

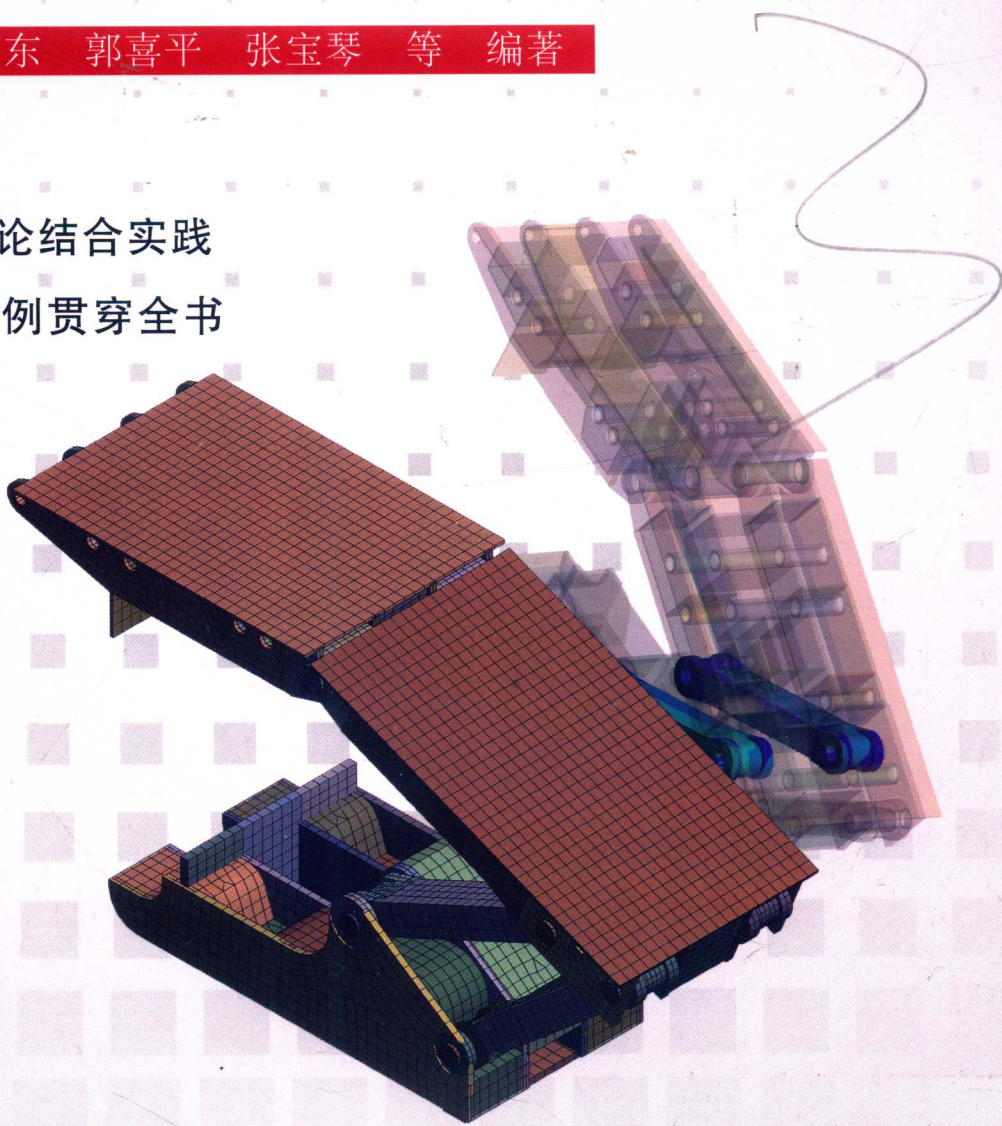


ANSYS 18.2

有限元分析与应用实例

高耀东 郭喜平 张宝琴 等 编著

- 理论结合实践
- 82例贯穿全书



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

ANSYS 18.2 有限元分析与应用实例

高耀东 郭喜平 张宝琴 等 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内容简介

本书在总结作者多年教学和工程经验的基础上，从使学习者快速入门并能够解决实际问题的角度出发，介绍了有限单元法的基础理论、ANSYS 软件的使用方法及其在机械工程领域的应用实例等。

