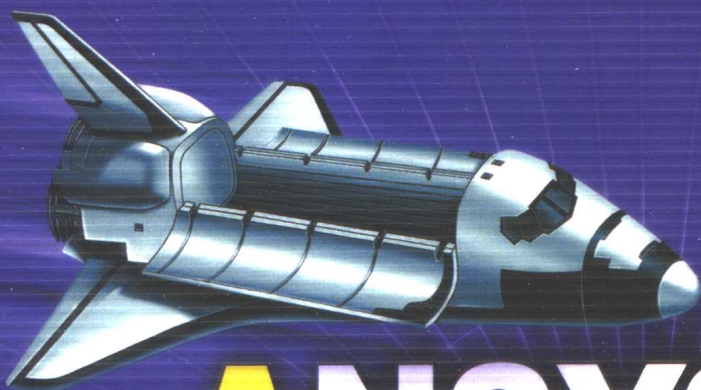


计算机工程应用系列丛书



ANSYS 8.0

有限元分析 实例导航

★ 以最新版本的ANSYS 8.0
为平台

★ 精心挑选多个应用领域广、
兼具典型性和专业性的计
算实例

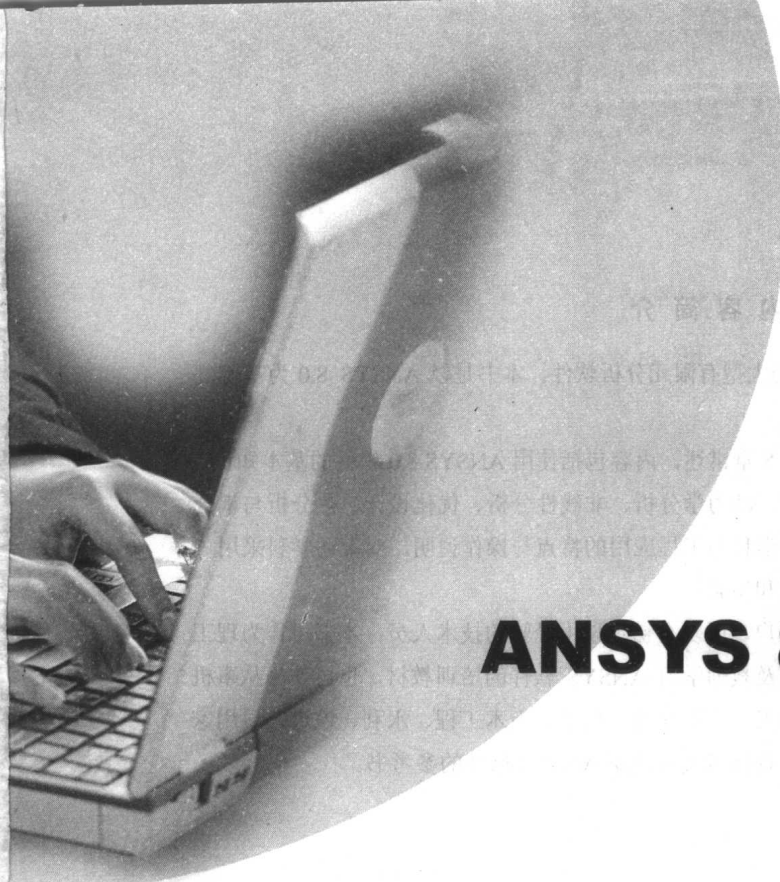
● 邵蕴秋 ● 编著 ●

★ 实例分析步骤详尽清晰，讲
解中大量融入作者宝贵的开
发经验

★ ANSYS是世界上有限元分析
占有率第一名的泛用型工具

★ 注重理论与实际相结合，力
求使读者全面掌握ANSYS工
程分析技术

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



ANSYS 8.0 有限元分析 实例导航

邵蕴秋 编著

中国铁道出版社

2004·北京

内 容 简 介

ANSYS 是由美国 ANSYS 公司推出的大型有限元分析软件, 本书是以 ANSYS 8.0 为基础, 介绍 ANSYS 在工程中的实际应用。

本书根据不同学科和工程应用共分为 8 章讲述。内容包括使用 ANSYS 8.0 软件的基本知识、方法与技巧、建模与网格划分、静力分析、动力学分析、非线性分析、优化设计、热分析与耦合场、计算流体动力学分析等, 介绍了每个学科与工程应用的特点与操作说明, 对上述学科采用 2 至 3 个具体实例介绍了其详细的操作过程和步骤。

