



用实例说话
详解

ANSYS

有限元分析

- ☆ 全面完整的知识体系
- ☆ 深入浅出的理论知识
- ☆ 循序渐进的分析阐述
- ☆ 图文并茂的实例讲解

◎刘平安 槐创锋 编著



多媒体讲解



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>

用实例说话

详解 ANSYS 有限元分析

刘平安 槐创锋 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS 15.0 为平台,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述 ANSYS 的工程应用方法。书中尽量避免烦琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者的软件使用经验,每个实例都先用 GUI 方式一步一步操作,随后提供详细的命令流,读者能轻松学会。

本书分为两部分,第一部分为操作基础篇,详细介绍 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法,内容包括 ANSYS 概论、图形用户界面、几何建模、划分网格、施加载荷、求解、后处理。第二部分为专题实例篇,按不同的分析专题讲解各专题的参数设置方法与技巧,内容包括结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、谱分析、非线性分析、瞬态动力学分析、结构屈曲分析、热分析。

本书适合 ANSYS 软件的初中级用户,以及有初步使用经验的技术人员学习,可作为理工院校相关专业高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的教材,也可作为相关行业从事结构分析的工程技术人员的参考书。

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

详解 ANSYS 有限元分析 / 刘平安, 槐创锋编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.4

(用实例说话)

ISBN 978-7-121-25657-8

I. ①详… II. ①刘… ②槐… III. ①机械设计—有限元分析—应用程序 IV. ①TH122-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 046818 号

策划编辑: 许存权

责任编辑: 许存权 特约编辑: 马军令

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: 24 字数: 610 千字

版 次: 2015 年 4 月第 1 版

印 次: 2015 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元(含 DVD 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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言



ANSYS 软件是将结构、流体、电场、磁场、声场分析融于一体的大型通用有限元分析软件，由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 开发。它能与多数 CAD 软件接口，实现数据的共享和交换，如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS、AutoCAD 等，是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。

有限元法作为数值计算方法在工程分析领域中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 软件可广泛应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利和日用家电等工业制造及科学研究领域。ANSYS 软件的研究与开发不断汲取当今计算方法和计算机技术的最新发展，领导着有限元软件发展的趋势，并为全球工业界广泛接受，拥有全球最大的用户群。

书中尽量避开了烦琐的理论描述，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，在每个实例的后面都列出了分析过程的命令流文件。

全书共 15 章，分为两部分。第一部分为操作基础篇，详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法，分为 7 章：第 1 章 ANSYS 概论、第 2 章图形用户界面、第 3 章几何建模、第 4 章划分网格、第 5 章施加载荷、第 6 章求解、第 7 章后处理。第二部分为专题实例篇，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 8 章：第 8 章结构静力学分析、第 9 章模态分析、第 10 章谐响应分析、第 11 章谱分析、第 12 章非线性分析、第 13 章瞬态动力学分析、第 14 章结构屈曲分析、第 15 章热分析。

本书附有多媒体学习光盘，包括全书实例的源文件和实例操作过程的录屏 AVI 文件，读者可以通过观看录像的方式，学习各类有限元分析的具体方法。这也相当于老师在旁边手把手地指导，可起到事半功倍的学习效果。

本书由华东交通大学的刘平安、槐创锋老师主编。华东交通大学的涂嘉、许玢、黄志刚、钟礼东老师参与部分章节编写，其中刘平安编写第 1~4 章，槐创锋编写第 5~7 章，涂嘉编写第 8~10 章，许玢编写第 11~12 章，黄志刚编写第 13~14 章，钟礼东编写第 15 章，张日晶、杨雪静、闫聪聪、孟培、万金环、卢园、王敏、王玮、康士廷、刘昌丽、胡仁喜等在资料的收集、整理、校对等方面做了大量工作，在此向他们表示感谢！

由于编者的经验水平有限，且时间仓促，书中不足在所难免，望广大读者登录网站 www.sjzswsw.com 或发送电子邮件到 win760520@126.com，对本书提出批评和建议，以方便作进一步的修改。

