

■ CAD/CAM/CAE工程应用丛书 ■



ANSYS 10.0

有限元分析理论与工程应用

■ 王富耻 张朝晖 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书

ANSYS10.0 有限元分析 理论与工程应用

王富耻 张朝晖 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是讲述通用有限元程序 ANSYS 10.0 及其工程应用的学习教程, 全书根据不同的学科及工程应用分为八章, 内容主要包括 ANSYS 10.0 简介、静力学分析、非线性分析、动力学分析、热分析、电磁场分析、耦合场分析以及 ANSYS/LS-DYNA 显式动力分析。本书内容新颖丰富, 涉及领域广泛, 使读者在掌握 ANSYS 软件的同时能够领会到实际工程问题的分析思路、方法和经验, 并轻松解决本领域所出现的问题。

本书按照深入浅出的原则, 分别通过图形用户界面和命令流两种方式对不同领域内典型的工程应用问题进行了详细讲解。

本书适合理工院校相关专业的硕士研究生、博士研究生及教师使用, 可以作为 ANSYS 学习教材供高等院校学生及科研院所研究人员使用, 也可以作为从事相关领域科学技术研究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

ANSYS 10.0 有限元分析理论与工程应用 / 王富耻, 张朝辉编著. —北京: 电子工业出版社, 2006.5
(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 7-121-02484-5

I. A… II. ①王… ②张… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS 10.0 IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034391 号

责任编辑: 刘志红 特约编辑: 张 莉

印 刷: 北京市李史山胶印厂

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.75 字数: 628 千字

印 次: 2006 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 43.00 元 (含光盘 1 张)

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。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。

前 言

ANSYS 软件是集结构、流体、电场、磁场、声场、热分析于一体大型通用有限元分析软件。它由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 公司开发，能与多数 CAD 软件接口，如 Pro/Engineer, NASTRAN, Alogor, I-DEAS, AutoCAD 等，实现数据共享和交换，是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一，也是迄今为止世界范围内惟一通过 ISO9001 质量体系认证的分析设计类软件。在 ANSYS 公司相继收购 ICEM、CFX、CENTURY DYNAMICS、AAVID THERMAL、FLUENT 等世界著名有限元分析程序制造公司并将其产品和 ANSYS 整合之后，ANSYS 实际上已成为世界上最通用和有效的商用有限元软件。

本书在必要的理论描述的基础上，通过大量典型实例对 ANSYS 10.0 有限元软件的工程应用进行了详细的介绍，并结合实际工程问题进行详细讲解，全书内容简洁、明快，给人耳目一新的感觉。

本书内容丰富、结构清晰，所有例题均经过精心设计与筛选，剪表性剪，并具有实际的工程应用背景，每个例题都通过图形用户界面及命令流两种方式向读者作了详细的介绍。渴望入门的新手和高级用户都可以通过参考其中相关例题的分析思路和求解过程圆满完成学习和解决实际工程问题的任务。

本书适合理工院校相关专业的硕士研究生、博士研究生及教师使用，可以作为高等院校学生及科研院所研究人员学习 ANSYS 10.0 有限元软件的教材，也可以作为从事相关领域科学技术研究的工程技术人员使用 ANSYS 10.0 软件的参考书。

