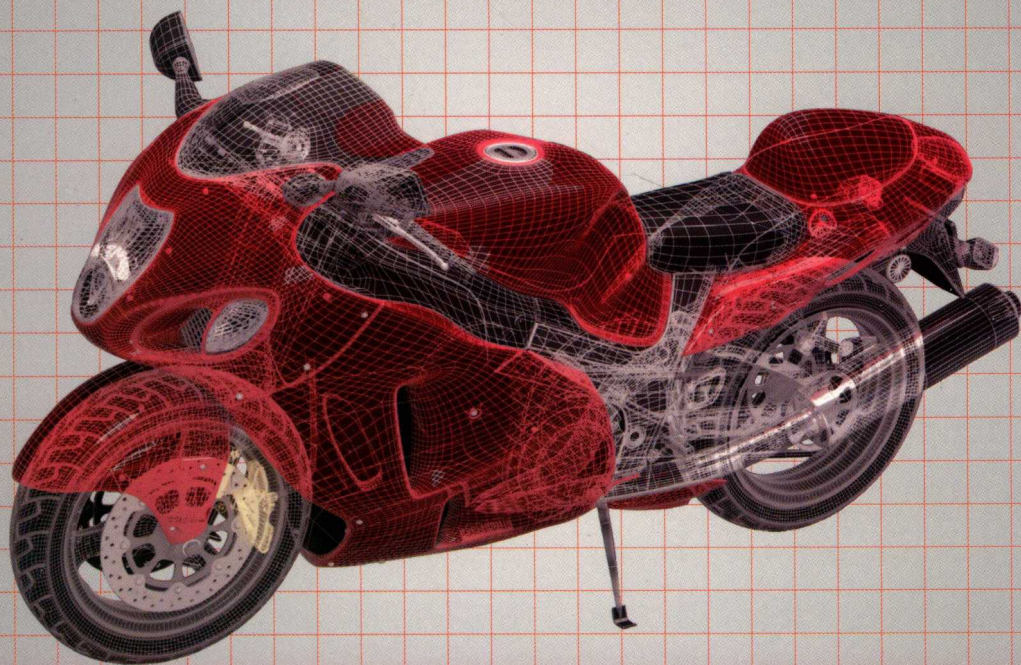


全面揭秘 **ANSYS** 技术内幕 更全面、更深入、更系统的**自学宝典**



# ANSYS

## 19.0 有限元分析

# 完全自学手册




黄志刚 许玢 等 / 编著

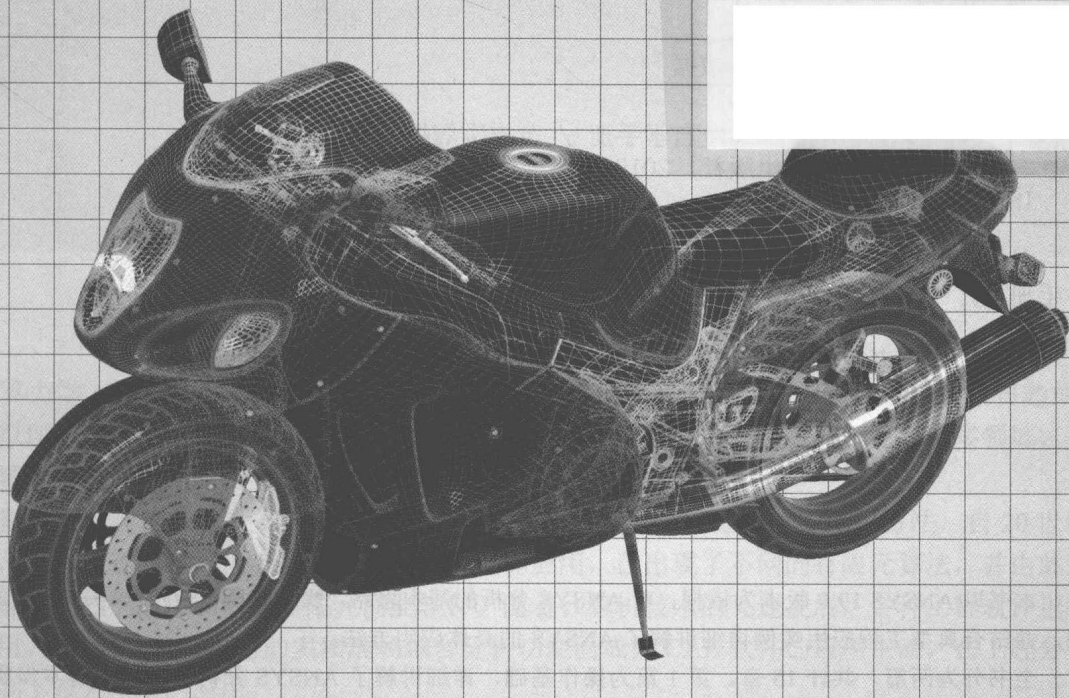
**知识点全覆盖** /// 轻松掌握 ANSYS 静力学分析、模态分析、谐响应分析、非线性分析、结构屈曲分析、谱分析、瞬态动力学分析等功能

