

跟高手学软件

土木工程常用软件应用入门丛书

ANSYS 有限元分析 工程应用实例教程

涂振飞 主编

书光盘：全程录制多媒体语音教学视频，总时长超过10小时

中国建筑工业出版社

土木工程常用软件应用入门丛书

ANSYS 有限元分析 工程应用实例教程

涂振飞 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 有限元分析工程应用实例教程/涂振飞主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010
(土木工程常用软件应用入门丛书)
ISBN 978-7-112-12239-4

I. ①A… II. ①涂… III. ①有限元分析-应用程序, ANSYS-高等学校-教材 IV. ①0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 125227 号

ANSYS 是国际流行的大型通用有限元分析软件, 是目前最有影响力的有限元软件之一。其融结构、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体, 涵盖了机械、航空航天、能源、交通运输、土木工程、水利、电子、地矿、生物医学、教学科研等众多领域。

本书共计 11 章, 以结构分析为主, 包括静力分析、材料非线性分析、接触非线性分析、几何非线性分析、优化分析、动力学分析、疲劳分析、复合材料等, 同时也涉及了热分析。全面的理论基础与典型案例相结合是本书的显著特色, 其中案例贴合实际, 讲解精辟透彻, 处理问题思路清晰, 论述内容深入独到。

本书可作为土木工程领域研究人员和结构计算分析人员学习 ANSYS 的教材, 也可供机械、航空航天、能源、交通运输、水利、电子、地矿、生物医学等众多领域从业技术人员作为使用 ANSYS 的参考书。

* * *

责任编辑: 李天虹 刘婷婷 武晓涛

责任设计: 赵明霞

责任校对: 姜小莲 陈晶晶

土木工程常用软件应用入门丛书 ANSYS 有限元分析工程应用实例教程 涂振飞 主编

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 字数: 600 千字

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月第一次印刷

定价: 65.00 元 (含光盘)

ISBN 978-7-112-12239-4
(19527)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

有限单元法 (Finite Element Method) 是 20 世纪五六十年代出现的一种数值模拟方法。经过几十年的发展, 目前该方法已经被广泛应用到众多领域, 在科学分析研究和工程建设领域发挥着非常重要的作用。目前, 有限元法广泛应用于求解航空、航天、机械、电子、船舶、土木、核工业、生物、能源、化工、医学及交通运输等众多领域的工程问题, 特别是随着计算机技术突飞猛进的发展, 有限单元法在解决问题的规模、范围方面也已经发生了巨大的变化。

ANSYS (Analysis System) 软件属于世界上最大的有限元分析软件开发商之一的美国 ANSYS 公司, 是国际流行的大型通用有限元分析软件, 是当今最有影响力的有限元软件之一, 目前在全球范围内拥有大量的用户。自从 1970 年由美国匹兹堡大学力学系教授 John Swanson 博士开发出来, 在至今几十年的长足进展中, 功能不断强大, 在全球的大型设计软件中占有举足轻重的地位, 其融结构、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体, 涵盖了机械、航空航天、能源、交通运输、土木工程、水利、电子、地矿、生物医学、教学科研等众多领域。ANSYS 软件是美国机械工程师协会 (ASME)、美国核安全局 (NQA) 及其他 20 多种专业技术协会认证的标准分析软件。在国内, ANSYS 通过了中国压力容器标准化技术委员会认证并在国家众多部委推广应用。此外, 它能与众多 CAD 软件接口, 实现数据的共享和交换, 如 Pro/E, NAS-TRAN, Alogor, CATIA, UG, I-DEAS, Solid Works, AutoCAD 等, 是现代产品设计中的高级 CAE 工具之一。

本书共分 11 章, 在内容安排上, 以结构分析为主, 具体包括静力分析、材料非线性分析、接触非线性分析、几何非线性分析、优化分析、动力学分析、疲劳分析、复合材料等, 同时也涉及了热分析。每一章的内容都相对独立, 全面的理论基础与典型案例相结合是本书的显著特色, 其中案例贴合实际, 讲解精辟透彻, 处理问题思路清晰, 论述内容深入独到。

第 1 章主要介绍了有限元法和 ANSYS 软件及其应用。第 2 章是 ANSYS 应用基础, 介绍了 ANSYS 处理问题的一般方法和步骤, 为后续的篇章做准备

