



高等学校计算机科学与技术教材

ANSYS 辅助分析 应用基础教程 (第2版)

COMPUTER Science and Technology

□ 张乐乐 编著

- 原理与技术的完美结合
- 教学与科研的最新成果
- 语言精练，实例丰富
- 可操作性强，实用性突出



清华大学出版社

● 北京交通大学出版社

014032428

TB115-43
01-2

高等学校计算机科学与技术教材

ANSYS 辅助分析应用基础教程

(第2版)

张乐乐 编著



TB115-43

01-2

清华大学出版社

北京交通大学出版社

· 北京 ·



北航

C1720667

内 容 简 介

本书主要介绍 ANSYS 应用基础和 ANSYS/LS-DYNA 应用基础两大部分。ANSYS 应用基础包括基本操作、模型建立、算例分析和结果处理等。ANSYS/LS-DYNA 应用基础包括基本理论、PART 的定义和作用、刚性体的定义、接触条件的定义、约束、初始条件和加载、求解和求解控制等。

本书从 ANSYS 软件最基本的使用开始,图文并茂、简单明了,配合适当的实例供读者练习和借鉴。

本书可以作为机械类高年级本科生和研究生的教材,还可作为没有接触过 ANSYS 软件读者的入门教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 辅助分析应用基础教程 / 张乐乐编著. —2 版. —北京: 北京交通大学出版社: 清华大学出版社, 2014.3

(高等学校计算机科学与技术教材)

ISBN 978-7-5121-1847-8

I. ①A… II. ①张… III. ①有限元分析-应用软件-高等学校-教材 IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 032863 号

责任编辑: 谭文芳 特邀编辑: 李晓敏

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414

印刷者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 26 字数: 662 千字

版 次: 2014 年 3 月第 2 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-1847-8 / O · 132

印 数: 1~3 000 册 定价: 46.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

第2版前言

在2006年、2007年先后出版了《ANSYS 辅助分析应用基础教程》及配套使用的《ANSYS 辅助分析应用基础教程上机指导》两本教材。几年来,随着软件版本不断升级及许多读者提出意见和建议,深感教材有更新的必要。因此,将上述两本教材进行有机的整合,对部分内容进行补充、修改,经过几个月的努力,完成了这一版的编写工作。教材编写组在编辑过程中,认真负责、精益求精。

本书仍保持原教材的主体框架,主要分为两大部分,即 ANSYS 应用基础和 ANSYS/LS-DYNA 应用基础,基本囊括了结构分析的主要方面,尤其是对 LS-DYNA 模块的介绍是本教材的特色之一。第1章~第8章主要介绍 ANSYS 基本操作、实体模型的建立、材料模型的选取、网格的划分、结构分析的内容和方法等。第9章~第15章主要介绍 ANSYS 显式动力学分析模块——LS-DYNA 的基本使用和操作,由于该模块应用广泛,在理论和使用上具有和 ANSYS 其他模块不同的特点,因此本书进行了详细介绍。

本书每一章可分为操作讲解、实例分析和检测练习三部分,从 ANSYS 软件最基本的使用开始介绍,图文并茂,简单明了,配合足够数量适当的实例和练习供读者学习和借鉴,且提供了全部用户界面操作和命令流文件。

ANSYS 是一个强大的工程工具,适用于解决各种工程问题,实现问题的分析过程与有限元方法解决问题的实质是密不可分的。因此,强烈建议读者要初步学习和掌握有限元方法的基本概念和解题思路,配合软件学习和实例练习,可以达到事半功倍的效果。

本书作为教材适用于初学者。可以为那些没有接触过 ANSYS 软件,希望了解、学习和使用 ANSYS 的读者提供帮助,达到快速入门、掌握基础、具备独立深入能力的目的。

