

基于ANSYS的最新版本14.0，对ANSYS应用分析的基本思路、操作步骤以及方法、行业应用技巧进行了详细讲解；集基础理论讲解、软件操作技巧、典型工程案例于一身，让你轻松跨入ANSYS的世界

ANSYS 14.0

有限元分析权威指南

Authoritative Guide on Finite Element Analysis with ANSYS 14.0

温正 张文电 等编著

- ◎ 有限元分析的基本流程、ANSYS建模、单元的划分与材料的定义
- ◎ ANSYS加载与求解、后处理、参数化设计语言APDL
- ◎ ANSYS结构静力学分析、结构动力学分析、显式动态分析、非线性分析
- ◎ ANSYS超单元技术、参数化设计语言、热分析、电磁分析、屈曲分析
- ◎ 生死单元技术用于隧道施工过程仿真的方法及复杂工程分析的典型应用



DVD-ROM

计算结果
实例db文件
APDL的程序文件



机械工业出版社
China Machine Press

ANSYS 14.0

有限元分析权威指南

Authoritative Guide on Finite Element Analysis with ANSYS 14.0

温正 张文电 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 14.0 有限元分析权威指南 / 温正等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013.6

ISBN 978-7-111-42499-4

I. A… II. 温… III. 有限元分析—应用软件 IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 103429 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书以有限单元法为基础,结合作者多年的工程应用经验,通过丰富的工程案例,将 ANSYS 14.0 在有限元分析工程领域中的应用详细介绍给读者。

全书包括基础与案例应用两部分,共 16 章,其中基础部分包括有限单元法与 ANSYS 的简介、有限单元法与 ANSYS 有限元分析的基本流程、ANSYS 模型的建立、ANSYS 的单元类型与材料加载、ANSYS 的加载与求解、ANSYS 后处理及参数化设计等内容;案例应用部分包括结构静力学分析、结构动力学分析、显式动态分析、热分析、电磁分析及非线性分析等,并介绍了一些高级应用技术,如超单元技术、生死单元技术等。本书遵循深入浅出的原则,通过详细的图形用户界面和命令流方式对不同的工程应用问题进行了详细的讲解,并在讲解过程中穿插介绍了大量分析方法和使用技巧。本书光盘配有书中实例的有限元模型、APDL 代码以及计算结果等,方便读者查阅和参考。

本书内容翔实,适合理工院校计算机相关专业的硕士研究生、博士研究生及教师参考使用,也可以作为高等院校学生及科研院所研究人员学习 ANSYS 的教材,还可以作为从事热分析领域科学技术研究的工程技术人员的参考用书。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李 荣

藁城市京瑞印刷有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

186mm×240mm·36.75 印张

标准书号:ISBN 978-7-111-42499-4

ISBN 978-7-89433-962-1 (光盘)

定 价:79.00 元 (附光盘)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

客服热线:(010) 88378991 88361066

购书热线:(010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线:(010) 88379604

读者信箱:hzjsj@hzbook.com

前言

为什么要写本书

有限单元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法。它是 20 世纪 50 年代首先在连续体力学领域——飞机结构静、动态特性分析中应用的一种有效的数值分析方法，随后广泛应用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题分析。

ANSYS 软件是集结构、流体、电场、磁场及声场分析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 软件对接，实现数据的共享和交换，如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor 及 AutoCAD 等，是现代产品设计中的高级 CAE 工具之一，广泛应用于土木工程、机械制造、汽车工业、水利工程、航空航天、石油化工及生物医学等诸多行业。

本书基于 ANSYS 14.0 平台，对有限元分析的基本原理以及使用 ANSYS 进行工程应用的基本方法与思路、操作步骤与技巧进行详细讲解，并结合工程实例进行工程应用的相关介绍。

本书特点

- 由浅入深，循序渐进：本书以初、中级读者为对象，首先从 ANSYS 使用基础讲起，再辅以 ANSYS 在工程中的应用案例，帮助读者尽快掌握 AYSYS 进行有限元分析的技能。
- 步骤详尽，内容新颖：本书结合作者多年的 ANSYS 有限元使用经验与实际工程应用案例，为读者详细讲解 ANSYS 软件的使用方法与技巧，讲解过程辅以相应的图片，使读者在阅读时一目了然，从而快速把握书中所讲内容。
- 实例典型，轻松易学：学习实际工程应用案例的具体操作是掌握 ANSYS 最好的方式。本书通过综合应用案例，透彻、详尽地讲解了 ANSYS 在各方面的应用。

