

从入门到精通 全面·实用·案例丰富

完全掌握

ANSYS

14.5 有限元分析

超级手册

张向东 等编著

- 来自一线工程师的专业奉献，针对ANSYS最新版本全面详解
- 从零基础入门到行业应用，辅之以大量工程案例
- 超值光盘提供本书案例源文件及133页ANSYS技术资料

DVD

实例源文件



机械工业出版社
China Machine Press



张向东 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

完全掌握ANSYS 14.5有限元分析超级手册 / 张向东等编著. - 北京: 机械工业出版社, 2014.2

ISBN 978-7-111-44793-1

I. ①完… II. ①张… III. ①有限元分析—应用软件—手册 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第272949号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书针对 ANSYS 14.5 在有限元分析领域内的应用进行编写。书中讲述的内容是使用 ANSYS 进行有限元分析的必备知识。通过全面学习本书, 用户可以获得使用 ANSYS 进行有限元分析的基本技能, 并能快速掌握使用有限元分析进行工作的一般方法。

本书共分为 2 北京上地 5 章, 根据内容侧重点的不同, 可划分为基础知识与专题应用两大部分。其中基础知识部分包括前 7 章, 主要内容包括 ANSYS 基本操作、坐标系与工作平面、几何实体建模、有限元模型、加载与求解、后处理及 APDL 编程。专题应用部分包括后面 18 章, 既涉及了有限元分析中一些较为基础的分析 (如静力学分析、模态分析、屈曲分析等), 也涉及了一些较为高级的分析 (如子结构分析、子模型分析、疲劳分析、复合材料分析、接触分析等)。书中所有实例的相关文件都保存在随书附赠的光盘中, 此外还附赠 ANSYS 14.5 的 133 页的超值内容。

本书是理想的自学参考书, 适合广大 ANSYS 初中级读者使用; 也可作为大中专院校的教师和在校生相关专业, 以及社会有关培训机构的教材。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 夏非彼 迟振春

中国电影出版社印刷厂印刷

2014年2月第1版第1次印刷

203mm×260mm·37.75印张 (含0.25印张彩插)

标准书号: ISBN 978-7-111-44793-1

ISBN 978-7-89405-174-5 (光盘)

定价: 89.00元 (附1DVD)

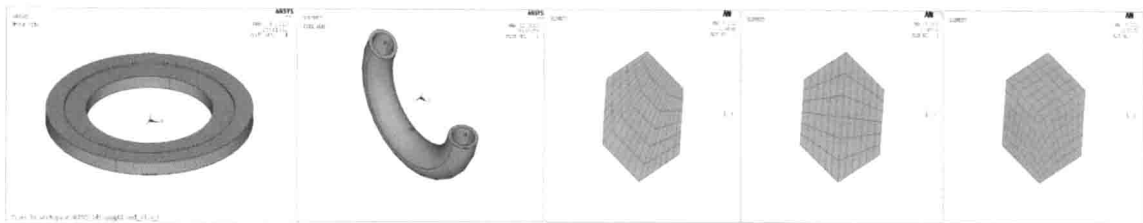
凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991; 82728184

