

ANSYS 14 完全自学一本通

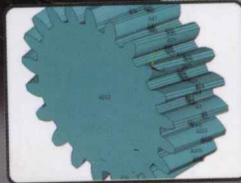
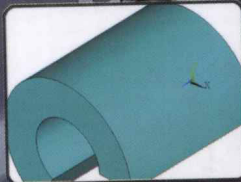


陈艳霞 林金宝 / 编著
飞思数字创意出版中心 / 监制

■ **注重实战**：展示工业设计专家多年一线设计经验
■ **以练促学**：38个操作实例，提高实战技能

■ **知识全面**：62个关键知识点讲解，授人以渔
■ **综合演练**：19个分析专题，掌握一线设计

升级版
SHENGJIBAN



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

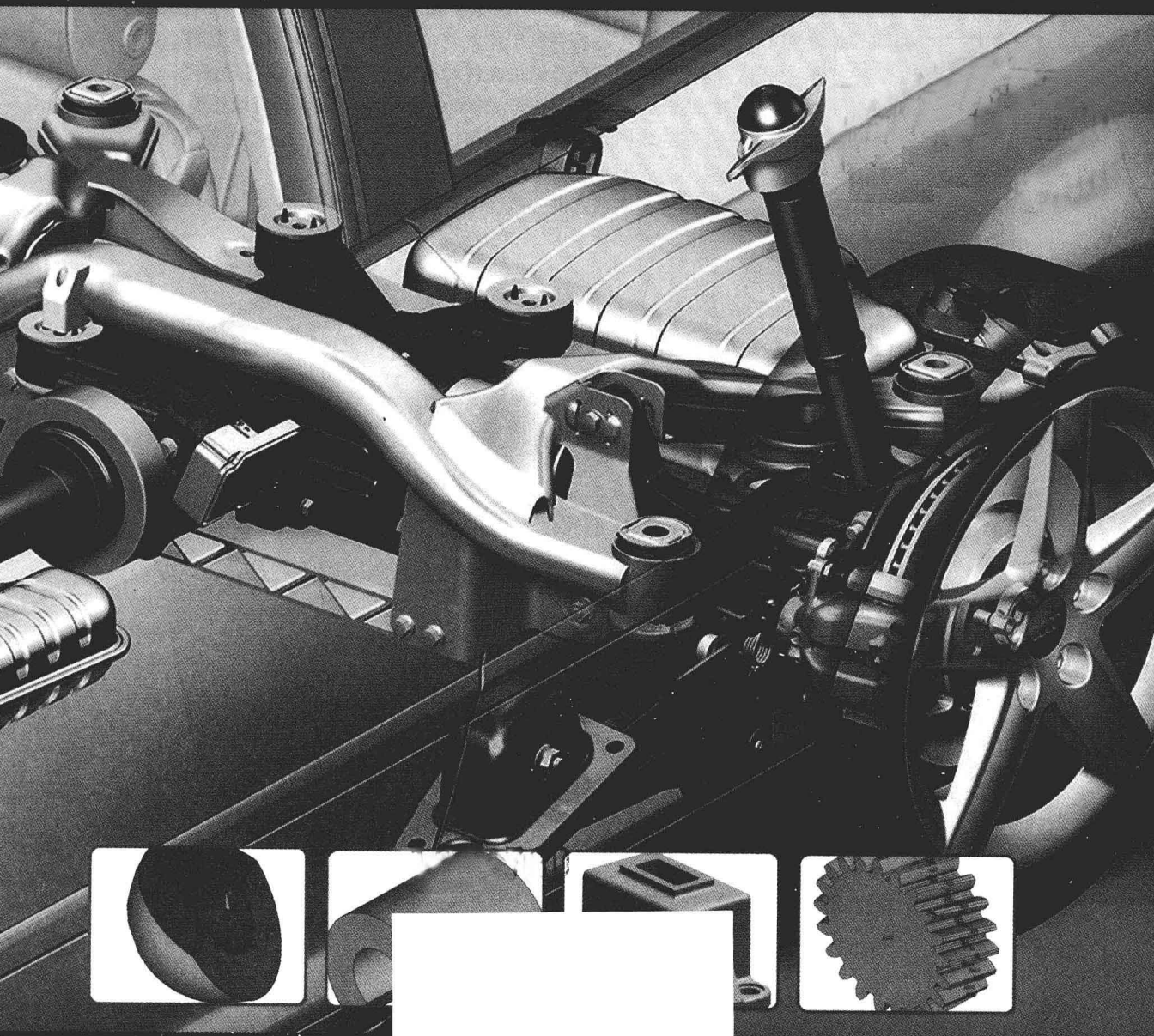
38个应用案例
19个分析专题，掌握一线设计

ANSYS 14

完全自学

一本通

陈艳霞 林金宝 / 编著
飞思数字创意出版中心 / 监制



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是针对最新版本 ANSYS 14 在工程分析中的应用进行编写的。根据内容的侧重点不同,全书可分为基础、专题两个部分。基础部分是按照 ANSYS 有限元分析的基本流程和基础操作,将有关知识分为 6 章,分别为 ANSYS 基础操作入门、几何建模、建立有限元模型、加载与求解、后处理及 ANSYS 参数化处理。专题部分是按照 ANSYS 中进行分析的对象与目的不同,将有关的结构基础分析知识分为 20 个专题,并分别在 20 个章节中说明。通过这 20 章的学习,用户能掌握使用 ANSYS 进行分析的基础方法,形成结构分析的整体概念,并能完成大多数结构工程问题模型的分析任务。

为了使用户能够更好地操作 ANSYS,本书中对所有的算例的命令流都进行了注释,而且将命令流放在比 GUI 交互更重要的位置上进行说明。这样也将有助于用户将 ANSYS 视为专业编程软件,利用已有的编程知识快速入门与提高。另外,所有的算例模型及结果文件均刻制在光盘上,供用户参考。

本书是一本理想的自学参考书,适合广大 ANSYS 初、中级读者学习使用。既可以作为大中专院校的研究生、本科生相关专业,以及社会有关培训班的教材,也可以作为工程设计人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 14 完全自学一本通 / 陈艳霞, 林金宝编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.1

ISBN 978-7-121-18833-6

