

# ANSYS 10.0

## 材料工程有限元分析 实例教程

■ 胡红军 杨明波 张丁非 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TB3-39/3D

2008

# ANSYS 10.0 材料工程 有限元分析实例教程

胡红军 杨明波 张丁非 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书由浅入深地介绍了 ANSYS10.0 软件的基本组成、安装和使用方法以及应用,介绍了计算机数值模拟技术在材料科学与工程中的应用现状和 ANSYS 在材料工程中的应用实例,本书在介绍基本物理场数值模拟的理论基础上,通过大量教学实例和工程应用实例介绍了 ANSYS 软件在多物理场中应用的操作步骤。为了便于读者练习,本书在每章后提供了一定量的习题,同时读者可以不断改变问题的求解条件,分析评价计算结果的正确性和准确性,以达到举一反三的练习效果。

本书附有光盘,光盘中主要包含本书中操作实例的数据库文件。

本书可作为高等院校相关专业本科生和研究生以及教师学习 ANSYS 软件的教材,也可以供从事材料科学与工程分析和设计的其他人员参考。

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 10.0 材料工程有限元分析实例教程 / 胡红军, 杨明波, 张丁非编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.4  
ISBN 978-7-121-05745-8

I. A… II. ①胡…②杨…③张… III. 材料科学—有限元分析—应用程序, ANSYS 10.0—教材 IV. TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001027 号

责任编辑: 康 霞

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

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: 17 字数: 435 千字

印 次: 2008 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 34.00 元 (含光盘 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 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

ANSYS 软件是目前应用最广的有限元软件之一，连续多年被评为世界上最优秀的分析软件。目前 ANSYS 用户遍布世界各国，该软件从 20 世纪 90 年代末开始引入我国，至今在国内的用户多达 5000 余家，遍及机械制造、航空航天、汽车、铁道、石油化工、能源等行业。

在教学“计算机在材料科学中的应用”课程的过程中，我们发现 ANSYS 软件在材料科学与工程中应用非常广泛，但是缺乏系统介绍本领域的书籍。为了开展该软件在材料工程中的教学，我们往往要购买大量 ANSYS 软件方面的书籍。

当前，许多介绍 ANSYS 等大型通用有限元软件的书籍大都是从软件应用的角度出发，只介绍软件命令的操作规则，很少介绍工程背景知识和与有限元相关的概念，这就使得有限元知识欠缺的读者只知仿照书中提供的例题进行类似问题的分析，只知其然，而不知其所以然。为此，本书从有限元法的实际材料工程应用出发，按照从理论到实践的原则将两者相结合。通过利用大型通用有限元分析软件 ANSYS 进行分析，从而使读者能在相对较短的时间内真正掌握有限元分析方法，并在材料工程实际中灵活运用。本书以 ANSYS 10.0 为基准，每章都配有例题，同时，为配合读者的学习，还编写了一定数量的习题。

本书简要介绍了 ANSYS 软件在一些物理场中的应用理论及操作步骤，全面系统地阐述了 ANSYS 软件在材料科学与工程中的应用，内容由浅入深，循序渐进。全书共分为 15 章，第 1 章介绍了材料工程数值模拟与 ANSYS 软件；第 2, 3, 4, 5, 6, 7 分别介绍了 ANSYS 软件在温度场、流场、应力场、电磁场以及耦合场和弹塑性模拟方面的基础知识，每章都有详细的实例分析和操作步骤。在介绍 ANSYS 软件在若干物理场中应用的基础上，第 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 章分别介绍了 ANSYS 软件在铸造、焊接、热处理、塑性成形、喷涂、热加工设备失效分析、复合材料设计等方面应用的理论和实际操作。

本书的特点在于：你一旦拥有此书，不用培训便可成为材料工程分析专家。本书可作为理工科特别是材料科学与工程学科高等院校高年级本科生、研究生及教师学习使用 ANSYS 软件的教材和参考书，也可用做其他工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

本书在编写过程中参考了国内外出版的一些书籍及网络资料，在此特向作者致谢。在撰写过程中得到了重庆工学院材料科学与工程学院领导的大力支持和帮助，在此表示感谢。

本书由于篇幅所限没能将 ANSYS 软件在材料工程中的应用全部包括进来，还有相当大的补充空间。由于作者水平所限，加之时间仓促，缺点和错误在所难免，恳请读者不吝赐教。