本书由北京理工大学的王富耻和张朝晖负责策划编写。由于编者水平有限，时间仓促，书中缺点与错误在所难免，敬请广大读者批评指正，也欢迎业内人士及专家来电来函共同探讨。

作者的 E-mail: zhang@bit.edu.cn

作 者
2006 年 4 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 有限元数值模拟技术	(1)
1.1.1 有限元方法概述	(1)
1.1.2 有限元常用术语	(2)
1.1.3 有限元分析基本步骤	(3)
1.2 ANSYS 10.0 有限元程序简介	(3)
1.2.1 ANSYS 10.0 发展过程	(3)
1.2.2 ANSYS 10.0 创新之处	(3)
1.2.3 ANSYS 10.0 使用环境	(4)
1.2.4 ANSYS 10.0 程序功能	(4)
1.2.5 ANSYS 10.0 文件系统	(10)
1.2.6 ANSYS 10.0 显式动力分析程序——ANSYS/LS-DYNA	(11)
1.3 ANSYS 10.0 基本操作	(11)
1.3.1 ANSYS 10.0 启动与设置	(11)
1.3.2 ANSYS 10.0 用户界面	(13)
1.3.3 退出 ANSYS 10.0	(14)
第 2 章 线性静力学分析	(16)
2.1 线性静力分析基本过程	(16)
2.1.1 线性静力分析概述	(16)
2.1.2 线性静力分析基本步骤	(16)
2.2 梁分析实例解析——工字梁承载分析	(34)
2.2.1 问题描述	(34)
2.2.2 问题分析	(34)
2.2.3 求解步骤	(35)
2.3 板分析实例解析——薄板圆孔构件承载分析	(39)
2.3.1 问题描述	(39)
2.3.2 问题分析	(39)
2.3.3 求解步骤	(39)
2.4 函数加载法分析实例解析——大坝内应力分析	(44)
2.4.1 问题描述	(44)
2.4.2 问题分析	(45)
2.4.3 求解步骤	(45)

第 3 章 非线性分析	(51)
3.1 非线性分析基本过程.....	(51)
3.1.1 非线性分析概述.....	(51)
3.1.2 几何非线性分析.....	(53)
3.1.3 材料非线性分析.....	(56)
3.1.4 状态非线性分析.....	(61)
3.1.5 非线性分析基本步骤.....	(69)
3.2 几何非线性分析实例解析——细长杆屈曲分析.....	(74)
3.2.1 问题描述.....	(74)
3.2.2 问题分析.....	(75)
3.2.3 求解步骤.....	(75)
3.3 几何非线性分析实例解析——膜结构分析.....	(80)
3.3.1 问题描述.....	(80)
3.3.2 问题分析.....	(81)
3.3.3 求解步骤.....	(81)
3.4 材料非线性分析实例解析——残余应力分析.....	(91)
3.4.1 问题描述.....	(91)
3.4.2 问题分析.....	(91)
3.4.3 求解步骤.....	(91)
3.5 材料非线性分析实例解析——橡胶圆盘超弹分析.....	(96)
3.5.1 问题描述.....	(96)
3.5.2 问题分析.....	(97)
3.5.3 求解步骤.....	(97)
3.6 材料非线性分析实例解析——平板蠕变松弛分析.....	(103)
3.6.1 问题描述.....	(103)
3.6.2 问题分析.....	(104)
3.6.3 求解步骤.....	(104)
3.7 状态非线性分析实例解析——铝材挤压过程分析.....	(112)
3.7.1 问题描述.....	(112)
3.7.2 问题分析.....	(113)
3.7.3 求解步骤.....	(113)
第 4 章 动力学分析	(124)
4.1 动力学分析基本过程.....	(124)
4.1.1 模态分析.....	(124)
4.1.2 谐响应分析.....	(127)
4.1.3 瞬态动力学分析.....	(130)
4.1.4 谱分析.....	(134)