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 82728184; 88379603

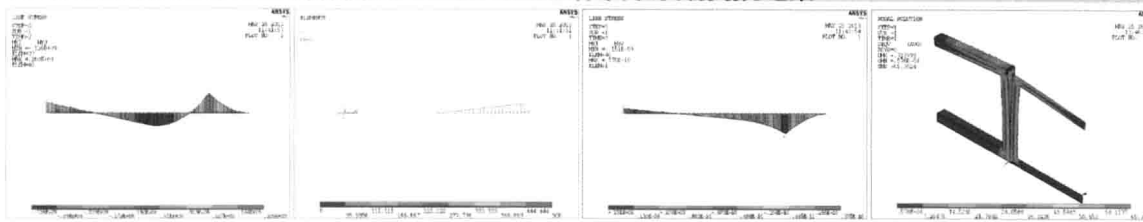
读者信箱: booksaga@126.com



导入的CAD模型

环体模型

三种不同的映射划分结果

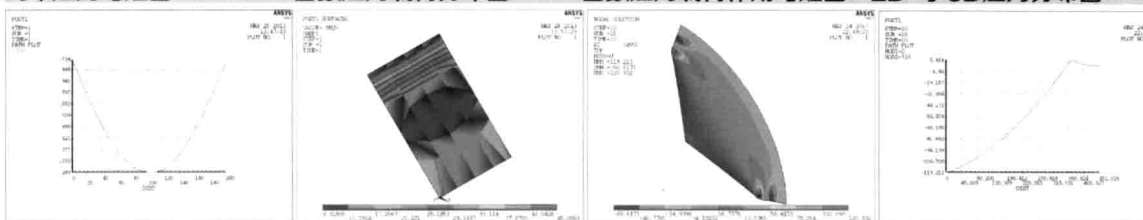


均布压力弯矩图

函数压力载荷分布图

函数压力载荷作用弯矩图

2D 与 3D应力分布图



变形结果路径曲线

截面应力分布

发生大变形的圆顶

变形量的路径分布图

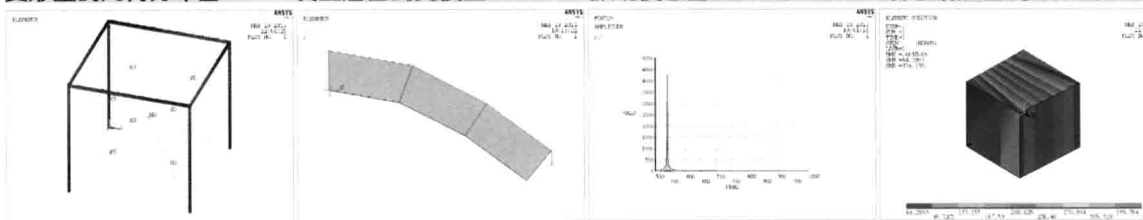


变形量的几何分布图

发生屈曲的壳模型

振动模态图

瞬态响应曲线

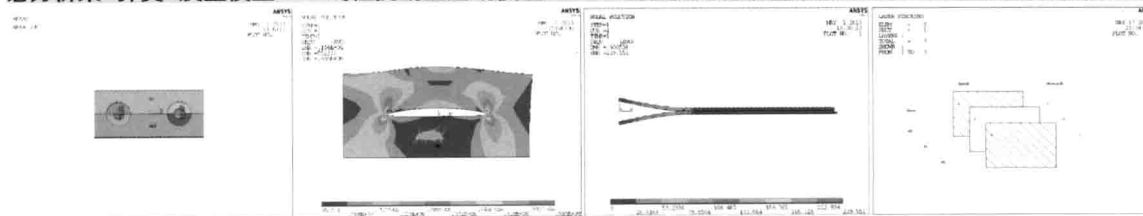


谱分析梁-弹簧-质量模型

线性扰动重启模型

线性扰动谐响应曲线

单元层应力分布

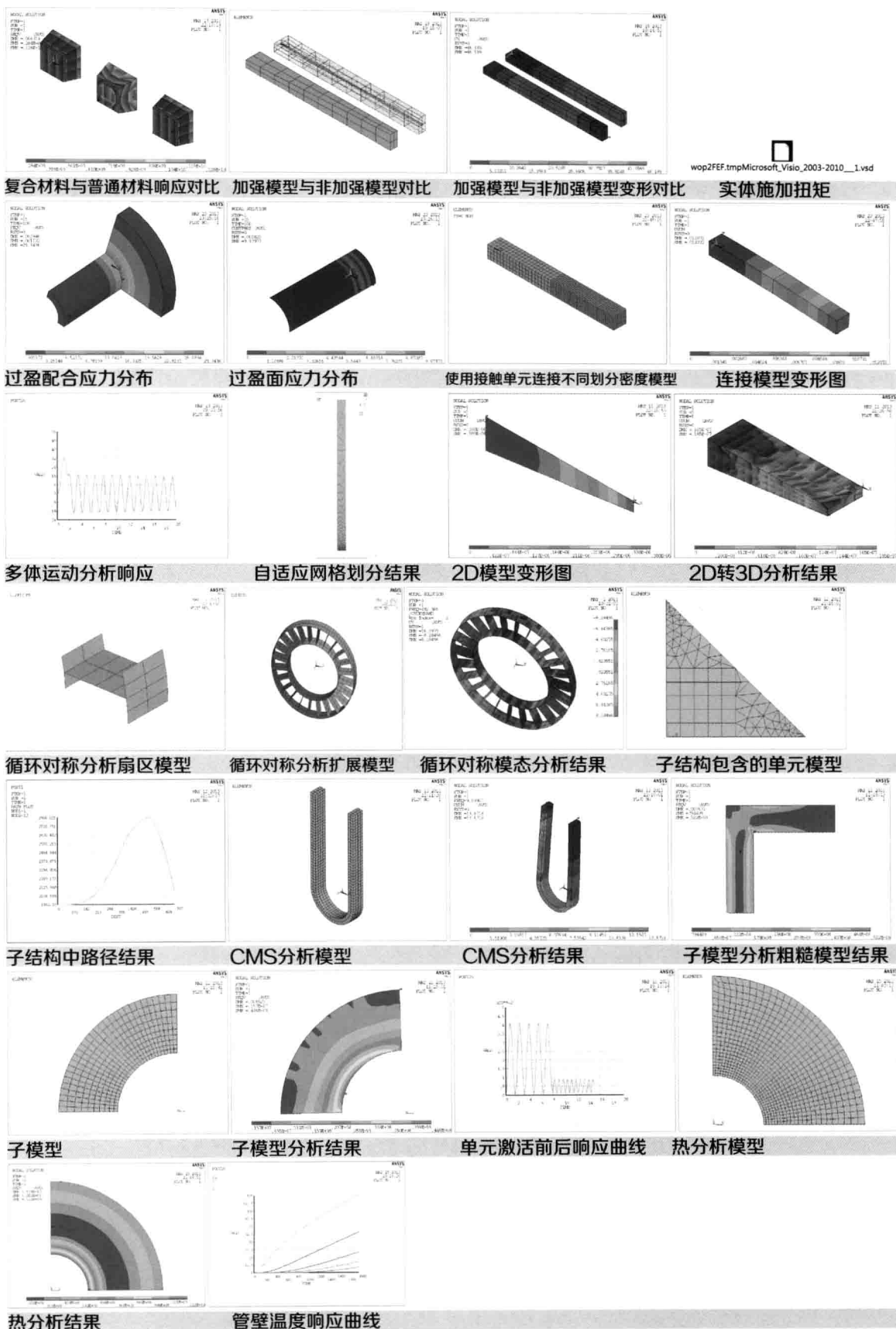


断裂分析模型

断裂分析模型应力图

脱离分析

壳截面材料



P 前言

Preface

ANSYS 14.5 为有限元分析提供了强大的处理工具。目前, ANSYS 已经在很多应用领域取得了成功应用。本书针对 ANSYS 14.5 在结构分析相关领域内的应用, 以引导读者掌握 ANSYS 为目的进行编写。