本书所有的实例操作和命令流文件的整理工作由卫亮(第4章、第6章、第12章)、王鹏(第7章、第15章)、陈可亮(第3章、第5章、第10章)和窦伟元(第8章)完成。

本书编写组仍然使用邮箱:zll_simulation@sina.com 与各位读者保持交流和联系。由于水平有限,书中缺点、疏漏和不足在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2014年1月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 有限元方法与 ANSYS 软件	1
1.1.1 工程问题的解决方案	1
1.1.2 数值分析与有限单元法	1
1.1.3 主流软件与 ANSYS	2
1.2 ANSYS 概述	2
1.2.1 组成模块简介	3
1.2.2 功能概览	3
1.3 ANSYS 求解一般步骤	4
练习题	5
第 2 章 ANSYS 基本操作	6
2.1 启动与窗口功能	6
2.1.1 启动方式	6
2.1.2 窗口功能	8
2.1.3 APDL 命令输入方法	10
2.1.4 文件系统	10
2.2 坐标系	11
2.2.1 总体坐标系	12
2.2.2 局部坐标系	12
2.2.3 坐标系的激活	12
2.2.4 显示坐标系	12
2.2.5 节点坐标系	13
2.2.6 单元坐标系	13
2.2.7 结果坐标系	14
2.3 工作平面的使用	14
2.3.1 工作平面的定义	14
2.3.2 工作平面的生成	14
2.4 图形窗口显示控制	15
2.4.1 图形的平移、缩放和旋转	15
2.4.2 Plot 菜单控制	16
2.4.3 PlotCtrls 菜单控制	16
2.4.4 选取菜单与显示控制	18

2.5	主菜单简介	20
2.5.1	前处理菜单	20
2.5.2	求解菜单	21
2.5.3	后处理菜单	21
2.6	上机指导	22
2.6.1	操作实训	22
实例 2.1	如何开始第一步	22
实例 2.2	工作平面的一般操作	27
实例 2.3	图形窗口显示控制	30
2.6.2	检测练习	32
	练习题	32
第 3 章	ANSYS 实体建模	33
3.1	实体模型简介	33
3.1.1	实体建模的方法	33
3.1.2	群组命令介绍	33
3.2	基本图元对象的建立	34
3.2.1	点定义	34
3.2.2	线定义	37
3.2.3	面定义	40
3.2.4	体定义	44
3.3	用体素创建 ANSYS 对象	48
3.3.1	体素的概念	48
3.3.2	布尔操作	49
3.4	图元对象的其他操作	52
3.4.1	移动和旋转	52
3.4.2	复制	53
3.4.3	镜像	53
3.4.4	删除	54
3.5	实体模型的输入	54
3.6	上机指导	54
3.6.1	操作实例	55
实例 3.1	轴承座的分析(几何建模)	55
实例 3.2	轮的分析(几何建模)	62
实例 3.3	工字截面梁	66
实例 3.4	六角圆头螺杆	70
实例 3.5	零件一	73
实例 3.6	零件二	79
3.6.2	检测练习	83
	练习题	89

第4章 ANSYS 网格划分	90
4.1 区分实体模型和有限元模型	90
4.2 网格化的一般步骤	90
4.3 单元属性定义	91
4.3.1 单元形状的选择	91
4.3.2 单元实常数的定义	92
4.3.3 单元截面的定义	93
4.3.4 单元材料的定义	94
4.3.5 单元属性的分配	94
4.4 网格划分	95
4.4.1 网格划分工具	95
4.4.2 自由网格划分	97
4.4.3 映射网格划分	98
4.4.4 扫掠生成网格	99
4.5 网格的局部细化	102
4.5.1 局部细化一般过程	102
4.5.2 高级参数的控制	104
4.5.3 属性和载荷的转换	106
4.5.4 局部细化的其他问题	106
4.6 网格的直接生成	106
4.6.1 关于节点的操作	107
4.6.2 关于单元的操作	109
4.7 网格的清除	110
4.8 网格划分的其他方法	110
4.9 上机指导	112
4.9.1 操作案例	112
实例 4.1 轴承座的分析(网格划分)	112
实例 4.2 轮的分析(网格划分)	113
实例 4.3 弹簧-质量系统	116
实例 4.4 零件二的网格划分	120
实例 4.5 自由网格与映射网格划分练习	122
4.9.2 检测练习	125
练习题	127
第5章 ANSYS 静载荷施加与求解	128
5.1 载荷的定义	128
5.2 有限元模型的加载	128
5.2.1 节点自由度的约束	129
5.2.2 节点载荷的施加	130
5.2.3 单元载荷的施加	131

