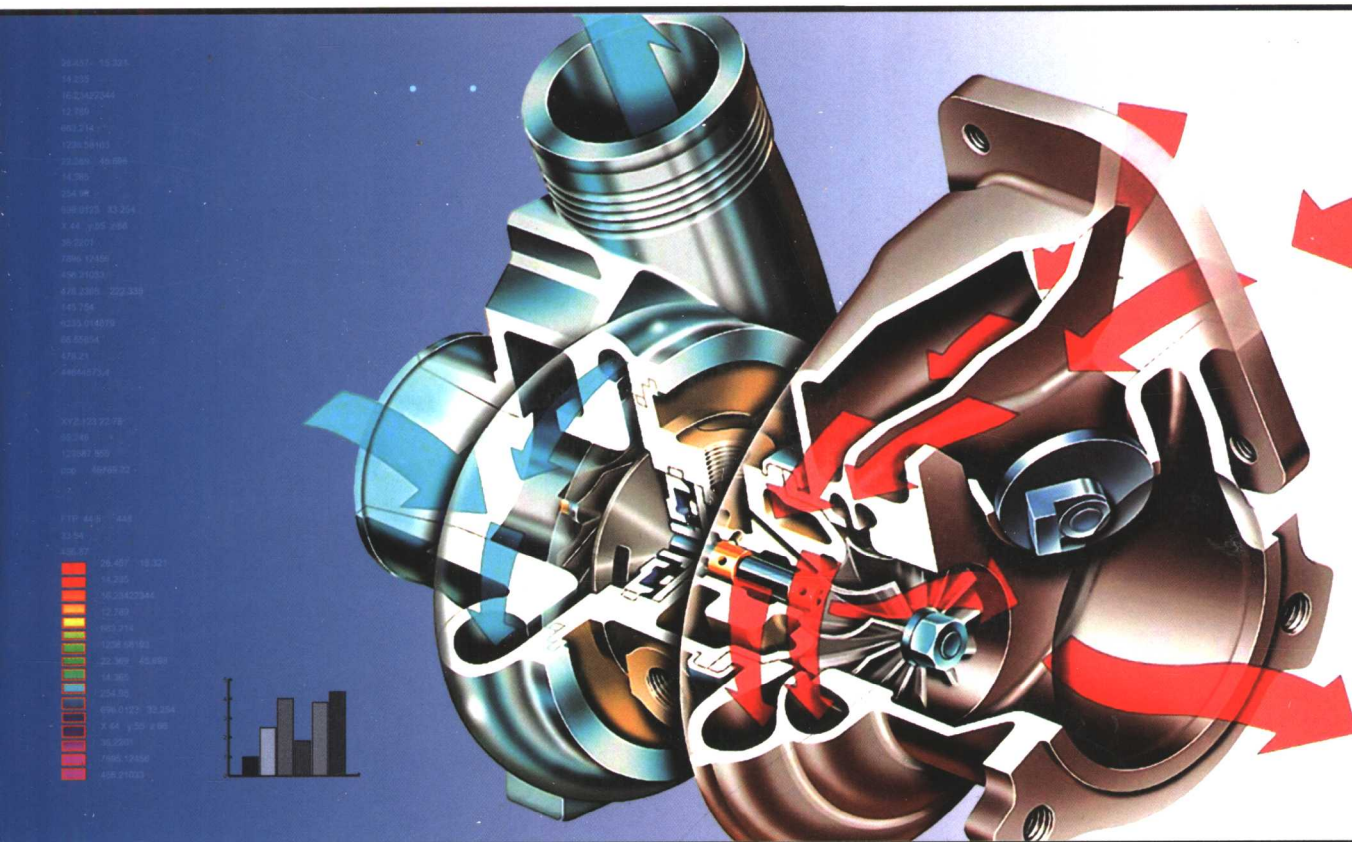




ANSYS 10.0

结构分析从入门到精通

段进 倪栋 王国业 编著

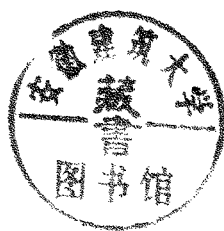


- 按照“建立模型、完成分析、查看结果”的顺序介绍ANSYS 10.0的功能和用法
- 以有限元分析法为基础，以作者5年经验为根基，选用多行业的9个典型工程实例，阐述工程背景，介绍ANSYS在各个专业领域的应用
- 书中所有实例都提供多媒体教学录像和命令流文件

0241.82-39
8D

ANSYS 10.0 结构分析从入门到精通

段 进 倪 栋 王国业 编著



兵器工业出版社

北京科海电子出版社

内 容 简 介

本书用命令流和图形用户界面 GUI 两种方式, 结合多个专业的典型工程实例, 详细地介绍了大型通用有限元软件 ANSYS 10.0 及其在各专业领域的应用方法, 从较深层次上回答了读者在使用 ANSYS 进行结构分析时最需要解决的各种问题。

全书共分两大部分: 第 1 部分是 ANSYS 结构分析基础, 按照建立模型、完成分析、查看结果的实际工作流程进行讲解, 内容包括建模、分网、加载、求解和后处理等; 第 2 部分则以专题的形式, 结合 9 个有代表性的专业范例, 对相应的结构分析方法和过程进行详细介绍, 包括结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析、谱分析、非线性分析、结构屈曲分析、接触问题分析和结构优化设计等。对于每一个专题, 都对专业分析理论和软件操作方法进行深入剖析, 给出了详尽的解题思路和解答过程; 对于每一个案例, 都用多媒体动画的形式演示具体分析方法和操作过程。