4.2	模态分析实例解析——模型飞机机翼模态分析	(138)
4.2.1	问题描述	(138)
4.2.2	问题分析	(138)
4.2.3	求解步骤	(139)
4.3	谐响应分析实例解析——有预应力的吉他弦谐响应分析	(145)
4.3.1	问题描述	(145)
4.3.2	问题分析	(145)
4.3.3	求解步骤	(145)
4.4	瞬态动力学分析实例解析——杆类构件承载弹塑性响应	(152)
4.4.1	问题描述	(152)
4.4.2	问题分析	(152)
4.4.3	求解步骤	(153)
4.5	谱分析实例解析——地震位移谱作用下的板梁结构响应	(159)
4.5.1	问题描述	(159)
4.5.2	问题分析	(159)
4.5.3	求解步骤	(159)
第5章	热力学分析	(171)
5.1	热力学分析基本过程	(171)
5.1.1	稳态热分析	(171)
5.1.2	瞬态热分析	(179)
5.1.3	辐射热分析	(182)
5.1.4	相变分析	(186)
5.1.5	热应力分析	(187)
5.2	稳态热分析实例解析——自适应网格法求解柱体对流传热问题	(193)
5.2.1	问题描述	(193)
5.2.2	问题分析	(193)
5.2.3	求解步骤	(194)
5.3	瞬态热分析实例解析——钢球淬火过程分析	(199)
5.3.1	问题描述	(199)
5.3.2	问题分析	(199)
5.3.3	求解步骤	(199)
5.4	辐射热分析实例解析——两圆柱体的辐射传热	(207)
5.4.1	问题描述	(207)
5.4.2	问题分析	(208)
5.4.3	求解步骤	(208)
5.5	相变分析实例解析——铸造过程热分析	(217)
5.5.1	问题描述	(217)

5.5.2	问题分析	(218)
5.5.3	求解步骤	(218)
第6章	电磁场分析	(228)
6.1	电磁场分析基本过程	(228)
6.1.1	稳态电场分析	(228)
6.1.2	谐性电场分析	(230)
6.1.3	瞬态电场分析	(232)
6.1.4	静态磁场分析	(234)
6.1.5	谐性磁场分析	(237)
6.1.6	瞬态磁场分析	(240)
6.1.7	高频电磁场分析	(242)
6.2	静态电场分析实例解析——薄圆盘导电分析	(246)
6.2.1	问题描述	(246)
6.2.2	问题分析	(247)
6.2.3	求解步骤	(247)
6.3	静态磁场分析实例解析——铁芯线圈磁场分析	(251)
6.3.1	问题描述	(251)
6.3.2	问题分析	(251)
6.3.3	求解步骤	(251)
6.4	高频电磁场分析实例解析——谐振腔工作分析	(261)
6.4.1	问题描述	(261)
6.4.2	问题分析	(261)
6.4.3	求解步骤	(262)
第7章	耦合场分析	(269)
7.1	耦合场分析基本过程	(269)
7.1.1	耦合场分析概述	(269)
7.1.2	耦合场分析定义和类型	(269)
7.1.3	耦合场分析方法	(270)
7.2	热结构耦合分析实例解析——包含焊缝的金属圆盘退火冷却分析	(271)
7.2.1	问题描述	(271)
7.2.2	问题分析	(272)
7.2.3	求解步骤	(272)
7.3	热结构耦合分析实例解析——滑动摩擦生热分析	(283)
7.3.1	问题描述	(283)
7.3.2	问题分析	(283)
7.3.3	求解步骤	(283)
7.4	热电耦合分析实例解析——热电冷却器工作分析	(293)

7.4.1	问题描述	(293)
7.4.2	问题分析	(294)
7.4.3	求解步骤	(294)
7.5	热流体耦合分析实例解析——腔体中空气热流分析	(303)
7.5.1	问题描述	(303)
7.5.2	问题分析	(303)
7.5.3	求解步骤	(303)
第 8 章	ANSYS /LS-DYNA 显式动力分析	(311)
8.1	ANSYS /LS-DYNA 分析基本过程	(311)
8.1.1	ANSYS /LS-DYNA 主要特征	(311)
8.1.2	ANSYS /LS-DYNA 分析功能	(311)
8.1.3	ANSYS /LS-DYNA 分析命令	(312)
8.1.4	ANSYS /LS-DYNA 分析单元	(318)
8.1.5	ANSYS /LS-DYNA 分析材料模型	(320)
8.1.6	ANSYS /LS-DYNA 分析相关概念	(341)
8.1.7	ANSYS /LS-DYNA 分析基本步骤	(343)
8.1.8	LS-DYNA 输入文件 (.K 文件) 的生成与修改	(347)
8.2	弹体飞行分析实例解析——弹体飞行过程分析	(348)
8.2.1	问题描述	(348)
8.2.2	问题分析	(348)
8.2.3	求解步骤	(348)
8.3	侵彻分析实例解析——弹体侵彻靶板分析	(355)
8.3.1	问题描述	(355)
8.3.2	问题分析	(356)
8.3.3	求解步骤	(357)
8.4	爆炸分析实例解析——炸药爆炸过程分析	(370)
8.4.1	问题描述	(370)
8.4.2	问题分析	(371)
8.4.3	求解步骤	(371)

