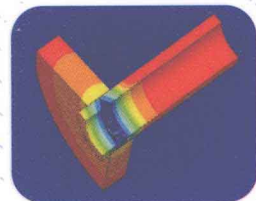
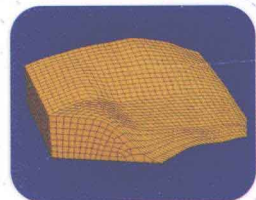




CAD/CAM/CAE工程应用丛书·ANSYS系列

# ANSYS 12.0

## 土木工程应用实例解析



### 本书核心内容包含

- 有限元分析和ANSYS 12.0简介
- ANSYS 12.0的启动与设置
- 结构静力学分析
- 结构动力学分析
- 复合材料分析
- 隧道工程分析
- 地震作用分析
- 结构疲劳分析
- ANSYS高级技术分析
- ANSYS参数化设计语言
- LS-DYNA动力学分析

王金龙 编著



随书配套电子素材  
下载网址[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·ANSYS 系列

# ANSYS 12.0 土木工程应用实例解析

王金龙 编著



机械工业出版社

本书根据功能模块及工程应用分为 11 章, 主要内容包括: 有限元分析和 ANSYS 12.0 简介、ANSYS 12.0 的启动与设置、结构静力学分析、结构动力学分析、复合材料分析、隧道工程分析、地震作用分析、结构疲劳分析、ANSYS 高级技术分析、ANSYS 参数化设计语言和 LS-DYNA 动力学分析。

本书按照由浅入深的原则, 分别通过图形用户界面和命令流两种方式对典型的工程应用问题进行了详细讲解。

本书可作为理工院校土木建筑、力学等相关专业的教学用书, 也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 12.0 土木工程应用实例解析/王金龙编著. —北京: 机械工业出版社, 2010. 10  
(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·ANSYS 系列)  
ISBN 978-7-111-32131-6

I. ①A… II. ①王… III. ①土木工程—有限元分析—应用程序, ANSYS 12.0 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 194604 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑: 吴鸣飞  
责任编辑: 吴鸣飞 常建丽  
责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷  
184mm×260mm·26.5 印张·652 千字  
0001—3500 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-32131-6  
定价: 55.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

社服务中心: (010)88361066

销售一部: (010)68326294

销售二部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

网络服务

门户网: <http://www.cmpbook.com>

教材网: <http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

## 出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透, CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用, 从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式, 对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早, 使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计, 而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发, 以保持自己在技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用, 不但可以提高设计质量, 缩短工程周期, 还可以节约大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性, 掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧, 已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的, 只有将计算机技术和工程实际结合起来, 才能真正达到通过现代技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑, 机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、UG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用, 以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作, 配以大量具有代表性的实例, 并融入了作者丰富的实践经验, 使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点, 是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社



## 前 言

近 40 年来,随着计算机技术的飞速发展和广泛应用以及有限元理论的日益完善,出现了许多通用和专业的有限元计算软件,并在各个领域得到了广泛的应用。其中,较为著名的大型有限元软件有 ANSYS、ALGOR、ABAQUS、MSC.NASTRAN 和 MSC.MARC 等。

ANSYS 作为一个大型通用有限元分析软件,能够进行结构、热、流体、电磁以及声学等学科的研究。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,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。它广泛应用于机械制造、汽车交通、国防军工、航空航天、船舶、土木工程、地质矿产、水利、铁道、核工业、石油化工、轻工、电子、家用电器和生物医学等一般工业及科学研究之中。ANSYS 是第一个通过 ISO9001 质量认证的大型有限元分析设计软件,是美国机械工程师协会(ASME)、美国核安全局(NQA)及近 20 种专业技术协会认证的标准分析软件。

