲劳加载的紧固件和轴承等。这种集成的方法有几个优点。它在本书中为学生提出了一个整体设计问题，而不是一堆零散、无关的问题。

学生可以看到影响单个零件设计决策的相互关系和理由。更全面的案例研究在本书的第2篇。第1篇的案例研究范围较为有限,涉及的是该章的工程力学主题。除了案例研究外,每一章还选择了一些样例来强化特定主题。

第9章设计案例研究致力于3个设计案例研究,以便在后面的章节中使用,强化在轴、弹簧、齿轮、紧固件等设计和分析中蕴含的概念。实际上,这些设计案例研究并没完全解决整个案例,因为它们另一个目的是为学生项目作业提供素材。作者成功地用这些案例研究主题作为多周或一学期的学生小组或个人的项目作业。开放式的项目作业比课后作业更有助于加强对课程中设计和分析方面的学习。

习题集

为满足第1版用户解耦的要求,在886个习题中,77%(686个)的随章习题都是独立的。习题集中其他的23%与后续章节相关。这些相关习题在每章中编号的短线后面的数字是相同的,并用粗体字表明它们在章节中的通用性。例如,习题3-4要求对拖车挂接装置做静态受力分析;习题4-4要求进行基于习题3-4相同计算载荷的同一挂接装置的应力分析;习题5-4要求用习题4-4计算的应力计算该挂接装置的静态安全系数;习题6-4要求对同一挂接装置进行疲劳失效分析,而习题7-4要对它进行接触应力分析。对同样的拖车挂接装置,在第8章中,作为案例研究进行了有限元分析。因此,当新的主题引出时,基本设计问题的复杂性随即展开。希望使用这种方法的教师可以布置在后续章节中短线后相同数字的习题。如果不想用前面的习题作为后面习题的基础,则可以将前面问题的解决方案数据手册提供给学生。不喜欢关联习题的教师完全可以在686个习题中选择没有黑体编号的各章独立习题,以避免内容关联。

内容安排

第1章介绍了设计流程、问题提法、安全系数和单位。第2章回顾了材料的性质,因为即使学生已经修过第一门与材料科学或冶金有关的课程,机械设计也仍需要广泛和初步理解典型工程材料的性能。第3章探讨了运动学连杆机构和凸轮的基本原理,还复习了静态和动态载荷分析,包括梁、振动和冲击载荷,并为了说明应力和变形分析主题的连续性,建立了一系列在后续章节中使用的案例研究。

机械零件设计课程的核心实际是一个中等水平应用应力分析的课程。因此,在第4章回顾了应力和变形分析基础。第5章详细介绍了静态失效理论,因为学生通常没有完全消化前面应力分析中给出的概念。这一章还介绍了静态载荷下的断裂力学分析。

由于大多数入门课程只处理静态加载问题,零件课程通常是学生的第一次接触疲劳分析的应力分析,因此,在第6章用了较长篇幅介绍了疲劳破坏理论,重点是高周疲劳的应力-寿命设计,它常用在旋转机械的设计中。该章进一步讨论关于循环载荷作用下的裂纹扩展的断裂力学理论。这里没给出基于应变方法的低周疲劳分析,但向读者介绍了它们的应用和目的,并提供了进一步学习需要用到的参考文献。本章也对残余应力做了讲解。第7章深入讨论了磨损机理、表面接触应力和表面疲劳。

第8章介绍了有限元分析(FEA)。许多教师利用机械零件课程向学生介绍有限元分析,并用机械设计技术指导学生使用。第8章提供的材料中不是为了替代有限元理论教学。许多其他致力于有限元分析教学的书上都有这些材料,这里鼓励学生通过自学课程熟悉有限元分析理论。同时,第8章还介绍了有限元分析在实际机械设计问题中应用的适当技术。关于零件的选择、网格细化的问题和适当的边界条件的给定是有限元开发的细节。这些问题通常不会在有限元理论书籍中涉及。现在许多工程师培训时,在他们专业实践中会利用CAD实体建模软件和商用有限

元分析软件。然而，了解这些工具的局限性，并恰当地使用这些工具是十分重要的。如果需要，本章可以在课程前段讲授，特别是如果学生要用有限元解决所分配给他的任务时。对各章节的许多作业，在本书网站上都提供了它们的 SolidWorks 几何模型。

