

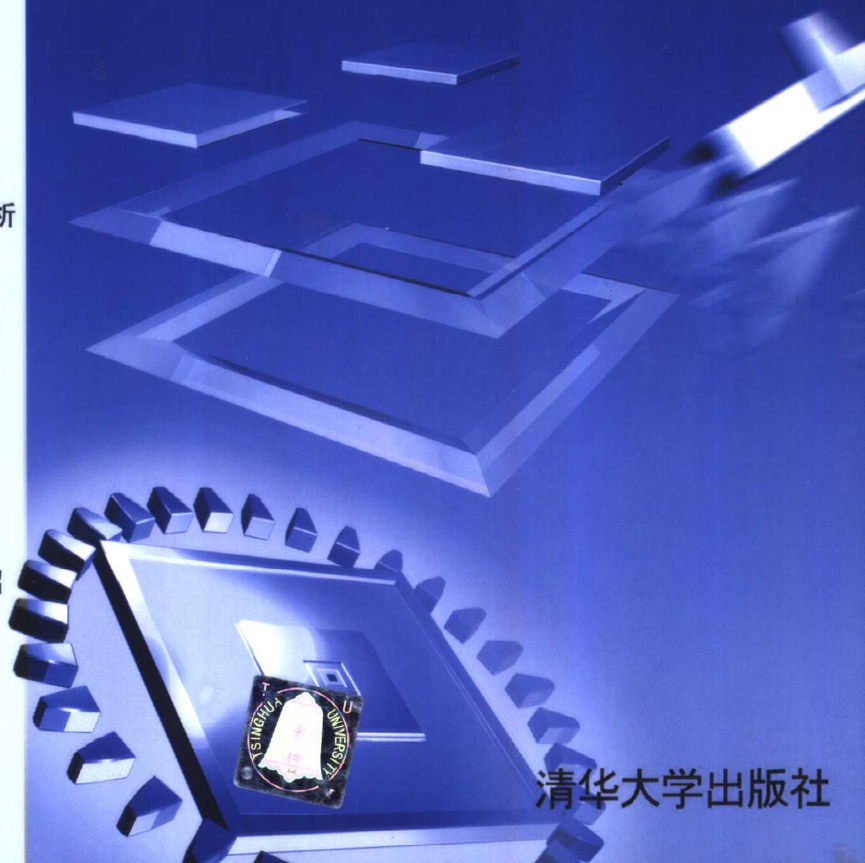
精通

ANSYS 7.0

有限元分析

宋 勇 艾宴清 梁 波 等编著

- ✓ ANSYS 7.0应用概论
- ✓ 模型建立与网格划分
- ✓ 结构线性静力学分析
- ✓ 结构动力学与计算流体动力学分析
- ✓ 非线性分析
- ✓ 热力学分析
- ✓ APDL开发
- ✓ ANSYS高级技术专题
- ✓ ANSYS 7.0帮助系统与资源介绍



清华大学出版社

精通 ANSYS 7.0 有限元分析

宋勇 艾宴清 梁波 等编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

ANSYS 是一款大型通用有限元分析软件,融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体,广泛应用于机械制造、石油化工、轻工、造船、航空航天、汽车交通、电子、土木工程、水利等领域,得到研究人员与设计人员的青睐。本书从工程应用角度出发,共分9章,通过大量实例详细讲述 ANSYS 的有限元分析方法与过程。全书内容涵盖了有限元分析概念、ANSYS 的基本功能和构成、ANSYS 7.0 的安装、ANSYS 7.0 的新特征、几何模型的建立和网格划分的方法、结构线性静力学分析过程和步骤、结构动力学和计算流体动力学分析、非线性分析、热力学分析、APDL 开发、ANSYS 的高级技术使用以及 ANSYS 7.0 的帮助文档系统与其他资源。

本书既可作为高等院校有限元分析领域相关专业的 ANSYS 教学参考书,也可以作为机械、化工、航空航天、电子、微电子、土木工程、水利等相关领域的研究人员与设计人员的自学教材和参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

