

CAX工程应用丛书

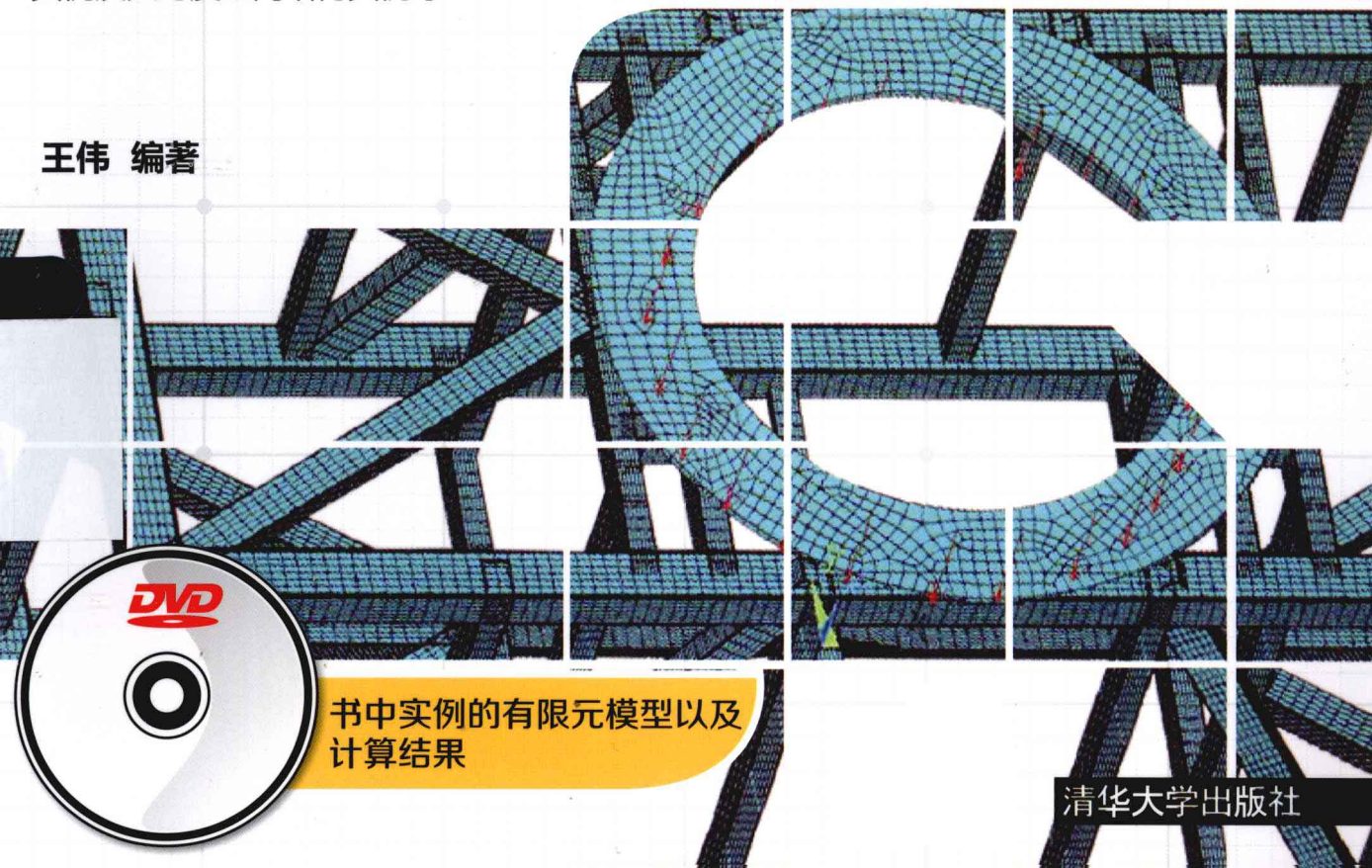
ANSYS 14.0

土木工程有限元分析

从入门到精通

- ▶ 从零开始，详细介绍有限元分析的基础知识及软件操作
- ▶ 结合作者多年应用开发经验，提供丰富的工程实例
- ▶ **主要工程实例**：排架结构实例、钢筋混凝土实例、常见建筑结构体系实例、基础工程实例、边坡问题实例、隧道及地下工程实例、桥梁工程实例、大坝工程实例及大跨度空间结构实例等