本书语言通俗, 内容翔实, 突出以实例讲解的特点, 可作为 ANSYS 初学者和有一定基础的读者使用, 同时也可作为理工院校相关专业高年级学生、研究生的教学参考书。书中的实例对广大工程设计人员也有一定的借鉴作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 10.0 结构分析从入门到精通/段进, 倪栋,
王国业编著. —北京: 兵器工业出版社; 北京科海
电子出版社, 2006.10

ISBN 7-80172-741-X

I. A... II. ①段...②倪...③王... III. 有限元分析—
应用程序, ANSYS 10.0 IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 100422 号

出版发行: 兵器工业出版社 北京科海电子出版社

邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟 10 号

100085 北京市海淀区上地七街国际创业园 2 号楼 14 层

www.khp.com.cn

电 话: (010) 82896442 62630320

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市艺辉印刷有限公司

版 次: 2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

封面设计: 林 陶

责任编辑: 李翠兰 安 靖

责任校对: 王 华

印 数: 1-4000

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 27

字 数: 656 千字

定 价: 46.00 元 (1 张多媒体光盘)

前 言

自从 20 世纪 60 年代 Clough 第一次提出“有限单元法”这个概念以来,经过 40 多年的发展,如今已经成为工程分析中应用最广泛的数值计算方法。伴随着计算机科学和技术的飞速发展,有限单元法(或称有限元法)现已成为计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)的重要组成部分。

1970 年成立于美国宾西法尼亚州的 ANSYS 公司致力于 CAE(计算机辅助工程分析)技术的研究和发展,它基于有限元理论开发出 ANSYS 软件,帮助企业优化设计流程,使企业在最短的时间内开发出高质量的产品。ANSYS 软件灵活、开放的解决方案为从概念设计到最终测试的设计全过程提供了有效的协同仿真环境,使客户可以在设计的各阶段大规模采用 CAE 技术,最大程度地发挥 CAE 对设计流程的贡献,大幅度地缩短研发流程,降低研发费用,提高设计质量。所以,ANSYS 软件早已被很多行业采用,包括机械制造、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、日用家电和生物医学等各个领域。

本书基于 ANSYS 软件的最新版本(10.0 版本),从实际应用出发,结合作者使用该软件的经验,详细介绍了怎样利用 ANSYS 软件建立模型、完成分析、查看结果的全过程。然后在此基础上,又针对工程中广泛应用的结构分析进行详细的实例介绍,采用 GUI 方式(菜单模式)对实例的操作过程和步骤进行细致讲解,并在每个实例的后面给出了分析过程的命令流文件。同时,为了帮助用户更快、更好地掌握 ANSYS 分析技术,本书的附赠光盘里提供了全书实例分析的录像文件,详细演示了各个实例的具体分析方法和操作过程。因此,用户通过观看录像来学习和模仿相当于作者在旁边手把手地指导,相信一定能取得事半功倍的效果。

除了绪论之外,本书共分为 14 章,包括基础知识 5 章和专题讨论 9 章。第 1 章和第 2 章详细介绍了几何模型的建立以及如何对几何模型划分网格建立有限元模型,这是整个结构分析的基础;第 3 章和第 4 章详细介绍了如何给模型施加载荷以及求解,相当于结构分析的过程;第 5 章详细介绍了对分析结果进行后处理,即查看计算结果并对其作相应的处理;第 6 章针对悬臂梁结构详细介绍了结构静力学分析;第 7 章针对压电变换器详细介绍了模态分析;第 8 章针对弹簧质子系统详细介绍了谐响应分析;第 9 章针对哥伦布阻尼的自由振动问题详细介绍了瞬态动力学分析;第 10 章针对支撑平板详细介绍了谱响应分析(即随机振动分析);第 11 章针对螺栓的蠕变问题详细介绍了非线性分析;第 12 章针对框架结构详细介绍了屈曲分析;第 13 章针对陶瓷套管问题详细介绍了接触分析;第 14 章针对框架结构详细介绍了结构优化设计。

本书由段进、倪栋、王国业执笔编写，由胡仁喜统稿。此外，黄展翔、陈郴、章晓彬、李明、庄浩海、易磊、周涛、戴卫明、何青山、李群、杜英杰、关霏、吴凌风、刘淼、欧阳青、张志华、上官云、杨志平、许春生、宋波等在成书过程中做了很多工作，在此一并致谢。

编 者
2006年8月

光盘使用说明

本书附赠一张光盘，其中包含全书所有实例源文件和操作过程录屏 AVI 文件。本光盘仅供读者交流和学习使用，不得用作任何商业用途。

光盘在使用过程中如有问题请按照以下说明解决：

1. 本光盘为多媒体教学光盘，在光驱插入光盘后，自动进入多媒体播放界面。读者通过该界面可以查看本书所有实例操作过程的录屏 AVI 文件。
2. 最好把显示器的分辨率设置为 1024×768。
3. 有时安装了播放器后也不能播放。这是由于用户的计算机中缺少一个名为 TSCC 的解码器，该解码器保存在“播放器”文件夹下，安装该解码器后就能正常播放。
4. 如果需要查找本书实例源文件，请退出多媒体播放界面。在光驱所在盘符位置单击鼠标右键或通过资源管理器打开光盘，找到 yuanwenjian 文件夹即是。
5. 本光盘在 Windows 98、Windows 2000、Windows XP、Windows 2003 系统下都可以正常运行。