本书内容

全书内容共分 16 章，各章内容安排如下。

第1章 有限单元法基础理论。本章主要讲解有限单元法的历史与发展,介绍有限单元法的基础知识及相关概念,并辅以最基础的实例为读者介绍使用 ANSYS 进行有限元分析的基本流程。

第2章 模型的建立。本章主要讲解 ANSYS 中有限元模型的建立方法,介绍建立实体模型、有限元模型以及导入外部模型的相关知识。

第3章 单元与材料。本章主要讲解单元的划分与材料的定义,介绍单元类型、材料属性、实常数与截面类型等与物理属性相关的知识。

第4章 加载与求解。本章主要讲解 ANSYS 中边界条件与求解的相关知识,介绍载荷与约束的类型及施加方法,并介绍求解的相关知识。

第5章 ANSYS 后处理。本章主要讲解通用后处理器的操作,包括结果读取、图形显示、结果列表、结果查看、基于单元表的结果处理以及基于路径的结果处理等,还介绍了时间历程后处理器定义变量、变量运算、查看变量等相关操作。

第6章 ANSYS 参数化设计语言。本章主要讲解 APDL 语言的基础知识,介绍 APDL 的参数、流程控制、常用命令、宏及函数等相关知识。

第7章 ANSYS 结构静力学分析。本章结合实例讲解 ANSYS 结构静力学分析的建模、加载、求解、后处理等知识,介绍带轮、气罐、扳手、桁架等的静力学分析方法。

第8章 ANSYS 结构动力学分析。本章主要讲解 ANSYS 结构动力学分析的基础知识,并结合实例介绍 ANSYS 模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析和谱分析的相关知识。

第9章 ANSYS 显式动态分析。本章主要介绍 LS-DYNA 显式动态分析的基础知识及 LS-DYNA 显式动态分析的建模、加载、求解及后处理过程,并介绍其与常规隐式分析的不同。

第10章 ANSYS 超单元。本章主要讲解 ANSYS 超单元技术的概念、应用场合,并结合实例讲解超单元技术的应用方法。

第11章 ANSYS 热分析。本章主要讲解 ANSYS 热分析的基础知识与分析方法,结合实例为读者介绍稳态传热分析与热结构耦合分析的方法。

第12章 ANSYS 电磁分析。本章主要讲解 ANSYS 电磁分析的基础知识与分析方法,结合实例为读者讲解利用棱边单元法进行磁场分析以及利用 P 方法进行静电场分析的方法与技巧。

第13章 ANSYS 非线性分析。本章主要讲解非线性分析的特点、求解原理,对非线性分析的主要操作步骤以及相关设置进行详细介绍,结合实例介绍几何与材料非线性综合问题及接触分析的方法。

第14章 ANSYS 屈曲分析。本章主要为读者讲解屈曲分析这一典型的非线性问题,结合实例介绍特征值屈曲分析与非线性屈曲分析的基础知识与分析方法。

第15章 ANSYS 生死单元技术。本章主要讲解生死单元这一重要的分析技术,结合实例讲解生死单元技术用于隧道施工过程仿真的方法。

第16章 ANSYS 有限元分析综合实例。本章主要依托综合实例,为读者讲解综合运用本书中所介绍的 ANSYS 分析方法与技术进行复杂工程分析的实际应用。

本书配送光盘，包括所有实例的 db 文件、计算结果、APDL 的程序文件，供读者在学习过程中直接导入使用，可以减少建立几何模型的烦琐操作，帮助读者轻松、快捷地掌握 ANSYS 14.0 有限元分析的操作技巧和应用方法。

本书中的“注意”为本步骤的注意要点，若不注意可能造成操作不成功。另外，本书中重点步骤操作的目的会在前面注明，方便读者理解处理此问题的思想脉络。

读者对象

本书适合于 ANSYS 初学者和期望提高有限元分析工程应用能力的读者，具体如下：

- 有限元从业人员。
- 大中专院校的教师和在校学生。
- 参加工作实习的“菜鸟”。
- 从事毕业设计的在校学生。
- 初学 ANSYS 的技术人员。
- 相关培训机构的教师和学员。
- 有限元爱好者。
- 初中级有限元从业人员。

