

21世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

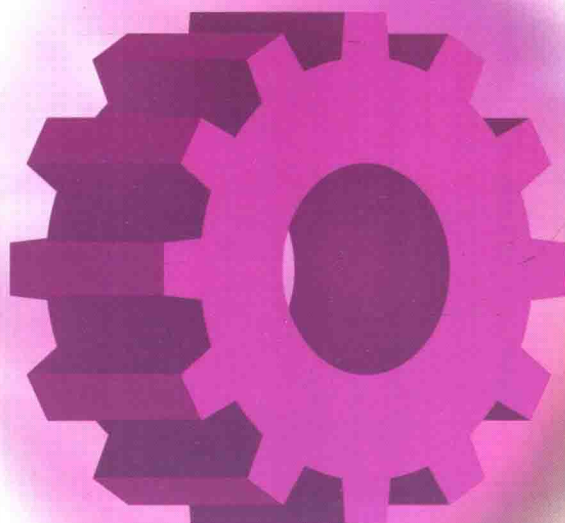
ANSYS 18.0

有限元分析基础与实例教程



提供电子教案、操作视频和素材文件

- 本书以 ANSYS 18.0 为依托, 对有限元分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍, 并结合典型工程实例详细讲述了 ANSYS 的具体应用方法。
- 书中尽量避开烦琐的理论描述, 从实际应用出发, 对实例部分采用 GUI 方式, 逐步讲解操作过程和步骤。典型实例还配有操作视频, 方便读者学习。



王正军 孙立明 等编著



21 世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

ANSYS 18.0 有限元分析 基础与实例教程

王正军 孙立明 等编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS 18.0 为依托,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 的具体工程应用方法。

本书第 1~6 章为操作基础,详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法,主要内容包括 ANSYS 概述,几何建模,划分网格,施加载荷,求解,后处理;第 7~14 章为专题实例,按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧,主要包括静力分析,模态分析,瞬态动力学分析,谐响应分析,结构屈曲分析,谱分析,接触问题分析,非线性分析。

本书可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生的 ANSYS 分析课程的教学教材,也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员的参考用书。

本书配有电子教案、操作视频和素材文件;需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 2966938356, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 18.0 有限元分析基础与实例教程 / 王正军等编著. —北京:机械工业出版社, 2018.9

21 世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

ISBN 978-7-111-60854-7

I. ①A… II. ①王… III. ①有限元分析—应用软件—高等学校—教材
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 208035 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:和庆娣 责任编辑:和庆娣

责任校对:张艳霞 责任印制:张博

唐山三艺印务有限公司印刷

2018 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.5 印张·456 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-60854-7

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

网络服务

服务咨询热线:(010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

有限元法作为数值计算方法中在工程分析领域应用较为广泛的一种计算方法,自 20 世纪中叶以来,以其独有的计算优势得到了广泛的应用,也出现了不同的有限元算法,并由此产生了一批非常成熟的通用和专业有限元商业软件。随着计算机技术的飞速发展,各种工程软件也得以广泛应用。ANSYS 软件以多物理场耦合分析功能而成为 CAE 软件的应用主流,在工程分析中得到了较为广泛的应用。

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析 (FEA) 软件,它是世界范围内增长最快的 CAE 软件,能够进行包括结构、热、声、流体以及电磁场等学科的研究,在核工业、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、生物医药、轻工、地矿、水利、家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 的功能强大,操作简单方便,已成为国际最流行的有限元分析软件,在历年 FEA 评比中均名列前茅。目前,中国大多数科研院校均采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件。

本书以 ANSYS 的新版本 ANSYS 18.0 为依托,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 具体工程应用方法。书中避开了烦琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者的使用经验,在实例部分采用 GUI 方式详细讲解了操作过程和步骤。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令,在每个实例后面列出了分析过程的命令流文件。