1. 本书特点

由浅入深, 循序渐进: 本书以初中级读者为对象, 首先从 ANSYS 14.5 使用基础讲起, 再辅以 ANSYS 在工程中的应用案例。

步骤详尽、内容新颖: 本书结合作者多年 ANSYS 使用经验与实际工程应用案例, 将 ANSYS 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中辅以相应的图片, 使读者在阅读时一目了然, 从而快速掌握书中所讲内容。

实例典型、轻松易学: 学习实际工程应用案例的具体操作是掌握 ANSYS 最好的方式。本书通过综合应用案例, 透彻详尽地讲解了 ANSYS 在各方面的应用。

2. 本书内容

本书分为两个部分共 25 章, 第 1 部分为基础知识 (第 1~7 章), 第 2 部分为专题应用 (第 8~25 章)。各章内容简单介绍如下。

第 1 章 ANSYS 基本操作。主要介绍图形用户界面、使用环境、图形化选取操作和导入 CAD 文件等内容。

第 2 章 坐标系与工作平面。主要内容包括按功能和类型区分的不同类型的坐标系及其相关操作, 以及工作平面及其相关操作。

第 3 章 几何实体建模。主要介绍使用 ANSYS 进行几何建模的操作, 包括图元基本操作、图元通用操作和图元布尔操作。本章是贯穿本书的所有几何建模的基础章节, 需要重点掌握。

