

宝典丛书 200万



ANSYS 12.0

宝典

重点关注结构分析领域，针对材料、机械、土木三大热点应用领域。

提炼作者6年多高校授课的精髓，孜孜以求，潜心打造。

光盘中包含每章实例的数据库文件与命令流文件，加速学习、消化进程。

刘伟 高维成 于广滨 编著
赖一楠 主审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

宝典丛书

ANSYS 12.0 宝典

刘 伟 高维成 于广滨 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书通过大量精心设计的具有实际工程应用背景的创新性分析实例,以图形用户界面及命令流两种方式向读者全面介绍 ANSYS 12.0 结构有限元分析方法及应用。主要包括以下 4 部分内容: ANSYS 基础,内容包括 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述、几何建模与网格划分、施加载荷与求解过程、结果后处理、APDL 编程语言; ANSYS 结构有限元分析基本过程,内容包括杆系结构有限元分析、梁系结构有限元分析、板壳结构有限元分析、实体结构有限元分析; ANSYS 高级分析实例详解,内容包括结构动力学分析、结构非线性分析、结构稳定性分析; ANSYS 工程应用实战演练,内容包括 ANSYS 在复合材料结构中的应用、ANSYS 在机械工程中的应用、ANSYS 在土木工程中的应用。

本书内容全面新颖、实例原创丰富、讲述循序渐进、应用领域广泛,通过本书的学习,读者可逐步提高自身的 ANSYS 操作水平以及利用有限元分析理论进行结构分析的能力,最终具备在结构分析领域解决实际工程问题的思路、方法和能力。

本书可作为力学、土木、机械、航空、航天、船舶、水利、交通、桥梁等专业高年级本科生或研究生学习 ANSYS 12.0 有限元分析软件的教材,也可供从事上述专业结构分析的工程技术人员参考使用。

**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 12.0 宝典 / 刘伟, 高维成, 于广滨编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.7
(宝典丛书)
ISBN 978-7-121-10907-2

I. ①A… II. ①刘… ②高… ③于… III. ①有限元分析-应用程序, ANSYS IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 091922 号

责任编辑: 周 林

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 37.5 字数: 1068 千字

印 次: 2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 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 zlt@sphci.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件到 dbqq@sphci.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

目前,几乎所有高校的力学、土木、机械、航空、航天、船舶、水利、交通、桥梁等理工科专业,都为高年级本科生开设了《有限元方法》基础课程,为研究生开设了《非线性有限元方法》学位课程。学生在学习完有限元课程之后,还必须熟练掌握相关有限元软件的使用,才能将有限元基本理论有效地应用到实际工程问题分析中去。为此,部分有条件的高校也开设了有限元软件应用课程(课程名称可能会因学校及专业的不同而有所差异,但都是以讲解有限元软件 ANSYS 或其他软件为主)。哈尔滨工业大学航天学院工程力学专业 20 世纪 90 年代末即开设了该类课程《应用软件工程——ANSYS》,作者从 2003 年开始接手讲授该门课程。虽然市面上的 ANSYS 书籍很多,但却难以找出一本非常适合做教材的书籍,因此作者参考多本书籍自主编写了校内讲稿。经过 6 年多的试用,目前已基本成型,现将多年的校内讲稿和心得体会完善成书,以期与开设该类课程的兄弟院校分享、共勉,同时也供从事相关科研与工程项目的人员参考阅读。

ANSYS 软件是目前国际上最著名的大型通用有限元分析软件,经过三十年的发展,已形成融结构、热、流体、电磁、声学及多物理场耦合为一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于航空航天、石油、化工、汽车、造船、铁道、电子、机械制造、地矿能源、水利、核能、生物、医学、土木工程、轻工、一般工业及科学研究等各个领域,其极强的分析功能覆盖了几乎所有的工程问题。作为世界最具权威的有限元产品和工业化分析标准,目前几乎所有的 CAD/CAE/CAM 软件都竞相开发了与 ANSYS 的专用接口,实现数据的共享和交换,如 Pro/ENGINEER、NASTRAN、Alogor、I-DEAS 及 AutoCAD 等。ANSYS 软件在 Linux 和 Windows 下均有版本,并同时有 32 位和 64 位版本,目前最新的版本为 12.0。