精通 ANSYS 7.0 有限元分析/宋勇 等编著. —北京:清华大学出版社,2004

ISBN 7-302-08167-0

I. 精… II. 宋… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS 7.0 IV. TP0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 013790 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:孟毅新

文稿编辑:鲍 芳

封面设计:王 永

版式设计:康 博

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:27.5 字数:652 千字

版 次:2003 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08167-0/TP·5897

印 数:1~4000

定 价:39.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前 言

计算机技术的发展极大地推动了计算机仿真、模拟技术在工程问题分析中的应用,而有限元分析技术作为一种现代分析计算方法也得以迅速发展。ANSYS 是有限元分析软件中的佼佼者,得到众多工程分析计算人员厚爱。

ANSYS 7.0 的推出是有限元分析软件用户们的一大快事。与 ANSYS 以前的版本比较,ANSYS 7.0 有了更多的改进,更大程度地方便了用户使用。

为熟练正确地使用 ANSYS 分析工程问题,用户不仅要了解相关工程领域的知识和有限元分析的相关理论,还必须系统学习 ANSYS 的分析方法与分析过程。本书结合大量实例系统介绍 ANSYS 7.0 有限元分析中的建模、加载、求解、后处理(结果察看)以及相关注意事项。读者通过对本书的学习与大量实例的实践,可以系统地了解 ANSYS 7.0 的分析方法与分析过程,并达到熟练正确地使用 ANSYS 分析具体工程问题的目的。

本书的编写人员具有丰富的软件操作经验,在 CAD 领域做过大量相关实际工作,对 ANSYS 具有非常丰富的实践经验。根据编者的学习、使用经验,在写作本书时将 ANSYS 的应用领域进行分类,通过大量精选的相关实例来讲解软件使用。书中除了讲解本软件的相关概念外,重点以实例的形式介绍了 ANSYS 软件在几个应用较广的领域中的分析方法。对于操作步骤的讲解采用了 GUI 和命令流两种方式,并重点以 GUI 方式详细演示了各个操作步骤。

全书共分 9 章,各章相对独立,用户可以通读全书,系统地学习 ANSYS 7.0 的使用,也可采用跳跃式阅读,直接查阅感兴趣的内容。全书内容安排如下:第 1 章中主要介绍了有限元分析概念,ANSYS 的基本功能和构成,ANSYS 对硬件的要求和安装、启动、运行环境和图形界面以及 ANSYS 7.0 的新特征;第 2 章介绍了几何模型的建立和网格划分的方法;第 3 章讲述了结构线性静力学分析过程和步骤;第 4 章讲述了结构动力学和计算流体动力学分析;第 5 章讲述了非线性分析;第 6 章讲述了热力学分析;第 7 章讲述了 APDL 开发的相关内容;第 8 章讲述了 ANSYS 的高级技术使用;第 9 章简要介绍了 ANSYS 7.0 的帮助文档系统与其他资源。

本书的编写人员有:宋勇编写了第 1、2 章,梁波编写了 5、8、9 章,艾宴清编写了第 3 章,杜念慈编写了第 4、7 章,李勇兵编写了第 6 章。全书由艾宴清负责统稿和编排工作。此外,在本书编写过程中,沈键、张望、何飞超、王阳、王怀刚、李宇、李林、顾聪、陈兵、朱三立、陆安桥、钟刚、许波、黄小念、周俊、刘世永、刘正春、郝荣富、魏勇和王大军等朋友也给予了极大的帮助并提出许多中肯的建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间也显得有些紧张,在编写过程中难免出现一些错误和纰漏,在此希望读者朋友们不吝赐教。

