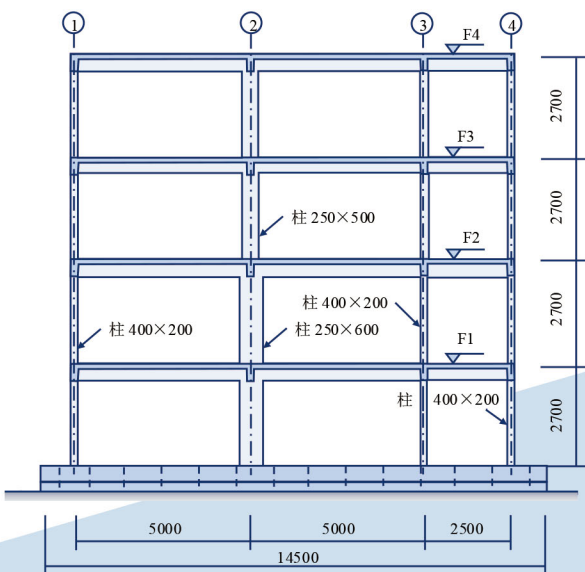
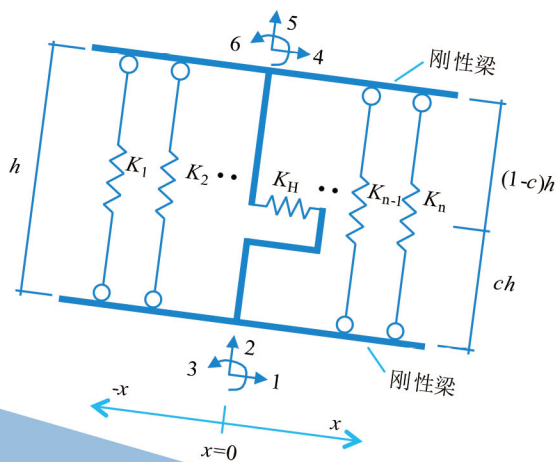
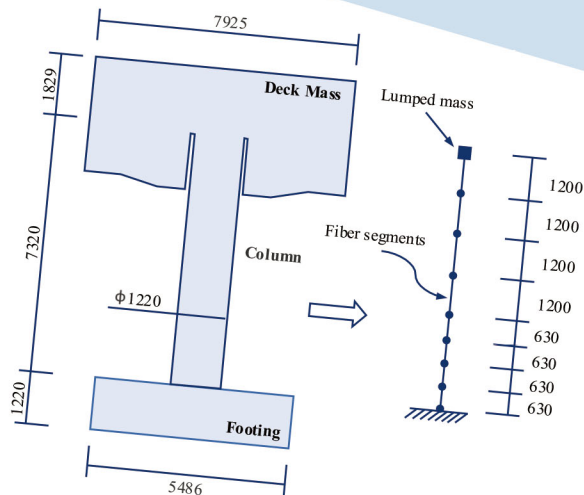
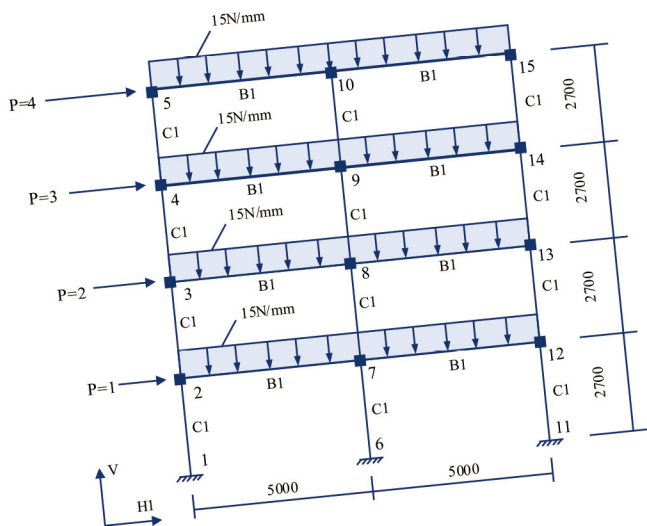


# PERFORM-3D 原理与实例

## PERFORM-3D Theory and Tutorials

崔济东 沈雪龙 编著



内附20个实例  
图书+微信订阅号+学习网站  
学习网站: [www.jdcui.com](http://www.jdcui.com)



SINCE 2015  
[www.jdcui.com](http://www.jdcui.com)

中国建筑工业出版社

# PERFORM-3D 原理与实例

PERFORM-3D Theory and Tutorials

崔济东 沈雪龙 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

PERFORM-3D 原理与实例/崔济东, 沈雪龙编著. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2017. 6  
ISBN 978-7-112-20598-1

I. ①P… II. ①崔…②沈… III. ①三维-非线性结构分析-  
软件工具-应用-建筑结构-防震设计 IV. ①TU352.1-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 060410 号

PERFORM-3D 软件致力于三维结构非线性分析和抗震性能评估, 拥有丰富的单元模型、高效的非线性分析算法及完善的结构性能评估系统, 是一款同时适用于科研和工程的结构非线性分析软件, 目前已广泛应用于我国结构抗震研究领域及实际工程实践中。本书分为五个部分共 22 章, 包括基础与入门、原理与实例、综合分析专题、结构动载试验模拟、常见错误与警告等内容。

本书主要面向 PERFORM-3D 软件的初级和中级用户, 同时也为高级用户提供了有用的参考。适用的对象包括: 结构工程、防灾减灾工程专业的本科生、研究生, 从事建筑、桥梁结构抗震设计的工程师及相关设计人员, 对结构弹塑性分析及基于性能的结构抗震设计感兴趣的研究人员。

责任编辑: 刘瑞霞 李天虹

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 张 颖

## PERFORM-3D 原理与实例 PERFORM-3D Theory and Tutorials

崔济东 沈雪龙 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 字数: 千字

2017 年 月 第一版 2017 年 月 第一次印刷

定价: 75.00 元

ISBN 978-7-112-20598-1  
(29919)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 序 一

基于性能的结构抗震思想是结构抗震设计的发展方向，该思想的主要特点是将结构抗震设计从宏观定性的单一目标向具体量化的多重目标过渡，业主和设计人员可根据需要选择抗震性能目标，抗震设计则更强调实现性能目标的精细化分析和论证，通过论证（包括试验）可以采用现行规范和标准中尚未明确规定的新结构体系、新技术、新材料等，为复杂结构的抗震超限设计提供了一个方法。