本书以最新版本 ANSYS 12.0 为平台,以 ANSYS 分析过程为主线,分 11 章讲解了 ANSYS 的设计思路和使用方法:第 1 章介绍了有限元分析基本概念及该软件的特点;第 2 章介绍了程序的启动与设置;第 3 章介绍了结构静力学分析及应用;第 4 章介绍了结构动力学分析及应用;第 5 章介绍了复合材料分析及应用;第 6 章介绍了隧道工程分析及应用;第 7 章介绍了地震作用分析及应用;第 8 章介绍了结构疲劳分析及应用;第 9 章介绍了 ANSYS 高级技术分析(包括优化设计及其应用、可靠性分析及其应用、拓扑优化及其应用、单元生死及其应用);第 10 章介绍了 ANSYS 参数化设计语言;第 11 章介绍了 LS-DYNA 动力学分析及应用。本书涵盖内容广泛,并力求以有限的篇幅介绍更多的知识。

本书由王金龙编写。在编写过程中,得到了高友森、朱亮的帮助,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

## 目 录

出版说明

前言

第 1 章 有限元分析和 ANSYS 12.0 简介 .....	1
1.1 数值模拟与有限元法概述 .....	1
1.1.1 工程问题的解决 .....	1
1.1.2 数值模拟与有限元法 .....	1
1.1.3 有限元的常用术语 .....	2
1.2 ANSYS 12.0 简介 .....	3
1.2.1 ANSYS 12.0 发展历史 .....	3
1.2.2 ANSYS 在 CAE 领域的地位 .....	4
1.2.3 ANSYS 与其他有限元分析主流软件的简单比较 .....	5
1.2.4 ANSYS 功能模块 .....	5
1.3 ANSYS 12.0 的改进 .....	7
第 2 章 ANSYS 12.0 的启动与设置 .....	8
2.1 配置 ANSYS 的运行环境 .....	8
2.2 选择工作目录和设置工作文件名 .....	8
2.3 设置 ANSYS 工作空间和数据库的大小 .....	8
2.4 运行 ANSYS 12.0 .....	9
2.5 退出 ANSYS 12.0 .....	10
第 3 章 结构静力学分析 .....	11
3.1 结构静力学分析介绍 .....	11
3.2 结构静力学分析的基本步骤 .....	11
3.3 应用实例 .....	15
3.3.1 结构静力学分析应用实例解析——工字梁承载分析 .....	15
3.3.2 结构静力学分析应用实例解析——钢桁架桥的受力分析 .....	20
3.3.3 结构静力学分析应用实例解析——工业厂房牛腿柱的受力分析 .....	38
第 4 章 结构动力学分析 .....	47
4.1 动力学有限元分析原理 .....	47
4.2 振动基本方程 .....	47
4.3 动力学分析类型 .....	49
4.3.1 模态分析 .....	50
4.3.2 瞬态分析 .....	52
4.3.3 谐响应分析 .....	55
4.3.4 谱分析 .....	61
4.4 应用实例 .....	67

4.4.1	结构动力学分析应用实例解析——长方形板的模态分析	67
4.4.2	结构动力学分析应用实例解析——预应力简支梁的模态分析	73
4.4.3	结构动力学分析应用实例解析——钢桁架桥模态分析	81
4.4.4	结构动力学分析应用实例解析——起重机梁在移动载荷作用下的响应分析	89
<b>第5章</b>	<b>复合材料分析</b>	<b>97</b>
5.1	复合材料的概念	97
5.2	建立复合材料模型	97
5.2.1	选择合适的单元类型	97
5.2.2	定义材料的叠层结构	98
5.2.3	定义失效准则	101
5.2.4	应遵循的建模和后处理规则	102
5.3	应用实例	104
5.3.1	复合材料分析应用实例解析——复合材料梁弯曲分析	104
5.3.2	复合材料分析应用实例解析——钢筋混凝土梁弹塑性分析	117
<b>第6章</b>	<b>隧道工程分析</b>	<b>134</b>
6.1	单元生死	134
6.2	Drucker-Prager 材料模型	138
6.3	隧道设计模型	140
6.4	隧道载荷	142
6.5	应用实例	142
6.5.1	隧道工程分析应用实例解析——隧道结构受力分析	142
6.5.2	隧道工程分析应用实例解析——隧道开挖受力分析	162
<b>第7章</b>	<b>地震作用分析</b>	<b>191</b>
7.1	地震作用理论	191
7.1.1	静力理论	191
7.1.2	动力理论	191
7.2	ANSYS 地震分析方法	191
7.3	应用实例	192
7.3.1	地震作用分析应用实例解析——重力坝抗震性能分析	192
7.3.2	地震作用分析应用实例解析——悬索拱桥地震载荷响应分析	209
7.3.3	地震作用分析应用实例解析——楼房地震波瞬态分析	218
<b>第8章</b>	<b>结构疲劳分析</b>	<b>235</b>
8.1	疲劳分析的基本过程	235
8.1.1	疲劳分析简介	235
8.1.2	疲劳计算的基本步骤	235
8.2	应用实例	238
8.2.1	结构疲劳分析应用实例解析——带孔板状构件的疲劳分析	238
8.2.2	结构疲劳分析应用实例解析——平板封头与筒体连接区的疲劳分析	254