光盘内容包括：

- 第 6 章实例：悬臂梁的横向剪切应力分析
- 第 7 章实例：压电变换器的自振频率分析
- 第 8 章实例：弹簧质子系统的谐响应分析
- 第 9 章实例：哥伦布阻尼的自由振动分析
- 第 10 章实例：支撑平板的动力效果分析
- 第 11 章实例：螺栓的蠕变分析
- 第 12 章实例：框架结构的屈曲分析
- 第 13 章实例：陶瓷套管的接触分析
- 第 14 章实例：框架结构的优化设计

目 录

第0章 绪论.....	1	0.2.7 多目标快速优化工具.....	4
0.1 ANSYS 公司简介.....	1	0.2.8 客户化开发平台 (ANSYS	
0.2 ANSYS 系列产品简介.....	1	Workbench SDK)	4
0.2.1 结构分析体系.....	2	0.3 ANSYS 理论基础 (有限元法) 简介... 5	
0.2.2 电磁场分析体系.....	2	0.3.1 有限元法的基本思想.....	5
0.2.3 流体力学分析体系.....	2	0.3.2 有限元法的特点.....	6
0.2.4 行业化定制模块.....	3	0.4 ANSYS 分析的基本过程.....	6
0.2.5 仿真模型建造系统.....	3	0.4.1 前处理.....	7
0.2.6 设计人员快捷分析工具箱.....	4	0.4.2 加载并求解.....	7
		0.4.3 后处理.....	8

第1部分 基础知识

第1章 几何建模.....	10	1.3.3 移动工作平面.....	19
1.1 几何建模概论.....	10	1.3.4 旋转工作平面.....	20
1.1.1 自底向上创建几何模型.....	10	1.3.5 还原一个已定义的工作平面.....	20
1.1.2 自顶向下创建几何模型.....	11	1.3.6 工作平面的高级用途.....	20
1.1.3 布尔运算建模.....	11	1.4 自底向上创建几何模型.....	22
1.1.4 拖拉和旋转建模.....	11	1.4.1 关键点.....	23
1.1.5 移动和复制建模.....	11	1.4.2 硬点.....	24
1.1.6 模型的修改 (清除和删除)		1.4.3 线.....	25
原则.....	12	1.4.4 面.....	28
1.1.7 从 IGES 文件中将几何模型导入		1.4.5 体.....	30
到 ANSYS.....	12	1.5 自顶向下创建几何模型 (体素).....	31
1.2 坐标系简介.....	13	1.5.1 创建面体素.....	31
1.2.1 总体和局部坐标系.....	13	1.5.2 创建实体体素.....	32
1.2.2 显示坐标系.....	16	1.6 使用布尔操作修正几何模型.....	34
1.2.3 节点坐标系.....	16	1.6.1 布尔运算的设置.....	34
1.2.4 单元坐标系.....	17	1.6.2 布尔运算之后的图元编号.....	35
1.2.5 结果坐标系.....	17	1.6.3 交运算.....	35
1.3 工作平面的使用.....	18	1.6.4 两两相交.....	36
1.3.1 定义一个新的工作平面.....	18	1.6.5 相加.....	36
1.3.2 控制工作平面的显示和样式.....	19	1.6.6 相减.....	37

1.6.7 利用工作平面作减运算.....	38	2.4.2 映射网格划分.....	59
1.6.8 搭接.....	39	2.5 给实体模型划分有限元网格.....	64
1.6.9 分割.....	39	2.5.1 用 xMESH 命令生成网格.....	64
1.6.10 粘接(或合并).....	40	2.5.2 生成带方向节点的梁单元 网格.....	65
1.7 移动、复制和缩放几何模型.....	40	2.5.3 在分界线或者分界面处生成 单位厚度的界面单元.....	67
1.7.1 按照样本生成图元.....	41	2.6 延伸和扫掠生成有限元模型.....	68
1.7.2 由对称映像生成图元.....	41	2.6.1 延伸生成网格.....	68
1.7.3 转换样本图元的坐标系.....	41	2.6.2 扫掠生成网格.....	71
1.7.4 实体模型图元的缩放.....	42	2.7 修正有限元模型.....	73
1.8 从 IGES 文件中将几何模型导入 到 ANSYS.....	43	2.7.1 局部细化网格.....	73
1.8.1 使用 SMOOTH 选项.....	44	2.7.2 移动和复制节点和单元.....	76
1.8.2 使用 FACETED 选项.....	44	2.7.3 控制面、线和单元的法向.....	77
1.9 本章小结.....	45	2.7.4 修改单元属性.....	79
第 2 章 划分网格.....	46	2.8 直接通过节点和单元生成 有限元模型.....	80
2.1 有限元网格概论.....	46	2.8.1 节点.....	80
2.2 设定单元属性.....	47	2.8.2 单元.....	82
2.2.1 生成单元属性表.....	47	2.9 编号控制.....	85
2.2.2 在划分网格之前分配 单元属性.....	48	2.9.1 合并重复项.....	85
2.3 网格划分的控制.....	50	2.9.2 编号压缩.....	86
2.3.1 ANSYS 网格划分工具 (MeshTool).....	50	2.9.3 设定起始编号.....	86
2.3.2 单元形状.....	50	2.9.4 编号偏差.....	87
2.3.3 选择网格划分类型.....	51	2.10 本章小结.....	88
2.3.4 控制单元边中点的位置.....	52	第 3 章 施加载荷.....	89
2.3.5 划分自由网格时的单元尺寸 控制(SmartSizing).....	52	3.1 载荷概论.....	89
2.3.6 映射网格划分中单元的 默认尺寸.....	53	3.1.1 什么是载荷.....	89
2.3.7 局部网格划分控制.....	54	3.1.2 载荷步、子步和平衡迭代.....	90
2.3.8 内部网格划分控制.....	54	3.1.3 时间参数.....	91
2.3.9 生成过渡棱锥单元.....	56	3.1.4 阶跃载荷与倾斜载荷.....	92
2.3.10 将退化的四面体单元转化为 非退化的形式.....	57	3.2 施加载荷.....	93
2.3.11 执行层网格划分.....	57	3.2.1 实体模型载荷与有限单元 载荷.....	93
2.4 自由网格划分和映射网格 划分控制.....	58	3.2.2 施加载荷.....	94
2.4.1 自由网格划分.....	58	3.2.3 轴对称载荷与反作用力.....	100
		3.2.4 利用表格来施加载荷.....	101
		3.2.5 利用函数来施加载荷和 边界条件.....	103