王伟 编著



书中实例的有限元模型以及
计算结果

清华大学出版社

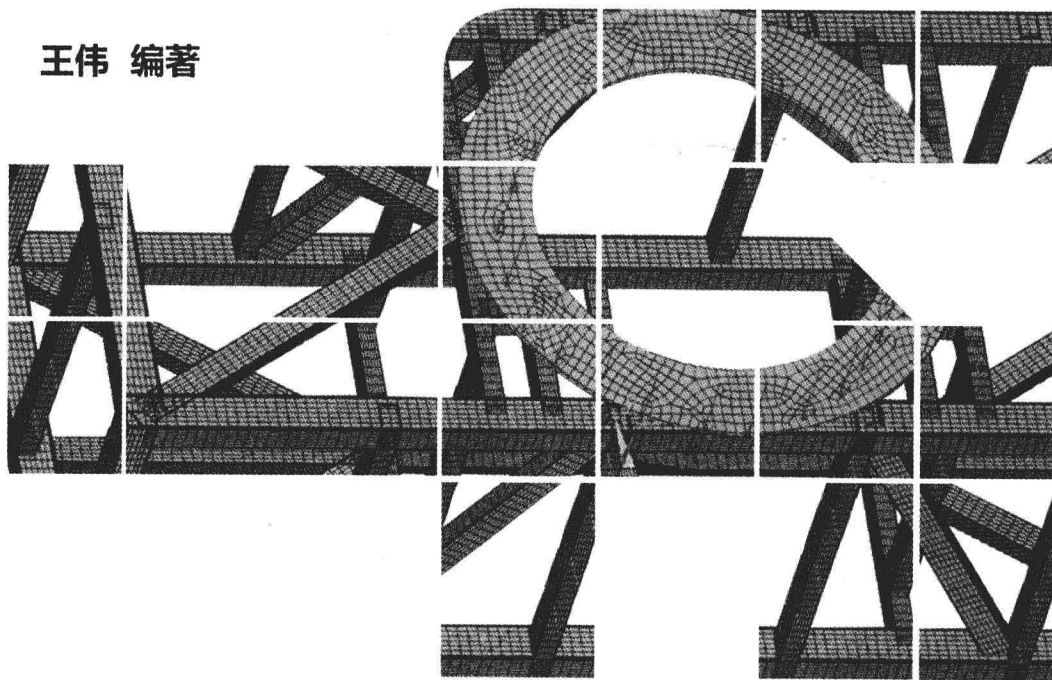
CAX工程应用丛书

ANSYS 14.0

土木工程有限元分析

从入门到精通

王伟 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以有限元分析方法为基础,通过丰富的工程应用实例,详细介绍 ANSYS14.0 在土木工程领域中的应用。本书包括基础篇、进阶篇、应用实例篇共三篇 18 章。通过图形用户界面和命令流方式对不同的工程应用问题进行详细地讲解;其中,基础篇内容包括有限元法概述、ANSYS 系列软件简介、ANSYS 图形界面介绍、ANSYS 文件系统以及 ANSYS 基础操作介绍等;进阶篇对 ANSYS 的 APDL 技术、ANSYS14.0 建模、网格划分、加载及求解、后处理、土木工程常用单元进行了详细讲解。应用实例篇包括简单排架结构实例分析、钢筋混凝土实例分析、常见建筑结构体系实例分析、基础工程实例分析、边坡问题实例分析、隧道及地下工程实例分析、桥梁工程实例分析、大坝工程实例分析以及大跨度空间结构实例分析等内容。本书光盘包括所有的实例有限元模型及计算结果,方便读者查阅和参考。

本书适合应用 ANSYS 解决土木工程相关问题的初学者和期望提高工程应用能力的读者,可供高等院校学生、科研院所研究人员和土木工程领域的工程技术人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 14.0 土木工程有限元分析从入门到精通/王伟编著. — 北京:清华大学出版社,2013
(CAX 工程应用丛书)
ISBN 978-7-302-32146-0

I. ①A… II. ①王… III. ①土木工程—有限元分析—应用程序 IV. ①TU-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 083121 号

责任编辑:王金柱

封面设计:王翔

责任校对:闫秀华

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:190mm×260mm 印 张:33.75 字 数:858 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2013 年 6 月第 1 版