本书的中心是 ANSYS 软件应用，其他内容围绕该中心展开，目的是引领读者从实际应用出发，由浅入深，逐渐掌握 ANSYS 软件和有限单元法理论。力求使读者能够在较短时间内，既知其然，又知其所以然，真正掌握 ANSYS 软件和有限元分析方法，并能将其灵活应用于实际问题中。

全书包括 80 多个 ANSYS 软件应用实例，每种分析类型都配备了入门实例和高级实例，并尽量涵盖其在实际中的主要应用。每个实例都提供了操作命令流，为方便读者学习，入门实例还介绍了 GUI 操作方法。

本书可以作为高等院校机械、建筑、力学类专业本科生和研究生的教科书，也可以作为工程技术人员学习有限单元法和 ANSYS 软件的参考书。

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 18.2 有限元分析与应用实例/高耀东等编著. —北京: 电子工业出版社, 2019.8

ISBN 978-7-121-35770-1

I. ①A… II. ①高… 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 (2018) 第 273458 号

策划编辑: 陈韦凯

责任编辑: 康 霞

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 32.5 字数: 832 千字

版 次: 2019 年 8 月第 1 版

印 次: 2019 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 元

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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: chenwk@phei.com.cn。

前 言

随着有限元技术及 ANSYS 软件在工程技术领域的不断普及，本书在《有限元理论及 ANSYS 应用》一书的基础上，更新了软件版本，并在进一步完善原有内容的基础上，增加了非线性分析、耦合场分析、参数化设计语言 APDL 及优化设计等内容。

本书的中心是 ANSYS 软件应用，其他内容围绕该中心展开，目的是引领读者从实际应用出发，由浅入深，逐渐掌握 ANSYS 软件和有限单元法理论。通过对本书内容的全面学习，读者能够在较短时间内，既知其然，又知其所以然，真正掌握 ANSYS 软件和有限元分析方法，并能将其灵活应用于实际问题中。

全书包括 80 多个 ANSYS 软件应用实例，每种分析类型都配备了入门实例和高级实例，并尽量涵盖每种分析类型在实际中的主要应用。每个实例都提供了操作命令流，为方便读者学习，入门实例还介绍了 GUI 操作方法。多数实例都通过解析解对有限元解进行了验证，以解除读者对有限元解正误的困惑。本书部分章节还配备了练习题，可配合教学使用。

本书第 1~9 章为有限单元法理论部分，第 10~15 章为 ANSYS 软件基础部分，第 16~20 章为 ANSYS 应用部分。本书采用的 ANSYS 版本为稳定的 18.2 版本。

参加本书编著的有内蒙古科技大学高耀东（第 1~5 章）、内蒙古北方重工业集团有限公司李新利（第 6~8 章）、内蒙古科技大学张宝琴（第 10、11 章）、内蒙古科技大学郭喜平（第 12 章）、内蒙古科技大学李震（第 13、14 章）、内蒙古科技大学张恩慧（第 15、16 章）、包头职业技术学院董瑞红（第 17 章）、内蒙古科技大学任元（第 18 章及附录）、内蒙古科技大学郭晓峰（第 9、19、20 章）。

随书附赠本书部分实例的命令流文件、模型文件及操作录屏文件，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）查找本书免费下载（须先注册成会员）。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在一些错误和不足之处，敬请广大读者不吝赐教、批评指正。