第 4 章 有限元建模。主要介绍划分网格的有关内容, 包括网格划分过程介绍、网格划分控制、定义单元属性、直接生成网格、耦合与约束方程等内容。本章是贯穿本书的所有网格划分的基础章节, 需要重点掌握。

第 5 章 加载与求解。主要介绍加载与求解过程的相关设置和内容。首先介绍了对象选取的相关内容; 在加载相关内容中, 详细讲解了加载过程、加载对象、载荷类型、载荷步设置和加载方式等内容; 在求解相关内容中, 介绍了分析类型、求解器、输出控制、多载荷步求解和重新启动等内容。

第 6 章 后处理。主要介绍在通用后处理器和时间历程后处理器中实现的后处理, 包括在通用后处理器中, 查看特定时间点或频率点上整个模型的响应状况的方法; 在时间历程后处理其中, 查看特定模型实体求解结果在整个时间或频率范围内的变化情况的方法。

第 7 章 APDL 编程。主要介绍 ANSYS 工具栏的设置、参数的使用方法和 APDL 参数设计语言



编程（宏编程）。

第 8 章 线性静力学分析。主要介绍在 ANSYS 中实现线性静力学分析的有关操作，内容包括其建模、加载与求解、查看结果。

第 9 章 非线性静力学分析。主要介绍 ANSYS 实现非线性分析的方法，并对几何非线性分析和材料非线性分析进行了详细说明。

第 10 章 屈曲分析。主要介绍屈曲分析的相关内容，包括线性屈曲分析的方法和实现步骤、非线性屈曲分析的方法和实现步骤。

第 11 章 模态分析。主要介绍模态分析的相关理论和在 ANSYS 中的实现过程，并通过算例对简单模型和实体模型的模态分析过程进行了说明。

第 12 章 瞬态分析。主要介绍完全法和模态叠加法求解瞬态分析的基本过程，并通过算例分析对过程进行了示例。

第 13 章 谐响应分析。主要介绍完全法和模态叠加法求解谐响应分析的基本过程，并通过算例对分析过程进行了示例。

第 14 章 谱分析。主要介绍单点响应谱分析和功率谱密度分析的分析过程，并通过算例分析对过程进行了示例。

第 15 章 线性扰动分析。主要介绍线性扰动模态分析、线性扰动屈曲分析和线性扰动谐响应分析的操作过程，并使用算例进行了线性扰动谐响应分析。

第 16 章 初始状态分析。主要介绍施加初始应力、初始应变和初始塑性应变的实现方法，还介绍了使用初始状态文件实现初始状态的方法。

第 17 章 垫片分析。主要介绍垫片分析涉及的接口单元、垫片材料、垫片接口网格划分和分析的过程等。

第 18 章 断裂力学分析。主要介绍断裂参数，包括 J 积分、能量释放率和应力密度等，并通过算例，说明了断裂区域的建模处理和断裂参数的计算过程。

第 19 章 脱落分析。主要介绍用基于 VCCT 的裂纹扩展仿真方法对裂纹沿界面扩展的过程进行脱落分析仿真，另外也提到了基于接口单元或基于接触单元的建模方式。

第 20 章 疲劳分析。主要介绍在通用后处理器中进行疲劳分析基本的操作步骤，包括定义疲劳载荷相关参数、保存应力、设置时间循环次数、疲劳计算和查看结果等步骤。

第 21 章 梁壳分析。主要介绍梁、壳单元建模分析等相关内容，着重介绍了梁单元和壳单元的建模过程，包括创建普通截面梁单元、变截面梁单元、非线性截面梁单元和复合材料截面梁单元，以及创建普通壳截面和合成壳截面等。

第 22 章 复合材料分析。主要介绍复合材料分析有关内容，包括单元选择、定义材料构造、设置失效准则和后处理等。

第 23 章 强化材料分析。主要介绍强化材料分析相关内容，包括强化方式、强化材料建模过程和强化单元。

第 24 章 接触分析。主要介绍在 ANSYS 中进行接触分析的有关内容，包括 ANSYS 接触分析 GUI、面面接触、点面接触、梁梁接触、线面接触、点点接触、多点约束和装配等。