**实例深度解析** /// 15 章案例的**命令流文件**, 直接上手操作, 动手会才是真学会

**视频配套教学** /// 扫码观看 35 段同步指导**视频**, **高效学习法**帮助读者快速上手

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



# ANSYS

## 19.0 有限元分析

# 完全自学

黄志刚 许玢 等 / 编著

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 19.0有限元分析完全自学手册 / 黄志刚等编  
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2019.5  
ISBN 978-7-115-50528-6

I. ①A… II. ①黄… III. ①有限元分析—应用软件—手册 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第002225号

## 内 容 提 要

本书以 ANSYS 19.0 版本为依据, 对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍, 并结合典型工程应用实例详细讲解了 ANSYS 的具体应用方法。

全书分为两篇, 共计 15 章。第 1 篇为操作基础, 详细讲解了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法, 包括 ANSYS 概述、几何建模、划分网格、施加载荷、求解和后处理等内容。第 2 篇为专题实例, 按不同的分析专题讲解了参数设置方法与技巧, 包括静力学分析、模态分析、谐响应分析、非线性分析、结构屈曲分析、谱分析、瞬态动力学分析、接触问题分析、高级分析等内容。

本书适用于 ANSYS 软件的初中级用户, 以及有初步使用经验的技术人员; 本书可作为理工院校相关专业的本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的培训教材, 也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

---

◆ 编 著 黄志刚 许 玢 等

责任编辑 俞 彬

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京天宇星印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 31.25

字数: 853 千字

印数: 1—2 500 册

2019 年 5 月第 1 版

2019 年 5 月北京第 1 次印刷

---

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

计算力学、计算数学、工程管理学特别是信息技术的飞速发展，使得数值模拟技术日趋成熟。数值模拟现已广泛应用到土木、机械、电子、能源、冶金、国防军工和航天航空等诸多领域，并对这些领域产生了深远影响。

有限单元法作为数值计算方法中在工程分析领域应用较为广泛的一种计算方法，自 20 世纪中叶以来，以其独有的计算优势得到了广泛的发展和應用，已出现了不同的有限元算法，并由此产生了一批非常成熟的通用和专业有限元商业软件。随着计算机技术的飞速发展，各种工程软件也得以广泛应用。ANSYS 软件以它的多物理场耦合分析功能而成为 CAE 软件的应用主流，在工程分析应用中得到了较为广泛的应用。

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析 (FEA) 软件，它是世界范围内增长较快的 CAE 软件，能够进行包括结构、热、声、流体以及电磁场等学科的研究，在核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医药、轻工、地矿、水利及日用家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 的功能强大，操作简单方便，是国际上流行的有限元分析软件。目前，中国 500 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或作为标准教学软件。

本书以 ANSYS 19.0 版本为依据，对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍，并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 的具体应用方法。

本书尽量避开了繁琐的理论描述，从实际应用出发，结合编著者使用该软件的经验讲解，实例部分采用 GUI 方式一步一步地对操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令，在每个实例的后面列出了分析过程的命令流文件。