本书适用于 ANSYS 软件的初中级用户, 以及有初步使用经验的技术人员; 本书可作为理工科院校相关专业的高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的培训教材, 也可作为从事机械制造、石油化工、轻工、造船、航空航天、汽车交通、电子、土木工程、水利、铁道、日用家电、生物医学等一般工业及科学研究的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 8.0 有限元分析实例导航/邵蕴秋编著. —北京: 中国铁道出版社, 2004.3

ISBN 7-113-05778-0

I. A… II. 邵… III. 有限元分析-应用程序, ANSYS 8.0 IV. 0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 015869 号

书 名: ANSYS 8.0 有限元分析实例导航

作 者: 邵蕴秋

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 严晓舟 郭毅鹏

责任编辑: 苏 茜 王占清 翟玉峰

封面设计: 白 雪

印 刷: 北京兴顺印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25.25 字数: 602 千

版 本: 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN 7-113-05778-0/TP·1147

定 价: 39.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社计算机图书批销部调换。

前 言

ANSYS 公司创建于 1970 年, 当时称为 Swanson 分析系统公司。它开发并在全球各地销售工程模拟软件和技术, 这些产品和技术被多种行业的工程师和设计师采用, 包括航天、汽车、制造、电子和生物医学等各个领域。本书以 ANSYS 公司最新推出的 ANSYS 8.0 为基础, 介绍 ANSYS 软件的有限元分析方面的强大功能。

有限元方法发展到今天, 已成为一门相当复杂的工程实用技术。与学习理论相比, 学习软件的使用要简单得多。读者不需要掌握很深的理论知识, 就可以解决很多实际工程问题。而且, 学习软件的使用, 可以提高读者对有限元方法的感性认识, 这对于学习理论知识将会有很大的帮助。

本书从实际应用出发, 结合作者使用该软件的经验, 对 ANSYS 软件应用较广的领域特别是工程应用领域的一些实例进行了介绍, 采用 GUI 方式一步一步地对实例的操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令, 在每个实例的后面都列出了分析过程的命令流文件。

无论是初级还是高级用户, 在使用本书时都可以采用跳跃式的学习方法。本书除了第 1 章和第 2 章具有一些连续性外, 其他 6 章都相对独立, 甚至其中的每个实例都是独立的, 因此用户在使用本书时, 完全可以按照用户的需要挑选感兴趣的章节进行学习和模仿, 这样可以帮助用户能够更快地学习和掌握某个工程问题的分析过程与步骤。

本书共分 8 章: 第 1 章介绍了 ANSYS 软件的分析功能、特点和操作指南; 第 2 章讲述了有限元模型和几何模型之间的区别和联系, 结合实例介绍了几何模型的建立和有限元网格的划分; 第 3 章结合实际工程的应用问题介绍了结构线性静力分析的过程与操作步骤; 第 4 章结合实例介绍了动力学分析的分析过程与步骤; 第 5 章通过实例介绍了非线性分析; 第 6 章介绍了优化设计的实例; 第 7 章介绍了热分析和耦合分析的实例; 第 8 章对计算流体动力学进行了介绍。

本书的作者一直从事工程设计及通用有限元方面的应用、研究、开发以及教学工作, 跟踪各种 ANSYS 技术的发展。作者在本书的体系结构上作了精心的安排, 通过书中各章所分析的非常具有代表性的实例, 力求通过大量的实例制作, 让读者能够轻松、迅速地掌握通过 ANSYS 进行数学模型与有限元模型构造的方法与技巧。

本书由邵蕴秋执笔编写。此外, 蓝荣香、王昊亮、喻波、马天一、魏勇、郝荣福、李光龙、孙明、李大宇、武思宇、牟博超、李彬、付鹏程、高翔、朱丽云、崔凌、张巧玲、程梅和金春范等同志在整理材料方面给予了编者很大的帮助, 在此, 对他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 加之作者的水平有限, 缺点和错误在所难免, 恳请专家和广大读者不吝赐教, 批评指正。也可以通过 E-Mail (sqq_books@263.net) 与作者进行交流。