本书以 ANSYS 12.0 版本为依据,以 Windows NT 为操作平台,将结构有限元分析的基本理论与 ANSYS 实践操作紧密结合,通过大量精心筛选的具有实际工程应用背景的原创新性分析实例,以图形用户界面和命令流两种方式向读者全面介绍了 ANSYS 结构有限元分析方法。

导读

本书在内容组织上分为 4 部分,共 15 章内容,知识点循序渐进、由浅入深,具体安排如下。

第 1 部分 ANSYS 基础

第 1 部分包括第 1 章至第 5 章,内容分别为 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述、几何建模与网格划分、施加载荷与求解过程、结果后处理、APDL 编程语言。该部分对 ANSYS 程序的基本功能、操作过程和编程语言进行了深入细致的讨论,不单纯局限于菜单操作,而是结合实例进行讲解,内容生动。该部分适合于渴望入门的新手学习,作为入门教材参考使用。

第 2 部分 ANSYS 结构有限元分析基本过程

第 2 部分包括第 6 章至第 9 章,内容分别为 ANSYS 杆系结构有限元分析、ANSYS 梁系结构

有限元分析、ANSYS 板壳结构有限元分析、ANSYS 实体结构有限元分析。该部分按照常规有限元书籍的书写顺序，从杆梁一维结构到板壳二维结构，最后到实体三维结构，每章列举 2 个典型的工程实例，以实例驱动方式进行结构有限元分析基本过程的讲解，令读者记忆深刻。该部分适合于具有一定基础的高年级本科生作为《应用软件工程——ANSYS》的教材参考使用。

第 3 部分 ANSYS 高级分析实例详解

第 3 部分包括第 10 章至第 12 章，内容分别为 ANSYS 结构动力学分析、ANSYS 结构非线性分析和 ANSYS 结构稳定性分析。该部分介绍了结构分析中经常用到的高级分析专题，每章列举 2 个典型的工程实例，同时介绍了每个专题的基本概念和具体操作过程。该部分适合于具有较高基础的研究生作为《高等结构动力学》、《非线性有限元》课程的补充教材参考使用。

第 4 部分 ANSYS 工程应用实战演练

第 4 部分包括第 13 章至第 15 章，内容分别为 ANSYS 在复合材料结构中的应用、ANSYS 在机械工程中的应用和 ANSYS 在土木工程中的应用。该部分覆盖了结构有限元分析最常应用的领域，即材料、机械和土木工程。其中，复合材料领域列举了 2 个典型工程实例，机械工程领域和土木工程领域分别列举了 4 个典型工程实例。该部分中所有的实例均为作者多年来曾经设计过的一些实际工程，具有典型的代表意义，可以帮助读者将 ANSYS 结构有限元分析方法融会贯通。该部分适合于希望解决实际工程问题的高级用户和希望有限元结构分析领域提升职业竞争力的读者参考使用。

相信通过本书的学习，读者定能迅速地提高自身的 ANSYS 操作水平，打好利用有限元分析理论进行结构分析的功底，从而具备在结构分析领域解决实际工程问题的能力。

特色

- ◆ **专注结构分析领域**——为避免内容大而泛的弊端，本书将重点放于结构分析领域，选择材料、机械、土木 3 个热点应用领域进行详细讲解，本书的工程应用实战演练部分覆盖了上述各个领域中的典型应用，工程实例都是从作者的实际工程及科研项目中提炼出来的，具有重要的参考价值。
- ◆ **知识点循序渐进**——本书在章节安排上由浅入深、层次分明，读者可以从基础部分入门，再通过结构有限元分析基本过程部分掌握结构静力学有限元分析的基本技能，然后通过高级分析实例详解部分提升高级分析的实际应用能力，最后通过工程应用实战演练部分提高分析解决实际工程问题的能力。读者可以一气呵成地完成从入门级到专业级的蜕变过程。
- ◆ **图形用户界面与命令流并行**——每章的实例详解部分都是通过图形用户界面（GUI）和命令流两种方式为读者进行了详细的讲解，让读者在熟悉图形用户界面操作的同时，也掌握命令流操作的基本方法，极大地丰富读者的分析手段，提高工作效率，提升高级分析的能力。
- ◆ **增加“提示”及“注意”段落**——在通过图形用户界面讲解具体操作的过程中，增加了很多“提示”和“注意”段落，“提示”可以在适当地方给读者一些提示，使读者能迅速理解作者的分析思路及意图，“注意”可以在容易出现问题的地方及时提醒读者注意，避免读者犯一些易犯错误，为读者节省宝贵时间。