编著者

应用实例目录

序号	知识点	描述	使用单元
E2-1	有限单元法理论	用 ANSYS 软件提取单元及结构刚度矩阵	PLANE182
E6-1		用 SOLID185 单元分析悬臂梁的剪切闭锁	SOLID185
E6-2		厚壁圆筒的体积闭锁分析	PLANE182
E6-3		观察沙漏	PLANE182
E10-1*	入门实例	平面桁架的受力分析	LINK180
E11-1*	几何模型创建	关键点和线的创建实例——正弦曲线	-
E11-2		一些特殊线的创建。包括：过一个已知关键点作一条已知圆弧的切线、作两条圆弧的公切线、作一组折线、按函数关系作曲线——正弦曲线、圆锥阿基米德螺旋线、圆锥对数螺旋线和创建椭圆线	-
E11-3		圆柱面的创建	-
E11-4		按函数关系作曲面——双曲抛物面	-
E11-5*		体的创建及工作平面的应用实例——相交圆柱体	-
E11-6*		复杂形状实体的创建实例——螺栓	-
E11-7		斜齿圆柱齿轮的创建	-
E11-8		直齿锥齿轮齿廓曲面的创建	-
E12-1*	单元划分	几何模型的单元划分实例——面	-
E12-2	常见形状几何实体的单元划分	回转体、底座、直齿圆柱齿轮轮齿、容器接管	PLANE182 SOLID185 MESH200
E12-3	常用单元类型的创建和应用 路径图实例	LINK11 单元的应用	LINK11
E12-4		BEAM188、BEAM189 单元的应用——基本应用、约束扭转、创建渐变截面梁、自定义梁截面——双金属片	BEAM188 BEAM189
E12-5		PLANE182、PLANE183 单元的应用——平面应力问题、轴对称问题	PLANE182 PLANE183
E12-6		循环对称结构在离心力作用下的应力和变形分析	SOLID186
E12-7		SHELL181 单元的应用——基本应用、用绑定接触创建有限元模型	SHELL181
E12-8	直接生成有限元模型	实例	SOLID185
E12-9	自适应网格划分实例	受压薄板	PLANE182
E12-10	子模型技术实例	受压薄板	SOLID186
E13-1	对称和反对称约束 载荷工况	对称性应用实例——作用任意载荷的对称结构	BEAM188
E13-2	在梁单元上施加压力载荷	均匀分布的压力载荷、线性分布的压力载荷	BEAM188
E13-3	压力梯度及加载	在容器中施加静水压力	SOLID185
E13-4	函数加载	用表格数组进行函数加载——静水压力	SOLID185
E13-5	函数加载	用函数编辑器定义表面载荷	SOLID185
E13-6	用表面效应单元施加切向压力	转矩的施加	SOLID186 SURF154
E13-7	施加预紧力载荷	对单个螺栓联接施加预紧力载荷、汽缸缸体和端盖间螺纹联接的受力分析	SOLID186 TARGE170 CONTA174 PRETS179





序号	知识点	描述	使用单元
E14-1	用云图显示线单元数据	作刚架的弯矩图	BEAM188
E14-2	面操作	计算实体单元某个面上的剪力、弯矩等内力	SOLID186
E14-3	通过存储帧创建动画	展成法加工齿轮模拟	-
E15-1*	坐标系及选择操的作应用实例	圆轴扭转分析	SOLID186
E16-1	静力学分析实例	复杂静定桁架的内力计算	LINK180
E16-2*		悬臂梁的静力学分析	BEAM188
E16-3		空间桁架桥的静力学分析	BEAM188
E16-4		连续梁的内力计算	BEAM189
E16-5		用自由度释放创建梁单元的铰接连接	BEAM189
E16-6		薄板弯曲问题的理论解和有限元解的对比	SHELL281
E16-7		壳单元结果与其他类型单元结果的对比——简支梁	SHELL181
E16-8*		平面问题的求解实例——厚壁圆筒问题	PLANE183
E16-9*		空间问题的求解实例——扳手的受力分析	PLANE182 SOLID185
E16-10		用实体单元计算转轴的应力	SOLID186
E16-11		在连杆上施加轴承载荷	PLANE183 SOLID186
E17-1*	模态分析实例	均匀直杆的固有频率分析	SOLID186
E17-2		斜齿圆柱齿轮的固有频率分析	SOLID185
E17-3		有预应力模态分析实例——弦的横向振动	LINK180
E17-4		循环对称结构模态分析实例——转子的固有频率分析	SHELL181
E17-5*	谐响应分析	完全法分析实例——单自由度系统的受迫振动	MASS21 COMBIN14
E17-6		模态叠加法分析实例——悬臂梁的受迫振动	SOLID186
E17-7*	瞬态动力学分析	瞬态动力学分析实例——凸轮机构	PLANE182 SOLID185
E17-8		施加初始条件实例——将单自由度系统的质点从平衡位置拨开	MASS21 COMBIN14
E17-9		施加初始条件实例——抛物运动	SOLID185
E17-10		瞬态动力学分析实例——连杆机构的运动学分析	MPC184 BEAM188
E17-11		瞬态动力学分析实例——车辆通过桥梁	BEAM188
E17-12*	谱分析	谱分析实例——地震谱作用下的结构响应分析	SHELL181 BEAM188
E18-1	结构非线性分析	结构非线性分析——盘形弹簧载荷和变形关系分析	PLANE183
E18-2		特征值屈曲分析实例——压杆稳定性问题	BEAM189
E18-3		非线性屈曲分析实例——悬臂梁	BEAM189
E18-4	材料非线性分析	材料非线性分析实例——自增强厚壁圆筒承载能力研究	PLANE183
E18-5		材料蠕变分析实例——受拉平板	PLANE182
E18-6	状态非线性分析	接触分析实例——平行圆柱体承受法向载荷时的接触应力分析	PLANE183 SOLID186 TARGE170 CONTA174