第1章

概 述

1.1 有限元数值模拟技术

在实际工程技术领域,存在许多力学问题和场问题,例如固体力学中的应力应变场、传热学中的温度场、电磁学中的电磁场、流体力学中的流场以及涉及多学科的耦合场等,这些问题的求解都可以看作是在一定的边界条件和初始条件下求解其基本微分方程或微分方程组的问题。但由于控制微分方程组的复杂性以及边界条件和初始条件的难以确定性,我们一般不能得到系统的精确解。对于这类问题,一般需要采用各种数值计算方法获得满足工程需要的近似数值解,这就是数值模拟技术。目前解决实际工程问题的主要数值方法包括两大类:有限差分法和有限元法。使用有限差分法,需要针对每一节点写微分方程,并且用差分方程代替导数,这一过程产生一组线性方程,求解该线性方程组便可得到问题的近似数值解。有限差分法对于简单工程问题的求解是易于理解和行之有效的,但是对于具有复杂几何条件和边界条件的实际工程问题有限差分法就显得困难和无能为力。相比之下,有限元方法使用公式方法(直接公式法、最小总势能公式法和加权余数法)而不是微分方法建立系统的代数方程组,而且,有限元法假设代表每个元素的近似函数是连续的,假设元素间的边界是连续的,通过结合各单独的解产生系统的完全解,因此适合于各类工程问题的求解。有限元方法是目前应用最为广泛的一种数值模拟计算方法。

1.1.1 有限元方法概述

有限元方法是用于求解各类实际工程问题的方法。应力分析中稳态的、瞬态的、线性的、非线性的问题以及热力学、流体力学、电磁学以及高速冲击动力学问题都可以通过有限元方法得到解决。现代有限元方法的起源可以追溯到20世纪早期,当时一些研究者应用离散的等价杆拟合弹性体。然而,人们公认Courant(1943)是应用有限元方法的第一人,当时Courant使用分段多边形插值法来研究扭转问题。在20世纪50年代,Boeing公司采用三角元对机翼进行建模,大大推动了有限元方法的发展和和使用。到20世纪60年代,有限元方法已被应用于多个实际工程领域问题的求解中,如热传导和地下渗流等问题,“有限元”这一术语也逐渐得到人们的接受和认可。1967年,Zienkiewicz和Cheung撰写了第一本有限元专著。

有限元法的基本思想是把连续的几何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,从而将连续体看作仅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，并在每一单元中假设一个近似插值函数以表示单元中场函数的分布规律，再建立用于求解节点未知量的有限元方程组，从而将一个连续域中的无限自由度问题转化为离散域中的有限自由度问题，求解得到节点值后就可以通过设定的插值函数确定单元上以至整个集合体上的场函数。有限元离散过程中，相邻单元在同一节点上场变量相同达到连续，但未必在单元边界上任一点连续；在把载荷转化为节点载荷的过程中，只是考虑单元总体平衡，在单元内部和边界上不用保证每点都满足控制方程。

由于单元可以设计成不同的几何形状，因而运用有限元法可以模拟和逼近复杂的求解域。显然，如果差值函数满足一定的要求，随着单元数量的增加，求解的精度会不断提高而最终收敛于精确解。从理论上讲，无限增加单元的数量，可以得到问题的精确解，但此举必会导致计算时间的无限增加，因此，在解决实际工程过程中，求解所得的数据只要满足工程需要即可。