读者服务

为了方便解决本书疑难问题，读者朋友如果在学习过程中遇到与本书有关的技术问题，可以发邮件到邮箱 caxbook@126.com，或访问博客 <http://blog.sina.com/cn/caxbook>，编者会尽快给予解答，我们将竭诚为你服务。

本书作者

本书主要由温正、张文电编著，另外王志刚、程伟、王磊、张巧玲、苏杰、王胜利、徐海锋、赵倩倩、许海涛、王洋、刘蕊、李巍、张卫东、张磊、李波、白海波、杨晓华、李昕等为本书的编写提供了大量帮助。虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中欠妥之处在所难免，恳请读者朋友及各位同行进行批评指正，共同促进本书质量的提高。

感谢购买本书，希望本书能成为你 ANSYS 有限元分析道路上的启蒙者。

编 者

目 录

前言

第 1 章 有限单元法基础理论	1
1.1 有限单元法概述	1
1.1.1 有限单元法的历史	1
1.1.2 有限单元法的基本概念	2
1.2 ANSYS 14.0 简介	3
1.2.1 ANSYS 14.0 的启动与退出	3
1.2.2 ANSYS 14.0 操作界面	4
1.2.3 ANSYS 14.0 文件管理	6
1.2.4 ANSYS 14.0 有限元分析流程	10
1.2.5 ANSYS 有限元分析实例入门	10
1.3 本章小结	15
第 2 章 模型的建立	17
2.1 几何建模	17
2.1.1 几何建模的概念	17
2.1.2 模型规划	18
2.1.3 自底向上建模	19
2.1.4 自顶向下建模	22
2.1.5 外部数据导入	26
2.2 有限元模型	31
2.2.1 生成节点	31
2.2.2 定义单元	32
2.3 建模技术进阶	36
2.3.1 量纲问题	36
2.3.2 坐标系问题	38

2.4 复杂几何模型实例	44
2.4.1 模型简介	44
2.4.2 建模过程	44
2.5 本章小结	51
第3章 单元与材料	52
3.1 单元类型	52
3.1.1 结构单元	52
3.1.2 热单元	89
3.1.3 电磁单元	90
3.1.4 耦合场单元	93
3.1.5 流体单元	94
3.2 网格的划分	95
3.2.1 单元类型的选择	95
3.2.2 网格划分操作	96
3.2.3 单元尺寸控制	98
3.3 材料模型	101
3.3.1 定义材料	101
3.3.2 常用材料模型	102
3.4 实常数与截面类型	103
3.4.1 实常数	103
3.4.2 截面类型	105
3.5 网格的修改	106
3.5.1 清除网格	106
3.5.2 网格的局部细化	107
3.5.3 层状网格划分	109
3.6 划分网格的高级技术	109
3.6.1 映射网格	109
3.6.2 扫掠网格	113
3.6.3 拉伸网格	115
3.7 本章小结	116
第4章 加载与求解	117
4.1 加载的基础知识	117
4.1.1 载荷的种类	117
4.1.2 载荷步	118
4.1.3 加载方式	119

4.1.4 实体模型加载的特点	119
4.1.5 有限元模型加载的特点	120
4.2 施加载荷	120
4.2.1 自由度约束	120
4.2.2 集中载荷	121
4.2.3 面载荷	122
4.2.4 体载荷	125
4.2.5 惯性载荷	128
4.2.6 耦合场载荷	128
4.2.7 轴对称载荷与反作用力	128
4.2.8 初应力载荷	129
4.2.9 由表型数组定义载荷	129
4.3 耦合与约束方程	132
4.3.1 耦合	132
4.3.2 约束方程	135
4.4 载荷施加实例	137
4.5 求解	139
4.5.1 求解器	139
4.5.2 关于分析失败	141
4.5.3 求解的一般步骤	142
4.6 本章小结	144
第 5 章 ANSYS 后处理	146
5.1 通用后处理器	146
5.1.1 结果文件	146
5.1.2 读取结果	146
5.1.3 结果输出	148
5.1.4 结果处理	162
5.1.5 结果查看器	164
5.1.6 载荷工况	165
5.1.7 将结果转换到不同的坐标系	167
5.2 时间历程后处理器	168
5.2.1 时间历程变量浏览器	168
5.2.2 定义变量	170
5.2.3 显示变量	171
5.3 本章小结	172