I. ①A... II. ①陈... ②林... III. ①有限元分析—应用程序 IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 257645 号

策划编辑: 孔德喜

责任编辑: 王树伟

特约编辑: 赵树刚

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 46.5 字数: 1190 千字

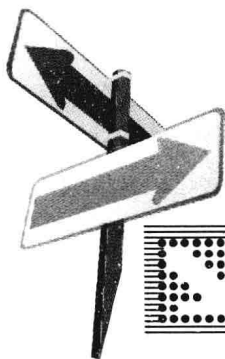
印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 89.80 元 (含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



ANSYS 14 是 2011 年年底推出的最新版本，它为工程分析提供了充分的分析手段。目前，ANSYS 已经在很多领域得到了应用，结构分析领域无疑是 ANSYS 应用的成功案例之一。本书针对 ANSYS 在结构分析领域成功应用的结果及国内机械类、土木类等领域急需进行结构工程分析的专业人才的需求，编写了本书。

本书分为两部分共 26 章，第一部分为基础部分（第 1~6 章），第二部分为专题部分（第 7~26 章），各章内容简单介绍如下。

第 1 章：ANSYS 基础操作入门。主要介绍 ANSYS 图形用户界面、使用环境、选取操作和分析基本流程等内容，主要为 ANSYS 新用户介绍部分基础知识。

第 2 章：几何建模。主要介绍坐标系、工作平面、几何建模等。在几何建模部分，详细介绍了关键点、硬点、线、面、体的创建、一般操作和布尔操作的命令方式和 GUI 方式。另外，还通过案例说明了从其他 CAD 软件建立的模型导入到 ANSYS 中的方法。

第 3 章：建立有限元模型。主要介绍建立有限元模型的相关内容，包括几何模型网格划分、直接生成网格单元和耦合与约束方程等内容。

第 4 章：加载与求解。主要介绍加载与求解过程相关的设置和内容，为了进行合理地加载，首先介绍了对象选取相关内容；在加载相关内容中，详细讲解了加载过程、施载对象、载荷类型、载荷步设置和施载方式等内容；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 5 章：后处理。主要介绍在通用后处理器和时间历程后处理器进行结果处理的方法，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；在时间历程后处理器中，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。