1.1.2 有限元常用术语

1. 单元

有限元模型中每一个小的块体称为一个单元。根据其形状的不同，可以将单元划分为以下几种类型：线段单元、三角形单元、四边形单元、四面体单元和六面体单元等。由于单元是构成有限元模型的基础，因此单元类型对于有限元分析过程至关重要。一个有限元程序提供的单元种类越多，该程序功能就越强大。ANSYS 程序提供了一百余种单元种类，可以模拟和分析绝大多数的工程问题。

2. 节点

用于确定单元形状、表述单元特征及连接相邻单元的点称为节点。节点是有限元模型中的最小构成元素。多个单元可以公用 1 个节点，节点起连接单元和实现数据传递的作用。

3. 载荷

工程结构所受到的外在施加的力或力矩称为载荷，包括集中力、力矩及分布力等。在不同的学科中，载荷的含义有所差别。在通常结构分析过程中，载荷为力、位移等，在温度场分析过程中，载荷是指温度等，而在电磁场分析过程中，载荷是指结构所受的电场和磁场作用。

4. 边界条件

边界条件是指结构在边界上所受到的外加约束。在有限元分析过程中，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关键。

5. 初始条件

初始条件是结构响应前所施加的初始速度、初始温度及预应力等。

1.1.3 有限元分析基本步骤

有限元分析的基本步骤如下:

- 建立求解域并将其离散化为有限单元,即将连续体问题分解成节点和单元等个体问题;
- 假设代表单元物理行为的形函数,即假设代表单元解的近似连续函数;
- 建立单元方程;
- 构造单元整体刚度矩阵;
- 施加边界条件、初始条件和载荷;
- 求解线性或非线性的微分方程组,得到节点求解结果,例如得到不同节点的位移量、应力应变变量或热力学问题中的温度量等;
- 得到其他重要信息。

1.2 ANSYS 10.0 有限元程序简介

1.2.1 ANSYS 10.0 发展过程

ANSYS 软件是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元商用分析软件,其代码长度超过 10 000 行,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、电子、造船、汽车交通、国防军工、土木工程、生物医学、轻工、地矿、水利、家用电器等一般工业及科学研究,是目前最主要的 FEA 程序。该软件可在大多数计算机及操作系统上运行;ANSYS 基于 Motif 的菜单系统使用户能够通过对话框、下拉式菜单和子菜单进行数据输入和功能选择,大大方便了用户操作。ANSYS 软件能与大多数 CAD 软件实现数据共享和交换,是现代产品设计中高级的 CAD/CAE 软件之一。

ANSYS 公司成立于 1970 年,是由美国匹兹堡大学的 John Swanson 博士创建的,其总部位于美国宾夕法尼亚州的匹兹堡,目前是世界 CAE 行业最大的公司。30 余年来,ANSYS 公司一直致力于设计分析软件的开发,不断吸取新的计算方法和计算技术,领导着世界有限元技术的发展。ANSYS 软件的最初版本与今天的版本 ANSYS 10.0 相比已有很大的区别,最初版本仅仅提供了热分析和线性分析功能,是一个批处理程序,而且只能在大型计算机上使用。20 世纪 70 年代初,随着非线性、子结构以及更多的单元类型的加入,ANSYS 程序发生了很大的变化,新技术的融入进一步满足了用户的需求;70 年代末,交互方式的加入是该软件最为显著的变化,它使得模型生成和结果评价大为简化。

1.2.2 ANSYS 10.0 创新之处

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。

新版本在核心的网格处理技术上有很大的增强，实现在 ANSYS Workbench 各个应用程序间共享网格。另外，双向参数互动的 CAD 接口的稳健性也得到了提高。ANSYS ICEM CFD 10.0 通过混合网格剖分新功能和 CAD 模型细节处理功能，提供了一系列完整的网格划分工具模拟真实世界。

