



CAD/CAM/CAE工程应用丛书

ANSYS系列

ANSYS 15.0

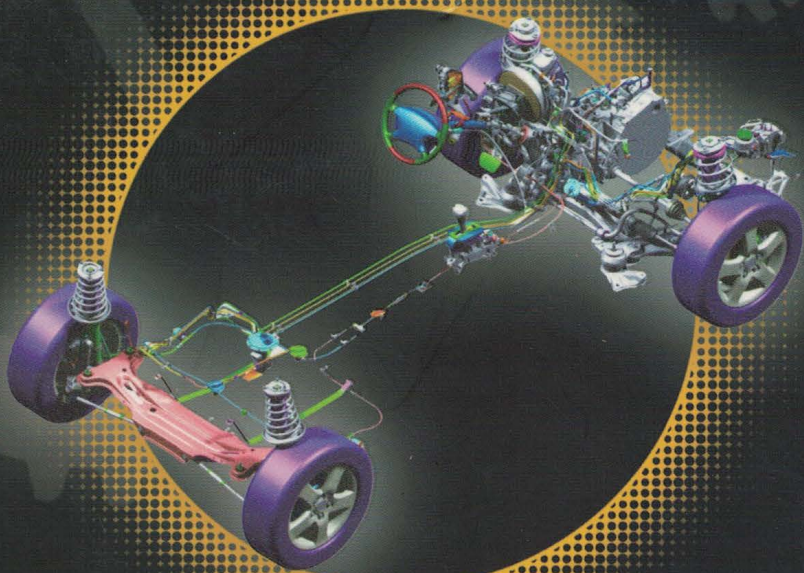
有限元分析

从入门到精通

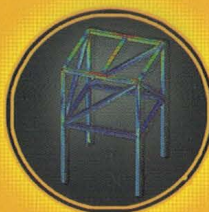
CAE应用联盟 组编 刘浩 等编著

本书核心内容包含

- 机械结构基础分析
- 加工过程仿真分析
- 装配与复合材料分析
- 锤击法施工仿真分析
- 起重机综合分析
- 钢筋混凝土基本问题分析
- 钢结构及钢筋混凝土结构分析
- 膜结构及网壳结构分析
- 基础工程分析
- 桥梁工程实例分析
- 隧道工程实例分析



附赠全书范例
素材  光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·ANSYS 系列

ANSYS 15.0 有限元分析 从入门到精通

CAE 应用联盟 组 编

刘 浩 等编著



机械工业出版社

本书主要介绍 ANSYS 15.0 的操作命令及其在工程结构数值分析中的使用方法和技巧。全书分基础介绍和实际工程应用两个层次，讲述了 ANSYS 软件的使用方法，工程背景深厚，内容丰富，讲解详尽，内容安排由浅入深，适用于不同层次的 ANSYS 用户。

全书共分 3 篇，第 1 篇基础知识篇，内容包括 ANSYS 背景知识介绍，几何建模技术与技巧，网格划分技术，加载与求解技术，通用与时间后处理技术以及 ANSYS 参数化设计语言专题知识。第 2 篇机械工程应用篇，依托机械工程中常见的实例，按照不同的分析方式，分层次分类别地进行了详尽的操作演示与讲解。第 3 篇土木工程应用篇，根据土木工程中的不同种类问题，选取相关领域内最具代表性的工程问题为实例，进行建模及加载求解，并以工程中的常用技术控制指标为依据，进行后处理分析。

本书可作为高等院校机械工程与土木工程相关专业的高年级本科生、研究生的教材，也可供上述专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS 15.0 有限元分析从入门到精通 / 刘浩等编著；CAE 应用联盟组编。
—北京：机械工业出版社，2014.8 (2016.1重印)

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 978-7-111-47915-4

I. ①A… II. ①刘… ②C… III. ①有限元分析-应用程序 IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 209194 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：张淑谦

责任编辑：张淑谦

责任校对：张艳霞

责任印制：李 洋

三河市国英印务有限公司印制

2016 年 1 月第 1 版 · 第 2 次印刷

184mm×260mm · 32.75 印张 · 810 千字

4001—55000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-47915-4

ISBN 978-7-89405-535-4 (光盘)

定价：89.00 元 (含 1DVD)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透，CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用，从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式，对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早，使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计，而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发，以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用，不但可以提高设计质量，缩短工程周期，还可以节省大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性，掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧，已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而，仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的，只有将计算机技术和工程实际结合起来，才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑，机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、Creo、UG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用，以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作，配以大量具有代表性的实例，并融入了作者丰富的实践经验，使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点，是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社



