

工程设计与分析系列

ANSYS

电磁场分析

谢龙汉 耿煜 邱婉 编著

视频教学



- ★ ANSYS——全球首选的电磁分析通用软件
- ★ ANSYS——强大的耦合分析功能
- ★ 基础知识—工程实例—耦合分析实例
- ★ 实例操作视频教学，轻松学习



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

工程设计与分析系列

ANSYS 电磁场分析

谢龙汉 耿煜 邱婉 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

ANSYS 软件是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,可应用于众多工业领域,如航空航天、汽车工业、生物医学、桥梁、建筑、电子产品、重型机械、微机电系统、运动器械等。该软件提供了 100 种以上的单元类型,用于模拟工程中的各种结构和材料。

本书以最新版本的 ANSYS 13.0 为蓝本,由浅入深、循序渐进地介绍 ANSYS 13.0 中电磁及耦合场分析知识,包括 ANSYS 概述,结构场分析,建立电磁场有限元模型,电磁场实体建模,网格化有限元模型的建立、求解和结果查看,耦合场分析,综合工程实例等知识。全书以图解的方式,通过基础知识和实例训练相结合的方式,讲解从建模到求解查看结果的基本知识和方法技巧,最后以综合实例的方式进一步向读者介绍常见电磁及耦合场分析的操作方法和操作技巧。

本书适合 ANSYS 初学者,可作为大中专院校电磁类相关专业和培训班的教材,同时对有限元仿真相关领域的专业技术人员也极有参考价值。

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 电磁场分析/谢龙汉,耿煜,邱婉编著. —北京:电子工业出版社,2012.1
(工程设计与分析系列)
ISBN 978-7-121-14889-7

I. ①A… II. ①谢… ②耿… ③邱… III. ①电磁场—有限元分析—应用程序, ANSYS IV. ①O441.4-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 217200 号

策划编辑:许存权

责任编辑:陈韦凯 特约编辑:刘丽丽

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

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:24.75 字数:634 千字

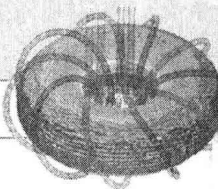
印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

册 数:4 000 册 定价:52.00 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 zltts@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 由世界上最大的有限元分析软件公司之一——美国 ANSYS 开发，它能与多数计算机辅助设计（CAD，Computer Aided Design）软件接口，实现数据的共享和交换，如 Pro/Engineer、NASTRAN、AutoCAD 等，是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。

ANSYS 具有强大的功能，主要包括三个部分：前处理模块、分析计算模块和后处理模块。在整个分析过程中，集成了建模、划分网格、求解和结果查看的整个过程。

最新版本的工程仿真软件 ANSYS 13.0 引入新的工具和技术，帮助用户更高效地完成工作，有效推动基于仿真的设计进入更广泛的应用领域。它节约时间，提高效率，为工作提供强有力的竞争优势。

本书是结合作者多年工作经验编写的，在编写过程中，突出了以下特点：

（1）直观性。全书以图解实例的形式介绍 ANSYS 的 GUI 操作，所有的操作流程尽可能集中在图片上，直观易懂，使读者能够更容易地获得知识。

（2）先进性。以最新的 ANSYS 13.0 为蓝本进行讲解，并参阅了国内外大量的成功教材，一切从满足中国用户的需求出发。

（3）实用性。全书采用基础知识和实例操作相结合的方法，互相补充，同时在内容关键处给予了有益的提示，使读者在学完本书后能够快速地将知识应用于自己的工作。

（4）循序渐进。全书采用由简到繁、循序渐进的方法，结合实例，一步一步地提高用户的软件操作水平，而且做到重要知识点均有实例示范，并适当回顾复习，使读者在学习繁杂的 ANSYS 时不至于手足无措。

（5）多媒体示范。本书的配套光盘中提供了所有实例的视频操作  **动画演示**，可以在观看录像时增强对知识点的理解。

本书分为 8 章

第 1 章 ANSYS 概述。首先介绍 ANSYS 的发展历史及 ANSYS 13.0 的主要特点，然后介绍 ANSYS 的安装方法和它对系统的配置要求，ANSYS 的基本架构和工作界面等，向读者推荐一些 ANSYS 的使用习惯和学习方法。最后通过一个入门引例，使读者初步了解用 ANSYS 进行电磁耦合分析的步骤。

第 2 章 结构场分析。介绍 ANSYS 结构场分析的典型步骤，同时让读者初步了解 ANSYS 有限元分析的通用步骤和方法。首先讲解如何建立有限元模型，划分网格的基本方法，然后加载负载，使用 ANSYS 仿真结果，最后介绍分析报告的基本写法。通过本章学习，读者可以熟悉有限元分析的通用步骤，一些常用的命令和菜单操作，为以后学习复杂的电磁耦合分析打下良好的基础。