第 6 章：ANSYS 参数化处理。主要介绍标量参数和数组参数的使用、参数表达式和参数的函数处理方法，以及 APDL 设计语言中宏的调用、无条件转移控制、条件转移控制、重复操作和循环等方面的内容。

第 7 章：线性静力学分析。主要介绍线性静力学分析的相关理论和分析过程，并通过算例详细说明了分析过程。

第 8 章：非线性分析。主要介绍非线性分析的种类及其相关内容，并通过算例比较了在几何非线性条件下结构的响应与线性条件下结构的响应的区别，还通过算例分析了非线性材料在外力作用下的响应情况。

第 9 章：屈曲分析。主要介绍线性屈曲分析和非线性屈曲分析，并通过算例对这两种方法的分析过程进行了说明，并对结果进行了简单对比。

第 10 章：模态分析。主要介绍模态分析的相关理论与模态分析过程，并通过算例分别说明了简单模型、实体模型和循环对称结构模态分析的基本步骤。

第 11 章：谐响应分析。主要介绍用完全法、缩减法和模态叠加法求解谐响应分析的基本过程，并通过算例分析对分析过程进行了说明。

第 12 章：瞬态分析。主要介绍使用完全法、缩减法和模态叠加法求解瞬态分析的基本过程，并通过算例分析对分析过程进行了说明。

第 13 章：谱分析。主要介绍单点响应谱分析、多点响应谱分析和功率谱密度分析等 3 类谱分析的方法，并通过算例分析对分析过程进行了说明。

第 14 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模态分析。

第 15 章：密封垫片分析。主要介绍密封垫片类材料分析过程、单元类型、材料属性和建模方法，并使用算例进行了说明。

第 16 章：断裂分析。主要介绍断裂参数 J 积分、能量释放率和应力密度的计算方法和断裂区域建模方法，并使用算例进行了说明。

第 17 章：脱落分析。主要介绍基于接口单元或基于接触单元的建模方式，并使用算例对基于 VCCT 法分析和基于接触单元建立的裂纹扩展模型的脱落分析过程进行了说明。

第 18 章：复合材料分析。主要介绍复合材料支持的单元、构造、失效准则等，并使用算例对复合材料壳单元和实体单元的建模分析过程进行了说明。

第 19 章：疲劳分析。主要介绍疲劳计算的参数设置和疲劳分析过程，并使用算例对疲劳分析过程进行了说明。

第 20 章：梁单元模型分析。主要介绍主要介绍梁单元的截面构造及建模过程，并使用算例对不同的梁单元截面建立的模型进行了分析和说明。

第 21 章：壳单元模型分析。主要介绍壳单元的截面构造及建模过程，并使用算例对不同的壳单元截面建立的模型进行了分析和说明。

第 22 章：强化材料建模分析。主要介绍离散强化和层片强化的建模方式及分析过程，并使用算例对两种强化方式进行了说明。

第 23 章：接触分析。主要介绍接触分析的交互工具、单元类型，以及多种接触类型的分析过程，包括面面接触、点面接触、梁梁接触、线面接触、点点接触和多点约束和装配等，并使用算例对面面接触分析过程进行了说明。

第 24 章：多体运动学分析。主要介绍多体运动学分析过程、柔体建模、刚体建模、连接部件单元及其使用，并使用算例对多体运动学的分析过程进行了说明。

第 25 章：热分析。主要介绍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、稳态热分析和瞬态热分析的分析过程，并通过两个算例分别对稳态热分析和

瞬态热分析的分析过程进行了说明。

第 26 章：DesignXplorer 设计优化。主要介绍使用 DesignXplorer 进行设计的基本操作、支持 DesignXplorer 设计的单元类型及其参数，并通过板厚优化设计算例，简单说明了优化设计的过程。