第 6 章 ANSYS 参数化设计语言	174
6.1 APDL 语言的参数	174
6.1.1 参数的概念与类型	174
6.1.2 参数命名规则	175
6.1.3 参数的定义与赋值操作	175
6.1.4 参数的删除操作	175
6.1.5 数组参数	176
6.2 APDL 语言的流程控制	177
6.2.1 *GO 分支语句	177
6.2.2 *IF 分支语句	177
6.2.3 *DO 循环语句	178
6.2.4 *DOWHILE 循环语句	178
6.2.5 *REPEAT 循环语句	179
6.3 宏文件	179
6.3.1 创建宏文件	179
6.3.2 调用宏文件	181
6.4 运算符、函数与函数编辑器	181
6.5 APDL 分析方式介绍	183
6.5.1 基本应用与建模	183
6.5.2 网格划分	184
6.5.3 加载与求解	186
6.5.4 *GET 命令	187
6.6 本章小结	194
第 7 章 ANSYS 结构静力学分析	195
7.1 ANSYS 静力学分析基础知识	195
7.1.1 静力学分析的基本概念	195
7.1.2 结构静力学分析的方法	196
7.2 ANSYS 结构静力学分析实例	198
7.2.1 带轮结构静力学分析	198
7.2.2 内六角扳手静力学分析	209
7.2.3 高压气罐静力学分析	221
7.2.4 桁架结构静力学分析	239
7.3 本章小结	250
第 8 章 ANSYS 结构动力学分析	251
8.1 结构动力学基础知识	251

8.1.1 关于载荷	251
8.1.2 结构动力学问题的分类	252
8.2 ANSYS 模态分析	253
8.2.1 模态提取方法	254
8.2.2 网架结构的模态分析	255
8.3 ANSYS 谐响应分析	266
8.3.1 谐响应分析的方法	267
8.3.2 吉他发声过程仿真分析	268
8.4 ANSYS 瞬态动力学分析	284
8.4.1 瞬态动力学问题求解方法	285
8.4.2 曲柄滑块机构运动学分析	285
8.5 ANSYS 谱分析	295
8.5.1 谱分析简介	295
8.5.2 结构抗震分析	296
8.6 本章小结	320
第 9 章 ANSYS 显式动态分析	321
9.1 ANSYS 显式动态分析简介	321
9.1.1 显式动态分析的流程	322
9.1.2 显式动态单元	323
9.1.3 显式动态分析建模	327
9.1.4 显式动态分析的边界条件	332
9.1.5 显式动态分析求解	339
9.1.6 显式动态接触分析	342
9.1.7 显式动态分析的材料模型	349
9.1.8 显式动态分析中的刚性体	360
9.1.9 显式动态分析后处理	363
9.1.10 跌落测试模块	367
9.2 ANSYS 显式动态分析实例	370
9.2.1 问题背景	370
9.2.2 分析过程	370
9.3 本章小结	378
第 10 章 ANSYS 超单元	380
10.1 ANSYS 超单元技术简介	380
10.1.1 ANSYS 超单元技术的应用场合	380
10.1.2 ANSYS 超单元分析步骤	380

10.2 空腹工字梁结构分析	386
10.2.1 问题描述	387
10.2.2 分析求解	387
10.3 本章小结	407
第 11 章 ANSYS 热分析	409
11.1 热力学基础知识	409
11.1.1 符号与单位	409
11.1.2 传热学经典理论回顾	410
11.1.3 热传递的方式	410
11.1.4 热分析的线性与非线性	411
11.1.5 热分析的边界条件和初始条件	411
11.1.6 热分析误差估计	412
11.2 ANSYS 热分析应用实例	412
11.2.1 ANSYS 热分析实例	412
11.2.2 ANSYS 热-结构耦合分析实例	429
11.3 本章小结	439
第 12 章 ANSYS 电磁分析	440
12.1 电磁学基础知识	440
12.1.1 磁场分析	440
12.1.2 电场分析	442
12.2 ANSYS 电磁分析应用实例	442
12.2.1 ANSYS 磁场分析实例	443
12.2.2 ANSYS 静电场分析实例	451
12.3 本章小结	461
第 13 章 ANSYS 非线性分析	462
13.1 概述	462
13.1.1 非线性分析基础知识	463
13.1.2 非线性问题的分类	463
13.1.3 非线性分析的收敛问题	464
13.2 非线性分析实例	465
13.2.1 几何与材料非线性综合问题	465
13.2.2 接触问题实例	474
13.3 本章小结	490