第3章 建立电磁场有限元模型。首先介绍 ANSYS 中的坐标系，然后进一步介绍节点和单元操作，以降低有限元模型建立的工作量，最后介绍如何给磁场和电场施加负载，求解后如何查看分析结果。本章通过大量实例使读者初步对使用 ANSYS 分析电磁场有所了解。

第4章 电磁场实体建模。本章介绍实体建模的方法，使读者学会使用 ANSYS 建立点、线、面、体等，然后介绍一些布尔操作，方便模型建立，并配有实例。

第5章 网格化有限元模型的建立。本章介绍网格化有限元模型的建立方法，并配有实例，使读者学会如何设定网格大小、形状等属性，掌握划分网格的方法。

第6章 求解和结果查看。本章介绍 ANSYS 求解方法和结果查看方法。ANSYS 程序有多种解方程的方法：直接解法、稀疏矩阵直接解法、雅可比共轭梯度法（JCG），不完全分解共轭梯度法（ICCG）、预条件共轭梯度法（PCG）、自动迭代法（ITER）及分解块法（DDS）等。求解之后，想要查看结果，ANSYS 后处理器可以完成此功能。这一步可能是整个分析过程中最重要的一步，因为用户想要知道施加的负载怎样影响到自己的设计，自己划分的网格好用与否等。

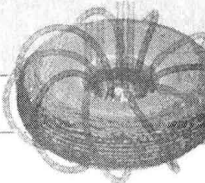
第7章 耦合场分析。耦合场分析是多种工程领域的综合分析，可以解决全局的工程问题，所以用户经常需要使用耦合场分析。当一个场分析的输入决定于另一个场分析的数据时，此分析就是耦合的。

第8章 综合工程实例。本章应用所学知识，给出五个综合工程实例。

本书主要由谢龙汉、耿煜、邱婉完成，参加本书编写和光盘开发的还有林伟、魏艳光、林木议、王悦阳、林伟洁、林树财、郑晓、吴苗、李翔、莫衍、朱小远、唐培培、尚涛、邓奕、张桂东、鲁力、刘文超、刘新东等，同时也非常感谢拓技工作室其他成员的帮助和支持。

由于时间仓促，书中难免有疏漏之处，请读者谅解。读者可通过电子邮件 reader.toptech@gmail.com 或者 mr.gengyu@gmail.com 与我们交流。

编著者



目 录

第 1 章 ANSYS 概述.....1	
1.1 ANSYS 概况及发展历史.....1	
1.1.1 ANSYS 概况.....1	
1.1.2 ANSYS 分析类型.....2	
1.1.3 软件组成.....3	
1.1.4 ANSYS 历史介绍.....4	
1.2 ANSYS 13.0 系统配置要求与安装.....7	
1.2.1 ANSYS 13.0 系统配置要求.....8	
1.2.2 ANSYS 13.0 安装.....8	
1.3 有限元法简介.....9	
1.3.1 有限元法分析计算的思路和方法.....9	
1.3.2 有限元分析的基本步骤.....10	
1.3.3 有限元的发展概况.....11	
实例 1-1 两端固定杆件受力分析.....11	
1.3.4 有限元系统基本构成.....13	
1.4 启动 ANSYS.....14	
1.5 ANSYS 工作界面.....15	
1.5.1 ANSYS 输出窗口.....15	
1.5.2 ANSYS 主窗口.....16	
1.5.3 ANSYS 主菜单.....16	
1.5.4 ANSYS 状态栏.....18	
1.5.5 ANSYS 命令输入窗口.....18	
1.5.6 ANSYS 图形显示窗口.....19	
1.5.7 ANSYS 工具栏.....19	
1.5.8 ANSYS 图像控制按钮.....19	
1.6 ANSYS 架构.....20	
1.6.1 ANSYS 架构简介.....20	
1.6.2 有关操作.....21	
1.7 ANSYS 文件.....23	
1.7.1 ANSYS 文件简介.....23	
1.7.2 文件操作.....24	
1.8 ANSYS 与 CAD 软件接口.....25	
1.9 怎样学习 ANSYS.....26	
1.10 入门引例——正方形电流环分析.....26	
1.10.1 问题描述.....26	
1.10.2 GUI 操作.....27	
1.10.3 命令流操作.....41	
第 2 章 结构场分析.....43	
2.1 为什么先学习结构场分析.....43	
2.2 建立有限元模型.....44	
2.2.1 有限元模型简介.....44	
2.2.2 定义工作名称和分析标题.....44	
2.2.3 定义单位.....47	
2.2.4 定义单元类型.....47	
2.2.5 定义实常数.....49	
2.2.6 定义材料属性.....51	
实例 2-1 定义单元类型, 材料属性.....52	
2.2.7 建立有限元模型——直接建模.....57	
实例 2-2 两端固定杆件建模.....61	
2.2.8 建立有限元模型——实体建模.....70	
2.3 划分网格.....73	
2.3.1 网格控制.....73	
2.3.2 网格产生.....77	
2.4 加载负载.....78	
2.4.1 负载类型.....78	
2.4.2 施加负载.....79	
实例 2-3 悬臂梁网格划分和施加载荷.....81	
2.5 求解.....89	
2.6 后处理器.....90	
实例 2-4 两端固定杆件求解及结果查看.....90	
2.7 分析报告概述.....96	
实例 2-5 梁应力及变形分析.....96	
实例 2-6 矩形平板受力变形分析.....104	
第 3 章 建立电磁场有限元模型.....111	
3.1 坐标系.....111	
3.1.1 坐标系简介.....112	