前面这 8 章构成了本书的第一篇，是为了机械零件设计奠定所需的分析基础。除第 8 章的有限元分析外，它们安排的顺序与它们的提出和建立的顺序相一致。

本书第 2 篇介绍了机械零件设计，把零件作为一个整体机械的一部分。第 2 篇的各章本质上是彼此独立的，如果教师愿意，可以采取任何顺序（或跳过）（除了第 12 章直齿圆柱齿轮应在第 13 章斜齿轮、锥齿轮和蜗轮蜗杆研究之前讲授外）讲授。本书所有的主题可能无法在一个学期或一门课程中全部覆盖。未覆盖的章节仍可作为工程师们在他们专业实践中的参考。

第 9 章提出了一组设计案例研究作为作业和案例研究的例子供后续的章节使用。此外除了对案例的详细分析，还提供了一系列的推荐设计项目作业。第 10 章采用了第 6 章提出的疲劳分析技术研究了轴的设计。第 11 章用第 7 章提出的理论讨论了流体膜和滚动轴承理论和应用。第 12 章采用 AGMA 建议的最新步骤深入介绍了直齿圆柱齿轮的运动学、设计和应力分析。第 13 章是齿轮设计的拓展，包括斜齿轮、锥齿轮和蜗杆传动。第 14 章的弹簧设计内容包括螺旋压缩弹簧、拉伸弹簧和扭转弹簧，并全面讨论了碟形弹簧。第 15 章研究了动力螺纹和紧固件。第 16 章给出了静态和动态载荷下焊接件设计的最新处理方法。第 17 章介绍了盘式、鼓式离合器和制动器的设计和规格。附录中包含了材料强度数据、梁的参数表格、应力集中系数以及部分习题解答。

补充

提供给教师的习题解手册可从本书出版商处得到，书中所有图表的 PowerPoint 幻灯片都可以在出版商的网站获得（有密码保护）：

<http://www.pearsonhighered.com/>

要下载这些资源，选择教师支持标签，以教师身份注册，并遵循网站指引获取提供的资源。所有习题解的 MathCAD 文件都在题解手册中给出。这种以计算机化方法解决问题的方案具有显著的优势，教师可以很容易地改变任何指定的数据，并立即求解。因此，这是一个无限数量的问题集，远远超过在书中给出的那些。教师还可以通过改变所提供的文件资料准备和解决考试出题。

勘误表可以在作者的个人网站查到，具体网址：

<http://www.designofmachinery.com/md/errata.html>

采用本书的教师们均可通过注册进入作者的个人网站，获得与主题相关的附加信息（教学大纲、项目作业等）、文本文件和下载更新软件（密码保护）。请登录：

<http://www.designofmachinery.com/registered/professor.html>

凡购买本书用户可以通过注册进入作者的个人网站，得到当前版本的更新软件（密码保护）。请登录：

<http://www.designofmachinery.com/registered/student.html>

致谢

作者对审阅了本书第 1 版的不同发展阶段的所有人士表示诚挚感谢，他们包括：密歇根理工学院的 J. E. Beard 教授、加州大学戴维斯分校的 J. M. Henderson 教授、密苏里大学的 L. R. Koval 教授、托莱多大学的 Rolla 教授和 S. N. Kramer 教授、弗吉尼亚理工大学的 L. D. Mitchell 教授、普渡大学的 G. R. Pennock 教授、田纳西理工学院的 D. A. Wilson 教授、John Lothrop 先生，以及西密歇根大学的 J. Ari Gur 教授，J. Ari Gur 教授也采用本书的班级测试版教学。Robert Herrmann（伍斯特理

工学院 - 机械工程 94 级) 提供了一些习题, Charles Gillis (伍斯特理工学院 - 机械工程 96 级) 求解了第 1 版的大部分习题。

瓦尔帕莱索大学的 John R. Steffen 教授、蒙大纳州的 R. Jay Conant 教授, 弗吉尼亚理工大学的 Norman E. Dowling 教授和达特茅斯的 Francis E. Kennedy 教授为本书的改进提出了许多有用的建议, 并指出了很多错误。要特别感谢伍斯特理工学院的 Hartley T. Grandin 教授, 他在本书酝酿阶段给予了许多的鼓励, 并提供了许多好建议和想法, 同时还采用本书的班级测试版教学。

特别值得提及的是几位培生教育出版公司的编辑为开发这本书所做出的努力: Doug Humphrey 坚持说服我写这本书, 不让我放弃; Bill Stenquist 通常总是肯定我的要求, 并熟练地完成这本书的第 1 版的编辑。Norrin Dias 的支持帮助使得本书第 5 版顺利印刷。