前 言

现代工程技术的发展要求计算能力的提高。计算能力的提高有多种途径，应用大型商业通用软件就是其中之一。

ANSYS 功能强大，简单易学，是最通用和高效的商用有限元软件之一，拥有全球最大的用户群。它融结构、传热学、流体、电磁、声学 and 爆破分析于一体，具有极为强大的前后处理及计算分析能力，能够同时模拟结构、热、流体、电磁以及多种物理场间的耦合效应。

命令流是 ANSYS 软件的一大特色，功能强大且使用十分方便。命令流类似于 FORTRAN 语言，能够完成所有的分析过程。命令流也是 ANSYS 参数化有限元分析、批处理、优化设计、自适应网格以及二次开发的主要基础。用户掌握命令流方式后，能够极大地丰富分析手段，提高工作效率。

1. 本书特色

由浅入深，循序渐进：本书首先从 ANSYS 基础讲起，再辅以工程中的应用案例帮助读者尽快掌握使用 ANSYS 进行有限元分析的技能。

步骤详尽，实例典型：本书以 ANSYS 15.0 为根据，依托大量的工程实例，具体讲解运用 ANSYS 高级有限元分析软件处理工程问题的方法与详细步骤。本书的目的是使读者系统掌握 ANSYS 的使用方法，能够对各种工程结构进行规划、建模、加载求解与结果处理，并编写相应的命令流文件。通过学习实际工程应用案例的具体操作是掌握 ANSYS 的最好方式。本书通过综合应用案例，透彻详尽地讲解了 ANSYS 在多方面的应用。

内容充实，易学易懂：本书专题实例中的每个例子都包含了 GUI 操作和 APDL 命令流语句两种方式，两种方式在效果上完全等价。其中，GUI 方式通俗易懂且分析步骤一目了然；而 APDL 方式则方便快捷，适合复杂问题的分析。读者应同时掌握两种分析方式，根据不同的具体问题，采用更为方便的方式。

2. 本书内容

本书以初中级读者为对象，结合编者多年 ANSYS 的使用经验与实际工程应用案例，将 ANSYS 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖，讲解过程辅以相应的案例，使读者在阅读时一目了然，从而快速掌握书中所讲内容。

本书基于 ANSYS 15.0，讲解了 ANSYS 的基础知识和综合应用。全书分为 3 篇：

第 1 篇基础知识篇，共 7 章，主要讲解 ANSYS 软件的基本应用。本篇按 ANSYS 分析流程，讲解包括模型的建立、单元控制、网格划分、加载、求解及后处理等内容，为后面更深入的应用打下基础。

第 2 篇机械工程应用篇，共 5 章。以机械工程中的常见问题为原型，讲解建模、分析计算和后处理操作，帮助读者掌握如何使用 ANSYS 解决机械工程应用中常见的工程问题。

第 3 篇土木工程应用篇，共 6 章。涵盖了土木工程方面的典型工程实例，具有重要的参考价值，帮助读者掌握如何使用 ANSYS 解决土木工程应用中常见的工程问题。

3. 读者对象

本书适用于下列读者：

- ★大中专院校的在校生
- ★参加工作实习的“菜鸟”
- ★广大科研工作人员
- ★初学 ANSYS 有限元分析的技术人员
- ★相关培训机构的教师和学员
- ★有限元分析爱好者

4. 读者服务

读者在学习本书的过程中如遇到有关的技术问题，可以发邮件到邮箱 caxart@126.com，或者访问博客 <http://blog.sina.com.cn/caxart>，编者会尽快给予解答。

5. 本书编者

本书主要由刘浩编写，参与编写的还有丁金滨、唐家鹏、高飞、温正、石良臣、陈艳霞、林金宝、凌桂龙、王芳、陈培见、刘成柱、宋玉旺、张岩、韩希强、丁凯、张亮亮、孙国强、于苍海、郭海霞、沈再阳、李昕、张文电、陈峰浩、王菁、张建伟和李成芬。

虽然编者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中欠妥之处在所难免，希望读者和同仁能够及时指出，共同促进本书质量的提高。