编 者
2003.10

目 录

第 1 章	ANSYS 7.0 概论	1
1.1	有限元分析与 ANSYS	1
1.2	ANSYS 7.0 的特点、组成与功能	2
1.2.1	ANSYS 的特点	2
1.2.2	ANSYS 的基本组成	3
1.2.3	ANSYS 7.0 功能简介	4
1.3	ANSYS 7.0 运行环境和用户界面	7
1.3.1	ANSYS 7.0 运行环境的设置	7
1.3.2	ANSYS 7.0 的用户界面	8
1.4	本书约定	10
1.5	本章小结	10
第 2 章	模型建立与网格划分基础	12
2.1	模型建立初步	12
2.1.1	模型的生成方法	12
2.1.2	ANSYS 坐标系与工作平面	14
2.2	实体建模	21
2.2.1	实体建模概述	22
2.2.2	自底向上建模	27
2.2.3	自底向上建模实例	39
2.2.4	自顶向下建模	49
2.2.5	自顶向下建模实例	51
2.3	网格划分	53
2.3.1	网格划分简介	54
2.3.2	实体模型的网格划分	62
2.4	有限元分析范例	64
2.4.1	ANSYS 分析基本过程	64
2.4.2	有限元分析实例	70
2.5	本章小结	83
第 3 章	结构线性静力学分析	84
3.1	结构分析与结构线性静力学分析概述	84

3.2 悬臂梁分析实例精解	85
3.2.1 问题描述	86
3.2.2 GUI 操作	86
3.2.3 命令流	97
3.3 桁架分析实例精解	98
3.3.1 问题描述	98
3.3.2 GUI 操作	99
3.3.3 命令流	106
3.4 板分析实例精解	107
3.4.1 问题描述	107
3.4.2 GUI 操作	108
3.4.3 命令流	115
3.5 膜分析实例精解	116
3.5.1 问题描述	117
3.5.2 GUI 操作	117
3.5.3 命令流	122
3.6 壳分析实例精解	123
3.6.1 问题描述	123
3.6.2 GUI 操作	124
3.6.3 命令流	130
3.7 复杂结构分析实例精解	131
3.7.1 问题描述	131
3.7.2 GUI 操作	132
3.7.3 命令流	143
3.8 本章小结	146
第 4 章 结构动力学与计算流体动力学分析	147
4.1 结构动力学分析概述	147
4.1.1 模态分析	147
4.1.2 瞬态动力学分析	150
4.1.3 谐响应分析	152
4.1.4 谱分析	155
4.1.5 FLOTRAN 计算流体动力学	158
4.2 模态分析实例精解	161
4.2.1 问题描述	161
4.2.2 GUI 操作	162
4.2.3 命令流	177

4.3	瞬态动力学分析实例精解	179
4.3.1	问题描述	179
4.3.2	GUI 操作	180
4.3.3	命令流	191
4.4	谐响应分析实例精解	192
4.4.1	问题描述	192
4.4.2	GUI 操作	193
4.4.3	命令流	199
4.5	谱分析实例精解	200
4.5.1	问题描述	201
4.5.2	GUI 操作	201
4.5.3	命令流	210
4.6	FLOTRAN 计算流体动力学实例精解	211
4.6.1	问题描述	211
4.6.2	GUI 操作	212
4.6.3	命令流	222
4.7	本章小结	223
第 5 章	非线性分析	224
5.1	非线性分析概述	224
5.1.1	非线性简介	224
5.1.2	非线性分析的特性	231
5.1.3	非线性分析的基本过程	235
5.2	大应变实例精解	238
5.2.1	问题描述	238
5.2.2	GUI 操作	239
5.2.3	命令流	253
5.3	弹塑性问题实例精解	255
5.3.1	问题描述	255
5.3.2	GUI 操作	256
5.3.3	命令流	265
5.4	接触问题实例精解	267
5.4.1	问题描述	267
5.4.2	GUI 操作	268
5.4.3	命令流	280
5.5	本章小结	284

