

融合关键概念的深入讲解与实际案例的完整分析于一体，
操作更便捷，学习更快速！



CAD/CAM/CAE
自学手册

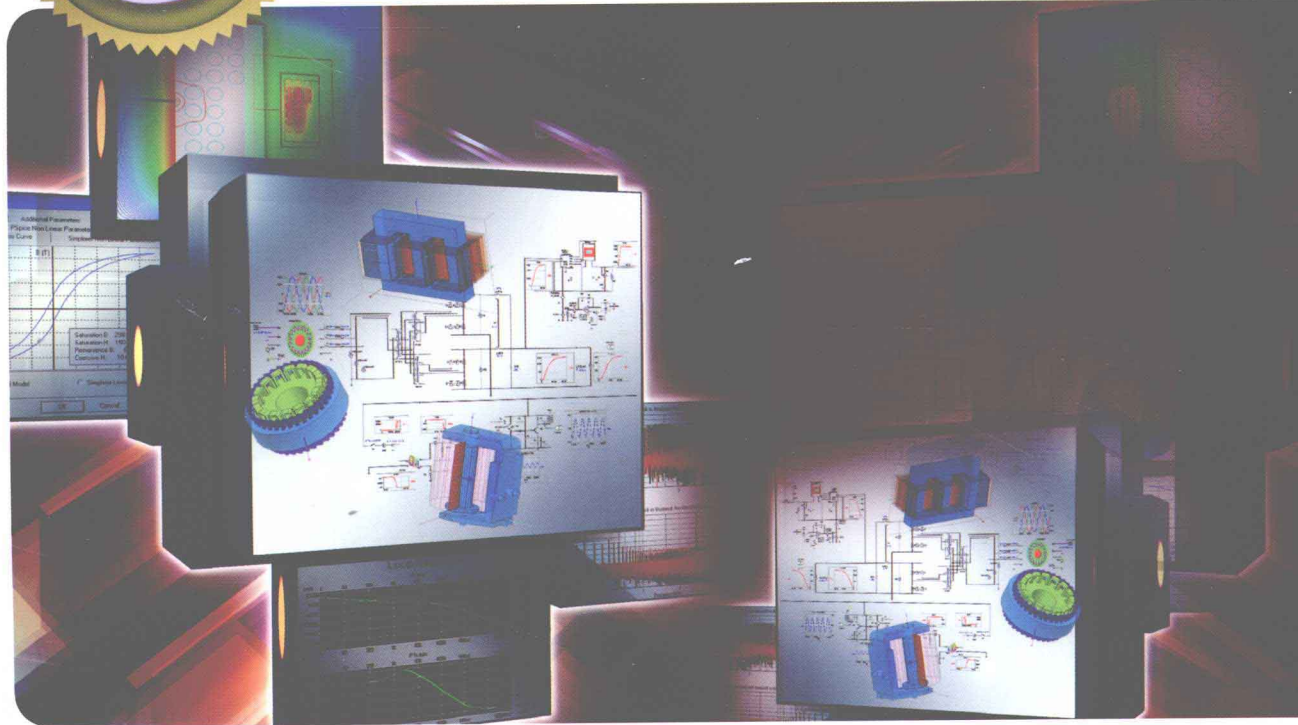


总容量达**4.13 GB**

27个实例视频教学，总时长**252**分钟

全部实例的素材APDL源码、命令流文件

超值赠送**9**个典型工程应用实例源文件，**9**段视频教学录像，总时长达**265**分钟



ANSYS 14

有限元分析

▶ 系统掌握有限元分析全流程，几何建模—划分网格—施加荷载—求解—后处理，环环相扣，一气呵成。

▶ 精选**20**个案例，典型工程应用实例包括静力学分析、模态分析、非线性分析、结构屈曲分析等。

自学手册

李兵 宫鹏涵 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ANSYS经典畅销书！
前版累计销量超过
25000册！



ANSYS 14

有限元分析

自学手册

李兵 宫鹏涵 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

ANSYS 14有限元分析自学手册 / 李兵, 宫鹏涵编著
— 北京: 人民邮电出版社, 2013.4
(CAD/CAM/CAE自学手册)
ISBN 978-7-115-30919-8

I. ①A… II. ①李… ②宫… III. ①有限元分析—应
用软件 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第018284号

内 容 提 要

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS 14 为蓝本, 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 具体工程应用方法。

书中尽量避开了繁琐的理论描述, 从实际应用出发, 结合作者使用该软件的经验, 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。

本书分为两篇。第 1 篇为操作基础篇, 详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法, 分为 6 章: 第 1 章是 ANSYS 概述, 第 2 章介绍几何建模, 第 3 章介绍划分网格, 第 4 章介绍施加载荷, 第 5 章介绍求解, 第 6 章介绍后处理。第 2 篇为专题实例篇, 按不同的专题讲解了各种实例的参数设置方法与技巧, 分为 9 章: 第 7 章介绍静力学分析, 第 8 章介绍模态分析, 第 9 章介绍谐响应分析, 第 10 章介绍非线性分析, 第 11 章介绍结构屈曲分析, 第 12 章介绍谱分析, 第 13 章介绍瞬态动力学分析, 第 14 章介绍接触问题分析, 第 15 章介绍优化设计。