作者

目 录

第 1 章 ANSYS 概论	1	2.3.7 参量菜单	32
1.1 有限元常用术语	1	2.3.8 宏菜单	35
1.2 有限元法的分析过程	2	2.3.9 菜单控制菜单	36
1.3 ANSYS 15.0 的安装与启动	3	2.3.10 帮助菜单	36
1.3.1 系统要求	3	2.4 输入窗口	38
1.3.2 设置运行参数	4	2.5 主菜单	38
1.3.3 启动与退出	7	2.5.1 优选项	39
1.4 ANSYS 分析的基本过程	8	2.5.2 预处理器	39
1.4.1 前处理	8	2.5.3 求解器	44
1.4.2 加载并求解	8	2.5.4 通用后处理器	47
1.4.3 后处理	9	2.5.5 时间历程后处理器	50
第 2 章 图形用户界面	10	2.5.6 记录编辑器	51
2.1 ANSYS 15.0 图形用户界面的组成	10	2.6 输出窗口	52
2.2 对话框及其组件	12	2.7 工具条	52
2.2.1 文本框	12	2.8 图形窗口	53
2.2.2 单选列表	13	2.8.1 图形显示	53
2.2.3 双列选择列表	13	2.8.2 多窗口绘图	55
2.2.4 标签对话框	13	2.8.3 增强图形显示	58
2.2.5 选取框	14	2.9 个性化界面	58
2.3 通用菜单	15	2.9.1 改变颜色和字体	59
2.3.1 文件菜单	15	2.9.2 改变 GUI 的启动菜单显示	59
2.3.2 选取菜单	17	2.9.3 改变菜单链接和对话框	59
2.3.3 列表菜单	20	第 3 章 几何建模	60
2.3.4 绘图菜单	23	3.1 几何建模概述	60
2.3.5 绘图控制菜单	24	3.1.1 自底向上创建几何模型	60
2.3.6 工作平面菜单	30	3.1.2 自顶向下创建几何模型	61
		3.1.3 布尔运算操作	61

- 3.1.4 拖拉和旋转..... 62
- 3.1.5 移动和复制..... 62
- 3.1.6 修改模型（清除和删除）..... 62
- 3.1.7 从 IGES 文件几何模型导入到 ANSYS..... 63
- 3.2 坐标系简介..... 63
 - 3.2.1 总体和局部坐标系..... 63
 - 3.2.2 显示坐标系..... 66
 - 3.2.3 节点坐标系..... 66
 - 3.2.4 单元坐标系..... 67
 - 3.2.5 结果坐标系..... 67
- 3.3 工作平面的使用..... 68
 - 3.3.1 定义一个新的工作平面..... 68
 - 3.3.2 控制工作平面的显示和样式..... 69
 - 3.3.3 移动工作平面..... 69
 - 3.3.4 旋转工作平面..... 70
 - 3.3.5 还原一个已定义的工作平面..... 70
- 3.4 自底向上创建几何模型..... 70
 - 3.4.1 关键点..... 71
 - 3.4.2 硬点..... 72
 - 3.4.3 线..... 73
 - 3.4.4 面..... 75
 - 3.4.5 体..... 77
- 3.5 自顶向下创建几何模型（体素）..... 78
 - 3.5.1 创建面体素..... 78
 - 3.5.2 创建实体体素..... 79
- 3.6 使用布尔操作来修正几何模型..... 80
 - 3.6.1 布尔运算的设置..... 80
 - 3.6.2 布尔运算之后的图元编号..... 81
 - 3.6.3 交运算..... 81
 - 3.6.4 两两相交..... 82
 - 3.6.5 相加..... 83
 - 3.6.6 相减..... 83
 - 3.6.7 利用工作平面作减运算..... 84
 - 3.6.8 搭接..... 85
 - 3.6.9 分割..... 85
 - 3.6.10 粘接（或合并）..... 85
 - 3.6.11 实例——托架建模..... 86

- 3.7 移动、复制和缩放几何模型..... 93
 - 3.7.1 按照样本生成图元..... 93
 - 3.7.2 由对称映像生成图元..... 94
 - 3.7.3 将样本图元转换坐标系..... 94
 - 3.7.4 实体模型图元的缩放..... 95

第 4 章 网格划分..... 96

- 4.1 有限元网格概述..... 96
- 4.2 设定单元属性..... 97
 - 4.2.1 生成单元属性表..... 97
 - 4.2.2 在划分网格之前分配单元属性..... 97
- 4.3 网格划分的控制..... 100
 - 4.3.1 ANSYS 网格划分工具（MeshTool）..... 100
 - 4.3.2 单元形状..... 100
 - 4.3.3 选择自由或映射网格划分..... 101
 - 4.3.4 控制单元边中节点的位置..... 101
 - 4.3.5 划分自由网格时的单元尺寸控制（SmartSizing）..... 102
 - 4.3.6 映射网格划分中单元的默认尺寸..... 102
 - 4.3.7 局部网格划分控制..... 103
 - 4.3.8 内部网格划分控制..... 104
 - 4.3.9 生成过渡棱锥单元..... 105
 - 4.3.10 将退化的四面体单元转化为非退化的形式..... 106
 - 4.3.11 执行层网格划分..... 106
- 4.4 自由网格划分和映射网格划分控制..... 107
 - 4.4.1 自由网格划分..... 107
 - 4.4.2 映射网格划分..... 108
 - 4.4.3 实例——托架的网格划分..... 112
- 4.5 延伸和扫掠生成有限元模型..... 113
 - 4.5.1 延伸（Extrude）生成网格..... 113
 - 4.5.2 扫掠（VSWEEP）生成网格..... 114
- 4.6 直接通过节点和单元生成有限元模型..... 117