3.1.2 总体坐标系和局部坐标系	112	4.2.3 旋转工作平面	173
3.2 节点操作	115	4.3 群组命令介绍	174
3.2.1 节点的删除	115	4.4 自底向上建模	174
3.2.2 节点的其他生成方法	116	4.4.1 关键点	175
实例 3-1 二维平行板电容节点的 生成	118	4.4.2 硬点	177
实例 3-2 永磁铁回路节点的生成	122	4.4.3 线	178
3.2.3 节点选取	127	实例 4-1 马蹄形磁铁建模	180
3.3 单元操作	128	4.4.4 面	184
3.3.1 单元复制	128	4.4.5 体	185
3.3.2 显示编号	129	实例 4-2 平行板电容建模	185
3.3.3 单元属性	129	4.5 自顶向下建模	189
3.4 负载定义	130	4.5.1 定义矩形或六面体	189
3.4.1 磁场负载	130	4.5.2 定义环形面和柱	191
3.4.2 电场负载	131	4.6 布尔操作	193
实例 3-3 建立二维平行板电容的 单元, 设定负载	132	4.6.1 布尔操作设置	193
实例 3-4 建立永磁铁回路的单元, 设定负载	135	4.6.2 相交	193
3.5 求解和后处理器	140	4.6.3 相加	195
3.5.1 电场和磁场求解	140	4.6.4 相减	195
3.5.2 后处理器	141	4.6.5 重合	198
实例 3-5 二维平行板电容的求解, 查看结果	144	4.6.6 黏结	199
实例 3-6 永磁铁回路的求解, 查看 结果	147	实例 4-3 自顶向下建模	199
3.6 综合实例	151	4.7 综合实例	201
实例 3-7 二维平行板电容	151	实例 4-4 二维螺线管制动器建模	201
实例 3-8 正方形磁铁回路	159	实例 4-5 静电驱动梳建模	204
第 4 章 电磁场实体建模	170	第 5 章 网格化有限元模型的建立	208
4.1 实体建模简介	170	5.1 网格种类	208
4.1.1 自底向上建模	171	5.2 设定单元属性	209
4.1.2 自顶向下建模	171	5.2.1 建立单元属性表	209
4.1.3 使用布尔操作	171	5.2.2 赋予单元属性	209
4.1.4 拖拽和旋转操作	172	5.3 网格控制	210
4.1.5 移动和复制操作	172	5.3.1 单元形状	211
4.2 工作平面	172	5.3.2 选择网格类型	212
4.2.1 创建工作平面	173	实例 5-1 使用“MeshTool”进行 网格控制	212
4.2.2 移动工作平面	173	5.3.3 自由网格单元大小高级 设置方法	214
		5.3.4 映射网格默认单元大小	217
		实例 5-2 带小孔矩形网格划分 控制	218