3.3 设定载荷步选项	105	4.3.2 载荷步文件法	122
3.3.1 通用选项	106	4.3.3 数组参数法 (矩阵参数法)	123
3.3.2 动力学分析选项	109	4.4 重新启动分析	124
3.3.3 非线性选项	110	4.4.1 重新启动一个分析	125
3.3.4 输出控制	111	4.4.2 多载荷步文件的重启动分析	129
3.3.5 Biot-Savart 选项	112	4.5 预测求解时间和估计文件大小	131
3.3.6 谱分析选项	112	4.5.1 估计运算时间	131
3.3.7 创建多载荷步文件	113	4.5.2 估计文件的大小	131
3.4 本章小结	114	4.5.3 估计内存需求	132
第 4 章 求解	115	4.6 本章小结	132
4.1 求解概论	115	第 5 章 后处理	133
4.1.1 使用直接求解法	116	5.1 后处理概述	133
4.1.2 使用稀疏矩阵直接解法 求解器	116	5.1.1 什么是后处理	133
4.1.3 使用雅克比共轭梯度法 求解器	117	5.1.2 结果文件	134
4.1.4 使用不完全分解共轭梯度法 求解器	117	5.1.3 后处理可用的数据类型	134
4.1.5 使用预条件共轭梯度法 求解器	117	5.2 通用后处理器 (POST1)	135
4.1.6 使用自动迭代解法选项	118	5.2.1 将数据结果读入数据库	135
4.1.7 获得解答	119	5.2.2 图像显示结果	142
4.2 利用特定的求解控制器来指定 求解类型	119	5.2.3 列表显示结果	149
4.2.1 使用 Abridged Solution 菜单 选项	120	5.2.4 表面操作	155
4.2.2 使用求解控制对话框	120	5.2.5 将结果映射到某一路径上	159
4.3 多载荷步求解	121	5.2.6 将结果旋转到不同坐标系中 显示	165
4.3.1 多重求解法	122	5.3 时间历程后处理器 (POST26)	166
		5.3.1 定义和储存 POST26 变量	167
		5.3.2 检查变量	169
		5.3.3 POST26 后处理器的其他 功能	171
		5.4 本章小结	172

第 2 部分 专 题

第 6 章 结构静力学分析	174	6.2.4 施加载荷	182
6.1 结构静力学概论	174	6.2.5 求解	184
6.2 结构静力学分析的基本步骤	174	6.2.6 检查结果	185
6.2.1 建立模型	175	6.3 实例: 悬臂梁的横向剪切应力 分析	186
6.2.2 设置求解控制选项	175	6.3.1 问题的描述	186
6.2.3 设置其他求解选项	179		

6.3.2 GUI 路径模式	187	9.1.2 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	248
6.3.3 命令流模式	197	9.1.3 减缩法 (Reduced Method)	248
6.4 本章小结	198	9.2 瞬态动力学分析的基本步骤	249
第 7 章 模态分析	199	9.2.1 前处理	249
7.1 模态分析概论	199	9.2.2 建立初始条件	249
7.2 模态分析的基本步骤	199	9.2.3 设定求解控制器	250
7.2.1 建模	200	9.2.4 设定其他求解选项	252
7.2.2 加载及求解	200	9.2.5 施加载荷	253
7.2.3 扩展模态	203	9.2.6 设定多载荷步	254
7.2.4 观察结果和后处理	205	9.2.7 瞬态求解	255
7.3 实例: 压电变换器的自振频率 分析	206	9.2.8 后处理	255
7.3.1 问题描述	206	9.3 实例: 哥伦布阻尼的自由振动 分析	257
7.3.2 GUI 模式	207	9.3.1 问题描述	258
7.3.3 命令流模式	219	9.3.2 GUI 模式	258
7.4 本章小结	221	9.3.3 命令流模式	271
第 8 章 谐响应分析	222	9.4 本章小结	272
8.1 谐响应分析概论	222	第 10 章 谱分析	273
8.1.1 完全法 (Full Method)	223	10.1 谱分析概论	273
8.1.2 减缩法 (Reduced Method)	223	10.1.1 响应谱	273
8.1.3 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	223	10.1.2 动力设计分析方法 (DDAM)	274
8.1.4 3 种方法的共同局限性	224	10.1.3 功率谱密度 (PSD)	274
8.2 谐响应分析的基本步骤	224	10.2 谱分析的基本步骤	274
8.2.1 建立模型 (前处理)	224	10.2.1 前处理	274
8.2.2 加载和求解	225	10.2.2 模态分析	275
8.2.3 观察模型 (后处理)	231	10.2.3 谱分析	275
8.3 实例: 弹簧质子系统的谐响应 分析	233	10.2.4 扩展模态	278
8.3.1 问题描述	233	10.2.5 合并模态	279
8.3.2 GUI 模式	234	10.2.6 后处理	281
8.3.3 命令流模式	245	10.3 实例: 支撑平板的动力效果分析	282
8.4 本章小结	246	10.3.1 问题描述	282
第 9 章 瞬态动力学分析	247	10.3.2 GUI 模式	283
9.1 瞬态动力学概论	247	10.3.3 命令流模式	307
9.1.1 完全法 (Full Method)	247	10.4 本章小结	309
		第 11 章 非线性分析	310
		11.1 非线性分析概论	310