罕遇地震作用下结构安全性论证是结构抗震设计最精彩之处，结构弹塑性分析就是此精彩的皇冠上的明珠，掌握弹塑性基本理论和计算手段对年轻工程师十分重要。PERFORM-3D 是一款优秀的三维结构弹塑性分析和抗震性能评估软件，其拥有经试验校正过的单元模型、高效的非线性分析算法及完善的结构性能评估系统，能够为复杂结构的弹塑性分析及抗震性能评估提供有力的帮助，从而指导工程设计。本书较为系统地介绍了 PERFORM-3D 中常用的材料本构、单元模型及分析方法，并提供了丰富的计算实例，将理论学习、软件操作以及分析算例有机结合，对学习结构弹塑性理论和掌握 PERFORM-3D 软件大有裨益。

近 20 年来，华南理工大学高层建筑结构研究所在全体老师和研究生的共同努力下，建立了基于构件性能的结构抗震设计理论体系，并完成了 30 余项超限高层建筑结构抗震设计和咨询工作，积累了丰富的工程经验，正在编制广东省地方规程《基于性能的混凝土结构抗震设计》。崔济东博士研究生和沈雪龙硕士在学习、研究过程中将所学知识整理并出版发行，实现了知识共享，希望本书能为从事结构抗震设计与研究的工程师、研究人员及高校结构工程专业的研究生提供有价值的参考。

韩小雷 教授

华南理工大学高层建筑结构研究所 所长

英联邦结构工程师协会会员，特许注册结构工程师

香港工程师协会会员

广东省超限高层抗震审查专家委员会委员

# 序 二

CSI (Computers and Structures, Inc.) 结构系列产品是结构工程与地震工程领域全球领先的软件系列产品, 以强大稳定的计算分析技术而著称, 其行业优势地位已得到全球公认, 并在全球超过 160 个国家的成千上万的工程项目中得到了应用。PERFORM-3D 作为 CSI 公司推出的一款致力于三维结构非线性分析与性能评估软件, 秉承了 CSI 软件一贯的作风, 包含丰富的单元模型、高效的非线性分析及完善的结构性能评估体系, 为工程师深入、全面地对结构进行非线性分析与抗震性能评估提供了强大的数值工具。

PERFORM-3D 进入中国市场已有接近 10 年的历史, 国内工程界对这款软件经历了从认识、了解, 到接受、认同的过程。起初, 由于其极强的专业性和研究性, PERFORM-3D 只局限于小范围的传播和应用。但很快, 业内同仁们认识到这款软件的独特优势: 强大的非线性分析能力、超前的性能评估体系、权威的理论支撑, 以及美国性能设计相关标准规范的实施 (比如 ASCE 41)。于是, PERFORM-3D 的使用范围迅速扩大, 聪明的工程师们针对 PERFORM-3D 开发了大量工具软件, 以便于其应用于更多工程实践。与此同时, 鲍威尔教授 (PERFORM-3D 的开发者) 关于结构非线性分析的研究成果和论著, 也影响着越来越多的国内工程师。当前, PERFORM-3D 作为权威的结构弹塑性分析和性能评估软件, 已被国内工程界认同, 广泛应用于全国各地的超限项目中。

我们很高兴看到崔济东博士这本《PERFORM-3D 原理与实例》的出版。作者结合自身学习弹塑性分析、学习使用 PERFORM-3D 的经历, 精心编写此书, 较为系统地介绍了 PERFORM-3D 的基本原理与软件设计思想。本书的章节设置, 兼顾了快速入门和深入理解的不同需求, 并在不同章节或主题下, 设置相应的算例, 便于读者理解和掌握。全书近 20 个算例, 覆盖了 PERFORM-3D 常用的材料本构、单元模型和分析方法。通过一个个翔实的算例 (包括试验模拟) 深入浅出地讲解了 PERFORM-3D 软件的操作及相关原理, 并将算例结果与权威软件的计算结果或试验结果进行对比, 体现了作者严谨认真的态度和精益求精的精神。此外, 作者通过个人博客与微信公众号与读者们积极互动, 为广大学习者答疑解惑, 也体现出新一代工程人的活力。

北京筑信达工程咨询有限公司 (www.cisec.cn) 作为 CSI 在中国的独家合作伙伴, 致力于将国际领先的软件技术与中国工程实践相结合, 为行业科技进步提供助力。多年来, 通过技术支持、二次开发、组织技术交流会议等综合服务方式, 为复杂结构弹塑性分析及抗震性能化设计在我国的发展和普及做出了不懈努力。随着建筑结构日趋复杂, 结构弹塑性分析方兴未艾, 结构工程师更是任重而道远, 相信本书能为从事结构抗震设计与研究的工程师、研究人员及高校结构工程专业的研究生提供有价值的参考与帮助。

李楚舒

工学博士 教授级高级工程师

北京筑信达工程咨询有限公司董事长

# 工程师评语

崔济东博士在攻读博士学位期间，对有限元理论及编程技术钻研程度较深，有较好的理解，而这本《PERFORM-3D 原理与实例》是崔济东博士的代表作，是一本很好地系统介绍 PERFORM-3D 软件的书籍，包括程序原理及实际操作方面，本书基于编程者对程序的理解，因此对软件中的原理及软件操作有特别的介绍。本书还大量附加实际试验与模拟结构的对比分析，为研究生与工程师提供了一种实用高效的学习弹塑性分析理论与技术的方法。从全书的编制来看，笔者花了很大的精力去完善，已经超出了一本实例教程的要求，把更多的内容带给了读者。本人非常喜欢书上关于足尺试验分析的案例。该书显示了作者严谨认真的研究精神和工作态度，干货满满，相信读者们定能从中学到许多有用的东西，不仅能提高 PERFORM-3D 软件的应用水平，还能打开弹塑性分析理论与技术的学习窗口。我向所有学习弹塑性有限元的研究生与工程师推荐去购买并仔细阅读本书，必有收获，毕竟是目前写关于 PERFORM-3D 最好的一本教材。我为有这么一名出色的师弟感到骄傲。

陈学伟博士 (Dr. Dino Chen)

WSP 科进咨询有限公司 高级助理董事

个人博客: [www.dinochen.com](http://www.dinochen.com)