4.6.1	节点	117	第 6 章	求解	157
4.6.2	单元	119	6.1	求解概述	157
4.7	编号控制	121	6.1.1	使用直接求解法	158
4.7.1	合并重复项	121	6.1.2	使用稀疏矩阵直接求解法 求解器	158
4.7.2	编号压缩	122	6.1.3	使用雅克比共轭梯度法求 解器	159
4.7.3	设定起始编号	122	6.1.4	使用不完全分解共轭梯度 法求解器	159
4.7.4	编号偏差	123	6.1.5	使用预条件共轭梯度法求 解器	159
4.8	综合实例——内六角扳手的建模及 网格划分	123	6.1.6	使用自动迭代求解器选项	160
4.8.1	问题描述	123	6.1.7	获得解答	161
4.8.2	GUI 路径模式	124	6.2	利用特定的求解控制器来指定求 解类型	161
第 5 章	施加载荷	132	6.2.1	使用 Abridged Solution 菜单选项	161
5.1	载荷概述	132	6.2.2	使用求解控制对话框	162
5.1.1	什么是载荷	132	6.2.3	实例——托架的求解	163
5.1.2	载荷步、子步和平衡迭代	133	6.3	多载荷步求解	164
5.1.3	时间参数	134	6.3.1	多重求解法	164
5.1.4	阶跃载荷与坡道载荷	135	6.3.2	使用载荷步文件法	164
5.2	施加载荷概述	136	6.3.3	使用数组参数法(矩阵 参数法)	165
5.2.1	实体模型载荷与有限单元 载荷	136	6.4	重新启动分析	166
5.2.2	施加载荷	137	6.4.1	重新启动一个分析	167
5.2.3	利用表格来施加载荷	142	6.4.2	多载荷步文件的重启动 分析	170
5.2.4	轴对称载荷与反作用力	144	6.4.3	实例——内六角扳手求解	172
5.2.5	实例——托架施加载荷	145	6.5	预测求解时间和估计文件大小	173
5.3	设定载荷步选项	146	6.5.1	估计运算时间	173
5.3.1	通用选项	147	6.5.2	估计文件的大小	173
5.3.2	非线性选项	150	6.5.3	估计内存需求	173
5.3.3	动力学分析选项	150	第 7 章	后处理	174
5.3.4	输出控制	151	7.1	后处理概述	174
5.3.5	创建多载荷步文件	152	7.1.1	什么是后处理	174
5.4	综合实例——内六角扳手的载荷 施加	153	7.1.2	结果文件	175
5.4.1	添加位移边界条件	153			
5.4.2	显示边界条件	154			
5.4.3	在手柄上施加压力	154			
5.4.4	写第一载荷步	155			
5.4.5	定义向下的压力	156			
5.4.6	写第二载荷步	156			

7.1.3	后处理可用的数据类型	175	第 10 章	谐响应分析	236
7.2	通用后处理器 (POST1)	176	10.1	谐响应分析概述	236
7.2.1	将数据结果读入数据库	176	10.2	谐响应分析的基本步骤	237
7.2.2	列表显示结果	182	10.2.1	建立模型 (前处理)	237
7.2.3	图像显示结果	189	10.2.2	加载和求解	238
7.2.4	实例——查看计算结果	193	10.2.3	观察模型 (后处理)	244
7.3	时间历程后处理器 (POST26)	194	10.3	综合实例——琴弦谐响应分析	246
7.3.1	定义和储存 POST26 变量	195	10.3.1	分析问题	246
7.3.2	检查变量	197	10.3.2	建立模型	246
7.3.3	POST26 后处理器的其他功能	199	10.3.3	查看结果	259
7.4	综合实例——内六角扳手的静态分析后处理	200	10.3.4	命令方式	262
7.4.1	读取第一个载荷步计算结果	200	第 11 章	谱分析	263
7.4.2	读取下一载荷步计算结果	202	11.1	谱分析概述	263
7.4.3	放大横截面	203	11.1.1	响应谱	263
第 8 章	静力分析	205	11.1.2	动力设计分析方法 (DDAM)	264
8.1	静力分析概述	205	11.1.3	功率谱密度 (PSD)	264
8.1.1	结构静力分析简介	205	11.2	谱分析的基本步骤	264
8.1.2	静力分析的类型	206	11.2.1	前处理	264
8.1.3	静力分析的求解步骤	207	11.2.2	模态分析	264
8.2	钢桁架桥静力受力分析	207	11.2.3	谱分析	265
8.2.1	问题描述	207	11.2.4	扩展模态	267
8.2.2	GUI 操作方法	208	11.2.5	合并模态	268
8.2.3	命令流实现	223	11.2.6	后处理	270
第 9 章	模态分析	224	11.3	综合实例——三层框架结构地震响应分析	272
9.1	模态分析概述	224	11.3.1	问题描述	272
9.2	模态分析的基本步骤	225	11.3.2	GUI 操作方法	273
9.2.1	建模	225	11.3.3	命令流实现	284
9.2.2	加载及求解	225	第 12 章	非线性分析	285
9.2.3	扩展模态	228	12.1	非线性分析概述	285
9.2.4	观察结果和后处理	230	12.1.1	非线性行为的原因	286
9.3	钢桁架桥模态分析	231	12.1.2	非线性分析的基本信息	286
9.3.1	问题描述	231	12.1.3	几何非线性	288
9.3.2	GUI 操作方法	231	12.1.4	材料非线性	289
9.3.3	命令流实现	235	12.1.5	其他非线性问题	293

