



海外力学学科优秀教材
Overseas Excellent Textbooks on Mechanics



结构动力学

理论及其在地震工程中的应用

第4版

Dynamics of Structures

Theory and Applications to Earthquake Engineering

Fourth Edition

Anil K. Chopra 著

谢礼立 吕大刚等 译

高等教育出版社



海外力学学科优秀教材
Overseas Excellent Textbooks on Mechanics



结构动力学

J I E G O U D O N G L I X U E

理论及其在地震工程中的应用
第4版

Dynamics of Structures

Theory and Applications to Earthquake Engineering
Fourth Edition

Anil K. Chopra 著

谢礼立 吕大刚等 译

图字: 01-2013-0441 号

Authorized translation from the English language edition, entitled DYNAMICS OF STRUCTURES: THEORY AND APPLICATIONS TO EARTHQUAKE ENGINEERING, 4E, 9780132858038 by CHOPRA, ANIL K., published by Pearson Education, Inc, Copyright © 2012 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 HIGHER EDUCATION PRESS LIMITED COMPANY Copyright © 2016.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书英文原版 DYNAMICS OF STRUCTURES: THEORY AND APPLICATIONS TO EARTHQUAKE ENGINEERING, 4E, 9780132858038, 作者为 CHOPRA, ANIL K., 该书为培生教育出版集团出版。

版权所有。未经培生教育出版集团许可, 任何部分不得以任何形式、任何途径(电子版或纸质版)复制或传播, 包括影印、录制或信息存储及检索系统。

此中文简体版由培生教育出版集团和高等教育出版社有限公司合作出版。著作权© 2016。

此中文版在中华人民共和国境内印制出版, 仅限于在中华人民共和国境内(但不允许在中国香港、澳门特别行政区及中国台湾地区)销售。

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。

图书在版编目(CIP)数据

结构动力学: 理论及其在工程中的应用: 第4版 / (美) 安尼尔·乔普拉(Anil K. Chopra) 著; 谢礼立等译. -- 4版. -- 北京: 高等教育出版社, 2016.9

书名原文: Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering (Fourth Edition)

ISBN 978-7-04-045990-6

I. ①结… II. ①安… ②谢… III. ①结构动力学
IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第176624号

策划编辑	水渊	责任编辑	水渊	封面设计	张楠	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘春萍	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 100120
印 刷 北京汇林印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 49
字 数 1200千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址	http://www.hep.edu.cn
	http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.hepmall.com.cn
	http://www.hepmall.com
	http://www.hepmall.cn
版 次	1995年7月第1版
	2016年9月第4版
印 次	2016年9月第1次印刷
定 价	85.00元

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 45990-00

出版说明

本书为高等教育出版社“世界优秀教材中国版”系列教材之一。

为了更好地优化、整合世界优秀教育资源，并通过本土化使其最大程度地发挥作用，丰富我国的教育资源，促进我国的教学改革，提高我国高等教育的教学质量，高等教育出版社决定出版“世界优秀教材中国版”系列教材。

“世界优秀教材中国版”系列教材具有以下特征：

1. 从全球各知名教育出版社精选最好的内容资源进行本土化改造，形成新的系列教材；
2. 由国内一流学者根据我国高等学校的专业设置、课程体系及教学要求，对所选资源进行英文改编或中文改编，使之更具教学适用性；
3. 围绕纸质版主教材，形成包括多媒体及网络资源与服务的整体教学资源集成方案，力争为广大师生提供最优的教学资源与信息服务。

希望该系列教材的出版能为我国高等学校教学改革和教育资源建设作出贡献。

高等教育出版社
2005年5月

Dedicated to Hamida and Nasreen with gratitude for suggesting the idea of working on a book and with appreciation for patiently enduring and sharing these years of preparation with me, especially the past year and a half.

Their presence and encouragement made this idea a reality.