印 次:2013 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:78.00 元

随着计算机科学与应用技术的发展,有限元理论日益完善,随之涌现了一大批比较成熟的通用和专业的有限元计算商业软件。ANSYS 作为最著名的通用和有效的商用有限元软件之一,集结构、传热、流体、电磁、碰撞爆破分析于一体,具有强大的前后处理及计算分析能力,能够进行多场耦合,结构-热、流体-结构、电-磁等场的耦合处理求解。

自 1996 年落户中国以来,ANSYS 以其强大的功能、可靠的质量、良好的市场,得到了中国 CAE 界的广泛认可和青睐,被应用于土木工程、机械制造、汽车工业、水利工程、航空航天、石油化工、生物医学等,为各行业的设计研究做出了重要贡献。

本书以 ANSYS 14.0 作为软件平台,介绍了 ANSYS 在土木工程应用中的相关理论基础、基本思路、操作步骤和应用技巧,并结合工程应用实例讲述了 ANSYS 具体工程应用方法。全书共 18 章。

第 1 章 概述,主要讲解有限元法的发展历程和基本概念,以及有限元法的派生方法,并对 ANSYS 系列软件进行了简单介绍。

第 2 章 初识 ANSYS 14.0,主要对 ANSYS 14.0 的图形界面、ANSYS 14.0 的文件系统以及 ANSYS 14.0 分析问题的基本过程进行了介绍。

第 3 章 APDL 技术应用,主要讲解 ANSYS 14.0 程序化设计语言(APDL)相关知识与重点语句的使用方法。

第 4 章 ANSYS 14.0 建模,主要讲解 ANSYS 14.0 多种建模方法,包括自底向上建模、自顶向下建模、直接建立有限元模型以及 CAD 几何模型的导入。

第 5 章 ANSYS 14.0 网格划分,主要讲解 ANSYS 单元属性的设置、网格的控制、网格划分举例介绍,并讲解了映射网格划分、扫掠网格划分、拉伸网格等高级网格划分方法。

第 6 章 加载及求解,主要讲解荷载与加载方式的种类、施加约束与外荷载的方法、求解过程控制、荷载步的设置与求解操作。

第 7 章 后处理,主要讲解通用后处理器的操作,包括结果读取、图形显示、结果列表、结果查看器、基于单元表的结果处理以及基于路径的结果处理等,时间历程后处理器定义变量、变量运算、查看变量等相关操作。

第 8 章 土木工程中常用单元,主要对土木工程中几种常用单元 LINK、BEAM、PIPE、SOLID、PLANE、SHELL、COMBIN、MESH 以及接触单元进行详细介绍。

第 9 章 单元生死,主要对单元生死的原理、单元生死的使用过程进行了讲解。

第 10 章 简单排架结构实例分析,对三角形屋架受力分析、钢结构排架的平面外失稳模拟、钢结构排架受力分析、塔式起重机的受力及模态进行了应用实例分析。

第 11 章 钢筋混凝土实例分析,本章对大体积混凝土热分析问题、钢筋混凝土梁、钢筋混凝土板、钢筋混凝土开裂、预应力钢筋混凝土、钢筋混凝土结构大楼浇筑施工模拟进行了应用实例分析。

第 12 章 常见建筑结构体系实例分析,对钢筋混凝土框架结构、钢结构梁板体系、框架-剪力墙结构进行了应用实例分析。

第 13 章 基础工程实例分析,对土木工程中常见的基础形式进行了实例分析,

包括单柱式桥墩全桩基础、考虑接触单元桩基、房屋刚性独立基础、房屋筏形基础等实例。

第 14 章 边坡问题实例分析,对饱和度影响边坡稳定问题、挡土墙支护问题进行了应用实例分析。

第 15 章 隧道及地下工程实例分析,对地铁站台的地震响应分析、暗挖隧道的结构受力分析、明挖矩形截面隧道结构受力分析、山体隧道开挖等问题进行了应用实例分析。

第 16 章 桥梁工程实例分析,对钢桁架桥、大跨度悬索桥、斜拉桥等常见桥梁结构进行了应用实例分析。

第 17 章 大坝工程实例分析,对大坝静力分析、重力坝地震动力响应分析进行了应用实例分析。

第 18 章 大跨度空间结构实例分析,对膜结构、单索结构、索网结构、空间刚架结构、空间单层网壳、空间双层网壳等结构形式进行了应用实例分析。

本书适合于应用 ANSYS 解决土木工程相关问题的初学者和期望提高工程应用能力的读者,所举实例具有典型性和新颖性。本书配送光盘,包括所有实例的 db 文件、计算结果文件,读者在学习过程中可直接导入使用以减少建立几何模型的繁琐操作,能使读者轻松快捷地掌握 ANSYS 14.0 的操作技巧和应用方法。