全书分为两篇，共计 15 章。第 1 篇为操作基础，详细讲解了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法，共分为 6 章：第 1 章讲解 ANSYS 概述；第 2 章讲解几何建模；第 3 章讲解划分网格；第 4 章讲解施加载荷；第 5 章讲解求解；第 6 章讲解后处理。第 2 篇为专题实例，按不同的分析专题讲解了参数设置方法与技巧，共分为 9 章：第 7 章讲解静力学分析；第 8 章讲解模态分析；第 9 章讲解谐响应分析；第 10 章讲解非线性分析；第 11 章讲解结构屈曲分析；第 12 章讲解谱分析；第 13 章讲解瞬态动力学分析；第 14 章讲解接触问题分析；第 15 章讲解高级分析。

本书除利用传统的书面讲解外，随书配送了丰富的数字资源。扫描“资源下载”二维码即可获得下载方式。资源包含全书讲解实例和练习实例的源文件素材，并制作了全程实例动画同步视频文件。



资源下载

为了方便读者学习，本书以二维码的形式提供了全书视频课程，扫描“云课”二维码，即可观看全书视频，也可扫描正文中的二维码观看对应章节的视频。



云课

提示：关注“职场研究社”公众号，回复关键词“50528”，即可获得所有资源的获取方式。

本书由华东交通大学教材基金资助，华东交通大学机电学院机械设计教研室的黄志刚、许玢两位老师主编，贾雪艳、李津、沈晓玲、钟礼东、孟飞 5 位老师也参与部分章节的编写，其中黄志刚编写了第 1~4 章，许玢编写了第 5~7 章，贾雪艳编写了第 8、9 章，李津编写了第 10、11 章，沈晓玲编写了第 12、13 章，钟礼东编写了第 14 章，孟飞编写了第 15 章；此外康士廷、胡仁喜等同志参加了资料整理和编排工作。在此编著者向他们表示衷心的感谢。

本书适用于 ANSYS 软件的初、中级用户，以及有初步使用经验的技术人员；本书可作为理工院校相关专业的本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的培训教材，也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。另外，由于时间仓促，加之作者的水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教，联系 [renruichi@ptpress.com.cn](mailto:renruichi@ptpress.com.cn) 批评指正。

编者

2019 年 1 月

### 第 1 篇 操作基础

<b>第 1 章 ANSYS 概述</b> .....	<b>3</b>
1.1 有限单元法简介 .....	4
1.1.1 CAE 软件简介 .....	4
1.1.2 有限单元法的基本概念 .....	5
1.2 工业 ANSYS 简介 .....	7
1.2.1 ANSYS 的发展 .....	7
1.2.2 ANSYS 的功能 .....	7
1.3 ANSYS 19.0 的启动及界面 .....	9
1.3.1 设置运行环境 .....	9
1.3.2 启动与退出 .....	10
1.3.3 ANSYS 19.0 的图形用户界面 .....	12
1.4 程序结构 .....	14
1.4.1 处理器 .....	14
1.4.2 文件格式 .....	14
1.4.3 输入方式 .....	14
1.4.4 输出文件类型 .....	15
1.5 ANSYS 分析的基本过程 .....	15
1.5.1 前处理 .....	15
1.5.2 加载并求解 .....	16
1.5.3 后处理 .....	16
1.5.4 实例——齿轮泵齿轮静力分析 .....	16
1.6 本章小结 .....	18
<b>第 2 章 几何建模</b> .....	<b>19</b>
2.1 坐标系简介 .....	20
2.1.1 总体和局部坐标系 .....	20