5.3	实体模型的加载	131
5.3.1	关键点上载荷的施加	131
5.3.2	线段上载荷的施加	132
5.3.3	面上载荷的施加	133
5.4	求解	134
5.5	上机指导	135
5.5.1	操作实例	135
实例 5.1	薄板圆孔受力分析	135
实例 5.2	轴承座的分析(加载与求解)	138
实例 5.3	轮的分析(加载与求解)	140
实例 5.4	阶梯轴的受力分析	143
5.5.2	检测练习	148
	练习题	149
第 6 章	ANSYS 结构动力学分析	150
6.1	模态分析	150
6.2	谐响应分析	154
6.3	瞬态动力学分析	158
6.4	谱分析	163
6.5	上机指导	167
6.5.1	操作案例	167
实例 6.1	飞机机翼模态分析	167
实例 6.2	电动机平台的模态分析与谐响应分析	175
实例 6.3	板-梁结构的瞬态分析	184
实例 6.4	板-梁结构的单点谱分析	191
6.5.2	检测练习	197
	练习题	200
第 7 章	ANSYS 后处理	201
7.1	通用后处理器	201
7.1.1	变形图的绘制	201
7.1.2	等值线图的绘制	202
7.1.3	列表显示和查询结果	206
7.1.4	路径的定义和使用	208
7.1.5	动画显示	210
7.2	时间历程后处理器	210
7.2.1	定义变量	211
7.2.2	绘制变量曲线图	212
7.2.3	变量的数学运算	212
7.3	上机指导	215
7.3.1	操作实例	215

实例 7.1 轴承座的分析 (计算结果)	215
实例 7.2 机翼模态的计算结果分析	217
实例 7.3 电动机平台的计算结果分析	219
7.3.2 检测练习	221
练习题	222
第 8 章 典型实例与练习	223
8.1 车轮的分析	223
8.1.1 有限元模型	223
8.1.2 约束、载荷与求解	229
8.1.3 后处理查看结果	230
8.2 连杆的分析	232
8.2.1 有限元模型	232
8.2.2 约束、加载与求解	236
8.2.3 查看结果	236
8.3 广告牌承受风载荷的模拟	237
8.3.1 有限元模型的建立	237
8.3.2 简化为静载的分析	239
8.3.3 考虑动载荷的分析	246
8.4 动载荷频率对结构承载的影响	251
8.4.1 求解过程	251
8.4.2 干扰力频率、固有频率与系统阻尼之间关系的分析	253
8.5 间接法热应力分析	254
8.6 一个层/热/定常流的 FLOTTRAN 分析	256
第 9 章 ANSYS/LS-DYNA 概述	262
9.1 ANSYS/LS-DYNA 功能介绍	262
9.1.1 发展概况	262
9.1.2 工程应用	262
9.1.3 总体特点	263
9.2 ANSYS/LS-DYNA 程序概述	264
9.2.1 程序构成和用户界面	264
9.2.2 一般求解步骤	264
9.2.3 文件系统	265
9.2.4 需要说明的几个问题	266
练习题	266
第 10 章 显式单元的定义与选择	267
10.1 显式单元概述	267
10.1.1 单点积分单元	267
10.1.2 沙漏问题	268
10.2 单元和实常数的定义	268

10.3	SOLID164 实体单元	270
10.4	SHELL163 薄壳单元	271
10.5	梁单元和杆单元	272
10.6	离散单元和质量单元	273
10.7	操作实例——钢柱落地的分析	274
	练习题	277
第 11 章	材料模型和状态方程	278
11.1	材料模型的定义	279
11.2	线弹性材料 (Linear Elastic)	280
11.2.1	各向同性弹性材料	280
11.2.2	正交各向异性弹性材料	280
11.2.3	各向异性弹性材料	280
11.3	非线性弹性材料 (Non-Linear Elastic)	280
11.3.1	Blatz-Ko 橡胶材料	280
11.3.2	Mooney-Rivlin 橡胶材料	281
11.3.3	粘弹性材料	281
11.4	弹塑性材料	281
11.4.1	与应变率无关的各向同性材料	282
11.4.2	与应变率相关的各向同性材料	282
11.4.3	与应变率相关的各向异性材料	283
11.5	泡沫材料	285
11.5.1	各向同性泡沫	285
11.5.2	正交各向异性泡沫	286
11.6	复合材料	287
11.7	其他材料	287
11.7.1	刚性材料	287
11.7.2	索	288
11.8	状态方程	288
	练习题	289
第 12 章	PART 概念及使用	290
12.1	PART 的概念	290
12.2	创建、修改和列出 PART	290
12.3	PART 和刚性体	292
12.3.1	刚性体约束	292
12.3.2	定义刚性体惯性特性	292
12.3.3	刚性体加载	293
12.4	PART 使用实例	294
	练习题	296
第 13 章	接触问题	297