和铺垫。第3章是静力学分析,包括了完整的静力学分析过程和步骤,还配有实例讲解。第4章是接触非线性分析,介绍了接触问题的物理实质以及 ANSYS 处理接触问题的技术,该章后面配有典型的案例分析。第5章是结构屈曲分析,介绍了 ANSYS 线性特征值屈曲分析和非线性屈曲分析,并通过实例演示了以上两种技术的操作方法和过程。第6章是材料非线性分析,介绍了 ANSYS 中7种主要材料非线性模型。第7章是结构动力学分析,主要介绍了模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析以及谱分析等方法。第8章是热分析,主要介绍了稳态热分析、瞬态热分析以及热应力分析,最后通过实例演示了分析方法和步骤。第9章是优化分析,介绍了 ANSYS 中优化分析的操作流程,通过实例讲解,说明优化分析的方法。第10章是疲劳分析,介绍了 ANSYS 中疲劳分析的方法,通过实例显示了疲劳分析的操作过程。第11章是复合材料,介绍了 ANSYS 中复合材料分析单元以及复合材料分析技术。从第3章到11章,除了实例外还安排了相应的习题,作为章节内容的补充。

此外,书中涉及的 GUI 菜单操作流程,原则上要求 ANSYS 版本为 11.0 及以上经典版本。对于其他经典版本如 8.0~10.0,所对应的具体操作会有一些不同,在此特别提醒广大读者注意。

本书适用于有 ANSYS 使用经验的各个层级的读者,可作为理工科院校相关专业高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 的教材,也可作为在机械、航空航天、能源、交通运输、土木工程、水利、电子、地矿、生物医学、教学科研等众多领域从业的工程技术人员使用 ANSYS 的参考书。

本书由涂振飞主持编写,此外,参与图书编写和视频制作的还有贾东永、李华、王林、赵兵、孙明、李志国、陈晨、冯慧、徐红、杨小庆、魏刚、吴文林、周建国、张建、刘海涛、姚琳、何武、许小荣和林建新等人,在这里对他们表示感谢。

作者力图使本书的知识性和实用性相得益彰,但由于水平有限、时间匆促,书中错误、纰漏之处难免,欢迎广大读者、同仁批评斧正。

编者

2010年6月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 有限单元法	1
1.2 ANSYS 软件	2
1.3 ANSYS 图形用户界面	4
1.4 ANSYS 文件	6
1.5 小结	6
第 2 章 ANSYS 应用基础	7
2.1 概述	7
2.2 前处理	8
2.3 施加载荷并求解	23
2.4 后处理	41
2.5 小结	47
第 3 章 结构静力学分析	49
3.1 概述	49
3.2 结构静力学分析的相关理论	50
3.3 结构静力学分析的过程和步骤	50
3.4 胶凳受力分析	54
3.5 塔架受力分析	71
3.6 桥梁受力分析	83
3.7 本章习题	95
3.8 小结	95
第 4 章 接触非线性分析	97
4.1 概述	97
4.2 接触问题分析	98
4.3 卸扣受力分析	106
4.4 螺栓连接分析	123
4.5 弹性触头分析	133
4.6 本章习题	145
4.7 小结	146
第 5 章 屈曲分析	148
5.1 概述	148
5.2 特征值屈曲分析	150
5.3 非线性屈曲分析	153
5.4 拱形梁屈曲分析	158
5.5 本章习题	169
5.6 小结	170

第 6 章	材料非线性分析	171
6.1	概述	171
6.2	非线性材料类型	172
6.3	型材拉弯分析	183
6.4	本章习题	197
6.5	小结	197
第 7 章	结构动力学分析	199
7.1	概述	199
7.2	模态分析	200
7.3	谐响应分析	211
7.4	瞬态动力学分析	220
7.5	谱分析	234
7.6	本章习题	251
7.7	小结	253
第 8 章	热分析	255
8.1	概述	255
8.2	稳态热分析	260
8.3	瞬态热分析	269
8.4	热应力分析	279
8.5	热分析其他问题	284
8.6	本章习题	285
8.7	小结	286
第 9 章	优化分析	288
9.1	概述	288
9.2	优化分析过程与步骤	290
9.3	优化分析实例	305
9.4	本章习题	321
9.5	小结	321
第 10 章	疲劳分析	322
10.1	概述	322
10.2	ANSYS 疲劳分析过程与步骤	326
10.3	疲劳分析实例	338
10.4	本章习题	346
10.5	小结	347
第 11 章	复合材料	349
11.1	概述	349
11.2	复合材料分析常用单元	350
11.3	复合材料分析技术	357
11.4	复合材料应用案例	366
11.5	本章习题	377
11.6	小结	377

第 1 章 概 述

本章是基础篇，主要是针对有限元分析技术的起源、发展、应用以及大型通用有限元分析软件 ANSYS 进行介绍。文中将 ANSYS 发展到现在的版本信息进行了罗列，其中第 3 节重点对 ANSYS 图形用户界面进行了较全面地讲解和介绍，如对图形用户界面的分布情况的介绍，对各个部分的功能和作用的讲解。希望通过本章的讲解，读者对有限元分析技术、ANSYS 软件的图形用户界面及其功用有一个系统性的认识，特别是通过对 ANSYS 的图形用户界面的使用介绍，对以后章节中的图形用户界面菜单操作将会有较大的帮助。在第 4 节里，将 ANSYS 中涉及的文件做了一个较全面的统计、介绍，希望通过对这些相关文件的讲解，对后续的分析工作有所帮助，方便 ANSYS 分析过程中的文件管理和信息查询。