本书的配套光盘包含书中所有实例的源码和操作步骤的视频讲解。本书适用于 ANSYS 软件的初、中级用户学习参考, 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。

CAD/CAM/CAE 自学手册

ANSYS 14 有限元分析自学手册

◆ 编 著 李 兵 宫鹏涵

责任编辑 俞 彬

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 35

字数: 726 千字

印数: 1-3 500 册

2013 年 4 月第 1 版

2013 年 4 月北京第 1 次印刷



ISBN 978-7-115-30919-8

定价: 69.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前 言

随着计算力学、计算数学、工程管理学特别是信息技术的飞速发展，数值模拟技术日趋成熟。数值模拟可以广泛应用到土木、机械、电子、能源、冶金、国防军工、航空航天等诸多领域，并对这些领域产生了深远的影响。

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应用，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最快的 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、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，现在它已成为国际最流行的有限元分析软件，在历年 FEA 评比中都名列第一。目前，我国 500 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件。

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS 14 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 具体工程应用方法。

书中尽量避开了繁琐的理论描述，从实际应用出发，结合作者使用该软件的经验，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。

本书分为两篇，第 1 篇为操作基础篇，详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法，分为 6 章：第 1 章是 ANSYS 概述，第 2 章介绍几何建模，第 3 章介绍划分网格，第 4 章介绍施加载荷，第 5 章介绍求解，第 6 章介绍后处理。第 2 篇为专题实例篇，按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧，分为 9 章：第 7 章介绍静力学分析，第 8 章介绍模态分析，第 9 章介绍谐响应分析，第 10 章介绍非线性分析，第 11 章介绍结构屈曲分析，第 12 章介绍谱分析，第 13 章介绍瞬态动力学分析，第 14 章介绍接触问题分析，第 15 章介绍优化设计。

本书附有一张多媒体光盘，光盘中除了有每一个实例 GUI 实际操作步骤的视频以外，还以文



本文件的格式给出了每个实例的命令流文件，用户可以直接调用。

本书由中国人民解放军军械工程学院的李兵和宫鹏涵两位老师编著。此外，王金环、卢园、左昉、王宏、杨雪静、李志尊、刘昌丽、王培合、王义发、王玉秋、王艳池、王敏、王佩凯、孟培、闫聪聪、张日晶、胡仁喜等参加了资料整理和编排工作，在此编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；本书还可作为理工科院校相关专业的高年级本科生、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，书中的缺点和错误在所难免，恳请广大读者不吝赐教，登录网站 www.sjzsanweishuwu.com 或联系 win760520@126.com 批评指正。

作者

2013 年 1 月

目录

第 1 篇 操作基础篇

第 1 章 ANSYS 概述..... 2

| | |
|-------------------------------------|--|
| 1.1 有限单元法简介..... 3 | |
| 1.1.1 CAE 软件简介..... 3 | |
| 1.1.2 有限单元法的基本概念..... 5 | |
| 1.2 ANSYS 简介..... 6 | |
| 1.2.1 ANSYS 的发展..... 7 | |
| 1.2.2 ANSYS 的功能..... 7 | |
| 1.3 ANSYS14 的启用及界面..... 8 | |
| 1.3.1 ANSYS14 的启动..... 8 | |
| 1.3.2 ANSYS14 运行环境配置..... 9 | |
| 1.3.3 ANSYS 14 的用户界面..... 9 | |
| 1.4 程序结构..... 11 | |
| 1.4.1 处理器..... 11 | |
| 1.4.2 文件格式..... 12 | |
| 1.4.3 输入方式..... 12 | |
| 1.4.4 输出文件类型..... 12 | |
| 1.5 ANSYS 分析的基本过程..... 13 | |
| 1.5.1 前处理..... 13 | |
| 1.5.2 加载并求解..... 14 | |
| 1.5.3 后处理..... 14 | |
| 1.5.4 实例导航——齿轮泵齿轮静力 分析实例..... 15 | |
| 1.6 本章小结..... 16 | |

第 2 章 几何建模..... 17

| | |
|-------------------|--|
| 2.1 坐标系简介..... 18 | |
|-------------------|--|

| | |
|----------------------------|--|
| 2.1.1 总体和局部坐标系..... 18 | |
| 2.1.2 显示坐标系..... 20 | |
| 2.1.3 节点坐标系..... 21 | |
| 2.1.4 单元坐标系..... 21 | |
| 2.1.5 结果坐标系..... 22 | |
| 2.1.6 坐标系创建实例..... 22 | |
| 2.2 工作平面的使用和操作..... 25 | |
| 2.2.1 定义一个新的工作平面..... 26 | |
| 2.2.2 控制工作平面的显示和样式..... 26 | |
| 2.2.3 移动工作平面..... 26 | |
| 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..... 27 | |
| 2.2.6 工作平面的高级用途..... 27 | |
| 2.2.7 工作平面创建实例..... 29 | |
| 2.3 布尔操作..... 31 | |
| 2.3.1 布尔运算操作..... 31 | |
| 2.3.2 布尔运算的设置..... 32 | |
| 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..... 34 | |
| 2.3.6 相加..... 35 | |
| 2.3.7 相减..... 35 | |
| 2.3.8 利用工作平面作减运算..... 36 | |
| 2.3.9 搭接..... 37 | |
| 2.3.10 分割..... 37 | |
| 2.3.11 粘接（或合并）..... 38 | |
| 2.3.12 布尔操作实例..... 38 | |
| 2.4 自底向上创建几何模型..... 41 | |
| 2.4.1 关键点..... 42 | |
| 2.4.2 硬点..... 45 | |
| 2.4.3 线..... 47 | |
| 2.4.4 面..... 49 | |
| 2.4.5 体..... 50 | |
| 2.4.6 自底向上建模实例..... 52 | |
| 2.5 自顶向下创建几何模型（体素）..... 61 | |
| 2.5.1 创建面体素..... 61 | |