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分析的能力。在转子结构的动力分析中，ANSYS 现在可以使用 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，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。

在流体动力学领域，ANSYS CFX10.0 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 γ - θ 模型，提供了完整的涡轮机械设计和分析解决方案。同时，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 BladeModeler 以及高质量的叶片设计六面体网格划分工具 ANSYS TurboGrid。

在耦合场领域，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由于空气的流动而产生的机械振动。

1.2.3 ANSYS 10.0 使用环境

ANSYS 及 ANSYS/LS-DYNA 程序可运行于 PC 机、NT 工作站、UNIX 工作站以及巨型计算机等各类计算机及操作系统中，其数据文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容。它具有多物理场耦合的功能，允许在同一模型上进行各种耦合计算，如：热-结构耦合、热-电耦合、磁-结构耦合以及热-电-磁-流体耦合，同时在 PC 机上生成的模型可运行于工作站及巨型计算机上，所有这一切就保证了 ANSYS 用户对多领域多变工程问题的求解。

ANSYS 可与多种先进的 CAD（如 AutoCAD、Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS 等）软件共享数据，利用 ANSYS 的数据接口，可以精确地将在 CAD 系统下生成的几何数据传输到 ANSYS，并通过必要的修补准确地在该模型上划分网格并进行求解，这样就可以节省用户在创建模型的过程中所花费的大量时间，使用户的工作效率大幅度提高。

1.2.4 ANSYS 10.0 程序功能

ANSYS 程序主要包括三个部分：前处理模块、求解模块和后处理模块（如图 1.1 所示）。

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；求解模块包括结构分析（结构线性分析、结构非线性分析和结构高度非线性分析）、热分析、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以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；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。ANSYS 程序提供了 100 种以上的单元类型，用来模拟工程中的各种结构和材料。

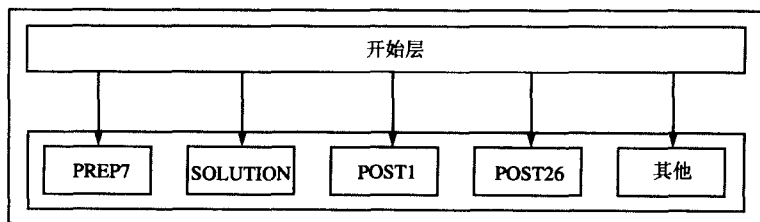


图 1.1 ANSYS 程序的组织结构

启动 ANSYS，进入 ANSYS 图形用户界面。从开始平台（主菜单）可以进入各处理模块：PREP7（通用前处理模块），SOLUTION（求解模块），POST1（通用后处理模块）和 POST26（时间历程后处理模块）。下面对这三个模块逐一进行介绍。

1. 前处理模块 PREP7

ANSYS 前处理模块主要包括参数定义和建立有限元模型。

1) 参数定义

ANSYS 程序在建立有限元模型的过程中，首先需要进行相关参数定义，主要包括定义单位制、定义单元类型、定义单元实常数、定义材料模型和材料特性参数以及定义几何参数等。

在定义单位制时，除磁场分析之外，ANSYS 程序可以使用任意一种单位制，但一定要确定所输入的参数的单位为同一单位制中的单位。

在建立有限元模型或对实体模型进行网格划分之前，必须定义相应的单元类型，而单元实常数的确定也依赖于单元类型的特性。

材料模型和材料特性参数是表征实际工程问题所涉及到的材料的具体特性，因此材料模型的正确选择和材料参数的精确输入是实际工程问题得到正确解答的关键。

2) 建立有限元模型

ANSYS 程序提供了 4 种建立有限元模型的方法：直接建模、实体建模、输入在计算机辅助设计系统（CAD）中创建的实体模型以及输入在计算机辅助设计系统（CAD）中创建的有限元模型。