由于编者水平有限、时间仓促,书中错误与缺点在所难免,敬请广大读者批评指正,也欢迎广大同行共同交流探讨。

本书由王伟编著,何嘉扬、张杨、周文华、丁学英、吕广宪、孙万泉、黄利、王清、唐明明、黄利、张小勇、吴永福、郑明辉、刘力、陈磊、李秀峰参与了本书部分章节的编写,在此一并表示感谢。

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

2013.3

目 录

第一篇 基础篇

第 1 章 概述	3
1.1 有限单元法 (FEM) 概述	3
1.1.1 有限单元法的发展	3
1.1.2 有限单元法的基本概念	4
1.1.3 派生方法	4
1.2 ANSYS 系列软件简介	4
1.2.1 ANSYS 14.0 功能特点	4
1.2.2 ANSYS 软件提供的分析类型	5
1.2.3 ANSYS 单位选择问题	6
1.3 本章小结	6
第 2 章 初识 ANSYS 14.0	7
2.1 图形界面	7
2.1.1 启动界面	7
2.1.2 图形用户界面 (GUI)	8
2.2 ANSYS 14.0 文件系统	9
2.2.1 文件类型	9
2.2.2 ANSYS 文件兼容性	10
2.3 ANSYS 14.0 分析问题的基本过程	12
2.3.1 基本流程介绍	12
2.3.2 应用 ANSYS 14.0 分析简单实例	12
2.4 本章小结	18

第二篇 进阶篇

第 3 章 APDL 技术应用	21
3.1 APDL 简介	21
3.2 定义参数	22
3.2.1 参数命名规则	22

3.2.2	参数定义方法	23
3.3	数组参数	26
3.3.1	数组类型	27
3.3.2	定义数组	27
3.3.3	数组操作	30
3.3.4	数组操作命令	32
3.4	宏	33
3.4.1	宏的命名	34
3.4.2	宏的生成	35
3.4.3	宏库文件	36
3.4.4	宏和宏库文件的运行操作	37
3.4.5	分支	38
3.4.6	循环	38
3.4.7	控制函数一览	39
3.5	本章小结	41
第 4 章	ANSYS 14.0 建模	42
4.1	自底向上建模	42
4.1.1	模型尺寸及相关参数	42
4.1.2	建模过程	43
4.1.3	本节常用命令流	45
4.2	自顶向下建模	46
4.2.1	相关参数	46
4.2.2	建模过程	46
4.2.3	常用命令流	48
4.2.4	布尔运算常用命令	48
4.3	直接建立有限元模型	50
4.3.1	节点的生成	50
4.3.2	单元的生成	51
4.3.3	直接生成有限元模型相关命令	52
4.4	快速建模命令	52
4.4.1	复制命令	53
4.4.2	镜像命令	53
4.4.3	对象选择与删除	54
4.5	CAD 几何模型导入	55
4.6	本章小结	56

第 5 章 ANSYS 14.0 网格划分	58
5.1 网格划分介绍	58
5.1.1 单元属性介绍	58
5.1.2 为实体模型指定属性	59
5.1.3 ANSYS 网格划分方法	59
5.2 单元属性设置	59
5.2.1 单元类型 (TYPE)	59
5.2.2 实常数 (REAL)	60
5.2.3 材料特性 (MAT)	61
5.2.4 截面特性设置 (SECTION)	61
5.2.5 单元属性常用命令	62
5.3 网格控制	63
5.3.1 智能网格划分	63
5.3.2 全局单元尺寸控制	64
5.3.3 默认单元尺寸控制	65
5.3.4 关键点尺寸控制	65
5.3.5 线尺寸控制	66
5.3.6 面尺寸控制	67
5.3.7 网格控制命令	67
5.4 网格划分举例	70
5.4.1 导入几何模型	70
5.4.2 定义单元属性	70
5.4.3 网格的控制	70
5.4.4 进行 Smart Mesh	71
5.4.5 网格的清除	72
5.4.6 网格的局部细化	73
5.5 映射网格划分 (Mapped)	74
5.5.1 面映射网格划分	74
5.5.2 体映射网格划分	75
5.6 扫掠网格划分 (Sweep)	76
5.6.1 体扫掠	76
5.6.2 体扫掠基本步骤与条件	76
5.7 拉伸网格	78
5.8 本章小结	80
第 6 章 加载及求解	81
6.1 荷载与加载方式种类	81