- ◆ **光盘内容丰富且配备习题**——购买本书还赠送一张精彩实用的光盘，其中包括每章实例详解例题的数据库文件和命令流文件，读者可以从光盘中直接读取文件并进行相应分析，以最直接的方式快速掌握 ANSYS 软件。光盘中还配备了每章的习题，读者可以亲自动手测试一下自己对知识点的掌握程度。通过对习题的操作练习，对各章知识进行系统的回顾，进而举一反三、触类旁通。

约定

为了便于读者阅读理解，本书作如下约定：

- ◆ 本书用“→”表示上下级菜单或命令的关联，例如 Utility Menu→File→Save as，表示选择通用菜单中的 File 菜单，执行其中的 Save as 命令；又如 Main Menu→Preprocessor→Material Props→Material Models，表示在主菜单中依次选择 Preprocessor、Material Props、Material Models 命令，最后出现 Define Material Model Behavior 对话框，其他依此类推。
- ◆ 在没有特别说明时，“单击”、“双击”表示用鼠标左键单击、双击。
- ◆ 命令流中“!”后面的中文为解释说明部分，读者在使用命令流过程中不必输入。但读者在日后自己编程时，应养成良好习惯，在关键步骤后面加上注解，以便后续的解读。

读者

本书非常适合于作为力学、土木、机械、航空、航天、船舶、水利、交通、桥梁等相关专业高年级本科生或研究生学习《应用软件工程——ANSYS》的主要参考书。对于从事结构分析的工程技术人员，本书也是很有价值的参考资料。

致谢

本书由哈尔滨工业大学航天学院刘伟、高维成、于广滨主编，由哈尔滨理工大学赖一楠教授担任本书的主审。多年以来，作者一直从事哈尔滨工业大学工程力学专业《应用软件工程——ANSYS》课程的教学工作，具有丰富的教学经验；同时作者也使用 ANSYS 软件进行科研、设计工作，完成了许多实际工程问题的仿真计算，具有深厚的有限元理论背景，对 ANSYS 软件的使用也有较深的造诣。参加编写和录入工作的还有张荣、金向阳、于岩磊、程翔、刘一志、牛瑞涛、王兆敏、马胜强、李小乐、徐一轩、周松官、于舒春等，在此一并表示深深的感谢。此外，还要感谢电子工业出版社编辑人员的大力支持，正是他们辛勤的劳动和辛苦的付出，才使得本书能够在第一时间出版。对于在创作过程中一如既往给予关心支持的亲密爱人表示最真挚的感谢。

由于时间仓促且作者的水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请专家和广大读者批评指正，同时也欢迎业内人士来电来函共同探讨。

目 录

第 1 部分 ANSYS 基础	1
第 1 章 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述	2
1.1 ANSYS 12.0 软件介绍	2
1.1.1 ANSYS 发展过程	3
1.1.2 ANSYS 软件功能介绍	3
1.1.3 ANSYS 12.0 的创新之处	6
1.2 ANSYS 12.0 的启动与退出	9
1.2.1 ANSYS 12.0 的启动	9
1.2.2 ANSYS 12.0 的退出	11
1.3 ANSYS 12.0 操作界面与常用菜单	12
1.3.1 ANSYS 12.0 操作界面及输出窗口	12
1.3.2 ANSYS 12.0 应用菜单	13
1.3.3 ANSYS 12.0 主菜单	13
1.3.4 ANSYS 12.0 其他窗口	14
1.3.5 ANSYS 12.0 对话框	14
1.3.6 ANSYS 12.0 帮助菜单	14
1.4 ANSYS 12.0 文件系统与文件操作	16
1.4.1 ANSYS 文件类型	16
1.4.2 ANSYS 文件的存储与恢复	19
1.4.3 读入 ANSYS 文件	19
1.4.4 写出 ANSYS 文件	20
1.4.5 导入导出几何文件	21
1.5 ANSYS 12.0 结构有限元分析	21
1.5.1 有限元分析的基本思想	21
1.5.2 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述	22
1.5.3 ANSYS 12.0 结构有限元分析过程	22
1.6 ANSYS 结构有限元分析初体验：两杆桁架静力分析	25
1.6.1 问题描述与分析	25
1.6.2 求解过程	26
1.7 小结	34
第 2 章 几何建模与网格划分	35
2.1 有限元模型建立概述	35
2.1.1 典型步骤	35
2.1.2 基本方法	36
2.2 ANSYS 坐标系与工作平面	37
2.2.1 坐标系及操作	37
2.2.2 工作平面及使用	41
2.3 自底向上建模	44
2.3.1 定义关键点及操作	45
2.3.2 定义线及操作	46
2.3.3 定义面及操作	47
2.3.4 定义体及操作	48
2.4 自顶向下建模	48
2.4.1 面对象的建立	48