<b>第 9 章 ANSYS 高级技术分析</b> .....	265
9.1 优化设计及其应用 .....	265
9.1.1 优化设计的概念 .....	265
9.1.2 优化问题的数学模型 .....	265
9.1.3 优化设计术语 .....	266
9.1.4 选择优化变量 .....	268
9.1.5 优化设计的步骤 .....	270
9.1.6 优化设计应用实例解析——平板网架结构的优化设计 .....	275
9.1.7 优化设计应用实例解析——框架结构的优化设计 .....	289
9.2 可靠性分析及其应用 .....	297
9.2.1 可靠性简介 .....	297
9.2.2 可靠性分析的步骤 .....	299
9.2.3 可靠性分析实例解析——悬臂梁的可靠性分析 .....	299
9.2.4 可靠性分析实例解析——框架结构的可靠性分析 .....	304
9.3 拓扑优化及其应用 .....	321
9.3.1 拓扑优化的概念 .....	321
9.3.2 拓扑优化的步骤 .....	322
9.3.3 拓扑优化分析实例解析——二维弹性梁的拓扑优化分析 .....	325
9.4 单元生死及其应用 .....	328
9.4.1 单元生死的概念 .....	328
9.4.2 单元生死特性的使用 .....	328
9.4.3 单元生死控制 .....	331
9.4.4 单元生死应用实例解析——两端固定梁三阶段施工过程分析 .....	332
9.4.5 单元生死应用实例解析——焊接过程中的应用 .....	342
<b>第 10 章 ANSYS 参数化设计语言</b> .....	362
10.1 APDL 介绍 .....	362
10.2 APDL 的主要概念 .....	362
10.3 应用实例 .....	366
10.3.1 ANSYS 参数化设计实例解析——平面二力杆网架的受力分析 .....	366
10.3.2 ANSYS 参数化设计实例解析——简支梁的受力分析 .....	368
<b>第 11 章 LS-DYNA 动力学分析</b> .....	372
11.1 LS-DYNA .....	372
11.2 LS-DYNA 功能特点 .....	373
11.3 LS-DYNA 的一般分析过程 .....	381
11.4 K 文件的生成与修改 .....	382
11.5 应用实例 .....	383
11.5.1 LS-DYNA 动力学分析实例解析——炸药在土壤内部爆炸分析 .....	383
11.5.2 LS-DYNA 动力学分析实例解析——烟囱爆破倒塌分析 .....	400
<b>参考文献</b> .....	413

# 第1章 有限元分析和 ANSYS 12.0 简介



## 1.1 数值模拟与有限元法概述

### 1.1.1 工程问题的解决

工程问题一般是涉及力学问题或场问题的物理情况的数学模型。数学模型是研究带有相关边界条件和初值条件的微分方程组。微分方程组是通过对系统或控制体应用自然的基本定律和原理推导出来的，这些控制微分方程往往代表了质量、力或能量的平衡。在某些情况下，由给定的条件可以得到系统的精确行为，但实际过程中实现的可能性往往较小。