11.1.1 非线性行为的原因.....	310	13.2 接触分析的步骤.....	363
11.1.2 非线性分析的基本信息.....	311	13.2.1 建立模型,并划分网格.....	363
11.1.3 几何非线性.....	314	13.2.2 识别接触对.....	363
11.1.4 材料非线性.....	315	13.2.3 定义刚性目标面.....	364
11.1.5 其他非线性问题.....	319	13.2.4 定义柔性接触面.....	365
11.2 非线性分析的基本步骤.....	320	13.2.5 设置实常数和单元关键点.....	367
11.2.1 前处理(建模和分网).....	320	13.2.6 控制刚性目标面的运动.....	368
11.2.2 设置求解控制器.....	320	13.2.7 给变形体单元施加必要的 边界条件.....	369
11.2.3 设定其他求解选项.....	322	13.2.8 定义求解选项和载荷步.....	369
11.2.4 加载.....	324	13.2.9 求解.....	370
11.2.5 求解.....	325	13.2.10 查看结果.....	370
11.2.6 后处理.....	325	13.3 实例:陶瓷套管的接触分析.....	372
11.3 实例:螺栓的蠕变分析.....	327	13.3.1 问题描述.....	372
11.3.1 问题描述.....	327	13.3.2 GUI 模式.....	373
11.3.2 GUI 模式.....	327	13.3.3 命令流模式.....	386
11.3.3 命令流模式.....	335	13.4 本章小结.....	391
11.4 本章小结.....	335		
第 12 章 结构屈曲分析.....	336	第 14 章 结构优化设计.....	392
12.1 结构屈曲概论.....	336	14.1 结构优化设计概论.....	392
12.2 结构屈曲分析的基本步骤.....	336	14.2 优化设计的基本步骤.....	394
12.2.1 前处理.....	337	14.2.1 生成分析文件.....	395
12.2.2 获得静力解.....	337	14.2.2 建立优化过程中的参数.....	398
12.2.3 获得特征值屈曲解.....	338	14.2.3 进入 OPT 处理器指定分析 文件.....	399
12.2.4 扩展解.....	339	14.2.4 指定优化变量.....	399
12.2.5 后处理(观察结果).....	341	14.2.5 选择优化工具或优化方法.....	400
12.3 实例:框架结构的屈曲分析.....	342	14.2.6 指定优化循环控制方式.....	401
12.3.1 问题描述.....	342	14.2.7 进行优化分析.....	402
12.3.2 GUI 模式.....	342	14.2.8 查看设计序列结果.....	403
12.3.3 命令流模式.....	357	14.3 实例:框架结构的优化设计.....	404
12.4 本章小结.....	360	14.3.1 问题描述.....	404
		14.3.2 GUI 模式.....	404
第 13 章 接触问题分析.....	361	14.3.3 命令流模式.....	417
13.1 接触问题概论.....	361	14.4 本章小结.....	422
13.1.1 一般分类.....	361		
13.1.2 接触单元.....	361		

第 0 章 绪 论

学习要点

- ANSYS 产品及其功能
- 有限元法简介
- ANSYS 分析的基本过程

0.1 ANSYS 公司简介

美国 ANSYS 公司成立于 1970 年,总部位于美国宾西法尼亚州的匹兹堡。ANSYS 公司致力于 CAE (计算机辅助工程分析) 技术的研究和发展,专注于工程仿真解决方案,提供世界顶级的工程模拟技术,帮助企业优化设计流程,使企业在最短的时间内开发出高质量的产品。ANSYS 灵活、开放的解决方案为概念设计到最终测试的设计全过程提供了有效的协同仿真环境,使客户可以在设计的各阶段大规模采用 CAE 技术,最大程度地发挥 CAE 对设计流程的贡献,大幅度地缩短研发流程,降低研发费用,提高设计质量。

在不断加剧的竞争的推动下,企业界对 CAE 技术的要求不断提高;在短短几年的时间里这一需求上了三个台阶:功能广泛强大的虚拟样机仿真工具、贯穿整个设计过程的 CAE 全线解决方案、通过协同手段优化设计流程。为满足这一需求,ANSYS 公司连续多年以销售额 20% 以上的经费投入研发,以设计师分析工具箱、多物理场仿真体系、协同仿真环境等 CAE 技术满足现代企业的分析需求。先进的技术及高质量的产品赢得了业界的广泛认可,ANSYS 公司是第一家通过 ISO9001 及 ISO9001:2000 版的 CAE 技术公司,连续 5 年被《商务周刊》评为 Top 100 Growth Companies,并被《工业周刊》评为 Technical Leader。