序号	知识点	描述	使用单元
E18-7	状态非线性分析	接触分析实例——组合厚壁圆筒	PLANE183 TARGE169 CONTA172
E18-8		非线性分析实例——将钢板卷制成圆筒（柔体-柔体接触）	SHELL181 SOLID185 MPC184 TARGE170 CONTA173
E18-9		非线性分析实例——将钢板卷制成圆筒（刚体-柔体接触）	SOLID185 TARGE170 CONTA173
E18-10		接触分析实例——斜齿圆柱齿轮传动分析	PLANE183 SOLID186 TARGE170 CONTA174
E18-11		利用 MPC 技术对 SOLID-SHELL 单元进行连接实例——筒支梁	SOLID186 SHELL181 TARGE170 CONTA175
E18-12		单元生死技术应用——厚壁圆筒自增强后精加工	PLANE183
E18-13		单元生死技术应用——焊接模拟	PLANE77 SOLID90
E18-14		单元生死技术应用——隧道开挖	MESH200 SOLID185 SOLID65
E19-1	瞬态热分析	水箱	PLANE77
E19-2	热应力计算	在结构上直接施加温度载荷进行热应力计算——双金属片	SOLID186
E19-3		用直接法计算热应力实例——液体管路	PLANE13
E19-4		用多物理场求解器（MFS 方案）计算热应力——液体管路	PLANE77 PLANE183
E19-5	流体动力学分析	运用 CFX 软件分析冷热水混合三通管	-
E19-6	流固耦合分析	运用单向流固耦合分析水流通过变径管	PLANE183 SOLID186 SURF154
E20-1	APDL 语言	用表格型数组施加荷载实例——施加随位置变化的压力荷载	PLANE183
E20-2		用表格型数组施加荷载实例——施加随时间变化的力荷载	MASS21 COMBIN14
E20-3		简谐响应的叠加——结构同时作用多个正弦荷载时的响应分析	SHELL181 BEAM188 MASS21
E20-4		宏的创建实例——计算实体的体积、面积、长度	-
E20-5	优化设计	优化设计实例——液压支架四连杆机构尺寸优化	MPC184 BEAM188