本章导读：

- ◆ 介绍有限单元法的起源、概念及其应用
- ◆ 介绍 ANSYS 软件、功能及其版本
- ◆ 介绍 ANSYS 的图形用户界面
- ◆ 介绍 ANSYS 主要文件

1.1 有限单元法

有限单元法 (Finite Element Method) 是 20 世纪五六十年代出现的一种数值模拟方法。经过几十年的发展，目前该方法已经被广泛应用到众多领域，在科学分析研究和工程建设领域发挥着非常重要的作用。在下面的小节中，将着重介绍有限单元法的概念、起源、发展及应用。

1.1.1 起源和概念

1952 年，波音公司 Jon Turner 领导一个项目小组分析三角翼强度时，发现采用小的三角形组装机翼，可以准确地计算出机翼变形。他称这种方法为直接刚度法，并发表了著名的学术论文——Turner MJ, Clough RW, Martin HC, Topp LJ. Stiffness and deflection analysis of complex structures. J Aero Sci 1956; 23: 805-23，这是有限单元法的雏形。1965 年“有限元”这个名词第一次出现。有限元的核心思想是结构的离散化，就是将实际结构假想地离散为有限数目的规则单元组合体，使得实际结构的物理性能可以通过对离散体进行分析，得出满足工程精度的近似结果来替代对实际结构的分析，这样可以解

决很多实际工程需要解决而理论分析又无法解决的复杂问题。

理论解析方法提供了固体、流体、热、电磁领域的完美求解方程和边界条件,但对于复杂形体的不能得到解析解。复杂形体是简单形体堆积的结果,而简单的形体总是可以得到解析结果,比如方块或四面体。有限元方法是一种模拟在确定的荷载条件下的结构响应的方法,就是把复杂形体用大量简单形体堆积,先处理简单的形体,再推演处理复杂的形体,使得复杂问题简单化。每一个简单形体称为一个单元,单元越小,堆积出来的形状越接近真实形体。用有限元方法解决问题时首先将复杂的形体划分成网格,每个网格就是一个单元,网格分得越细,计算结果越精确。

今天,有限元方法在工程上得到了广泛应用,经历了几十年的发展历史,理论和算法都日趋完善。随着计算机技术的普及和计算速度的不断提高,有限元分析在工程设计和分析中得到了越来越广泛的重视,已经成为解决复杂的工程分析计算问题的有效途径。现在从汽车到航天飞机几乎所有的设计制造都已离不开有限元分析计算,其在机械制造、材料加工、航空航天、汽车、土木建筑、电子电气、国防军工、船舶、铁道、石化、能源、科学研究等各个领域的广泛使用已使设计水平发生了质的飞跃。随后,经过数学家从理论上的完善,使有限元法不断发展,并逐渐应用于求解航空、航天、机械、电子、船舶、土木等众多的工程问题。

1.1.2 应用

有限单元法是利用电子计算机进行数值模拟的方法,目前在工程技术领域中的应用十分广泛,有限元计算结果已成为各类工业产品设计和性能分析的可靠依据。目前,有限元法广泛应用于求解航空、航天、机械、电子、船舶、土木、核工业、生物、能源、化工、医学及交通运输等众多领域的工程问题,特别是随着计算机技术突飞猛进的发展,有限单元法在解决问题的规模、范围方面也已经发生了巨大的变化。有限元分析技术可以实现:

- (1) 发现产品潜在的问题及先天缺陷,创造品质优异的产品。
- (2) 进行风险评估与预测,提高产品和工程的可靠性,降低风险。
- (3) 经过对比分析计算,采用优化设计方案,降低产品成本。
- (4) 缩短产品投向市场的时间。
- (5) 减少物理试验次数,对大量情况进行快速有效模拟试验分析,从而减少试验经费。
- (6) 模拟不适合在原型上进行试验的设计,例如器官移植、人造膝盖等。
- (7) 模拟无法看到或重现的场景,如事故分析及调查。

1.2 ANSYS 软件

伴随着现代人生活节奏的加快和对产品性能要求的不断提高,作为杰出通用有限元分析软件之一的 ANSYS 已经深入到产品研发的整个过程中。尤其是在产品初期方案论证和修改定型中,通过 ANSYS 对产品性能进行全面分析把握、对产品先天缺陷进行预测及改善、对产品结构进行优化调整,这是提升产品性能、加速产品研发进程行之有效的手段。