本书共 14 章,分为两部分,前 6 章为操作基础,详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法:第 1 章 ANSYS 概述,第 2 章几何建模,第 3 章划分网格,第 4 章施加载荷,第 5 章求解,第 6 章后处理。后 8 章为专题实例,按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧:第 7 章静力分析,第 8 章模态分析,第 9 章瞬态动力学分析,第 10 章谐响应分析,第 11 章结构屈曲分析,第 12 章谱分析,第 13 章接触问题分析,第 14 章非线性分析。

本书由三维书屋工作室策划,特种勤务研究所的王正军和陆军工程大学孙立明主编,其中王正军编写了第 1~9 章,孙立明编写了 10~13 章。其他章节由胡仁喜、康士廷、卢园、解江坤、韩校粉、王艳、王国军、李亚莉、井晓翠、卢思梦、王敏、杨雪静、王玮、王艳池、刘昌丽、张亭、闫聪聪、刘冬芳、张红松编写。

由于时间仓促,加之作者的水平有限,疏漏之处在所难免,恳请专家和广大读者不吝赐教。

编 者

精品教材推荐目录

序号	书号	书名	作者	定价	配套资源
1	978-7-111-59089-7	AutoCAD 2018 实用教程 (第5版)	邹玉堂	49.00	电子教案
2	978-7-111-56314-3	AutoCAD 2017 中文版机械设计实例教程	张永茂	49.90	电子教案
3	978-7-111-59129-0	AutoCAD 2016 中文版机械制图教程	刘瑞新	55.00	电子教案 素材文件
4	978-7-111-45511-5	AutoCAD 2014 中文版工程制图实用教程 (第2版)	周勇光	49.00	电子教案 配光盘
5	978-7-111-48130-0	AutoCAD 2012 中文版应用教程	王靖	39.90	电子教案 素材文件
6	978-7-111-59422-2	SolidWorks 2018 三维设计及应用教程	曹茹	59.00	电子教案 素材文件
7	978-7-111-60519-5	SolidWorks 2017 基础与实例教程	段辉	49.00	电子教案 素材文件
8	978-7-111-52858-6	SolidWorks 2015 基础教程 (第5版)	江洪	49.00	DVD 光盘 操作视频 电子教案 素材文件
9	978-7-111-60059-6	Creo 4.0 实用教程	徐文胜	45.00	电子教案 素材文件
10	978-7-111-32398-3	Pro/ENGINEER 5.0 基础教程	江洪	39.00	配光盘
11	978-7-111-58764-4	UG NX 11.0 基础教程 第5版	江洪	49.00	电子教案 素材文件
12	978-7-111-47745-7	UG NX 8.0 基础与实例教程	高玉新	45.00	电子教案 配光盘
13	978-7-111-53584-3	UG NX 10.0 模具设计教程	高玉新	49.00	电子教案 配光盘
14	978-7-111-56138-5	CATIA V5 基础教程 (第2版)	江洪	49.00	素材文件
15	978-7-111-57252-7	CAXA 实体设计 2016 基础与实例教程	汤爱君	45.00	电子教案 素材文件
16	978-7-111-53210-1	MATLAB 8.5 基础教程	杨德平	45.00	电子教案 素材文件
17	978-7-111-59869-5	MATLAB 数值计算基础与实例教程	王健	55.00	电子教案 习题解答
18	978-7-111-59850-3	MATLAB 建模与仿真实用教程	王健	55.00	电子教案 习题解答
19	978-7-111-54393-0	有限元分析与 ANSYS 实践教程	刘超	39.90	电子教案 习题解答
20	978-7-111-60854-7	ANSYS 18.0 有限元分析基础与实例教程	王正军	55.00	电子教案 素材文件



本科精品教材推荐

AutoCAD 2018 实用教程 第5版

书号: 978-7-111-59089-7

定价: 49.00 元

作者: 邹玉堂

配套资源: 电子教案

推荐简言:

- ★ 在每一个命令、术语或提示第一次出现时, 都给出了对应的英文翻译, 以便于使用英文版的读者参考。
- ★ 结合 GB/T 18229-2000《CAD 工程制图规则》的要求, 介绍使用 AutoCAD 2018 绘制符合我国国家标准要求的工程图样的方法和绘图技巧。
- ★ 结构严谨, 文笔流畅, 内容由浅入深、讲解循序渐进, 绘图方法简捷实用。

AutoCAD 2016 中文版 机械绘图实例教程

书号: 978-7-111-52375-8

定价: 46.00 元

作者: 张永茂

配套资源: 电子教案

推荐简言:

- ★ 本书通过大量实例详细介绍了 AutoCAD 2016 中文版各种命令的操作方法以及利用 AutoCAD 2016 进行机械绘图, 即绘制零件图、装配图、轴测图和三维造型的方法和技巧。
- ★ 本书中每个实例均附有二维平面图和相应的三维实体图, 为读者看图提供了方便。复杂的实例中还附有操作流程, 便于读者对照操作。

SolidWorks 2018 三维设计及应用教程

书号: 978-7-111-59422-2

定价: 59.00 元

作者: 曹茹

配套资源: 电子教案、素材文件

推荐简言:

- ★ 内容系统全面——更注重“知识系统”, 力求做到“融会贯通”。
- ★ 原理精炼通用——更注重“能力培养”, 力求做到“删繁就简”。
- ★ 范例仿真实用——更注重“因用而学”, 力求做到“工程背景”。

SolidWorks 2015 基础教程 第5版

书号: 978-7-111-52858-6

定价: 55.00 元

作者: 江洪

配套资源: 素材光盘

推荐简言:

- ★ 本书用图表和实例生动地讲述了 SolidWorks 的常用功能。结合具体的实例, 将重要的知识点嵌入, 使读者可以循序渐进、随学随用, 边看边操作, 动眼、动脑、动手, 符合教育心理学和学习规律。
- ★ 本书许多实例来源于工程实际, 具有一定的代表性和技巧性。符合时代精神, 体现了创新教育常用的扩散思维方法: 一题多解及精讲多练。

UG NX 11.0 基础教程 第5版

书号: 978-7-111-58764-4

定价: 49.00 元

作者: 江洪

配套资源: 素材光盘

推荐简言:

- ★ 内容简单易学, 结合具体实例讲述知识点, 使读者可以循序渐进、随学随用、边看边操作, 加深记忆和理解。
- ★ 实例典型实用, 结合软件的基本功能讲解了大量例题, 引导读者动手练习。实例的选择遵循由浅入深的原则, 逐渐展开知识点, 避免读者在学习中无从下手。

MATLAB 8.5 基础教程

书号: 978-7-111-53210-1

定价: 48.00 元

作者: 杨德平

配套资源: 电子课件

推荐简言:

- ★ 本书内容全面, 详细介绍 MATLAB 平台具有的数学计算、算法研究、科学和工程绘图、数据分析及可视化、系统建模及仿真、应用软件开发等功能。
- ★ 本文叙述简明扼要, 深入浅出, 利用精心设计选取的例题及日常生活相关的案例, 讲解 MATLAB 的具体操作方法。

目 录

前言	
第 1 章 ANSYS 概述	1
1.1 有限元法的常用术语	1
1.2 有限元法的分析过程	2
1.3 ANSYS 18.0 的配置	3
1.3.1 设置运行参数	3
1.3.2 启动与退出	5
1.4 ANSYS 18.0 的用户界面	6
1.5 ANSYS 分析的基本过程	8
1.5.1 前处理	8
1.5.2 加载并求解	8
1.5.3 后处理	9
第 2 章 几何建模	10
2.1 几何建模概论	10
2.1.1 自底向上创建几何模型	10
2.1.2 自顶向下创建几何模型	10
2.1.3 布尔运算操作	11
2.1.4 拖拉和旋转	12
2.1.5 移动和复制	12
2.1.6 修改模型 (清除和删除)	12
2.1.7 从 IGES 文件几何模型导入到 ANSYS	13
2.2 自顶向下创建几何模型 (体素)	13
2.2.1 创建面体素	13
2.2.2 创建实体体素	14
2.3 自底向上创建几何模型	15
2.3.1 关键点	15
2.3.2 硬点	17
2.3.3 线	18
2.3.4 面	19
2.3.5 体	20
2.4 工作平面的使用	22
2.4.1 定义一个新的工作平面	22
2.4.2 控制工作平面的显示和样式	23
2.4.3 移动工作平面	23