注：*为初级实例，提供 GUI 操作步骤和截屏录像。



反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 有限单元法基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 有限单元法的基本原理	2
1.2.1 结构离散化	2
1.2.2 单元刚度矩阵	2
1.2.3 结构总体刚度方程	5
第 2 章 平面问题的有限单元法	7
2.1 平面问题概述	7
2.1.1 平面应力问题	7
2.1.2 平面应变问题	8
2.2 结构离散化	9
2.3 位移函数	10
2.3.1 位移函数的一般形式	10
2.3.2 3 节点三角形单元的位移函数	11
2.3.3 形函数的性质	12
2.3.4 位移函数与解的收敛性	13
2.4 单元刚度矩阵	14
2.4.1 3 节点三角形单元的单元刚度矩阵	14
2.4.2 单元刚度矩阵的性质	16
2.5 载荷移置与等效节点载荷	17
2.6 结构总体刚度方程	18
2.6.1 结构总体刚度方程的建立	19
2.6.2 形成结构总体刚度矩阵的方法	21
2.6.3 结构总体刚度矩阵的性质	22
2.7 位移边界条件的处理	23
2.7.1 降阶法	24
2.7.2 对角元置 1 法	24
2.7.3 对角元乘大数法	25
2.8 应力计算及导出结果的计算	26
2.8.1 单元应力及应变的计算	26
2.8.2 主应力和主方向	26





2.8.3 节点的应力	27
2.9 解题示例	27
2.10 6 节点三角形单元	31
2.10.1 面积坐标	31
2.10.2 位移函数	32
2.10.3 单元应变	33
2.10.4 单元应力	33
2.10.5 单元刚度矩阵	33
第 3 章 最小势能原理和有限单元法	37
3.1 最小势能原理	37
3.2 基于最小势能原理的有限单元法	38
3.3 对有限单元法收敛和精度的分析	39
3.3.1 相容性要求	39
3.3.2 完备性要求	40
3.3.3 收敛和精度	40
第 4 章 三维问题的有限单元法	42
4.1 三维应力状态	42
4.2 三维问题的四面体单元	43
4.2.1 位移函数	43
4.2.2 单元刚度矩阵	44
4.2.3 载荷移置与等效节点载荷	44
4.3 轴对称问题及其有限单元法	45
4.3.1 轴对称问题	45
4.3.2 轴对称问题的有限单元法	46
第 5 章 梁单元	48
5.1 直梁平面弯曲问题及梁单元	48
5.1.1 直梁平面弯曲问题	48
5.1.2 直梁平面弯曲问题的有限单元法	48
5.2 铁摩辛柯梁单元	52
第 6 章 等参数单元	55
6.1 4 节点矩形单元	55
6.2 平面 4 节点等参数单元	56
6.2.1 坐标变换和等参数单元	56
6.2.2 单元刚度矩阵的计算	58
6.2.3 其他参数单元	60
6.3 高斯积分法	60





6.4 剪切闭锁、体积闭锁、沙漏等概念简介	62
6.4.1 剪切闭锁	62
6.4.2 体积闭锁	62
6.4.3 沙漏	63
第 7 章 板壳单元	67
7.1 板弯曲的有限单元法	67
7.1.1 克希霍夫 (Kirchhoff) 薄板理论	67
7.1.2 基于薄板理论的非协调板单元	69
7.1.3 考虑横向剪切影响的平板弯曲单元	71
7.2 薄壳结构的有限单元法	73
第 8 章 有限元方程解法	75
8.1 概述	75
8.2 总体刚度矩阵的一维变带宽存储	75
8.3 直接法	76
8.3.1 高斯消元法	76
8.3.2 LU 分解法	76
8.3.3 波前法	77
8.4 迭代法	79
8.4.1 雅可比迭代法和赛德尔迭代法	79
8.4.2 共轭梯度法	80
第 9 章 结构动力学分析	83
9.1 结构的动力学方程	83
9.2 结构的自振频率和振型	84
9.2.1 概述	84
9.2.2 基本 QR 法	85
9.2.3 兰索斯法	85
9.3 结构动力响应的求解方法	86
9.3.1 直接积分法	87
9.3.2 振型叠加法	88
第 10 章 ANSYS 的基本使用方法	90
10.1 实例 E10-1——平面桁架的受力分析	90
10.1.1 问题描述及解析解	90
10.1.2 分析步骤	90
10.1.3 命令流	94
10.2 ANSYS 的主要功能	95
10.3 ANSYS 的特点	96