| | | |
|-------|-------------------|----|
| 2.5.2 | 创建实体体素 | 62 |
| 2.5.3 | 自顶向下建模实例 | 63 |
| 2.6 | 移动、复制和缩放几何模型 | 71 |
| 2.6.1 | 移动和复制 | 71 |
| 2.6.2 | 拖拉和旋转 | 72 |
| 2.6.3 | 按照样本生成图元 | 73 |
| 2.6.4 | 由对称映像生成图元 | 73 |
| 2.6.5 | 将样本图元转换坐标系 | 73 |
| 2.6.6 | 实体模型图元的缩放 | 74 |
| 2.6.7 | 修改模型(清除和删除) | 75 |
| 2.7 | 几何模型导入到 ANSYS | 75 |
| 2.7.1 | 输入 IGES 单一实体 | 76 |
| 2.7.2 | 输入 SAT 单一实体 | 78 |
| 2.7.3 | 输入 SAT 实体集合 | 79 |
| 2.7.4 | 输入 Parasolid 单一实体 | 82 |
| 2.8 | 实例导航——齿轮泵齿轮的建模 | 83 |
| 2.9 | 本章小结 | 97 |

第3章 划分网格 98

| | | |
|-------|-------------------------|-----|
| 3.1 | 有限元网格概论 | 99 |
| 3.2 | 设定单元属性 | 99 |
| 3.2.1 | 生成单元属性表 | 100 |
| 3.2.2 | 在划分网格之前分配单元属性 | 100 |
| 3.2.3 | 设定单元属性实例 | 102 |
| 3.3 | 网格划分的控制 | 106 |
| 3.3.1 | ANSYS 网格划分工具 (MeshTool) | 107 |
| 3.3.2 | 映射网格划分中单元的默认尺寸 | 109 |
| 3.3.3 | 局部网格划分控制 | 110 |
| 3.3.4 | 内部网格划分控制 | 110 |
| 3.3.5 | 生成过渡棱锥单元 | 112 |
| 3.3.6 | 将退化的四面体单元转化为非退化的形式 | 113 |
| 3.3.7 | 执行层网格划分 | 113 |
| 3.3.8 | 网格划分控制实例 | 114 |
| 3.4 | 自由网格划分和映射网格划分控制 | 116 |

| | | |
|-------|-----------------------|-----|
| 3.4.1 | 自由网格划分 | 116 |
| 3.4.2 | 映射网格划分 | 117 |
| 3.5 | 给实体模型划分有限元网格 | 122 |
| 3.5.1 | 用 xMESH 命令生成网格 | 122 |
| 3.5.2 | 生成带方向节点的梁单元网格 | 123 |
| 3.5.3 | 在分界线或者分界面处生成单位厚度的界面单元 | 124 |
| 3.6 | 延伸和扫略生成有限元模型 | 125 |
| 3.6.1 | 延伸 (Extrude) 生成网格 | 125 |
| 3.6.2 | 扫略 (VSWEEP) 生成网格 | 127 |
| 3.7 | 修正有限元模型 | 129 |
| 3.7.1 | 局部细化网格 | 130 |
| 3.7.2 | 移动和复制节点和单元 | 132 |
| 3.7.3 | 控制面、线和单元的法向 | 133 |
| 3.7.4 | 修改单元属性 | 134 |
| 3.8 | 编号控制 | 134 |
| 3.8.1 | 合并重复项 | 135 |
| 3.8.2 | 编号压缩 | 136 |
| 3.8.3 | 设定起始编号 | 136 |
| 3.8.4 | 编号偏差 | 137 |
| 3.9 | 实例导航——齿轮泵齿轮模型 网格划分 | 137 |
| 3.10 | 本章小结 | 142 |

第4章 施加载荷 143

| | | |
|-------|---------------|-----|
| 4.1 | 载荷概论 | 144 |
| 4.1.1 | 什么是载荷 | 144 |
| 4.1.2 | 载荷步、子步和平衡迭代 | 145 |
| 4.1.3 | 时间参数 | 146 |
| 4.1.4 | 阶跃载荷与坡道载荷 | 147 |
| 4.2 | 施加载荷 | 147 |
| 4.2.1 | 实体模型载荷与有限单元载荷 | 148 |
| 4.2.2 | 施加载荷 | 148 |
| 4.2.3 | 利用表格来施加载荷 | 154 |
| 4.2.4 | 轴对称载荷与反作用力 | 156 |