编 者
2004 年 2 月

目 录

第 1 章	ANSYS 8.0 简介	1
1-1	ANSYS 8.0 的发展历史	2
1-2	ANSYS 8.0 的组成与特点	2
1-2-1	ANSYS 8.0 的组成	2
1-2-2	ANSYS 8.0 的技术特点	4
1-3	ANSYS 8.0 的功能	4
1-3-1	ANSYS 8.0 的基本功能	4
1-3-2	ANSYS 8.0 的高级功能	5
1-4	ANSYS 8.0 的基本操作	7
1-4-1	ANSYS 8.0 的使用环境	7
1-4-2	ANSYS 8.0 的基本操作	10
1-4-3	ANSYS 8.0 的图形用户界面	13
1-4-4	ANSYS 8.0 的图形拾取操作	17
1-4-5	使用日志文件	21
1-5	本章小结	22
第 2 章	实体建模实例操作	23
2-1	建模基础	24
2-1-1	模型生成	24
2-1-2	坐标系统	25
2-1-3	工作平面	26
2-1-4	实体建模的基本操作	26
2-1-5	有限元模型	27
2-1-6	规划模型	32
2-2	实例 1: 连杆的实体建模	34
2-2-1	定义工作文件名及工作标题	35
2-2-2	创建 2D 模型	35
2-2-3	生成 3D 实体模型	39
2-3	实例 2: 轴承座的实体建模	40
2-3-1	定义工作文件名及工作标题	41
2-3-2	生成基底模型	41
2-3-3	生成支撑部分	42
2-3-4	生成三棱柱	46

有限元分析实例导航

2-4 实例 3: 车轮的实体建模.....	48
2-4-1 定义工作文件名及工作标题.....	48
2-4-2 创建 2D 模型.....	48
2-4-3 生成 3D 模型.....	51
2-5 有限元模型建模范例.....	54
2-5-1 车轮的网格划分.....	54
2-5-2 火箭的网格划分.....	59
2-6 本章小结.....	62
第 3 章 结构线性静力分析实例.....	63
3-1 结构静力分析过程与步骤.....	64
3-1-1 建立模型.....	64
3-1-2 施加载荷并求解.....	64
3-1-3 检查结果.....	67
3-2 实例 1: 发射塔的结构分析.....	69
3-2-1 问题的描述.....	69
3-2-2 前处理.....	69
3-2-3 求解.....	72
3-2-4 后处理.....	74
3-2-5 退出 ANSYS.....	75
3-2-6 命令流方式.....	75
3-3 实例 2: 自行车框架的结构分析.....	78
3-3-1 问题的描述.....	78
3-3-2 前处理.....	78
3-3-3 求解.....	81
3-3-4 后处理.....	83
3-3-5 退出 ANSYS.....	84
3-3-6 命令流方式.....	84
3-4 实例 3: 薄板圆孔的应力分析.....	86
3-4-1 问题的描述.....	86
3-4-2 前处理.....	87
3-4-3 求解.....	90
3-4-4 后处理.....	92
3-4-5 退出 ANSYS.....	95
3-4-6 命令流方式.....	95
3-5 实例 4: 陶瓷套管的应力分析.....	98
3-5-1 问题的描述.....	98
3-5-2 前处理.....	99

3-5-3 求解.....	103
3-5-4 后处理.....	104
3-5-5 退出 ANSYS.....	106
3-5-6 命令流方式.....	106
3-6 本章小结.....	108
第 4 章 动力学分析实例.....	109
4-1 动力学分析过程与步骤.....	110
4-1-1 模态分析的过程和步骤.....	110
4-1-2 谐响应分析的过程和步骤.....	115
4-1-3 瞬态动力学分析的过程和步骤.....	119
4-2 实例 1: 机翼的模态分析.....	124
4-2-1 问题描述.....	124
4-2-2 前处理.....	124
4-2-3 加载及求解.....	131
4-2-4 观察结果(后处理).....	135
4-2-5 扩展模态.....	136
4-2-6 对扩展模态进行后处理.....	138
4-2-7 退出 ANSYS.....	141
4-2-8 命令流方式.....	141
4-3 实例 2: 双一质量一弹簧系统谐响应分析.....	143
4-3-1 问题描述.....	143
4-3-2 前处理.....	143
4-3-3 加载及求解.....	148
4-3-4 观察结果(后处理).....	150
4-3-5 退出 ANSYS.....	152
4-3-6 命令流方式.....	152
4-4 实例 3: 梁一集中质量结构的瞬态减缩法分析.....	153
4-4-1 问题描述.....	153
4-4-2 前处理.....	154
4-4-3 加载及求解.....	158
4-4-4 观察结果(后处理).....	161
4-4-5 退出 ANSYS.....	164
4-4-6 命令流文件.....	164
4-5 本章小结.....	166