自本书于 1995 年第 1 次印刷以来, 一些用户善意地指出了错误并提出了改进建议。我要感谢加拿大孟顿大学的 R. Boudreau 教授、波莫纳加州理工大学的 V. Glozman 教授、科罗拉多矿业大学的 John Steele 教授、圣何塞州立大学的 Burford J. Furman 教授和加州大学奇科分校的 Michael Ward 教授。

还有一些教师善意地指出本书的错误, 并提出了建设性的意见, 以及在后来的版本中需要改进的建议。其中值得一提的: 伍斯特理工学院的 Cosme Furlong 教授、阿肯色大学的 Joseph Rencis 教授、孟顿大学的 Annie Ross 教授、康奈尔大学的 Andrew Ruina 教授、约克大学的 Douglas Walcerz 教授和加州山城的 Thomas Dresner 教授。

林肯电气公司的 Duane Miller 博士对第 16 章焊接部分提供了非常宝贵的帮助, 并审阅几份草稿。德州州立圣克劳大学的 Stephen Covey 教授、吉列公司的 Gregory Aviza 和 Charles Gillis 工程师, 也对焊接一章提供了有价值的反馈意见。西雅图大学的 Robert Cornwell 教授审阅第 15 章中关于他的计算螺栓连接刚度的新方法的讨论和第 14 章中他的计算矩形钢丝弹簧应力集中的方法的讨论。

哥伦比亚马尼萨莱斯的卡尔达斯大学的 Fabio Marcelo Peña Bustos 教授和巴拉圭亚松森的圣母玛利亚天主教大学的 Juan L. Balsevich - Prieto 教授指出了本书中西班牙语的翻译错误。

特别要感谢吉列公司的 William Jolley, 他为本书算例建立了有限元分析模型, 并审阅了第 8 章; 吉列公司工程部前副总裁 Edwin Ryan 也提供了非常宝贵的支持。联合技术公司 UTC 燃料电池部的 Donald A. Jacques 审阅了有关有限元分析的部分 (第 8 章), 并提出了许多有益的建议。伍斯特理工学院的 Eben C. Cobb 教授和他的学生 Thomas Waston 开发了许多习题和案例研究的 SolidWorks 模型, 并用有限元分析做了求解, 这些案例研究均放在了网站上。

感谢下列回应第 5 版调查, 并提出了许多很好建议的各位人士: 德州州立圣克劳大学的 Steven J. Covey、德克萨斯大学圣安东尼奥分校的 Yesh P. Singh、哥伦比亚马尼萨莱斯自治大学卡尔达斯分校的 César Augusto Álvarez Vargas、南加州大学的 Ardeshir Kianercy、圣克劳德州立大学的 Kenneth W. Miller、新罕布什尔大学柯克利斯的 Yannis Korkolis、德克萨斯州 A & M 的 J. Alex Thomasson、锡达维尔大学的 Timothy Dewhurst、丹麦 VIA 大学 Horsens 分校的 Jon Svenninggaard、田纳西大学的 John D. Landes、加州州立理工大学的 Peter Schuster、宾夕法尼亚州立大学的 Amanuel Haque、阿拉巴马大学的 J. Brian Jordon、亚利桑那州国家大学的 Yabin Liao、圣何塞州立大学的 Raymond K. Yee、安柏瑞德航空大学的 Jean - Michel Dhainaut、爱荷华州立大学的 Pal Molian 和北卡罗来纳州立大学的 John Strenkowski。

作者非常感激默赛尔大学名誉教授 Thomas A. Cook, 他给出了本书题解, 更新了 MathCAD 算例, 并为确定本版大多数的新习题集做出了贡献。还要感谢伍斯特理工学院的 Adriana Hera 博

士，他更新了所有的例题和案例研究的 MATLAB 和 Excel 模型，并全面审查了它们的正确性。

最后，值得我更加尊重的是在过去的 53 年中十分耐心的我的妻子 Nancy Norton，她始终如一地支持和鼓励我，并度过了多个“书守寡”的夏季。没有她我不可能完成本书。

尽管我们为消除本书中的错误做了很多努力。如果仍然存在错误将由作者负责，诚恳希望读者指出存在的任何错误，以便在未来版本中给予修正。请电邮至 norton@wpi.edu。