献给 Hamida 和 Nasreen
感谢你们提出编写此书的想法
感谢你们这些年来
特别是在过去的一年半中
陪我渡过漫漫的时光
并分享编写此书的甘苦
你们的支持和鼓励使得理想终成现实

中文版序言

在 20 世纪的前四分之一世纪的年代里，全世界几乎都很难找到有关结构动力学方面的教科书，当然更谈不上有关地震工程方面的教科书了。在那个连科学家和工程师都只能依靠计算尺来进行科学和工程计算的年代，怎么能指望在大学的课程表中出现结构动力学的字样呢。可是，20 世纪中叶以来，情况有了急剧的变化，对结构动力学的研究深度和应用广度有了飞速的进步。当然，这一方面得益于现代计算机和计算理念及技术的迅猛发展，另一方面也得益于地震工程科学的发展。结构动力学本身是地震工程学的基础，但是由于地震工程的发展，特别是地震工程中对迫切需要解决的重要课题的研究无不丰富了结构动力学的内容并积极地推动着结构动力学的发展。值得一提的是，20 世纪 30 年代初由于强地震动记录的取得，更使得结构动力学开始大踏步地从研究的深院大楼走向了广大的工程建设部门。也正是从这个时候开始结构动力学与地震工程这两门学科结下了不解之缘，在各种书籍与学术期刊中犹如孪生兄弟似的都会同时出现。而本书《结构动力学：理论及其在地震工程中的应用》（*Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*）真实地反映了这一实际情况。

本书著者 Anil K. Chopra 教授是当时的加州大学伯克利分校土木与环境工程（Civil and Environmental Engineering）专业的新生代教授和学科带头人。由于他对结构动力学和地震工程的重要贡献，自 1993 年到现今一直担任国际著名学术刊物《地震工程与结构动力学》（*Earthquake Engineering and Structural Dynamics*）的副主编和主编。这本身就说明了他是当今结构动力学和地震工程学的一位大师，但是他的这个经历使他能及时和充分地了解并融会世界上有关结构动力学和地震工程的最新的学术思想和进展，为他能写出这本重要的著作提供了难得的机会。应该说 20 世纪下半世纪以来有关结构动力学的经典著作也时有问世，其中不乏著名的，如由两位美国科学院和工程院的两院院士克拉夫教授（R. W. Clough）和彭津教授（J. Penzien）编写的英文版《结构动力学》流传世界各国，其中文译本已于 20 世纪 80 年代初由我国著名学者王光远教授等翻译出版，在国内影响深远。但是，以地震工程作为切入点，并将地震工程与结构动力学如此密切结合、贴切地反映出这两门学科之间血浓于水的关系，就要首推 Chopra 教授的这本著作了。

本人有幸曾与 Chopra 教授见过数面，也曾有过若干交谈。他给我的印象

是风趣幽默，但又十分严谨和细心，细心得甚至有点接近繁琐。本书是 Chopra 教授专门为大学高年级学生以及研究生编写的一本教科书，他的性格特点在这本书中得到了充分的反映。众所周知，结构动力学是现代结构工程中一门比较难学和难掌握的课程，他为了使他的书能为学生正确地理解，计划得非常的周到，从章节的考虑、例题的选用、进度的安排、习题和题解的选择无不丝丝入扣，甚至语言的运用也都尽量避免使自学者产生歧义的可能。正像他在该书前言中所写的那样，这本教科书只需大学土木工程本科基础力学和数学的知识，就可以使初学者，甚至完全依赖自学的人都能将结构动力学学懂、学好，对此我深信不疑。这本书对中国学生来说，不仅能从中学到现代结构动力学和现代地震工程学的知识，而且更能从中学学习许多治学的方法，诸如严谨的思考，缜密的洞察，甚至还可以从书本里的生动文字中学到不少在英语课堂上无法学到的英语知识和专业英语的写作能力。

《结构动力学：理论及其在地震工程中的应用》（*Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*）是 Chopra 教授在第一版基础上修订、补充新的研究成果之后完成的。其中，有他自己的创造性贡献，更有经他汇总了的世界其他学者的重要贡献。说它是当今结构动力学方面的一本权威著作或经典著作，是一点也不过分的。

本书对结构动力学的基本知识、基础理论给予了系统、全面的阐述，内容深入浅出、循序渐进，在系统介绍基本理论知识的同时，密切结合地震工程的实践，对理论研究和工程应用，乃至抗震设计规范中的一些重要的结构动力学问题都给予了重点介绍，充分体现了理论联系实际的风格。书中还配有相当数量的例题，对掌握和理解结构动力学，对掌握和理解地震工程学都会有很大帮助。