1.2.1 简介

ANSYS (Analysis System) 软件属于世界上最大的有限元分析软件开发商之一的美国 ANSYS 公司,是目前最有影响力的有限元软件之一。自从 1970 年由美国匹兹堡大学力学系教授 John Swanson 博士开发出来,在至今几十年的长足进展中,功能不断强大,在全球的大型设计软件中占有举足轻重的地位,其融结构、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体,涵盖了机械、航空航天、能源、交通运输、土木工程、水利、电子、地矿、生物医学、教学科研等众多领域。

此外,它能与众多 CAD 软件接口,实现数据的共享和交换,如 Pro/E, NASTRAN, Alogor, CATIA, UG, I-DEAS, Solid Works, AutoCAD 等,是现代产品设计中的高级 CAE 工具之一。

ANSYS 经过几十年的发展和推广,目前其应用已经涉及众多领域,能够解决结构、流体、热、电磁以及它们的耦合场问题,像其中的静力学分析、动力学分析、非线性分析、疲劳分析、流体分析、优化设计、碰撞分析等都已经成为稳定可靠的技术。特别是近年来,由于计算机硬件技术突飞猛进的发展,ANSYS 处理大自由度问题变得更加容易。此外数值计算方法的不断改进和完善,也使 ANSYS 能够解决的问题越来越多,涉足的行业范围越来越广。在现代工程技术领域,ANSYS 越来越受到广大工程技术人员和科研人员的青睐。

1.2.2 主要功能模块

ANSYS 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、动力学分析、复合材料分析、优化设计、概率设计、断裂力学分析等)、流体动力学分析、电磁场分析(如电磁分析、静电场、静磁场、低频电磁、谐波分析、瞬态分析、高频电磁、谐波分析、模式分析等)、声场分析(如全耦合液固分析、近场与远场、谐波分析、瞬态分析、模态分析等)、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。表 1-1 围绕 ANSYS 的主要模块进行一一介绍,将每一个模块的功能、特点作了一个较全面的讲解,这对于帮助用户选用什么模块来解决问题有很大的帮助。

ANSYS 主要模块介绍 表 1-1

模块名称	功 能 介 绍
结构分析模块 Structure	ANSYS Structure 是 ANSYS 产品中的结构分析模块,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、独具特色的梁单元、高效可靠的并行求解、充满现代气息的前后处理是它的特色
多物理场模块 Multiphysics	ANSYS Multiphysics 集结构、热、计算流体动力学、高/低频电磁仿真于一体,在统一环境下实现多物理场及多物理场耦合的仿真分析,精确、可靠的仿真功能可用于航空航天、汽车、电子电气、国防军工、铁路、造船、石油化工、能源电力、核工业、土木工程、冶金与成形、生物医学等各个领域,功能强大的各类求解器可求解从冷却系统到发电系统、从生物力学到 MEMS 等各类工程结构

续表

模块名称	功 能 介 绍
流体力学模块 CFX 等	CFX 是全球第一个通过 ISO 9001 质量认证的大型商业 CFD 软件，是英国 AEA Technology 公司为解决其在科技咨询服务中遇到的工业实际问题而开发的。诞生在工业应用背景中的 CFX 一直将精确的计算结果、丰富的物理模型、强大的用户扩展性作为其发展的基本要求，并以其在这些方面的卓越成就，引领着 CFD 技术的不断发展。目前，CFX 已经遍及航空航天、旋转机械、能源、石油化工、机械制造、汽车、生物技术、水处理、火灾安全、冶金、环保等领域，为其在全球众多用户解决了大量的实际问题。2003 年，CFX 加入了全球最大的 CAE 仿真软件 ANSYS 的大家庭中
显式动力学模块 LS-DYNA	LS-DYNA 是世界上最著名的通用显式动力分析程序，能够模拟真实世界的各种复杂问题，特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成型等非线性动力冲击问题，同时可以求解传热、流体及流固耦合问题。用于模拟非常大的变形，惯性力占支配地位，并考虑所有的非线性行为。在工程应用领域被广泛认可为最佳的分析软件包。它的显式方程求解冲击、碰撞、快速成型等问题，是目前求解这类问题最有效的方法
电磁分析模块 EMAG 等	在电子、电气工程中，电磁场仿真具有重要意义。ANSYS/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

1.2.3 版本

ANSYS 软件有多种不同版本，从最初的 2.0 版本至今，已经有了几十年的历史。各种版本可以运行在从个人机到大型机的多种计算机设备上，如 PC，SGI，HP，SUN，DEC，IBM，CRAY 等。其版本号的第一个数字表示软件有重大的改进及更新，第二个数字表示有小幅度的改进及更新。

ANSYS 经典版本一览 表 1-2

版 本	年 份	版 本	年 份	版 本	年 份
2.0	1971	5.1	1995	7.0	2002
3.0	1978	5.2	1995	7.1	2003
4.0	1982	5.3	1996	8.0	2003
4.1	1983	5.4	1997	8.1	2004
4.2	1985	5.5	1999	9.0	2005
4.3	1987	5.7	2001	10.0	2005
4.4	1989	6.0	2001	11.0	2007
5.0	1992	6.1	2002	12.0	2009