编 者  
2007 年 8 月

# 目 录

第 1 章 材料工程数值模拟与 ANSYS 软件 .....	(1)
1.1 材料工程及数值模拟概述 .....	(1)
1.1.1 材料科学与工程概述 .....	(1)
1.1.2 材料工程研究中的计算机模拟 .....	(2)
1.2 大型有限元软件 ANSYS 10.0 介绍 .....	(2)
1.2.1 ANSYS 10.0 的特点及创新 .....	(3)
1.2.2 ANSYS 10.0 安装流程 .....	(8)
1.2.3 ANSYS 图形用户界面 .....	(12)
1.3 ANSYS 在材料科学中的典型应用实例 .....	(15)
1.3.1 灰铸铁铸件热应力计算 .....	(15)
1.3.2 淬火过程模拟 .....	(15)
1.3.3 热轧 H 型钢残余应力计算 .....	(16)
小结 .....	(17)
习题 .....	(17)
第 2 章 ANSYS 在温度场模拟中的应用 .....	(18)
2.1 温度场的基本理论 .....	(18)
2.1.1 导热微分方程的形式 .....	(19)
2.1.2 导热微分方程的定解条件 .....	(20)
2.2 基于 ANSYS 软件的温度场分析 .....	(20)
2.2.1 稳态温度场分析 .....	(20)
2.2.2 瞬态传热分析(非稳态温度场分析) .....	(30)
2.2.3 ANSYS 热辐射问题 .....	(38)
2.2.4 相变分析 .....	(40)
小结 .....	(44)
习题 .....	(45)
第 3 章 ANSYS 在流场模拟中的应用 .....	(48)
3.1 流场的基本理论 .....	(48)
3.2 基于 ANSYS 软件的流场模拟 .....	(49)
3.2.1 FLOTTRAN CFD 模块介绍 .....	(49)
3.2.2 FLOTTRAN 分析基础 .....	(50)
3.2.3 FLOTTRAN 分析的主要步骤 .....	(50)
3.3 计算流体动力学分析实例 .....	(52)
小结 .....	(60)
习题 .....	(60)

<b>第 4 章 ANSYS 在应力场模拟中的应用</b> .....	(62)
4.1 弹性应力场的基本理论 .....	(62)
4.1.1 平面应力问题 .....	(62)
4.1.2 平面应变问题 .....	(63)
4.1.3 平衡方程 .....	(63)
4.2 ANSYS 软件结构分析模块概述 .....	(66)
4.2.1 应用有限元法分析结构的目的是 .....	(66)
4.2.2 结构分析的类型 .....	(66)
4.2.3 结构静力分析 .....	(67)
4.3 应力场模拟应用实例 .....	(68)
小结 .....	(83)
习题 .....	(83)
<b>第 5 章 ANSYS 在电磁场模拟中的应用</b> .....	(88)
5.1 电磁场分析基本理论 .....	(88)
5.1.1 位移电流 .....	(88)
5.1.2 麦克斯韦方程组的积分形式 .....	(89)
5.1.3 麦克斯韦方程组的微分形式 .....	(89)
5.2 ANSYS 中电磁场分析的基本知识 .....	(90)
5.2.1 电磁场分析的适用场合 .....	(90)
5.2.2 电磁场分析中要计算的量 .....	(90)
5.2.3 电磁场分析中维数的确定 .....	(91)
5.2.4 ANSYS 软件中电磁场分析的类型 .....	(91)
5.2.5 电磁场分析中的概念 .....	(91)
5.2.6 电磁场的分析步骤 .....	(92)
5.3 电磁场分析实例 .....	(93)
小结 .....	(101)
习题 .....	(102)
<b>第 6 章 ANSYS 在弹塑性模拟中的应用</b> .....	(103)
6.1 弹塑性模拟的基本理论 .....	(103)
6.1.1 塑性的概念和基本特性 .....	(103)
6.1.2 塑性理论介绍 .....	(104)
6.1.3 ANSYS 中塑性的使用方法 .....	(106)
6.2 塑性分析应用实例 .....	(108)
小结 .....	(110)
习题 .....	(110)
<b>第 7 章 ANSYS 在耦合场模拟中的应用</b> .....	(111)
7.1 耦合场分析的基本理论与操作 .....	(111)
7.1.1 耦合场分析的定义 .....	(111)
7.1.2 耦合场分析的类型 .....	(111)

7.1.3 生成耦合自由度集方法 .....	(112)
7.2 热-结构耦合分析 .....	(113)
7.3 热-电耦合分析 .....	(116)
7.4 热-流体耦合 .....	(119)
小结 .....	(128)
习题 .....	(128)
<b>第 8 章 ANSYS 在铸造过程模拟中的应用 .....</b>	<b>(129)</b>
8.1 铸件凝固过程数值模拟概况 .....	(129)
8.2 基于 ANSYS 软件铸造过程模拟实例 .....	(130)
小结 .....	(145)
习题 .....	(145)
<b>第 9 章 ANSYS 在焊接工艺模拟的应用 .....</b>	<b>(147)</b>
9.1 焊接过程模拟的基本理论及其进展 .....	(147)
9.1.1 焊接过程温度场模拟理论及其进展 .....	(147)
9.2 ANSYS 在焊接工艺模拟的应用实例 .....	(149)
小结 .....	(162)
习题 .....	(162)
<b>第 10 章 ANSYS 在热处理工艺模拟的应用 .....</b>	<b>(164)</b>
10.1 热处理工艺模拟的概况 .....	(164)
10.1.1 热处理模拟概述 .....	(164)
10.1.2 钢淬火的基本原理 .....	(165)
10.2 ANSYS 在热处理工艺模拟中的应用实例 .....	(165)
小结 .....	(173)
习题 .....	(173)
<b>第 11 章 ANSYS 在塑性成形进程模拟中的应用 .....</b>	<b>(174)</b>
11.1 塑性成形工艺及其模拟理论 .....	(174)
11.2 基于 ANSYS 的非线性接触分析 .....	(178)
11.2.1 接触分类 .....	(178)
11.2.2 接触分析的步骤 .....	(179)
11.3 塑性成形工艺模拟的应用实例 .....	(187)
小结 .....	(196)
习题 .....	(196)
<b>第 12 章 ANSYS 在喷涂过程工艺模拟中的应用 .....</b>	<b>(197)</b>
12.1 基于 ANSYS 冷喷涂过程计算机模拟 .....	(197)
12.2 基于 ANSYS 的热喷涂过程计算机模拟 .....	(211)
小结 .....	(217)
习题 .....	(217)
<b>第 13 章 ANSYS 在材料工程中失效分析模拟的应用 .....</b>	<b>(218)</b>
13.1 基于 ANSYS 失效分析基础 .....	(218)