第 14 章 ANSYS 屈曲分析	491
14.1 屈曲分析基础知识	491
14.1.1 几何非线性	491
14.1.2 材料屈曲	493
14.2 屈曲分析实例	495
14.2.1 特征值屈曲分析实例	496
14.2.2 非线性屈曲分析实例	501
14.3 本章小结	513
第 15 章 ANSYS 生死单元技术	514
15.1 概述	514
15.1.1 生死单元的概念	514
15.1.2 生死单元技术应用步骤	515
15.2 隧道施工过程中分析	516
15.2.1 实例背景	517
15.2.2 分析过程	517
15.3 本章小结	527
第 16 章 ANSYS 有限元分析综合实例	528
16.1 门式起重机	528
16.1.1 实例背景	528
16.1.2 分析过程	529
16.2 金属焊接件分析	558
16.2.1 实例背景	558
16.2.2 分析过程	561
16.3 本章小结	572
参考文献	573

第 1 章 有限单元法基础理论

有限单元法 (Finite Element Analysis, FEA) 的基本理念是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它将求解域看成由许多称为有限元的小的互连子域组成, 对每一单元假定一个合适的 (较简单的) 近似解, 然后推导求解这个域总的满足条件 (如结构的平衡条件), 从而得到问题的解。这个解不是准确解, 而是近似解, 因为实际问题被较简单的问题所代替。由于大多数实际问题难以得到准确解, 而有限元不仅计算精度高, 而且能适应各种复杂形状, 因而成为行之有效的工程分析手段。

学习目标

- 了解有限单元法的历史
- 了解有限单元法的分析思想
- 初步了解 ANSYS 14.0
- 学习一个入门示例, 体会有限元分析方法的基本思路

1.1 有限单元法概述

有限单元法在工程实践中表现出良好的计算精度与适应能力。有限单元法适用于各种复杂、难于求得解析解的场合, 在大型工程的分析计算中应用广泛。

本节将为读者介绍有限单元法的历史与发展以及有限单元法的基础知识与相关概念, 使读者在今后的学习过程中能更为深入地理解这一工程上的重要分析方法。

1.1.1 有限单元法的历史

随着现代科学技术的发展, 人们正在不断建造更为快速的交通工具、更大规模的建筑物、更大跨度的桥梁、更大功率的发电机组和更为精密的机械设备等, 这一切都要求工程师在设计阶段就能精确地预测出产品和工程的技术性能, 需要对结构的静、动力强度以及温度场、流场、电磁场和渗流等技术参数进行分析计算。例如分析计算高层建筑和大跨度桥梁在地震时所受到的影响, 看看是否会发生破坏性事故; 分析计算核反应堆的温度场, 确定传热和冷却系统是否合理; 分析涡轮机叶片内的流体动力学参数, 以提高其运转效率。把这些都归结为求解物理问题的控制偏微分方程式往往是不可能的。近年来在计算机技术和数值分析方法支持下发展起来的有限单元法则为解决这些复杂的工程分析计算问题提供了有效的途径。

有限单元法是一种高效能、常用的计算方法。有限单元法在早期是以变分原理为基础

发展起来的，所以它广泛地应用于以拉普拉斯方程和泊松方程所描述的各类物理场中（这类场与泛函的极值问题有着紧密的联系）。自从 1969 年以来，某些学者在流体力学中应用加权余数法中的迦辽金法（Galerkin）或最小二乘法等同样获得了有限元方程，因而有限单元法可应用于以任何微分方程所描述的各类物理场中，而不再要求这类物理场和泛函的极值问题有所联系。

20 世纪 50 年代，飞机设计师们发现无法用传统的力学方法分析飞机的应力、应变等问题。波音公司的一个技术小组首先将连续体的机翼离散为三角形板块的集合来进行应力分析，经过一番波折后获得前述的两个离散的成功。20 世纪 50 年代，大型电子计算机投入了解算大型代数方程组的工作，这为实现有限元技术准备好了物质条件。1960 年前后，美国的 R.W.Clough 教授及我国的冯康教授分别独立地在论文中提出了“有限单元”这样的名词，此后这样的叫法被大家接受，有限元技术从此正式诞生。