1.3 ANSYS 图形用户界面

ANSYS 的工作环境主要由 6 个窗口组成，就是通常所说的 GUI，即图形用户界面。

图 1-1 所示为 ANSYS 图形用户界面 (以 ANSYS11.0 为例), 主要包括主菜单 (Main Menu)、应用菜单 (Utility Menu)、工具栏 (Tool Bar)、图形输出窗口 (Plot Out Window)、输入窗口 (Command Prompt)、输出窗口 (Output Window) 六个部分。此外图形用户界面还布置了标准工具栏、状态提示栏、图形操作工具等快捷操作按钮, 以供用户操作、使用起来更加方便。在 ANSYS 大多数经典版本中, 其工作环境基本上没有太大的变化。因此, 在这里依照 ANSYS11.0 对其图形用户界面作一个通用性的介绍。

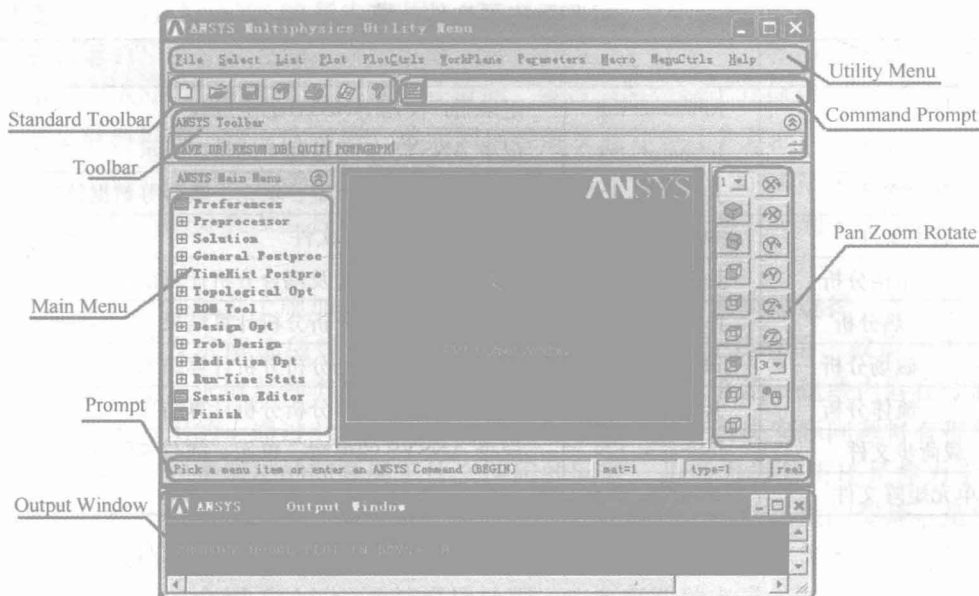


图 1-1 ANSYS 图形用户界面

为了让读者对 ANSYS 图形用户界面各个部分的功用有进一步的认识和了解, 在表 1-3 中, 对 ANSYS 图形用户界面作了详细说明。此外, 读者还可以通过 ANSYS 自带的 Help 文件, 了解更多的内容, 在此不一一叙述。

ANSYS 图形用户界面说明

表 1-3

名 称	命 令	说 明
Utility Menu	应用菜单	文件操作、(元素) 选择、列表、图形显示及控制、工作平面、参数化、宏、菜单控制及帮助系统等
Standard Toolbar	标准工具栏	建立新文件、打开文件、保存、工具栏等
Command Prompt	输入窗口	输入命令后按 Enter 执行
Toolbar	工具栏	数据保存、恢复、程序退出等
Main Menu	主菜单	前后处理器、求解器、拓扑选项、优化设计等
Plot Output Window	图形输出窗口	显示所有图形 (如点、线、面的元素)
Pan Zoom Rotate	图形操作工具	实现图形的拖动, 缩放及旋转
Prompt	状态提示栏	提示当前状态, 引导用户后续操作
ANSYS Output Window	输出窗口	ANSYS 系统输出窗口 (如命令操作等)

1.4 ANSYS 文件

表 1-4 是对 ANSYS 产生的各种主要文件的介绍。通过对 ANSYS 生成的各种文件的介绍，方便读者对文件进行查询、管理。

ANSYS 主要文件一览 表 1-4

文 件		文 件 名	说 明
日志文件		Jobname. log	记录用户使用 ANSYS 的全过程
错误文件		Jobname. err	记录 ANSYS 使用过程中的错误提示
数据文件		Jobname. db	记录 ANSYS 的模型、单元、载荷等数据信息
数据文件		Jobname. dbb	ANSYS 数据备份文件
结 果 文 件	结构分析	Jobname. rst	记录 ANSYS 结构及耦合分析计算结果
	热分析	Jobname. rth	记录 ANSYS 热分析分析计算结果
	磁场分析	Jobname. rmg	记录 ANSYS 磁场分析分析计算结果
	流体分析	Jobname. rfl	记录 ANSYS 流体分析分析计算结果
载荷步文件		Jobname. SN	记录 ANSYS 的模型、单元、载荷等信息
单元矩阵文件		Jobname. emat	记录 ANSYS 单元矩阵信息