最后再次希望本书能为读者的学习和工作提供帮助！

编者



目 录

出版说明
前言

第 1 篇 基础知识篇

第 1 章 绪论	2	第 3 章 单元与单元的控制	27
1.1 有限单元法概述	2	3.1 ANSYS 单元介绍	27
1.1.1 有限元法历史	2	3.1.1 结构单元	27
1.1.2 有限元法的基本概念	3	3.1.2 热单元	48
1.2 ANSYS 15.0 基本操作	3	3.1.3 电磁单元	49
1.2.1 ANSYS 15.0 的启动与退出	3	3.1.4 耦合场单元	52
1.2.2 ANSYS 15.0 操作界面	4	3.1.5 流体单元	53
1.2.3 ANSYS 15.0 文件管理	7	3.2 单元属性的设置	54
1.2.4 ANSYS 15.0 有限元分析 流程	10	3.2.1 单元类型 (TYPE)	54
1.3 本章小结	11	3.2.2 实常数 (REAL)	55
第 2 章 建立模型	12	3.2.3 材料特性 (MAT)	55
2.1 建模前知识准备	12	3.2.4 截面特性设置 (SECTION)	55
2.1.1 量纲问题	12	3.3 本章小结	56
2.1.2 坐标系问题	14	第 4 章 网格划分	57
2.2 自底向上建模	18	4.1 网格的控制	57
2.2.1 模型尺寸及相关参数	18	4.1.1 智能网格划分	57
2.2.2 建模过程	18	4.1.2 全局单元尺寸控制	57
2.3 自顶向下建模	20	4.1.3 默认单元尺寸控制	58
2.3.1 相关参数	20	4.1.4 关键点尺寸控制	59
2.3.2 建模过程	20	4.1.5 线尺寸控制	59
2.3.3 布尔运算常用命令	21	4.1.6 面尺寸控制	61
2.4 直接建立有限元模型	22	4.2 简单网格划分实例	61
2.4.1 节点的生成	22	4.2.1 几何模型的导入	62
2.4.2 单元的生成	22	4.2.2 定义单元属性	62
2.5 一些快速建模命令	23	4.2.3 网格的控制	62
2.5.1 复制命令	24	4.2.4 网格的清除	64
2.5.2 镜像命令	24	4.2.5 局部网格	65
2.5.3 对象的选择与删除	24	4.3 通过拉伸生成网格	66
2.6 CAD 几何模型导入	24	4.4 映射网格划分 Mapped	67
2.7 本章小结	26	4.4.1 多边形面的映射网格划分	67

4.4.2	多面体的映射网格划分	69	5.5.3	荷载步文件的查看或修改、 删除	94
4.5	扫掠网格划分 Sweep	69	5.6	本章小结	94
4.5.1	体扫掠基本知识 (Sweep)	70	第 6 章	求解与后处理	95
4.5.2	体扫掠的操作步骤与使用 条件	70	6.1	通用后处理	95
4.6	本章小结	72	6.1.1	读入结果文件	95
第 5 章	模型加载及求解分析	73	6.1.2	分析结果的绘图显示	96
5.1	加载的基础知识	73	6.1.3	结果查看器	101
5.1.1	荷载的种类	73	6.1.4	分析结果的列表显示	102
5.1.2	荷载步	74	6.1.5	结果的运算处理	105
5.1.3	加载方式类型及特点	75	6.1.6	旋转结果到不同的 坐标系	106
5.2	施加约束	76	6.1.7	荷载工况	107
5.2.1	在关键点(或节点)上 加载位移约束	76	6.2	时间历程后处理	108
5.2.2	在线(或面)上加载位移 约束	77	6.2.1	时间历程后处理窗口 介绍	108
5.2.3	耦合	78	6.2.2	定义变量	111
5.2.4	约束方程	80	6.2.3	变量运算	112
5.3	施加荷载	82	6.2.4	变量与数组	112
5.3.1	集中荷载	82	6.2.5	变量的显示	113
5.3.2	分布荷载	82	6.3	本章小结	113
5.3.3	体荷载	85	第 7 章	参数化设计语言	114
5.3.4	惯性荷载	87	7.1	参数化设计语言基础知识	114
5.3.5	耦合场荷载	87	7.1.1	APDL 语言的输入	114
5.3.6	轴对称荷载与反作用力	87	7.1.2	APDL 语言的参数	114
5.3.7	初应力荷载	88	7.1.3	APDL 语言的流程控制	124
5.3.8	由表型数组定义荷载	89	7.1.4	宏文件	127
5.3.9	荷载显示与控制	90	7.1.5	函数、运算符以及常用 控制命令	129
5.4	设定分析类型与求解方法	91	7.2	APDL 命令流应用详解	140
5.4.1	分析类型设置	91	7.2.1	模型的建立	140
5.4.2	分析基本选项设置	92	7.2.2	网格划分	143
5.5	荷载步文件法	93	7.2.3	边界条件	144
5.5.1	荷载步文件的建立法	93	7.2.4	求解	146
5.5.2	荷载步文件法求解	93	7.3	本章小结	146