1990 年 10 月，美国波音公司开始在计算机上对新型客机 B-777 进行“无纸设计”，仅用了三年半时间，第一架 B-777 于 1994 年 4 月试飞成功，这是制造技术史上划时代的成就，其中在结构设计和评判中就大量采用有限元分析这一手段。

在有限元分析的发展初期，由于其基本思想和原理的“简单”和“朴素”，以至于许多学术权威都对其学术价值有所鄙视，国际著名刊物 *Journal of Applied Mechanics* 许多年来都拒绝刊登有关于有限元分析的文章。然而现在，有限元分析已经成为数值计算的主流，不但国际上存在如 ANSYS 等数种通用的有限元分析软件，而且涉及有限元分析的杂志也有几十种之多。

有限元的应用范围也是相当广的。它涉及工程结构、传热、流体运动、电磁等连续介质的力学分析，并在气象、地球物理、医学等领域得到应用和发展。电子计算机的出现和发展使有限单元法在许多实际问题中的应用变为现实，并具有广阔的前景。

国际上早在 20 世纪 50 年代末、60 年代初就投入大量的人力和物力开发具有强大功能的有限元分析程序。其中最为著名的是由美国国家宇航局（NASA）在 1965 年委托美国计算科学公司和贝尔航空系统公司开发的 NASTRAN 有限元分析系统。该系统发展至今已有几十个版本，是目前世界上规模最大、功能最强的有限元分析系统。从那时到现在，世界各地的研究机构和大学也发展了一批规模较小但使用灵活、价格较低的专用或通用有限元分析软件，主要有德国的 ASKA、英国的 PAFEC、法国的 SYSTUS 以及美国的 ABQUS、ADINA、ANSYS、BERSAFE、BOSOR、COSMOS、ELAS、MARC 和 STARDYNE 等公司的产品。

1.1.2 有限单元法的基本概念

有限单元法的基本思想是将一个结构或连续体的求解域离散为若干个子域（单元），并通过它们边界上的节点相互联结成组合体。

有限单元法用每一个单元内所假设的近似函数来分片地表示全求解域内待求的未知场变量。而每个单元内的近似函数由未知函数或其导数在单元各个节点上的数值和与其对应的插值函数来表示。由于在连接相邻单元的节点上，场函数应具有相同的数值，因而将它

们用作数值求解的基本未知量。这样一来，求解原来待求场函数的无穷自由度问题即转换为求解场函数节点值的有限自由度问题。

有限单元法通过和原问题数学模型（基本方程、边界条件）等效的变分原理或加权余量法建立求解基本未知量（场函数的节点值）的代数方程组或微分方程组，此方程组称为有限元求解方程，并表示成规范的矩阵形式，接着用数值方法求解此方程，从而得到问题的解答。

结构离散（有限元建模）的内容由网格划分，把结构按一定规则分割成有限单元和边界条件处理（即把作用于结构边界上的约束和载荷处理为节点约束和节点载荷）。其中要求离散结构必须与原始结构保形——单元的几何特性，一个单元内的物理特性必须相同——单元的物理特性。

单元与节点中单元（即原始结构）离散后满足一定几何特性和物理特性的最小结构域。节点即单元与单元间的连接点。节点力即单元与单元间通过节点的相互作用力。节点载荷即作用于节点上的外载。

插值函数（或位移函数）是用以表示单元内物理量变化（如位移或位移场）的近似函数。由于该近似函数常由单元节点物理量值插值构成，故称为插值函数，如单元内物理量为位移，则该函数称为位移函数。

选择位移函数的一般原则是：位移函数在单元节点的值应等于节点位移，即单元内部是连续的；所选位移函数必须保证有限元的解收敛于真实解。要注意的是，为了便于微积分运算，位移函数一般采用多项式形式，在单元内选取适当阶次的多项式可得到与真实解接近的近似解。

1.2 ANSYS 14.0 简介

ANSYS 软件是融结构、流体、电场、磁场及声场分析于一体的大型通用有限元分析软件，由作为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，是现代产品设计中应用的高级 CAE 工具之一。

1.2.1 ANSYS 14.0 的启动与退出

选择 Mechanical APDL Product Launcher 14.0 命令，弹出图 1-1 所示的启动画面，稍后即可弹出图 1-2 所示的 Mechanical APDL Product Launcher 14.0 窗口。