2.4.4	旋转工作平面	23
2.4.5	还原一个已定义的工作平面	24
2.5	坐标系简介	24
2.5.1	总体和局部坐标系	24
2.5.2	显示坐标系	26
2.5.3	节点坐标系	27
2.5.4	单元坐标系	28
2.5.5	结果坐标系	28
2.6	使用布尔操作来修正几何模型	28
2.6.1	布尔运算的设置	29
2.6.2	布尔运算之后的图元编号	29
2.6.3	交运算	29
2.6.4	两两相交	30
2.6.5	相加	31
2.6.6	相减	31
2.6.7	利用工作平面做减运算	32
2.6.8	搭接	33
2.6.9	分割	33
2.6.10	粘接(或合并)	33
2.7	实例——轴承座的实体建模	34
2.7.1	GUI方式	34
2.7.2	命令流方式	40
第3章	划分网格	42
3.1	有限元网格概论	42
3.2	设定单元属性	43
3.2.1	生成单元属性表	43
3.2.2	在划分网格之前分配单元属性	43
3.3	网格划分的控制	45
3.3.1	ANSYS 网格划分工具(MeshTool)	45
3.3.2	映射网格划分中单元的默认尺寸	48
3.3.3	局部网格划分控制	48
3.3.4	内部网格划分控制	49
3.4	自由网格划分和映射网格划分控制	51
3.4.1	自由网格划分控制	51
3.4.2	映射网格划分控制	52
3.5	延伸和扫掠生成有限元模型	56
3.5.1	延伸(Extrude)生成网格	57
3.5.2	扫掠(VSWEEP)生成网格	58
3.6	编号控制	61
3.6.1	合并重复项	61

3.6.2	编号压缩	62
3.6.3	设定起始编号	62
3.6.4	编号偏差	63
3.7	实例——轴承座的网格划分	63
3.7.1	GUI 方式	63
3.7.2	命令流方式	68
第 4 章	施加载荷	70
4.1	载荷概论	70
4.1.1	什么是载荷	70
4.1.2	载荷步、子步和平衡迭代	71
4.1.3	时间参数	72
4.1.4	阶跃载荷与坡道载荷	73
4.2	施加载荷	73
4.2.1	实体模型载荷与有限单元载荷	73
4.2.2	施加载荷	74
4.2.3	利用表格来施加载荷	79
4.2.4	轴对称载荷与反作用力	81
4.2.5	利用函数来施加载荷和边界条件	82
4.3	设定载荷步选项	84
4.3.1	通用选项	84
4.3.2	非线性选项	86
4.3.3	动力学分析选项	86
4.3.4	输出控制	87
4.3.5	毕-萨选项	87
4.3.6	谱分析选项	88
4.3.7	创建多载荷步文件	88
4.4	实例——轴承座的载荷和约束施加	88
4.4.1	GUI 方式	88
4.4.2	命令流方式	91
第 5 章	求解	93
5.1	求解概论	93
5.1.1	使用直接求解法	94
5.1.2	使用稀疏矩阵直接求解法求解器	94
5.1.3	使用雅克比共轭梯度法求解器	94
5.1.4	使用不完全分解共轭梯度法求解器	94
5.1.5	使用预条件共轭梯度法求解器	95
5.1.6	使用自动迭代解法选项	95
5.1.7	获得解答	96
5.2	利用特定的求解控制器来指定求解类型	97
5.2.1	使用 Abridged Solution 菜单选项	97