5.3.5 局部网格控制	222	6.5.1 结果查看通用方法	265
5.3.6 内部网格控制	224	实例 6-3 二维带小孔平行板电容求 解和查看结果	270
5.3.7 网格控制优先级	225	6.5.2 磁场力	273
5.4 自由网格和映射网格控制	225	6.5.3 查看磁场力矩	275
5.4.1 面的映射网格划分	225	实例 6-4 永磁铁求解和查看结果	275
5.4.2 体的映射网格划分	229	6.5.4 从多导体系统中提取电导率	279
实例 5-3 正五边形网格划分	229	6.5.5 静电场力	280
5.5 划分实体模型	232	实例 6-5 电导率计算	280
5.5.1 产生点单元	232	6.6 综合实例	283
5.5.2 产生线单元	232	实例 6-6 三维带孔电容	283
5.5.3 产生面单元	233	实例 6-7 双导线系统	289
5.5.4 产生体单元	233	第 7 章 耦合场分析	293
5.6 划分网格注意事项	233	7.1 耦合场分析类型	293
5.6.1 避免尖锐角度	233	7.1.1 直接耦合法	294
5.6.2 避免剧烈网格渐变	234	7.1.2 载荷转移法	294
5.7 综合实例	234	7.1.3 ANSYS 分析类型	294
实例 5-4 划分铜导体模型网格	234	7.2 多步载荷	296
实例 5-5 划分双导线系统网格	238	7.3 直接耦合法	299
第 6 章 求解和结果查看	244	7.3.1 使用的单元	299
6.1 ANSYS 电磁场求解及结果查看概述 ..	245	7.3.2 直接耦合场分析类型	299
6.2 磁场负载	245	实例 7-1 静电驱动结构	300
6.2.1 永磁铁	245	7.4 多场求解法	308
6.2.2 矢量磁位	246	7.4.1 建立场模型	308
6.2.3 磁场激励	247	7.4.2 标识场界面条件	308
6.2.4 磁场标识	248	7.4.3 场求解	309
6.2.5 麦克斯韦面 (MXWF)	249	实例 7-2 静电力驱动悬臂梁	313
6.2.6 磁虚位移 (MVDI)	249	7.5 载荷转移耦合物理场分析	326
实例 6-1 永磁铁建模和加载	250	7.5.1 物理场环境	326
6.3 电场负载	257	7.5.2 求解方法	326
6.3.1 电流 (AMPS)	257	7.5.3 使用多物理场环境求解	327
6.3.2 电压 (VOLT)	258	7.6 综合实例	327
6.3.3 电荷 (CHRG)	258	实例 7-3 带孔半圆壳热电耦合 分析	327
6.3.4 表面电荷密度 (CHRGs)	258	实例 7-4 微机电系统分析	332
6.3.5 无限表面标识 (INF)	259	第 8 章 综合工程实例	340
实例 6-2 二维带小孔平行板电容	259	8.1 工程实例 1——电致弹性分析	340
6.4 求解	263	8.1.1 GUI 操作	340
6.4.1 选择求解方法	263	8.1.2 命令流操作	345
6.4.2 开始求解	264		
6.5 查看结果	265		

8.2 工程实例 2——二维螺线管制动器 .. 347

8.2.1 GUI 操作348

8.2.2 命令流操作355

8.3 工程实例 3——屏蔽微带传输线 358

8.3.1 GUI 操作359

8.3.2 命令流操作365

8.4 工程实例 4——梳状驱动器 367

8.4.1 GUI 操作367

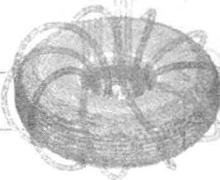
8.4.2 命令流操作375

8.5 工程实例 5——带电导体球周围电场

分布..... 379

8.5.1 GUI 操作380

8.5.2 命令流操作386



第1章 ANSYS 概述

本章首先介绍 ANSYS 的发展历史及 ANSYS 13.0 的主要特点，然后介绍 ANSYS 的安装方法和它对系统的配置要求，ANSYS 的基本架构和工作界面等，向读者推荐一些 ANSYS 的使用习惯和学习方法。最后通过一个入门引例，使读者初步了解用 ANSYS 进行电磁耦合分析的步骤。



本章内容

- ANSYS 历史
- ANSYS 安装
- 有限元分析简介
- ANSYS 工作界面
- ANSYS 基本架构
- ANSYS 文件
- ANSYS 与 CAD 软件接口
- 学习 ANSYS 建议



本章案例

- 两端固定杆件受力分析
- 正方形电流环分析头

1.1 ANSYS 概况及发展历史

本节介绍 ANSYS 的基本特点和应用领域，以及其发展历史。

1.1.1 ANSYS 概况

ANSYS 软件是融合结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。因此，它可应用于以下工业领域：航空航天、汽车工业、生物医学、桥梁、建筑、电

子产品、重型机械、微机电系统、运动器械等。该软件提供了100种以上的单元类型，用来模拟工程中的各种结构和材料。该软件有多种不同版本，可以运行在从个人机到大型机的多种计算机设备上，如PC,SGL,HP,SUN,DEC,IBM,CRAY等。

它由世界上最大的有限元分析软件公司之一——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, AutoCAD 等。

计算机辅助工程 (CAE, Computer Aided Engineering) 的技术种类有很多，其中包括有限元法 (FEM, Finite Element Method)、边界元法 (BEM, Boundary Element Method)、有限差法 (FDM, Finite Difference Element Method) 等。每一种方法各有其应用的领域，而其中有限元法应用的领域越来越广，现已应用于结构力学、结构动力学、热力学、流体力学、电路学、电磁学等。ANSYS 就是一款优秀的 CAE 软件。

1.1.2 ANSYS 分析类型

1. 结构静力分析

结构静力学分析用来求解外载荷引起的位移、应力和力。静力分析很适合求解惯性和阻尼对结构的影响并不显著的问题。ANSYS 程序中的静力分析不仅可以进行线性分析，而且可以进行非线性分析，如塑性、蠕变、膨胀、大变形、大应变及接触分析。

2. 结构动力学分析

结构动力学分析用来求解随时间变化的载荷对结构或部件的影响。与静力分析不同，动力分析要考虑随时间变化的力载荷及它对阻尼和惯性的影响。ANSYS 可进行的结构动力学分析类型包括：瞬态动力学分析、模态分析、谐波响应分析及随机振动响应分析。