罗伯特·诺顿
那不勒斯，佛罗里达州
2013 年 1 月 1 日

横截面性质

A = 面积

C = 形心位置

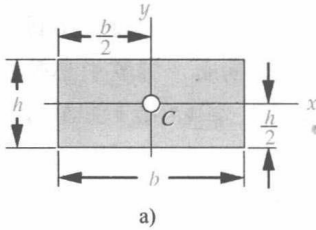
I_x = 关于 x 轴面积二次矩

I_y = 关于 y 轴面积二次矩

k_x = 关于 x 轴的回转半径

k_y = 关于 y 轴的回转半径

J_z = 通过 C 点关于 z 轴的面积二次矩



$$A = bh$$

$$J_z = I_x + I_y$$

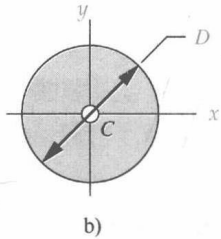
$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

a)



$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$J_z = \frac{\pi D^4}{32}$$

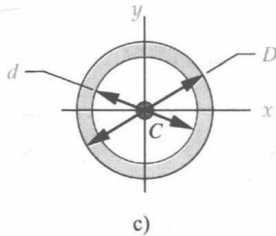
$$I_x = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$I_y = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

b)



$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$J_z = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$$

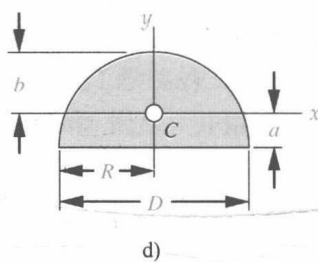
$$I_x = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

c)



$$A = \frac{\pi D^2}{8}$$

$$J_z = I_x + I_y$$

$$I_x = 0.1098R^4$$

$$I_y = \frac{\pi}{8}R^4$$

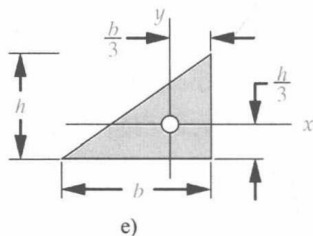
$$a = 0.4244R$$

$$b = 0.5756R$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

d)



$$A = \frac{bh}{2}$$

$$J_z = I_x + I_y$$

$$I_x = \frac{bh^3}{36}$$

$$I_y = \frac{b^3h}{36}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

e)

基本形状质量性质

$V =$ 体积

$m =$ 质量

$C_g =$ 质心

$I_x =$ 关于 x 轴的二次质量矩

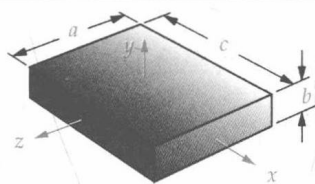
$I_y =$ 关于 y 轴的二次质量矩

$I_z =$ 关于 z 轴的二次质量矩

$k_x =$ 关于 x 轴的回转半径

$k_y =$ 关于 y 轴的回转半径

$k_z =$ 关于 z 轴的回转半径



a)

$$V = abc$$

$$m = V \cdot \text{质量密度}$$

$$x_{C_g} \text{ 在 } \frac{c}{2} \text{ 处}$$

$$y_{C_g} \text{ 在 } \frac{b}{2} \text{ 处}$$

$$z_{C_g} \text{ 在 } \frac{a}{2} \text{ 处}$$

$$I_x = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$$

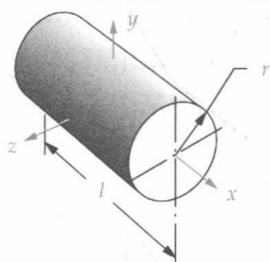
$$I_y = \frac{m(a^2 + c^2)}{12}$$

$$I_z = \frac{m(b^2 + c^2)}{12}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{m}}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{m}}$$

$$k_z = \sqrt{\frac{I_z}{m}}$$



b)

$$V = \pi r^2 l$$

$$m = V \cdot \text{质量密度}$$

$$x_{C_g} \text{ 在 } \frac{l}{2} \text{ 处}$$

$$y_{C_g} \text{ 在轴上}$$

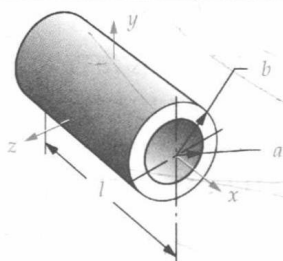
$$z_{C_g} \text{ 在轴上}$$

$$I_x = \frac{mr^2}{2}$$

$$I_y = I_z = \frac{m(3r^2 + l^2)}{12}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{m}}$$