5.2.2	使用 Solution Controls 对话框	97
5.3	多载荷步求解	98
5.3.1	多重求解法	98
5.3.2	使用载荷步文件法	99
5.3.3	使用数组参数法 (矩阵参数法)	100
5.4	重新启动分析	101
5.4.1	重新启动一个分析	102
5.4.2	多载荷步文件的重启动分析	105
5.5	预测求解时间和估计文件大小	107
5.5.1	估计运算时间	107
5.5.2	估计文件的大小	107
5.5.3	估计内存需求	107
5.6	实例——轴承座模型求解	108
第 6 章	后处理	109
6.1	后处理概述	109
6.1.1	什么是后处理	109
6.1.2	结果文件	110
6.1.3	后处理可用的数据类型	110
6.2	通用后处理器 (POST1)	111
6.2.1	将数据结果读入数据库	111
6.2.2	列表显示结果	112
6.2.3	图像显示结果	115
6.2.4	映射结果到某一路径上	115
6.2.5	表面操作	115
6.2.6	将结果旋转到不同坐标系中显示	116
6.3	时间历程后处理 (POST26)	118
6.3.1	定义和储存 POST26 变量	118
6.3.2	检查变量	120
6.3.3	POST26 后处理器的其他功能	122
6.4	实例——轴承座计算结果后处理	123
6.4.1	GUI 方式	123
6.4.2	命令流方式	126
第 7 章	静力分析	127
7.1	静力分析介绍	127
7.1.1	结构静力分析简介	127
7.1.2	静力分析的类型	128
7.1.3	静力分析基本步骤	128
7.2	实例导航——内六角扳手的静态分析	128
7.2.1	问题的描述	128
7.2.2	建立模型	129

7.2.3	定义边界条件并求解	137
7.2.4	查看结果	141
7.2.5	命令流方式	146
第 8 章	模态分析	147
8.1	模态分析概论	147
8.2	模态分析的基本步骤	147
8.2.1	建模	147
8.2.2	加载及求解	148
8.2.3	扩展模态	150
8.2.4	观察结果和后处理	152
8.3	实例导航——小发电机转子模态分析	153
8.3.1	分析问题	153
8.3.2	建立模型	153
8.3.3	进行模态设置、定义边界条件并求解	158
8.3.4	查看结果	160
8.3.5	命令流方式	161
第 9 章	瞬态动力学分析	162
9.1	瞬态动力学概论	162
9.1.1	Full 法	162
9.1.2	Mode Superposition 法	163
9.1.3	Reduced 法	163
9.2	瞬态动力学的基本步骤	163
9.2.1	前处理（建模和分网）	163
9.2.2	建立初始条件	164
9.2.3	设定求解控制器	165
9.2.4	设定其他求解选项	166
9.2.5	施加载荷	167
9.2.6	设定多载荷步	168
9.2.7	瞬态求解	168
9.2.8	后处理	169
9.3	实例导航——弹簧振子瞬态动力学分析	171
9.3.1	分析问题	171
9.3.2	建立模型	172
9.3.3	进行瞬态动力分析设置、定义边界条件并求解	176
9.3.4	查看结果	181
9.3.5	命令流实现	183
第 10 章	谐响应分析	184
10.1	谐响应分析概论	184
10.2	谐响应分析的基本步骤	185
10.2.1	建立模型（前处理）	185