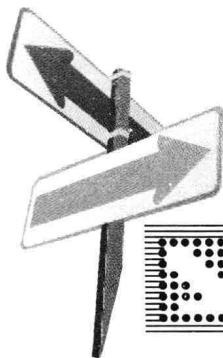
本书由陈艳霞、林金宝编著，其中第 1~6、14~23 章由陈艳霞编写，第 7~13，24~26 章由林金宝编写，参与编写的还有丁金滨、张卫东、白明辉、王淑明、王俊峰、陈丹、吕小军、高静、张少华、吴永福、程国华、石良臣等。由于作者水平和编写时间有限，书中欠妥错误之处在所难免。作者真诚希望广大读者朋友和各位同仁能够及时指出书中任何需要修改的地方，共同促进本书质量的提高。最后，在此与大家共勉！

编者邮箱：comshu@126.com

官方网址：www.ourcax.com

编著者

2012 年 8 月



目录

第 1 章 ANSYS 基础操作入门	1
1.1 ANSYS 图形用户界面	2
1.1.1 GUI 布局	2
1.1.2 GUI 使用介绍	3
1.1.3 对话框组件介绍	7
1.2 ANSYS 使用环境	9
1.2.1 程序处理器	9
1.2.2 ANSYS 数据库	10
1.2.3 ANSYS 文件	11
1.2.4 ANSYS 启动和交互	13
1.3 图形化选取	15
1.3.1 鼠标按键选择功能分配	16
1.3.2 空间选取和实体选取	16
1.3.3 查询选取	17
1.4 ANSYS 分析入门	18
1.5 实例：添加 Tiff 格式照片输出快捷按钮设置	19
1.6 本章小结	21
第 2 章 几何建模	23
2.1 ANSYS 建模概述	24
2.2 坐标系	25
2.2.1 全局坐标系	25
2.2.2 局部坐标系	26
2.2.3 节点坐标系	30
2.2.4 其他坐标系	32
2.3 工作平面	33
2.3.1 创建工作平面	34
2.3.2 工作平面操作	36
2.4 几何建模	38
2.4.1 图元基本操作	38
2.4.2 几何建模通用操作	73
2.4.3 布尔操作	79



CONTENTS

2.4.4 查看几何模型性质	83
2.5 实例：斜齿轮几何建模	83
2.6 模型文件导入	88
2.7 本章小结	91
第3章 建立有限元模型	93
3.1 几何模型网格划分	94
3.1.1 划分方式	94
3.1.2 定义单元属性	94
3.1.3 网格划分控制	101
3.1.4 网格划分	113
3.1.5 网格检查与修改	116
3.1.6 螺栓网格划分	119
3.2 直接生成网格单元简介	122
3.3 耦合与约束方程	122
3.3.1 耦合	122
3.3.2 约束方程	125
3.4 本章小结	127
第4章 加载与求解	129
4.1 对象选取与组件、集合	130
4.1.1 对象选取	130
4.1.2 组件与集合	132
4.2 加载	135
4.2.1 加载过程	135
4.2.2 施载对象	140
4.2.3 载荷类型	141
4.2.4 载荷步通用设置	154
4.2.5 施加载荷方式	155
4.3 求解	157
4.3.1 分析类型	158
4.3.2 求解器	159
4.3.3 求解与输出	161
4.3.4 多载荷步求解	162
4.3.5 重启动分析	163
4.4 本章小结	164
第5章 后处理	165
5.1 后处理概述	166
5.1.1 后处理器类型	166



5.1.2	结果文件	166
5.1.3	后处理中的数据	166
5.2	通用后处理器 (POST1)	167
5.2.1	读取结果数据	167
5.2.2	图形方式查看结果	170
5.2.3	面操作	179
5.2.4	列表显示结果	187
5.2.5	将结果映射到路径	189
5.2.6	结果查看器	192
5.2.7	部分其他操作	192
5.3	时间历程后处理器 (POST26)	192
5.3.1	时间历程变量查看器	193
5.3.2	定义变量	193
5.3.3	变量数据运算操作	196
5.3.4	查看变量	197
5.4	本章小结	199
第 6 章	ANSYS 参数化处理	201
6.1	APDL 概述	202
6.2	使用参数	202
6.2.1	标量参数	202
6.2.2	数组参数	204
6.2.3	参数表达式	209
6.2.4	函数处理	209
6.3	APDL 程序控制	209
6.3.1	宏的调用	210
6.3.2	无条件转移控制	210
6.3.3	条件转移控制	211
6.3.4	重复操作	211
6.3.5	循环	212
6.4	本章小结	212
第 7 章	线性静力学分析	213
7.1	线性静力学分析概述	214
7.1.1	线性结构力学知识基础	214
7.1.2	有限元模型属性	216
7.2	线性静力学分析过程	218
7.2.1	前处理	218
7.2.2	加载求解	219
7.2.3	后处理	219