第 25 章 多体运动分析。主要介绍使用 ANSYS 进行多体运动学分析的方法，包括柔体建模、刚体建模、连接部件和分析过程等。

3. 光盘内容

本光盘包括本书案例的相关文件以及 ANSYS 14.5 的 133 页的超值内容, 具体内容介绍如下。

第 01 章 自适应网格划分。主要介绍自适应网格划分相关内容, 包括自适应网格划分的前提和使用建议、自适应网格划分的基本过程和修改基本过程的方法。

第 02 章 2D 转 3D 分析。主要介绍 2D 转 3D 分析操作, 包括 2D 转 3D 分析的要求和限制、2D 转 3D 分析的分析流程及其关键命令与关键步骤。

第 03 章 循环对称结构分析。主要介绍进行循环对称结构分析的操作, 包括循环对称静力学分析、循环对称模态分析、循环对称屈曲分析和循环对称谐响应分析的基本操作流程。

第 04 章 子结构分析。主要介绍子结构分析的基本操作方式, 包括超单元 MARTIX50、子结构分析通用过程、自顶而下的子结构分析、超单元嵌套和有预应力的子结构。

第 05 章 组件模态合成。主要介绍 CMS 方法的操作实现方法, 包括 CMS 实现所需的求解器、CMS 生成过程、使用过程和扩展过程。

第 06 章 子模型分析。主要介绍子模型分析的有关内容, 包括子模型的基本概念和子模型分析的过程。子模型分析的过程包括创建并分析较粗糙的基础模型、创建子模型、切割边界插值和分析子模型等。

第 07 章 单元生死。主要介绍单元生死在 ANSYS 中实现的基本过程, 包括单元生死分析过程介绍、支持单元生死功能的单元类型和其他与单元生死相关的重要分析步骤。

第 08 章 结构热分析。主要介绍 ANSYS 热分析实现的基本知识, 包括热分析使用的物理量及其单位、单元类型, 以及热分析的理论基础; 并简单介绍了稳态热分析和瞬态热分析的分析过程。

4. 读者对象

本书既适用于 ANSYS 初学者又适用于有一定基础的工程技术人员, 具体如下:

- | | |
|----------------|--------------------|
| ★ 相关从业人员 | ★ 初学 ANSYS 的工程技术人员 |
| ★ 大中专院校的教师和在校生 | ★ 相关培训机构的教师和学员 |
| ★ 参加工作实习的“菜鸟” | ★ ANSYS 有限元分析爱好者 |
| ★ 广大科研工作人员 | ★ 初中级 ANSYS 从业人员 |

5. 读者服务

本书主要由张向东编著, 另外陈艳霞、李波、宫磊、付国强、郭一楠、侯清福、侯雪娜、芦娟、罗强、马志勇、任伟、苏宁、孙军华、孙尧斌、王从雷、王秋丽、王艳臣、王丹、刘军、司军锋、米生权、贾辉等也参与了本书的编写工作。

虽然编者在编写过程中力求叙述准确、完善, 但由于水平有限, 书中欠妥之处在所难免, 希望读者和同仁能够及时指出, 共同促进本书质量的提高。

读者在学习过程中遇到与本书有关的问题, 可以发邮件到编者邮箱 comshu@126.com, 编者会尽快给予解答。

编 者
2013 年 10 月

目录

Contents

前言

第 1 章 ANSYS 基本操作.....	1
1.1 ANSYS GUI 介绍.....	1
1.1.1 GUI 界面布局.....	2
1.1.2 GUI 普通组件.....	2
1.1.3 对话框.....	6
1.2 ANSYS 使用环境.....	9
1.2.1 数据库.....	10
1.2.2 程序处理器.....	11
1.2.3 ANSYS 文件.....	12
1.2.4 启动与交互.....	13
1.3 图形化选取.....	15
1.3.1 鼠标功能.....	16
1.3.2 空间选取与实体选取.....	16
1.3.3 查询选取.....	17
1.4 ANSYS 分析入门.....	18
1.5 CAD 文件输入.....	20
1.6 本章小结.....	23
第 2 章 坐标系与工作平面.....	24
2.1 坐标系.....	24
2.1.1 全局坐标系.....	25
2.1.2 局部坐标系.....	26
2.1.3 节点坐标系.....	31
2.1.4 单元坐标系.....	34
2.1.5 显示坐标系.....	34
2.1.6 结果坐标系.....	34
2.2 工作平面.....	35
2.2.1 创建工作平面.....	35
2.2.2 工作平面操作.....	37
2.3 本章小结.....	40
第 3 章 几何实体建模.....	41
3.1 图元基本操作.....	41