第 5 章 非线性分析实例	167
5-1 非线性分析过程与步骤	168
5-1-1 非线性分析的基本概念	168
5-1-2 非线性分析的过程与步骤	173
5-2 实例 1: 二维梁临界失稳分析	181
5-2-1 问题描述	181
5-2-2 前处理	181
5-2-3 求解	185
5-2-4 后处理	189
5-2-5 退出 ANSYS	189
5-2-6 命令流方式	190
5-3 实例 2: 静载荷和周期载荷作用下的圆盘塑性分析	190
5-3-1 问题描述	190
5-3-2 前处理	191
5-3-3 求解	196
5-3-4 通用后处理	202
5-3-5 时域后处理	204
5-3-6 退出 ANSYS	209
5-3-7 命令流方式	209
5-4 实例 3: 圆柱套筒的接触分析	213
5-4-1 问题的描述	213
5-4-2 前处理	213
5-4-3 求解	222
5-4-4 后处理	224
5-4-5 退出 ANSYS	229
5-4-6 命令流方式	229
5-5 本章小结	234
第 6 章 优化设计实例	235
6-1 优化设计过程与步骤	236
6-1-1 优化设计的相关概念	236
6-1-2 优化设计的过程与步骤	238
6-2 实例 1: 三杆桁架的优化设计	247
6-2-1 问题描述	247
6-2-2 前处理	247
6-2-3 求解	251
6-2-4 优化设置	252



6-2-5	查看优化结果.....	257
6-2-6	退出 ANSYS	261
6-2-7	命令流方式.....	261
6-3	实例 2: 悬臂梁形状的优化	263
6-3-1	问题的描述.....	263
6-3-2	前处理.....	264
6-3-3	求解.....	268
6-3-4	后处理.....	270
6-3-5	优化处理.....	273
6-3-6	查看优化结果.....	275
6-3-6	退出 ANSYS	277
6-3-7	命令流方式.....	277
6-4	本章小结	279

第 7 章 热分析和耦合分析实例

281

7-1	热分析和耦合分析的过程和步骤	282
7-1-1	热分析的过程与步骤	282
7-1-2	耦合分析的过程和步骤	290
7-2	实例 1: 冷却栅管的热分析和热应力分析 (间接法)	295
7-2-1	问题描述	295
7-2-2	热分析前处理	296
7-2-3	热分析加载及求解	301
7-2-4	热分析后处理	303
7-2-5	热分析命令流方式	304
7-2-6	间接法热应力分析前处理	306
7-2-7	热应力分析加载及其求解	307
7-2-8	热应力分析后处理	309
7-2-9	退出 ANSYS	312
7-2-10	热应力分析命令流方式	312
7-3	实例 2: 焊缝的残余应力及温度场分析 (直接法)	313
7-3-1	问题的描述	313
7-3-2	前处理	314
7-3-3	加载并求解	323
7-3-4	后处理	333
7-3-5	退出 ANSYS	339
7-3-6	命令流方式	339
7-4	本章小结	346