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 4.2.5 | 利用函数来施加载荷和边界条件 | 157 |
| 4.3 | 设定载荷步选项 | 159 |
| 4.3.1 | 通用选项 | 159 |
| 4.3.2 | 非线性选项 | 162 |
| 4.3.3 | 动力学分析选项 | 162 |
| 4.3.4 | 输出控制 | 163 |
| 4.3.5 | Biot-Savart 选项 | 164 |
| 4.3.6 | 谱分析选项 | 165 |
| 4.3.7 | 创建多载荷步文件 | 165 |
| 4.4 | 实例导航——齿轮泵齿轮模型载荷施加 | 166 |
| 4.5 | 本章小结 | 169 |

第 5 章 求解

| | | |
|-------|---------------------------|-----|
| 5.1 | 求解概论 | 171 |
| 5.1.1 | 使用直接求解法 | 172 |
| 5.1.2 | 使用稀疏矩阵直接解法求解器 | 172 |
| 5.1.3 | 使用雅克比共轭梯度法求解器 | 172 |
| 5.1.4 | 使用不完全分解共轭梯度法求解器 | 173 |
| 5.1.5 | 使用预条件共轭梯度法求解器 | 173 |
| 5.1.6 | 使用自动迭代解法选项 | 174 |
| 5.1.7 | 获得解答 | 175 |
| 5.2 | 利用特定的求解控制器来指定 求解类型 | 175 |
| 5.2.1 | 使用 Abridged Solution 菜单选项 | 176 |
| 5.2.2 | 使用求解控制对话框 | 176 |
| 5.3 | 多载荷步求解 | 178 |
| 5.3.1 | 多重求解法 | 178 |
| 5.3.2 | 使用载荷步文件法 | 178 |
| 5.3.3 | 使用数组参数法(矩阵参数法) | 179 |
| 5.4 | 重新启动分析 | 180 |
| 5.4.1 | 重新启动一个分析 | 181 |
| 5.4.2 | 多载荷步文件的重启动分析 | 184 |
| 5.5 | 预测求解时间和估计文件大小 | 186 |
| 5.5.1 | 估计运算时间 | 186 |
| 5.5.2 | 估计文件的大小 | 187 |

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 5.5.3 | 估计内存需求 | 187 |
| 5.6 | 实例导航——齿轮泵齿轮模型求解 | 187 |
| 5.7 | 本章小结 | 188 |

第 6 章 后处理

| | | |
|-------|------------------------|-----|
| 6.1 | 后处理概述 | 190 |
| 6.1.1 | 后处理 | 190 |
| 6.1.2 | 结果文件 | 191 |
| 6.1.3 | 后处理可用的数据类型 | 191 |
| 6.2 | 通用后处理器 (POST1) | 191 |
| 6.2.1 | 将数据结果读入数据库 | 192 |
| 6.2.2 | 列表显示结果 | 198 |
| 6.2.3 | 图像显示结果 | 205 |
| 6.2.4 | 映射结果到某一路径上 | 211 |
| 6.2.5 | 表面操作 | 217 |
| 6.2.6 | 将结果旋转到不同坐标系中显示 | 220 |
| 6.3 | 时间历程后处理 (POST26) | 221 |
| 6.3.1 | 定义和储存 POST26 变量 | 222 |
| 6.3.2 | 检查变量 | 224 |
| 6.3.3 | POST26 后处理器的其他功能 | 226 |
| 6.4 | 实例导航——齿轮泵齿轮模型 结果后处理 | 227 |
| 6.5 | 本章小结 | 234 |

第 2 篇 专题实例篇

第 7 章 静力学分析

| | | |
|-------|------------------|-----|
| 7.1 | 静力分析介绍 | 239 |
| 7.1.1 | 结构静力分析简介 | 239 |
| 7.1.2 | 静力分析的类型 | 240 |
| 7.1.3 | 静力分析基本步骤 | 240 |
| 7.2 | 实例导航——联轴体的静力分析实例 | 241 |
| 7.2.1 | 问题描述 | 241 |