12.2 非线性分析的基本步骤	293	自由振动分析	324
12.2.1 前处理(建模和分网)	294	13.3.1 问题描述	324
12.2.2 设置求解控制器	294	13.3.2 GUI 模式	325
12.2.3 设定其他求解选项	296	13.3.3 命令流方式	335
12.2.4 加载	298	第 14 章 结构屈曲分析	336
12.2.5 求解	298	14.1 结构屈曲概述	336
12.2.6 后处理	298	14.2 结构屈曲分析的基本步骤	337
12.3 综合实例——铆钉冲压应力分析	300	14.2.1 前处理	337
12.3.1 分析问题	300	14.2.2 获得静力解	337
12.3.2 建立模型	300	14.2.3 获得特征值屈曲解	337
12.3.3 定义边界条件并求解	307	14.2.4 扩展解	339
12.3.4 查看结果	309	14.2.5 后处理(观察结果)	340
12.3.5 命令	313	14.3 综合实例——框架结构的屈曲	
第 13 章 瞬态动力学分析	314	分析	341
13.1 瞬态动力学概述	314	14.3.1 问题描述	341
13.1.1 完全法(Full Method)	315	14.3.2 操作步骤	342
13.1.2 模态叠加法(Mode Superposition Method)	315	14.3.3 命令流	355
13.1.3 减缩法(Reduced Method)	315	第 15 章 热分析	356
13.2 瞬态动力学的基本步骤	316	15.1 热分析概述	356
13.2.1 前处理(建模和分网)	316	15.1.1 热分析的特点	356
13.2.2 建立初始条件	316	15.1.2 热分析单元	357
13.2.3 设定求解控制器	317	15.2 热分析的基本过程	358
13.2.4 设定其他求解选项	319	15.2.1 稳态热分析	358
13.2.5 施加载荷	319	15.2.2 瞬态热分析	365
13.2.6 设定多载荷步	321	15.3 综合实例——蒸汽管分析	370
13.2.7 瞬态求解	321	15.3.1 问题描述	370
13.2.8 后处理	322	15.3.2 问题分析	370
13.3 综合实例——哥伦布阻尼的		15.3.3 GUI 操作步骤	371
		15.3.4 命令流	374

第 1 章

ANSYS 概论

本章简要介绍有限元分析软件 ANSYS 的最新版本 15.0，讲述了有限元分析的常用术语、分析过程以及 ANSYS 的启动、配置，最后认识一下 ANSYS 分析的基本过程。

1.1 有限元常用术语

1. 单元

对于任何连续体，可以利用网格生成技术离散成若干个小的区域，其中的每一个小的区域称为一个单元。常见的单元类型有线单元、三角形单元、四边形单元、四面体单元和六面体单元几种。由于单元是组成有限元模型的基础，因此单元的类型对于有限元分析是至关重要的。工程中常用到的单元有杆（Link）单元、梁（Beam）单元、块（Block）单元、平面（Plane）单元、集中质量（Mass）单元、管（Pipe）单元、壳（Shell）单元和流体（Fluid）单元等。

2. 节点

单元和单元之间连接的点称为节点，它在将实际连续体离散成为单元群的过程中起到桥梁作用，ANSYS 程序正是通过节点信息来组成刚度矩阵进行计算的。同一种单元类型根据节点个数的不同分成不同的种类，如同为平面单元，PLANE2 单元是 6 个节点，而 PLANE42 是 4 个节点。

3. 节点力和节点载荷

节点力指的是相邻单元之间的节点间的相互作用力。而作用在节点上的外载荷称为节点载荷。外载荷包括集中力和分布力等。在不同的学科中，载荷的含义也不尽相同。在电磁场分析中，载荷指结构受的电场和磁场作用。在温度场分析中，所载荷则指的是温度。

4. 边界条件

边界条件指的是结构边界上所受到的外加约束。在有限元分析中，边界条件的确定是非常重要的。错误的边界条件选择往往使有限元中的刚度矩阵发生奇异，使程序无法正常运行。因此，施加正确的边界条件是获得正确的分析结果和较高的分析精度的重要条件。

5. 位移函数

位移函数指用来表征单元内的位移或位移场的近似函数。正确选择位移函数直接关系到其对应单元的计算精度和能力，位移函数要满足以下几个条件。

- (1) 在单元内部必须是连续的。
- (2) 位移函数必须含单元的刚体位移。
- (3) 相邻单元在交界处的位移是连续的。

1.2 有限元法的分析过程

有限元法的基本思想是将连续的结构离散成有限个单元，并在每一个单元中设定有限个节点，将连续体看作是只在节点处相连接的一组单元的集合体；同时选定场函数的节点值作为基本未知量，并在每一个单元中假设一近似插值函数以表示单元场中函数的分布规律；进而利用力学中的某些变分原理去建立用以求解节点未知量的有限元方程，从而将一个连续域中的无限自由度问题化为离散域中的自由度问题。一经求解就可以利用解得的节点值和设定的插值函数确定单元上以至整个集合体上的场函数，有限元法的分析过程可以分为如下 5 个步骤。