3. 结构非线性分析

结构非线性导致结构或部件的响应随外载荷不成比例的变化。ANSYS 程序可求解静态和瞬态非线性问题，包括材料非线性、几何非线性和单元非线性三种。

4. 动力学分析

ANSYS 程序可以分析大型三维柔体运动。当运动的积累影响起主要作用时，可使用这些功能分析复杂结构在空间中的运动特性，并确定结构中由此产生的应力、应变和变形。

5. 热分析

程序可处理热传递的三种基本类型：传导、对流和辐射。热传递的三种类型均可进行稳态和瞬态、线性和非线性分析。热分析还具有可以模拟材料固化和熔解过程的分相变分析能力，以及模拟热与结构应力之间的热—结构耦合分析能力。

6. 电磁场分析

电磁场分析主要用于电磁场问题的分析，如电感、电容、磁通量密度、涡流、电场分布、磁力线分布、力、运动效应、电路和能量损失等。还可用于螺线管、调节器、发电机、变换器、磁体、加速器、电解槽及无损检测装置等的设计和分析领域。

7. 流体动力学分析

ANSYS 流体单元能进行流体动力学分析, 分析类型可以分为瞬态或稳态。分析结果可以是每个节点的压力和通过每个单元的流率。并且可以利用后处理功能产生压力、流率和温度分布的图形显示。另外, 还可以使用三维表面效应单元和热一流管单元模拟结构的流体绕流并包括对流换热效应。

8. 声场分析

程序的声学功能用来研究在含有流体的介质中声波的传播, 或分析浸在流体中的固体结构的动态特性。这些功能可用来确定音响话筒的频率响应, 研究音乐大厅的声场强度分布, 或预测水对振动船体的阻尼效应。

9. 压电分析

压电分析用于分析二维或三维结构对 AC (交流)、DC (直流) 或任意随时间变化的电流或机械载荷的响应。这种分析类型可用于换热器、振荡器、谐振器、麦克风等部件及其他电子设备的结构动态性能分析。可进行四种类型的分析: 静态分析、模态分析、谐波响应分析、瞬态响应分析。

1.1.3 软件组成

软件主要包括三个部分: 前处理模块、分析计算模块和后处理模块。

前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具, 用户可以方便地构造有限元模型。

1. 前处理模块

ANSYS 的前处理模块主要有两部分内容: 实体建模和网格划分。

(1) 实体建模

ANSYS 程序提供了两种实体建模方法: 自顶向下与自底向上。自顶向下进行实体建模时, 用户定义一个模型的最高级图元, 如球、棱柱, 称为基元, 程序则自动定义相关的面、线及关键点。用户利用这些高级图元直接构造几何模型, 如二维的圆和矩形及三维的块、球、锥和柱。无论使用自顶向下还是自底向上方法建模, 用户均能使用布尔运算来组合数据集, 从而“雕塑出”一个实体模型。ANSYS 程序提供了完整的布尔运算, 如相加、相减、相交、分割、黏合结和重叠。在创建复杂实体模型时, 对线、面、体、基元的布尔操作能减少相当可观的建模工作量。ANSYS 程序还提供了拖拉、延伸、旋转、移动、延伸和复制实体模型图元的功能。附加的功能还包括圆弧构造、切线构造、通过拖拉与旋转生成面和体、线与面的自动相交运算、自动倒角生成、用于网格划分的关键点的建立、移动、复制和删除。自底向上进行实体建模时, 用户从最低级的图元向上构造模型, 即用户首先定义关键点, 然后依次是相关的线、面、体。

(2) 网格划分

ANSYS 程序提供了使用便捷、高质量的对 CAD 模型进行网格划分的功能。包括四种网格划分方法: 延伸划分、映像划分、自由划分和自适应划分。延伸网格划分可将一个二

维网格延伸成一个三维网格。映像网格划分允许用户将几何模型分解成简单的几部分，然后选择合适的单元属性和网格控制，生成映像网格。ANSYS 程序的自由网格划分器功能是十分强大的，可对复杂模型直接划分，避免了用户对各个部分分别划分然后进行组装时，各部分网格不匹配带来的麻烦。自适应网格划分是在生成了具有边界条件的实体模型以后，用户指示程序自动地生成有限元网格，分析、估计网格的离散误差，然后重新定义网格大小，再次分析计算、估计网格的离散误差，直至误差低于用户定义的值或达到用户定义的求解次数。

2. 分析计算模块

分析计算模块包括结构分析（可进行线性分析、非线性分析和高度非线性分析）、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析及多物理场的耦合分析，可模拟多种物理介质的相互作用，具有灵敏度分析及优化分析能力。

3. 后处理模块

后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示、透明及半透明显示（可看到结构内部）等图形方式显示出来，也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。