2.1.2	显示坐标系 .....	22
2.1.3	节点坐标系 .....	22
2.1.4	单元坐标系 .....	23
2.1.5	结果坐标系 .....	23
2.1.6	实例——坐标系创建 .....	24
<b>2.2</b>	<b>工作平面的使用和操作 .....</b>	<b>26</b>
2.2.1	定义一个新的工作平面 .....	27
2.2.2	控制工作平面的显示和样式 .....	27
2.2.3	移动工作平面 .....	27
2.2.4	旋转工作平面 .....	27
2.2.5	还原一个已定义的工作平面 .....	28
2.2.6	工作平面的高级用途 .....	28
2.2.7	实例——工作平面创建 .....	30
<b>2.3</b>	<b>布尔操作 .....</b>	<b>32</b>
2.3.1	布尔运算操作 .....	32
2.3.2	布尔运算的设置 .....	33
2.3.3	布尔运算之后的图元编号 .....	33
2.3.4	交运算 .....	33
2.3.5	两两相交运算 .....	35
2.3.6	加运算 .....	35
2.3.7	减运算 .....	36
2.3.8	搭接运算 .....	37
2.3.9	分割运算 .....	37
2.3.10	粘接运算 .....	38
2.3.11	实例——布尔操作 .....	38
<b>2.4</b>	<b>自底向上创建几何模型 .....</b>	<b>41</b>
2.4.1	关键点 .....	41
2.4.2	实例——关键点创建 .....	43
2.4.3	硬点 .....	44
2.4.4	线 .....	45
2.4.5	面 .....	47
2.4.6	体 .....	48
2.4.7	实例——自底向上建模 .....	50
<b>2.5</b>	<b>自顶向下创建几何模型 .....</b>	<b>58</b>
2.5.1	创建面体素 .....	58
2.5.2	创建实体体素 .....	59

2.5.3	实例——自顶向下建模	60
2.6	移动、复制和缩放几何模型	69
2.6.1	移动和复制	69
2.6.2	拖曳和旋转	70
2.6.3	按照样本生成图元	70
2.6.4	由对称映像生成图元	71
2.6.5	将样本图元转换坐标系	71
2.6.6	实体模型图元的缩放	71
2.6.7	修改模型（清除和删除）	72
2.7	几何模型导入到 ANSYS	72
2.7.1	输入 IGES 单一实体	73
2.7.2	输入 SAT 单一实体	75
2.7.3	输入 SAT 实体集合	78
2.7.4	输入 Parasolid 单一实体	81
2.7.5	输入 Parasolid 实体集合	83
2.8	综合实例——齿轮泵齿轮的建模	84
2.9	本章小结	96
<b>第 3 章</b>	<b>划分网格</b>	<b>97</b>
3.1	有限元网格概论	98
3.2	设定单元属性	98
3.2.1	生成单元属性表	98
3.2.2	在划分网格之前分配单元属性	99
3.2.3	实例——设定单元属性	101
3.3	网格划分的控制	104
3.3.1	ANSYS 网格划分工具（MeshTool）	104
3.3.2	映射网格划分中单元的默认尺寸	106
3.3.3	局部网格划分控制	107
3.3.4	内部网格划分控制	108
3.3.5	生成过渡棱锥单元	109
3.3.6	将退化的四面体单元转化为非退化的形式	110
3.3.7	执行层网格划分	110
3.3.8	实例——网格划分控制	111
3.4	自由网格划分和映射网格划分控制	113
3.4.1	自由网格划分	113
3.4.2	映射网格划分	114



3.5	给实体模型划分有限元网格 .....	119
3.5.1	用 xMESH 命令生成网格 .....	119
3.5.2	生成带方向节点的梁单元网格 .....	119
3.5.3	在分界线或分界面处生成单位厚度的界面单元 .....	120
3.6	延伸和扫略生成有限元模型 .....	121
3.6.1	延伸 (Extrude) 生成网格 .....	121
3.6.2	扫略 (VSWEEP) 生成网格 .....	123
3.7	修正有限元模型 .....	125
3.7.1	局部细化网格 .....	125
3.7.2	移动和复制节点和单元 .....	127
3.7.3	控制面、线和单元的法向 .....	128
3.7.4	修改单元属性 .....	129
3.8	编号控制 .....	129
3.8.1	合并重复项 .....	130
3.8.2	编号压缩 .....	131
3.8.3	设定起始编号 .....	131
3.8.4	编号偏差 .....	132
3.9	综合实例——齿轮泵齿轮模型网格划分 .....	132
3.10	本章小结 .....	136
<b>第 4 章</b>	<b>施加载荷 .....</b>	<b>138</b>
4.1	载荷概论 .....	139
4.1.1	什么是载荷 .....	139
4.1.2	载荷步、子步和平衡迭代 .....	140
4.1.3	时间参数 .....	140
4.1.4	阶跃载荷与坡道载荷 .....	141
4.2	施加载荷方法 .....	142
4.2.1	实体模型载荷与有限单元载荷 .....	142
4.2.2	施加不同类型载荷 .....	143
4.2.3	利用表格来施加载荷 .....	148
4.2.4	轴对称载荷与反作用力 .....	150
4.2.5	利用函数来施加载荷和边界条件 .....	151
4.3	设定载荷步选项 .....	152
4.3.1	通用选项 .....	152
4.3.2	非线性选项 .....	155
4.3.3	动力学分析选项 .....	156