13.1 接触问题的概述	297
13.1.1 基本概念	297
13.1.2 ANSYS/LS-DYNA 中接触的定义	298
13.2 接触类型	300
13.2.1 接触类型的选择	300
13.2.2 接触选项的选择	301
13.3 摩擦问题	302
13.3.1 摩擦系数的定义	302
13.3.2 滑动界面能	303
13.3.3 初始穿透	303
13.4 附加输入参数	303
13.5 接触界面的控制	304
13.5.1 接触刚度的控制	305
13.5.2 初始穿透检查	305
13.5.3 接触深度控制	305
13.5.4 接触段自动排序	305
13.5.5 壳单元厚度的控制	306
练习题	306
第 14 章 加载、求解与后处理	307
14.1 加载	307
14.1.1 数组的定义	307
14.1.2 一般载荷	308
14.1.3 约束	311
14.1.4 初始条件	313
14.1.5 点焊	314
14.2 求解控制	315
14.2.1 基本求解控制	315
14.2.2 输出文件控制	317
14.2.3 质量缩放	318
14.2.4 子循环	320
14.2.5 沙漏控制	320
14.2.6 自适应网格划分	322
14.3 求解过程控制	323
14.3.1 求解	323
14.3.2 求解过程控制和监测	324
14.3.3 重启动	325
14.4 后处理	326
练习题	328
第 15 章 DYNA 模块综合练习	329

15.1	一般求解过程实例	329
15.2	弹丸侵彻弹靶的分析	338
15.3	成型过程的模拟	345
15.4	模拟点焊	352
15.5	跌落仿真	358
15.6	碰撞	363
15.7	显式-隐式连续求解	370
15.7.1	分析过程 (1) ——显式部分	371
15.7.2	分析过程 (2) ——隐式部分	376
15.8	隐式-显式连续求解	380
15.8.1	分析过程 (1) ——隐式部分	380
15.8.2	分析过程 (2) ——显式部分	385
	练习	391
附录 A	关于单位制	393
A.1	ANSYS 中单位制的使用	393
A.2	常用的协调单位制	393
A.2.1	kg - m - s 单位制	394
A.2.2	kg - mm - s 单位制	394
A.2.3	kg - mm - ms 单位制	394
A.2.4	t - mm - s 单位制	394
A.2.5	t - mm - ms 单位制	395
A.2.6	10^6 kg - mm - s 单位制	395
A.2.7	g - mm - ms 单位制	395
附录 B	命令流文件和 K 文件	396
B.1	命令流文件	396
B.2	K 文件	398
参考文献		401

第 1 章 概 述

本章主要介绍有限单元方法与 ANSYS 软件的关系；ANSYS 软件模块组成及功能概述。

1.1 有限元方法与 ANSYS 软件

1943 年, Courant 第一次应用有限元法研究扭转问题。20 世纪 50 年代, 波音公司采用三角单元实现了对机翼的建模, 大大推动了有限元方法的应用。20 世纪 60 年代, 人们开始广为接受“有限元”这一术语, 并逐步应用到其他工程领域。1967 年, Zienkiewicz 和 Cheung 撰写了第一部有限元的专著。1971 年, 首次发布了 ANSYS 软件。

1.1.1 工程问题的解决方案

工程问题一般是物理情况的数学模型。数学模型是考虑相关边界条件和初值条件的微分方程组, 微分方程组是通过对系统或控制体应用自然的基本定律和原理推导出来的, 这些控制微分方程往往代表了质量、力或能量的平衡。在某些情况下, 通过给定条件是可以得到系统的精确行为的描述, 但实际过程中实现的可能性较少。

因此, 工程问题的解决方案是对实际问题进行数学模型抽象和求解的过程。这个过程需要技术人员根据工程问题的特点, 恰当运用专业知识建立数学模型来表征实际系统, 然后考虑相关条件进行求解。建立的数学模型既要能够代表实际系统又要可解, 得到的结果应该达到一定精度以满足工程问题的需要。

1.1.2 数值分析与有限单元法

在许多实际工程问题中, 由于问题的复杂性和影响因素众多等不确定性, 一般情况下是难以得到分析系统的精确解, 即解析解。因此, 解决这个问题的基本思路是在满足工程需要的前提下, 采用数值分析方法来得到近似解, 即数值解。可以说, 解析解表明了系统在任何点上的精确行为, 而数值解只在称为节点的离散点上近似于解析解。