• 直接建模

直接建模方法在 ANSYS 显示窗口直接创建节点和单元，模型中没有实体（点、线、面）出现，其优点为：适用于小型或简单的模型；可实现对每个节点和单元的编号完全控

制。其缺点为：需人工处理的数据量大，效率低；不能使用自适应网格划分功能；网格修正非常困难；不适合进行优化设计；容易出错。

- 实体建模

实体建模是先创建由关键点、线段、面和体构成的几何模型，然后利用 ANSYS 网格划分工具对其进行网格划分，生成节点和单元，最终建立有限元模型的一种建模方法。这种建模方法具有以下优点：适合于复杂模型，尤其适合于 3D 实体建模；需人工处理的数据量小，效率高；允许对节点和单元实施不同的几何操作；支持布尔操作（相加、相减、相交等）；支持 ANSYS 优化设计功能；可以进行自适应网格划分；可以进行局部网格细化；便于修正和改进。其缺点为：有时需要大量的 CPU 处理时间；对小型、简单的模型有时很繁琐；在特定的条件下可能会失败（即程序不能生成有限元网格）。

ANSYS 程序提供了两种实体建模方法：自底向上建模与自顶向下建模。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。

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、多面体、棱柱等，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，如二维的圆和矩形以及三维的块、球、锥和柱。

无论使用自底向上或自顶向下方法建模，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，诸如相加、相减、相交、分割、黏结和重叠。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、延伸和拷贝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、用于网格划分的硬点的建立、移动、拷贝和删除。

在实体模型建立之后，需要对其进行网格划分。ANSYS 程序提供了使用便捷、高质量的对实体模型进行网格划分的功能。包括 4 种网格划分方法：自由网格划分、映射网格划分、延伸网格划分和自适应网格划分。

- 自由网格划分

ANSYS 程序的自由网格划分功能是十分强大的，这种网格划分方法没有单元形状的限制，网格也不遵循任何的模式，因此适合于对复杂形状的面和体网格划分，这就避免了用户对模型各个部分分别划分网格后进行组装时各部分网格不匹配带来的麻烦。

对面进行网格划分，自由网格可以只由四边形单元组成，或者只由三角形单元组成，或者二者混合。对体进行自由网格划分，一般指定网格为四面体单元，六面体单元作为过渡也可以加入到四面体网格中。

图 1.2 所示为规则几何形状和不规则几何形状自由网格划分结果显示。

- 映射网格划分

映射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射网格，映射网格划分主要适合于规则的面和体，单元成行并具有明显的规则形状，仅适用于四边形单元（对面）和六面体（对体）。图 1.3 所示为采用不同相交角时的映射网格划分结果显示。