13.1.1	基本术语 .....	(219)
13.1.2	疲劳计算的步骤 .....	(219)
13.2	疲劳分析实例 .....	(224)
	小结 .....	(241)
	习题 .....	(241)
<b>第 14 章</b>	<b>ANSYS 在复合材料设计中的应用 .....</b>	<b>(242)</b>
14.1	复合材料设计的基本理论 .....	(242)
14.1.1	复合材料的定义 .....	(242)
14.1.2	复合材料的特点及优点 .....	(242)
14.1.3	复合材料的设计规律 .....	(244)
14.1.4	复合材料常用的失效准则 .....	(244)
14.1.5	复合材料设计分析与有限元方法 .....	(245)
14.2	ANSYS 软件设计复合材料基础 .....	(245)
14.2.1	ANSYS 软件设计复合材料可选用的单元类型 .....	(245)
14.2.2	ANSYS 程序对复合材料分析的步骤 .....	(247)
14.3	ANSYS 在复合材料设计上的应用实例 .....	(248)
	小结 .....	(263)
	习题 .....	(263)
	<b>参考文献 .....</b>	<b>(264)</b>



# 第1章 材料工程数值模拟与 ANSYS 软件

## 知 识 点

- 材料工程及数值模拟概述
- 大型有限元软件 ANSYS 10.0 介绍
  - ⇒ 特点与创新
  - ⇒ 组成模块与功能
  - ⇒ 工作文件名
  - ⇒ 安装流程
  - ⇒ 界面简介
- ANSYS 软件在材料工程中的应用实例

## 本 章 导 读

计算机模拟技术在材料工程中的应用越来越广泛，本章在概述了材料工程的概念、发展、应用以及计算机数值模拟技术的基础上，针对通用有限元分析软件 ANSYS 10.0，介绍了该软件的组成模块、功能、安装流程、主要用户界面等，并介绍了该软件在材料科学与工程中的典型应用实例。

## 1.1 材料工程及数值模拟概述

### 1.1.1 材料科学与工程概述

材料是人类生产和生活水平提高的物质基础，是人类文明和进步的里程碑。由于材料的获得、质量的改进，以及使材料成为人们可以使用的器件和部件都离不开生产工艺和制造技术等工程知识，故人们常将“材料科学”与“工程”相提并论，称为“材料科学与工程”。材料科学侧重于发现和揭示四要素之间的关系，提出新概念和新理论；工程则侧重于寻求新手段实现新材料的设计思想并使之投入应用，两者相互依存。

材料工程包含的内容很多，包括传统的冶炼、制粉、热处理、喷涂、压力加工和焊接等，也包括各种新发展的真空喷射、气相沉积等新工艺等。

### 1.1.2 材料工程研究中的计算机模拟

计算机模拟是一种根据实际体系在计算机上进行的模型实验。通过将模拟与实验的数值结果进行比较,可以检验模型的准确性。材料科学研究中的计算机模拟是利用计算机对真实的系统进行模拟“实验”,提供实验结果,指导新材料研究,是材料工程设计的有效方法之一。在许多情况下,用计算机模拟比进行真实的实验要快、省,可根据计算机模拟结果预测有希望的实验方案,以提高实验效果。

材料工程中物理场的基本规律可以用一组微分方程来描述,如流动方程、热传导方程、平衡方程或运动方程等,这些方程在所讨论的问题中常常被称为场方程或控制方程。为了分析一个具体的材料工程问题,除了要给出具有普遍意义的场方程外,还要给出由该问题的特点所决定的定解条件,其中包括边值条件和初值条件。这样就把材料工程问题抽象为一个微分方程(组)的边值问题。一般来说,微分方程的边值问题只是在方程的性质比较简单,问题的求解域的几何形状十分规则的情况下,或是对问题进行充分简化的情况下,才能求得解析解。而实际的材料工程问题求解域往往是十分复杂的,而且场方程往往相互耦合,因此无法求得解析解,而在对问题进行过多简化后得到的近似解可能误差很大,甚至是错误的。