7.3	算例 1: 非均匀截面梁受扭矩分析	219
7.3.1	问题描述与分析	219
7.3.2	前处理	220
7.3.3	加载与求解	223
7.3.4	后处理	224
7.4	算例 2: 开孔板应力集中分析	225
7.4.1	问题描述与分析	225
7.4.2	前处理	226
7.4.3	加载与求解	230
7.4.4	后处理	232
7.5	算例 3: 各向异性材料与热膨胀	236
7.5.1	问题描述与分析	236
7.5.2	前处理	237
7.5.3	加载与求解	240
7.5.4	后处理	243
7.6	算例 4: 轴对称结构承受函数载荷和角速度	246
7.6.1	问题描述与分析	246
7.6.2	前处理	246
7.6.3	加载与求解	250
7.6.4	后处理	251
7.7	本章小结	255
第 8 章	非线性分析	257
8.1	非线性分析概述	258
8.1.1	几何非线性	258
8.1.2	材料非线性	260
8.2	静态非线性分析基本过程	261
8.2.1	前处理	261
8.2.2	加载与求解	266
8.2.3	后处理	267
8.3	算例 1: 桁架大变形分析	269
8.3.1	问题描述与分析	269
8.3.2	前处理	269
8.3.3	加载与求解	274
8.3.4	后处理	276
8.4	算例 2: 多线性各向同性强化材料应力—应变分析	278
8.4.1	问题描述与分析	278
8.4.2	前处理	278
8.4.3	加载与求解	282
8.4.4	后处理	284



8.5	本章小结	286
第 9 章	屈曲分析	287
9.1	屈曲分析概述	288
9.2	线性屈曲分析步骤	289
9.2.1	前处理	289
9.2.2	求取静态解	289
9.2.3	求取屈曲解	289
9.2.4	后处理	291
9.3	非线性屈曲分析步骤	291
9.3.1	前处理	291
9.3.2	加载与求解	291
9.3.3	后处理	292
9.4	算例 1: 中间铰支增强稳定性线性分析	292
9.4.1	问题描述与分析	292
9.4.2	前处理	293
9.4.3	求取静态解	297
9.4.4	求取屈曲解	299
9.4.5	后处理	300
9.5	算例 2: 中间铰支增强稳定性非线性分析	300
9.5.1	问题描述与分析	300
9.4.2	前处理	301
9.4.3	加载与求解	301
9.4.4	后处理	303
9.6	本章小结	306
第 10 章	模态分析	307
10.1	模态分析概论	308
10.2	模态分析过程	308
10.2.1	前处理	309
10.2.2	加载与求解	309
10.2.3	后处理	314
10.2.4	施加预应力效应	316
10.2.5	循环对称结构的模态分析	317
10.3	算例 1: 带集中质量结构扭振分析	319
10.3.1	问题描述与分析	319
10.3.2	前处理	320
10.3.3	加载与求解	323
10.3.4	后处理	324
10.4	算例 2: 音叉固有频率分析	326