第 6 章 热力学分析	285
6.1 热力学概述	285
6.1.1 热分析与耦合分析基本知识	285
6.1.2 稳态热分析简介	287
6.1.3 瞬态热分析简介	288
6.1.4 耦合分析过程与步骤	289
6.2 稳态传热实例精解	291
6.2.1 问题描述	291
6.2.2 GUI 操作	291
6.2.3 命令流	301
6.3 瞬态传热实例精解	302
6.3.1 问题描述	302
6.3.2 GUI 操作	303
6.3.3 命令流	317
6.4 耦合分析实例精解	319
6.4.1 问题描述	319
6.4.2 GUI 操作	321
6.4.3 命令流	330
6.5 本章小结	332
第 7 章 APDL 开发	333
7.1 APDL 简介	333
7.2 APDL 的基本应用	334
7.3 APDL 参数使用	336
7.3.1 参数定义与命名	336
7.3.2 参数赋值、删除	337
7.3.3 参数的一些用法	340
7.3.4 数组参数	346
7.4 APDL 宏程序设计	371
7.4.1 APDL 宏简介	371
7.4.2 ANSYS 中创建宏	373
7.4.3 使用文本编辑器创建宏	374
7.4.4 宏文件的执行	375
7.4.5 APDL 宏的高级应用	376
7.4.6 宏程序示例	382
7.4.7 宏程序的加密	384
7.5 APDL 与 GUI 用户界面	385

7.6 本章小结.....	391
第 8 章 ANSYS 高级技术专题	392
8.1 优化设计与拓扑优化	392
8.1.1 优化设计	392
8.1.2 拓扑优化	398
8.2 自适应网格划分	401
8.3 子结构与子模型	405
8.3.1 子结构	405
8.3.2 子模型	408
8.4 单元的生与死	412
8.5 用户过程与非标准用法	417
8.6 本章小结	419
第 9 章 ANSYS 7.0 帮助系统与资源介绍	420
9.1 ANSYS 7.0 的帮助文档系统	420
9.2 其他可用资源介绍	423
9.3 本章小结	426

第1章 ANSYS 7.0概论

为了在工程应用中节约成本、提高设计效率、缩短设计周期，很多厂家已经把前期的软件模拟作为检验设计成败的一个关键步骤，大量的 CAD 分析工具应运而生。ANSYS 正是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一，也是应用特别广泛的少数软件之一，它以其优异的性能已经融入了很多行业。

本章首先简要介绍了有限元分析发展情况和 ANSYS 的基本信息，随后讲述了 ANSYS 的特点、基本组成和功能，并对 ANSYS 的运行环境设置方法和用户界面进行了介绍。

1.1 有限元分析与 ANSYS

随着现代科学技术的发展，人们正在不断建造更为快捷的交通工具、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。这一切都要求工程师在设计阶段就能精确地预测出产品或工程的技术性能，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；分析叶片内的流体动力学参数，以提高其运转效率等。此时传统的解决办法往往不可行，需要寻求新的分析计算方法。

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元分析(FEA, Finite Element Analysis)方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。有限元分析是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代分析计算方法。50 年代，它首先在连续体力学领域——飞机结构静、动态特性分析中得以应用，随后很快广泛地应用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题。

我国曾在“九五”计划期间大力推广计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)技术，CAD 技术在大中型企业中的普及率也因此得以大幅度提升。自此，工程技术人员的工作中心已经转移到了如何优化设计、提高工程 and 产品质量上去。要解决这些问题，有限元分析技术自然是最佳选择之一。

随着有限元分析技术的推广，各种有限元分析软件也随之开发出来，例如德国 ASKA、英国 PAFEC、法国 SYSTUS、美国 ABQUS、ADINA、ANSYS、BERSAFE、BOSOR、COSMOS、ELAS、MARC 和 STARDYNE 等公司均有成熟的产品。然而，经过市场的筛选，ANSYS 最终成为了市场占有率最高的有限元分析软件之一。

ANSYS 软件是融结构、流体、电场、磁场、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 公司开发，它具有与

Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS、AutoCAD 等多数 CAD 软件的数据接口, 实现数据共享和交换, 是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。ANSYS 软件可广泛应用于机械制造、石油化工、轻工、造船、航空航天、汽车交通、电子、土木工程、水利等众多工业领域及科学研究当中。该软件可在大多数计算机及操作系统(如 Windows、UNIX、Linux)中运行, 在 PC 机、工作站、大型机和巨型机的所有硬件平台上, ANSYS 数据文件均可兼容。

此外, ANSYS 软件是第一个通过 ISO9001 质量认证的大型分析设计类软件, 是美国机械工程师协会(ASME)、美国核安全局(NQA)及近 20 种专业技术协会认证的标准分析软件。在国内第一个通过了中国压力容器标准化技术委员会认证并在国务院 17 个部委推广使用。

1.2 ANSYS 7.0 的特点、组成与功能

ANSYS 程序包括前处理器、求解器、后处理器和几个辅助处理器(如设计优化器), 功能涵盖结构、流体、热和电磁 4 种场的计算。在有限元分析领域, ANSYS 一直致力于上述 4 种场的计算。作为业界的佼佼者, ANSYS 最先集成了计算流体动力学(CFD)功能, 同时也是第一个具有开发多物理场分析功能的软件。

下面介绍 ANSYS 的特点、基本组成和基本的功能模块。

1.2.1 ANSYS 的特点

ANSYS 的基本特点可以概括为 3 个“强大”: 强大的前处理能力、强大的加载求解能力和强大的后处理能力。另外, 良好的开放性使得用户能够在 ANSYS 系统上进行二次开发和扩展新的功能。

1. 强大的前处理能力

强大的前处理能力主要包括强大的几何建模能力、强大的网格划分能力、强大的参数设置功能和与 CAD 软件的无缝集成能力。

在几何建模上, ANSYS 不仅具有依次生成点、线、面和体的自底向上建模方式, 还具有通过调用几何体素和采用布尔运算而生成几何模型的自顶向下建模方式。

进行网格划分时, ANSYS 主要有自由网格划分和映射网格划分两种方式。针对不同的几何体, ANSYS 还有拖拉生成网格、层网格划分、局部细化等方法。这些网格划分方面涉及到的理论基础和相关技术在第 2 章中将会详细的讲述。

此外, ANSYS 开发了与著名的 CAD 软件(如 Pro/Engineer、Unigraphics、SolidEdge、SolidWorks、I-DEAS、Bentley 和 AutoCAD 等)的数据接口, 实现了双向数据交换, 从而实现了 ANSYS 与这些软件的无缝集成。用户因此可以在利用 CAD 软件完成几何建模或者有限元建模后, 直接将模型传送到 ANSYS 中进行后续操作, 及时调整设计方案, 有效地提

高分析效率。

2. 强大的加载求解能力

在 ANSYS 中, 包括位移、力、温度在内的任何载荷均可以直接施加在任意几何实体或者有限元实体上, 载荷可以是具体数值, 也可以是与时间或者坐标有关的任意函数。

求解时有多种求解器可供选择, 例如采用直接求解法、适用于大多数模型的波前求解器(FRONTAL); 采用迭代求解法并适用于分析结构谐波响应、多物理场等问题的雅可比共轭梯度(JCG)法; 采用模态特征值求解法、适用于求解大规模对称矩阵特征值问题的子空间迭代法(Subspace); 采用直接求解法、针对流体力学求解的三对角矩阵法等。

ANSYS 优异的求解能力突出地表现在对高精度非线性问题求解和强大的耦合场求解上。工程实践中在处理薄板成形等要求并同时考虑结构的大位移、大应变(几何非线性)和塑性(材料非线性)的问题时, 必须要考虑材料非线性。而在处理诸如因摩擦接触而导致热问题或金属成形等因塑性功而产生的热问题时, 就需要将结构场和温度场的有限元分析结果交叉迭代求解, 即需要求解“热力耦合”问题。这些问题的求解相当复杂, 它不仅涉及到很多专门的数学问题, 还必须掌握一定的理论知识和求解技巧。为降低工程设计人员的工作难度和强度, ANSYS 公司花费大量的人力和物力开发出了适用于非线性求解和耦合场求解的求解器。有了这两个求解器, 设计人员遇到的许多相关难题便迎刃而解了。