本书可以作为土木工程专业和地震工程专业的研究生或大学高年级本科生的教科书，也可以作为相关专业的教师和研究工作者，特别是那些想涉足结构动力学这门知识的工程设计人员的自学参考书。我高兴地得知，本书影印版已经作为清华大学土木工程专业研究生的教材。相信这仅仅是开始，今后一定会有更多的院校和更多的专业师生乃至科研工作者以及工程设计人员也都会毫不犹豫地选择 Chopra 的这一著作作为他们学习和掌握结构动力学的教材。

谢礼立

中国地震局工程力学研究所 研究员
哈尔滨工业大学 土木工程学院 教授
中国工程院 院士
2005年3月10日

英文版序言

杰出的咨询工程师 John R. Freeman (1855—1932) 最早指出需要一本地震工程方面的教科书，在 1925 年发生破坏性的加州 Santa Barbara 地震之后，他开始对地震工程产生兴趣，并在波士顿公共图书馆寻找相关书籍。Freeman 发现那时不仅没有地震工程方面的教科书，而且任何有关结构工程的书籍里都没有提及这个课题。回顾过去，我们可以发现，在 1925 年工程教育尚处于不发达的状态——用计算尺进行计算，所修课程也没有让学生准备了解结构动力学。事实上，那时还没有研究出记录强地面运动的仪器，社会似乎也不关心地震灾害。

最近几年，已经出版了许多地震工程与结构动力学方面的书籍，但是 Anil K. Chopra 教授的这本书填平了存在于较初等的教科书与高等研究生教科书之间的沟壑。该书作者是著名的地震工程与结构动力学专家。由于对现代工程而言结构动力学知识是必需的，所以这本书不仅对地震易发区的学生，而且对世界上其他地区的学生都是有价值的。此书介绍了振动理论和结构动力学的有关资料，展示了其在地震地面运动所引起的结构运动中的应用。书中非常清晰地介绍了大量给出详尽解答的例题，以至于即使未开设这样课程的大学里的学生也应该能够自学此书。现在正从事工程实践的读者利用此书学习结构动力学也应该没有困难。此书一个特别有趣的特点是结构动力学理论在多层建筑地震反应分析与设计中的应用，书中介绍的信息对于从事实际抗震设计和想要提高对这门学科理解的工程师们具有特别重要的意义。

虽然书中的资料是针对地震工程而言的，但是与结构的风激振动以及由落锤或者重型车辆产生的人工运动也有关系。作为一本振动理论与结构动力学方面的教科书，没有其他书可以与其比肩，可以推荐给感兴趣的学生们。我相信这就是 John R. Freeman 当时要寻找的那本书。

George W. Housner
California Institute of Technology

前言

宗旨和目的

这本有关结构动力学的书是想作为土木工程专业的教科书，它包含结构动力学理论及其在结构的地震分析、反应、设计和评估中的应用等许多内容。为了适应初学者，我们假设读者没有结构动力学的预备知识。书中介绍的内容足够详细，并且通过仔细的交互引证使之形成整体，从而使本书特别适合于自学。本书的这个特点，再加上在内容选择上充分考虑实际应用，应该会使职业工程师们，特别是地震易发国家中从事结构分析与设计的工程师们对本书产生兴趣。

由于许多学生和职业工程师觉得这个科目难学，所以在写作本书的过程中，我们把重点放在了使结构动力学易于被学生和职业工程师学习。为达此目的，书中的内容围绕以下几个特点进行组织：使每一部分的数学推导尽可能地简单；对分析方法进行总结以强调关键的分析步骤，方便读者按照步骤操作应用；这些方法用 120 多个给出了详细解答的例题进行说明，其中包括许多综合性的和实际的例题，从中强调了结果的物理解释；精心设计了大约 500 幅插图，它们对教学是有效的，其中很多插图涉及大量的结构动力反应的计算机模拟。为了将内容与真实世界相联系，本书包括了结构的照片和地震时记录的结构运动。

下面几个目的激发了本书的准备工作：

- 把所研究结构的理想化模型与真实结构的特性联系起来。
- 以强调分析方法物理内涵的方式介绍结构动力反应理论。
- 通过实际应用所产生的问题，来说明理论在解题过程中的运用。
- 运用理论的结果来解释结构对各种动力激励的反应，重点是结构对地震激励的反应。
- 应用结构动力学理论进行参数研究，以揭示在多层建筑地震反应、设计与评估中的一些基本问题。