| | | | |
|------------------------|------------|---|------------|
| 7.2.2 建立模型 | 242 | 9.1.1 完全法 (Full Method) | 322 |
| 7.2.3 定义边界条件并求解 | 246 | 9.1.2 减缩方法 (Reduced Method) | 322 |
| 7.2.4 查看结果 | 249 | 9.1.3 模态叠加法 (Mode Superposition Method) | 322 |
| 7.2.5 命令流实现 | 254 | 9.1.4 几种方法的共同局限性 | 323 |
| 7.3 实例导航——钢桁架桥静力受力分析 | 259 | 9.2 谐响应分析的基本步骤 | 323 |
| 7.3.1 问题描述 | 260 | 9.2.1 建立模型 (前处理) | 323 |
| 7.3.2 建立模型 | 260 | 9.2.2 加载和求解 | 324 |
| 7.3.3 定义边界条件并求解 | 268 | 9.2.3 观察模型 (后处理) | 329 |
| 7.3.4 查看结果 | 269 | 9.3 实例导航——弹簧质子系统的谐响应分析 | 331 |
| 7.3.5 命令流实现 | 273 | 9.3.1 问题描述 | 331 |
| 7.4 本章小结 | 276 | 9.3.2 建立模型 | 332 |
| 第 8 章 模态分析 | 277 | 9.3.3 分析模型 | 336 |
| 8.1 模态分析概论 | 278 | 9.3.4 观察结果 | 339 |
| 8.2 模态分析的基本步骤 | 278 | 9.3.5 命令流方式 | 342 |
| 8.2.1 建立模型 | 278 | 9.4 实例导航——吉他的谐响应分析 | 343 |
| 8.2.2 加载及求解 | 279 | 9.4.1 分析问题 | 343 |
| 8.2.3 扩展模态 | 282 | 9.4.2 建立模型 | 344 |
| 8.2.4 观察结果和后处理 | 283 | 9.4.3 定义边界条件并求解 | 349 |
| 8.3 实例导航——结构模态分析实例 | 284 | 9.4.4 查看结果 | 356 |
| 8.3.1 分析问题 | 285 | 9.4.5 命令流方式 | 359 |
| 8.3.2 建立模型 | 285 | 9.5 本章小结 | 360 |
| 8.3.3 进行模态设置、定义边界条件并求解 | 292 | 第 10 章 非线性分析 | 361 |
| 8.3.4 查看结果 | 296 | 10.1 非线性分析概论 | 362 |
| 8.3.5 命令流实现 | 300 | 10.1.1 非线性行为的原因 | 362 |
| 8.4 实例导航——钢桁架桥模态分析 | 310 | 10.1.2 非线性分析的基本信息 | 363 |
| 8.4.1 问题描述 | 310 | 10.1.3 几何非线性 | 365 |
| 8.4.2 模态分析操作方法 | 310 | 10.1.4 材料非线性 | 366 |
| 8.4.3 命令流实现 | 316 | 10.1.5 其他非线性问题 | 370 |
| 8.5 本章小结 | 319 | 10.2 非线性分析的基本步骤 | 370 |
| 第 9 章 谐响应分析 | 320 | 10.2.1 前处理 (建模和分网) | 371 |
| 9.1 谐响应分析概论 | 321 | 10.2.2 设置求解控制器 | 371 |
| | | 10.2.3 设定其他求解选项 | 373 |

| | | |
|--------|-----------------|-----|
| 10.2.4 | 加载 | 374 |
| 10.2.5 | 求解 | 375 |
| 10.2.6 | 后处理 | 375 |
| 10.3 | 实例导航——螺栓的蠕变分析 | 376 |
| 10.3.1 | 问题描述 | 376 |
| 10.3.2 | 建立模型 | 377 |
| 10.3.3 | 设置分析并求解 | 380 |
| 10.3.4 | 查看结果 | 383 |
| 10.3.5 | 命令流实现 | 385 |
| 10.4 | 实例导航——材料非线性分析实例 | 386 |
| 10.4.1 | 分析问题 | 386 |
| 10.4.2 | 建立模型 | 387 |
| 10.4.3 | 定义边界条件并求解 | 391 |
| 10.4.4 | 查看结果 | 393 |
| 10.4.5 | 命令流实现 | 397 |
| 10.5 | 本章小结 | 400 |

第 11 章 结构屈曲分析 401

| | | |
|--------|----------------|-----|
| 11.1 | 结构屈曲概论 | 402 |
| 11.2 | 结构屈曲分析的基本步骤 | 402 |
| 11.2.1 | 前处理 | 402 |
| 11.2.2 | 获得静力解 | 403 |
| 11.2.3 | 获得特征值屈曲解 | 403 |
| 11.2.4 | 扩展解 | 405 |
| 11.2.5 | 后处理(观察结果) | 406 |
| 11.3 | 实例导航——桁架结构屈曲分析 | 406 |
| 11.3.1 | 问题描述 | 407 |
| 11.3.2 | 建立模型 | 407 |
| 11.3.3 | 求解 | 412 |
| 11.3.4 | 查看结果 | 416 |
| 11.3.5 | 命令流实现 | 421 |
| 11.4 | 本章小结 | 425 |

第 12 章 谱分析 426

| | | |
|------|-------|-----|
| 12.1 | 谱分析概论 | 427 |
|------|-------|-----|

| | | |
|--------|-------------------|-----|
| 12.1.1 | 响应谱 | 427 |
| 12.1.2 | 动力设计分析方法(DDAM) | 427 |
| 12.1.3 | 功率谱密度(PSD) | 427 |
| 12.2 | 谱分析的基本步骤 | 428 |
| 12.2.1 | 前处理 | 428 |
| 12.2.2 | 模态分析 | 428 |
| 12.2.3 | 谱分析 | 429 |
| 12.2.4 | 扩展模态 | 431 |
| 12.2.5 | 合并模态 | 432 |
| 12.2.6 | 后处理 | 434 |
| 12.3 | 实例导航——支撑平板的动力效果分析 | 435 |
| 12.3.1 | 问题描述 | 435 |
| 12.3.2 | 建立模型 | 436 |
| 12.3.3 | 进行分析 | 444 |
| 12.3.4 | 后处理 | 455 |
| 12.3.5 | 命令流实现 | 458 |
| 12.4 | 本章小结 | 460 |