本书以原理分析、软件操作、算例验证相结合的方法，详细地介绍了 PERFORM-3D 结构弹塑性分析与性能评估软件，丰富的算例涵盖了弹塑性分析中常用的单元类型和分析方法，特别是软件分析结果与试验结果的对比，显示了 PERFORM-3D 强大的分析功能和分析结果的可靠性。书中丰富的算例对普通钢筋混凝土结构、减隔震结构等结构的弹塑性分析与设计具有较好的参考价值，对提高工程师的弹塑性分析理论与技术水平也很有帮助。

郭远翔

华南理工大学建筑设计研究院 副总工程师

近 20 年来，国内超高层及复杂结构建筑数量的迅速增加，推动了结构非线性分析及抗震性能化设计理论的发展，种类繁多的结构分析软件也应运而生。PERFORM-3D 作为一款科研型的软件，与其他大型通用软件的最大不同就是它的专业性较强，对分析人员有较高的专业知识要求，这或许成了该软件自诞生至今仍难以在国内得到广泛应用的直接原因之一。本书作者在详尽解释软件单元基础理论的同时，结合自己的心得对软件的主要功能、参数设置、常见问题进行了精准解答，不失为一本学术性和实践性紧密结合的佳作。

希望该书的面世，能为工程界解决复杂问题提供宝贵的科研价值，同时实现作者以书会友的热切初衷。

黄辉辉 高级工程师  
广东省建筑设计研究院  
广东工业大学硕士生导师

崔济东博士的这本《PERFORM-3D 原理与实例》较为系统地介绍了 PERFORM-3D 程序的主要模块、功能与分析实现方法。全书提供多种单元的模拟算例，涵盖一维构件（梁柱）、二维构件（剪力墙）及各种耗能装置。每个算例均深入浅出地讲解了软件的操作及相关原理。书中还给出多个 PERFORM-3D 的计算结果与试验结果比较案例，这使读者在软件使用及应用技巧上有更深刻的理解。该书充分展现了作者严谨认真的研究精神和工作态度，相信用心阅读此书的工程师们会受益匪浅，不仅会加深对结构弹塑性分析基本原理的理解，而且能熟练掌握 PERFORM-3D 软件。当开展结构抗震性能化设计工作时，良好掌握 PERFORM-3D 应用技巧与分析原理，这将成为工程师的一大利器，如同工程师们的左膀右臂。

林超伟  
柏涛国际工程设计顾问（深圳）有限公司 副总经理 技术副总监

《PERFORM-3D 原理与实例》一书是丰富工程应用实践经验和地震前沿研究成果的结晶，充分展现了 PERFORM-3D 在弹塑性分析方面的强大能力。文中在概述结构概念后，用详尽的实例演示了程序的实现细节及操作流程、参数的选取和结果的判读，内容紧密围绕“结构性能评估”这一目标，非常具有实际参考价值。PERFORM-3D 的特点是结构概念清晰，根据构件的受力形态制定其受力模式，结合性能目标制定相应的构造措施，通过调节参数实现对结构地震表现的控制，实现结构概念到实际工程措施的真正落实，本书可使读者加深对结构性能化设计的理解。

李重阳 博士  
华南理工大学建筑设计研究院

该书是一本较为系统介绍 PERFORM-3D 的中文书籍，原理讲解透彻，算例分析实用，是工程应用与理论研究非常宝贵的参考著作。通过崔济东博士的书，工程设计与科研人员能够更容易更快速掌握 PERFORM-3D，提升非线性分析能力，在超限及超复杂工程中得到应用。

刘洪樟  
深圳市沅力筑工程咨询有限公司 总经理

本书是初学者的入门佳作。它侧重于介绍 PERFORM-3D 基本操作及相关原理，同时与国内规范、试验数据、工程实践紧密结合，实现软件本土化使用。全书采用 Step by Step 撰写方式，讲解细致，且图文并茂，让读者在阅读过程中轻松掌握 PERFORM-3D 的精髓。书如其人，全书处处透露出崔济东博士严谨的科研作风及认真负责的态度，可谓作者的良心之作。

李建乐  
华南理工大学 高层建筑结构研究所

我与崔济东博士相识于其个人博客，多年来崔济东博士编写了大量的结合 PERFORM-3D 的小程序供大家下载，一定程度上推广了 PERFORM-3D 程序的应用。近年来，由于建筑体型愈来愈复杂，超限项目越来越多，由于《高层建筑混凝土结构技术规程》对于结构抗震性能设计提出了具体的要求，使得 PERFORM-3D 这样一款优秀的抗震性能评估软件得以广泛应用。

随着社会经济的发展，目前在抗震结构设计中，基于隔震、减震技术的消能减震结构越来越凸显其经济性。令人欣喜的是，本书不仅包含基本操作，特别是用大量篇幅并结合实例详细介绍了黏滞阻尼器、屈曲约束支撑、摩擦摆隔震支座、橡胶隔震支座等的力学模型及构件模拟方式。本人曾经担任过多个消能减震项目的专业负责人，推荐读者将此书作为使用 PERFORM-3D 进行消能减震设计的教科书使用。

李文斌  
深圳华森建筑与工程设计顾问有限公司

崔博和雪龙的新书为渴望掌握基于性能的抗震设计和结构弹塑性分析技术的学生、科研人员和工程师打开了一扇窗，通过一个个翔实的例子深入浅出地讲解了 PERFORM-3D 的操作及相关原理。相信精读此书的读者不仅能掌握 PERFORM-3D，更能感受到作者身上那份精益求精、永不妥协的工匠精神。

林哲  
华南理工大学 高层建筑结构研究所

PERFORM-3D 软件一直作为华阳国际动力弹塑性时程分析的主力软件，在很多工程中得到应用，如深业上城塔 1 (388m)，塔 2 (299m)，卓越 1 号 (315m)，万科云城 (245m)，华润大冲住宅群 (200m)，鸿荣源 (240m)，宏发 (180m) 等多个地产项目，今有幸读了崔济东博士《PERFORM-3D 原理与实例》一书，感觉不吐不快。

作为一个 PERFORM-3D 软件的忠实粉丝，我认为 PERFORM-3D 软件是一款经典的弹塑性分析软件，模型数据库完善、算法可靠，代表了抗震工程研究的先进技术。通过在整体结构、构件、材料等方面定义目标性能水准，以地震反应后抗震“能力”与地震目标性能“需求”的比较来判断结构是否满足预期的性能目标，很好地实现了基于性能的抗震