6.1.1	荷载种类	81
6.1.2	荷载步和子步	82
6.1.3	加载方式类型及特点	82
6.2	施加约束	83
6.2.1	在关键点（或节点）上加载位移约束	83
6.2.2	在线（或面）上加载位移约束	84
6.2.3	耦合约束	85
6.2.4	施加约束常用命令	85
6.3	施加外荷载	86
6.3.1	集中荷载	86
6.3.2	分布荷载	87
6.3.3	施加体积荷载	88
6.3.4	施加惯性力荷载	91
6.3.5	轴对称荷载	91
6.3.6	耦合荷载	92
6.3.7	预应力荷载	92
6.3.8	由表型数组定义荷载	92
6.3.9	荷载显示与控制	96
6.3.10	施加荷载常用命令	96
6.4	求解过程控制	97
6.4.1	分析类型设置	98
6.4.2	分析基本选项设置	98
6.5	荷载步设置与求解操作	99
6.5.1	荷载步文件的建立法	99
6.5.2	荷载步文件法求解	100
6.5.3	荷载步文件的查看、修改或删除	100
6.6	本章小结	100
第7章 后处理		101
7.1	一般（通用）后处理	101
7.1.1	读入结果文件	101
7.1.2	分析结果绘图显示	103
7.1.3	分析结果列表显示	111
7.1.4	结果运算处理	115
7.1.5	荷载工况	118
7.2	时间历程后处理	121
7.2.1	时间历程后处理窗口介绍	121
7.2.2	定义变量	123

7.2.3	变量运算	126
7.2.4	变量与数组	127
7.2.5	变量显示	128
7.3	本章小结	130
第 8 章	土木工程中常用单元	131
8.1	单元类型简介	131
8.1.1	常用单元分类	131
8.1.2	单元的选择	131
8.2	杆单元 (LIN180)	132
8.2.1	LINK180 单元描述	132
8.2.2	LINK180 单元输入	132
8.2.3	输出数据	133
8.2.4	LINK180 的假定和限制	134
8.3	梁单元 (BEAM188)	134
8.3.1	BEAM188 单元描述	134
8.3.2	BEAM188 单元输入	134
8.3.3	单元输出	136
8.4	管单元 (PIPE16)	136
8.4.1	PIPE16 单元描述	136
8.4.2	PIPE16 输入摘要	137
8.4.3	单元输出	138
8.5	实体单元 (SOLID)	139
8.5.1	SOLID65 单元描述	139
8.5.2	SOLID65 输入数据	140
8.5.3	SOLID65 应力输出项	142
8.5.4	SOLID185 单元描述	143
8.5.5	SOLID185 输入数据	144
8.5.6	SOLID185 应力输出项	145
8.6	平面单元 (PLANE182)	146
8.6.1	PLANE182 单元说明	146
8.6.2	PLANE182 单元输入	146
8.6.3	单元应力输出项	147
8.7	板壳单元 (SHELL181)	147
8.7.1	SHELL181 单元说明	147
8.7.2	SHELL181 单元输入	148
8.8	弹簧-阻尼器单元 (COMBIN14)	148
8.8.1	单元说明	148

8.8.2	COMBIN14 单元输入	148
8.8.3	COMBIN14 输出	149
8.8.4	COMBIN14 假设与限制	150
8.9	网格划分单元 (MESH200)	150
8.9.1	单元描述	150
8.9.2	单元输入	151
8.10	接触单元及目标单元	151
8.10.1	常用接触单元组	151
8.10.2	CONTA173 单元	151
8.10.3	TARGE170	154
8.11	本章小结	154
第 9 章	单元生死	156
9.1	单元生死原理	156
9.1.1	单元生死原理	156
9.1.2	单元生死应用范围	157
9.2	单元生死使用过程	158
9.2.1	建模	158
9.2.2	加载并求解	158
9.2.3	使用生死单元功能要注意的地方	161
9.2.4	单元生死应用实例	162
9.3	本章小结	170