1.5 小结

本章主要是针对有限元分析技术的起源、发展和应用以及大型通用有限元分析软件 ANSYS 进行介绍，重点对 ANSYS 图形用户界面进行了较全面地讲解介绍。希望通过本章的讲解，读者对有限元分析技术、ANSYS 软件的图形用户界面及其功用有一个系统性的认识，特别是通过对 ANSYS 的图形用户界面的介绍，对以后章节中的图形用户界面菜单操作将会有较大的帮助。以下是每一个小节的内容小结。

(1) 第 1 节主要介绍了有限单元法的起源和概念，并对有限单元法的核心思想作了总结。然后重点介绍有限单元法的应用领域及其在工程方面的价值。通过本节的讲解，让读者真正地认识有限单元法及应用，对有限元最杰出软件之一的 ANSYS 的工程实用价值有一个较全面的了解。

(2) 第 2 节是以 ANSYS 为对象，分别介绍了 ANSYS 的产生、应用，ANSYS 的主要模块功能及 ANSYS 的发展版本。通过本节的介绍，进一步加深读者对 ANSYS 软件的模块结构、功能的认知。

(3) 第 3 节是对 ANSYS 图形用户界面的介绍。通过对 ANSYS 操作界面的系统讲解，让读者对 ANSYS 的图形用户界面有一个较深的印象，为后续的实例讲解做铺垫，做准备。

(4) 第 4 节是对 ANSYS 产生的各种主要文件的介绍，通过对 ANSYS 生成的各种文件的介绍，方便读者对文件进行查询、管理。

第 2 章 ANSYS 应用基础

本章主要针对 ANSYS 的基本应用, 根据有限元法分析问题的方法、步骤和一般原则, 分别介绍 ANSYS 前处理、施加载荷和求解以及结果后处理。其中, 前处理内容主要讲述了如何在 ANSYS 中建立一个有限元模型, 重点内容包括了几何模型建立、单元类型选择、定义材料模型、定义实常数、单元网格控制及划分等几个方面。文章对于几何模型的建立方法、单元分类及其选用的原则、材料模型的种类和定义、实际常数的概念及其定义方法、单元网格的分类及其控制等都进行了全面、系统的讲解, 并列举了相应的实例作为辅助说明。

接下来, 讲述在模型上施加载荷及求解, 具体内容涉及分析类型选择、载荷类型、载荷步控制、求解器及求解选项等。文章就 ANSYS 分析类型及其应用、载荷分类及其意义、多载荷步使用、求解器种类及其特点和选用原则做了深入介绍, 这些内容在今后的应用中将是很有用的。通过对这些内容的认识和了解, 对于解决实际问题将有很好的指导和帮助作用, 比如要解决的问题属于什么性质的问题, 是动力学分析还是静力学分析, 是结构强度校核还是结构优化, 是否涉及材料非线性, 用到了哪些类型的载荷, 是单一载荷工况还是多载荷工况, 目前的硬件条件可否支持这种规模的运算等等。

在本章的最后, 介绍了 ANSYS 结果后处理, 主要有两种方式, 即通用结果后处理器 (POST1) 和时域后处理器 (POST26)。讲解的重点放在结果输出方式上, 如图形显示输出, 表格方式输出以及其他结果处理方式等。这些内容在后续的篇幅中将有进一步的讲解。

通过以上对 ANSYS 基础应用的介绍, 对后面篇章的讲解将起到很大的帮助作用。有此基础, 后面内容的讲解就变得相对容易些。

本章导读:

- ◆ 介绍 ANSYS 分析问题的一般步骤
- ◆ 前处理模块
- ◆ 施加载荷及求解
- ◆ 结果后处理

2.1 概述

ANSYS 分析三步曲: 前处理→加载并求解→结果后处理。ANSYS 分析问题的组成部分如下:

- (1) 建立几何模型: 对几何模型的模拟;

- (2) 建立材料模型：对物理模型的模拟；
- (3) 建立分析过程：对过程的模拟；
- (4) 结果的查询和判断；
- (5) 参数调整，重新分析。

在 ANSYS 的主菜单中，总共有 13 个模块，每一个模块的功能各不相同。其中最常用的模块有 6 个，通过这些模块能够实现有限元模型建立、求解计算以及结果后处理。这些模块分别是：