设计思想。

但该软件操作相对复杂、涉及的理论较多，对分析人员有较高的专业知识要求，使很多初学者望而却步。本书作者结合自己的心得与研究对 PERFORM-3D 软件进行了较为系统的讲解，书中包含 20 余个算例，覆盖了 PERFORM-3D 软件常用的材料本构及单元模型，且各有侧重，具有很强的可操作性，且大多数算例立足试验，对工程应用有很好的参考价值。该书极大地缩短了 PERFORM-3D 软件的学习时间，相信通过阅读本书，读者能够得到结构概念、力学理论与软件应用水平等方面的提高。

王飞超  
华阳国际设计集团 结构部 主任工程师

基于性能的抗震设计的一个重要步骤是对结构进行罕遇地震作用下的动力弹塑性分析，以此了解结构的能力与需求，从而对结构的抗震性能进行评估。PERFORM-3D 作为一款国际上广泛使用的三维结构非线性分析与抗震性能评估软件，单元模型丰富、求解算法高效、收敛性好，开放的软件模块设计更是给用户模拟分析提供了极大的自由度，是一款同时适用于科研和工程的非线性分析软件。

《PERFORM-3D 原理与实例》一书是作者学习弹塑性分析与 PERFORM-3D 软件心得和经验的总结。全书分五个专题，包括“基础与入门”、“原理与实例”、“综合分析专题”、“结构动载试验模拟”及“常见错误与警告”，对 PERFORM-3D 软件作了详细的讲解。书中每个章节的最后均给出了翔实的参考文献，以便读者深入学习其中的原理与背景知识。

该书是目前最为系统讲解 PERFORM-3D 软件操作与基本原理的著作，全书采用由浅入深、原理与算例相结合的讲解方式，配合精美的插图、详细的建模操作和丰富的结果呈现，给读者提供了一种快乐、高效、实用的软件学习方法。本书对采用 PERFORM-3D 进行学术研究的科研人员和工程应用的一线工程师均有很大的参考意义，相信该书必将成为一部介绍 PERFORM-3D 软件的经典著作。

卫杰彬  
广东博意建筑设计院有限公司 海外设计院

作为第一本 PERFORM-3D 中文教程的作者，不得不说崔济东博士和沈工的书超过了我的书。他们的书将理论与实例完美结合，为学习者理解理论和掌握操作准备了较多实例，特别适合初学者，也很适合会操作而想进一步学习理论的朋友。在此，我以一名从事三年多实际工程弹塑性分析实践的工程师身份，向广大工程师和科研工作者强烈推荐此书。相信这本书可以真正地帮助你们更好地学习和掌握 PERFORM-3D 弹塑性分析技术。

曾明  
国内第一本 PERFORM-3D 中文教程《PERFORM-3D 基本操作》作者

本书作者具有扎实的弹塑性分析理论基础以及丰富的工程应用经验。作者所在团队长

期从事建筑结构弹塑性相关方面的研究，同时将成果应用于实际工程当中。本书通过多个算例（含与试验对比算例），展开介绍了弹塑性分析的钢筋与混凝土非线性本构、纤维梁柱单元、集中塑性铰梁柱单元、黏滞阻尼器、屈曲约束支撑、隔震支座等相关理论知识，同时以图文并茂的形式详细介绍了如何在 PERFORM-3D 软件中实现结构弹塑性分析，具体包括几何模型的建立、非线性单元属性的定义、分析工况的定义及后处理阶段分析结果的查看等。本书对 PERFORM-3D 初级用户具有快速入门和提升作用，对 PERFORM-3D 高级用户进一步理解弹塑性分析的有关知识和从事相关研究具有较好的参考意义。

周斌 高级结构工程师  
深圳市建筑设计研究总院研究中心 高级研发工程师

PERFORM-3D 作为弹塑性分析和性能化设计中的一个经典传奇，可以用下面这句话来形容：“一直被模仿，从未被超越”。要想成为软件的主人，而不是被软件奴役，就不单单要求会软件的基本操作，而是需要精通软件的各种基本假定。要想明白软件基本假定最好的方法就是与经典算例或实验进行对比分析，找到差异所在。崔济东博士这本书里具有很多这样的实例，非常具有学习价值，通过这些例子的学习，不仅能熟悉软件的基础操作，更能够加深对结构弹塑性分析基本假定的理解，从而真正驾驭软件。

张小勇  
上海弘构土木工程咨询有限公司

# 前 言

随着我国经济与技术的快速发展，近年来国内各地陆续出现各种高层、超高层及复杂结构体系，很多建筑超出了现有规范的适用范围，对于这类超限工程结构，采用传统的抗震设计方法已无法确保其安全性，目前工程中主要的做法是采用基于性能的抗震设计方法进行结构设计。基于性能的抗震设计方法与传统抗震设计方法的一个重要的不同之处在于必须通过非线性分析获得结构在罕遇地震作用下的力与变形需求，并依此进行抗震性能评估。为此，工程师必须系统、熟练地掌握一套可靠高效的非线性分析软件并能够对软件的非线性分析结果做出合理解读，这样才有可能完成复杂结构的非线性分析与抗震性能评估工作。

PERFORM-3D (Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures) 由美国加州大学伯克利分校的鲍威尔教授 (Prof. Granham H. Powell) 开发，由美国著名的结构分析软件公司 CSI (Computers & Structures Inc.) 负责发行和维护，是一款致力于三维结构非线性分析和抗震性能评估的软件。PERFORM-3D 拥有丰富的单元模型、高效的非线性分析算法及完善的结构性能评估系统，是一款同时适用于科研和工程的结构非线性分析软件，目前已广泛应用于我国结构抗震研究领域及实际工程实践中，是工程界和科研界认可度与接受度均较高的结构非线性分析及抗震性能评估软件。

由于 PERFORM-3D 为英文软件，软件自带的英文帮助文档又涉及较多的力学知识与结构概念，导致初学者很难在短时间里掌握软件的使用方法及理解软件的精髓。目前市面上关于 PERFORM-3D 的书籍较少，且各有侧重，对于 PERFORM-3D 软件的学习来说仍显匮乏。为此，作者决心将自己学习弹塑性分析与 PERFORM-3D 的心得整理成书，以书会友，希望能帮助到有需要的朋友。

众所周知，要想掌握一款结构分析软件，必须对软件的设计思路及涉及的理论知识有较好的把握，而理论知识是十分枯燥的，兴趣是学习理论知识的最好老师，而培养兴趣的最好方法是将理论和实践相结合。为此，本书将 PERFORM-3D 涉及的常用材料模型、单元模型及分析方法分成多个相互独立的章节进行讲解，每一个章节主要涉及一个独立的主题，如某种材料、单元或者分析方法，并针对该章内容设计一个本章特有的算例进行 step by step 的讲解，且在讲解算例前先对该章用到的理论知识及结构概念进行梳理，将软件的基本原理、基本操作、参数定义方法及使用技巧通过算例讲解有机地结合起来，使读者能够快速把握相关主题的关键点，并通过实例做到举一反三。