4.3.4	输出控制	156
4.3.5	Biot-Savart 选项	157
4.3.6	谱分析选项	157
4.3.7	创建多载荷步文件	158
4.4	综合实例——齿轮泵齿轮模型载荷施加	159
4.5	本章小结	162
<b>第 5 章</b>	<b>求解</b>	<b>163</b>
5.1	求解概论	164
5.1.1	使用直接求解法	164
5.1.2	使用稀疏矩阵直接解法求解器	165
5.1.3	使用雅克比共轭梯度法求解器	165
5.1.4	使用不完全分解共轭梯度法求解器	165
5.1.5	使用预条件共轭梯度法求解器	165
5.1.6	使用自动迭代解法选项	166
5.1.7	获得解答	167
5.2	利用特定的求解控制器来指定求解类型	167
5.2.1	使用 Abridged Solution 菜单选项	168
5.2.2	使用求解控制对话框	168
5.3	多载荷步求解	169
5.3.1	多重求解法	169
5.3.2	使用载荷步文件法	170
5.3.3	使用数组参数法 ( 矩阵参数法 )	171
5.4	重新启动分析	172
5.4.1	重新启动一个分析	173
5.4.2	多载荷步文件的重启动分析	176
5.5	预测求解时间和估计文件大小	177
5.5.1	估计运算时间	178
5.5.2	估计文件的大小	178
5.5.3	估计内存需求	178
5.6	综合实例——齿轮泵齿轮模型求解	178
5.7	本章小结	179
<b>第 6 章</b>	<b>后处理</b>	<b>180</b>
6.1	后处理概述	181

6.1.1	后处理定义 .....	181
6.1.2	结果文件 .....	181
6.1.3	后处理可用的数据类型 .....	182
6.2	通用后处理器 (POST1) .....	183
6.2.1	将数据结果读入数据库 .....	183
6.2.2	列表显示结果 .....	189
6.2.3	图像显示结果 .....	194
6.2.4	映射结果到某一路径上 .....	200
6.2.5	表面操作 .....	206
6.2.6	将结果旋转到不同坐标系中显示 .....	209
6.3	时间历程后处理器 (POST26) .....	211
6.3.1	定义和储存 POST26 变量 .....	211
6.3.2	检查变量 .....	213
6.3.3	后处理器 POST26 的其他功能 .....	215
6.4	综合实例——齿轮泵齿轮模型结果后处理 .....	216
6.5	本章小结 .....	222

## 第 2 篇 专题实例

第 7 章	静力学分析 .....	225
7.1	静力学分析介绍 .....	226
7.1.1	结构静力学分析简介 .....	226
7.1.2	静力学分析的类型 .....	227
7.1.3	静力学分析基本步骤 .....	227
7.2	综合实例——钢桁架桥静力受力分析 .....	227
7.2.1	问题的描述 .....	228
7.2.2	建立模型 .....	228
7.2.3	定义边界条件和载荷并求解 .....	236
7.2.4	查看结果 .....	238
7.2.5	命令流实现 .....	242
7.3	综合实例——内六角扳手的静态分析 .....	242
7.3.1	问题的描述 .....	242
7.3.2	建立模型 .....	242
7.3.3	定义边界条件并求解 .....	250