10.2.2	加载和求解	185
10.2.3	观察模型 (后处理)	191
10.3	实例导航——悬臂梁谐响应分析	193
10.3.1	分析问题	193
10.3.2	建立模型	193
10.3.3	查看结果	206
10.3.4	命令流方式	208
第 11 章	结构屈曲分析	209
11.1	结构屈曲概论	209
11.2	结构屈曲分析的基本步骤	209
11.2.1	前处理	209
11.2.2	获得静力解	210
11.2.3	获得特征值屈曲解	210
11.2.4	扩展解	212
11.2.5	后处理 (观察结果)	213
11.3	实例导航——薄壁圆筒屈曲分析	214
11.3.1	问题描述	214
11.3.2	GUI 路径模式	214
11.3.3	命令流方式	222
第 12 章	谱分析	223
12.1	谱分析概论	223
12.1.1	响应谱	223
12.1.2	动力设计分析方法 (DDAM)	224
12.1.3	功率谱密度 (PSD)	224
12.2	实例导航——简单梁结构响应谱分析	224
12.2.1	问题描述	224
12.2.2	GUI 操作方法	225
12.2.3	命令流方式	235
第 13 章	接触问题分析	236
13.1	接触问题概论	236
13.1.1	一般分类	236
13.1.2	接触单元	236
13.2	接触问题分析的步骤	237
13.2.1	建立模型并划分网格	238
13.2.2	识别接触对	238
13.2.3	定义刚性目标面	238
13.2.4	定义柔性体的接触面	238
13.2.5	设置实常数和单元关键点	239
13.2.6	控制刚性目标的运动	240
13.2.7	给变形体单元施加必要的边界条件	240

13.2.8	定义求解和载荷步选项	240
13.2.9	求解	241
13.2.10	检查结果	242
13.3	实例导航——陶瓷套筒的接触分析	243
13.3.1	问题描述	243
13.3.2	建立模型并划分网格	243
13.3.3	定义边界条件并求解	251
13.3.4	后处理	256
13.3.5	命令流实现	260
第 14 章	非线性分析	261
14.1	非线性分析概论	261
14.1.1	非线性行为的原因	261
14.1.2	非线性分析的基本信息	262
14.1.3	几何非线性	264
14.1.4	材料非线性	265
14.1.5	其他非线性问题	267
14.2	非线性分析的基本步骤	268
14.2.1	前处理（建模和分网）	268
14.2.2	设置求解控制器	268
14.2.3	加载	269
14.2.4	求解	269
14.2.5	后处理	269
14.3	铆钉非线性分析	270
14.3.1	问题描述	271
14.3.2	建立模型	271
14.3.3	定义边界条件并求解	278
14.3.4	查看结果	280
14.3.5	命令流方式	284

第1章 ANSYS 概述

本章导读

本章简要介绍有限元法的常用术语、分析过程，ANSYS 18.0 的配置、用户界面，以及 ANSYS 分析的基本过程。

1.1 有限元法的常用术语

1. 单元

对于任何连续体，可以利用网格生成技术离散成若干个小区域，其中的每一个小区域称为一个单元。常见的单元类型有线单元、三角形单元、四边形单元、四面体单元和六面体单元五种。由于单元是组成有限元模型的基础，因此单元的类型对于有限元分析是至关重要的。工程中常用的单元有杆 (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。

2. 节点

单元和单元之间连接的点称为节点，它在将实际连续体离散成为单元群的过程中起到桥梁作用，ANSYS 程序正是通过节点信息来组成刚度矩阵进行计算。同一种单元类型根据节点个数的不同分成不同的种类，例如平面单元中，PLANE2 单元是 6 个节点，而 PLANE42 是 4 个节点。

3. 节点力和节点载荷

节点力指的是相邻单元的节点间的相互作用力。而作用在节点上的外载荷称为节点载荷。外载荷包括集中力和分布力等。在不同的学科中，载荷的含义也不尽相同。在电磁场分析中，载荷指结构受到的电场和磁场作用。在温度场分析中，所受载荷则指的是温度。

4. 边界条件

边界条件指的是结构边界上所受到的外加约束。在有限元分析中，边界条件的确定是非常重要的。错误的边界条件选择往往使有限元中的刚度矩阵发生奇异，使程序无法正常运行。因此，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重要条件。