## 读者对象

本书主要面向 PERFORM-3D 软件的初级和中级用户，同时也为高级用户提供了有用的参考。适用的对象包括：结构工程、防灾减灾工程专业的本科生、研究生，从事建筑、桥梁结构抗震设计的工程师及相关设计人员，对结构弹塑性分析及基于性能的结构抗震设计感兴趣的研究人员。

## 本书特色

本书具有以下主要特点：

(1) 内容完整。对 PERFORM-3D 实际应用中常用的模块、功能、材料、单元及分析方法均作了详细的介绍。力求使读者看完本书后能较为全面地掌握 PERFORM-3D 的功能，把握 PERFORM-3D 软件的精髓，轻松建立结构模型并进行弹塑性分析与抗震性能评估。

(2) 软件讲解详尽。针对不同的材料、单元及分析方法均设计了具体配套学习的算例，每一个算例均给出了 step by step 的操作过程并有针对性地讲解软件的使用技巧。

(3) 立足于基本原理。书中涉及的每一种单元模型或分析方法，在对其基本理论进行介绍之后，都会有相应的具体算例，并在算例讲解的过程中着重讨论模型参数的选取方法，帮助读者加深对理论的理解。

(4) 算例丰富。本书并不是一味地进行枯燥的理论讲解，本书共提供了近 20 个算例，且这些算例不是凭空设计的，绝大多数算例均来源于真实试验（低周往复试验、振动台试验）及其他权威结构分析软件（如 SAP2000、SeismoStruct 等）的经典验证实例。对于每一个具体算例的分析结果，都有相应的试验结果或其他权威软件的分析结果进行对比，以保证理论讲解的正确性、参数选取的合理性、分析结果的准确性。通过精心设计的算例，使得初学者在对某一专题的学习过程中可以有模板可依，达到立竿见影的效果，并且能举一反三。

(5) 章节内容独立。每一章涉及一个主要的内容，各章内容之间是相互独立的。另外每一章的算例也是专门针对该章节进行设计的，各章算例之间相互独立。方便读者有针对性地进行所需内容的学习，同时也可以减轻初学者的学习压力。

## 主要内容

本书分为五个部分，共 22 章：

第一部分为“基础与入门”，包括第 1、2 章。第 1 章对 PERFORM-3D 软件的特点进行概述，并对软件的设计思路、界面组成及软件的建模及分析功能进行介绍。第 2 章通过入门算例，介绍 PERFORM-3D 软件建模与分析的基本流程，力求使读者从整体上把握 PERFORM-3D 软件的建模与分析思路。

第二部分为“原理与实例”，是本书的主体部分，包括第 3 章～第 13 章，每一章涉及一个专题内容，共 11 个专题内容。通过理论与算例讲解相结合的方式深入介绍 PERFORM-3D 软件的材料本构、单元模型、分析方法、结果后处理等方面的内容，具体涉及的材料模型包括混凝土、钢材及砌体等，具体涉及的单元类型包括非线性纤维梁柱单元、集中塑性铰梁柱单元、剪力墙单元、填充墙压杆模型、屈曲约束支撑单元、支座弹簧单元、黏滞阻尼器单元、摩擦摆隔震支座单元、橡胶隔震支座单元、缝-钩单元及变形监测单元等。通过这部分章节的学习，读者可以对 PERFORM-3D 中常用的材料及单元的基本原理有较深刻的理解，做到知其然且知其所以然，并能通过一个个具体算例的学习掌握不同类型单元及结构的具体建模和分析方法。

第三部分为“综合分析专题”，介绍几个 PERFORM-3D 的综合应用专题，包括第 14 章～第 17 章，具体包括：第 14 章介绍 PERFORM-3D 中往复位移加载的实现方法；第 15 章介绍 PERFORM-3D 中多点激励地震分析的实现方法；第 16 章介绍 Pushover 分析方法的基本原理及 PERFORM-3D 中 Pushover 分析方法的实现；第 17 章介绍整体结构弹塑性

分析及结构性能评估在 PERFORM-3D 中的实现。读者可以通过第三部分内容的学习得到综合应用上的提高。

第四部分为“结构动载试验模拟”，包括 18 章~第 20 章，共 3 个动载试验的模拟实例，具体包括 2 个振动台试验及 1 个足尺框架伪动力试验的 PERFORM-3D 模拟实例。通过对实际的动载试验进行数值模拟，让读者进一步感受 PERFORM-3D 的数值模拟能够达到的精度，反过来体会采用 PERFORM-3D 进行数值模拟时应该把握的一些关键问题，以及将 PERFORM-3D 运用到实际工程中时哪些问题可以简化、哪些问题不能简化。

第五部分为“常见错误与警告”，总结了 PERFORM-3D 软件使用过程中部分常见的错误和警告，并给出相应的解决方法。

### 交流反馈

为方便读者阅读本书，在作者的博客网站 ([Http://www.jdcui.com](http://www.jdcui.com)) 上专门为本书开设了页面 ([Http://www.jdcui.com/?page\\_id=3757](http://www.jdcui.com/?page_id=3757))。欢迎读者在学习本书或者 PERFORM-3D 软件的过程中可以到该网页上提问题、下载本书模型文件及相关学习资料、分享学习心得，本书的勘误和相关更新也会及时上传到该网站上，对于网友特别有疑问的问题，作者也可以专门进行处理然后上传到该网站上。希望通过该网站，能将各种学习资源进行汇总整理并共享，让更多人能少走弯路，让更多人受益。

### 致谢

感谢导师韩小雷教授、季静教授对本书写作的支持，特别感谢韩老师为本书写序，这是对我们写这本书的努力的肯定，我们会继续努力。

感谢家人、朋友对我的默默支持，你们的支持和照顾是我写作的动力和创作的灵感。感谢与我一同为出书努力的伙伴沈雪龙（华南理工大学建筑设计研究院 设计三所），没有你的辛勤付出，该书无法顺利完成，感谢你对我的信任和认可，愿我们继续一同前行、实现抱负。感谢 [www.jdcui.com](http://www.jdcui.com) 支持者的支持，希望读者与我联系，如果出版下一版会增加更多实例，面向 PERFORM-3D 更多功能。