ANSYS-CHINA 围绕产品设计的创新需求,在产品设计实现创新的两个阶段(概念设计阶段和详细设计阶段),为中国企业及科研院所提供包括软件、技术及服务在内的整体创新解决方案,包括概念设计阶段的 CAI (计算机辅助创新) 技术和详细设计阶段的 CAE 技术。ANSYS-CHINA 在北京、上海、成都、广州设有办事处,在全国各地设有 15 个技术支持中心,60 多名的员工当中半数以上为技术支持人员,在中国拥有 600 多家商业用户和 500 家高校用户,用户总数超过 1200 家。

0.2 ANSYS 系列产品简介

ANSYS 协同仿真环境技术以优化设计流程为目标,以客户化应用为手段,通过捕捉专家经验、规范设计流程、高可靠性的 CAD (计算机辅助设计) /CAE 互操作技术、高效率的优化技术、web 技术等大幅度缩短研发过程。构成协同仿真环境的 CAE 产品包括:结构

分析体系、电磁场分析体系、流体动力学分析体系、行业化定制模块、仿真模型建造系统、设计人员快捷分析工具箱、多目标快速优化工具、客户化开发平台。

0.2.1 结构分析体系

下面介绍 ANSYS 系列中的结构分析体系。

(1) 强大的结构分析模块 (Mechanical): 秉承了 ANSYS 家族产品的整体优势, 更专注于结构分析技术的深入开发。除了提供常规结构分析功能外, 强劲稳健的非线性、独具特色的单元、高效可靠的并行求解、充满现代气息的前后处理是它的 4 大特色。

(2) 冲击爆破模拟模块 (LS-DYNA): 是显式非线性瞬态动力分析程序, 其独特的算法非常适用于求解碰撞、爆炸、金属成形等高速高度非线性问题, 是显式有限元理论和程序的鼻祖, 被公认为汽车安全性设计、武器系统设计、金属成形、冲撞及叶片包容性设计、跌落仿真等领域的标准分析软件。

(3) 高级疲劳分析模拟模块 (FE-SAFE): FE-SAFE 是结构疲劳耐久性分析的专用软件, 提供了丰富的材料疲劳特性数据库, 强大的载荷历史和任意载荷组合功能可处理任意复杂工况, 细致的功能和多轴疲劳算法所带来的高精度是其突出特色。

(4) 机构动力学分析模拟模块 (Virtual.Motion): LMS Virtual.Motion 多体仿真软件包能够帮您装配并分析机械动力学系统的实际性能。在投入实物试验前, 保证您的设计符合预期的机械性能。

0.2.2 电磁场分析体系

下面介绍 ANSYS 的电磁场分析体系。

(1) FEM 法高低频电磁分析 (EMAG): 采用有限元、边界元等方法对旋转机械 (电动机、发电机)、传感器和执行器、换能器和变压器系统、微机电系统 (MEMS) 等进行电磁场仿真, 并可以与 ANSYS 其他模块一起进行多能量领域的耦合仿真, 全面满足用户需要。

(2) 高频电磁 MOM/PO/UTD 混合法专用软件 (FEKO): 以全波分析技术矩量法 (MOM) 为基础, 结合物理光学法 (PO)、一致性几何绕射理论 (UTD) 和快速多极子法 (FMMA), 尤其适用于大尺度问题的电磁计算。在天线设计与布局、RCS、EMC 分析方面独具优势。

0.2.3 流体力学分析体系

下面介绍 ANSYS 中的流体力学分析体系。

(1) 流体力学分析专用模块 (CFX): CFX 是全球第一个在复杂几何、网格、求解这 3 个 CED 传统瓶颈问题上均获得重大突破的商业 CED 软件。借助于其独一无二的、有别于其他 CFD 软件的技术特点, CFX 领导着新一代高性能 CED 商业软件的整体发展趋势。

(2) 飞行器外流分析专用模块 (Cart3D): NASA 于 1995 年开发了专门用于飞行器的亚、跨、超音速气动设计和分析的 Cart3D 软件。它的最大特点是专业性强, 使用方便,

计算速度快, 精度高, 能自动生成复杂组合体网格, 并自动完成计算过程, 计算结果可靠。

(3) 交互式涡轮机械叶片专用设计工具 (BladeGen)。

(4) 涡轮机械叶栅通道网格生成专用工具 (TurboGrid)。

0.2.4 行业化定制模块

下面介绍 ANSYS 中的行业化定制模块。

(1) 快捷分析工具 (DesignSpace): DesignSpace 是专门为设计人员定制的设计前期 CAE 工具, 分析工程考虑设计人员的特点, 使用工程化语言, 分析功能简捷, 适合于设计前期的零部件分析, 自动生成计算报告。它可集成于各类主流的 CAD 系统, 与 CAD 软件进行双向参数传递, 同时具有与 PDM 系统的接口, 管理和比较多种设计方案, 在设计过程中及时评价各种设计方案的性能, 引导设计向正确的方向进行。

(2) 快捷优化工具 (DesignXplorer): DesignXplorer 是适合于设计人员的多目标快速优化工具, 通过先进的抽样技术以及最少的方案计算, 就可以得到设计空间, 并用 2D 曲线或 3D 曲面图形象地表示, 对设计修改方案提供瞬时反馈。同时在设计空间直接查询得到满足多个目标的优化设计方案。设计参数可以是离散参数, 如孔的直径。