第 13 章 瞬态动力学分析 461

| | | |
|--------|----------------------------------|-----|
| 13.1 | 瞬态动力学概论 | 462 |
| 13.1.1 | 完全法(Full Method) | 462 |
| 13.1.2 | 模态叠加法(Mode Superposition Method) | 463 |
| 13.1.3 | 减缩法(Reduced Method) | 463 |
| 13.2 | 瞬态动力学的基本步骤 | 463 |
| 13.2.1 | 前处理(建模和分网) | 464 |
| 13.2.2 | 建立初始条件 | 464 |
| 13.2.3 | 设定求解控制器 | 465 |
| 13.2.4 | 设定其他求解选项 | 467 |
| 13.2.5 | 施加载荷 | 467 |
| 13.2.6 | 设定多载荷步 | 468 |
| 13.2.7 | 瞬态求解 | 469 |
| 13.2.8 | 后处理 | 469 |
| 13.3 | 实例导航——瞬态动力学分析实例 | 471 |



13.3.1 分析问题.....471

13.3.2 建立模型.....472

13.3.3 进行瞬态动力分析设置、定义边界条件并求解.....476

13.3.4 查看结果.....481

13.3.5 命令流实现.....483

13.4 本章小结.....485

第 14 章 接触问题分析.....486

14.1 接触问题概论.....487

14.1.1 一般分类.....487

14.1.2 接触单元.....487

14.2 接触分析的步骤.....488

14.2.1 建立模型，并划分网格.....489

14.2.2 识别接触对.....489

14.2.3 定义刚性目标面.....490

14.2.4 定义柔性体的接触面.....491

14.2.5 设置实常数和单元关键点.....493

14.2.6 控制刚性目标的运动.....493

14.2.7 给变形体单元施加必要的边界条件.....494

14.2.8 定义求解和载荷步选项.....494

14.2.9 求解.....495

14.2.10 检查结果.....495

14.3 实例导航——陶瓷套管的接触分析.....496

14.3.1 问题描述.....496

14.3.2 建立模型并划分网格.....497

14.3.3 定义边界条件并求解.....503

14.3.4 后处理.....508

14.3.5 命令流实现.....512

14.4 本章小结.....518

第 15 章 优化设计.....519

15.1 优化设计概论.....520

15.2 优化设计的基本步骤.....522

15.2.1 生成分析文件.....522

15.2.2 建立优化过程中的参数.....525

15.2.3 进入 OPT 处理器，指定分析文件.....526

15.2.4 指定优化变量.....526

15.2.5 选择优化工具或优化方法.....526

15.2.6 指定优化循环控制方式.....527

15.2.7 进行优化分析.....528

15.2.8 查看设计序列结果.....529

15.3 实例导航——框架结构的优化设计.....530

15.3.1 问题描述.....530

15.3.2 建立模型.....531

15.3.3 求解.....534

15.3.4 优化设计.....536

15.3.5 查看优化结果.....541

15.3.6 命令流实现.....545

15.4 本章小结.....550



第1篇

操作基础篇

本篇详细介绍 ANSYS 14 的有关理论基础和基本操作方法与流程，包括有限元分析基本理论、几何建模、划分网格、施加载荷、求解、后处理等 ANSYS 分析的整个流程的基本知识和技巧，内容详细具体，全程贯穿一个 ANSYS 分析实例对有关基本理论和基本操作方法进行串联和具体应用。



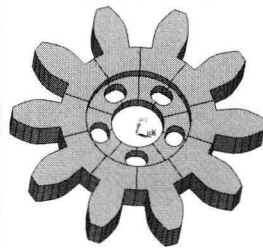
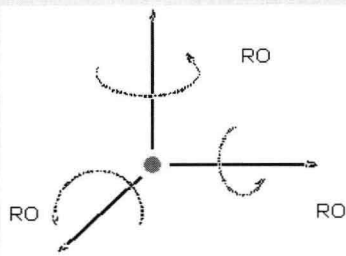
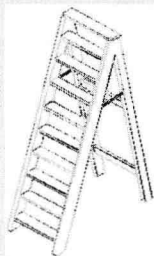
第1章

ANSYS 概述

本章导读

本章首先介绍 CAE 技术及其有关基本知识,并由此引出了 ANSYS 的最新版本 14。讲述了新版本功能特点以及 ANSYS 程序结构和分析基本流程。

本章提纲挈领地介绍了 ANSYS 的基本知识,主要目的是给读者提供一个 ANSYS 的感性认识。



1.1

有限单元法简介



有限单元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法，是 20 世纪 50 年代首先在连续力学领域（飞机结构静、动态特性分析）中应用的一种有效的数值分析方法，随后很快就广泛地用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题。

1.1.1 CAE 软件简介

传统的产品设计流程往往都是首先由客户提出产品相关的规格及要求，然后由设计人员进行概念设计，接着由工业设计人员对产品进行外观设计及功能规划，之后再由工程人员对产品进行详细设计。设计方案确定以后，便进行开模等投产前置工作。由图 1-1 可以发现，各项产品测试皆在设计流程后期方能进行。因此，一旦发生问题，除了必须付出设计成本，相关前置作业也需改动，而且发现问题越晚，重新设计所付出的成本将会越高，若影响交货期或产品形象，损失更是难以估计，为了避免此情形的发生，预期评估产品的特质便成为设计人员的重要课题。