1.1.4 ANSYS 历史介绍

1. 早先版本

1963 年，ANSYS 的创办人 John Swanson 博士任职于美国宾州匹兹堡西屋公司的太空核子实验室。当时他的工作之一是为某个核子反应火箭作应力分析。为了工作上的需要，Swanson 博士写了一些程序来计算加载温度和压力的结构应力和变位。几年下来，建立在 Wilson 博士原有的有限元素法热传导程序上，扩充了不少三维分析的程序，包括板壳、非线性、塑性、潜变、动态全程等。此程序当时命名为 STASYS（Structural Analysis System）。

为了取代复杂的手算，Swanson 博士设想利用有限元法程序。Swanson 博士于 1969 年在临近匹兹堡的家中车库创立了他自己的公司 Swanson Analysis Systems Inc（SASI）。在这里他用打洞器在计算机输入卡上打洞写程序，并租用美国钢铁公司的大型计算机。20 世纪 70 年代结束之前，商用软件 ANSYS 宣告诞生，而西屋也成为他的第一个顾客。

1984 年，ANSYS 4.0 开始支持个人计算机。当时使用的芯片是 Intel 286，使用指令互动的模式，可以在屏幕上绘出简单的节点和元素。不过这时还没有 Motif 规格的图型界面。ANSYS 在 PC 上的第 1 版，前置处理、后置处理及求解都在不同的程序上执行。

1989 年，ANSYS 收购 Compuflo，使 ANSYS 5.0 版和 FLOTRAN 2.1A 版合并。

1996 年，ANSYS 推出 5.3 版。此版是 ANSYS 第一次支持 LS-DYNA。此时，ANSYS/LS-DYNA 仍是起步阶段。

1997~1998，ANSYS 开始向美国许多著名教授和大学实验室发送教育版，期望能在学生及学校扎根推广 ANSYS。

2001 年 12 月, ANSYS 6.0 版开始发售。此版的离散 (Sparse) 求解模块有显著的改进, 不但速度增快, 而且内存空间需求大为减小。在此版之前, ANSYS 多半建议用户使用 PCG 模块解决大型的模型。

2002 年 10 月, ANSYS 推出 7.0 版。此版的离散求解模块有更进一步的改进, 一般而言, 效率比 6.0 版提高 20%~30%。在接触分析方面亦有一些重大的改进和加强。

2. ANSYS 10.0

2005 年 7 月, ANSYS 推出 10.0 版本。此版本在性能、易用性、协同工作及耦合技术, 如流固耦合等方面有很大提高。10.0 版本是在 9.0 软件的基础上研发的, 与其有很好的兼容性。

延续了 ANSYS 一贯强大的耦合场技术, 10.0 版本为复杂的流固耦合 (FSI) 问题提供了更完善的解决方案。该版本整合了世界一流的应力分析和流体分析技术, 形成了一套完整的 FSI 解决方案。通过适合于特定场要求的网格划分, 一个单一的几何体可以应用于两种场。该版本提供了有效地解决 FSI 动力学分析的信息交换功能。目前, 市场上没有任何其他的 FSI 软件可以提供如此强大的稳健性和高度的精确性分析。另外, 该版本可以在多个机群进行并行处理解决超大模型。

为了满足日益增加的对大型复杂问题及时有效的分析需求, ANSYS 10.0 的并行求解器现今增加了对 CPU 和通信技术的选择余地。除了支持 Ethernet 和 Gigabit Ethernet, ANSYS 10.0 还支持 Myrinet 和 InfiniBand。相对于以前的架构, ANSYS 10.0 能以最低的成本满足高性能的机群计算。

本着以低成本硬件设备提供高性能解决方案的目标, ANSYS Workbench 现可支持 Windows XP 64 位机的 AMD 和 EMT64 芯片集。此项改革解决了许多用户在 Windows 操作系统下运行大型模型所面临的 2GB 内存限制的问题。另外, 它也使得 ANSYS 用户不再需要写硬盘就能完成整个求解, 从而节约求解时间。

对于用户, 这将帮助他们更加经济有效地解决大型模型问题, 如低频稳态和全瞬态电磁分析问题。ANSYS 10.0 并行求解器可以解决高于 1 亿自由度的大型电磁问题, 在 CAE 行业独树一帜。

在高频电磁领域, 10.0 版本提供了一个新的模式端口。此端口大大简化了集成电路 (IC)、射频识别 (RFID) 和射频微机电系统 (MEMS) 等多种设备分析传输线端口的建模。标准算例显示, 利用此端口建模, 可以显著缩小模型尺寸, 在保证精确的频域计算结果前提下, 节约 30%~50% 的求解时间和内存需求。

3. ANSYS 13.0

ANSYS 公司最新版本的工程仿真软件 ANSYS 13.0, 引入新的工具和技术, 帮助用户更高效地完成工作, 有效推动基于仿真的设计进入更广泛的应用领域。这个版本在 CAE 功能上引领现代产品研发科技, 涉及的内容包括高级分析、网格划分、优化、多物理场和多体动力学。