韩小雷教授和李楚舒博士（北京筑信达工程咨询有限公司）详细阅读了本书的初稿并为本书撰写了序言，还给我们提了许多宝贵的意见和建议，在此表示真挚感谢！

























感谢以下几位专家和工程师（排名不分先后）：陈学伟、郭远翔、黄辉辉、林超伟、李重阳、刘洪樟、李建乐、李文斌、林哲、王飞超、卫杰彬、曾明、周斌及张小勇，衷心感谢你们百忙之中抽时间阅读本书的初稿并给书写了评语。本书成稿后，中国建筑工业出版社编辑刘瑞霞、李天虹等同志以高效的工作为本书正式版做了细致的审校工作，在此一并表示感谢。

### 批评指正

此书是作者用心编写，一则与大家分享自己的学习心得，二则衷心希望此书能对读者学习 PERFORM-3D 软件和结构弹塑性分析有所帮助。倘若读者能从中收获一二，对于作者来说便是莫大的快乐。然而，PERFORM-3D 软件功能强大，结构弹塑性分析更是博大精深，加上作者水平有限，文笔欠佳，书中难免存在不足、疏漏甚至错误之处，恳请广大读者批评指正！欢迎通过电子邮件 ([jidong\\_cui@163.com](mailto:jidong_cui@163.com)) 进行交流讨论。

崔济东  
于华南理工大学

# 目 录

第一部分 基础与入门 .....	1
1 PERFORM-3D 软件介绍 .....	3
1.1 概述 .....	3
1.2 软件界面 .....	3
1.3 建模阶段 .....	4
1.3.1 结构总体信息【Overall information for structure】  .....	5
1.3.2 节点【Nodes】  .....	5
1.3.3 组件属性【Component properties】  .....	6
1.3.4 单元【Elements】  .....	7
1.3.5 增加或删除框架【Add or delete frames】  .....	8
1.3.6 荷载样式【Load patterns】  .....	9
1.3.7 导入导出结构数据【Import/export structure data】  .....	9
1.3.8 位移比与挠度【Drifts and deflections】  .....	9
1.3.9 结构截面【Structure sections】  .....	9
1.3.10 极限状态【Limit states】  .....	11
1.3.11 非激活单元【Inactive elements】  .....	12
1.4 分析阶段 .....	12
1.4.1 荷载工况【Set up load cases】  .....	12
1.4.2 运行分析【Run analysis】  .....	12
1.4.3 模态分析结果【Modal analysis results】  .....	14
1.4.4 能量平衡【Energy balance】  .....	14
1.4.5 极限状态组【Limit state groups】  .....	14
1.4.6 变形形状【Deflected shapes】  .....	15
1.4.7 时程【Time histories】  .....	16
1.4.8 滞回曲线【Hysteresis loops】  .....	16
1.4.9 弯矩剪力图【Moment and shear diagrams】  .....	16
1.4.10 通用 Pushover 分析后处理【General push-over plot】  .....	16
1.4.11 目标位移法【Target displacement method】  .....	16
1.4.12 使用率曲线【Usage ratio graphs】  .....	17
1.4.13 组合与包络【Combinaitons and envelopes】  .....	17

1.5	本章小结	17
1.6	参考文献	17
<b>2</b>	<b>入门实例：平面钢框架弹性分析</b>	<b>18</b>
2.1	算例介绍	18
2.2	建立模型	19
2.2.1	启动 PERFORM-3D 软件	19
2.2.2	总体信息	19
2.2.3	节点操作	20
2.2.4	定义组件属性	23
2.2.5	建立单元	25
2.2.6	定义荷载样式	27
2.2.7	定义层间位移角	29
2.2.8	定义结构截面	29
2.2.9	定义极限状态	31
2.3	模态分析	32
2.4	静力分析	34
2.4.1	定义荷载工况	34
2.4.2	建立分析序列	35
2.4.3	查看分析结果	36
2.5	动力时程分析	40
2.5.1	定义荷载工况	40
2.5.2	建立分析序列	42
2.5.3	查看分析结果	43
2.6	反应谱分析	44
2.6.1	定义荷载工况	45
2.6.2	建立分析序列	47
2.6.3	查看分析结果	47
2.7	本章小结	48
2.8	参考文献	48

## 第二部分 原理与实例 51

<b>3</b>	<b>钢筋与混凝土材料的单轴本构关系</b>	<b>53</b>
3.1	引言	53
3.2	钢筋的单轴本构	53
3.2.1	双线性弹塑性模型	53
3.2.2	Menegotto & Pinto 模型	53
3.3	混凝土的单轴本构	55
3.3.1	单轴应力-应变关系	55
3.3.2	往复荷载作用下混凝土的单轴本构	63

3.4	PERFORM-3D 中的骨架曲线及滞回环 .....	65
3.4.1	骨架曲线 .....	65
3.4.2	滞回环 .....	66
3.5	PERFORM-3D 中钢筋与混凝土材料的单轴本构 .....	69
3.5.1	PERFORM-3D 中的钢筋材料 .....	69
3.5.2	PERFORM-3D 中的混凝土材料 .....	70
3.6	本章小结 .....	72
3.7	参考文献 .....	72
<b>4</b>	<b>塑性铰模型 .....</b>	<b>74</b>
4.1	梁柱塑性铰模型 .....	74
4.2	弯矩塑性铰 (M 铰) .....	74
4.2.1	转角型塑性铰 .....	74
4.2.2	曲率型塑性铰 .....	75
4.2.3	刚-塑性铰属性的确定 .....	75
4.2.4	弯曲塑性铰 (M 铰) 的参数定义实例 .....	76
4.3	轴力-弯矩相关型塑性铰 (PMM 铰) .....	84
4.3.1	PMM 铰基本属性 .....	84
4.3.2	PMM 铰参数定义实例 .....	85
4.4	塑性铰模型算例 .....	92
4.4.1	算例介绍 .....	92
4.4.2	建模阶段 .....	93
4.4.3	分析阶段 .....	97
4.4.4	分析结果 .....	100
4.5	本章小结 .....	102
4.6	参考文献 .....	102
<b>5</b>	<b>纤维截面模型 .....</b>	<b>103</b>
5.1	梁柱纤维截面模型 .....	103
5.2	PERFORM-3D 中的梁柱纤维截面模型 .....	103
5.2.1	纤维截面组件 .....	103
5.2.2	框架复合组件 .....	104
5.3	梁柱纤维截面模型算例 .....	104
5.3.1	算例介绍 .....	104
5.3.2	建模阶段 .....	104
5.3.3	分析阶段 .....	112
5.3.4	分析结果 .....	113
5.4	剪切强度截面 .....	114
5.4.1	概念介绍 .....	114
5.4.2	剪切强度截面应用算例 .....	116
5.5	纤维梁柱单元的轴向伸长效应 .....	119