2.4.2	体对象的建立	51
2.5	布尔运算与模型修改	54
2.5.1	布尔运算	54
2.5.2	模型修改	56
2.6	网格属性与划分控制	58
2.6.1	定义单元类型及属性	58
2.6.2	网格划分工具	59
2.6.3	Smartsize 网格划分控制	61
2.6.4	尺寸与形状控制	62
2.7	自由网格与映射网格	64
2.7.1	自由网格划分	65
2.7.2	映射网格划分	66
2.8	小结	69
第 3 章	施加载荷与求解过程	70
3.1	载荷与载荷步	70
3.1.1	载荷的分类	70
3.1.2	载荷步、子步与平衡迭代	71
3.1.3	跟踪中时间的作用	72
3.1.4	阶跃载荷与斜坡载荷	72
3.2	载荷的施加	73
3.2.1	位移约束	73
3.2.2	集中载荷	79
3.2.3	表面载荷	82
3.2.4	体载荷	87
3.3	载荷步选项与多步载荷的创建	89
3.3.1	载荷步选项	89
3.3.2	创建多载荷步	91
3.4	求解	92
3.4.1	求解器选择	93
3.4.2	求解	94
3.5	小结	97
第 4 章	结果后处理	98
4.1	后处理求解器简介	98
4.2	通用后处理器 (POST1)	99
4.2.1	图形显示结果	100
4.2.2	单元表	106
4.2.3	列表显示结果	107
4.2.4	路径操作	110
4.2.5	动画显示结果	113
4.2.6	载荷工况	115
4.2.7	通用后处理器的其他应用	117
4.3	时间历程后处理器 (POST26)	119
4.3.1	变量定义与存储	120
4.3.2	变量操作与查看	122
4.3.3	结果图形显示与列表	123
4.4	小结	127
第 5 章	APDL 编程语言	128
5.1	APDL 语言概述	128
5.2	参数与变量参数的用法	128
5.2.1	参数与变量参数的命名规则	129
5.2.2	变量参数的使用方法	129
5.3	数组参数的用法	130
5.3.1	数组参数概述	139



5.3.2	数组参数的定义	140
5.3.3	数组参数的赋值	141
5.3.4	数组参数的运算	147
5.3.5	矢量和矩阵运算设置	152
5.4	APDL 程序结构	153
5.4.1	子程序调用 (宏嵌套)	154
5.4.2	无条件分支*GO	154
5.4.3	条件分支*IF	155
5.4.4	重复执行一个命令*REPEAT	156
5.4.5	循环命令*DO	157
5.4.6	控制函数列表	157
5.5	宏文件	158
5.5.1	宏的创建	159
5.5.2	宏的使用	161
5.5.3	局部变量	163
5.6	小结	164
第 2 部分 ANSYS 结构有限元分析基本过程		165
第 6 章 ANSYS 杆系结构有限元分析		166
6.1	杆系结构有限元分析基本过程	166
6.1.1	基本假定	167
6.1.2	单元刚度矩阵	167
6.1.3	结构总刚度矩阵	169
6.1.4	边界条件	169
6.1.5	杆件内力	169
6.2	ANSYS 中提供的杆单元简介	169
6.2.1	LINK1 单元特性简介	170
6.2.2	LINK8 单元特性简介	172
6.2.3	LINK10 单元特性简介	173
6.3	杆系结构有限元分析实例详解 1: 传输塔架的静力分析	175
6.3.1	问题描述与分析	175
6.3.2	求解过程	176
6.4	杆系结构有限元分析实例详解 2: 立体桁架的静力分析	188
6.4.1	问题描述与分析	188
6.4.2	求解过程	189
6.4.3	命令流	201
6.5	小结	205
第 7 章 ANSYS 梁系结构有限元分析		206
7.1	梁系结构有限元分析基本过程	206
7.1.1	基本假定	206
7.1.2	单元刚度矩阵	206
7.1.3	结构总体刚度矩阵	208
7.1.4	边界条件及求解	208
7.1.5	空间梁系结构的单元刚度矩阵及坐标变换矩阵	209
7.2	ANSYS 中提供的梁单元简介	209
7.2.1	BEAM3 单元特性简介	210
7.2.2	BEAM4 单元特性简介	213
7.2.3	BEAM188 和 BEAM189 单元特性简介	219
7.3	梁系结构有限元分析实例详解 1: 多跨连续梁静力分析	219
7.3.1	问题描述与分析	220
7.3.2	求解过程	220
7.3.3	命令流	236
7.4	梁系结构有限元分析实例详解 2: 门式钢架静力分析	238
7.4.1	问题描述与分析	238