过去,由于缺乏科学的预测方法,材料工程设计主要是依据设计人员在长期工作中积累的经验,以及由对简单模型的实验研究总结出的多种图表。对于复杂的零件,按照设计结果制造出工装模具以后,往往还需要通过反复的试验、修改,才能最终生产出合格的制品。这样,不但造成人力、物力、时间的巨大浪费,也难以保证产品质量。近十几年来,随着计算机硬件、软件技术的飞速发展和对材料工程物理规律研究的深入,材料工程计算机模拟技术取得了很大的进展。通过数值计算来描述材料工程中的速度场(位移场)、应变场、应力场、温度场和磁场等,据此预测工件中组织性能的变化以及可能出现的缺陷,利用计算机图形技术将这些分析结果直观地、动态地呈现在研究设计人员面前,使他们能通过这个虚拟的材料加工过程检验工件的最终形状、尺寸、性能等是否符合设计要求,正确选用机器设备和模具材料。采用模拟技术,能在材料工程初步方案完成后立即对其进行检验,寻求可行的甚至最优的设计方案,然后再完成详细设计并进行模具制造。这样,在新产品开发时,就能使得产品设计、工装模具设计和制造等相关工作同时展开,即实现并行工程,达到降低成本,提高质量,缩短产品交货期的目的。

## 1.2 大型有限元软件 ANSYS 10.0 介绍

ANSYS 软件是由总部设在美国宾夕法尼亚州匹兹堡的世界 CAE 行业最著名的 ANSYS 公司开发研究的大型 CAE 仿真分析软件,是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于核工业、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、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水力、日用家电等一般工业及科学研究中。

## 1.2.1 ANSYS 10.0 的特点及创新

### 1. ANSYS 软件的特点

ANSYS 具有丰富的单元库, 提供了对各种物理场的分析功能。ANSYS 的主要分析功能有结构分析、热分析、高度非线性瞬态动力分析、流体动力学分析、电磁场分析、声学分析、压电分析、多场耦合分析等。

ANSYS 是一个功能强大、灵活的设计分析及优化软件包, 该软件可运行于从 PC、NT 工作站、UNIX 工作站到巨型机的各类计算机及操作系统中, 数据文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容。其多物理场耦合的功能, 允许在同一模型上进行各式各样的耦合计算, 如热-结构耦合、磁-结构耦合以及电-磁-流体-热耦合, 在 PC 上生成的模型同样可运行于巨型机上, 这样就能保证所有 ANSYS 用户的多领域工程问题的求解。

ANSYS 还有如下显著特点:

#### (1) ANSYS 可与许多先进 CAD 软件共享数据

利用 ANSYS 的数据接口, 可精确地将在 CAD 系统下生成的几何数据传入 ANSYS, 并通过必要的修补可精确地在该模型上划分网格并求解, 这样可以节省用户在创建模型过程中所花费的大量时间, 极大地提高了工作效率。与 ANSYS 软件能够共享数据接口的软件有 Pro/Engineer、Unigraphics、SolidEdge、SolidWorks、I-DEAS 和 AutoCAD 等, 它们之间实现了双向数据交换, 使用户在用 CAD 软件完成部件和零件的造型设计后, 能直接将模型传送到 CAE 软件中进行有限元网格划分并进行分析计算, 及时调整设计方案, 有效地提高了分析效率。

#### (2) 强大的网格处理能力

使用有限元法求解问题的基本过程主要包括分析对象的离散化、有限元求解及计算结果的后处理部分。结构离散后的网格质量直接影响到求解时间及求解结果的正确性。复杂的模型需要非常精确的网格才能得到有效的分析结果, 另外, 在许多工程问题的求解过程中, 模型的某个区域会产生极大的应变, 单元畸变严重, 如果不进行网格的重新划分, 将会导致求解中止或结果不正确, ANSYS 凭借其对单元精确的处理能力和网格划分自适应技术在实际工程应用方面占有了很大的优势, 越来越受到用户的欢迎。

#### (3) 高精度非线性问题求解

随着科学技术的发展, 线性理论已经远远不能满足设计的要求, 许多工程问题如材料的破坏与失效、裂纹扩展等仅靠线性理论根本不能解决, 必须进行非线性分析求解, 例如薄板成形就要求同时考虑结构的大位移、大应变(几何非线性)和塑性(材料非线性); 而对塑料、橡胶、陶瓷、混凝土及岩土等材料进行分析或者需考虑材料的塑性、蠕变效应时, 则必须考虑材料非线性。众所周知, 非线性问题的求解是很复杂的, 它不仅涉及很多专门的数学问题, 还必须掌握一定的理论知识和求解技巧, 学习起来也较为困难。为此, ANSYS 公司花费了大量的人力和物力开发了适用于非线性求解的求解器, 满足了用户的高精度非线性分析的需求。

#### (4) 强大的耦合场求解能力

有限元分析方法最早应用于航空航天领域, 主要用来求解线性结构问题, 实践证明这是一种非常有效的数值分析方法, 而且从理论上也已经证明, 只要用于离散求解对象的单元足