3. 强大的后处理能力

利用 ANSYS 可以获得任何节点、单元的数据。这些数据具有列表输出、图形显示、动画模拟等多种数据输出形式。此外时间历程分析功能可以对载荷叠加进行分析计算。

4. 良好的开放性

ANSYS 为了扩大自己的市场份额, 满足用户的需求, 在软件的功能、易用性等方面花费了大量的投资。然而用户的要求毕竟千差万别, 只有给用户一个开放的环境, 允许用户根据自己的实际情况对软件进行扩充, 才能从根本上满足用户的需求。这个开放的环境允许用户自定义单元特性、用户自定义材料本构(结构本构、热本构、流体本构)、用户自定义流场边界条件、用户自定义结构断裂判据和裂纹扩展规律等。并且 ANSYS 的二次开发环境还可以满足不同类型用户的需求。

1.2.2 ANSYS 的基本组成

ANSYS 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。

(1) 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。软件提供了 100 种以上的单元类型, 用来模拟工程中的各种结构和材料。

(2) 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。

(3) 后处理模块：包括两个部分，通用后处理模块和时间历程后处理模块。

通用后处理模块可以很容易获得求解过程的计算结果并对其进行显示。这些结果可能包括位移、温度、应力、应变、速度及热流等，输出形式可以有图形显示和数据列表两种。这个模块对前面的分析结果能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)。云图则用不同的颜色代表不同的数值区(如应力范围)，清晰地反映了计算结果的区域分布情况。

时间后处理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。这些结果能通过绘制曲线或列表查看。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，它还可以进行曲线的代数运算。

1.2.3 ANSYS 7.0 功能简介

ANSYS 不仅具有结构静力分析、结构动力学分析、结构非线性分析、动力学分析、热分析等基本功能，而且还具有优化设计、建立子结构子模型等高级应用功能。另外 ANSYS 7.0 在原有功能的基础上又作了许多改进，下面分别进行介绍。

1. 基本功能

ANSYS 主要包括以下 9 个基本功能：

(1) 结构静力分析

用来求解外载荷引起的位移、应力和力。当惯性和阻尼对结构分析的影响并不明显时静力分析尤其适用。ANSYS 程序中的静力分析不仅可以进行线性分析，而且也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。

(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。与静力分析不同，动力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。

(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。

(4) 动力学分析

ANSYS 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，可使用动力学分析来分析复杂的物体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

ANSYS 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

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。

(7) 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——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

ANSYS 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、瞬态响应分析。

2. 高级应用

在高级应用方面,ANSYS 涵盖了优化设计、拓扑优化、子结构、子模型、单元生死、用户过程和非标准用法 6 个部分。

(1) 优化设计

优化设计是一种寻找确定最优设计方案的技术。所谓“最优设计”指的是一种方案可以满足所有的设计要求,而且所需的支出(如重量,面积,体积,应力,费用等)最小。也就是说,最优设计方案就是一个最有效率的方案。设计方案的任何方面都是可以优化的,例如尺寸(如厚度),形状(如过渡圆角的大小),支撑位置,制造费用,自然频率,材料特性等。实际上,所有可以参数化的 ANSYS 选项都可以作优化设计。

(2) 拓扑优化

拓扑优化是指形状优化,有时也称为外型优化。拓扑优化的目标是寻找承受单载荷或多载荷的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。与传统的优化设计不同的是,拓扑优化不需要给出参数和优化变量的定义。目标函数、状态变量和设计变量都是预定义好的。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。