因此，工程问题的解决过程就是对实际问题进行数学模型的抽象、建立和求解的过程。建立的数学模型既要能代表实际系统，又要可解，得到的结果应达到一定的精度，以满足工程问题的需要。

### 1.1.2 数值模拟与有限元法

在许多实际工程问题中，由于问题的复杂性和影响因素众多等不确定性因素，虽然能够得到它们的基本方程和边界条件，但是能够用解析法去求解的只是少数性质比较简单和边界比较规则的问题。大多数情况是难以得到分析系统的精确解，即解析解。因此，解决这类问题的基本思路是：在满足工程需要的前提下，采用数值模拟的方法来得到近似解，即数值解。简单地说，解析解表明了系统在任何点上的精确行为，而数值解只在称为节点的离散点上近似于解析解。

数值模拟技术是人们在现代数学、力学理论的基础上，借助于计算机技术来获得满足工程要求的数值近似解。计算机辅助工程（Computer Aided Engineering, CAE）是现代工程仿真学发展的重要推动力之一。目前，在工程领域常用的数值模拟方法包括：有限元法（Finite Element Method, FEM）、有限差分法（Finite Difference Method, FDM）、边界元法（Boundary Element Method, BEM）和离散单元法（Discrete Element Method, DEM）等，其中有限元法是最具实用性和应用最广泛的。

FEM 的基础是变分原理和加权余量法，在 CAE 中运用最广。有限元法的基本思想是：将物体（即连续的求解域）离散成有限个简单单元的组合，用这些单元的集合来模拟或逼近原来的物体，从而将一个连续的无限自由度问题简化为离散的有限自由度问题。物体被离散后，通过对其中各个单元进行单元分析，最终得到对整个物体的分析结构。随着单元数目的增加，解的近似程度将不断增大和逼近真实情况。有限元法最早应用于结构力学，后来随着计算机的发展逐渐用于弹性力学平面问题和空间问题、薄板、薄壳、厚板、厚壳、弹性稳定、塑性力学、大位移、断裂、动力反应、岩土力学、混凝土与钢筋混凝土、流体力学、热



传导、工程反分析、仿真计算、网格自动生成、误差估计及自适应技术。

### 1.1.3 有限元的常用术语

#### 1. 节点

节点就是用以确定单元形状、表述单元特征及连接相邻单元的点，它是有限元模型中的最小构成元素，在将实际连续体离散成单元群的过程中起到连接单元和实现数据传递的桥梁作用，而 ANSYS 程序正是通过节点信息来组成刚度矩阵进行计算的。节点可分为铰接、固接或其他形式的连接。节点一般分为主外节点、副主外节点和内节点 3 类。有了节点才可以将实际连续体看成是仅在节点处互相连接的有限单元群组成的离散型结构，从而使研究的对象转化成可以使用计算机进行数值分析的数学模型。

#### 2. 单元

对于任何连续体，都可以将其想象成由有限个简单形状的单元体组成，并可利用网格生成技术将其离散成若干个小区域，这种在结构的网格划分中的每一个小块体区域称为一个单元。任意相邻单元之间通过一定数目的节点连接而成，多个单元可以共用 1 个节点。常见的单元类型有线段单元、三角形单元、四边形单元、四面体单元和六面体单元。由于单元是组成有限元模型的基础，因此，单元类型的选取对于有限元分析结果的精确度至关重要。

常用单元可分为自然单元和分割单元。一些工程构件（如桁架结构等）的连杆在分析时无需再加分割，叫做自然单元。自然构件能否看做自然单元取决于所研究的范围和构件本身的力学性质。工程上常用的是分割单元，即在实际计算过程中根据研究对象的特点，对整体结构或连续体进行分割得到的许多小单元，如杆（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）单元等的组合。理论上，单元的分割是任意的。不过，在实际计算中必须根据研究对象的特点，使单元分割既能满足力学分析要求，又能使计算简化。