本书的这种组织和表达方式应有助于读者更深入地理解这门学科的内容，从而满怀信心地运用结构动力学理论来处理实际问题，特别是在结构的地震分析、设计和评估中的实际问题，这样就缩小了理论与实践之间的距离。

本书的发展过程

自从 1995 年首次出版以来，本书已经通过几种方式进行了修订和扩编，

产生了第2版(2001年)和第3版(2007年)。由于地震断层附近地面运动记录数目逐步增加,促使我们对第6章进行了扩充,以识别近断层地面运动的特殊性质,并将其与通常的远场地面运动进行比较。由于对桥梁抗震性能的兴趣逐渐增加,有几章增加了桥梁动力学及其地震反应的例题。为了适应对适合于基于性能的地震工程(Performance-Based Earthquake Engineering, PBEE)的简化动力分析方法所增长的需求,对第7章进行了扩充,提供了对地震引起的非弹性体系和弹性体系变形的全面讨论,展示了非弹性设计谱在结构的允许延性设计、基于位移的设计和既有结构抗震评估方面的应用。第19章(现在是第20章)全部重写,以吸收1990年以后在非弹性建筑物地震分析和反应方面的进展。第21章(现在是第22章)原来仅限于三部建筑规范——美国规范、加拿大规范和墨西哥规范,对其进行了扩充,以包含欧洲规范。受到结构工程领域采用基于性能的指南评估既有建筑物的驱动,增加了第22章(现在是第23章)。

应读者的要求,收入了动力分析的频域方法,但是作为附录给出而不是贯穿于书中。此决定源于我的目标:保持每一部分的数学推导尽可能地简单,从而使结构动力学易于为学生和职业工程师理解。

第4版的新增内容

《结构动力学》自出版16年以来一直深受欢迎,本书将继续在美国和许多其他国家的大学里作为教科书,并拥有专业广泛的读者,已经出版了日文、韩文、中文、希腊语和波斯语的翻译版。准备第4版给我提供了一个改进、拓展和更新此书的机会。

增加了第14章,因此需要将第14章至第22章重新编号为第15章至第23章(前言的剩余部分将反映新的编号);第5章和第16章进行了较大的修订;第12章和第13章进行了拓展;第22章和第23章进行了更新。具体的变化包括:

- 增加了关于非经典阻尼体系的第14章。增加这一章,是受到人们对此类体系的兴趣渐增的推动,此类体系会出现在几种实际情况中,例如:带有附加耗能体系的结构、在基底隔震体系上的结构、土-结构相互作用体系、流体-结构相互作用体系。

- 第5章和第16章关于动力反应的数值计算部分进行了改写,以便与计算机软件中通常应用这些数值方法的方式相一致;提供了对于非线性静力分析(也称为“推覆分析”)和非线性动力分析的综合描述。

- 第12章的末尾增加了一节,给出了在更为复杂的激励(例如海上钻井平台的波浪力)作用下,振型加速度叠加法的一般形式。

- 第13章进行了拓展,包含了目前还局限于研究文献但具有实际价值的两个课题:(1)对结构在单一地面平动分量作用下的峰值反应进行组合,以估计多分量激励作用下的峰值反应;(2)采用基于反应谱的方程,确定在所有的、控制结构构件抗震设计的同步作用力下,联合反应轨迹的包络线。