Mechanical APDL Product Launcher 14.0 窗口可以方便用户管理自己的项目。在 Working Directory 文本框中可以输入工作目录，在 Job Name 文本框中可以输入用户定义的项目名称。

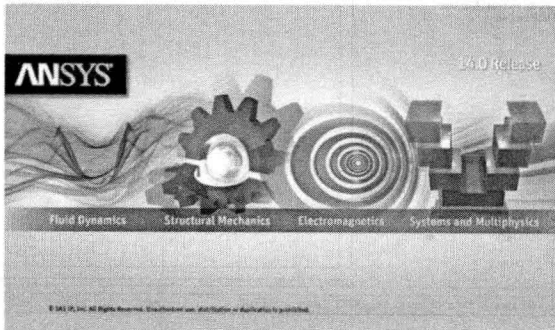


图 1-1 ANSYS 14.0 启动画面

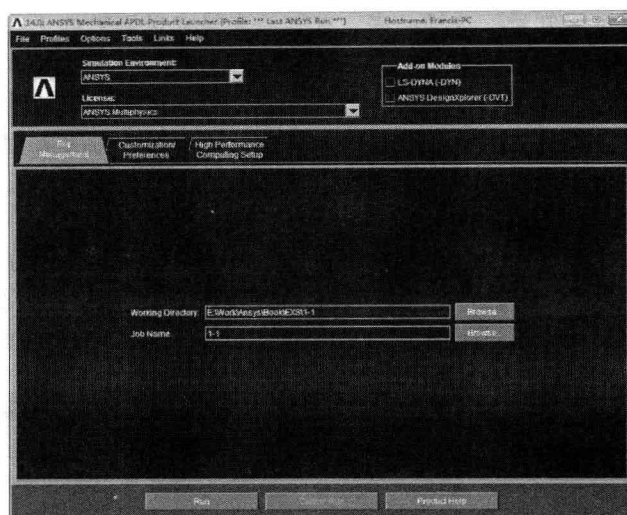


图 1-2 Mechanical APDL Product Launcher 14.0 窗口

1.2.2 ANSYS 14.0 操作界面

在 Mechanical APDL Product Launcher 14.0 窗口中单击 Run 按钮, 即可进入 ANSYS 14.0 的 GUI 界面, 如图 1-3 所示。

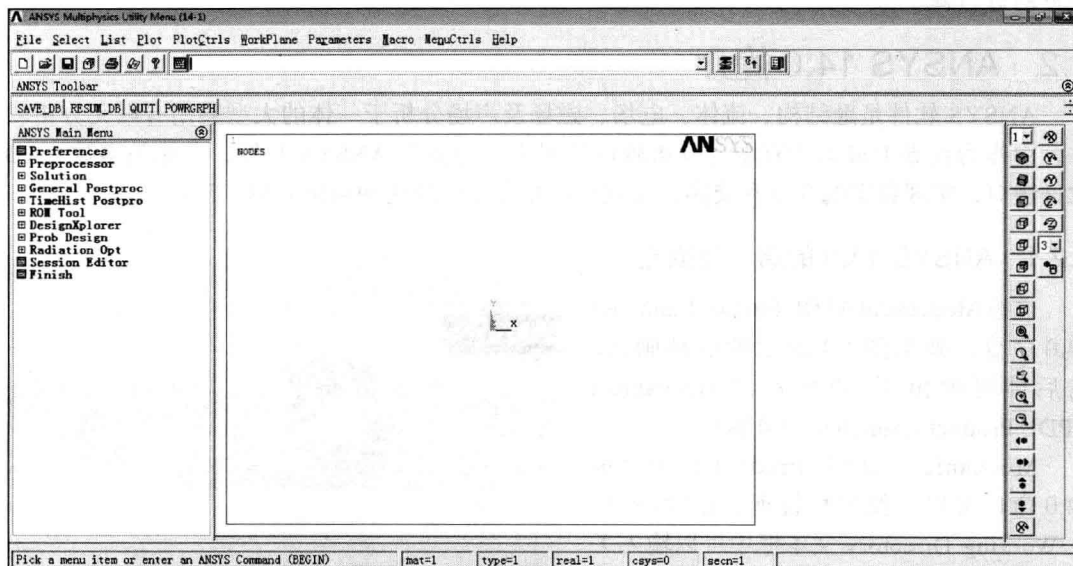


图 1-3 ANSYS 14.0 GUI 操作界面