5.6	本章小结	120
5.7	参考文献	121
<b>6</b>	<b>剪力墙模拟</b>	<b>122</b>
6.1	引言	122
6.2	多竖向弹簧单元模型 (MVLEM) 理论	122
6.2.1	MVLEM 的研究背景	122
6.2.2	MVLEM 的基本列式	123
6.3	PERFORM-3D 剪力墙宏观单元介绍	125
6.4	剪力墙数值模拟实例	126
6.4.1	试验介绍	126
6.4.2	建模阶段	127
6.4.3	分析阶段	137
6.4.4	Pushover 分析	139
6.4.5	低周往复加载模拟	140
6.5	本章小结	141
6.6	参考文献	141
<b>7</b>	<b>填充墙模拟</b>	<b>142</b>
7.1	引言	142
7.2	原理分析	142
7.2.1	填充墙的破坏机理	142
7.2.2	填充墙分析模型	142
7.2.3	对角斜压杆模型的参数定义	143
7.2.4	PERFORM-3D 中填充墙的模拟方法	145
7.3	算例简介	146
7.4	建模阶段	147
7.4.1	定义等效斜压杆的材料	147
7.4.2	定义混凝土压杆 (Concrete Strut) 组件	149
7.4.3	定义复合组件	149
7.4.4	定义荷载样式	150
7.4.5	定义位移角	150
7.4.6	定义结构截面	150
7.5	分析阶段	151
7.5.1	定义重力荷载工况	151
7.5.2	定义动力荷载工况	151
7.5.3	建立分析序列	152
7.6	分析结果	153
7.6.1	空框架计算结果与试验结果对比	153
7.6.2	框架-填充墙计算结果与试验结果对比	153
7.6.3	空框架与带填充墙框架的滞回性能对比	153

7.7	本章小结	154
7.8	参考文献	154
<b>8</b>	<b>黏滞阻尼器</b>	<b>155</b>
8.1	引言	155
8.2	原理分析	155
8.2.1	黏滞阻尼器的耗能机理	155
8.2.2	PERFORM-3D 中黏滞阻尼器的模拟	156
8.3	算例简介	158
8.4	建模阶段	160
8.4.1	节点操作	160
8.4.2	定义组件	161
8.4.3	建立单元	164
8.4.4	定义位移角	164
8.4.5	定义结构截面	164
8.5	分析阶段	166
8.5.1	定义地震工况	166
8.5.2	建立分析序列	167
8.6	分析结果	168
8.6.1	模态分析结果	168
8.6.2	动力时程分析结果	169
8.6.3	有阻尼器与无阻尼器结构分析结果对比	171
8.7	本章小结	172
8.8	参考文献	172
<b>9</b>	<b>屈曲约束支撑</b>	<b>173</b>
9.1	引言	173
9.2	原理分析	173
9.2.1	压杆稳定问题与普通支撑的受力性能	173
9.2.2	屈曲约束支撑的组成与力学性能	174
9.2.3	PERFORM-3D 中 BRB 的模拟	175
9.3	算例简介	178
9.4	建模阶段	180
9.4.1	节点操作	180
9.4.2	定义材料	180
9.4.3	定义截面组件	180
9.4.4	定义 BRB 组件	182
9.4.5	定义弹性杆	184
9.4.6	定义端部刚域	185
9.4.7	定义大刚度弹簧	186
9.4.8	定义复合组件	186

9.4.9	建立单元	186
9.4.10	定义荷载样式	186
9.4.11	定义位移角	188
9.4.12	定义结构截面	189
9.5	分析阶段	189
9.5.1	定义重力荷载工况	189
9.5.2	定义动力荷载工况	189
9.5.3	建立分析序列	190
9.6	分析结果	191
9.6.1	顶点位移时程	191
9.6.2	基底剪力时程	191
9.6.3	顶点位移-基底剪力滞回曲线	191
9.6.4	BRB 响应	192
9.7	本章小结	193
9.8	参考文献	193
<b>10</b>	<b>摩擦摆隔震支座</b>	<b>194</b>
10.1	引言	194
10.2	原理分析	194
10.2.1	摩擦摆隔震支座基本组成	194
10.2.2	摩擦摆隔震支座的受力性能	194
10.2.3	PERFORM-3D 中的摩擦摆隔震支座	195
10.3	算例简介	197
10.4	建模阶段	199
10.4.1	节点操作	199
10.4.2	定义组件	201
10.4.3	建立单元	203
10.4.4	定义荷载样式	205
10.4.5	定义层间位移角	206
10.4.6	定义结构截面	207
10.5	分析阶段	207
10.5.1	定义重力工况	207
10.5.2	定义地震时程工况	207
10.5.3	建立分析序列	207
10.6	分析结果	209
10.6.1	模态分析结果	209
10.6.2	位移时程	210
10.6.3	滞回曲线	211
10.7	本章小结	212
10.8	参考文献	212

<b>11 橡胶隔震支座</b> .....	213
11.1 引言 .....	213
11.2 原理分析 .....	213
11.2.1 橡胶隔震支座介绍 .....	213
11.2.2 橡胶隔震支座的力学模型 .....	214
11.2.3 PERFORM-3D 中的橡胶隔震支座 .....	215
11.3 算例简介 .....	217
11.4 建模阶段 .....	218
11.4.1 节点操作 .....	218
11.4.2 定义组件 .....	218
11.4.3 建立单元 .....	219
11.4.4 定义荷载样式 .....	220
11.4.5 定义位移角 .....	220
11.4.6 定义结构截面 .....	220
11.5 分析阶段 .....	221
11.5.1 定义重力工况 .....	221
11.5.2 定义地震时程工况 .....	221
11.5.3 建立分析序列 .....	221
11.6 分析结果 .....	223
11.6.1 模态分析结果 .....	223
11.6.2 时程分析结果 .....	224
11.6.3 橡胶隔震支座滞回性能 .....	224
11.6.4 隔震与非隔震结构整体响应 .....	224
11.7 本章小结 .....	225
11.8 参考文献 .....	226
<b>12 缝-钩单元</b> .....	227
12.1 引言 .....	227
12.2 PERFORM-3D 中的缝-钩单元 .....	227
12.3 算例简介 .....	227
12.4 建模阶段 .....	228
12.4.1 Gap-Hook 组件 .....	229
12.4.2 Gap-Hook 单元 .....	229
12.4.3 荷载样式 .....	230
12.4.4 位移角 .....	230
12.5 分析阶段 .....	231
12.5.1 动力荷载工况 .....	231
12.5.2 分析序列 .....	232
12.6 分析结果 .....	232
12.7 本章小结 .....	235