$$k_y = k_z = \sqrt{\frac{I_y}{m}}$$



c)

$$V = \pi(b^2 - a^2)l$$

$$m = V \cdot \text{质量密度}$$

$$x_{C_g} \text{ 在 } \frac{l}{2} \text{ 处}$$

$$y_{C_g} \text{ 在轴上}$$

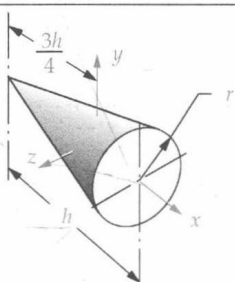
$$z_{C_g} \text{ 在轴上}$$

$$I_x = \frac{m(a^2 + b^2)}{2}$$

$$I_y = I_z = \frac{m(3a^2 + 3b^2 + l^2)}{12}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{m}}$$

$$k_y = k_z = \sqrt{\frac{I_y}{m}}$$



d)

$$V = \pi \frac{r^2 h}{3}$$

$$m = V \cdot \text{质量密度}$$

$$x_{C_g} \text{ 在 } \frac{3h}{4} \text{ 处}$$

$$y_{C_g} \text{ 在轴上}$$

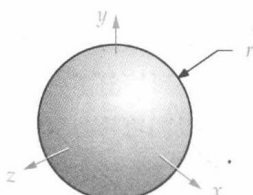
$$z_{C_g} \text{ 在轴上}$$

$$I_x = \frac{3}{10} mr^2$$

$$I_y = I_z = \frac{m(12r^2 + 3h^2)}{80}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{m}}$$

$$k_y = k_z = \sqrt{\frac{I_y}{m}}$$



e)

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$m = V \cdot \text{质量密度}$$

$$x_{C_g} \text{ 在球心}$$

$$y_{C_g} \text{ 在球心}$$

$$z_{C_g} \text{ 在球心}$$

$$I_x = I_y = I_z = \frac{2}{5} mr^2$$

$$k_x = k_y = k_z = \sqrt{\frac{I_y}{m}}$$

目 录

中文版序

前言

横截面性质

基本形状质量性质

第1篇 基础篇

| | | | |
|----------------------|----|---------------------|----|
| 第1章 设计介绍 | 3 | 第2章 材料和工艺 | 23 |
| 1.1 设计 | 3 | 2.0 引言 | 23 |
| 机械设计 | 3 | 2.1 材料性能定义 | 24 |
| 迭代 | 4 | 拉伸试验 | 25 |
| 1.2 典型设计过程 | 5 | 延伸性和脆性 | 26 |
| 1.3 问题的提出与计算 | 6 | 压缩试验 | 27 |
| 定义阶段 | 6 | 弯曲试验 | 28 |
| 初步设计阶段 | 7 | 扭转试验 | 28 |
| 详细设计阶段 | 7 | 疲劳强度和耐力的极限 | 29 |
| 归档阶段 | 7 | 耐冲击 | 30 |
| 1.4 工程模型 | 7 | 断裂韧度 | 31 |
| 估计与一阶分析 | 7 | 蠕变和温度的影响 | 32 |
| 工程草图 | 8 | 2.2 材料性能的统计性质 | 32 |
| 1.5 计算机辅助设计与工程 | 8 | 2.3 均匀性和各向同性 | 33 |
| 计算机辅助设计 (CAD) | 8 | 2.4 硬度 | 33 |
| 计算机辅助工程 (CAE) | 11 | 热处理 | 35 |
| 计算精度 | 12 | 表面(壳)硬化 | 35 |
| 1.6 工程报告 | 12 | 有色金属材料热处理 | 36 |
| 1.7 安全系数和设计规范 | 12 | 机械成形和硬化 | 36 |
| 安全系数 | 12 | 2.5 涂层和表面处理 | 38 |
| 选择安全系数 | 13 | 原电池作用 | 38 |
| 设计与安全规范 | 14 | 电镀 | 39 |
| 1.8 统计考虑 | 15 | 化学镀 | 39 |
| 1.9 单位 | 15 | 阳极氧化 | 40 |
| 1.10 小结 | 19 | 等离子喷涂涂层 | 40 |
| 本章使用的重要公式 | 20 | 化学涂层 | 40 |
| 1.11 参考文献 | 20 | 2.6 常用金属材料的特性 | 40 |
| 1.12 网上资料 | 20 | 铸铁 | 40 |
| 1.13 参考书目 | 21 | 铸钢 | 41 |
| 1.14 习题 | 21 | 锻钢 | 41 |