(1) 结构离散化。离散化就是指将所分析问题的结构分割成有限个单元体，并在单元体的指定点设置节点，使相邻单元的有关参数具有一定的连续性，形成有限元网格，即将原来的连续体离散为在节点处相连接的有限单元组合体，用它来代替原来的结构。结构离散化时，划分单元的大小和数目应当根据计算精度和计算机的容量等因素来确定。

(2) 选择位移插值函数。为了能用节点位移表示单元体的位移、应变和应力，在分析连续体问题时，必须对单元中位移的分布作出一定的假设，即假定位移是坐标的某种简单函数（插值函数或位移模式），通常采用多项式作为位移函数。选择适当的位移函数是有限元法分析中的关键，应当注意以下几个方面。

- ① 多项式项数应等于单元的自由度数。
- ② 多项式阶次应包含常数项和线性项。
- ③ 单元自由度应等于单元节点独立位移的个数。

位移矩阵为：
$$\{f\} = [N]\{\delta\}^e \quad (1-1)$$

式中， $\{f\}$ 为单元内任意一点的位移， $\{\delta\}$ 为单元节点的位移， $[N]$ 为行函数。

(3) 分析单元的力学特性。

先利用几何方程推导出用节点位移表示的单元应变：

$$\{\epsilon\} = [B]\{\delta\}^e \quad (1-2)$$

式中， $\{\epsilon\}$ 为单元应变， $[B]$ 为单元应变矩阵。

再由本构方程可导出用节点位移表示的单元应力：

$$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta\}^e \quad (1-3)$$

式中, $[D]$ 为单元材料有关的弹性矩阵。

最后由变分原理可得到单元上节点力与节点位移间的关系式 (即平衡方程):

$$\{F\}^e = [k]^e \{\delta\}^e \quad (1-4)$$

式中, $[k]^e$ 为单元刚度矩阵:

$$\{k\}^e = \iiint [B]^T [D] [B] dx dy dz \quad (1-5)$$

(4) 集合所有单元的平衡方程, 建立整体结构的平衡方程。即先将各个单元的刚度矩阵合成整体刚度矩阵, 然后将各单元的等效节点力列阵集成总的载荷阵列——称为总刚矩阵 $[K]$:

$$[K] = \sum [k]^e \quad (1-6)$$

由总刚矩阵形成整个结构的平衡方程:

$$[K]\{\delta\} = [F] \quad (1-7)$$

(5) 由平衡方程求解未知节点位移和计算单元应力。有限元求解程序的内部过程如图 1-1 所示。因为单元可以设计成不同的几何形状, 所以可以灵活地模拟和逼近复杂的求解区域。很显然, 只要插值函数满足一定的要求, 随着单元数目的增加, 解的精度也会不断提高而最终收敛于问题的精确解。虽然从理论上讲, 不断增加单元数目可以使数值分析解最终收敛于问题的精确解, 但这却大大地增加了计算机运行时间。而在实际工程应用中, 只要所得的解能够满足工程的实际需要就可以, 因此, 有限元法的基本策略就是在分析精度和分析时间上找到一个最佳平衡点。

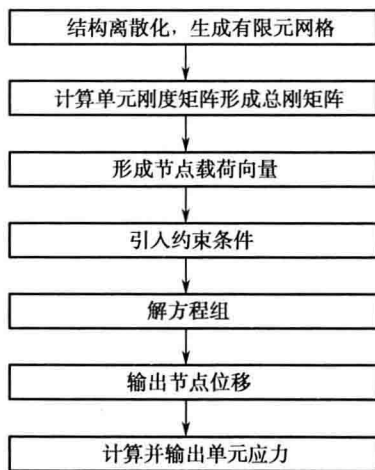


图 1-1 有限元求解程序图

1.3 ANSYS 15.0 的安装与启动

1.3.1 系统要求

1. 操作系统要求

(1) ANSYS 15.0 可运行于 HP-UX Itanium 64 (hpia64)、IBM AIX 64 (aix64)、Sun SPARC

64 (solus64)、Sun Solaris x64 (solx64)、Linux 32 (lin32)、Linux Itanium 64 (linia64)、Linux x64 (linx64)、Windows x64 (winx64)、Windows 32 (win32) 等各类计算机及操作系统中, 其数据文件是兼容的。

(2) 确定计算机安装有网卡、TCP/IP 协议, 并将 TCP/IP 协议绑定到网卡上。

2. 硬件要求

(1) 内存: 1GB (推荐 2GB) 以上。

(2) 计算机: 采用 Intel 2.0GHz 处理器或主频更高的处理器。

(3) 光驱: DVD-ROM 驱动器 (非必需)。

(4) 硬盘: 20GB 以上硬盘空间, 用于安装 ANSYS 软件及其配套使用软件。

各模块所需硬盘容量:

Mechanical APDL 8.1 GB

ANSYS AUTODYN 6.3 GB

ANSYS LS-DYNA 6.5 GB

ANSYS CFX 6.9 GB

ANSYS TurboGrid 6.2 GB

ANSYS FLUENT 7.2 GB

POLYFLOW 7.2 MB

ANSYS AQWA 6.0 GB

ANSYS ICEM CFD 7.0 GB

ANSYS Icepak 7.3 GB

CFD Post only 6.2 GB

ANSYS Geometry Interfaces 1.5 GB

CATIA v5 1.2 GB

ANSYS Remote Solve Manager Standalone Services 2.2 GB

(5) 显示器: 支持 1024×768 分辨率的显示器, 可显示 16 位以上显卡。

1.3.2 设置运行参数

在使用 ANSYS 15.0 软件进行设计之前, 可以根据用户的需求设计环境。

用鼠标依次单击【开始】>【程序】>ANSYS 15.0>Mechanical APDL Product Launcher 得到如图 1-2 所示的对话框, 主要设置内容有模块选择、文件管理、用户管理/个人设置和程序初始化等。

1. 模块选择

在 Simulation Environment (数值模拟) 下拉列表中列出了以下三种界面:

(1) ANSYS: 典型 ANSYS 用户界面。

(2) ANSYS Batch: ANSYS 命令流界面。

(3) LS-DYNA Solver: 线性动力求解界面。

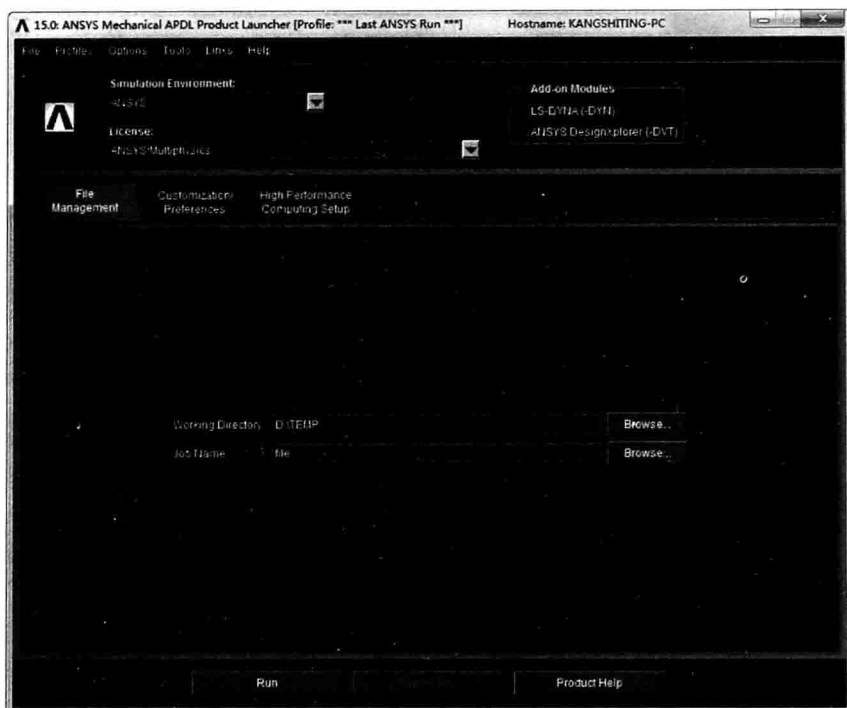


图 1-2 ANSYS 15.0 对话框

用户可根据自己实际需要选择一种界面。

在 License 下拉列表中列出了各种界面下相应的模块：力学、流体、热、电磁、流固耦合等，用户可根据需求选择，如图 1-3 所示。

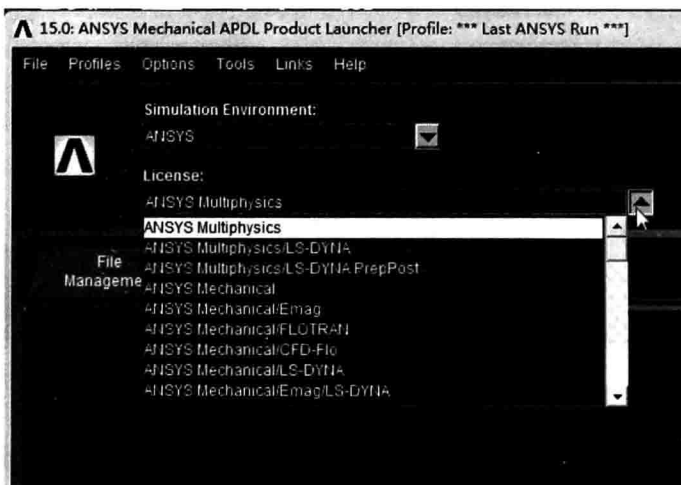


图 1-3 Lanuch 选项卡中 License 下拉列表

2. 文件管理

用鼠标单击 File Management（文件管理），然后在 Working Directory（工作目录）文本框设置工作目录，再在 Job Name（文件名）设置文件名，默认文件名为 File。