第 2 篇 机械工程应用篇

第 8 章	机械结构基础分析	148	8.2	螺栓强度分析	150
8.1	基础知识	148	8.2.1	建立模型	151



8.2.2	定义单元与材料	159	9.4.2	分析过程	224
8.2.3	定义边界条件	160	9.5	本章小结	230
8.2.4	求解与后处理	162	第 10 章	装配与复合材料分析	231
8.3	起重机结构分析	165	10.1	非线性问题概述	231
8.3.1	问题描述	165	10.1.1	非线性分析基础知识	232
8.3.2	设置分析环境	166	10.1.2	非线性问题的分类	232
8.3.3	定义单元与材料属性	166	10.1.3	非线性分析的收敛 问题	233
8.3.4	建立有限元模型	168	10.2	螺栓联接件的接触分析	234
8.3.5	施加边界条件	173	10.2.1	实例背景	234
8.3.6	求解	175	10.2.2	分析过程	236
8.3.7	显示变形图	175	10.3	复合材料分析	259
8.3.8	显示结果云图	176	10.3.1	概述	259
8.3.9	查看矢量图	176	10.3.2	复合材料梁的分析	263
8.3.10	查看支座反力	177	10.4	大变形问题	272
8.3.11	查看轴力	177	10.4.1	问题描述	273
8.3.12	查询 E 点的挠度	178	10.4.2	分析过程	273
8.4	模型简化方法实例	179	10.5	本章小结	284
8.4.1	设置分析环境	179	第 11 章	锤击法施工仿真分析	285
8.4.2	定义单元与材料	181	11.1	ANSYS 显式动态功能 模块简介	285
8.4.3	建立模型	182	11.1.1	显式动态分析的流程	285
8.4.4	加载及求解	184	11.1.2	显式动态单元	287
8.4.5	后处理	187	11.1.3	显式动态分析建模	291
8.5	本章小结	191	11.1.4	显式动态分析的边界 条件	295
第 9 章	加工过程仿真分析	192	11.1.5	显式动态分析求解	302
9.1	热力学基础知识	192	11.1.6	显式动态接触分析	305
9.1.1	符号与单位	193	11.1.7	显式动态分析的材料 模型	311
9.1.2	传热学经典理论回顾	193	11.1.8	显式动态分析中的 刚体	322
9.1.3	热传递的方式	193	11.1.9	显式动态分析后处理	325
9.1.4	线性与非线性	194	11.1.10	跌落测试模块	329
9.1.5	边界条件、初始条件	195	11.2	锤击法施工分析实例	331
9.1.6	热分析误差估计	195	11.2.1	问题背景	331
9.2	焊接过程仿真	195	11.2.2	分析过程	331
9.2.1	概述	195	11.3	本章小结	340
9.2.2	分析过程	198	第 12 章	起重机综合分析	341
9.3	铸造过程仿真	209			
9.3.1	概述	209			
9.3.2	分析过程	210			
9.4	热-结构耦合问题	223			
9.4.1	概述	223			

12.1 实例背景	341	12.2.2 瞬态动力学分析	359
12.2 分析过程	342	12.2.3 模态分析	367
12.2.1 静力学分析	342	12.3 本章小结	370
第 3 篇 土木工程应用篇			
第 13 章 钢筋混凝土基本问题分析	372	14.2.4 后处理	423
13.1 钢筋混凝土板	372	14.3 本章小结	425
13.1.1 问题简述	372	第 15 章 膜结构及网壳结构分析	426
13.1.2 前处理	372	15.1 膜结构	426
13.1.3 加载及求解	376	15.1.1 相关知识简介	426
13.1.4 后处理	378	15.1.2 问题简述	426
13.2 混凝土开裂	382	15.1.3 前处理	427
13.2.1 混凝土的裂缝模型	382	15.1.4 施加约束及荷载	428
13.2.2 分析中用到的概念	383	15.1.5 找形分析	429
13.2.3 问题描述	383	15.2 空间单层网壳	431
13.2.4 前处理	384	15.2.1 网壳分类及简介	431
13.2.5 加载及求解	387	15.2.2 问题简述	431
13.2.6 计算结果分析	389	15.2.3 参数设置	432
13.3 预应力钢筋混凝土	392	15.2.4 建模	433
13.3.1 预应力在 ANSYS 中的		15.2.5 特征屈曲分析	434
实现	392	15.2.6 非线性分析	437
13.3.2 问题描述	392	15.3 本章小结	441
13.3.3 前处理	393	第 16 章 基础工程分析	442
13.3.4 加载及求解	399	16.1 房屋刚性独立基础	442
13.3.5 后处理	401	16.1.1 独立基础	442
13.4 本章小结	403	16.1.2 问题简述	442
第 14 章 钢结构及钢筋混凝土结构		16.1.3 前处理	443
分析	404	16.1.4 加载及求解	445
14.1 钢结构排架受力分析	404	16.1.5 后处理	447
14.1.1 钢材特点	404	16.2 考虑接触单元桩基分析	449
14.1.2 问题简述	404	16.2.1 问题简述	450
14.1.3 前处理	405	16.2.2 单元及材料属性设定	450
14.1.4 加载及求解	411	16.2.3 建模	451
14.1.5 后处理	414	16.2.4 加载及求解	457
14.2 钢筋混凝土框架结构简单		16.2.5 后处理	458
分析	416	16.3 本章小结	460
14.2.1 问题简述	416	第 17 章 桥梁工程实例分析	461
14.2.2 前处理	417	17.1 钢桁架桥	461
14.2.3 求解	422	17.1.1 问题简述	461