10.4	ANSYS 产品简介	96
10.5	处理器	97
10.6	ANSYS 软件的使用	97
10.6.1	ANSYS 软件解决问题的步骤	97
10.6.2	命令输入方法	98
10.7	图形用户界面	99
10.7.1	图形用户界面 (GUI) 展示	99
10.7.2	对话框及其组成控件	100
10.7.3	ANSYS 的菜单系统	102
	练习题	105
第 11 章	实体建模技术	106
11.1	概述	106
11.2	基本建模技术	106
11.2.1	关键点的创建	106
11.2.2	线的创建	107
11.2.3	面的创建	115
11.2.4	体的创建	118
11.3	工作平面	119
11.3.1	工作平面的设置	120
11.3.2	工作平面的偏移和旋转	120
11.4	高级建模技术	124
11.4.1	布尔运算	124
11.4.2	挤出	129
11.4.3	有关实体建模的其他操作	130
	练习题	138
第 12 章	有限元模型的创建	140
12.1	几何模型的单元划分	144
12.1.1	单元划分的步骤	144
12.1.2	单元类型	144
12.1.3	定义实常数	145
12.1.4	材料属性	145
12.1.5	截面	147
12.1.6	分配单元属性	150
12.1.7	单元形状及划分方法选择	151
12.1.8	单元尺寸控制	151
12.1.9	划分单元命令	154
12.1.10	MeshTool 对话框	154
12.1.11	单元形状检查	154





12.1.12	修改网格	156
12.2	常用 ANSYS 单元类型	158
12.2.1	概述	158
12.2.2	LINK11	162
12.2.3	LINK180	163
12.2.4	BEAM188	165
12.2.5	BEAM189	174
12.2.6	PLANE182	176
12.2.7	PLANE183	179
12.2.8	SOLID185	184
12.2.9	SOLID186	187
12.2.10	SHELL181	191
12.3	ANSYS 结构分析常用材料模型	201
12.3.1	常用材料模型的分类	201
12.3.2	常用材料模型的创建	202
12.4	直接生成有限元模型	203
12.4.1	节点的创建和操作	203
12.4.2	单元的创建和操作	204
12.5	创建有限元模型的高级技术	205
12.5.1	自适应单元划分	205
12.5.2	子模型技术	207
第 13 章	加载和求解	210
13.1	载荷和载荷步	210
13.1.1	载荷的类型	210
13.1.2	载荷步、子步和平衡迭代	211
13.1.3	载荷步选项	211
13.2	DOF 约束	216
13.2.1	施加 DOF 约束	217
13.2.2	约束操作	218
13.2.3	对称和反对称约束	218
13.2.4	约束冲突	220
13.3	集中载荷	220
13.4	表面载荷	221
13.4.1	施加表面载荷	221
13.4.2	表面载荷操作	224
13.4.3	压力梯度及加载	224
13.4.4	函数加载	225
13.4.5	表面效应单元	228
13.5	体载荷	229





13.5.1	施加体载荷	229
13.5.2	操作体载荷	230
13.5.3	惯性载荷	230
13.6	特殊载荷	230
13.6.1	耦合场载荷	230
13.6.2	初始状态	231
13.6.3	预紧力载荷	233
13.7	求解器	236
13.7.1	概述	236
13.7.2	求解器类型	238
13.8	分析类型	239
13.9	多载荷步求解	239
13.9.1	用多个 SOLVE 命令直接求解	239
13.9.2	用载荷步文件求解	240
13.9.3	用载荷数组参数求解	241
第 14 章	结果后处理	242
14.1	概述	242
14.1.1	结果文件	242
14.1.2	基本解和导出解	242
14.2	通用后处理器	243
14.2.1	读取结果数据到数据库	243
14.2.2	结果坐标系	244
14.2.3	单元表	245
14.2.4	结果图形显示	250
14.2.5	路径图	258
14.2.6	列表操作	260
14.2.7	结果查询	263
14.2.8	载荷工况	264
14.2.9	误差估计	266
14.3	时间历程后处理器	267
14.3.1	概述	267
14.3.2	用变量查看结果	268
14.4	动画技术	273
第 15 章	其他辅助功能	275
15.1	文件和文件管理	275
15.1.1	概述	275
15.1.2	文件操作	275
15.2	实体选择、组件和部件	277