数值解法可以分为两大类: 有限差分法和有限单元法(或称有限元法)。有限单元法是目前采用最多的一种数值方法。随着计算机技术的飞速发展, 有限单元法也得到了长足的进步和更加广泛的应用。例如, 在机械、电子、建筑、军工、航空航天等各领域。对于解决复杂的工程问题有着良好的效果, 在辅助分析、辅助设计、产品质量预报等多方面有着举足轻重的地位, 起到了不可替代的作用。

有限单元法从研究有限大小的单元体着手, 在分析中取有限多个单元体, 其体积为有限大小, 通过分析得到一组代数方程。在一定条件下求解该代数方程, 得到某些点的位移,

再由位移求得应力和应变。因此，相对于解析方法中求解偏微分方程，在有限单元法中求解代数方程容易得多，并且往往总是可以得到解答的。有限单元法按照所选用的基本未知量和分析方法的不同，可以分为以下 3 种基本解法。

(1) 位移法

通过选取以节点的位移分量为基本的未知量，在节点上建立平衡方程。这个算法计算规律很强，便于编写计算机通用程序。

(2) 力法

通过选取力的分量为基本未知量，在节点上建立位移连续方程。一般来说，用力法求得的内力、应力，比用位移法求得的结果精度高。

(3) 混合法

通过选取混合型的基本未知量，一部分是节点位移分量，另一部分是力的分量，在节点上既建立有关的平衡方程又建立有关的连续方程。

1.1.3 主流软件与 ANSYS

随着有限元方法理论逐步的研究发展及应用领域的拓展，显示了有限元方法解决工程问题的优势。因此，一些大型的通用的商用软件应运而生，目前常见的有 ANSYS、NASTRAN、MARC、ADINA、ADAMS、IDEAS 等。

ANSYS 是目前应用最为广泛的、通用的有限元计算机程序之一，其代码长度超过 100 000 行。用户可以应用 ANSYS 进行静态、动态、热传导、流体流动和电磁学的分析。在过去的几十年里，ANSYS 是最主要的有限元程序。当前的 ANSYS 版本的图形用户界面窗口、下拉菜单、对话框和工具条等的设计都十分友好，方便用户的使用。而且算法和模块的完善和加强，使其解决各工程领域问题的功能更加强大。

1.2 ANSYS 概述

ANSYS 软件是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元软件，广泛应用于核工业、铁路、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、生物医学、水利、日用家电等一般工业及科学研究。该软件提供了不断改进的功能清单，具体包括结构高度非线性分析、电磁分析、计算流体力学分析、设计优化、接触分析、自适应网格划分及利用 ANSYS 参数设计语言扩展宏命令功能。

ANSYS 软件功能强大，主要特点有：实现了多场及多场耦合分析；实现了前后处理、求解及多场分析统一数据库的一体化；具有多物理场优化功能；强大的非线性分析功能；多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置；支持异种、异构平台的网络浮动，在异种、异构平台上用户界面统一、数据文件全部兼容；强大的并行计算功能支持分布式并行及共享内存式并行；多种自动网格划分技术；良好的用户开发环境

ANSYS 不仅支持用户直接创建模型，也支持与其他 CAD 软件进行图形传递，其支持的图形传递标准有 SAT、Parasolid、STEP。相应地，可以进行接口的常用 CAD 软件有 Unigraphics、Pro/Engineer、I-Deas、Catia、CADDs、SolidEdge、SolidWorks 等。

1.2.1 组成模块简介

ANSYS 的产品家族及相互关系如图 1-1 所示。各模块的功能和应用领域见表 1-1。

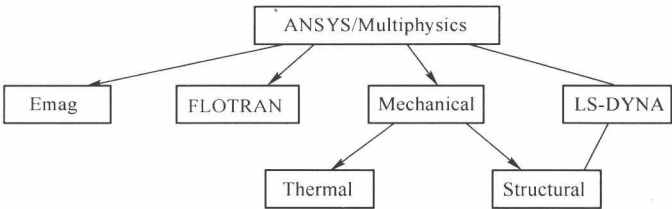


图 1-1 ANSYS 产品家族及相互关系

表 1-1 ANSYS 模块功能和应用领域

模块名称	主要功能和适用领域	其他说明
Multiphysics	包括所有工程学科的所有性能	ANSYS 产品的“旗舰”
Emag	分析电磁学问题	
FLOTRAN	ANSYS 计算流体动力学	
Mechanical	ANSYS 机械-结构及热分析	包括结构及热分析
LS-DYNA	高度非线性结构问题	包括结构分析
Thermal	分析热问题	
Structural	分析结构问题	