12.8	参考文献	235
<b>13</b>	<b>变形监测单元</b>	<b>236</b>
13.1	变形监测单元介绍	236
13.1.1	轴向应变监测 (Axial Strain Gage) 单元	236
13.1.2	梁转角监测 (Rotation Gage Beam Type) 单元	236
13.1.3	墙转角监测 (Rotation Gage Wall Type) 单元	237
13.1.4	剪应变监测 (Shear Strain Gage) 单元	237
13.2	算例 1: 梁转角监测 (Rotation Gage Beam Type) 单元应用	237
13.2.1	算例简介	237
13.2.2	建模阶段	238
13.2.3	分析阶段	241
13.2.4	分析结果	241
13.3	算例 2: 墙转角监测 (Rotation Gage Wall Type) 单元应用	241
13.3.1	算例简介	241
13.3.2	建模阶段	242
13.3.3	分析阶段	245
13.3.4	分析结果	245
13.4	本章小结	246
13.5	参考文献	247
<b>第三部分</b>	<b>综合分析专题</b>	<b>249</b>
<b>14</b>	<b>往复位移加载的两种方法</b>	<b>251</b>
14.1	引言	251
14.2	往复位移加载方法	251
14.2.1	基于 Pushover 工况的分析方法	251
14.2.2	基于 Dynamic Force 工况的分析方法	252
14.3	往复位移加载分析实例	252
14.3.1	模型简介	253
14.3.2	模型建立	253
14.4	分析结果	262
14.4.1	Push-Over 方法结果查看	262
14.4.2	Dynamic Force 方法结果查看	263
14.4.3	分析结果对比	264
14.5	本章小结	265
14.6	参考文献	265
<b>15</b>	<b>多点激励地震分析</b>	<b>266</b>
15.1	引言	266
15.2	多点激励地震分析	266
15.2.1	常用的多点激励地震时程分析方法	266

15.2.2	PERFORM-3D中多点激励地震分析的实现	266
15.3	多点激励分析实例	267
15.3.1	模型简介	267
15.3.2	地震波信息	268
15.3.3	时程分析工况	269
15.3.4	SAP2000建模	270
15.3.5	PERFORM-3D建模	275
15.3.6	分析结果	279
15.4	本章小结	281
15.5	参考文献	281
<b>16</b>	<b>Pushover分析原理与实例</b>	<b>283</b>
16.1	引言	283
16.2	能力谱法介绍	283
16.2.1	建立Pushover曲线	284
16.2.2	建立能力谱曲线	285
16.2.3	建立需求谱曲线	286
16.2.4	折减需求谱	286
16.2.5	求取性能点	288
16.3	Pushover分析算例	289
16.3.1	算例简介	289
16.3.2	建模阶段	291
16.3.3	分析阶段	294
16.3.4	Pushover分析后处理	296
16.4	本章小结	303
16.5	参考文献	303
<b>17</b>	<b>结构整体动力弹塑性分析与抗震性能评估</b>	<b>305</b>
17.1	算例介绍	305
17.2	小震反应谱分析	306
17.2.1	分析参数	306
17.2.2	分析结果	306
17.3	PERFORM-3D弹塑性分析模型	307
17.3.1	节点操作	307
17.3.2	材料	309
17.3.3	框架梁	311
17.3.4	框架柱	312
17.3.5	剪力墙	314
17.3.6	内嵌梁	315
17.3.7	单元属性	315
17.3.8	荷载样式	316

17.3.9	框架	316
17.3.10	位移角	316
17.3.11	结构截面	316
17.3.12	极限状态	317
17.4	PERFORM-3D 模态分析	318
17.5	大震动力弹性时程分析	319
17.5.1	地震波选取	319
17.5.2	定义分析工况	321
17.5.3	建立分析序列	323
17.5.4	分析结果	324
17.6	本章小结	333
17.7	参考文献	334

#### **第四部分 结构动载试验模拟** 335

<b>18</b>	<b>缩尺桥墩振动台试验模拟</b>	337
18.1	试验简介	337
18.2	建模阶段	338
18.2.1	节点操作	339
18.2.2	定义组件	339
18.2.3	建立单元	342
18.2.4	定义荷载样式	342
18.2.5	定义位移角	343
18.3	分析阶段	344
18.3.1	定义荷载工况	344
18.3.2	建立分析序列	345
18.4	分析结果	345
18.5	参考文献	346
<b>19</b>	<b>足尺桥墩振动台试验模拟</b>	347
19.1	试验简介	347
19.2	建模阶段	349
19.2.1	节点操作	349
19.2.2	定义组件	350
19.2.3	定义单元	353
19.2.4	定义荷载样式	353
19.2.5	定义位移角	353
19.3	分析阶段	354
19.3.1	定义重力荷载工况	354
19.3.2	定义地震时程工况	354
19.3.3	建立分析序列	355

19.4	分析结果	357
19.5	参考文献	359
<b>20</b>	<b>足尺框架伪动力试验模拟</b>	<b>360</b>
20.1	试验简介	360
20.2	建模阶段	363
20.2.1	节点操作	363
20.2.2	定义组件	364
20.2.3	定义单元	367
20.2.4	定义荷载样式	368
20.2.5	定义位移角	370
20.3	分析阶段	371
20.3.1	定义荷载工况	371
20.3.2	分析序列	372
20.4	分析结果	374
20.5	参考文献	374
<b>第五部分</b>	<b>常见错误与警告</b>	<b>377</b>
<b>21</b>	<b>建模阶段常见错误与警告</b>	<b>379</b>
21.1	【Nodes】模块	379
21.2	【Component properties】模块	379
21.3	【Drift and deflections】模块	380
21.4	【Limit States】模块	380
<b>22</b>	<b>分析阶段常见错误与警告</b>	<b>381</b>
22.1	【Set up load cases】模块	381
22.2	【Run analysis】模块	381
22.3	【Hysteresis loops】模块	382