3.1.1 点	42
3.1.2 线	49
3.1.3 面	59
3.1.4 体	62
3.1.5 实体体素	64
3.2 图元通用操作	79
3.3 图元布尔操作	85
3.3.1 布尔操作设置	85
3.3.2 布尔操作	86
3.4 本章小结	90
第 4 章 有限元建模	91
4.1 有限元建模概述	91
4.1.1 网格划分过程	91
4.1.2 网格划分方式	91
4.2 定义单元属性	92
4.2.1 定义单元类型	92
4.2.2 定义实常数	94
4.2.3 定义截面	96
4.2.4 定义单元坐标系	98
4.2.5 定义材料特性	99
4.3 网格划分控制	101
4.3.1 网格划分 GUI	102
4.3.2 网格属性设置	102
4.3.3 网格尺寸控制	104
4.3.4 网格形状控制	112
4.3.5 划分方式控制	115
4.4 网格划分	116
4.5 网格检查与修改	120
4.5.1 网格细化	121
4.5.2 删除网格	122
4.5.3 网格单元检查	122
4.6 直接生成网格	125
4.7 耦合与约束方程	125
4.7.1 耦合	125
4.7.2 约束方程	129
4.8 本章小结	131
第 5 章 加载与求解	132
5.1 对象选取、组件与集合	132
5.1.1 对象选取	132
5.1.2 组件与集合	134
5.2 加载	139



5.2.1	加载过程.....	139
5.2.2	加载对象.....	144
5.2.3	载荷类型概览.....	144
5.2.4	自由度约束.....	145
5.2.5	对称边界条件.....	148
5.2.6	集中载荷.....	150
5.2.7	面载荷.....	152
5.2.8	体载荷.....	155
5.2.9	惯性载荷.....	156
5.2.10	载荷通用操作.....	157
5.2.11	载荷步通用设置.....	160
5.2.12	加载方式.....	161
5.3	求解.....	163
5.3.1	分析类型.....	163
5.3.2	求解器.....	165
5.3.3	求解输出.....	166
5.3.4	多载荷步求解.....	167
5.3.5	重启动分析.....	168
5.4	本章小结.....	169
第 6 章	后处理.....	170
6.1	后处理概述.....	170
6.2	通用后处理器 (POST1).....	171
6.2.1	读取结果数据.....	172
6.2.2	图形方式查看结果.....	176
6.2.3	面操作.....	186
6.2.4	列表显示结果.....	195
6.2.5	将结果映射到路径.....	197
6.2.6	结果查看器.....	200
6.2.7	部分其他操作.....	200
6.3	时间历程后处理器 (POST26).....	201
6.3.1	时间历程变量查看器.....	201
6.3.2	定义变量.....	202
6.3.3	变量数据运算操作.....	205
6.3.4	查看变量.....	207
6.4	本章小结.....	208
第 7 章	APDL 编程.....	209
7.1	工具栏设置.....	209
7.2	使用参数.....	210
7.2.1	参数名.....	210
7.2.2	标量参数操作.....	211
7.2.3	使用字符参数.....	213