● 第 22 章和第 23 章进行了更新，以反映设计新建建筑物的建筑规范和评估既有建筑物基于性能的指南和标准的当前版本。

● 增加的第 14 章促使对第 2 章、第 4 章、第 6 章、第 10 章和第 12 章进行了小的修改。

● 添加了一些新的图形、照片、给出详尽解答的例题以及章后习题。

此书在我的教学用了多年之后，其反响提示需要进行改进。对全书的文字进行了润色和加工，使表达更清晰，重新组织了一些章节以增强表达的效果。

本书涵盖的内容

本书由三篇构成：第 I 篇，单自由度体系；第 II 篇，多自由度体系；第 III 篇，多层建筑的地震反应、设计与评估。

第 I 篇包括 8 章。在开篇的第 1 章中，阐述简单弹性和非弹性结构的动力学问题，这些结构可以理想化为单自由度 (SDF) 体系；并简要地评述求解结构运动控制微分方程的四种方法。然后，我们来研究线弹性体系的动力反应：(1) 自由振动反应 (第 2 章)；(2) 对谐振激励和周期激励的反应 (第 3 章)；(3) 对阶跃激励和脉冲激励的反应 (第 4 章)。第 2 章和第 3 章包括具有库仑阻尼的单自由度体系动力学问题，这部分内容通常不包括在土木工程教材里，但是由于基于摩擦的耗能装置正在抗震结构中得到应用，所以这些内容已经成为地震工程的一部分。在介绍计算体系动力反应的数值时间步进方法之后 (第 5 章)，在第 6 章和第 7 章中分别研究线弹性体系和非弹性体系的地震反应。这些内容比目前可见的教科书中的相关内容更为全面，包括了反应谱与设计谱的建立、阻尼效应与屈服效应、反应谱与设计谱的区别等细节。第 8 章的主题是可以处理为广义单自由度体系的复杂体系的分析。

第 II 篇包括第 9 章到第 18 章，涉及多自由度 (MDF) 体系的动力分析。在第 II 部分的首章中，对于可以理想化为有限自由度体系的结构，阐述了其结构动力学问题，并通过大量的例题进行说明；同时，也概要地评述求解结构运动控制微分方程的方法。第 10 章介绍具有经典阻尼体系的自由振动，以及结构自振频率和振型的数值计算。第 11 章介绍确定结构阻尼特性时所产生的一些问题，其中包括估计振型阻尼比所需要的试验数据 (包括来自结构强迫振动试验和地震时记录的结构运动数据)，以及必要时构造阻尼矩阵的分析方法。第 12 章为关于线性体系的动力学，其重点是经典振型分析方法。本章第三部分介绍一种“新”的方法来看待振型分析，该方法有利于理解作用力的空间分布以及时间变化怎样影响振型反应的贡献，从而导出反应计算中应包含多少振型数目的实用准则。第 13 章研究经典阻尼体系地震分析的振型分析方法，并以解释物理意义的方式同时介绍反应时程分析方法和反应谱分析方法，反应谱分析方法直接从地震反应谱或设计谱估计多自由度体系的峰值反应。通过数值例题论述这些方法，包括非对称平面建筑物的侧向-扭转耦联反应，以及名义上对称的建筑物的扭转反应。本章的结束部分介绍控制结构构件设计的所有同步作用力下的反应谱方法，以及估计结构在多分量地震激励作用

下峰值反应的反应谱方法。第 14 章将振型分析方法扩展到非经典阻尼体系在地震激励作用下的反应时程分析，我们重新回顾经典阻尼体系，并将第 10 章和第 13 章的分析方法重新改写成便于拓展到更一般情况的形式。

为了使读者认识到许多结构的动力反应可以很好地由其前几阶振型来表示，第 15 章专门讨论结构静力分析所需的理想化模型中的自由度数目缩减的实际计算问题。在第 16 章中，针对不适合用经典振型分析进行处理的多自由度体系（具有非经典阻尼的体系或者进入非线性特性范围的体系），介绍数值时间步进方法。第 17 章介绍分布质量体系动力学的经典问题（只包括一维分布质量体系）。第 18 章介绍对一维分布质量体系进行离散化处理的两种方法：Rayleigh - Ritz 法和有限单元法，引入一致质量矩阵的概念，并证明用有限单元法求悬臂梁近似固有频率的精度和收敛性。