够小, 所得的数值解就可无限逼近于精确值。现在用于求解结构线性问题的有限元方法和软件已经比较成熟, 发展方向是结构非线性、流体动力学和耦合场问题的求解。例如, 由于摩擦接触而产生的热问题, 金属成形时由于塑性功而产生的热问题, 都需要结构场和温度场的有限元分析结果交叉迭代求解, 即“热力耦合”的问题。当流体在弯管中流动时, 流体压力会使弯管产生变形, 而弯管的变形又反过来影响到流体的流动, 这就需要对结构场和流场的有限元分析结果交叉迭代求解, 即所谓“流固耦合”的问题。由于有限元的应用越来越深入, 人们关注的问题也越来越复杂, 耦合场的求解就成为用户的迫切需求, ANSYS 软件是迄今为止唯一能够进行耦合场分析的有限元分析软件。

#### (5) 程序面向用户的开放性

ANSYS 公司为了扩大自己的市场份额, 满足用户的需求, 在 ANSYS 软件的功能、易用性等方面投入了大量的资金。由于用户的要求千差万别, 不论他们如何努力也不可能满足所有用户的要求, 因此必须给用户提供一个开放的环境, 允许用户根据自己的实际情况对软件进行扩充, 包括用户自定义单元特性、用户自定义材料本构(结构本构、热本构、流体本构)、用户自定义流场边界条件、用户自定义结构断裂准则和裂纹扩展规律等。ANSYS 的二次开发环境可以满足不同类型用户的需求。

## 2. ANSYS 10.0 的主要创新

ANSYS 10.0 秉承 Workbench 主旋律, 提供给用户可供选择的全自动或个人控制的强大分析软件, 使用户可以直接建立应力分析、电磁分析、计算流体动力学分析或多场耦合分析的模型。通过 CAD 系统的连通性, 可以把模型扩展到上下游部件, 最终完成整个模型的分析。新版本在网格处理技术上有很大的增强, 实现了在 ANSYS Workbench 各个应用程序间共享网格。另外, 双向参数互动的 CAD 接口的稳定性也得到了提高。ANSYS ICEM CFD 10.0 通过混合网格剖析新功能和 CAD 模型细节处理功能, 提供了一系列完整的网格划分工具。

在机械应用领域, ANSYS 10.0 增加了旋转机械的陀螺效应, 从而提高了 ANSYS 对涡轮机械和其他旋转结构的转子动力学的分析能力。在转子结构的动力分析中, ANSYS 可以使用 CORIOLIS 命令并且可以在静止或旋转参考系中考虑惯性效应。在具有不同角速度的多载荷步模态分析中, 可以生成坎贝尔 (COMPBELL) 图显示自然频率的变化。

在高频电磁领域, ANSYS 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、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, 在保证计算结果准确的前提下, 节约 30%~50% 的求解时间和内存需求。

在流体动力学领域, ANSYS CFX 10.0 是全球首个具有预测层流向湍流转换的商业 CFD 软件, 它新增了 Menter-Langtry  $\gamma$ - $\theta$  模型, 提供了完整的涡轮机械设计和分析解决方案。同时, ANSYS 10.0 版本加入了针对旋转机械叶片构件的高效三维设计工具 ANSYS Blade Modeler 以及高质量的叶片设计六面体网格划分工具 ANSYS Turbo Grid。

在耦合场领域, ANSYS 10.0 版本整合了世界一流的应力分析和流体分析技术, 为复杂的流固耦合 (FSI) 问题提供了更完善的解决方案。它通过将 ANSYS Mechanical 与 ANSYS CFX 进行无缝集成来完成真实的流固耦合分析。用户使用多场耦合求解器 MFX 可进行模型运动或变形状态中的瞬态或稳态流固耦合分析, 例如航空器飞行状态中的结构变形和土木工程结

构中的由于空气的流动而产生的机械振动。

### 3. ANSYS 10.0 软件的组成模块与功能

#### (1) 前处理模块 (PREP7)

##### 1) 参数定义

ANSYS 程序在进行结构建模的过程中,首先要对所有被建模型的材料进行参数定义。包括定义使用单位制,定义所使用单元的类型,定义单元的实参数,定义材料的特性以及使用材料库文件等。在单位制的制定中,ANSYS 并没有为分析指定固定的系统单位。除了磁场分析之外,可以使用任意一种单位制,只要保证输入的所有数据都是使用同一单位制里的单位即可。

单元类型的定义是结构进行网格划分的必要前提,ANSYS 程序根据所定义的单位类型进行实际的网格划分。而单元实常数的确定也依赖于单元类型的特性。材料的特性是依赖于每一种材料的性质参数,例如在对材料进行线性分析的过程中,首先要知道这种材料的弹性模量和泊松比。在一个分析过程中,可能有多个材料特性组,每一组材料特性有一个材料参考号,ANSYS 通过独特的参考号码来识别每一个材料特性组。对于每一个有限元单元分析,尽管可以分别定义材料特性,ANSYS 程序允许用户将一个材料特性设置存储进一个档案材料库文件。然后,在多个分析中取出该设置重复使用,这样可以大大提高工作效率。