1.2.2 功能概览

(1) 结构分析

结构分析用于确定结构的变形、应变、应力及反作用力等，包括以下几个方面。

- ① 静力分析用于静态载荷，可以考虑结构的线性及非线性行为。例如，大变形、大应变、应力刚化、接触、塑性、超弹及蠕变等。
- ② 模态分析计算线性结构的自振频率及振形。
- ③ 谱分析模态分析的扩展，用于计算由于随机载荷引起的结构应力和应变。例如，地震对建筑的影响。
- ④ 谐响应分析确定线性结构对随时间按正弦曲线变化的载荷的响应。
- ⑤ 瞬态动力学分析确定结构对随时间任意变化的载荷的响应，可以考虑与静力分析相同的结构非线性行为。
- ⑥ 其他特征屈曲分析、断裂分析、复合材料分析、疲劳分析。

ANSYS/LS-DYNA 用于模拟高度非线性，惯性力占支配地位的问题，并可以考虑所有的非线性行为。它的显式方程是求解冲击、碰撞、快速成型问题，是目前求解这类问题最有效的方法。

(2) 热分析

热分析计算物体的稳态或瞬态温度分布，以及热量的获取或损失、热梯度和热通量

等。热分析之后往往进行结构分析，即计算由于热膨胀或收缩不均匀引起的应力。相关分析包括相变（熔化及凝固）、内热源（如电阻发热）及三种热传导方式（热传导，热对流，热辐射）。

（3）电磁分析

电磁场分析用于计算磁场，一般考虑的物理量是磁通量密度、磁场密度、磁力、磁力矩、阻抗、电感、涡流、能耗及磁通量泄漏等。磁场可由电流、永磁体及外加磁场等产生。其中，静磁场分析计算直流电或永磁体产生的磁场；交变磁场分析计算由于交流电产生的磁场；瞬态磁场分析计算随时间变化的电流或外界引起的磁场；电场分析用于计算电阻或电容系统的电场，典型的物理量有电流密度、电荷密度、电场及电阻等；高频电磁场分析用于微波及波导、雷达系统、同轴连接器等。

（4）流体分析

流体分析用于确定流体的流动及热行为。

CFD（Computual Fliud Dynamics，计算流体动力学，）主要由 ANSYS/FLORTRAN 模块实现，提供了强大的计算流体动力学分析功能，包括不可压缩或可压缩流体、层流及湍流，以及多组分流等。

声学分析考虑流体介质与周围固体的相互作用，进行声波传递或水下结构的动力学分析等。

容器内流体分析考虑容器内的非流动流体的影响，可以确定由于晃动引起的静水压力。

流体动力学耦合分析在考虑流体约束质量的动力响应基础上，在结构动力学分析中使用流体耦合单元。

（5）耦合场分析

耦合场分析考虑两个或者多个物理场之间的相互作用。如果两个物理量场之间相互影响，单独求解一个物理场是不可能得到正确结果的，因此需要一个能将两个物理场组合到一起求解的分析软件。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）。典型情况有热—应力分析、流体—结构相互作用和感应加热（电磁—热）及感应振荡。

1.3 ANSYS 求解一般步骤

有限元分析（Finite Element Analysis, FEA）是对物理现象（几何及载荷工况）的模拟，是对真实情况的数值近似。通过划分单元，求解有限个数值来近似模拟真实环境的无限未知量。因此，首先要理解有限元方法求解的过程；其次要明确使用 ANSYS 软件操作的目的；最后要理解有限元方法和 ANSYS 软件操作之间的关系和区别，如图 1-2 所示。

应用有限元方法求解问题的关键是如何由实际的物理问题抽象出用于求解的有限元模型。模型抽象的基本要求是要准确反应物理问题的本质和现象，能够表征物理问题。模型建立的基本思路就是将复杂的物理问题分解成若干子问题，以机械工程领域中最常见的静力学问题为例，包括图 1-2 中所示的几何形状问题、材料问题、边界条件和载荷等。对应于 ANSYS 软件操作，就是在前处理器中完成实体模型的建立，选择适当的单元类型并进行相应属性的定义，选择材料模型并定义参数，在此基础上完成实体模型的离散化；然后定义约束和载荷，完成有限元模型的建立。因此，一个理想模型的建立需要深入理解有限元方法解