(3) 子结构

子结构就是将一组单元用矩阵凝聚为一个单元的过程。这个单一的矩阵单元称为超单元。在 ANSYS 分析中,超单元可以像其他单元类型一样使用。惟一的区别就是必须先进

行结构生成分析以生成超单元。使用子结构主要是为了节省机时,并且允许在比较有限的计算机设备资源的基础上求解超大规模的问题。

在非线性分析中,可以将模型线性部分作成子结构,这样这部分的单元矩阵就不用非线性迭代过程中重复计算。在有重复几何结构的模型中(如有 4 条腿的桌子),可以对重复的部分生成超单元,然后将它复制到不同的位置,这样做可以节省大量的机时。子结构还用于模型有大转动的情况。对于这些模型,ANSYS 假定每个结构都是围绕其质心转动的。在三维情况下,子结构有 3 个转动自由度和 3 个平动自由度。在大转动模型中,用户在使用部分之前无须对子结构施加约束,因为每个子结构都是作为一个单元进行处理,是允许刚体位移的。

(4) 子模型

子模型是得到模型局部区域中精确解的有限单元技术。在有限元分析中往往出现这种情况,即用户关心的区域(如应力集中区域)若网格太疏则得不到满意的结果,而这些区域之外的部分,网格密度已经足够了。要得到这些区域的较精确的解,可以采取两种办法:用较细的网格重新划分并分析整个模型,或只在关心的局部区域细化网格并对其分析。显而易见,前者太耗费机时;后者即为子模型技术。

子模型基于圣维南原理,即如果实际分布载荷被等效载荷代替以后,应力和应变只在载荷施加的位置附近一定范围内有改变。这说明只有在载荷集中的位置才有应力集中效应,因此如果子模型的位置远离应力集中的区域,则子模型内就可以得到较精确的结果。ANSYS 程序并不要求子模型分析必须为结构(应力)分析。子模型也可以有效地应用于其他分析中。如在电磁分析中,可以用子模型计算感兴趣区域的电磁力。

除了能求得模型某部分的精确解以外,子模型技术还有几个优点:

- 它减少甚至取消了有限元实体模型中所需的复杂的传递区域
- 它使得用户可以在感兴趣的区域就不同的设计(如不同的圆角半径)进行分析
- 它帮助用户证明网格划分是否足够细

使用子模型的一些限制如下:

- 只对体单元和壳单元有效
- 子模型的原理要求切割边界应远离应力集中区域

(5) 单元的生与死

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)。单元生死选项就用于在这种情况下杀死或重新激活选择的单元。本选项主要用于钻孔(如开矿和挖通道等)、建筑物施工过程(如桥的建筑过程)、顺序组装(如分层的计算机芯片组装)和其他能灵活控制单元生死的应用中。在一些情况下,单元的生死状态可以根据 ANSYS 的计算数值决定(如温度,应力,应变等)。可以用 ETABLE 命令和 ESEL 命令来确定选择的单元的相关数据,也可以改变单元的状态(溶和,固结,俘获等)。本过程对于由相变引起的模型效应(如焊接过程中原不生效的熔融材料变为生效的模型体的一部分)、失效扩展和其他分析过程中的单元变化是能起到良好作用的。

(6) 用户过程和非标准用法

ANSYS 程序的开放结构允许用户连接自己的 FORTRAN 程序和子过程。即 ANSYS 具有用户可编程性(UPFs)。实际上,现在用户看到的许多 ANSYS “标准”用法都是由以前用户过程引进的。用户可编程特性是 ANSYS 的功能允许用户使用自己的 FORTRAN 程序。UPFs 允许用户根据需要定制 ANSYS 程序。如用户定义的材料性质,用户单元类型,用户定义的失效准则等。用户还可以编写自己的优化设计算法将整个 ANSYS 程序作为子过程来调用。