7.3.4	查看结果	253
7.3.5	命令流方式	257
7.4	本章小结	257
<b>第 8 章</b>	<b>模态分析</b>	<b>258</b>
8.1	模态分析概论	259
8.2	模态分析的基本步骤	259
8.2.1	建立模型	259
8.2.2	加载及求解	259
8.2.3	扩展模态	262
8.2.4	观察结果和后处理	264
8.3	综合实例——结构模态分析	264
8.3.1	分析问题	265
8.3.2	建立模型	265
8.3.3	进行模态设置、定义边界条件并求解	271
8.3.4	查看结果	274
8.3.5	命令流实现	277
8.4	综合实例——小发电机转子模态分析	277
8.4.1	分析问题	277
8.4.2	建立模型	278
8.4.3	进行模态设置、定义边界条件并求解	281
8.4.4	查看结果	283
8.4.5	命令流方式	284
8.5	本章小结	284
<b>第 9 章</b>	<b>谐响应分析</b>	<b>285</b>
9.1	谐响应分析概论	286
9.1.1	完全法 ( Full Method )	286
9.1.2	减缩法 ( Reduced Method )	287
9.1.3	模态叠加法 ( Mode Superposition Method )	287
9.1.4	3 种方法的共同局限性	287
9.2	谐响应分析的基本步骤	288
9.2.1	建立模型 ( 前处理 )	288
9.2.2	加载和求解	288
9.2.3	观察模型 ( 后处理 )	293
9.3	综合实例——悬臂梁谐响应分析	294

9.3.1	分析问题	295
9.3.2	建立模型	295
9.3.3	定义边界条件并求解	299
9.3.4	查看结果	305
9.3.5	命令流方式	307
9.4	综合实例——吉他的谐响应分析	307
9.4.1	分析问题	308
9.4.2	建立模型	308
9.4.3	定义边界条件并求解	313
9.4.4	查看结果	318
9.4.5	命令流方式	320
9.5	本章小结	320
<b>第 10 章</b>	<b>非线性分析</b>	<b>321</b>
10.1	非线性分析概论	322
10.1.1	非线性行为的原因	322
10.1.2	非线性分析的基本信息	323
10.1.3	几何非线性	325
10.1.4	材料非线性	326
10.1.5	其他非线性问题	329
10.2	非线性分析的基本步骤	329
10.2.1	前处理 (建模和分网)	329
10.2.2	设置求解控制器	330
10.2.3	设定其他求解选项	332
10.2.4	加载	333
10.2.5	求解	333
10.2.6	后处理	333
10.3	综合实例——螺栓的蠕变分析	335
10.3.1	问题描述	335
10.3.2	建立模型	335
10.3.3	设置分析并求解	337
10.3.4	查看结果	339
10.3.5	命令流实现	342
10.4	综合实例——材料非线性分析	342
10.4.1	分析问题	343
10.4.2	建立模型	343

10.4.3	定义边界条件并求解 .....	347
10.4.4	查看结果 .....	348
10.4.5	命令流实现 .....	352
10.5	本章小结 .....	352
<b>第 11 章</b>	<b>结构屈曲分析 .....</b>	<b>353</b>
11.1	结构屈曲概论 .....	354
11.2	结构屈曲分析的基本步骤 .....	354
11.2.1	前处理 .....	354
11.2.2	获得静力解 .....	354
11.2.3	获得特征值屈曲解 .....	355
11.2.4	扩展解 .....	356
11.2.5	后处理 (观察结果) .....	357
11.3	综合实例——薄壁圆筒屈曲分析 .....	358
11.3.1	分析问题 .....	358
11.3.2	建立模型 .....	358
11.3.3	求解 .....	361
11.3.4	查看结果 .....	364
11.3.5	命令流 .....	364
11.4	综合实例——桁架结构屈曲分析 .....	365
11.4.1	问题描述 .....	365
11.4.2	建立模型 .....	365
11.4.3	求解 .....	369
11.4.4	查看结果 .....	372
11.4.5	命令流实现 .....	377
11.5	本章小结 .....	377
<b>第 12 章</b>	<b>谱分析 .....</b>	<b>378</b>
12.1	谱分析概论 .....	379
12.1.1	响应谱 .....	379
12.1.2	动力设计分析方法 (DDAM) .....	379
12.1.3	功率谱密度 (PSD) .....	379
12.2	谱分析的基本步骤 .....	379
12.2.1	前处理 .....	379
12.2.2	模态分析 .....	380