| | | | |
|--------------------------|-----------|---------------------------|------------|
| 钢的编号系统 | 42 | 其他连杆机构 | 75 |
| 铝 | 44 | 3.8 凸轮机构设计和分析 | 75 |
| 钛 | 46 | 时序图 | 76 |
| 镁 | 46 | svaj 图 | 77 |
| 铜合金 | 46 | 双休止凸轮机构多项式函数 | 77 |
| 2.7 常用非金属材料特性 | 47 | 单休止凸轮机构多项式函数 | 79 |
| 高分子聚合物 | 47 | 压力角 | 81 |
| 陶瓷 | 48 | 曲率半径 | 82 |
| 复合材料 | 48 | 3.9 力分析的载荷分类 | 83 |
| 2.8 材料的选择 | 49 | 3.10 自由体图 | 84 |
| 2.9 小结 | 51 | 3.11 载荷分析 | 84 |
| 本章使用的重要公式 | 52 | 三维分析 | 85 |
| 2.10 参考文献 | 53 | 二维分析 | 86 |
| 2.11 网上资料 | 53 | 静态载荷分析 | 86 |
| 2.12 参考书目 | 54 | 3.12 二维静态载荷案例研究 | 86 |
| 2.13 习题 | 55 | 3.13 三维静态载荷案例研究 | 100 |
| 第3章 运动与受力分析 | 59 | 3.14 动载案例研究 | 104 |
| 3.0 简介 | 59 | 3.15 振动加载 | 107 |
| 3.1 自由度 | 59 | 固有频率 | 108 |
| 3.2 机构 | 60 | 动载 | 109 |
| 3.3 自由度(运动能力)的计算 | 61 | 3.16 冲击载荷 | 111 |
| 3.4 常见单自由度机构 | 62 | 能量计算方法 | 111 |
| 平面四杆机构和 Grashof 准则 | 62 | 3.17 梁载荷分析 | 115 |
| 六杆机构 | 63 | 剪切和力矩 | 115 |
| 曲柄滑块及滑块曲柄四杆机构 | 64 | 奇异函数 | 116 |
| 凸轮机构 | 65 | 叠加 | 124 |
| 3.5 连杆机构运动分析 | 65 | 3.18 小结 | 125 |
| 运动分类 | 65 | 本章使用的重要公式 | 125 |
| 矢量复数 | 66 | 3.19 参考文献 | 127 |
| 矢量闭环方程 | 66 | 3.20 网上资料 | 127 |
| 3.6 平面四杆机构分析 | 67 | 3.21 参考书目 | 128 |
| 求解四杆机构位置 | 67 | 3.22 习题 | 129 |
| 求解平面四杆机构速度 | 69 | 第4章 应力、应变与挠度 | 142 |
| 角速度比和机械效益 | 70 | 4.0 引言 | 142 |
| 求解四杆机的加速度 | 71 | 4.1 应力 | 143 |
| 3.7 曲柄滑块机构分析 | 73 | 4.2 应变 | 145 |
| 求解四杆曲柄滑块机构位置 | 73 | 4.3 主应力 | 145 |
| 求解四杆曲柄滑块机构速度 | 74 | 4.4 平面应力和平面应变 | 148 |
| 求解四杆曲柄滑块机构加速度 | 74 | 平面应力 | 148 |