17.1.2	前处理	462	18.1.2	问题简述	483
17.1.3	加载及求解	466	18.1.3	前处理	484
17.1.4	一般后处理	467	18.1.4	求解选项及边界条件 设置	489
17.2	大跨度悬索桥	469	18.1.5	基于单元生死的开挖过程 求解	491
17.2.1	悬索桥背景简介	469	18.1.6	后处理	495
17.2.2	问题简述	470	18.2	地铁站台的地震响应 分析	498
17.2.3	单元及材料参数	470	18.2.1	相关知识	498
17.2.4	建模	471	18.2.2	问题简述	498
17.2.5	找形分析	475	18.2.3	前处理	499
17.2.6	施工过程模拟	477	18.2.4	加载及求解	504
17.2.7	悬索桥全结构静力 分析	479	18.2.5	一般后处理	506
17.2.8	悬索桥的地震动力 响应	481	18.2.6	时间历程后处理	507
17.3	本章小结	482	18.3	本章小结	510
第 18 章	隧道工程实例分析	483	参考文献		511
18.1	山体隧道开挖	483			
18.1.1	隧道开挖问题	483			

第 1 篇

基础知识篇

本篇主要介绍有限元以及 ANSYS 15.0 软件，旨在让读者对 ANSYS 及其相关知识背景有个概念性了解，以便为更深入地学习打下概念基础。

ANSYS 作为一款有限元分析软件，使用它之前，用户必须了解有限元法的相关知识。虽然实际的有限元求解过程由计算机完成，不需要人工进行计算，但对于有限元的概念必须有所认识。ANSYS 软件经过不断改进，也发生了不少变化。目前市场上各种版本共存，用户有必要对其发展过程有所了解。

根据由浅入深的原则，本篇第 1 章先详细介绍了 ANSYS 软件的有限元理论基础及其发展史，使读者对 ANSYS 系列软件背景有清晰的了解；第 2~6 章以 GUI 界面操作方式系统介绍了 ANSYS 的各部分功能模块，教会读者面对一个工程如何筹划方案、建立模型、分析计算、结果处理等；第 7 章则以专题的形式详尽介绍了 ANSYS 的程序化设计语言 APDL 的使用方法。



第 1 章 绪 论

ANSYS 系列软件是基于有限单元法的大型通用商用有限元软件。本章旨在帮助读者了解 ANSYS 软件的理论背景，有限单元法的相关知识以及 ANSYS 软件的发展历程及功能概况。

本章学习目标

- 了解有限元法的相关基础知识。
- 了解 ANSYS 系列软件的基本操作。

1.1 有限单元法概述

FEM (Finite Element Method), 译为有限单元法。实际应用中, 它往往被称为有限元分析 (FEA), 是求解偏微分方程的一种数值方法。FEM 是一种高效能、常用的计算方法, 它将连续体离散化为若干有限大小的单元体的集合, 以求解连续体的力学问题。

有限元法在早期是以变分原理为基础发展起来的, 所以它广泛应用于以拉普拉斯方程和泊松方程所描述的各类物理场中。自从 1969 年以来, 某些学者在流体力学中应用加权余数法中的迦辽金法 (Galerkin) 或最小二乘法等同样获得了有限元方程, 因而有限元法可应用于以任何微分方程所描述的各类物理场中, 而不再要求这类物理场和泛函的极值问题有所联系。