本书第 III 篇包括五章，涉及多层建筑物的地震反应、设计和评估，通常在结构动力学教科书里不包含这些内容。这部分应用前面各章建立的分析方法，处理一些重要的实际问题。在第 19 章中，对两个重要参数（基本自振周期和梁柱刚度比）在大范围内变化时，介绍线弹性多层建筑物的地震反应。在这些分析结果的基础上，我们看到这些参数怎样影响建筑物的地震反应，特别是不同固有振型对反应的相对贡献，为地震反应计算中应包含多少高阶振型提供了实际依据。第 20 章是关于变形进入非弹性范围时的建筑物地震反应这一重要课题，本章的第一部分给出严格的非线性反应时程分析方法，识别建模假设、关键结构参数和地面运动细节对地震需求的重要影响，并确定限制多层建筑物层间延性需求所需的强度。认识到非线性反应时程分析仍然是个艰巨的工作，本章的第二部分提出一种近似分析方法——振型推覆分析（MPA）法。在该方法中，地震需求由结构在振型惯性力分布作用下的非线性静力分析确定。第 21 章的主题是基底隔震，我们的目标是研究支撑在基底隔震系统之上的建筑物的动力特性，目的仅限于了解为什么以及在什么条件下隔震能有效地减少结构中的地震力。在第 22 章里，我们介绍在四部建筑规范中的地震力条款：国际建筑规范（美国）、加拿大国家建筑规范、欧洲规范和墨西哥联盟区规范，同时介绍这些条款与第 6、7、8 和 13 章中所建立的结构动力学理论之间的关系；然后，根据第 19 和 20 章给出的建筑物动力分析结果，对这些条款进行评价。为了评估既有建筑物，基于性能的指南和标准在估计较低性能水准（例如生命安全和倒塌预防）的地震需求时，考虑结构的非弹性性质。第 23 章选取 ATC -40、FEMA 356、ASCE 41 -06 这类文献中的非线性动力方法和非线性静力方法的几个方面，采用第 7 章和第 20 章给出的结构动力学理论进行陈述和讨论。

为教师的注记

本书适用于研究生和高年级本科生水平的课程。假设读者没有结构动力学的预备知识，阅读本书的必要的背景可以从土木工程本科专业所要求的普通课程获得，这些课程包括：

• 结构静力分析，包括超静定结构和分析方法的矩阵表达式（主要是第 II 篇需要这个背景知识）。

• 结构设计。

• 刚体动力学。

• 数学：常微分方程（为第 I 篇需要），线性代数（为第 II 篇需要），偏微分方程（只为第 17 章需要）。

通过对大量内容提供基本而又详尽的介绍，本书允许教师以不寻常的灵活性自行决定课程内容的选取。利用本书的资料，可以开设出几门课程，这里有几个例子。

在一年的课程里可以覆盖几乎全书的内容：

• **课程名称：**结构动力学 I（半学年学期）^①

课程提纲：第 1 章；第 2 章的 1~2 节；第 3 章的第一、二部分；第 4 章；第 5 章的部分内容；第 6 章的 1~7 节；第 7 章的 1~7 节；第 8 章的部分内容；第 9 章的 1~4、9~11 节；第 10 章的第一、二部分；第 11 章的 1~2 节；第 12 章的第一、二部分；第 13 章的 1、2、7、8 节（不包括 CQC 方法）；第 22 章第一部分的部分内容。

• **课程名称：**结构动力学 II（半学年学期）

课程提纲：第 9 章的 5~7 节；第 11 章的 3~5 节；第 12 章的第三、四部分；第 13 章的 3~11 节；第 14、15、17、19 至 21、23 章的部分内容，以及附录 A。

第一门课程中内容的选取多少受下述需求所支配：对于只选修一门课程的学生，要提供范围广泛的内容，包括多自由度体系的动力分析与地震分析。

可以将上面的课程提纲组织成覆盖两个四分之一学年学期的缩简版本，一种可能性如下：

• **课程名称：**结构动力学 I（四分之一学年学期）

课程提纲：第 1 章；第 2 章的 1~2 节；第 3 章的 1~4 节；第 4 章的 1~2 节；第 5 章的部分内容；第 6 章的 1~7 节；第 7 章的 1~7 节；第 8 章的部分内容；第 9 章的 1~4、9~11 节；第 10 章的第一、二部分；第 12 章的第二部分；第 13 章的 1、2、7、8 节（不包括 CQC 方法）。

• **课程名称：**结构动力学 II（四分之一学年学期）

课程提纲：第 9 章的 5~7 节；第 13 章的 3~9 节；第 19~23 章的部分内容。

强调地震工程的一个半学年学期课程可以组成如下：

• **课程名称：**结构抗震动力学（半学年学期）

课程提纲：第 1 章；第 2 章的 1~2 节；第 4 章的 1~2 节；第 6、7 章；第

^① 美国大学的学期有两种：半学年为一学期（有 15 到 18 个星期）的称为“Semester”，一年有两个学期，与中国大学的学期制度类似；四分之一学年为一学期（大约三个月）的称为“Quarter”，一年有四个学期。——译者注

8 章的部分内容；第 9 章的 1~4、9~11 节；第 10 章的第一、二部分；第 11 章的第一部分；第 13 章的 1~3、7~11 节；第 19~23 章的部分内容。