第 8 章	计算流体动力学分析实例	347
8-1	CFD 分析的概念与基本步骤	348
8-1-1	FLOTRAN CFD 分析的功能	348
8-1-2	FLOTRAN 分析的类型	348
8-1-3	FLOTRAN 分析的步骤	349
8-1-4	FLOTRAN 分析中产生的文件性质	350
8-1-5	FLOTRAN 分析中注意事项	352
8-2	实例 1: 导流管的流速分析	354
8-2-1	问题的描述	354
8-2-2	前处理	355
8-2-3	求解	360
8-2-4	后处理 (观察层流分析的结果)	363
8-2-5	确定流体粘性如何影响流场特性	364
8-2-6	退出 ANSYS	368
8-2-7	命令流方式	369
8-3	实例 2: 空腔的热稳态层流分析	375
8-3-1	问题的描述	375
8-3-2	前处理	375
8-3-3	求解	378
8-3-4	后处理	382
8-3-5	退出 ANSYS	387
8-3-6	命令流方式	387
8-4	本章小结	394

Chapter

1

ANSYS 8.0 简介

本章要点

- ✕ ANSYS 8.0 软件的发展历史
- ✕ ANSYS 8.0 软件的组成及其特点
- ✕ ANSYS 8.0 软件的基本功能及其高级功能
- ✕ ANSYS 8.0 软件的基本操作

1-1 ANSYS 8.0 的发展历史

ANSYS 是融结构、热、流体、电磁和声学于一体的大型 CAE 通用有限元分析软件，可广泛用于核工业、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、生物医学、轻工、地矿、水利以及日用家电等一般工业及科学研究。该软件可在大多数计算机及操作系统（如 Windows、UNIX、Linux、IRIX 和 HP-UX）中运行。从 PC 到工作站直至巨型计算机，ANSYS 文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容。ANSYS 的第 1 个集成计算机流体动力学（CFD）功能也是第 1 个，并且是惟一个包括多物理场分析功能的软件。

ANSYS 是 ANalysis SYStem 的简写，是一种广泛性的商业套装工程分析软件。该软件从 1971 年的 2.0 版本至现在的 8.0 版本，已有 30 多年的历史。目前已有许多国际化大公司以 ANSYS 作为其标准。其版本号的第 1 个数字表示软件本身有重大的改进及更新，第 2 个数字表示有小幅度改进及更新，如表 1-1 所示。

表 1-1 ANSYS 发展历程

版 本	年 份	版 本	年 份	版 本	年 份
2.0	1971	4.4	1989	5.5	1999
3.0	1978	5.0	1992	5.7	2001
4.0	1982	5.1	1995	6.0	2001
4.1	1983	5.2	1996	6.1	2002
4.2	1985	5.3	1996	7.0	2002
4.3	1987	5.4	1997	8.0	2004

1-2 ANSYS 8.0 的组成与特点

本节详细介绍了 ANSYS 8.0 软件的 3 个组成模块，并对 ANSYS 8.0 软件独特的技术特点进行了一一列举和陈述。

1-2-1 ANSYS 8.0 的组成

ANSYS 8.0 分析过程包括 3 个阶段：前处理、求解及后处理。

（1）前处理模块

前处理用于定义求解所需的数据。用户可选择坐标系统、单元类型、定义实常数和材料特性、建立实体模型并对其进行网格剖分、控制节点和单元以及定义耦合和约束方程。通过运行一个统计模块，用户还可预测求解过程所需的文件大小及内存需求。

在 ANSYS 中，坐标系统用于定义空间几何结构的位置、节点自由度的方向、材料特性的方向以及改变图形的显示和列表。程序中可用的坐标系统类型有笛卡儿坐标、柱坐标、球坐标、椭圆坐标及环坐标，这些坐标系统均能在任意空间和任意方向设置。用户在前处理阶段输入的数据将成为 ANSYS 集中数据库的一部分，该数据库坐标系表、单元类型表、材料

特性表、关键点表、节点表以及载荷表等组成。定义某个表中的数据后,该数据即可通过表项编号被引用。例如用户定义几个坐标系后,可通过简单地引用相应的坐标系编号(表项编号)激活它们。一套数据库控制命令可用于选择数据库的部分数据,以完成特定操作。基于一定的标准,诸如几何位置、实体模型图元、单元类型、材料类型及节点和单元编号等,用户可选择所需的数据,例如基于几何位置比基于节点和单元的编号更易于定义或改变复杂的边界条件。虽然用户可输入与模型有关的多方面的信息,但在求解过程中程序只使用特定分析所需的那部分数据。把模型划分成组元是选择模型数据的另一个便利方法,所谓组元是指用户为了清晰或组织合乎逻辑而定义的几何图元组。为了清楚显示一个复杂模型的各个部分,组元可以显示成不同颜色。