1.1.1 有限元法历史

20 世纪 50 年代, 大型电子计算机投入了解算大型代数方程组的工作, 这为实现有限元技术准备好了物质条件。1960 年前后, 美国的 R.W.Clough 教授及我国的冯康教授分别独立地在论文中提出了“有限单元”这样的名词。此后, 这样的叫法被大家接受, 有限元技术从此正式诞生。

在有限元分析的发展初期, 由于其基本思想和原理的“简单”和“朴素”, 以至于许多学术权威都对其学术价值有所鄙视, 国际著名刊物《Journal of Applied Mechanics》许多年来都拒绝刊登有关有限元分析的文章。然而现在, 有限元分析已经成为数值计算的主流, 不但国际上存在如 ANSYS 等数种通用有限元分析软件, 而且涉及有限元分析的杂志也有几十种之多。

国际上早在 20 世纪 50 年代末、60 年代初就投入大量的人力和物力开发具有强大功能的有限元分析程序。其中最为著名的是由美国国家宇航局 (NASA) 在 1965 年委托美国计算科学公司和贝尔航空系统公司开发的 NASTRAN 有限元分析系统。该系统发展至今已有几十个版本, 是目前世界上规模最大、功能最强的有限元分析系统。

从那时到现在, 世界各地的研究机构和大学也发展了一批规模较小但使用灵活、价格较低的专用或通用有限元分析软件, 主要有德国的 ASKA、英国的 PAFEC、法国的 SYSTUS、

美国的 ABAQUS、ADINA、ANSYS、BERSAFE、BOSOR、COSMOS、ELAS、MARC 和 STARDYNE 等公司的产品。

1.1.2 有限元法的基本概念

有限元法，也叫有限单元法，它的基本思想是将一个结构或连续体的求解域离散为若干子域（单元），并通过其边界上的节点相互连接成为组合体。

有限元法用每一个单元内所假设的近似函数来分片表示全求解域内待求的未知场变量。而每个单元内的近似函数由未知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示。由于在连接相邻单元的节点上，场函数应具有相同的数值，因而将它们用作数值求解的基本未知量。这样一来，求解原来待求场函数的无穷自由度问题转换为求解场函数节点值的有限自由度问题。

有限元法又是通过和源问题数学模型（基本方程、边界条件）等效的变分原理或加权余数法，建立求解基本未知量（场函数的结点值）的代数方程组或微分方程组。此方程组称为有限元求解方程，并表示成规范的矩阵形式。接着用数值方法求解此方程，从而得到问题的解答。

结构离散（有限元建模）的内容有网格划分，即把结构按一定规则分割成有限单元和边界处理，也就是把作用于结构边界上的约束和载荷处理为节点约束和节点载荷。其中要求：离散结构必须与原始结构保形——单元的几何特性。一个单元内的物理特性必须相同——单元的物理特性。

单元与节点中的单元（即原始结构）离散后，满足一定几何特性和物理特性的最小结构域。节点即单元与单元间的连接点。节点力即单元与单元间通过节点的相互作用力。节点载荷即作用于节点上的外载。

插值函数（或位移函数）是用以表示单元内物理量变化（如位移或位移场）的近似函数。由于该近似函数常由单元节点物理量值插值构成，故称为插值函数，如单元内物理量为位移，则该函数称为位移函数。

选择位移函数的一般原则是：位移函数在单元节点的值应等于节点位移（即单元内部是连续的）；所选位移函数必须保证有限元的解收敛于真实解。要注意的是为了便于微积分运算，位移函数一般采用多项式形式，在单元内选取适当阶次的多项式可得到与真实解接近的近似解。

1.2 ANSYS 15.0 基本操作

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，它能与多数 CAD 软件接口，实现数据的共享和交换，是现代产品设计中的高级 CAE 工具之一。

1.2.1 ANSYS 15.0 的启动与退出

启动 Mechanical APDL Product Launcher 15.0，启动画面如图 1-1 所示。稍后即可弹出如图 1-2 所示的 Mechanical APDL Product Launcher 15.0。