7.2.4	参数表达式.....	213
7.2.5	参数函数.....	213
7.2.6	数组参数.....	214
7.3	APDL 宏编程.....	219
7.3.1	创建宏.....	219
7.3.2	执行宏.....	221
7.3.3	局部变量.....	222
7.3.4	程序控制.....	223
7.3.5	宏嵌套使用与示例.....	225
7.4	本章小结.....	225
第 8 章	线性静力学分析.....	226
8.1	概述.....	226
8.1.1	线性材料.....	226
8.1.2	常用单元.....	229
8.2	线性静力学分析过程.....	231
8.2.1	建模.....	231
8.2.2	加载与求解.....	231
8.2.3	查看结果.....	231
8.3	简支悬臂梁算例.....	231
8.3.1	问题描述与分析.....	231
8.3.2	前处理.....	232
8.3.3	加载与求解.....	234
8.3.4	后处理.....	236
8.4	2D 与 3D 分析对比算例.....	238
8.4.1	问题描述与分析.....	238
8.4.2	前处理.....	238
8.4.3	加载与求解.....	241
8.4.4	后处理.....	242
8.5	本章小结.....	244
第 9 章	非线性静力学分析.....	245
9.1	概述.....	245
9.1.1	几何非线性.....	246
9.1.2	材料非线性.....	247
9.2	非线性静力学分析过程.....	249
9.2.1	建模.....	249
9.2.2	求解控制与求解.....	255
9.2.3	查看结果.....	257
9.3	几何非线性分析算例.....	258
9.3.1	问题描述与分析.....	258
9.3.2	前处理.....	258
9.3.3	加载与求解.....	261



9.3.4	后处理	263
9.4	材料非线性分析算例	265
9.4.1	问题描述与分析	265
9.4.2	前处理	265
9.4.3	加载与求解	267
9.4.4	后处理	268
9.5	本章小结	269
第 10 章	屈曲分析	270
10.1	概述	270
10.2	屈曲分析过程	271
10.2.1	线性屈曲分析	271
10.2.2	非线性屈曲分析	273
10.3	线性屈曲分析算例	274
10.3.1	问题描述与分析	274
10.3.2	前处理	275
10.3.3	静态分析	276
10.3.4	求解屈曲分析	277
10.3.5	后处理	277
10.4	非线性屈曲分析算例	279
10.4.1	问题描述与分析	279
10.4.2	前处理	279
10.4.3	加载与求解	281
10.4.4	后处理	282
10.5	本章小结	283
第 11 章	模态分析	284
11.1	概述	284
11.2	模态分析过程	285
11.2.1	建模	285
11.2.2	加载与求解	286
11.2.3	查看结果	290
11.2.4	施加预应力效应	292
11.3	弹簧振子固有频率分析算例	293
11.3.1	问题描述与分析	293
11.3.2	前处理	293
11.3.3	加载与求解	295
11.3.4	后处理	296
11.4	矩形板模态分析	296
11.4.1	问题描述与分析	296
11.4.2	前处理	296
11.4.3	加载与求解	298
11.4.4	后处理	299

11.5 本章小结	301
第 12 章 瞬态分析	302
12.1 概述	302
12.2 瞬态分析步骤	306
12.2.1 完全法分析瞬态过程	306
12.2.2 模态叠加法分析瞬态过程	315
12.3 完全法瞬态分析算例	317
12.3.1 问题描述与分析	317
12.3.2 前处理	317
12.3.3 加载与求解	318
12.3.4 后处理	320
12.4 模态叠加法瞬态分析算例	321
12.4.1 问题描述与分析	321
12.4.2 前处理	321
12.4.3 模态分析求解	322
12.4.4 加载与求解	322
12.4.5 扩展求解	323
12.4.6 后处理	324
12.5 本章小结	324
第 13 章 谐响应分析	325
13.1 概述	325
13.1.1 谐响应概念	325
13.1.2 谐响应分析理论简介	326
13.2 谐响应分析过程	329
13.2.1 完全法分析过程	329
13.2.2 模态叠加法	334
13.3 完全法谐响应分析算例	336
13.3.1 问题描述与分析	336
13.3.2 前处理	336
13.3.3 加载与求解	338
13.3.4 后处理	339
13.4 模态叠加法谐响应分析算例	340
13.4.1 问题描述与分析	340
13.4.2 前处理	340
13.4.3 模态分析求解	340
13.4.4 模态叠加求解	341
13.4.5 后处理	342
13.5 本章小结	342
第 14 章 谱分析	343
14.1 谱分析概述	343