用户使用 UPFs 必须十分小心。通过连接自己的 FORTRAN 程序,用户生成了一个针对用户特定计算机的 ANSYS 程序版本。然而在并行系统中使用 ANSYS 时不允许使用用户可编程特性。另外,UPFs 只是一种非标准的使用方法,ANSYS 公司质量控制测试程序没有包括这部分内容,因此用户必须保证用户子程序结果正确而并不影响其他标准功能的运行。

3. ANSYS 7.0 的改进

与 ANSYS 以前的版本比较,ANSYS 7.0 有了更多的改进,也更大程度地方便了用户使用。这些改进主要表现在对工作台、DesignModeler、设计仿真的改进等。

工作台的改进能使 ANSYS 在管理工程的启动和切换的同时进行参数选择,例如在启动时可选择主工程项目模块(DesignModeler, Design Simulation, 或 DesignXplorer)。DesignModeler 的改进则主要表现在薄片特征的应用和新的实体生成方法上。而 Design Simulaxion 的改进则使得仿真的报告内容更为翔实。此外 DesignXplorer VT 利用新技术后,还可提供基于单纯有限元分析的表面。

1.3 ANSYS 7.0 运行环境和用户界面

随着版本的不断更新,ANSYS 的运行环境设置方法和用户界面不断改进。下面介绍 ANSYS 7.0 运行环境设置办法和用户界面。

1.3.1 ANSYS 7.0 运行环境的设置

为了管理设计文档、选择使用何种语言和完成 ANSYS 的硬件配置,在启动和运行 ANSYS 7.0 前建议用户定义个性化的运行环境,运行环境的设置办法如下。

单击【开始】菜单,在【程序】菜单中选择 ANSYS Interactive 命令,打开运行环境设置对话框,如图 1-1 所示。

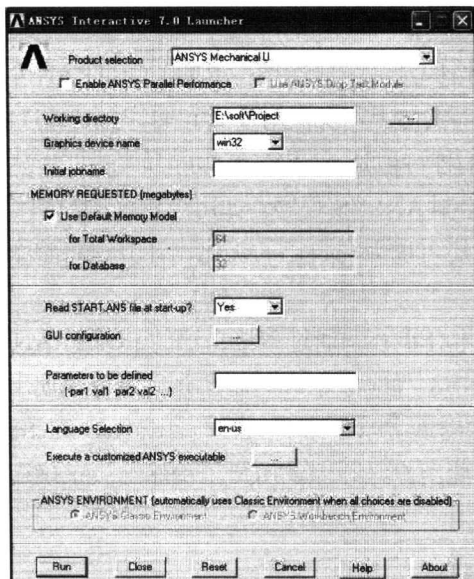


图 1-1 ANSYS 运行环境设置对话框

该对话框中包含多个选择栏和输入栏，其中的一些重要设置功能如下。

- Product selection: 选择启动的 ANSYS 产品，默认为 ANSYS Mechanical U
- Working directory: 选择 ANSYS 的工作目录，ANSYS 所有运行生成的文件都会写在该目录下面(注意：ANSYS 的工作目录要事先在硬盘上创建好)
- Graphics device name: 选择图形设备名称，如果配置了 3D 显卡，则选择 3D
- Initial jobname: 设定初始工作文件名称，默认名称为上次运行定义的工作名
- MEMORY REQUESTED: 设定 ANSYS 工作空间和数据库所占的交换空间的大小
- GUI configuration: 配置图形界面的显示方式
- Language Selection: 选择程序的语言环境
- Execute a customized ANSYS executable: 执行自定义的 ANSYS 程序

通常情况只需设置上面提到的 1~5 项即可。这时单击下面的 Run 按钮来进入 ANSYS 程序主界面。

1.3.2 ANSYS 7.0 的用户界面

ANSYS 的优秀不仅表现在功能的完备上，也突出的表现在它友好的图形用户界面(GUI, Graphical User Interface)和清晰的程序结构上。在 ANSYS 启动之后，就可以看到图形化的用户界面，如图 1-2 所示。