(3) 快捷疲劳分析工具 (Fatigue): 快捷疲劳分析工具, 采用广泛使用的应力-寿命方法, 综合考虑平均应力、载荷条件与疲劳强度系数等疲劳影响因素, 并按线性累积损伤理论进行疲劳计算。

0.2.5 仿真模型建造系统

下面介绍 ANSYS 中的仿真模型建造系统。

(1) ANSYS 协同仿真环境 (Workbench Environment): ANSYS 新一代的前后处理程序, 与以往的前后处理程序相比, 它考虑了设计人员的特点, 如具有高可靠度的 CAD 几何访问功能、与 CAD 系统的模型参数双向互动、分析过程使用工程化语言、网格划分完全自动化且高精度、自动生成计算报告等。同时融入诸多分析专家的经验, 大大降低了 CAE 的使用门槛, 使得 CAE 可成为设计人员桌面化的产品, 使设计分析一体化成为可能。

(2) 强大几何实体建模工具 (DesignModeler): 基于 Parasolid 内核、以 CAE 分析为目的的实体建模工具, 包含了普通 CAD 软件的强大的实体建模能力和方便性, 同时考虑了 CAE 分析的特殊需求。另外, DesignModeler 也可以直接导入 CAD 模型, 考虑 CAE 分析的特殊需求, 对之进行修补, 使之适应仿真需求。

(3) 世界顶级 CAE 网格雕塑模块 (AI Environment): AI Environment 是世界顶级的 CAE 专业化前后处理器, 强大的 CAD 模型几何修补、自动中面抽取、独特的网格“雕塑”技术及网格编辑技术是它的 4 大特点。可输出所有世界知名 CAE/CFD 软件需要的网格, 为 CAE/CFD 分析统一平台提供了解决方案。

(4) 世界顶级 CFD 网格雕塑模块 (ICEM CFD): 高度智能化的工程数值计算 CFD 软件包, 其强大的网格划分功能可满足 CFD 对网格划分的严格要求, 即边界层网格自动加密, 流场变化大的区域网格局部加密, 网格自适应用于激波捕捉、分离流模拟, 高质量的全六面体网格提高计算速度和精度, 非常复杂空间的四、六面体混合网格等。

0.2.6 设计人员快捷分析工具箱

下面介绍 ANSYS 中的设计人员快捷分析工具箱。

(1) 基于实验设计 (DOE) 技术的优化工具 (DesignXplorer): 见 0.2.4 节。

(2) 基于变分 (VT) 技术的优化工具 (DesignXplorer VT): 将 CAD 系统的设计参数集成到分析过程中, 通过建立设计空间, 使设计人员可对产品性能进行深入的研究, 并提供了直观的工具迅速选择优化的设计方案。该工具具有新颖的优化概念以及创新性的优化技术, 因此可在设计优化领域脱颖而出。

0.2.7 多目标快速优化工具

下面介绍 ANSYS 中的多目标快速优化工具。

(1) 土木工程专用软件 (CivilFEM): CivilFEM 是为土木工程分析定制的 CAE 工具, 包含有美国、欧洲、西班牙及中国混凝土及钢结构规范, 提供庞大的型材库、土木材料库以及多种配筋混凝土构件、配筋混凝土板壳和配筋混凝土实体。

(2) 板成形仿真专用软件 (DYNAFORM): 为模具设计人员和板成形工艺人员定制的仿真工具, 以板成形仿真的标准软件 LS-DYNA 为求解器, 采用工程化的用户界面, 固化有丰富的专家实际工程经验, 可囊括影响冲压工艺的 60 余个因素。

(3) 汽车虚拟试验场专用软件 (VPG): 整车试验场、路面试验仿真及安全性仿真的汽车工程分析定制的软件, 以 LS-DYNA 为求解器, 配以工程化的用户界面, 包含标准悬架库、标准轮胎库、美国 MGA 试验场路面数据库、美国和欧洲碰撞法规以及碰撞标准假人、壁障、冲击锤等, 是一个高效率的汽车分析专用软件。

(4) 声学分析专用软件 (Sysnoise): 利用最先进的数字方法描述声学媒质, 这种数字方法基于直接和间接边界元方法, 或者声学有限元/无限元的声学方程, 能够预测声波的辐射、散射和传递, 以及声学载荷引起的声学响应。

(5) 跌落仿真专用软件 (DropTest): 为跌落试验仿真专门定制的软件 DropTest, 以 LS-DYNA 为求解器, 结合 ANSYS 强大的前处理功能, 界面直观, 固化有跌落仿真的专家经验, 只需很少的设置便可进行跌落分析。

(6) MEMS 设计及分析工具 (MEMSPro): 微机电系统 (MEMS) 设计分析一体化的解决方案 MEMSPro, 提供综合考虑 MEMS 和 IC 混合性能的研发平台, 可从示意图表示转换到掩模, 根据不同的工艺自动生成分析用的 3D 几何模型, 并可直接从 ANSYS 中无缝地提取行为模式数据进行系统行为仿真。

0.2.8 客户化开发平台 (ANSYS Workbench SDK)

ANSYS 公司长期以来为用户提供成熟的 CAE 产品, 现在决定把自己的 CAE 软件产品拆散形成组件。公司不只提供整合的、成熟的软件, 而且提供软件的组件 (API, 基于 MS COM 技术)。用户可以根据自己的实际需要将这些拆散的技术重新组合, 并集成为具有自