| | | | |
|-------------------------------|-----|--|-----|
| 平面应变 | 148 | 本章使用的重要公式 | 215 |
| 4.5 莫尔圆 | 148 | 4.20 参考文献 | 218 |
| 4.6 作用应力与主应力对比 | 152 | 4.21 参考书目 | 218 |
| 4.7 轴向拉伸 | 152 | 4.22 习题 | 220 |
| 4.8 直接剪应力、直接挤压 应力与撕裂 | 153 | 第5章 静态失效理论 | 234 |
| 直接剪切 | 153 | 5.0 引言 | 234 |
| 直接挤压 | 154 | 5.1 静加载下韧性材料的失效 | 236 |
| 撕裂失效 | 155 | von Mises - Hencky 理论 (畸变能理论) | 236 |
| 4.9 梁与弯曲应力 | 155 | 最大剪应力理论 | 241 |
| 梁纯弯曲 | 155 | 最大正应力理论 | 243 |
| 横向载荷引起的剪切 | 158 | 试验数据与失效理论比较 | 243 |
| 4.10 梁挠度 | 161 | 5.2 脆性材料在静载下的失效 | 246 |
| 用奇异函数求挠度 | 163 | 双向和单向材料 | 246 |
| 静不定梁 | 169 | Coulomb - Mohr 理论 | 247 |
| 4.11 卡氏法 | 172 | Mohr 修正理论 | 248 |
| 卡氏法求挠度 | 173 | 5.3 断裂力学 | 252 |
| 利用卡氏法求解冗余约束力 | 173 | 断裂力学理论 | 254 |
| 4.12 扭转 | 174 | 断裂韧度因子 K_{IC} | 256 |
| 4.13 组合应力 | 180 | 5.4 使用静态载荷失效的理论 | 259 |
| 4.14 弹簧系数 | 182 | 5.5 静态失效案例研究分析 | 260 |
| 4.15 应力集中 | 183 | 5.6 小结 | 268 |
| 静态载荷作用下的应力集中 | 184 | 本章用到的重要公式 | 269 |
| 动态载荷作用下的应力集中 | 185 | 5.7 参考文献 | 271 |
| 确定几何应力——应力集中系数 | 185 | 5.8 参考书目 | 271 |
| 避免应力集中的设计 | 187 | 5.9 习题 | 272 |
| 4.16 轴向压缩——压杆 | 189 | 第6章 疲劳失效理论 | 285 |
| 长细比 | 189 | 6.0 引言 | 285 |
| 短压杆 | 190 | 疲劳失效历史 | 286 |
| 长压杆 | 190 | 6.1 疲劳失效机理 | 288 |
| 端部条件 | 191 | 裂纹萌生阶段 | 288 |
| 中等压杆 | 192 | 裂纹扩展阶段 | 289 |
| 偏心压杆 | 196 | 断裂 | 290 |
| 4.17 圆筒的应力 | 198 | 6.2 疲劳失效模型 | 291 |
| 厚壁圆筒 | 198 | 疲劳区域 | 291 |
| 薄壁圆筒 | 199 | 应力 - 寿命法 | 292 |
| 4.18 静态应力和变形分析的 案例研究 | 199 | 应变 - 寿命法 | 292 |
| 4.19 小结 | 213 | 线弹性断裂力学法 | 292 |
| | | 6.3 机械设计的考虑 | 292 |

| | | | |
|------------------------------------|-----|------------------------|-----|
| 6.4 疲劳载荷 | 293 | 7.2 表面配副 | 383 |
| 旋转机械加载 | 293 | 7.3 摩擦 | 383 |
| 服务设备加载 | 294 | 表面粗糙度对摩擦的影响 | 384 |
| 6.5 测量疲劳失效准则 | 295 | 速度对摩擦的影响 | 384 |
| 对称循环应力 | 295 | 滚动摩擦 | 384 |
| 复合应力均值和幅值 | 300 | 润滑剂对摩擦的影响 | 385 |
| 断裂力学准则 | 301 | 7.4 粘着磨损 | 385 |
| 实际组件测试 | 304 | 粘着磨损系数 | 387 |
| 6.6 估算疲劳失效准则 | 306 | 7.5 磨粒磨损 | 388 |
| 估计理论疲劳强度 S_f 或持久极限 S_e | 306 | 磨粒磨损材料 | 390 |
| 理论疲劳强度和持久极限修正系数 | 306 | 抗磨损材料 | 390 |
| 计算修正疲劳强度 S_f 或修正持久极限 S_e | 312 | 7.6 腐蚀磨损 | 391 |
| 创建估计 $S-N$ 图 | 313 | 腐蚀疲劳 | 391 |
| 6.7 缺口与应力集中 | 317 | 微动腐蚀 | 391 |
| 缺口敏感度 | 317 | 7.7 表面疲劳 | 392 |
| 6.8 残余应力 | 321 | 7.8 球面接触 | 394 |
| 6.9 高周疲劳设计 | 325 | 球面接触压力和接触区 | 395 |
| 6.10 单向对称应力设计 | 325 | 球面接触的静态应力分布 | 395 |
| 单向对称应力设计步骤 | 326 | 7.9 圆柱面接触 | 398 |
| 6.11 单向波动应力设计 | 331 | 平行柱面接触的接触压力和接触区域 | 398 |
| 创建修正 Goodman 图 | 332 | 平行柱面接触上的静态应力分布 | 399 |
| 波动应力中的应力集中效应 | 334 | 7.10 一般接触 | 401 |
| 确定波动应力的安全系数 | 335 | 一般接触中的接触压力和接触区域 | 401 |
| 波动应力设计步骤 | 337 | 一般接触下的应力分布 | 402 |
| 6.12 多向应力疲劳设计 | 343 | 7.11 动态接触应力 | 405 |
| 频率和相位的关系 | 343 | 滑移对接触应力的影响 | 405 |
| 简单多向对称应力 | 344 | 7.12 表面疲劳失效模型——动态 | |
| 简单多向波动应力 | 344 | 接触 | 411 |
| 复杂多向应力 | 345 | 7.13 表面疲劳强度 | 413 |
| 6.13 高周疲劳设计的一般方法 | 346 | 7.14 小结 | 419 |
| 6.14 疲劳设计案例研究 | 350 | 避免表面失效的设计 | 419 |
| 6.15 小结 | 360 | 本章使用的重要公式 | 420 |
| 本章使用的重要公式 | 361 | 7.15 参考文献 | 422 |
| 6.16 参考文献 | 363 | 7.16 习题 | 423 |
| 6.17 参考书目 | 365 | 第8章 有限元分析 | 429 |
| 6.18 习题 | 366 | 8.0 引言 | 429 |
| 第7章 表面失效 | 379 | 应力和应变计算 | 430 |
| 7.0 引言 | 379 | 8.1 有限元方法 | 431 |
| 7.1 表面结构 | 381 | 8.2 单元类型 | 432 |