第三篇 应用实例篇

第 10 章	简单排架结构实例分析	173
10.1	三角形屋架受力分析	173
10.1.1	问题描述	173
10.1.2	前处理	174
10.1.3	加载及求解	177
10.1.4	后处理	178
10.2	钢结构排架平面外失稳模拟	181
10.2.1	问题描述	181
10.2.2	前处理	182
10.2.3	求解及分析	186
10.2.4	后处理及结果分析	188
10.3	钢结构排架受力分析	190
10.3.1	问题简述	190

10.3.2	前处理	191
10.3.3	加载及求解	197
10.3.4	后处理	200
10.4	塔式起重机受力及模态分析	202
10.4.1	问题简述	202
10.4.2	前处理	202
10.4.3	加载及求解	212
10.4.4	模态分析	214
10.5	本章小结	217
第 11 章	钢筋混凝土实例分析	218
11.1	大体积混凝土热分析问题	218
11.1.1	问题描述	218
11.1.2	热分析阶段前处理	219
11.1.3	热分析求解	224
11.1.4	结构分析前处理	226
11.1.5	结构应力求解	228
11.1.6	后处理及结果分析	228
11.1.7	关于大体积混凝土	230
11.2	钢筋混凝土梁	231
11.2.1	问题描述	231
11.2.2	前处理	232
11.2.3	加载及求解	237
11.2.4	一般后处理	239
11.2.5	时间历程后处理	240
11.3	钢筋混凝土板	242
11.3.1	问题简述	242
11.3.2	前处理	242
11.3.3	加载及求解	246
11.3.4	后处理	248
11.4	钢筋混凝土开裂	251
11.4.1	相关知识简介	251
11.4.2	问题描述	252
11.4.3	前处理	253
11.4.4	加载和求解	256
11.4.5	计算结果分析	258
11.5	预应力钢筋混凝土	259
11.5.1	问题描述	260

11.5.2	前处理	260
11.5.3	加载及求解	265
11.5.4	后处理	266
11.6	钢筋混凝土结构大楼浇筑施工模拟	268
11.6.1	问题简述	268
11.6.2	前处理	268
11.6.3	求解项设置	274
11.6.4	施工过程模拟	274
11.6.5	后处理	279
11.7	本章小结	281
第 12 章	常见建筑结构体系实例分析	283
12.1	钢筋混凝土框架结构简单分析	283
12.1.1	问题简述	283
12.1.2	前处理	284
12.1.3	求解	289
12.1.4	后处理	290
12.2	钢结构梁板体系地震响应分析	291
12.2.1	问题简述	291
12.2.2	前处理	292
12.2.3	求解及结果	296
12.2.4	查看计算结果	300
12.3	框架-剪力墙结构实例分析	301
12.3.1	框架剪力墙结构简介	302
12.3.2	问题描述	302
12.3.3	单元及材料参数设定	303
12.3.4	建立模型	304
12.3.5	施加荷载及静力分析	310
12.3.6	模态分析	312
12.3.7	特征值屈曲分析	313
12.4	本章小结	316
第 13 章	基础工程实例分析	317
13.1	单柱式桥墩全桩基础	317
13.1.1	问题简述	317
13.1.2	前处理	318
13.1.3	加载与求解	321

13.1.4	一般后处理	322
13.2	考虑接触单元桩基分析	324
13.2.1	问题简述	324
13.2.2	单元及材料属性设定	324
13.2.3	建模	325
13.2.4	加载及求解	331
13.2.5	后处理	333
13.3	房屋刚性独立基础	335
13.3.1	独立基础	335
13.3.2	问题简述	335
13.3.3	前处理	336
13.3.4	加载及求解	339
13.3.5	后处理	340
13.4	房屋筏形基础	343
13.4.1	问题简述	343
13.4.2	前处理	344
13.4.3	恒载加载及求解	347
13.4.4	后处理	348
13.4.5	计算活荷载影响	350
13.4.6	后处理	351
13.5	本章小结	352
第 14 章	边坡问题实例分析	353
14.1	饱和度影响边坡稳定问题	353
14.1.1	边坡稳定问题	353
14.1.2	问题简述	354
14.1.3	前处理	354
14.1.4	加载及求解	359
14.1.5	后处理	363
14.2	挡土墙支护	367
14.2.1	挡土墙简介	368
14.2.2	问题简述	369
14.2.3	单元及材料定义	369
14.2.4	建模	370
14.2.5	加载及求解	375
14.2.6	后处理	376
14.3	本章小结	378