15.2.1	实体选择	278
15.2.2	组件和部件	284
15.3	坐标系	284
15.3.1	坐标系和工作平面概述	284
15.3.2	有关坐标系的操作	287
第 16 章	结构线性静力学分析	297
16.1	概述	297
16.2	桁架结构	298
16.3	梁结构	300
16.4	板壳结构	309
16.5	平面结构	311
16.6	空间结构	317
第 17 章	ANSYS 结构动力学分析	328
17.1	概述	328
17.2	模态分析	328
17.2.1	模态分析的求解方法	328
17.2.2	模态分析步骤	329
17.2.3	模态分析选项	330
17.3	谐响应分析	341
17.3.1	谐响应分析概述	341
17.3.2	谐响应分析步骤	342
17.3.3	谐响应分析操作	344
17.4	瞬态动力学分析	353
17.4.1	瞬态动力学分析方法	353
17.4.2	完全法瞬态动力学分析步骤	354
17.4.3	模态叠加法瞬态动力学分析步骤	355
17.4.4	瞬态动力学分析操作	356
17.4.5	积分时间步长的确定	359
17.5	谱分析	374
17.5.1	概述	374
17.5.2	单点响应谱分析步骤	375
第 18 章	非线性分析	385
18.1	非线性分析的基本概念	385
18.1.1	概述	385
18.1.2	非线性有限元方程的求解方法	386
18.1.3	非线性分析的特性	387
18.2	非线性分析的基本过程	388





18.2.1	非线性分析的步骤	388
18.2.2	非线性分析的操作	389
18.3	几何非线性分析	392
18.3.1	几何非线性概述	392
18.3.2	应力和应变	392
18.3.3	几何非线性分析的注意事项	393
18.3.4	屈曲分析	394
18.4	材料非线性分析	399
18.4.1	材料非线性概述	399
18.4.2	塑性力学的基本法则	400
18.4.3	输入材料数据	401
18.5	状态非线性分析	405
18.5.1	接触概述	405
18.5.2	接触问题的基本知识	406
18.5.3	面-面接触	408
18.6	单元生死技术	425
18.6.1	概述	425
18.6.2	单元生死的实现和应用	426
18.6.3	使用 ANSYS 计算结果控制单元生死	427
18.6.4	单元生死有关操作	427
第 19 章	耦合场分析	441
19.1	耦合场分析概述	441
19.1.1	耦合场分析的定义	441
19.1.2	耦合场分析的类型	441
19.2	热应力计算	443
19.2.1	ANSYS 热分析简介	443
19.2.2	稳态热分析步骤	445
19.2.3	瞬态热分析步骤	446
19.2.4	热应力计算方法	448
19.3	流固耦合分析	455
19.3.1	ANSYS 流体动力学分析简介	455
19.3.2	ANSYS 流固耦合分析	461
第 20 章	参数化设计语言 APDL 及优化设计	468
20.1	参量及操作	468
20.1.1	参量的定义和赋值	468
20.1.2	数组参量	469
20.1.3	表格型数组的定义和应用	473
20.2	ANSYS 内部函数和获取函数	475





20.2.1	内部函数	475
20.2.2	获取函数	476
20.3	分支、循环和重复功能	478
20.3.1	分支	478
20.3.2	循环	479
20.3.3	重复功能	479
20.4	宏	484
20.4.1	宏的创建	484
20.4.2	宏的运行	486
20.4.3	宏的参量	486
20.5	定制用户化界面	487
20.5.1	创建及编辑缩写	487
20.5.2	提示用户输入单个参量值	487
20.5.3	用 MULTIPRO 命令创建一个对话框	488
20.5.4	消息对话框	489
20.6	优化设计	489
附录		496
参考文献		499