立足于拥有世界上最多的用户, ANSYS 13.0 不仅为当前的商业应用提供了新技术, 而且在以下方面取得了显著进步:

- ① 继续开发和提供世界一流的求解器技术;
- ② 提供了针对复杂仿真的多物理场耦合解决方法;
- ③ 整合了 ANSYS 的网格技术并产生统一的网格环境;
- ④ 通过对先进的软硬件平台的支持来实现对大规模问题的高效求解。
- ⑤ 继续改进最好的 CAE 集成环境——ANSYS WORKBENCH;
- ⑥ 继续融合先进的计算流体动力学技术。

ANSYS 软件开发的核心目标就是提供给用户最高级和最可靠的适用于各行各业的仿真解决方案。下面的亮点展示了 ANSYS 13.0 的某些关键新技术, 可以提高用户的效率, 帮助各大企业用户继续拓展仿真在产品开发过程中的角色。

(1) 加速多步求解

ANSYS VT 加速器, 基于 ANSYS 变分技术, 是通过减少迭代总步数以加速多步分析的数学方法。包括收敛迭代和时间步迭代或者二者的综合。收敛迭代的例子是非线性静态分析, 不涉及接触或塑性, 而时间步迭代指的是线性瞬态结构分析、二者组合的例子、非线性结构瞬态或者热瞬态分析。ANSYS VT 加速器提供了 2~10 倍的加速比, 允许用户快速重新运行模型。具体的加速比受到硬件、模型和分析类型的影响。而且, 这个工具在非线性和瞬态分析的参数研究中可以获得 5~30 倍的加速。

ANSYS VT 加速器软件, 使用 ANSYS MECHANICAL HPC 的授权, 可以应用到结构循环对称模态分析, 以及高频电磁谐波分析。ANSYS VT 加速器可以结合 ANSYS DESIGN XPLORER VT 技术, 实现更快速的参数化研究。

(2) 网格变形和优化

对于很多单位, 进行优化分析的最大障碍是 CAD 模型不能重新生成, 特征参数不能反映那些修改研究的几何改变。通过与 ANSYS WORKBENCH 的结合, ANSYS MESH MORPHER (FE-MODELER 的新增加模块) 可以实现这个功能, 甚至更多。通过网格操作而不是实体模型, ANSYS MESH MORPHER 对于来自 CAD 的非参数几何数据, 如 IGES 或者 STEP, 以及来自 ANSYS CDB 文件的网格数据, 实现了模型参数化。将网格读入 FE-MODELER, 并且产生对应于该网格的“综合几何”的初次配置。在 ANSYS 13.0 中, ANSYS MESH MORPHER 提供了四种不同的转换: 面平移、面偏置、边平移和边偏置。更多样的配置可以通过以上转换的组合实现。例如, 一个圆柱表面的面偏置就等效于变更其半径。

这些转换决定了目标配置并自动定义转换参数。一旦确定, 这些转换参数可以通过 ANSYS DESIGNXPLORER VT 拟合方法来拟合, 如 KRIGING 算法、非参数化退火算法和神经网络算法等。一旦拟合完成, 可以使用 ANSYS DESIGNXPLORER VT 中的能量优化技术找到最优值或者执行 6 SIGMA 分析设计。ANSYS MESH MORPHER 为仿真驱动的产品开发打破了优化障碍。

(3) 流固耦合

在 ANSYS WORKBENCH 中, ANSYS 和 ANSYS CFX 技术的集成取得了更大的进步。在 13.0 的 ANSYS WORKBENCH 环境中, 用户可以完整地建立、求解和后处理双向流固耦合仿真。最新的版本也提供了单一后处理工具, 可以用更少的时间获得复杂多物理问

题的解决,并且扩展了仿真的应用领域。利用 ANSYS CFX 软件的统一网格接口可以在 ANSYS 和 ANSYS CFX 之间传递 FSI 载荷,所有流固耦合问题的结果的鲁棒性和精度获得了改进。界面载荷传递技术的突破,很明显的好处就在于让同一团队的 FEA 和 CFD 专家共享信息更方便。在 13.0 中流固耦合的领域也得到了扩展。

(4) 涡轮系统一体化解决方案

ANSYS WORKBENCH 环境提供了旋转机械设计过程所需的几何设计和分析的集成系统。ANSYS WORKBENCH,作为高级物理问题的集成平台,能够让设计人员建立旋转机械的模型,例如,水泵、压缩机、风扇、吹风机、涡轮、膨胀器、涡轮增压器和鼓风机。ANSYS 解决方案集成到设计过程,从而消除了中性文件传输、结果变换和重分析,使得 CAE 过程几周内就完成了。涡轮机械设计过程的第一步就是使用初始尺寸以获得概要设计,指定性能准则和尺寸约束。在 13.0 中,ANSYS BLADEMODELER 中集成了 PCA 工程有限公司的专用于离心压缩机和水泵的初始尺寸软件。VISTA-CC 是一个快速主干设计程序——只需要压缩机的质量流量、压力比和几何约束,就可以获得压缩机草图、叶片和出口角度、速度三角形。它也提供了无量纲的性能参数,如设计决策所依赖的额定转速和额定流率。1-D 尺寸工具、自动网格、流线工具和自动报告生成器的引入,帮助用户开发更好的旋转机械。ANSYS 承诺将持续为特定工业需求开发更强大的解决方案,以上的具体集成就是一个例子。