##### 2) 实体建模

在实体建模过程中,ANSYS 程序提供了两种方法:从高级到低级的建模和从低级到高级的建模。对于一个有限元模型,图元的等级从低到高分别是点、线、面和体。ANSYS 程序提供了很多高级图元的建立,如球体、圆柱等。当用户直接构建高级图元时,程序则自动定义相关的低级图元(面、线和关键点)。此外,用户也可以先定义点、线、面,然后由所定义的图元生成体。无论用户采用哪种方式进行建模,都需要进行布尔操作(如加运算、减运算、相交、删除、重叠和粘贴等)来组合结构数据,以构建用户想要得到的模型。

##### 3) 网格划分

ANSYS 系统的网格划分功能十分强大,使用起来非常便捷。从使用选择的角度来讲,程序的网格划分可以分为系统智能划分和人工选择划分两种。延伸划分时将一个二维网格延伸成一个三维网格单元。映像网格划分是将一个几何模型分解成为几部分,然后选择合适的单元属性和网格控制,分别加以划分生成映像网格。ANSYS 程序提供了六面体、四面体和三角形的映像网格划分。自由划分是由 ANSYS 程序的网格自由划分器来实现的,通过这种划分可以避免不同组件在装配过程中网格不匹配带来的问题。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,用户指示程序自动产生有限元网格,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者达到用户定义的求解次数。

#### (2) 求解模块 (SOLUTION)

该程序模块用以完成对已生成的有限元模型的力学分析和有限元求解。在此阶段,用户可以定义分析类型、分析选项、载荷数据和载荷步选项。

##### 1) 定义分析类型和分析选项

用户可以根据所施加载荷条件和所要计算的响应来选择分析类型。例如,要计算固有频

率和模态，就必须选择模态分析。在 ANSYS 程序中，可以进行下列类型的分析：静态（或稳态）、瞬态、调谐、模态、谱、挠度和子结构。另外，有一点需要说明的是，并不是所有分析类型对所有的学科都有效。例如，模态分析对于热力模型无效。分析选项允许用户自定义分析类型。典型的分析选项是求解的方法、应力硬化的打开和关闭以及 Newton-Raphson 选择。

## 2) 荷载

一般所谓的荷载应该包括边界条件（约束、支撑或边界场的参数）和其他外部或内部作用荷载。在 ANSYS 程序中，荷载分为六类：自由度（DOF）约束；力；表面分布荷载；体积荷载；惯性荷载；耦合场荷载。

必须清楚与荷载相关的两个主要术语：荷载步和子步。荷载步仅仅指可求得解的荷载配置。例如，在结构分析中，可以将风荷载施加于第一个荷载步，第二个荷载步施加重力等。荷载步也用于对一个瞬态荷载历程曲线分段。子步是指一个荷载步中增加的步长。主要是为了瞬态分析或非线性分析中提高分析精度和收敛。子步也称为时间步，代表一段时间。

## 3) 指定荷载步

荷载步选项是用于更改荷载步，如子步数、荷载步的结束时间和输出控制。根据所作分析的类型，荷载步选项可有可无。ANSYS 提供的结构分析类型有如下几种：

结构静力分析用来求解外荷载引起的位移、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、大应变及接触问题的分析。

结构动力分析用来求解随时间变化的荷载对结构或者部件的影响。相对于静态分析，动力分析则要考虑随时间变化的力荷载以及阻尼和惯性的影响，如旋转机械产生的交变力、爆炸产生的冲击力、地震产生的随机力等。ANSYS 可以进行的结构动力分析类型有瞬态动力分析、模态分析、谱响应分析以及随机振动响应分析。

结构屈曲分析是用来确定结构失稳的荷载大小以及在特定的荷载下结构是否失稳的问题。ANSYS 中的稳定性分析主要分为线性分析和非线性分析两种。

结构非线性分析问题分为材料非线性、几何非线性和单元非线性三种。在 ANSYS 程序中，可以求解静态和瞬态的非线性问题。

## (3) 后处理模块 (POST1 和 POST26)

后处理模块是对计算结果加以处理，将结果以等值线、梯度、矢量、粒子流及云图等图形方式显示出来。也可以用图表、曲线的方式输出。

完成计算以后，可以通过后处理器查看结果。ANSYS 程序的后处理模块包含两个部分：通用后处理模块 (POST1) 和时间历程后处理模块 (POST26)。通过程序的菜单操作，可以很方便地获得求解的计算结果。结构文件的输出形式有图形显示和数据列表显示两种。

### 1) 通用后处理模块 (POST1)

通用后处理器可以用于查看整个模块或选定的部分模块的某一子步（时间步）的结果。可以获得等值线显示、变形形状，以及检查和解释分析的结果和列表。POST1 也提供了很多其他功能，包括误差估计、载荷工况组合、结果数据的计算和路径操作等。通过单击主菜单中的 General Postproc 可以直接进入到通用后处理模块。