- (1) 通用前处理模块 (Pre7)；
- (2) 求解模块 (Solu)；
- (3) 通用后处理模块 (Post1)；
- (4) 时域后处理模块 (Post26)；
- (5) 拓扑优化模块 (Topological Opt)；
- (6) 优化分析模块 (Design Opt)。

如图 2-1 所示，显示了 ANSYS 主菜单中最常用的几个模块。

对于不同的问题，建立模型的方法、所用的模块、求解设置、结果后处理都会存在差别。这将在后面的案例分析中有详细的介绍。



图 2-1 ANSYS 常用模块

2.2 前处理

ANSYS 前处理工作包括建立几何模型、选择单元类型、定义材料模型、设置实常数、单元控制及网格划分等，在接下来的篇幅中将逐一介绍这些内容。

2.2.1 几何模型

ANSYS 环境下几何模型的建立主要有两个途径，一是由 ANSYS 自带的工具直接建立模型；另一个是由 CAD 软件导入模型。每一种途径各有其优点，下面将分别介绍这两种方法。

1. 直接建模

ANSYS 几何模型具体包括四类图元，即关键点、线、面和体。其中，关键点（位于 3D 空间）代表物体的角点、拐点；线（直线、也可以是空间曲线）以关键点为端点，代表物体的边；面代表实体表面、平面形状或壳（可以是三维曲面）；体（3D 模型）由面围成，代表三维实体，面（表面）由线围成，线由点构成。

经典 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，称为基元，程序则自动定义相关的面、线及关键点，如图 2-2 所示。

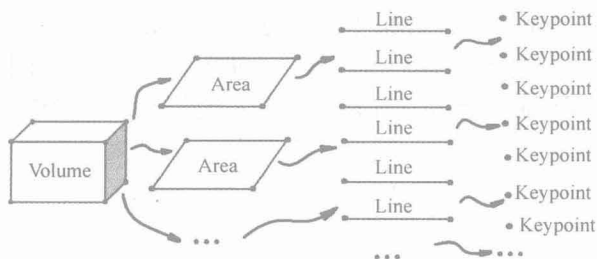


图 2-2 自顶向下建立模型的思路

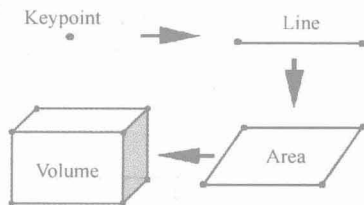


图 2-3 自底向上建立模型的思路

用户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、锥和柱等。同时低级的图元可由高级图元来产生，比如由体得到面、由面生成线等。

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，用户首先定义关键点，然后依次是相关的线、面、体。如图 2-3 所示为自底向上建立模型的思路。

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“雕塑”出一个实体模型。ANSYS 程序提供了完整的布尔运算（如图 2-4 所示），诸如相加、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、单元的布尔操作能减少相当可观的建模工作量。图 2-5、2-6 及 2-7 分别显示了两个面进行布尔相加、相减及两个体进行布尔粘结的操作。