10.4.1	问题描述与分析	326
10.4.2	前处理	326
10.4.3	加载与求解	329
10.4.4	后处理	331
10.5	算例 3: 循环对称结构振动模态分析	332
10.5.1	问题描述与分析	332
10.5.2	前处理	333
10.5.3	加载与求解	337
10.5.4	后处理	339
10.6	本章小结	341
第 11 章	谐响应分析	343
11.1	谐响应分析概论	344
11.1.1	谐响应分析简介	344
11.1.2	谐响应分析理论简介	344
11.2	谐响应分析过程	346
11.2.1	完全法分析过程	347
11.2.2	缩减法分析过程	352
11.2.3	模态叠加法分析过程	354
11.3	算例 1: 机翼谐响应完全法分析	355
11.3.1	问题描述与分析	355
11.3.2	前处理	355
11.3.3	加载与求解	359
11.3.4	后处理	361
11.4	算例 2: 机翼谐响应缩减法分析	363
11.4.1	问题描述与分析	363
11.4.2	前处理	364
11.4.3	模态分析求解	364
11.4.4	谐响应分析求解	365
11.4.5	后处理	366
11.5	算例 3: 机翼谐响应模态叠加法分析	368
11.5.1	问题描述与分析	368
11.5.2	前处理	368
11.5.3	模态分析求解	368
11.5.4	谐响应分析求解	369
11.5.5	后处理	370
11.6	本章小结	371
第 12 章	瞬态分析	373
12.1	瞬态分析概论	374



12.2	瞬态分析过程	377
12.2.1	完全法分析瞬态过程	377
12.2.2	缩减法分析瞬态过程	384
12.2.3	模态叠加法分析瞬态过程	388
12.3	算例 1: 悬板瞬态响应完全法分析	389
12.3.1	问题描述与分析	389
12.3.2	前处理	389
12.3.3	加载与求解	393
12.3.4	后处理	396
12.4	算例 2: 悬板瞬态响应缩减法分析	398
12.4.1	问题描述与分析	398
12.4.2	前处理	398
12.4.3	加载与求解	398
12.4.4	后处理	401
12.5	算例 3: 悬板瞬态响应模态叠加法分析	401
12.5.1	问题描述与分析	401
12.5.2	前处理	401
12.5.3	模态分析求解	402
12.5.4	瞬态分析求解	403
12.5.5	后处理	403
12.6	本章小结	404
第 13 章	谱分析	405
13.1	谱分析概述	406
13.2	谱分析过程	406
13.2.1	单点响应谱分析过程	407
13.2.2	随机振动功率谱密度分析	410
13.3	算例 1: 屋顶单点响应谱分析	415
13.3.1	问题描述与分析	415
13.3.2	前处理	416
13.3.3	模态分析求解	419
13.3.4	谱分析求解	421
13.3.5	后处理	423
13.4	算例 2: 屋顶多点响应谱分析	425
13.4.1	问题描述与分析	425
13.4.2	前处理	425
13.4.3	模态分析求解	425
13.4.4	谱分析求解	425
13.4.5	后处理	427
13.5	算例 3: 屋顶随机振动谱分析	428

13.5.1	问题描述与分析	428
13.5.2	前处理	428
13.5.3	模态分析求解	428
13.5.4	谱分析求解	429
13.5.5	后处理	430
13.6	本章小结	431
第 14 章	线性扰动分析	433
14.1	线性扰动分析概述	434
14.1.1	假设与限制	434
14.1.2	线性扰动分析理论概述	434
14.2	线性扰动分析过程	437
14.2.1	线性扰动模态分析过程	437
14.2.2	线性扰动屈曲分析过程	438
14.2.3	线性扰动谐响应分析过程	438
14.3	算例：线性扰动模态分析	440
14.3.1	问题描述与分析	440
14.3.2	前处理	441
14.3.3	基础分析求解	443
14.3.4	重建刚度矩阵	445
14.3.5	线性扰动模态分析求解	446
14.3.6	后处理	447
14.4	本章小结	448
第 15 章	密封垫片分析	449
15.1	密封垫片分析概述	450
15.2	密封垫片分析过程	450
15.2.1	垫片单元	450
15.2.2	材料定义	452
15.2.3	网格划分	455
15.2.4	求解与查看结果	456
15.3	算例：密封垫片分析	457
15.3.1	问题描述与分析	457
15.3.2	前处理	457
15.3.3	加载与求解	463
15.3.4	后处理	466
15.4	本章小结	468
第 16 章	断裂分析	469
16.1	断裂分析概论	470