注意

ANSYS 默认的工作目录是在系统所在硬盘分区的根目录，如果一直采用这一设置，会影响 ANSYS 15.0 的工作性能，建议将工作目录改建在非系统所在硬盘分区中，且要有足够大的硬盘容量。

注意

初次运行 ANSYS 时默认文件名为 File，重新运行时工作文件名默认为上一次定义的工作名。为防止对之前工作内容的覆盖，建议每次启动 ANSYS 时更改文件名，以便备份。

3. 用户管理/个人设置

用鼠标单击 Customization/Preferences（用户管理/个人设置），就可以得到如图 1-4 所示的 Customization/Preferences 界面。

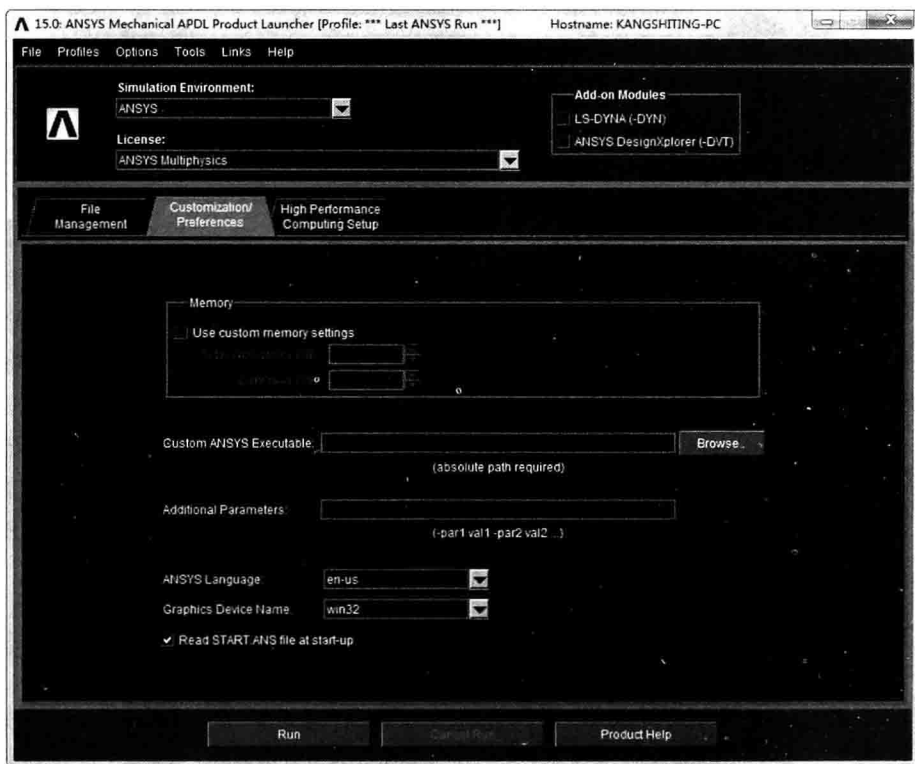


图 1-4 Customization/Preferences 界面

用户管理中可进行设定数据库的大小和进行内存管理设置，个人设置中可设置自己喜欢的用户环境：在 Language Selection 中选择语言；在 Graphics Device Name 中对显示模式进行设置（Win32 提供 9 种颜色等值线，Win32c 提供 108 种颜色等值线；3D 针对 3D 显卡，适宜显示三维图形）；在 Read START.ANS file at start-up 中设定是否读入启动文件。

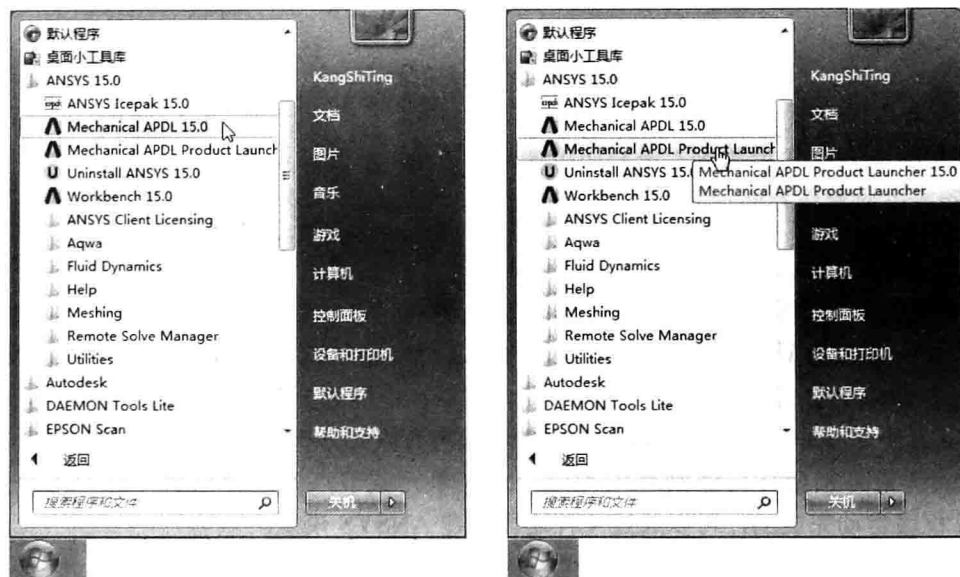
完成以上设置后，用鼠标单击 Run 按钮就可以运行 ANSYS 15.0 程序了。