7.4.2	求解过程	238
7.4.3	命令流	253
7.5	小结	255
第 8 章	ANSYS 板壳结构有限元分析	256
8.1	板壳结构有限元分析基本过程	256
8.1.1	弹性平面问题有限元分析基本思想	256
8.1.2	平面问题的离散化过程	257
8.1.3	单元刚度分析和结构整体分析	258
8.2	ANSYS 中提供的板壳单元简介	258
8.2.1	PLANE42 单元特性简介	258
8.2.2	PLANE82 单元特性简介	261
8.2.3	SHELL63 单元特性简介	262
8.2.4	SHELL93 单元特性简介	262
8.3	板结构有限元分析实例详解 1: 带孔平板结构静力分析	265
8.3.1	问题描述与分析	265
8.3.2	求解过程	265
8.3.3	命令流	277
8.4	壳结构有限元分析实例详解 2: 混凝土圆柱壳结构静力分析	277
8.4.1	问题描述与分析	277
8.4.2	求解过程	278
8.4.3	命令流	290
8.5	小结	291
第 9 章	ANSYS 实体结构有限元分析	292
9.1	实体结构有限元分析基本过程	292
9.1.1	网格划分	292
9.1.2	单元分析	293
9.1.3	整体分析	293
9.2	ANSYS 中提供的实体单元简介	294
9.2.1	SOLID45 单元特性简介	294
9.2.2	SOLID65 单元特性简介	294
9.2.3	SOLID92 单元特性简介	295
9.3	实体结构有限元分析实例详解 1: 立体钢架的静力分析	296
9.3.1	问题描述与分析	296
9.3.2	求解过程	297
9.4	实体结构有限元分析实例详解 2: 轴承座的静力分析	313
9.4.1	问题描述与分析	313
9.4.2	求解过程	314
9.5	小结	336
第 3 部分	ANSYS 高级分析实例详解	337
第 10 章	ANSYS 结构动力学分析	338
10.1	结构动力学分析概述	338
10.2	模态分析及实例详解	339
10.2.1	模态分析理论的基本假设	339
10.2.2	模态分析方法	339
10.2.3	模态分析过程	340
10.2.4	模态分析实例详解: 立体桁架结构模态分析	343
10.3	谐响应分析及实例详解	355
10.3.1	谐响应分析的定义及应用	355
10.3.2	谐响应分析方法	356
10.3.3	谐响应分析步骤	357
10.3.4	谐响应分析实例详解: 两自由度系统谐响应分析	359
10.4	瞬态分析及实例详解	367