### 2) 时间历程后处理模块 (POST26)

POST26 为时间历程后处理模块，可用于查看模型的特定时间步内的结果。可

获得结果数据对时间（或频率）关系的图形曲线以及列表，如绘制位移-时间列表，应力-应变曲线等。另外，POST26 还具有如下功能：进行曲线的代数运算，变量之间进行加、减、乘、除运算以产生新的曲线；取绝对值、平方根、对数、指数以及求最大值和最小值等；作曲线的微积分运算；从时间历程结果中生成谱响应。

#### 4. ANSYS 文件及工作文件名

ANSYS 软件广泛采用文件来存储和恢复数据，特别是在求解分析时。这些文件被命名为 jobname.ext（见表 1-1），这里文件名为默认的作业名，ext 是一个唯一的由 2~4 个字符组成的值，表明文件的内容。默认作业名是在进入 ANSYS 软件时设定的，也可以在进入 ANSYS 后指定（在命令输入窗口中输入 /FILNAME 命令或者通过 GUI 方式从实用菜单中选择 File→Change Jobname 命令）。ext 是由 ANSYS 定义的扩展名，用于区分文件的用途和类型，默认的工作文件名是 file。

表 1-1 ANSYS 文件内容简表

文件名	文件类型	内容
plane.db	二进制	数据库文件
plane.dbb	二进制	数据库备份文件（当非线性分析不正常终止时产生）
plane.cmat	二进制	单元矩阵
plane.err	文本	错误或警告信息
plane.esav	二进制	单元存储数据（当非线性分析不能向上兼容时产生）
plane.full	二进制	装配的整体刚度和质量矩阵
plane.ldhi	文本	载荷步中载荷和边界条件
plane.log	文本	命令行输入历史记录
plane.mntr	二进制	监视文件
plane.opt	文本	优化数据
plane.osav	二进制	单元存储文件的备份
plane.rdb	二进制	第一载荷步第一子步起始时的数据状态
plane.rst	二进制	结构或耦合场分析得到的结果文件

ANSYS 运行时在内存中存在着一个数据库，这个数据库包括模型数据、有限元网格数据、载荷数据、结果数据等所有的 ANSYS 支持对象的数据信息。在任意的处理器（如预处理器和求解器）中，ANSYS 使用和维护同样的一个数据库。用户所做的一切操作，其结果都会被存入数据库中。因为这个数据库包括了所有的输入数据，因此有必要经常保存数据库到文件中以备出错时恢复（从实用菜单中选择 File→Save as Jobname.db 命令）。于是就可以随时从这个文件中将保存的数据库读入内存中取代当前数据库，而成为当前数据的来源（从实用菜单中选择 File→Resume Jobname.db 命令）。有时候，在分析过程中可能发现重大的错误而想从头开始一个新的分析过程，就需要首先清除内存中 ANSYS 正在维护的数据库，从而得到一个新的空白数据库（从实用菜单中选择 File→Clear & Start New 命令）。值得注意的是，保存与恢复数据库时，作业名并不改变。这就有可能发生数据覆盖的现象（保存当前数据库时，

有可能覆盖同样作业名的以前备份的数据库文件)。为了避免这种情况, 建议如下操作:

- 1) 针对每一个问题的求解, 设置不同的作业名;
- 2) 不同问题, 尽量设置不同的工作文件夹;
- 3) 分析求解过程中, 每隔一段时间存储一次数据库文件。

4) 存储数据库文件时从实用菜单中选择 File→Save as 命令, 更改文件名保存, 从实用菜单中选择 File→Resume from 命令可从以前备份的某个数据库文件中恢复。

ANSYS Log 文件是在 ANSYS 运行过程中自动生成的 (Jobname.log), 它记录了从 ANSYS 运行以来所执行的一切命令, 包括 GUI (图形用户界面) 操作和通过 Input Window (输入窗口) 直接输入的合法命令。Log 文件是文本文件, 可以用记事本打开它并对其进行编辑。由于 Log 文件记录了 ANSYS 所有执行的命令, 因此, 可以通过 Log 文件再现同样的一个分析过程。也可以利用 Log 文件进行简单的编辑之后, 得到分析过程的命令流, 改变一些命令的参数, 即可实现简单意义上所谓的参数化分析和建模。这样可以大大提高分析效率。当然, 在对 ANSYS 命令非常熟悉的情况下, 也可以直接创建命令流文件来提高分析的效率。ANSYS 读入命令流的菜单命令是从实用菜单中选择 File→Read Input from 命令。

ANSYS 在运行过程中会产生许多临时文件和永久文件, 临时文件在 ANSYS 运行结束后会被删除。永久文件在 ANSYS 运行结束后会被保留下来, 其中有些文件包含了与计算和分析过程结果相关的数据, 在对结果数据进行后处理时可能会用到这些文件 (表 1-1)。

## 1.2.2 ANSYS 10.0 安装流程

在 Windows XP 操作系统下, ANSYS 10.0 的安装步骤如下:

- 1) 打开安装光盘, 将 MAGNITUDE 文件夹复制到硬盘 (假设为 e:\MAGNITUDE)。
- 2) 双击光驱, 出现如图 1-1 所示的登录安装界面。