16.1.1	断裂模式	470
16.1.2	断裂力学参数计算	470
16.1.3	断裂仿真方法	472
16.2	断裂分析过程	472
16.2.1	J 积分计算过程	473
16.2.2	能量释放率计算过程	478
16.2.3	应力密度系数计算过程	478
16.3	算例：应力集中点断裂分析	480
16.3.1	问题描述与分析	480
16.3.2	前处理	480
16.3.3	静态分析加载	493
16.3.4	设置计算参数	494
16.3.5	求解	495
16.3.6	后处理	495
16.4	本章小结	496
第 17 章	脱落分析	497
17.1	脱落分析过程	498
17.1.1	基于 VCCT 的裂纹扩展仿真	498
17.1.2	基于接口单元的界面脱落建模方式	505
17.1.3	基于接触单元的界面脱落建模方式	510
17.2	算例：基于 VCCT 法的悬臂梁界面开裂分析	510
17.2.1	问题描述与分析	510
17.2.2	前处理	510
17.2.3	设置裂纹扩展路径	516
17.2.4	加载与求解	517
17.2.5	后处理	519
17.3	本章小结	522
第 18 章	复合材料分析	523
18.1	复合材料建模分析过程	524
18.1.1	选择合适的单元类型	524
18.1.2	定义复合材料构造	525
18.1.3	设置失效准则	527
18.1.4	复合材料建模和后处理建议	528
18.2	算例 1：复合材料壳单元分析	530
18.2.1	问题描述与分析	530
18.2.2	前处理	530
18.2.3	加载与求解	534
18.2.4	后处理	535

18.3	算例 2: 复合材料实体单元分析	537
18.3.1	问题描述与分析	537
18.3.2	前处理	537
18.3.3	加载与求解	541
18.3.4	后处理	542
18.4	本章小结	543
第 19 章	疲劳分析	545
19.1	疲劳分析概述	546
19.2	疲劳分析过程	546
19.2.1	疲劳分析操作步骤	547
19.2.2	疲劳分析命令流样式	554
19.3	算例: L 架疲劳分析	555
19.3.1	问题描述与分析	555
19.3.2	前处理	555
19.3.3	加载与求解	558
19.3.4	后处理	561
19.3.5	疲劳计算	561
19.4	本章小结	564
第 20 章	梁单元模型分析	565
20.1	梁单元概述	566
20.2	梁单元建模	566
20.2.1	创建梁截面	568
20.2.2	使用非线性及复合材料梁截面	571
20.3	算例: 复合截面与普通截面梁静力对比分析	574
20.3.1	问题描述与分析	574
20.3.2	前处理	574
20.3.3	加载与求解	580
20.3.4	后处理	581
20.4	本章小结	582
第 21 章	壳单元模型分析	583
21.1	创建壳单元截面过程	584
21.1.1	普通截面	584
21.1.2	合成截面	586
21.2	算例: 复合截面与普通截面壳静力对比分析	587
21.2.1	问题描述与分析	587
21.2.2	前处理	588
21.2.3	加载与求解	591



21.2.4	后处理	592
21.3	本章小结	593
第 22 章	强化材料建模分析	595
22.1	强化材料建模	596
22.2	算例 1: 离散强化分析	597
22.2.1	问题描述与分析	597
22.2.2	前处理	597
22.2.3	加载与求解	602
22.2.4	后处理	603
22.3	算例 2: 层片强化分析	604
22.3.1	问题描述与分析	604
22.3.2	前处理	604
22.3.3	加载与求解	608
22.3.4	后处理	610
22.4	本章小结	611
第 23 章	接触分析	613
23.1	接触概述	614
23.2	GUI 交互工具	615
23.2.1	接触管理器	615
23.2.2	接触向导	616
23.3	面面接触	617
23.3.1	面面接触单元	617
23.3.2	面面接触分析	617
23.4	点面接触	635
23.4.1	点面接触单元	636
23.4.2	点面接触分析	636
23.5	三维梁梁接触分析	637
23.5.1	三维线线接触单元	637
23.5.2	梁梁接触建模	637
23.5.3	三维梁梁接触分析	638
23.6	线面接触	639
23.6.1	线面接触单元	639
23.6.2	线面接触分析	640
23.7	点点接触	640
23.7.1	点点接触单元	640
23.7.2	点点接触分析	640
23.8	多点约束和装配	644
23.8.1	实体-实体装配和壳-壳装配	645