10.4.1	瞬态分析的含义和应用	367
10.4.2	瞬态分析求解方法	368
10.4.3	瞬态分析求解步骤	369
10.4.4	瞬态分析实例：移动载荷作用下斜拉悬臂梁结构的瞬态响应分析	370
10.5	谱分析及实例详解	377
10.5.1	谱分析的含义和应用	377
10.5.2	谱分析的类型及方法	377
10.5.3	响应谱分析	378
10.5.4	谱分析实例：地震位移谱作用下三角平台结构响应分析	380
10.6	小结	389
第 11 章	ANSYS 结构非线性分析	390
11.1	结构非线性分析的基本过程	390
11.1.1	结构非线性分析概述	390
11.1.2	几何非线性	391
11.1.3	材料非线性	391
11.1.4	状态非线性	391
11.1.5	非线性分析在 ANSYS 中的实现	392
11.1.6	非线性分析的基本过程	393
11.2	几何非线性有限元分析实例详解 1：细长杆失稳分析	396
11.2.1	问题描述	396
11.2.2	问题分析	396
11.2.3	求解步骤	397
11.2.4	命令流	406
11.3	材料非线性有限元分析实例详解：橡胶圆筒受压分析	407
11.3.1	问题描述	408
11.3.2	问题分析	408
11.3.3	求解步骤	408
11.3.4	命令流	417
11.4	小结	418
第 12 章	ANSYS 结构稳定性分析	419
12.1	结构稳定性分析的基本概念	419
12.1.1	特征值屈曲分析	419
12.1.2	非线性屈曲分析	420
12.2	实例详解 1：悬臂梁受压线性屈曲分析	420
12.2.1	问题描述与分析	420
12.2.2	求解过程（GUI 方法）	421
12.2.3	命令流	429
12.3	实例详解 2：复合材料圆柱壳非线性屈曲分析	430
12.3.1	问题描述与分析	430
12.3.2	求解过程（GUI 方法）	430
12.3.3	命令流	440
12.4	小结	442
第 4 部分	ANSYS 工程应用实战演练	443
第 13 章	ANSYS 在复合材料结构中的应用	444
13.1	ANSYS 中提供的复合材料单元简介	444
13.1.1	SHELL99——线性层状结构壳单元	444
13.1.2	SHELL91——非线性层状结构壳单元	444
13.1.3	SHELL181——有限应变壳单元	445
13.1.4	SOLID46——三维层状结构体单元	445
13.1.5	SOLID191——层状结构体单元	445
13.1.6	其他可用于复合材料分析的单元	445
13.2	复合材料结构有限元分析基本过程	446

13.2.1	定义材料的叠层结构	446
13.2.2	定义失效准则	449
13.2.3	建模和后处理规则	449
13.3	复合材料结构分析实例详解 1: 复合材料梁弯曲分析	451
13.3.1	问题描述与分析	451
13.3.2	GUI 图形化求解过程	452
13.3.3	APDL 命令流求解过程	462
13.4	复合材料结构分析实例详解 2: 复合材料四边简支板模态分析	464
13.4.1	问题描述与分析	464
13.4.2	GUI 图形化求解过程	465
13.4.3	命令流	474
13.5	小结	475
第 14 章	ANSYS 在机械工程中的应用	476
14.1	有限元分析实例详解 1: 扳手的静力分析	477
14.1.1	问题描述与分析	477
14.1.2	求解过程	477
14.1.3	命令流	487
14.2	有限元分析实例详解 2: 壳体零件的静力分析	489
14.2.1	问题描述与分析	490
14.2.2	求解过程	490
14.3	有限元分析实例详解 3: 支架零件模态分析	495
14.3.1	问题描述与分析	495
14.3.2	求解过程	496
14.4	有限元分析实例详解 4: 电机支架的拓扑结构优化设计	502
14.4.1	问题描述与分析	502
14.4.2	电机支架拓扑结构优化设计	502
14.4.3	优化后电机支架的静力分析	506
14.5	小结	511
第 15 章	ANSYS 在土木工程中的应用	512
15.1	实例详解 1: 椭圆形双层网壳结构静力分析	512
15.1.1	问题描述与分析	512
15.1.2	求解过程	513
15.1.3	命令流	522
15.2	实例详解 2: 空间张弦梁结构设计分析	525
15.2.1	问题描述与分析	525
15.2.2	求解过程	525
15.2.3	命令流	539
15.3	实例详解 3: 空腹梁楼盖组合结构模态分析	544
15.3.1	问题描述与分析	544
15.3.2	求解过程	544
15.3.3	命令流	553
15.4	实例详解 4: 悬链面薄膜结构找形分析	555
15.4.1	问题描述与分析	556
15.4.2	求解过程	558
15.4.3	命令流	566
15.5	小结	567
附录 A	ANSYS 结构分析常用命令参考	568
附录 B	ANSYS 结构分析常用单元总结	586
参考文献		587