不同单元类型有不同的节点数目。例如，线段单元只有 2 个节点，三角形单元有 3 个或 6 个节点，四边形单元至少有 4 个节点。同一种单元类型根据节点个数的不同又分成不同的种类，例如，壳单元包括 Shell63 和 Shell93 在内的许多不同的种类，前者一个单元有 4 个节点，后者一个单元有 8 个节点。

#### 3. 节点力和节点载荷

相邻单元之间的相互作用是通过节点来实现的，这种通过节点的相互作用力就是节点力，也称为节点内力。工程结构所受到的外在施加的力或力矩称为载荷，包括集中载荷和分布载荷、力矩等。作用在节点上的外载荷称为节点载荷。节点载荷分两部分：一是原来作用在节点上的外力；二是按静力等效原则将作用在单元上的分布力移置到节点上的节点载荷。将单元上的实际载荷向节点移置的目的就是简化各单元上的受力情况，以便建立单元和系统的平衡方程，也就是建立节点位移和节点载荷之间的关系式。在不同的科学领域中，载荷的含义也不尽相同。在通常的结构分析过程中，载荷为力、位移等；在电磁场分析中，载荷是指结构所受的电场和磁场作用；在温度场分析中，所受的载荷则是指温度本身。

#### 4. 边界条件和初始条件

边界条件是指结构边界上所受到的外加约束。在有限元分析中，能够确定反应结构在真实应力状态的边界条件是至关重要的。错误的边界条件常使有限元中的刚度矩阵发生奇异，

程序无法正常运行，施加正确的边界条件是获得正确分析结果和较高分析精度的关键。

初始条件就是结构响应前所施加的初始速度、初始温度及预应力等。

### 5. 位移函数

连续体被离散后，需要用一些近似函数来描述单元物理量，如位移、应变的变化情况等。用以表征单元内的位移或位移场的近似函数称为位移函数。如何选择位移函数直接关系到其对应单元的计算精度和能力。通常都是选取多项式作为位移函数，原因是多项式的数学运算（如微分、积分等）比较容易，而且在一个单元内适当选取多项式可以得到与真实解较为接近的近似解。选取位移函数有广义坐标法和插值函数法两种。对于位移函数，要满足如下要求：

- 1) 位移函数在单元内部必须是连续的。
- 2) 两相邻单元在交界处的位移是连续的。

### 6. 收敛准则

对于一种数值方法，总是希望随着网格的逐步细分，得到的解答收敛于问题的精确解。为了保证解答的收敛性，要求位移模式必须满足以下3个条件：

- 1) 位移函数必须包含单元的刚体位移。当节点位移由某个刚体位移所引起时，弹性体内必须无应变，因而节点力为零。
- 2) 位移函数必须能包含单元的常应变。
- 3) 位移函数要在单元内连续，在相邻单元间的公共边界上能协调。后者指两相邻单元在变形时既不重叠，也不分离。

在有限元法中，满足前面两个条件的单元称为完备条件，满足最后一个条件的单元称为协调条件。

## 1.2 ANSYS 12.0 简介

### 1.2.1 ANSYS 12.0 发展历史

ANSYS (Analysis System) 公司是由美国著名力学专家、美国匹兹堡大学力学系教授 John Swanson 博士于 1970 年创建发展起来的，其总部设在美国宾夕法尼亚州的匹兹堡，是目前世界 CAE 行业最大的公司之一。40 多年来，ANSYS 公司致力于有限元软件的开发、维护及售后服务，不断汲取当今世界最新的计算方法和计算机技术，引领着世界有限元技术的发展趋势，为全球业界所推崇。如今，ANSYS 拥有全球最大的用户群，其用户遍布全世界的众多科研院所、高校和专业研究单位。

ANSYS 公司自建立伊始，推出了支持教学和研究的院校版本，与代表世界计算技术最高水平的院校及专业研究单位紧密结合，促使 ANSYS 比任何其他 CAE 软件更快地吸取最先进的计算方法和研究成果，进而造就了不断推陈出新、技术日新月异的有限元分析软件。