5. 位移函数

位移函数指用来表征单元内的位移或位移场的近似函数。正确选择位移函数直接关系到其对应单元的计算精度和能力。位移函数要满足以下几个条件。

- 1) 在单元内部必须是连续的。
- 2) 必须含有单元的刚体位移。
- 3) 相邻单元在交界处的位移是连续的。

1.2 有限元法的分析过程

有限元法的基本思想是将连续的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，将连续体看作是只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，并在每一个单元中假设一近似插值函数以表示单元场中场函数的分布规律；进而利用力学中的某些变分原理建立用以求解节点未知量的有限元方程，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自由度问题。一经求解就可以利用解得的节点值和设定的插值函数确定单元上以至整个集合体上的场函数。有限元法的分析过程可以分为如下 5 个步骤。

(1) 结构离散化

离散化就是指将所分析问题的结构分割成有限个单元体，并在单元体的指定点设置节点，使相邻单元的有关参数具有一定的连续性，形成有限元网格，即将原来的连续体离散为在节点处相连接的有限单元组合体，用它来代替原来的结构。结构离散化时，划分单元的大小和数目应当根据计算精度和计算机的容量等因素来确定。

(2) 选择位移插值函数

为了能用节点位移表示单元体的位移、应变和应力，在分析连续体问题时，必须对单元中位移的分布做出一定的假设，即假定位移是坐标的某种简单函数（插值函数或位移模式），通常采用多项式作为位移函数。选择适当的位移函数是有限元法分析中的关键，应当注意以下几个方面。

- 1) 多项式项数应等于单元的自由度数。
- 2) 多项式阶次应包含常数项和线性项。
- 3) 单元自由度应等于单元节点独立位移的个数。

位移矩阵：

$$\{f\} = [N]\{\delta\}^e \quad (1-1)$$

式中， $\{f\}$ 为单元内任意一点的位移， $\{\delta\}$ 为单元节点的位移， $[N]$ 为行函数。

(3) 分析单元的力学特性

- 1) 利用几何方程推导出用节点位移表示的单元应变：

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\delta\}^e \quad (1-2)$$

式中， $\{\varepsilon\}$ 为单元应变， $[B]$ 为单元应变矩阵。

- 2) 由本构方程可导出用节点位移表示的单元应力：

$$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta\}^e \quad (1-3)$$

式中， $[D]$ 为单元材料有关的弹性矩阵。

- 3) 由变分原理可得到单元上节点力与节点位移间的关系式（即平衡方程）：

$$\{F\}^e = [k]^e \{\delta\}^e \quad (1-4)$$

式中， $[k]^e$ 为单元刚度矩阵：

$$[k]^e = \iiint [B]^T [D] [B] dx dy dz \quad (1-5)$$

(4) 集合所有单元的平衡方程，建立整体结构的平衡方程

即先将各个单元的刚度矩阵合成整体刚度矩阵，然后将各单元的等效节点力列阵集成总的载荷阵列——称为总刚度矩阵 $[K]$ ：

$$[K] = \sum [k]^e \quad (1-6)$$

由总刚度矩阵形成整个结构的平衡方程：

$$[K]\{\delta\} = [F] \quad (1-7)$$

(5) 由平衡方程求解未知节点位移和计算单元应力

有限元求解程序的内部过程如图 1-1 所示。因为单元可以设计成不同的几何形状，所以可以灵活地模拟和逼近复杂的求解区域。很显然，只要插值函数满足一定的要求，随着单元数目的增加，解的精度也会不断提高而最终收敛于问题的精确解。虽然从理论上讲，不断增加单元数目可以使数值分析解最终收敛于问题的精确解，但是却大大增加了计算机的运行时间。而在实际工程应用中，只要所得的解能够满足工程的实际需要就可以。因此，有限元法的基本策略就是在分析精度和分析时间上找到一个最佳平衡点。