Part

第 1 部分 ANSYS 基础

第 1 章 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述

第 2 章 几何建模与网格划分

第 3 章 施加载荷与求解过程

第 4 章 结果后处理

第 5 章 APDL 编程语言



第 1 章 ANSYS 12.0 结构有限元分析概述

本章包括

- ◆ ANSYS 12.0 软件介绍
- ◆ ANSYS 12.0 操作界面与常用菜单
- ◆ ANSYS 12.0 结构有限元分析
- ◆ ANSYS 12.0 的启动与退出
- ◆ ANSYS 12.0 文件系统与文件操作
- ◆ ANSYS 初体验：两杆桁架静力分析

有限元分析 (Finite Element Analysis, FEA) 的基本概念是用较简单的问题代替复杂问题, 然后再求解。它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成, 对每个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满足的总的条件 (如结构的平衡条件), 从而得到问题的解。因为实际问题被较简单的问题所代替, 所以这个解不是准确解, 而是近似解。由于大多数实际问题难以得到准确解, 而有限元分析不仅计算精度高, 而且能适应各种复杂形状, 因而成为了行之有效的工程分析手段。国际上著名的通用有限元软件有几十种, 常用的有 ANSYS、NASTRAN、SAP、ADINA 和 ALGOR 等。

ANSYS 公司是世界著名的 CAE 技术公司, 它由匹兹堡大学教授、世界著名的力学分析专家 John Swanson 博士创建于 1970 年, 30 多年来始终以有限元数值模拟领导者的身份为广大工程分析与工程验证用户服务。ANSYS 软件是目前国际上最著名的大型通用有限元分析软件, 经过 30 多年的发展, 已形成融结构、热、流体、电磁、声学及多物理场耦合为一体的大型通用有限元分析软件。作为通用大型商业软件, 它以极高的性能价格比和无可比拟的解题深广度, 广泛应用于航空航天、石油、化工、汽车、造船、铁道、电子、机械制造、地矿能源、水利、核能、生物、医学、土木工程、轻工、一般工业及科学研究等各个领域, 极强的分析功能覆盖了几乎所有的工程问题。作为世界最具权威的有限元产品和工业化分析标准, 目前几乎所有的 CAD/CAE/CAM 软件都竞相开发了与 ANSYS 的专用接口, 以实现数据的共享和交换, 如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS、AutoCAD 等。ANSYS 软件在 Linux 和 Windows 下均有版本, 并同时有 32 位和 64 位版本。目前最新的版本为 12.0。

本章将概括性地介绍 ANSYS 的特点和功能, 并对 ANSYS 的运行环境、工作环境及文件系统进行详细的介绍, 最后对 ANSYS 的有限元分析过程进行讲解, 并以一个简单的两杆桁架为例介绍具体的操作过程。通过本章的学习, 读者可以掌握 ANSYS 的基本知识, 熟悉 ANSYS 的工作环境和文件系统的一般操作, 并能了解 ANSYS 有限元分析的一般步骤。

1.1 ANSYS 12.0 软件介绍

ANSYS 软件主要包括 3 个部分: 前处理模块、分析计算模块和后处理模块。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; 分析计算模块包括结构



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。软件提供了近 200 种单元类型和丰富的材料数据库,用来模拟工程中的各种结构和材料。下面对 ANSYS 12.0 的发展过程、主要功能和创新之处进行介绍。

1.1.1 ANSYS 发展过程

ANSYS 公司于 1970 年成立,是由匹兹堡大学的 John Swanson 博士创建的,其总部位于美国宾州的匹兹堡,在全球拥有 40 多个代理,是世界 CAE 行业最大的公司。ANSYS 公司重点开发开放、灵活的,对设计直接进行仿真的解决方案,提供从概念设计到最终测试产品研发全过程的统一平台,同时追求快速、高效和成本意识的产品开发。公司和其全球网络的渠道合作伙伴为客户提供销售、培训和技术支持一体化服务。2006 年 2 月 16 日,ANSYS 公司宣布收购 Fluent 软件,以加强 ANSYS 仿真解决方案的广泛性、功能性、易用性和协作性。