ANSYS 软件是融结构 (Structural)、热 (Thermal)、流体 (Fluid)、电磁 (Magnetic)、声学 (Acoustic) 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 万行。ANSYS 不仅支持用户直接创建模型，也支持与其他 CAD 软件进行图形传递，其支持的图形传递标准有 SAT、Parasolid 和 STEP。相应地，也可与多数 CAD 软件 (如 UG、ALGOR、

Pro/ENGINEER、SolidWorks、SolidEdge、CATIA、I-DEAS、NASTRAN、Inventor、CADDs 等) 接口, 实现数据的共享和交换, 是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。

在过去的 40 多年里, ANSYS 是最主要的有限元程序。现在, ANSYS 广泛用于航空航天、核工业、国防军工、船舶、石油化工、汽车交通、生物医学、地质矿产、水利桥梁、铁道机车、动力机械和电子电器等工业及科研领域。ANSYS 提供了一个不断改进的功能清单, 包括结构(高度非线性)分析、电磁分析、计算流体力学分析、优化设计、接触分析、自适应网格划分、参数化设计语言和扩展宏命令等功能。

ANSYS 12.0 与最初版本相比, 在操作界面和分析功能上都有很大的改进。起初, ANSYS 仅提供了热分析及线性分析的功能, 是一个批处理程序, 只能在大型计算机上使用。20 世纪 70 年代, ANSYS 公司为了进一步满足广大用户的需求, 融入了非线性、子结构以及更多的单元类型, 这使得 ANSYS 软件在功能上大大加强。到 20 世纪 70 年代末, 图形技术和交互操作方式的应用使得 ANSYS 软件的模型生成和结果评价得到大大简化。当前的 ANSYS 版本带有图形用户界面(GUI)窗口、下拉菜单、对话框和工具栏等, 与过去相比已经焕然一新。在进行分析之前, 可以利用交互式图形(前处理)来验证模型的生成过程、边界条件和材料属性等。分析求解结束, 计算结果的图形显示(后处理)立即可用于检验分析过程的合理性。

如今, ANSYS 趋于完善, 功能日益强大, 使用更加方便快捷。其主要特点如下:

- 1) 实现多场及多场耦合分析。
- 2) 实现前后处理、求解及多场分析统一数据库的一体化。
- 3) 具有多物理场优化功能。
- 4) 具有强大的非线性分析功能。
- 5) 多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置。
- 6) 支持异种、异构平台的网络浮动, 在异种、异构平台上用户界面统一、数据文件全部兼容。
- 7) 强大的并行计算功能支持分布式并行及共享内存式并行。
- 8) 支持多种自动网格划分技术。
- 9) 具有良好的用户开发环境。

## 1.2.2 ANSYS 在 CAE 领域的地位

- 迄今为止, ANSYS 是世界范围内唯一通过 ISO 9001 质量认证的分析设计软件。
- ANSYS 是美国机械工程师协会(ASME)、美国核安全局(NQA)及近 20 种专业技术协会认证的标准分析软件。
- ANSYS 是第一个通过中国压力容器标准化技术委员会认证的分析软件。
- ANSYS 公司开发了第一个 PC 上的结构分析程序。
- 开发了第一个集成的计算流体动力学功能。
- 在 FEA 界唯一获得美国“R&D 明星”殊荣。
- 在 FEA 界唯一获得美国“技术先导公司”的称号。

目前, 全球有 70%以上的高校及研究单位采用 ANSYS 作为分析软件。ANSYS 已经成为世界范围内增长最快的 CAE 软件, 拥有广大的中国用户群。

### 1.2.3 ANSYS 与其他有限元分析主流软件的简单比较

有限元软件发展很快，我国已引进的主要软件有 ANSYS、ABAQUS、SAP、ADINA、ASKA、MARC、NONSAP、SC/NASTRAN 等。常用的有限元软件及其功能见表 1-1。