ANSYS 8.0 提供了广泛的模型生成功能,使用户可快捷地建立实际工程系统的有限元模型。它提供了3种不同的建模方法,即模型导入、实体建模及直接生成。每种方法有其独特的特性和优点,用户可选择其一或其组合建立分析模型。

(2) 求解模块

在前处理阶段完成建模后,用户在求解阶段已通过求解器获得分析结果。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,然后开始有限元的求解。

直接求解器,如波前求解器可计算出线性联立方程组的精确解。ANSYS 还提供了一个既可用于线性分析,又可用于非线性分析的有效的稀疏矩阵求解器。在要求求解精度和求解时间的静态及瞬态分析中,该求解器可代替迭代求解器。由于该求解器基于方程的直接消去,因而可容易地处理病态矩阵。对于接触状态可改变拓扑结构并影响波前宽度的非线性分析,以及模型为具有多个波前的多分支结构的任何分析,如涡轮发动机的叶片以及汽车的排气系统,该求解器都较为适用。这个求解器只能用于真正的对称矩阵,与波前及其他直接求解器相比,能显著加速求解速度。

作为直接求解器的代替,用户可激活一个迭代求解器,这在求解大规模问题时,可节省计算机资源,并减少计算时间。几乎所有的分析问题都是求解一系列的线性联立方程组,迭代求解器通过迭代求出近似解。

ANSYS 提供了预条件共轭梯度(PCG)求解器,它是一个称为 PowerSolver 的高效求解器、Jacobi 共轭梯度(JCG)求解器,以及不完全 Cholesky 共轭梯度(ICCG)求解器。针对特定的问题,用户可从中任选一个最合适的求解器求解,从而最大限度地提高效率。一般来说,迭代求解器更适用于大而复杂的问题。对于求解场问题(包括声场、传热场以及电磁场问题),以及具有对称、稀疏、正定矩阵的其他大型问题,迭代求解器更为有效。

(3) 后处理模块

ANSYS 的后处理过程在前处理和求解过程之后,它可以通过友好的用户界面获得求解过程的计算结果并对这些结果进行运算。例如这些结果可能包括位移、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。在交互式后处理过程中,图形可联机输出到显示设备上或脱机输出到绘图仪上。由于后处理阶段完全同 ANSYS 前处理和求解阶段集成在一起,故求解结果已存于数据库且能立即查看。

在求解阶段,分析结果写入 ANSYS 数据库及结果文件。单个子步的结果作为数据集保存,每个数据集可用的数据量和类型由所完成的分析类型及求解阶段设置的选项来控制。对于某个分析的每一载荷步,用户可指定每个子步、最终子步或最终子步和中间子步的组合写

数据集, 用户同样可以选择写数据组的范围, 如位移、应力及反作用力。

后处理访问数据集的方法有两种: 一是用通用后处理器 POST1 检查整个模型或模型的某一部分中任意一个特定数据集的结果; 二是用时间历程后处理器 POST26 跨多个数据集检查选择的部分模型数据, 如特定节点的位移或单元应力。数据从结果文件读出后, 数据保存于 ANSYS 数据库中。后处理中允许访问所有输入数据 (几何模型、材料和载荷等)。使用交互方式可以很方便地进行数据库操作并立即提供结果图形和结果列表。通过 Q 切片功能可以得到所分析的模型在任何平面的结果。

1-2-2 ANSYS 8.0 的技术特点

ANSYS 8.0 的技术特点如下。

- (1) 惟一能实现多场及多场耦合功能的软件。
- (2) 惟一实现前后处理、分析求解及多场分析统一数据库的大型 FEA 软件。
- (3) 独一无二的优化功能, 惟一具有流场优化功能的 CFD 软件。
- (4) 融前后处理与分析求解于一身。
- (5) 强大的非线性分析功能。
- (6) 快速求解器。
- (7) 最早采用并行计算技术的 FEA 软件。
- (8) 从个人机、工作站、大型机直至巨型机所有硬件平台上全部数据文件兼容。
- (9) 智能网格划分。
- (10) 支持从 PC、WS 到巨型机的所有硬件平台。
- (11) 从个人机、工作站、大型机, 直至巨型机所有硬件平台上统一用户界面。
- (12) 可与大多数的 CAD 软件集成并有接口。
- (13) 多层次多框架的产品系列。
- (14) 良好的用户开发环境。