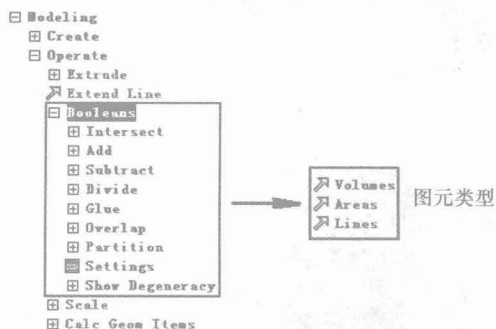


图 2-4 ANSYS 布尔运算命令

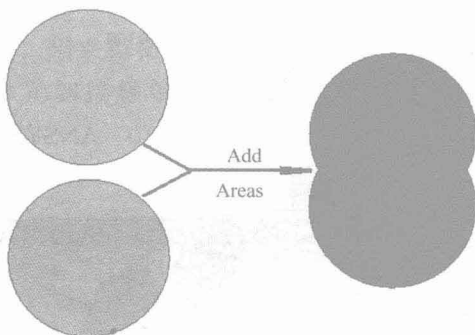


图 2-5 ANSYS 面布尔相加操作

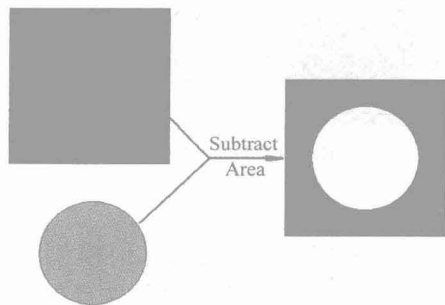


图 2-6 ANSYS 面布尔相减操作

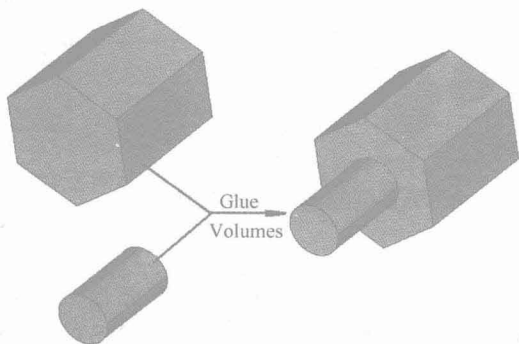


图 2-7 ANSYS 体布尔粘结操作

ANSYS 程序还提供了拖拉、延伸、旋转、移动和拷贝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、自动倒角生成及用于网格划分的硬点的建立、移动、拷贝和删除等（如图 2-8 所示）。图 2-9、2-10、2-11 及 2-12 分别显示了在 ANSYS 通过拖拉、旋转、拷贝及删除图元的操作。

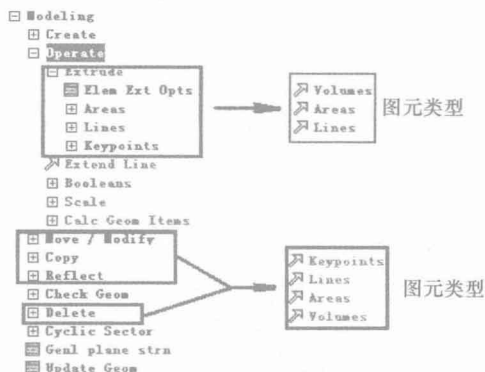


图 2-8 ANSYS 多种图元操作功能

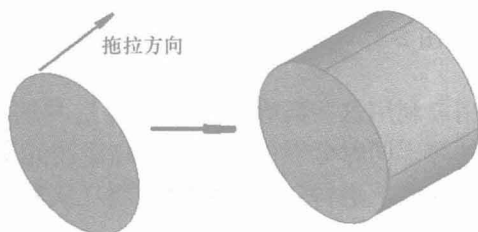


图 2-9 ANSYS 拖拉模型图元操作功能

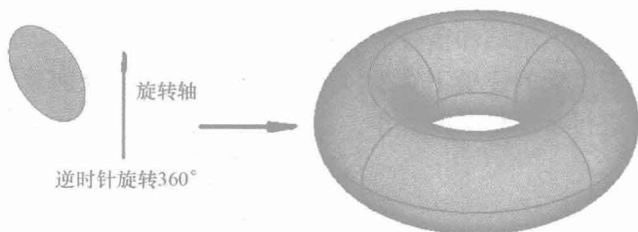


图 2-10 ANSYS 旋转模型图元操作功能

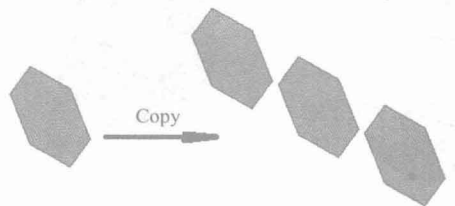


图 2-11 ANSYS 拷贝模型图元操作功能

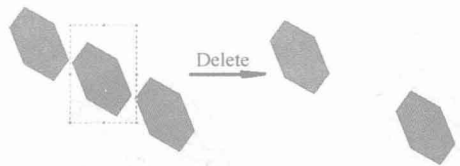


图 2-12 ANSYS 删除模型图元操作功能

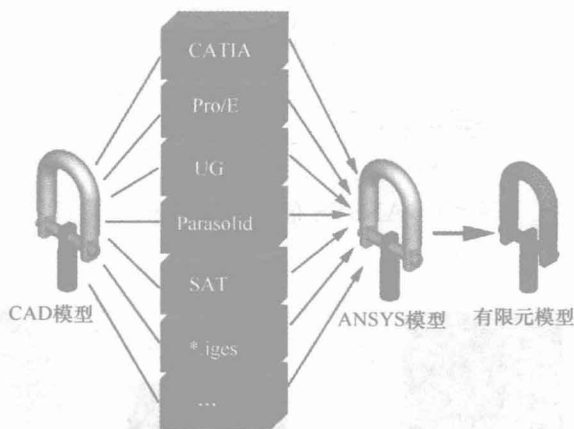


图 2-13 CAD 软件模型与 ANSYS 接口

2. 模型导入

目前各种 CAD 软件的造型功能很强大，可以将 CAD 软件环境的几何模型导入到 ANSYS 中，实现 CAD 软件与 ANSYS 的联合。目前，ANSYS 与它们之间的数据接口如图 2-13 所示。

关于模型导入，其基本原则是：如果具备与 CAD 软件的专用接口，应使用专用接口；否则，使用 *.iges 或 *.model 等接口。比如对于在 CATIA 或者 Pro/E 环境中建立的几