表 1-1 常用的有限元软件及其功能

软件名称	ANSYS	ADINA	SAP	MARC	NONSAP	ASKA
软件功能						
非线性结构分析	√	√	√	√	√	√
塑性分析	√	√	√	√	√	√
断裂力学分析	√	√	√	√		√
热应力和蠕变	√	√	√	√		√
管道系统	√			√		
焊接接头				√		
粘弹性材料分析	√	√	√	√		√
结构优化分析	√					
热分析	√	√	√	√	√	
复合材料分析	√	√		√		√
流体动力学分析	√	√				√

### 1.2.4 ANSYS 功能模块

ANSYS 按功能作用可分为一个前处理模块、一个分析计算模块、两个后处理模块和几个辅助处理模块等。前处理模块用于生成有限元模型；分析计算模块用于施加载荷及边界条件，完成求解计算；后处理模块用于获得求解结果，以便对模型作出评估。

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。

ANSYS 的前处理模块主要有实体建模和网格划分两部分。

#### 1. 实体建模

ANSYS 提供了自顶向下与自底向上两种实体建模方法。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，如二维的圆和矩形以及三维的块、球、锥和柱。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，然后依次定义相关的线、面、体。

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、粘结和重叠。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、用于网格划分的硬点的建立、移动、复制和删除。

## 2. 网格划分

ANSYS 提供了使用便捷、高质量的对 CAD 模型进行网格划分的功能,包括延伸划分、映像划分、自由划分和自适应划分 4 种网格划分方法。其中,延伸划分可将一个二维网格延伸成一个三维网格。映像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;自由划分功能十分强大,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。

分析计算模块,即求解器,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(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。

ANSYS 提供了以下几种分析类型:

### (1) 结构静力分析

结构静力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,而且也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。与结构静力分析不同,结构动力学分析要考虑随时间变化的力载荷以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变化。ANSYS 可求解静态和瞬态非线性问题,包括材料非线性、几何非线性和状态非线性 3 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

ANSYS 程序可处理热传递的传导、对流和辐射 3 种基本类型。热传递的 3 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化过程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和对流换热效应。

### (8) 声场分析

ANSYS 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传声器的频率响应，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、传声器等部件及其他电子设备的结构动态性能分析，可进行静态分析、模态分析、谐波响应分析和瞬态响应分析 4 种类型的分析。

## 1.3 ANSYS 12.0 的改进

ANSYS 新版本在 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 12.0 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：

- 继续改进最好的 CAE 集成环境——ANSYS Workbench。
- 整合了 ANSYS 的网格技术，并产生统一的网格环境。
- 提供了针对复杂仿真的多物理场耦合解决方法。
- 在结构应用中的驱动工程设计过程功能得到了很大的改进。
- 继续融合先进的计算流体动力学技术。
- 在仿真过程及数据管理方面有了新的进步。

## 第2章 ANSYS 12.0 的启动与设置

在成功安装 ANSYS 12.0 后,可运行该程序。启动 ANSYS 12.0 的方法为:选择“开始→程序→ANSYS 12.0→Mechanical APDL Product Launcher”命令,出现如图 2-1 所示的“ANSYS Mechanical APDL Product Launcher”窗口。

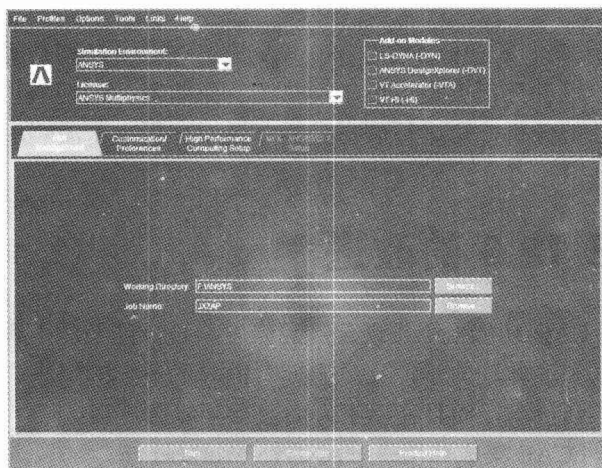


图 2-1 “ANSYS Mechanical APDL Product Launcher”窗口

### 2.1 配置 ANSYS 的运行环境

用户可根据使用要求在 Simulation Environment 下拉列表框中选择模拟环境,一般选择 ANSYS;在 License 下拉列表框中选择 ANSYS 产品,一般选择 ANSYS Multiphysics。