| | | | |
|----------------------|-----|---------------------|-----|
| 单元维数与自由度 (DOF) | 432 | 8.6 测试模型 (验证) | 447 |
| 单元的阶 | 433 | 8.7 模态分析 | 450 |
| h 元与 p 元 | 434 | 8.8 案例研究 | 451 |
| 单元纵横比 | 434 | 8.9 小结 | 460 |
| 8.3 网格划分 | 434 | 8.10 参考文献 | 460 |
| 网格密度 | 435 | 8.11 参考书目 | 461 |
| 网格细化 | 435 | 8.12 网上资料 | 461 |
| 收敛性 | 436 | 8.13 习题 | 461 |
| 8.4 边界条件 | 439 | | |
| 8.5 施加载荷 | 446 | | |

第 2 篇 机械设计篇

| | | | |
|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 第 9 章 设计案例研究 | 465 | 10.10 键和键槽 | 505 |
| 9.0 引言 | 465 | 平键 | 505 |
| 9.1 案例 8 便携式空气压缩机 | 466 | 楔键 | 506 |
| 9.2 案例 9 干草捆卷扬机 | 469 | 半圆键 | 506 |
| 9.3 案例 10 凸轮试验机 | 472 | 键应力 | 507 |
| 9.4 小结 | 477 | 键材料 | 507 |
| 9.5 参考文献 | 477 | 键设计 | 507 |
| 9.6 设计项目 | 477 | 键的应力集中 | 508 |
| 第 10 章 轴、键与联轴器 | 486 | 10.11 花键 | 511 |
| 10.0 引言 | 486 | 10.12 过盈配合 | 512 |
| 10.1 轴上载荷 | 487 | 过盈配合的应力 | 513 |
| 10.2 轴上零件与应力集中 | 488 | 微动腐蚀 | 515 |
| 10.3 轴的材料 | 489 | 10.13 飞轮设计 | 516 |
| 10.4 轴的功率 | 490 | 转动系统中的能量变化 | 517 |
| 10.5 轴的载荷 | 490 | 确定飞轮惯量 | 519 |
| 10.6 轴的应力 | 491 | 飞轮中的应力 | 520 |
| 10.7 组合载荷作用下轴的失效 | 491 | 失效准则 | 521 |
| 10.8 轴的设计 | 492 | 10.14 轴的临界转速 | 523 |
| 总体考虑 | 492 | 轴和梁的横向振动的 Rayleigh 法 | 525 |
| 受对称循环弯曲和恒定扭矩作用的 | | 轴的谐振 | 526 |
| 轴设计 | 493 | 扭转振动 | 527 |
| 受波动循环弯曲应力和波动循环转 | | 两个圆盘安装在同一根轴上的情况 | 528 |
| 矩的轴设计 | 494 | 多个圆盘安装在同一根轴上的情况 | 529 |
| 10.9 轴的变形 | 502 | 扭转振动的控制 | 529 |
| 梁 | 502 | 10.15 联轴器 | 531 |
| 扭杆 | 502 | 刚性联轴器 | 531 |
| | | 挠性联轴器 | 532 |