12.2.3	获取谱分析 .....	380
12.2.4	扩展模态 .....	382
12.2.5	合并模态 .....	383
12.2.6	后处理 .....	384
12.3	综合实例——支撑平板的动力效果分析 .....	385
12.3.1	问题描述 .....	386
12.3.2	建立模型 .....	386
12.3.3	进行分析 .....	392
12.3.4	后处理 .....	400
12.3.5	命令流实现 .....	403
12.4	本章小结 .....	403
<b>第 13 章</b>	<b>瞬态动力学分析 .....</b>	<b>404</b>
13.1	瞬态动力学概论 .....	405
13.1.1	完全法 ( Full Method ) .....	405
13.1.2	模态叠加法 ( Mode Superposition Method ) .....	405
13.1.3	减缩法 ( Reduced Method ) .....	406
13.2	瞬态动力学的基本步骤 .....	406
13.2.1	前处理 ( 建模和分网 ) .....	406
13.2.2	建立初始条件 .....	406
13.2.3	设定求解控制器 .....	407
13.2.4	设定其他求解选项 .....	409
13.2.5	施加载荷 .....	409
13.2.6	设定多载荷步 .....	410
13.2.7	瞬态求解 .....	411
13.2.8	后处理 .....	411
13.3	综合实例——瞬态动力学分析 .....	413
13.3.1	分析问题 .....	414
13.3.2	建立模型 .....	415
13.3.3	进行瞬态动力学分析设置、定义边界条件并求解 .....	419
13.3.4	查看结果 .....	423
13.3.5	命令流实现 .....	425
13.4	综合实例——哥伦布阻尼的自由振动分析 .....	425
13.4.1	问题描述 .....	426
13.4.2	建立模型 .....	426
13.4.3	进行瞬态动力学分析设置、定义边界条件并求解 .....	429

13.4.4	查看结果 .....	432
13.4.5	命令流方式 .....	436
13.5	本章小结 .....	436
<b>第 14 章</b>	<b>接触问题分析 .....</b>	<b>437</b>
14.1	接触问题概论 .....	438
14.1.1	一般分类 .....	438
14.1.2	接触单元 .....	438
14.2	接触分析的步骤 .....	439
14.2.1	建立模型, 并划分网格 .....	439
14.2.2	识别接触对 .....	440
14.2.3	定义刚性目标面 .....	440
14.2.4	定义柔性体的接触面 .....	441
14.2.5	设置实常数和单元关键点 .....	443
14.2.6	控制刚性目标的运动 .....	444
14.2.7	给变形体单元施加必要的边界条件 .....	444
14.2.8	定义求解和载荷步选项 .....	444
14.2.9	求解 .....	446
14.2.10	检查结果 .....	446
14.3	综合实例——陶瓷套管的接触分析 .....	447
14.3.1	问题描述 .....	447
14.3.2	建立模型并划分网格 .....	447
14.3.3	定义边界条件并求解 .....	453
14.3.4	后处理 .....	457
14.3.5	命令流实现 .....	460
14.4	本章小结 .....	460
<b>第 15 章</b>	<b>高级分析 .....</b>	<b>461</b>
15.1	自适应网格划分 .....	462
15.1.1	自适应网格划分的条件 .....	462
15.1.2	自适应网格划分的过程 .....	462
15.2	综合实例——平板受热分析 .....	464
15.2.1	问题描述 .....	464
15.2.2	建立模型 .....	465
15.2.3	定义边界条件并求解 .....	468



15.2.4	查看结果 .....	470
15.2.5	命令流 .....	471
15.3	子模型 .....	471
15.3.1	子模型介绍 .....	471
15.3.2	子模型方法 .....	471
15.3.3	子模型过程 .....	472
15.4	参数化设计语言 .....	475
15.4.1	参数化设计语言介绍 .....	475
15.4.2	参数化设计语言的功能 .....	475
15.5	综合实例——悬臂梁 .....	477
15.5.1	分析问题 .....	478
15.5.2	建立模型 .....	478
15.5.3	定义边界条件并求解 .....	480
15.5.4	命令流 .....	482
15.6	本章小结 .....	482