### 2.2 选择工作目录和设置工作文件名

在图 2-1 中,选中 File Management 选项卡,在 Working Directory 文本框中输入工作目录,也可通过单击“Browse”按钮进行选择,一旦此目录选定,ANSYS 所有生成文件都将自动写在此目录下;在 Job Name 文本框中输入工作文件名,也可通过单击“Browse”按钮选择文件名,ANSYS 默认工作文件名为“file”。

### 2.3 设置 ANSYS 工作空间和数据库的大小

在图 2-1 中,选中 Customization/Preferences 选项卡,在 Memory 选项中设置 ANSYS 工

作空间和数据库的大小。在 Graphics Device Name 选项中设置图形设备驱动, ANSYS 程序提供了 3 种不同的图形设备驱动, 分别为 Win32、Win32c 和 3D 选项。Win32 选项适用于大多数的图形显示, 在后处理过程中可以提供 9 种颜色的等值线; Win32c 选项能提供 128 种颜色的区别; 3D 选项对三维图形的显示具有良好的效果, 如果计算机配置了 3D 卡, 则应选择 3D 选项。

## 2.4 运行 ANSYS 12.0

当以上各种参数设置完毕之后, 就可以单击“Run”按钮运行 ANSYS。运行后, ANSYS 图形用户界面如图 2-2 所示。

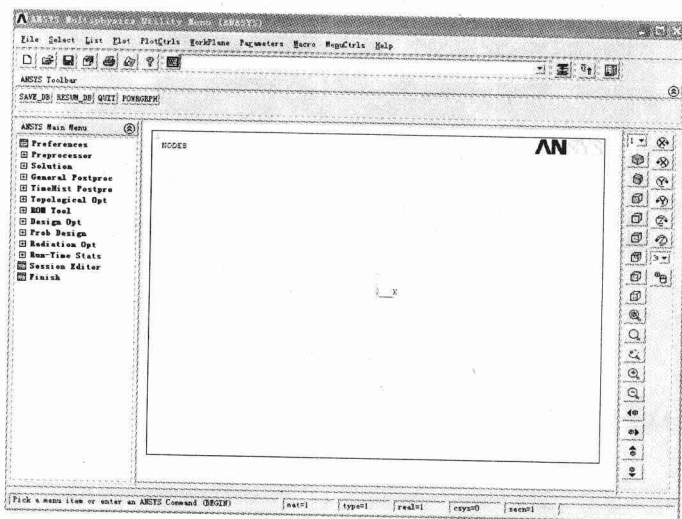


图 2-2 ANSYS 图形用户界面

### (1) 应用菜单

应用菜单包含文件管理、选择、列表显示、显示控制、参数设置、宏设置以及帮助查询等功能。该菜单为下拉式结构, 可直接完成某一功能或弹出对话框。

### (2) 主菜单

主菜单包括前处理、求解、后处理、优化设计等 ANSYS 的主要功能。

### (3) 输入窗口

输入窗口为 ANSYS 命令的输入区域, 可以显示程序的提示信息 and 浏览已经输入的命令, 所有输入的命令将在此窗口显示。

### (4) 工具栏

工具栏包含存储、读取数据文件和关闭 ANSYS 等功能。

### (5) 图形窗口

图形窗口显示由 ANSYS 创建或传递到 ANSYS 的模型及分析结果等图形。

### (6) 快捷菜单

快捷菜单包含窗口选择、视图显示选择、图形放大、缩小、旋转、平移等常用功能, 为