对于学习结构动力学的学生而言，解题是必需的。为此，前 18 章包含了 373 道习题。第 19~23 章没有包含习题，原因有二：(1) 在这些章节里没有介绍新的动力分析方法；(2) 这部分内容本身不适合于简短的、有意义的习题。不过读者将发现，从头到尾做一遍第 19~23 章中给出的例题并重新得到结果是有益的。计算机对于某些问题的求解是必需的，对这些习题进行了标示。在求解这些问题时，假设学生们可以使用诸如 MATLAB 或者 MATHCAD 的计算机程序。可以利用这些程序的求解说明书。教师们可以从出版社下载这些习题的解答。

我在 Berkeley 的教学中，在黑板上介绍理论，使用幻灯片对书中更为复杂的图形进行说明。许多插图的放大版本适合于制作幻灯片在教室使用，教师们可以从出版社下载。尽管有许多需求，我们没有制作完整的 PowerPoint 幻灯片，因为我认为这种方法对于讲授结构动力学并不是最有效的策略。

为职业工程师的注记

在 20 世纪 80 年代，许多职业工程师鼓励我编写一本比 1981 年由地震工程研究中心 (EERI) 出版的专著 *Dynamics of Structures, A Primer* (《结构动力学入门》)^① 内容更广泛的书。我希望目前的这本书可以满足这个需求。这本书如果作为教材，它包括了学生学习所需要的形式和详细内容，但是这些特点并不影响专业人员使用此书，因为本书的宗旨和风格是便于自学。

对于结构的地震分析、反应、设计和评估具有兴趣的职业工程师们，我建议如下从头至尾的阅读途径：第 1、2 章；第 6~9 章；第 10 章的第一、二部分；第 11 章的第一部分；第 13 章，第 19~23 章。

参考文献

在这部入门性的教科书中，标注所介绍信息的来源是不切实际的，因此省去了参考文献以避免分散读者的注意力。然而，我不时地给出一些注释，以增加历史的色彩。在几乎每章的结尾，都有适合于扩展阅读的刊物的简短清单。

征求意见

我请求教师、学生和职业工程师们，如果您们有改进或阐明问题的建议、或者发现了错误，请写信给我 (chopra@ce.berkeley.edu)，我预先感谢您们所花费的时间和有兴趣所做的一切。

Anil K. Chopra

^① 中文版由蓝贵禄译，王前信校，1985 年由地震出版社出版。——译者注

致谢

我衷心地感谢帮助编写本书的人们。

- Rakesh K. Goel 博士，我的自始至终的合作者，为本书提供了种种帮助，并起到了重要作用。他最重要的贡献是开发了产生数值结果和制作大部分插图所需要的计算机软件。

- Gregory L. Fenves 教授阅读了本书的初稿，每周与我进行讨论，并提出了实质性的改进建议。

- 六位审阅者：Luis Esteva 教授、William J. Hall 教授、Rafael Riddell 教授、C. C. Tung 教授，以及已故的 George W. Housner 教授和 Donald E. Hudson 教授，他们审阅了最终草稿，并给予了鼓励和合理的改进建议。

- Gregory L. Fenves 教授和 Filip C. Fillipou 教授建议修改第 5 章和第 16 章，并对最终稿给出了建议。

- Ian Aiken 博士提供了 7.10.1 节和 7.10.2 节关于附加耗能装置的原始材料（包括照片）以及修改建议。

- Charles Menun 博士的研究成果是新增的 § 13.10 的基础，他为准备本节内容提供了大量建议，并审阅了几次草稿。

- Oscar Lopez 教授和 Charles Menun 博士的研究成果是新增的 § 13.11 的基础，他们提供了建议，并审阅了最终稿。

- 几位审阅者，包括 Michael C. Constantinou 教授、Takeru Igusa 教授、George C. Lee 教授、Fai Ma 教授和 Carlos E. Ventura 教授，他们建议对第 14 章的最终草稿进行修改。

- 有 6 位专家建议对第 22 章的 4 部建筑规范修订版进行解释：Yousef Bozorgnia 和 Ronald O. Hamburger（国际建筑规范），Jagmohan L. Humar（加拿大国家建筑规范），Eduardo Miranda（墨西哥联盟区规范），Peter Fajfar 和 Michael N. Fardis（欧洲规范）。