题的理论和基本列式，同时，要掌握软件的使用，以便将模型具体化、可视化。

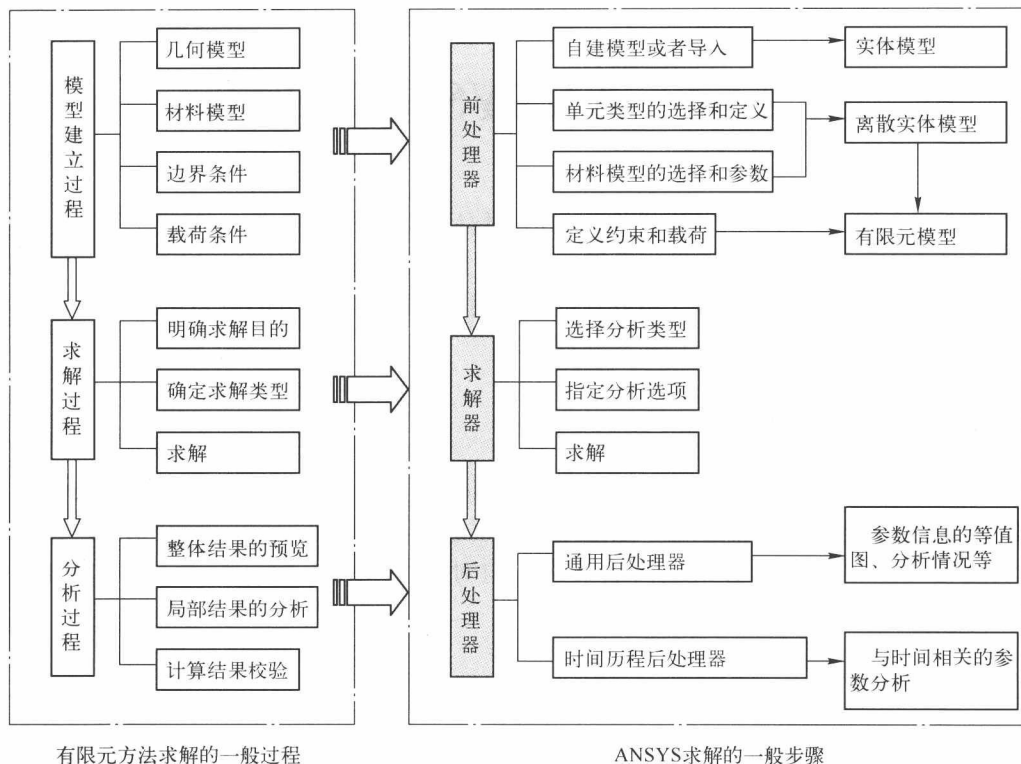


图 1-2 ANSYS 求解一般步骤

针对同一问题，关注点不同，求解目的不同，求解方法也不同。例如，小鸟站在树枝上，然后飞走这样常见的物理场景。如果关注树枝在小鸟的作用下会不会折断，就可以抽象为一端受力的简支梁模型进行静力强度问题的求解；如果关注树枝在小鸟飞走这样的作用下的颤动情况，就可以抽象为简支梁受到外激励下的动力学问题。对应于 ANSYS 软件使用，就是在求解器中首先选择求解类型，即是结构静力问题还是动力学问题，然后针对求解类型的不同进行相关求解选项的定义。软件的求解过程内置，但在输出窗口可以看到求解过程部分跟踪信息。

求解的根本目的是分析物理现象的本质，应用有限元方法求解是可以通过不同条件的设置，寻求一般性规律，因此计算结果的分析是至关重要的。分析计算结果首先要通过计算数据判断模型的正确性和可行性，其次针对具体的分析目的进行关注点的深入研究。由相关试验数据或者实际参数对计算模型进行修正和校验将是理想的方案。在 ANSYS 软件中，通用后处理器 (POST 1) 可以显示模型整体所有参数的等值图，便于观察参数的分布情况；时间后处理器 (POST 26) 可以进行与时间相关问题的参数分析。

练习题

- (1) ANSYS 产品家族的主要模块有哪些？各模块的功能和应用领域有何不同？
- (2) 如何理解有限元方法与 ANSYS 软件求解过程之间的联系与区别？