(5) 统一网格技术

ANSYS 13.0 提供给用户新的统一分网环境,帮助用户实现基于物理的网格划分解决方案,例如,机械、电磁、CFD 或者显式仿真。来自 ANSYS、ANSYS ICEM CFD 和 ANSYS CFX 的一流网格几乎已经延伸到 ANSYS WORKBENCH 中,综合多种算法的优势,提供一个智能的、灵活且鲁棒的网格划分能力。

基于预定义的物理过滤器,各种控制自动定义,例如,网格尺寸、网格过渡、网格均匀性、划分速度、网格质量和曲率的细化控制等。如果必要,高级用户控制选项可拿来使用。划网的智能特性提供了灵活的附加控制,帮助初级用户为了改进求解速度或者精度而得到适合于物理问题的良好网格。多重网格控制方法,以及高级选项,提供了备份网格划分方法以改善网格划分的整体鲁棒性。在 13.0 中,共同网格对象已经实现了,并为多个应用之间的交互提供了附加的灵活性。这为求解器(FSI、隐式/显式等)之间的交互提供了较强的双向通信能力,同时,也提供了网格划分的统一方法。这个共同网格对象保证了在 ANSYS WORKBENCH 框架中集成第三方的划网功能。

1.2 ANSYS 13.0 系统配置要求与安装

在熟悉了 ANSYS 的基本情况及强大功能后,本节介绍 ANSYS 13.0 的系统配置要求及其安装方法。本节介绍 ANSYS 在 Windows 下的安装方法。由于 ANSYS 安装复杂,稍有不慎就会导致无法使用,所以,请读者认真阅读本小节内容,顺利安装成功 ANSYS。

1.2.1 ANSYS 13.0 系统配置要求

在正式安装软件之前,读者需要首先了解 ANSYS 对系统的配置要求。

平台及操作系统: Intel IA-64 bit / Windows XP 64-bit Edition Version 2003, Intel IA-32 bit/Windows XP Home or Professional (Build 2600) Version 5.1, Intel IA-32 bit/Windows 2000 Version 5.0 (Build 2195)。

硬件要求: 至少需要 512MB 内存 (对于安腾处理器系统, 至少需要 1GB 内存)。磁盘剩余空间至少 2.2GB。注意: 无论是何种 ANSYS 产品, 操作系统盘 (一般是 C 盘) 的剩余空间至少需要 100MB。

1.2.2 ANSYS 13.0 安装

插入 ANSYS 13.0 安装光盘, 出现如图 1-1 所示对话框。开始安装 ANSYS, 单击 “Install ANSYS, Inc. Products” 按钮开始安装 ANSYS。

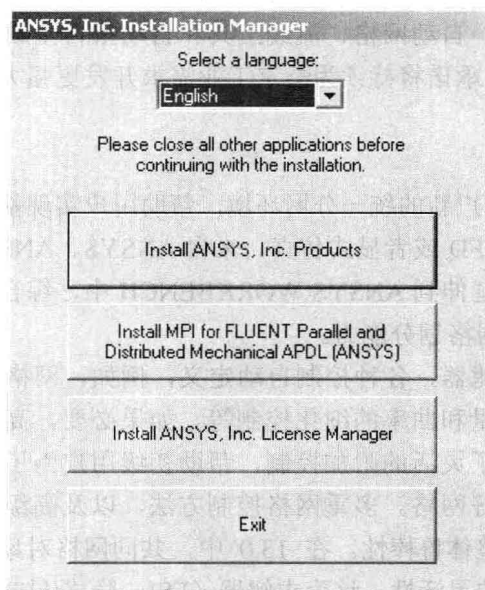


图 1-1 ANSYS 13.0 安装初始界面

之后, 选择安装目录, 如图 1-2 所示, 选择 ANSYS 的安装路径, 图中将 ANSYS 安装在 C 盘。单击 “Next” 按钮进行下一步安装, 选择需要的组件进行安装 (图 1-3), 然后单击 “Next” 按钮直到安装。

ANSYS 13.0 安装完成后, 系统会要求安装 ANSYS License, 从图 1-1 中选择 “Install ANSYS, Inc. Products License Manager” 菜单选项。然后选择 “I AGREE” (图 1-4)。然后, 安装程序询问是否现在安装 License 文件, 这里选择 “Run the ANSYS License Lnterconnet with FLEXlm (defanlt)”, 然后安装自己的 license 文件 (图 1-5)。然后依照提示安装, 最后单击 “确定” 按钮完成。