- 多年来在他们的课程中使用本书的几位教授提出了修改建议。第 4 版的一些修改和新增内容是受到以下教授的鼓励：Stavros A. Anagnostopoulos, Michael C. Constantinou, Kincho Law 和 Jose M. Roesset。

- 许多以前的学生多年来帮助编写了例题解答和章后习题，并在其他方面提供了帮助，他们是：Ashraf Ayoub, Ushnish Basu, Shih - Po Chang, Juan Chavez, Chatpan Chintanapakdee, Juan Carlos De la Ilera, Rakesh K. Goel, Garrett

Hall, Gabriel Hurtado, Petros Keshishian, Allen Kwan, Wen - Hsiung Lin, Charles Menun 和 Tsung - Li Tai。Han - Chen Tan 完成了第一版 233 道习题的解题说明书的文字处理和制图。

• 有几位现在的和从前的学生, 帮助准备了第 4 版的新材料: Juan Carlos Reyes 求解了第 5、14、16 章的例题和章后习题, 并准备了图形。Yvonne Tsui 生成了 § 13. 11 的数值结果, 并准备了初始的图形。Neal Simon Kwong 求解了 § 12. 14 和 § 13. 11 的例题, 并准备了图形, 并最终绘制了 § 13. 10 的图形。Eric Keldrauk 得到了图 11. 4. 3 中的结果。

• 加州大学伯克利分校 NISEE 的信息系统管理员 Charles D. James 帮助选择和搜集了新的照片。

• Claire Johnson 准备了手稿中修订部分和新增部分的文字, 收集并编辑了题解手册。

• Barbara Zeiders 作为第 4 版的文字编辑, 前 3 版的文字编辑也是她。

• 在 1993 年 6 月至 1994 年 8 月我写这本书的这段时间, Joseph Penzien 教授承担了我作为《地震工程与结构动力学》(*Earthquake Engineering and Structural Dynamics*) 副主编的责任。

我还要向 Ray W. Clough, Jr. 教授、Joseph Penzien 教授、Emilio Rosenblueth 教授、A. S. Veletsos 教授对我职业生涯的影响表示深深的谢意。在 1960 年代早期, Clough 教授、Penzien 教授和 Rosenblueth 教授向我传授了他们极富启发的见解和精心组织的结构动力学与地震工程课程。之后, Veletsos 教授通过他的研究、著作和教学影响了我的教学和研究理念, 本书第 6、7 章中的部分内容就是采用他与已故的 Nathan M. Newmark 教授的合著中的方法, 而他与 Carlos E. Ventura 教授的合作则奠定了第 14 章的陈述风格。

这本书一直受到我本人与我的学生合作研究经历的影响。自从 1969 年以来, 包括国家科学基金会 (National Science Foundation)、美国陆军工程军团 (U. S. Army Corps of Engineers)、加州强震观测计划 (California Strong Motion Instrumentation Program) 在内的一些组织对我的地震工程研究提供了资助。

这本书及其修订版本是在几次休假期间编写的, 衷心感谢加州大学伯克利分校给予的这个特别待遇。

Anil K. Chopra

总 览

第 I 篇 单自由度体系	1
第 1 章 运动方程、问题表述和求解方法	3
第 2 章 自由振动	30
第 3 章 对谐振激励和周期激励的反应	49
第 4 章 对任意激励、阶跃激励和脉冲激励的反应	90
第 5 章 动力反应的数值计算	119
第 6 章 线性体系的地震反应	144
第 7 章 非弹性体系的地震反应	192
第 8 章 广义单自由度体系	229
第 II 篇 多自由度体系	259
第 9 章 运动方程、问题表述和求解方法	261
第 10 章 自由振动	306
第 11 章 结构中的阻尼	340
第 12 章 线性体系的动力分析和反应	355
第 13 章 线性体系的地震分析	389
第 14 章 非经典阻尼线性体系的分析	469
第 15 章 自由度的缩减	502
第 16 章 动力反应的数值计算	515
第 17 章 具有分布质量和弹性的体系	535
第 18 章 有限单元法初步	559
第 III 篇 多层建筑物的地震反应、设计与评估	581
第 19 章 线弹性建筑物的地震反应	583
第 20 章 非弹性建筑物的地震分析与反应	596
第 21 章 基底隔震建筑物的地震动力学	623
第 22 章 建筑规范中的结构动力学	640