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极大地推动了相关产业和学科研究地进步。有限元、有限体积及差分等方法与计算机技术相结合，诞生了新兴的跨专业和跨行业的学科。CAE 作为一种新兴的数值模拟分析技术，越来越受到工程技术人员的重视。在产品开发过程中引入 CAE 技术后，在产

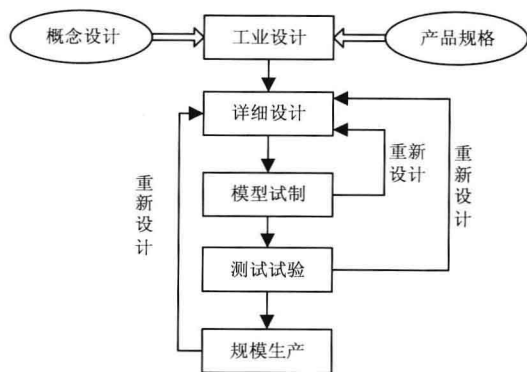


图 1-1 传统产品设计流程图

品尚未批量生产之前，不仅能协助工程人员做产品设计，更可以在争取订单时，作为一种强有力的工具协助营销人员及管理人员与客户沟通；在批量生产阶段，可以协助工程技术人员在重新更改时，找出问题发生的起点。在批量生产以后，相关分析结果还可以成为下次设计的重要依据。图 1-2 所示为引入 CAE 后产品设计流程图。

以电子产品为例，80% 的电子产品都来自于高速撞击，研究人员往往耗费大量的时间和成本，针对产品做相关的质量试验，最常见的如落

下与冲击试验,这些不仅耗费了大量的研发时间和成本,而且试验本身也存在很多缺陷,表现在以下几方面。

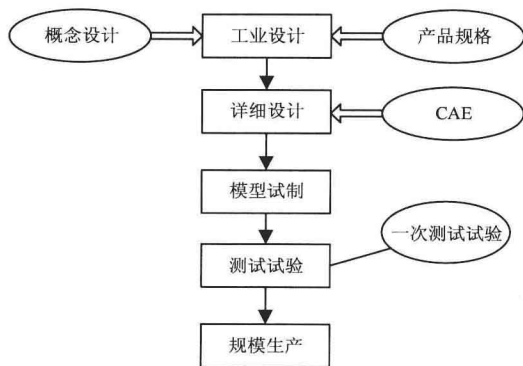


图 1-2 引入 CAE 后产品设计流程图

其一,试验发生的历程很短,很难观察试验过程的现象。

其二,测试条件难以控制,试验的重复性很差。

其三,试验时很难测量产品内部特性和观察内部现象。

其四,一般只能得到试验结果,而无法观察试验原因。

引入 CAE 后可以在产品开模之前,透过相应软件对电子产品模拟自由落下试验 (Free Drop Test)、模拟冲击试验 (Shock Test) 以及应力应变分析、振动仿真、温度分布分析等求得设计的最佳解,进而为一次试验甚至无试验可使产品通过测试规范提供了可能。

CAE 的重要性体现以下几方面。

(1) CAE 本身就可以看作一种基本试验。计算机计算弹体的侵彻与炸药爆炸过程以及各种非线性波的相互作用等问题,实际上是求解含有许多线性与非线性的偏微分方程、积分方

程以及代数方程等的耦合方程组。利用解析方法求解爆炸力学问题是非常困难的,一般只能考虑一些很简单的问题。利用试验方法费用昂贵,还只能表征初始状态和最终状态,中间过程无法得知,因而也无法帮助研究人员了解问题的实质。而数值模拟在某种意义上比理论与试验对问题的认识更为深刻、更为细致,不仅可以了解问题的结果,而且可随时连续动态地、重复地显示事物的发展,了解其整体与局部的细致过程。

(2) CAE 可以直观地显示目前还不易观测到的、说不清楚的一些现象,容易为人理解和分析;还可以显示任何试验都无法看到的发生在结构内部的一些物理现象。如弹体在不均匀介质侵彻过程中的受力和偏转,爆炸波在介质中的传播过程和地下结构的破坏过程。同时,数值模拟可以替代一些危险、昂贵的甚至是难于实施的试验,如反应堆的爆炸事故,核爆炸的过程与效应等。

(3) CAE 促进了试验的发展,对试验方案的科学制定、试验过程中测点的最佳位置、仪表量程等的确定提供更可靠的理论指导。侵彻、爆炸试验费用是昂贵的,并存在一定危险,因此数值模拟不但有很大的经济效益,而且可以加速理论、试验研究的进程。

(4) 一次投资,长期受益。虽然数值模拟大型软件系统的研制需要花费相当多的经费和人力资源,但和试验相比,数值模拟软件可以进行复制移植、重复利用,并可进行适当修改而满足不同情况的需求。据相关统计数据显示,应用 CAE 技术后,开发期的费用占开发成本的比例,从 80%~90%下降到 8%~12%。

1.1.2 有限单元法的基本概念

1. 有限元分析

有限元分析是利用数学近似的方法对真实物理系统（几何和载荷工况）进行模拟。利用简单而又相互作用的元素，即单元，就可以用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统。