图 1-1 有限元求解程序的内部过程

1.3 ANSYS 18.0 的配置

1.3.1 设置运行参数

在使用 ANSYS 18.0 软件进行设计之前，可以根据用户的需求设计环境。

依次单击“开始>程序>ANSYS 18.0>Mechanical APDL Product Launcher”命令，得到如图 1-2 所示的 ANSYS 18.0 对话框，主要设置内容有模块选择、文件管理、用户管理/个人设置和程序初始化等。

1. 模块选择

在 Simulation Environment 下拉列表中列出了以下 3 种界面：

- 1) ANSYS: 典型 ANSYS 用户界面。
 - 2) ANSYS Batch: ANSYS 命令流界面。
 - 3) LS-DYNA Solver: 线性动力求解界面。
- 用户根据自己实际需要选择一种界面。

在 License 下拉列表中列出了各界面下相应的模块, 用户可根据自己要求选择, 如图 1-3 所示。

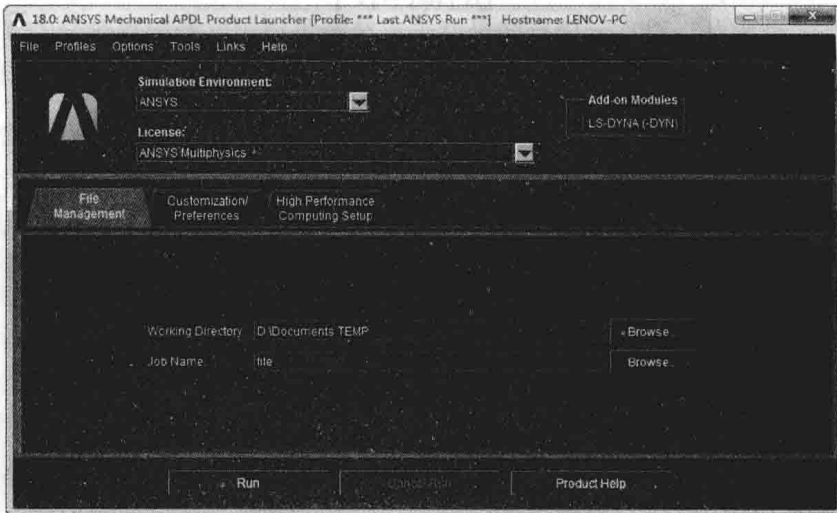


图 1-2 ANSYS 18.0 对话框

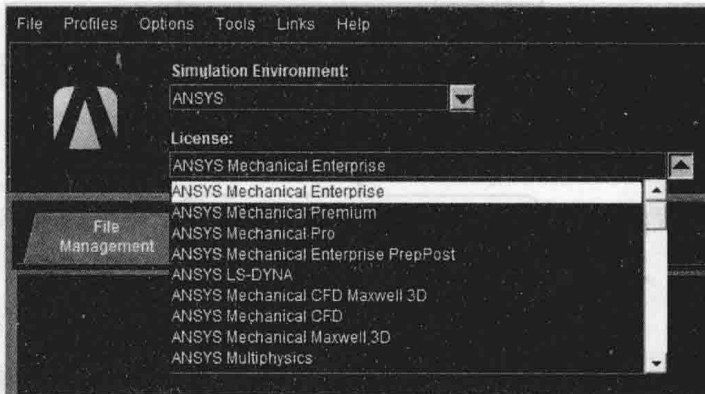


图 1-3 Launch 选项卡中 License 下拉列表

2. 文件管理

单击 File Management, 然后在 Working Directory 文本框设置工作目录, 再在 Job Name 设置文件名, 默认文件名为 File。

注意 ANSYS 默认的工作目录是在系统硬盘的根目录下, 如果一直采用这一设置, 会影响 ANSYS 18.0 的工作性能, 建议将工作目录设在非系统硬盘中, 且要有足够大的硬盘容量。