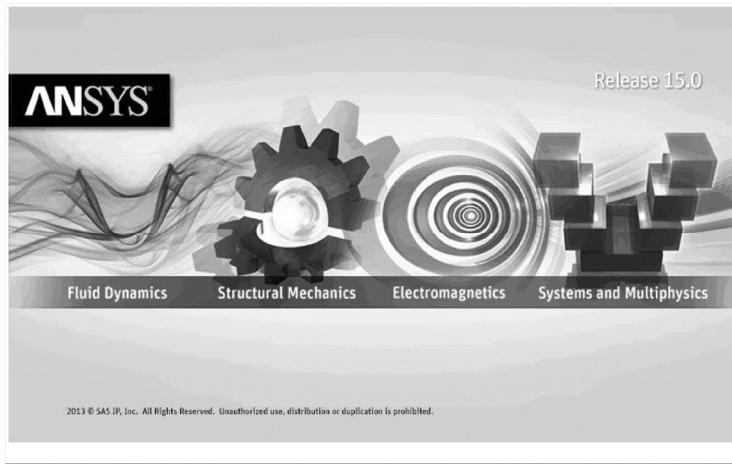


图 1-1 ANSYS 15.0 启动画面

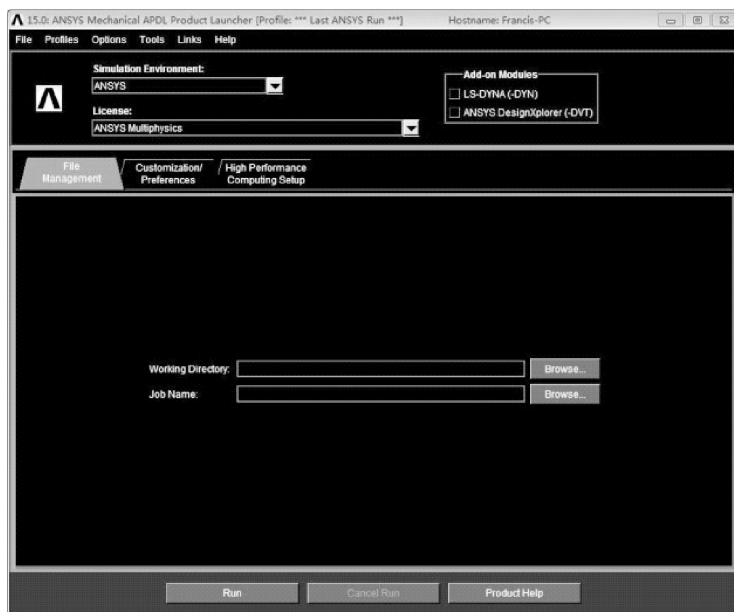


图 1-2 Mechanical APDL Product Launcher 15.0 窗口

Mechanical APDL Product Launcher 15.0 窗口方便用户管理自己的项目。在 Working Directory 中可以输入工作目录，在 Job Name 中可以输入用户定义的项目名称。

1.2.2 ANSYS 15.0 操作界面

单击 Mechanical APDL Product Launcher 15.0 窗口中的 Run 按钮，即可进入 ANSYS 15.0 的 GUI 操作界面，如图 1-3 所示。