1-3 ANSYS 8.0 的功能

ANSYS 软件的功能强大, 并不是其他商业软件可以比拟的, 主体上有 ANSYS 的基本功能和高级功能之分。

1-3-1 ANSYS 8.0 的基本功能

(1) 结构静力分析

用来求解外载荷引起的位移、应力和力, 很适合于求解惯性及阻尼对结构响应影响并不显著的问题, 这种分析类型广泛应用于机械工程和结构工程。静力分析包括非线性, 如塑性、蠕变、膨胀、大变形、大应变及接触面等。非线性静力分析通常通过逐渐施加载荷完成, 以获得精确解。

(2) 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, 它考虑载荷随时间的变化及阻尼和惯

性影响。这类载荷包括交变力（旋转机械）、冲击力（冲击或爆炸）、随机力（地震）及其他瞬态力（诸如桥上的运动载荷）。ANSYS 可求解下列类型的动力学分析问题，如瞬态动力、模态、谐波响应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、几何非线性和单元非线性 3 种。

（4）动力学分析

ANSYS 可以分析大型 3D 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

程序可处理热传递的 3 种基本类型，即传导、对流和辐射，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溶解过程的分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

主要用于电磁场问题的分析，如电感、电容、磁通量密度、涡流、电场分析、磁力线分布、力、运动效应、电路和能量损失等。还可以用于螺线管、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）计算流体动力学分析

能进行流体动力学分析，分析类型可为瞬态或稳态。分析结果可以是每个节点的压力和通过每个单元的流率，并可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，还可使用 3D 表面效应单元和热——流管单元模拟结构的流体绕流并包括对流换热效应。

（8）声场分析

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。这些功能可以用来确定音响话筒的频率响应，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

用于分析 2D 或 3D 结构对交流（AC）、直流（DC）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，包括静态分析、模态分析、谐波响应分析和瞬态响应分析。

1-3-2 ANSYS 8.0 的高级功能

（1）多物理场耦合分析

考虑两个或多个物理场之间的相互作用。如果两个物理场之间相互影响，单独求解一个物理场不可能得到正确结果。例如，在压/电力分析中，需要同时求解电压分布（电场分析）和应变（结构分析）。耦合场分析适用于下列类型的相互作用。

- 热—应力分析（压力容器）；热—结构分析；热—电分析。
- 热—流体分析；磁—热分析（感应加热）；磁—结构分析。
- 感应振荡分析；电磁—电路分析；电—结构分析。

有限元分析实例导航

- 电—磁分析；电—磁—热分析；电—磁—热—结构分析。
- 压力—结构分析；速度—温度—压力分析；稳态—流—固体分析。

(2) 优化设计

优化设计是一种寻找确定最优方案的技术。设计方案的任何方面都是可以优化的，如尺寸（厚度）、形状（如过渡圆角的大小）、支撑位置、制造费用、自然频率和材料特性等。实际上，所有可以参数化的 ANSYS 选项均可做优化设计。

(3) 拓扑优化

拓扑优化是指形状优化，也称为外形优化。其目标是寻找承受单载荷或多载荷物体的最佳材料分配方案，这种方案在拓扑优化中表现为“最大刚度”设计。用户只需要给出结构的参数（材料特性、模型、载荷等）和要省去的材料百分比，程序即可自动进行优化。

(4) 单元生死

如果模型中加入（或删除）材料，模型中相应的单元就“存在”（或“消亡”）。单元生死选项用于在这种情况下杀死或重新激活单元。该功能主要用于钻孔（如开矿和挖隧道等）、建筑物施工过程（如桥梁的建筑过程）、顺序组装（如分层的计算机芯片组装）和另外一些用户可以根据单元位置来方便地激活或不激活它们的一些应用中。