1.1.2 ANSYS 软件功能介绍

ANSYS 12.0 软件主要包括前处理模块、分析计算模块和后处理模块 3 个部分。启动 ANSYS 后,进入 ANSYS 图形用户界面,从主菜单 Main Menu 可以进入各处理模块:通用前处理模块 PREP7、求解模块 Solution、通用后处理模块 POST1 和时间历程后处理模块 POST26。下面分别对各模块进行介绍。

1.1.2.1 前处理模块 PREP7

选择主菜单 Main Menu 中的 Preprocessor 选项,进入 ANSYS 的前处理模块。该模块中主要有 3 部分内容:参数定义、实体建模和网格划分。

◆ 参数定义

ANSYS 软件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、定义几何参数等。在定义单位制时应注意,除磁场分析外,ANSYS 软件可以使用任意一种单位制,但一定要保证单位制的统一。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。

◆ 实体建模

ANSYS 程序提供了两种实体建模方法:自顶向下与自底向上。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、棱柱等,称为基元,程序则自动定义相关的面、线及关键点。用户可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,从而建立一个实体模型。ANSYS 程序提供了完整的布尔运算,如相加、相减、相交、分割、粘结和重叠等。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。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,即用户先定义关键点,然后依次是相关的线、面、体。

◆ 网格划分

ANSYS 程序提供了使用便捷、高质量的对 CAD 模型进行网格划分的功能,包括 4 种网格划分方法:延伸划分、映像划分、自由划分和自适应划分。延伸网格划分可将一个二维网格延伸成一个三维网格。映像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,生成映像网格。ANSYS 程序的自由网格划分功能是十分强大的,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。

1.1.2.2 求解模块 Solution

在前处理阶段完成建模以后,用户可以在求解阶段获得分析结果。选择主菜单 Main Menu 中的 Solution 选项,进入 ANSYS 的分析求解模块。在该阶段,用户可以定义分析类型、分析选项、载荷数据和载荷步选项,然后开始有限元求解。ANSYS 软件提供的分析类型如下。

◆ 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、大应变及接触分析等。

◆ 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。与静力分析不同,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。

◆ 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地变化。ANSYS 程序可求解静态和瞬态非线性问题,包括材料非线性、几何非线性和单元非线性 3 种。

◆ 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。

◆ 热分析

程序可处理热传递的 3 种基本类型:传导、对流和辐射。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解过程的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。

◆ 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。

◆ 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及对流换热效应。

◆ 声场分析

程序的声学功能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话筒的频率响应,研究音乐大厅中的声场强度分布,或预测水对振动船体的阻尼效应。

◆ 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、麦克风等部件及其他电子设备的结构动态性能分析。可进行 4 种类型的分析:静态分析、模态分析、谐波响应分析和瞬态响应分析。

1.1.2.3 后处理模块 POST1 和 POST26

求解阶段完成之后,用户可以通过后处理模块来观察结果。ANSYS 软件的后处理过程包括两个部分:通用后处理模块 POST1 和时间历程后处理模块 POST26。通过友好的用户界面,可以很容易地获得求解过程的计算结果并对其进行显示。这些结果可以包括位移、温度、应力、应变、速度及热流等,输出形式有图形显示和数据列表两种。

◆ 通用后处理模块 POST1

选择主菜单 Main Menu 中的 General Postpro 选项即可进入通用后处理模块。这个模块能将前面的分析结果以图形形式显示和输出。例如,计算结果(如应力)在模型上的变化情况可用等值线图表示,不同的等值线颜色代表了不同的值(如应力值)。浓淡图则用不同的颜色代表不同的数值区(如应力范围),清晰地反映出计算结果的区域分布情况。POST1 还提供了如误差估计、载荷工况组合、结果数据的计算和路径操作等功能。

◆ 时间历程响应后处理模块 POST26

选择主菜单 Main Menu 中的 TimeHist Postpro 选项即可进入时间历程响应后处理模块。这个模块用于检查在一个时间段或子步历程中的结果,如节点位移、应力或支反力。这些结果可以通过绘制曲线或列表进行查看。绘制一个或多个变量随频率或其他量变化的曲线,有助于形象化地表示分析结果。另外,POST26 还可以进行曲线的代数运算,变量之间可以进行加、减、乘、除运算以产生新的曲线,也可以取绝对值、平方根、对数、指数以及最大和最小值等,还可以对曲线进行微积分运算。