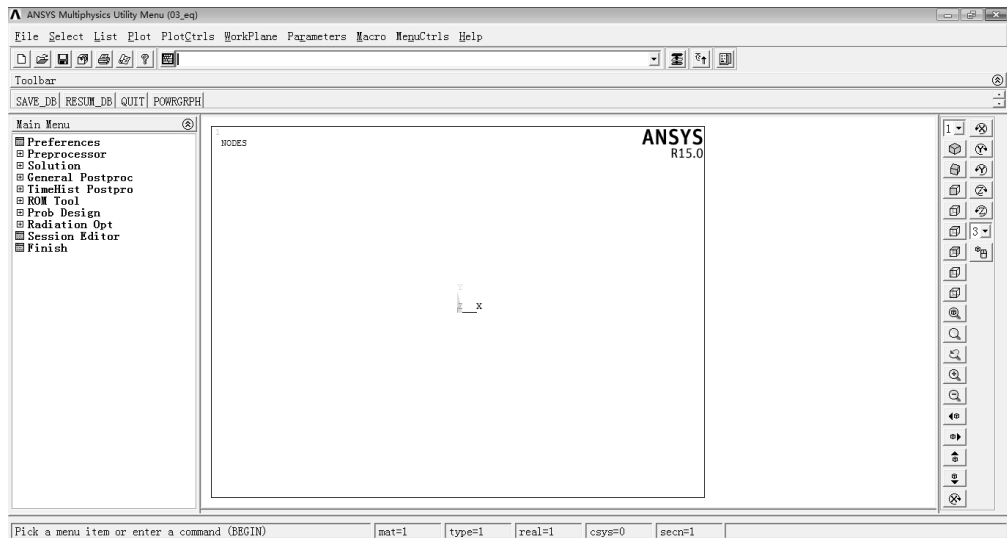


图 1-3 ANSYS 15.0 GUI 操作界面

与 GUI 操作界面同时打开的，还有图 1-4 所示的“选定 Mechanical APDL 15 Output Window”窗口。

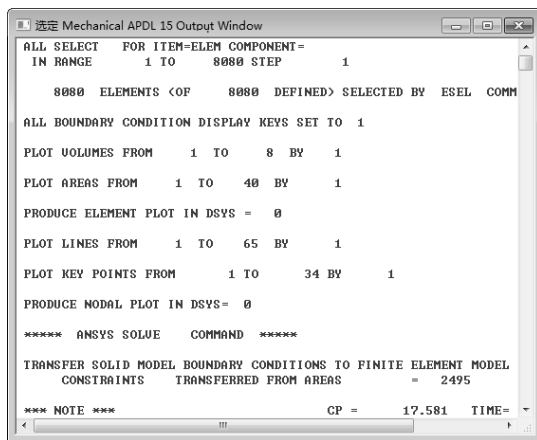


图 1-4 “选定 Mechanical APDL 15 Output Window”窗口

ANSYS 15.0 Output Window 窗口显示了 ANSYS 项目的信息，例如，定义单元、材料参数，分析过程的各种警告与错误提示，*GET 命令提取的数据等均可以在 ANSYS 15.0 Output Window 中查看到。

在 ANSYS 15.0 GUI 操作界面中有如图 1-5 所示的 ANSYS 15.0 GUI 界面主菜单 (Main Menu)，定义单元、建立模型、求解、后处理等命令都可以在这里找到。

如图 1-6 所示为 GUI 界面的工作区，建立的模型、分析完成后的结果、求解过程的监视等都将发生在这里。

如图 1-7 所示为 ANSYS 15.0 GUI 操作界面的通用菜单 (Utility Menu)。



图 1-5 主菜单

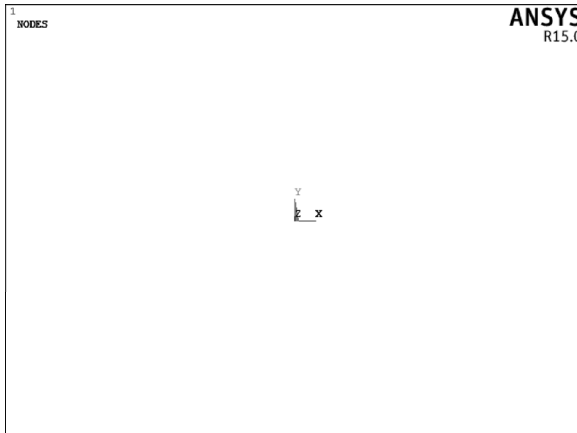


图 1-6 工作区



图 1-7 通用菜单

通用菜单中包含了文件管理、项目选择、工作区显示的控制、参数的定义、工作平面、帮助等功能。通用菜单中的功能在下文的介绍中将经常遇到，在此不赘述。

这里希望读者能够多加注意的是 ANSYS 的帮助系统功能。ANSYS 的帮助系统功能十分强大，进入帮助系统后，用户可以找到有关 ANSYS 的任何理论知识、操作方法等。如图 1-8 所示为 ANSYS 帮助系统。

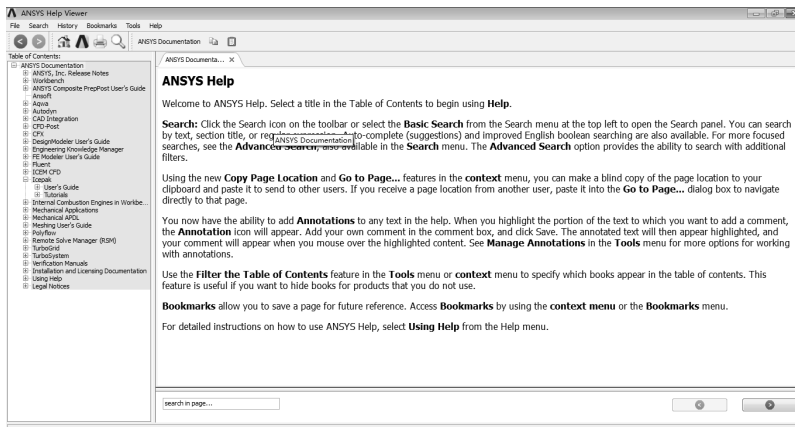


图 1-8 ANSYS 帮助系统

图 1-9 所示的是 ANSYS 命令输入框，可以在输入框中输入 APDL 命令，通过命令进行操作。



图 1-9 命令输入框