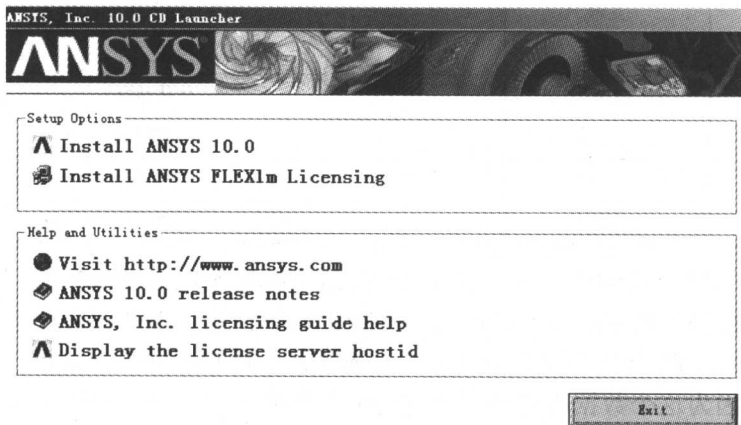


图 1-1 ANSYS 10.0 的登录安装界面

选择 “Display the license server hostid” 选项, 出现如图 1-2 所示的对话框, 第一行是计算机名称 (HOSTNAME), 第二行是网卡物理地址 (FLEXID)。



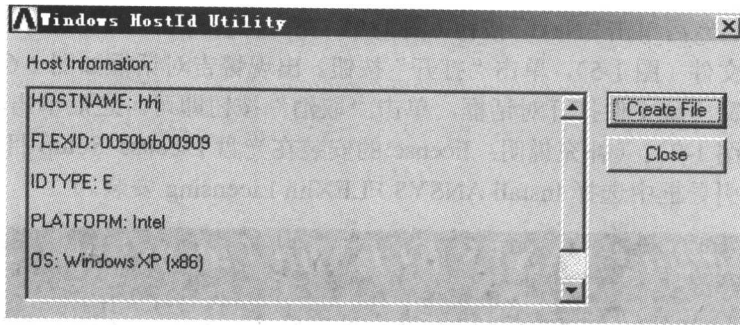


图 1-2 “获得计算机名和 MAC”对话框

3) 首先将 e:\MAGNiTUDE 目录中 ansys.dat 文件的只读属性去掉以保证在编辑该文件后可以存盘, 然后选择 e:\MAGNiTUDE\文件夹下的 ansys.dat, 用记事本程序打开进行编辑, 将第一行 host 改为刚才查找到的计算机名称, 000000000000 改为网卡物理地址, 然后存盘。例如, 将 SERVER host 000000000000 1055 改为 SERVER hhj 0050bfb00909 1055 并存盘, 其中 hhj 为计算机名称, 0050bfb00909 为网卡 ID。关于 ansys.dat 文件中的第二行: DAEMON ansyslmd “C:\Program Files\Ansys Inc\Shared Files\Licensing\intel\ansyslmd.exe”, 如果 Windows XP 安装在 D 盘, 则要改为 DAEMON ansyslmd “D:\Program Files\Ansys Inc\Shared Files\Licensing\intel\ansyslmd.exe” (将 C 改为了 D), 如果 Windows XP 安装在 C 盘, 就不要改第二行, 存盘并关闭。然后双击运行 e:\MAGNiTUDE 目录中 Keygen 程序, 该程序会自动生成一个文件 License.dat, 这就是 Ansys 的 License 文件。

4) 选择安装界面首行的 Install ANSYS 10.0 开始安装 (图 1-1), 安装路径假定为: D:\Program Files\Ansys Inc\v100\ANSYS, 此路径可更改。然后单击“Next”按钮开始安装, 直到安装程序复制文件结束后将提示安装 License, 出现以下提示信息“Run the licensing setup to complete the installation”, 单击“Next”按钮开始安装 License。安装完成后 Flexlm 的安装程序将自动开始运行, 出现提示语: “Is this a license server machine?” 单击“是”按钮。然后又出现 “Do you have a license file to enter during this installation?” 提示语, 如图 1-3 所示, 单击“是”按钮。

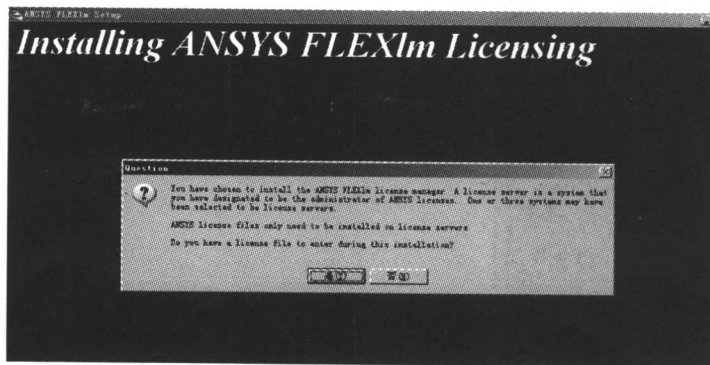


图 1-3 “确定是否有 license file”对话框

当出现“ANSYS FLEXlm license file”窗口时, 如图 1-4 所示, 选择“Browse for an existing