结构分析的有限元方法是由一批学术界和工业界的研究者在 20 世纪 50 年代到 60 年代创立的。

有限元分析理论已有 100 多年的历史，现已成为悬索桥和蒸汽锅炉进行手算评核的基础。

2. 有限元模型

有限元模型如图 1-3 所示。图中左边的是真实的结构，右边是对应的有限元模型。有限元模型可以看作是真实结构的一种分格，即把真实结构看作是由一个个小的分块部分构成的，或者在真实结构上划线，通过这些线真实结构被分离成一个个的部分。

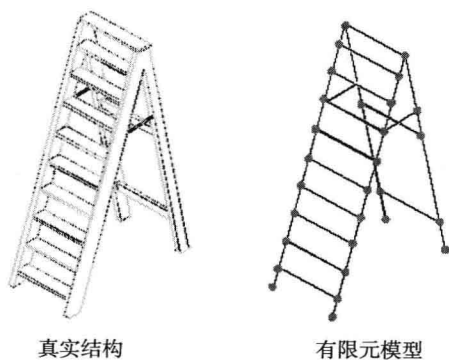


图 1-3 有限元模型

3. 自由度

自由度（DOFs）用于描述一个物理场的

响应特性，如图 1-4 所示。不同的物理场需要描述的自由度不同，如表 1-1 所示。

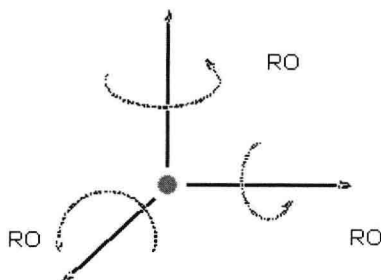


图 1-4 结构自由度 DOFs

表 1-1 学科方向与自由度

| 学科方向 | 自由度 |
|------|-----|
| 结构 | 位移 |
| 热 | 温度 |
| 电 | 电位 |
| 流体 | 压力 |
| 磁 | 磁位 |

4. 节点和单元

节点和单元如图 1-5 所示。

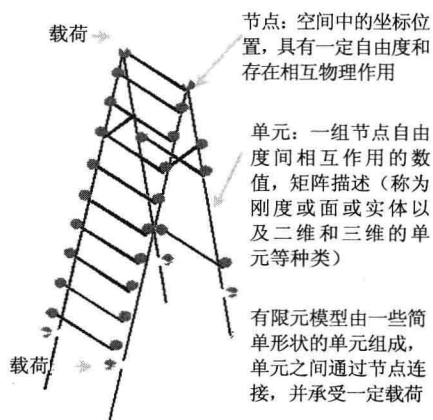


图 1-5 节点和单元

每个单元的特性是通过一些线性方程式来描述的。作为一个整体，单元形成了整体结构的数学模型。

整体结构的数学模型的规模与结构的大小有关，尽管图 1-1 所示中梯子的有限元模型低于 100 个方程（即“自由度”），然而在今天一个小的 ANSYS 分析就可能有 5000 个未知量，矩阵可能有 25 000 000 个刚度系数。

早期 ANSYS 是随计算机硬件而发展壮大的。ANSYS 最早是在 1970 年发布的，运行在价格为 \$1 000 000 的 CDC、由 Univac 和 IBM 生产的计算机上，它们的处理能力远远落后于今天的 PC。一台奔腾 PC 在几分钟内可求解 $5\,000 \times 5\,000$ 的矩阵系统，而过去则需要几天时间。

单元之间的信息是通过单元之间的公共节点传递的，但是分离节点重叠的单元 A 和 B 之间没有信息传递（需进行节点合并处理），具有公共节点的单元之间存在信息传递，单元传递的内容是节点自由度，不同单元之间传递不同的信息。以下列出常用单元之间传递的自由度信息。

- 三维杆单元（铰接）UX, UY, UZ;
- 二维或轴对称实体单元 UX, UY;
- 三维实体结构单元 UX, UY, UZ;
- 三维梁单元 UX, UY, UZ, ROTX, ROTY,

ROTX;

三维四边形壳单元 UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ;

三维实体热单元 TEMP。

5. 单元形函数

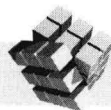
FEA（有限单元法）仅仅求解节点处的 DOF 值。单元形函数是一种数学函数，规定了从节点 DOF 值到单元内所有点处 DOF 值的计算方法。因此，单元形函数提供一种描述单元内部结果的“形状”。单元形函数描述的是给定单元的一种假定的特性。单元形函数与真实工作特性吻合好坏程度直接影响求解精度。

DOF 值可以精确或不太精确地等于在节点处的真实解，但单元内的平均值与实际情况吻合得很好。这些平均意义上的典型解是从单元 DOFs 推导出来的（如结构应力、热梯度）。如果单元形函数不能精确描述单元内部的 DOFs，就不能很好地得到导出数据，因为这些导出数据是通过单元形函数推导出来的。

当选择了某种单元类型时，也就十分确定地选择并接受该种单元类型所假定的单元形函数。在选定单元类型并随之确定了单元形函数的情况下，必须确保分析时有足够数量的单元和节点来精确描述所要求解的问题。

1.2

ANSYS 简介



ANSYS 软件是融合结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件，可广泛用于核工业、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