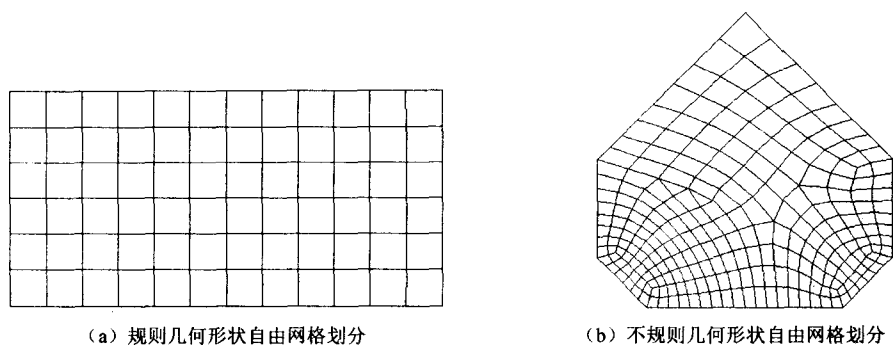


图 1.2 自由网格划分结果显示

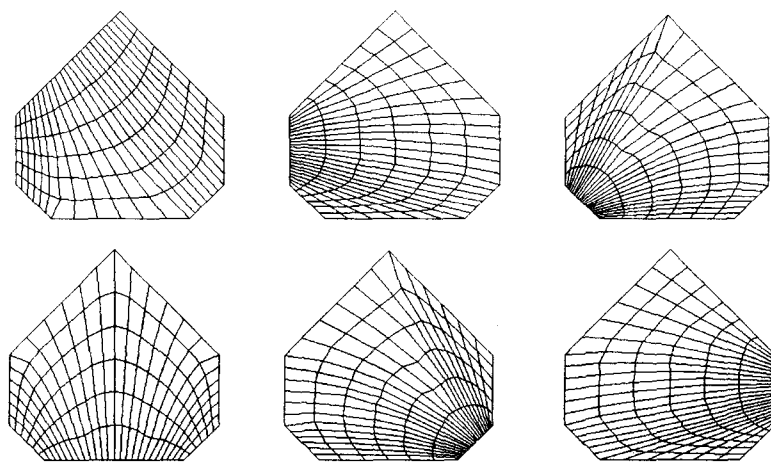


图 1.3 采用不同相交角时的映射网格划分结果

► 延伸网格划分

延伸网格划分可将一个二维网格延伸成一个三维网格，主要是利用体扫描，从体的某一边界面扫描贯穿整个体而生成体单元。如果需扫描的面由三角形网格组成，将生成四面体单元；如果面网格由四边形网格组成，将生成六面体单元；如果面由三角形和四边形单元共同组成，则体将由四面体和六面体单元共同填充。图 1.4 所示为延伸网格划分结果示。

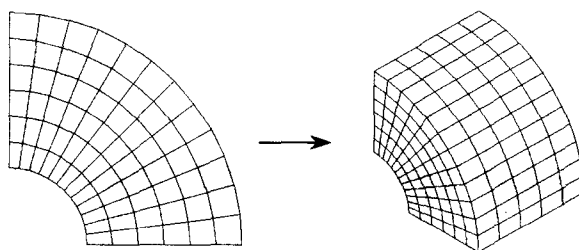


图 1.4 延伸网格划分结果

➤ 自适应网格划分

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。

- 输入在计算机辅助设计系统（CAD）中创建的实体模型

ANSYS 程序为不同的软件提供了导入导出接口，利用这些接口，用户可以将 CAD 系统建立的实体模型以一定的格式导入 ANSYS 进行分析。

如果从 CAD 系统导入的实体模型不适合进行网格划分，则需要大量的修补工作。此时需要利用 ANSYS 提供的拓扑和几何修复工具，并经过相应的几何简化才能满足使用要求。从 CAD 系统导入实体模型的操作方法为：

GUI: Utility Menu | File | Import

- 输入在计算机辅助设计系统（CAD）中创建的有限元模型

该方法是利用 CAD 系统在网格划分方面的优势，预先将实体模型划分为有限元模型，然后通过一定的格式导入到 ANSYS。导入到 ANSYS 中的有限元模型在使用之前一般需要经过检验和修正。从 CAD 系统导入实体模型的操作方法为：

GUI: Utility Menu | File | Import

2. 求解模块 SOLUTION

ANSYS 程序用求解模块对所建立的有限元模型进行力学分析和有限元求解，在该模块中，用户可以定义分析类型和分析选项、施加载荷及载荷步选项。

1) 定义分析类型和分析选项

用户需要根据所施加的载荷条件和所要计算的响应选择分析类型。ANSYS 程序提供的分析类型为：静态（稳态）分析、瞬态分析、模态分析、谐波分析、谱分析、挠度和子结构。

分析类型定义完成之后，用户可根据分析类型定义分析选项。

2) 载荷

在 ANSYS 程序中，载荷分为以下 6 类：

- 位移载荷
- 力或力矩
- 面载荷
- 体积载荷
- 惯性载荷
- 耦合场载荷

3) 指定载荷步

载荷步选项是用于更改载荷步的选项，如子步数、载荷步的结束时间和输出控制等。

4) 求解子模块

ANSYS 程序的求解模块包含以下子模块：

- 结构静力学分析