主知识产权的技术, 形成既能够充分满足自身的分析需求, 又具有个性化的软件产品。Workbench 则是专门为重新组合这些组件而设计的专用平台。

0.3 ANSYS 理论基础 (有限元法) 简介

自从 20 世纪 60 年代 Clough 第一次提出“有限单元法”这个概念以来, 经过 40 多年的发展, 如今已经成为工程分析中应用最广泛的数值计算方法。因其出色的通用性和有效性而受到工程技术界的高度重视, 伴随着计算机科学和技术的飞速发展, 有限单元法(或称有限元法)现已成为 CAD/CAM(计算机辅助设计与制造)技术的重要组成部分。

0.3.1 有限元法的基本思想

在工程或物理问题的数学模型(基本变量、基本方程、求解域和边界条件等)确定以后, 有限元法作为对其进行分析的数值计算方法的基本思想可简单概括为如下 3 点:

(1) 将一个表示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为一个组合体, 如图 0-1 所示。

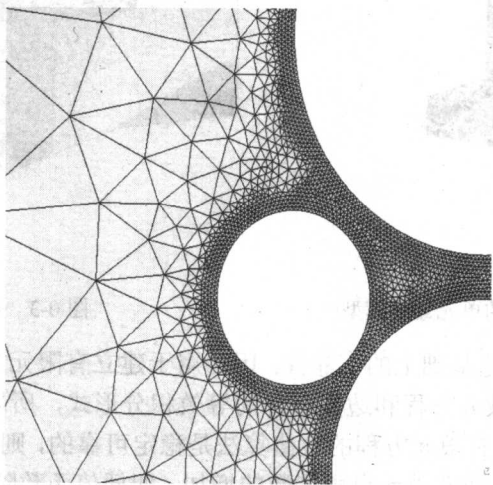


图 0-1 有限元法单元划分示意图

(2) 用每个单元内所假设的近似函数来分片表示全求解域内待求解的未知场变量。而每个单元内的近似函数由未知场函数(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达。由于在联结相邻单元的节点上, 场函数具有相同的数值, 因而将它们作为数值求解的基本未知量。这样一来, 求解原待求场函数的无穷多自由度问题转换为求解场函数节点值的有限自由度问题。

(3) 通过和原问题数学模型(例如基本方程、边界条件等)等效的变分原理或加权余量法, 建立求解基本未知量(场函数节点值)的代数方程组或常微分方程组。此方程组成为有限元求解方程组, 并表示成规范化的矩阵形式, 接着用相应的数值方法求解该方程组, 从而得到原问题的解答。

0.3.2 有限元法的特点

有限元之所以能得到如此广泛的用途，是因为它有其自身的特点，概括如下：

(1) 对于复杂几何模型的适应性: 由于单元在空间上可以是一维、二维或三维的, 而且每一种单元可以有不同的形状, 同时各种单元可以采用不同的连接方式, 所以, 工程实际中遇到的非常复杂的结构或构造都可以离散为由单元组合体表示的有限元模型。如图 0-2 所示是一个三维实体的单元划分模型。

(2) 对于各种物理问题的适用性: 由于用单元内近似函数分片的表示全求解域的未知场函数, 并未限制场函数所满足的方程形式, 也未限制各个单元所对应的方程必须有相同的形式, 因此它适用于各种物理问题, 例如线弹性问题、弹塑性问题、粘弹性问题、动力问题、屈曲问题、流体力学问题、热传导问题、声学问题、电磁场问题等, 而且还可以用于各种物理现象相互耦合的问题。如图 0-3 所示是一个热应力问题。

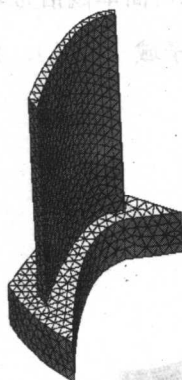


图 0-2 三维实体的单元划分模型

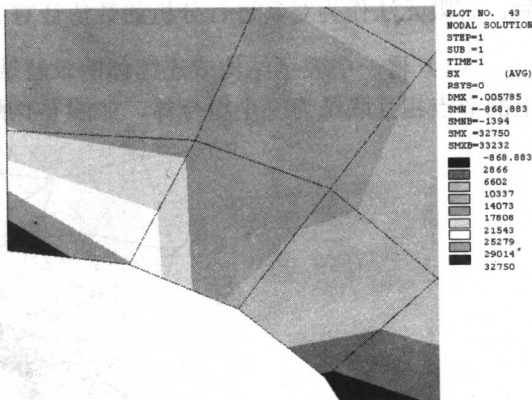


图 0-3 热应力问题

(3) 建立于严格理论基础上的可靠性: 因为用于建立有限元方程的变分原理或加权余量法在数学上已证明是微分方程和边界条件的等效积分形式, 所以只要原问题的数学模型是正确的, 同时用来求解有限元方程的数值算法是稳定可靠的, 则随着单元数目的增加 (即单元尺寸的缩小) 或者是随着单元自由度数的增加 (即插值函数阶次的提高), 有限元解的近似程度不断被改进。如果单元是满足收敛准则的, 则近似解最后收敛于原数学模型的确解。

(4) 适合计算机实现的高效性: 由于有限元分析的各个步骤可以表示成规范化的矩阵形式, 所以最后求解方程可以统一为标准的矩阵代数问题, 特别适合计算机的编程和执行。随着计算机硬件技术的高速发展以及新的数值算法的不断出现, 大型复杂问题的有限元分析已成为工程技术领域的常规工作。

0.4 ANSYS 分析的基本过程

ANSYS 分析过程包含 3 个主要的步骤：前处理、加载并求解、后处理。