1.3.3 启动与退出

1. 启动 ANSYS 15.0

(1) 快速启动: 在 Windows 系统中执行“开始”>“程序”>ANSYS 15.0 > Mechanical APDL (ANSYS) 命令 (如图 1-5a 所示菜单), 就可以快速启动 ANSYS 15.0, 采用的用户环境默认为上一次运行的环境配置。

(2) 交互式启动: 在 Windows 系统中执行“开始”>“程序”>ANSYS 15.0 > Mechanical APDL Product Launcher 命令 (如图 1-5b 所示菜单), 就是交互式启动 ANSYS 15.0。



a) 快速启动

b) 交互式启动

图 1-5 ANSYS 15.0 启动方式


注意

建议用户选用交互式启动, 这样可防止上一次运行的结果文件被覆盖掉, 并且还可以重新选择工作目录和工作文件名, 便于用户管理。

2. 退出 ANSYS 15.0

(1) 命令方式: /EXIT。

(2) GUI 路径: 在用户界面中单击 ANSYS Toolbar (工具条) 中的 QUIT 按钮, 或执行菜单栏中的 Utility Menu > File > EXIT 命令, 出现 ANSYS 15.0 程序退出对话框, 如图 1-6 所示。

(3) 在 ANSYS 15.0 输出窗口单击关闭按钮 。

注意

采用第一种和第三种方式退出时, ANSYS 直接退出 ANSYS; 而采用第二种方式时, 退出 ANSYS 前要求用户对当前的数据库 (几何模型、载荷、求解结果及三者的组合, 或者什么都不保存) 进行选择操作, 因此建议用户采用第二种方式退出。

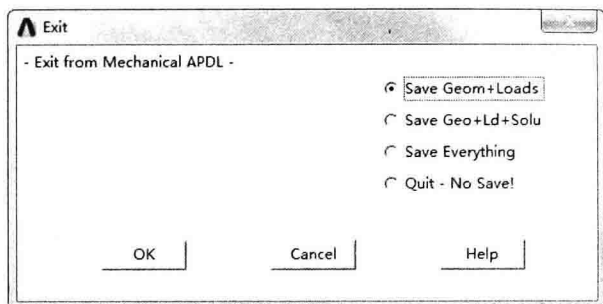


图 1-6 ANSYS 15.0 程序退出对话框

1.4 ANSYS 分析的基本过程

ANSYS 分析过程包含 3 个主要的步骤：前处理、加载并求解、后处理。

1.4.1 前处理

前处理是指创建实体模型以及有限元模型。它包括创建实体模型，定义单元属性，划分有限元网格，修正模型等几项内容。大部分的有限元模型都是用实体模型建模，类似于 CAD，ANSYS 以数学的方式表达结构的几何形状，然后在里面划分节点和单元，还可以在几何模型边界上方便地施加载荷，但是实体模型并不参与有限元分析，所以施加在几何实体边界上的载荷或约束必须最终传递到有限元模型上（单元或节点）进行求解，这个过程通常是 ANSYS 程序自动完成的，可以通过 4 种途径创建 ANSYS 模型。

(1) 在 ANSYS 环境中创建实体模型，然后划分有限元网格。

(2) 在其他软件（比如 CAD）中创建实体模型，然后读入到 ANSYS 环境，经过修正后划分有限元网格。

(3) 在 ANSYS 环境中直接创建节点和单元。

(4) 在其他软件中创建有限元模型，然后将节点和单元数据读入 ANSYS。

单元属性是指划分网格以前必须指定的所分析对象的特征，这些特征包括材料属性、单元类型、实常数等。需要强调的是，除了磁场分析以外不需要告诉 ANSYS 使用的是什么单位制，只需要自己决定使用何种单位制，然后确保所有输入值的单位制统一，单位制影响输入的实体模型尺寸、材料属性、实常数及载荷等。

1.4.2 加载并求解

(1) 自由度 DOF——定义节点的自由度（DOF）值（例如结构分析的位移，热分析的温度，电磁分析的磁势等）。

(2) 面载荷（包括线载荷）——作用在表面的分布载荷（例如结构分析的压力，热分析的热对流，电磁分析的麦克斯韦尔表面等）。

(3) 体积载荷——作用在体积上或场域内（例如热分析的体积膨胀和内生热，电磁分析的磁流密度等）。