(5) 用户可扩展功能（UPF）

ANSYS 8.0 的开放结构允许连接自己的 FORTRAN 程序和子过程，UPF 支持如下特性：

- 用户单元坐标系定位：用于下列单元类型：SHELL43、SHELL63、SHELL91、SHELL9、SHELL99、SHELL181、SOLID46 和 SOLID64。对于分层的单元，可以定义层的坐标系方位。
- 用户实参：单元 COMBIN7 和 COMBIN37 允许实参在用户的非线性功能中修改。
- 用户摩擦系数：适用于接触单元 CONTAC48 和 CONTAC49。
- 用户塑性屈服准则：允许用户定义塑性屈服准则计算塑性应变并在积分点处生成切向应力应变矩阵。
- 用户蠕变方程：允许用户定义自己的蠕变方程。
- 用户熔胀准则：如果在分析中记入熔胀（如中子爆炸），可定义合适的熔胀准则。程序内部没有熔胀准则。
- 用户湿热生成：允许计入由潮湿成分引起的热膨胀，限于单元 SHELL91。
- 用户超弹性：适用于超弹性单元。
- 用户失效准则：适用于单元 SOLID46 和 SHELL99，可以定义不超过 6 个失效准则。
- 用户粘弹性：对于单元 FLUID141 和 FLUID142，可以将粘弹性作为压力、温度、位置、时间、速度和速度梯度的函数定义。
- 用户荷载：体荷载如温度、热生成和频率（中子流），面荷载如压力、对流、热流和电势密度等可用子程序定义。
- 用户荷载向量：对于单元 PIPE59，允许用户生成复数的荷载向量用于频率范围逻辑。可以用其代表水动力荷载。
- ANSYS 作为子程序：可以在用户程序中将 ANSYS 作为子程序调用。
- 用户优化：可以用自己的算法和中断准则替换 ANSYS 优化过程。

1-4 ANSYS 8.0 的基本操作

本节主要从以下几个方面对 ANSYS 8.0 软件的基本操作进行了说明：

- (1) ANSYS 8.0 的使用环境。
- (2) ANSYS 8.0 的基本操作方法。
- (3) 图形用户界面。
- (4) 图形拾取操作。
- (5) 日志文件的使用。

1-4-1 ANSYS 8.0 的使用环境

ANSYS 8.0 可分成两个基本过程，即起始状态（Begin Level）和处理状态（Processor Level）。起始状态可用来控制某些全局性的问题，如改变工作文件名、清除数据库内的数据、复制二进制文件等，用户进入 ANSYS 后即处于起始状态。

进入处理器状态时，每个处理器由一系列能完成指定分析任务的函数组成。如前处理器（Preprocessor 或 PREP7）用来建立分析模型，求解器（Solution）用来施加载荷和求解，并获得计算结果等。

(1) ANSYS 的处理器

用户需要进入某个处理器时，只要单击 Main Menu 中的该处理器，或在 GUI 中输入该处理器的命令后按回车键。ANSYS 8.0 中可用的处理器一览，如表 1-2 所示。

表 1-2 ANSYS 8.0 中的可用处理器一览

处理器	功 能	GUI 路径	命 令
PREP7	建立模型（几何和材料）	Main Menu\Preprocessor	/PREP7
SOLUTION	施加载荷并求解	Main Menu\Solution	/SOLU
POST1	浏览某时刻的结果	Main Menu\General Postproc	/POST1
POST26	浏览某点在一段时间内的结果	Main Menu\TimeHist Postpro	/POST26
OPT	进行优化设计	Main Menu\Design Opt	/OPT
PDS	就有限元分析的结果对输入的有限元单元变量定量化其离散与不确定性	Main Menu\Prob Design	/PDS
AUX2	转换二进制文件使其更易读	Utility Menu\File>List\Binary Files\Utility Menu\List\File\Binary Files	/AUX2
AUX12	计算视角系数并生成辐射矩阵（热分析）	Main Menu\Radiation Matrix	/AUX12
AUX15	从 CAD 或 FEA 软件调入文件到 ANSYS 中	Utility Menu\File\Import	/AUX15
RUNSTAT	对某个分析预测 CPU 时间和波前法的内存	Main Menu\Run-Time Stats	/RUNST

当用户从处理器状态回到起始状态时，只要选择 Main Menu>Finish 选项，也可输入