14.2	谱分析过程	344
14.2.1	单点响应谱分析过程	344
14.2.2	随机振动功率谱密度分析	348
14.3	单点响应谱分析算例	354
14.3.1	问题描述与分析	354
14.3.2	前处理	354
14.3.3	模态分析求解	357
14.3.4	谱分析求解	358
14.3.5	组合模态	359
14.3.6	后处理	359
14.4	功率谱密度分析算例	361
14.4.1	问题描述与分析	361
14.4.2	前阶段分析	361
14.4.3	功率谱分析求解	362
14.5	本章小结	364
第 15 章 线性扰动分析		365
15.1	线性扰动分析概述	365
15.1.1	假设与限制	365
15.1.2	线性扰动分析理论概述	366
15.2	线性扰动分析过程	369
15.2.1	线性扰动模态分析过程	370
15.2.2	线性扰动屈曲分析过程	370
15.2.3	线性扰动谐响应分析过程	370
15.3	线性扰动谐响应分析算例	373
15.3.1	问题描述与分析	373
15.3.2	预分析	373
15.3.3	线性扰动分析	376
15.3.4	后处理	377
15.4	本章小结	379
第 16 章 初始状态分析		380
16.1	概述	380
16.2	施加初始状态	381
16.2.1	施加初始应力	381
16.2.2	施加初始应变	382
16.2.3	施加初始塑性应变	383
16.2.4	使用初始状态文件	384
16.3	初始应变分析算例	385
16.3.1	问题描述与分析	385
16.3.2	前处理	385
16.3.3	加载与求解	387
16.3.4	后处理	389

16.4 本章小结	391
第 17 章 垫片分析	392
17.1 概述	392
17.2 垫片分析过程	392
17.2.1 垫片单元	393
17.2.2 垫片材料	394
17.2.3 网格划分	398
17.2.4 求解与查看结果	399
17.3 垫片分析算例	399
17.3.1 问题描述与分析	399
17.3.2 前处理	399
17.3.3 加载与求解	402
17.3.4 后处理	405
17.4 本章小结	406
第 18 章 断裂力学分析	407
18.1 概述	407
18.1.1 模式	407
18.1.2 力学参数	408
18.1.3 力学仿真方法	410
18.2 断裂力学分析过程	410
18.2.1 建模	411
18.2.2 J 积分计算	411
18.2.3 能量释放率计算	416
18.2.4 应力密度系数计算	416
18.3 应力集中点断裂参数分析算例	418
18.3.1 问题描述与分析	418
18.3.2 前处理	418
18.3.3 加载与求解	426
18.3.4 后处理	427
18.4 本章小结	429
第 19 章 脱落分析	430
19.1 概述	430
19.2 脱落分析过程	430
19.2.1 基于 VCCT 的裂纹扩展分析	431
19.2.2 基于接口单元的界面脱落分析	439
19.2.3 基于接触单元的界面脱落分析	443
19.3 脱落分析算例	443
19.3.1 问题描述与分析	443
19.3.2 前处理	444
19.3.3 设置裂纹扩展路径	447



19.3.4	加载与求解.....	448
19.3.5	后处理.....	450
19.4	本章小结.....	452
第 20 章 疲劳分析.....		453
20.1	概述.....	453
20.2	疲劳分析过程.....	454
20.2.1	疲劳分析过程介绍.....	454
20.2.2	疲劳分析命令流样式.....	463
20.3	疲劳分析算例.....	463
20.3.1	问题描述与分析.....	463
20.3.2	前处理.....	463
20.3.3	加载与求解.....	465
20.3.4	查看结果.....	467
20.3.5	疲劳计算.....	468
20.4	本章小结.....	470
第 21 章 梁壳分析.....		471
21.1	概述.....	471
21.1.1	梁分析概述.....	471
21.1.2	壳分析概述.....	472
21.2	梁单元建模分析.....	472
21.2.1	创建梁截面.....	474
21.2.2	使用非线性及复合材料梁截面.....	477
21.3	壳单元建模分析.....	480
21.3.1	普通壳截面.....	481
21.3.2	合成壳截面.....	483
21.4	梁单元分析算例.....	484
21.4.1	问题描述与分析.....	484
21.4.2	前处理.....	484
21.4.3	加载与求解.....	489
21.4.4	后处理.....	490
21.5	壳单元分析算例.....	491
21.5.1	问题分析与描述.....	491
21.5.2	前处理.....	491
21.5.3	加载与求解.....	494
21.5.4	后处理.....	494
21.6	本章小结.....	495
第 22 章 复合材料分析.....		496
22.1	复合材料分析过程.....	496
22.1.1	单元选择.....	496
22.1.2	定义材料构造.....	497