第 15 章 隧道及地下工程实例分析	379
15.1 地铁站台地震响应分析.....	379
15.1.1 相关知识.....	379
15.1.2 问题简述.....	380
15.1.3 前处理.....	381
15.1.4 加载及求解.....	386
15.1.5 一般后处理.....	388
15.1.6 时间历程后处理.....	390
15.2 暗挖隧道结构受力分析.....	392
15.2.1 关于暗挖法.....	392
15.2.2 问题简述.....	392
15.2.3 前处理.....	393
15.2.4 加载及求解.....	396
15.2.5 去除受拉弹簧单元再分析.....	400
15.3 明挖矩形截面隧道结构受力分析.....	403
15.3.1 关于明挖法.....	403
15.3.2 问题简述.....	403
15.3.3 前处理.....	404
15.3.4 加载及求解.....	407
15.3.5 查看结果并二次求解.....	408
15.3.6 后处理.....	409
15.4 山体隧道开挖.....	412
15.4.1 隧道开挖问题.....	412
15.4.2 问题简述.....	412
15.4.3 前处理.....	413
15.4.4 求解选项及边界条件设置.....	418
15.4.5 基于单元生死的开挖过程求解.....	420
15.4.6 后处理.....	424
15.5 本章小结.....	427
第 16 章 桥梁工程实例分析	428
16.1 钢桁架桥.....	428
16.1.1 问题简述.....	429
16.1.2 前处理.....	429
16.1.3 加载及求解.....	433
16.1.4 一般后处理.....	435
16.2 大跨度悬索桥.....	437

16.2.1	悬索桥背景简介	437
16.2.2	问题简述	438
16.2.3	单元及材料参数	439
16.2.4	建模	440
16.2.5	找形分析	444
16.2.6	施工过程模拟	446
16.2.7	悬索桥全结构静力分析	449
16.2.8	悬索桥地震动力响应	450
16.3	斜拉桥动力响应综合分析	452
16.3.1	斜拉桥背景知识	452
16.3.2	问题简述	453
16.3.3	单元及材料参数	454
16.3.4	建模过程	456
16.3.5	施加约束并初步求解	459
16.3.6	模态分析	460
16.3.7	地震动力响应分析	463
16.3.8	正常使用下动力响应	464
16.4	本章小结	468
第 17 章 大坝工程实例分析		469
17.1	大坝分类与特点	469
17.1.1	混凝土坝	469
17.1.2	土石坝	470
17.2	大坝静力分析	470
17.2.1	问题简述	470
17.2.2	前处理	471
17.2.3	静力加载及求解	472
17.2.4	后处理	473
17.3	重力坝地震动力响应分析	473
17.3.1	重力坝简介	473
17.3.2	问题简述	474
17.3.3	前处理	474
17.3.4	静力加载及求解	478
17.3.5	一般后处理	479
17.3.6	地震动力响应分析	481
17.4	本章小结	483

第 18 章 大跨度空间结构实例分析	484
18.1 膜结构	484
18.1.1 相关知识简介	484
18.1.2 问题简述	485
18.1.3 前处理	486
18.1.4 施加约束及荷载	487
18.1.5 找形分析	488
18.1.6 关于膜结构	490
18.2 单索结构	490
18.2.1 问题简述	491
18.2.2 单索问题的求解	491
18.3 索网结构	494
18.3.1 问题简述	494
18.3.2 索网找形与分析	495
18.4 空间刚架结构	499
18.4.1 问题简述	499
18.4.2 前处理	500
18.4.3 加载及求解	503
18.4.4 后处理	504
18.5 空间单层网壳	505
18.5.1 问题简述	505
18.5.2 参数设置	506
18.5.3 建模	506
18.5.4 特征屈曲分析	508
18.5.5 非线性分析	511
18.6 空间双层网壳	515
18.6.1 问题简述	515
18.6.2 单元及材料定义	516
18.6.3 建模	517
18.6.4 施加约束和荷载	519
18.6.5 一般后处理结果分析	520
18.7 本章小结	521
参考文献	522