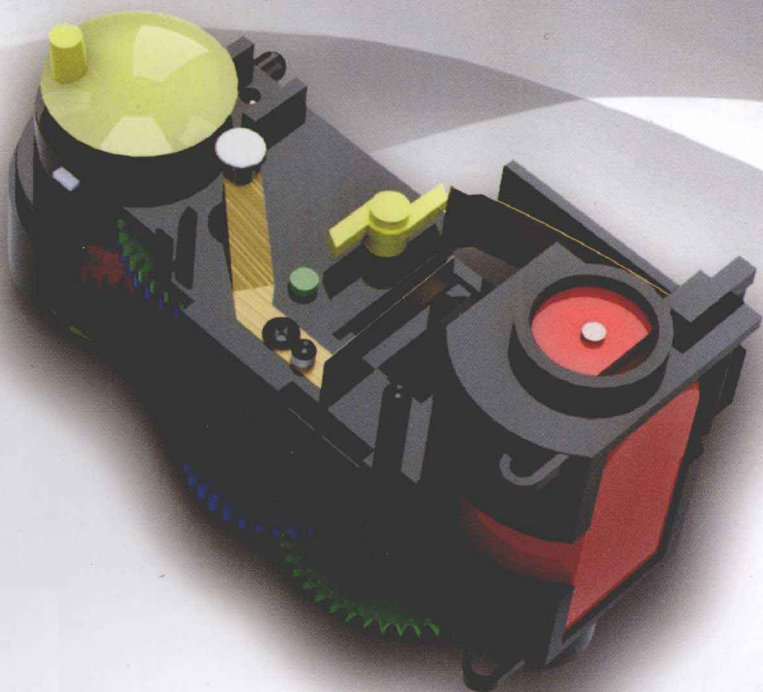




随书附光盘一张



胡国良  
任继文  
龙 铭 编著

# ANSYS13.0 有限元分析

## 实用基础教程

- ▶ 学校、培训班、自学均适用
- ▶ 免费电子课件，专业的网上技术支持
- ▶ 任务驱动的讲解模式，学得愉快，教得轻松
- ▶ 精讲ANSYS13.0基础操作



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# ANSYS 13.0 有限元分析 实用基础教程

胡国良 任继文 龙铭 编著



国防工业出版社

·北京·

# 内 容 简 介

ANSYS 是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型 CAE 通用有限元分析软件,它可广泛应用于核工业、铁道、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、造船、生物医学、轻工、地矿、水利以及日用家电等一般工业及科学研究中。

全书总共 8 章。第 1 章对 ANSYS 13.0 的基本功能、界面环境等作了简单的介绍,并详细介绍了带孔矩形板受拉有限元分析实例,使读者能尽快地对采用 ANSYS 13.0 软件进行有限元分析有一个基本的认知过程;第 2 章~第 6 章分别对 ANSYS 有限元分析的各个过程进行了详细的讨论,包括实体建模、网格划分、施加载荷及求解、通用后处理和时间历程后处理,并具体结合轴承座和汽车连杆这两个实例进行详细说明,以操作为出发点,但又不单纯地局限于操作;第 7 章详细介绍了 ANSYS 结构分析的基本概念及相关实例操作,包括结构静力分析、模态分析、谐波响应分析、瞬态动力学分析、谱分析及屈曲分析,几乎适合于整个机械行业的各种工程分析;第 8 章介绍了结构优化设计的相关概念,有利于读者对工程实际问题的进一步优化设计分析。

本书适用于 ANSYS 软件的初、中级用户,以及有初步使用经验的技术人员;本书可作为理工科院校相关专业的高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的教材,亦可作为从事结构分析等相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 13.0 有限元分析实用基础教程/胡国良,任继文,龙铭  
编著. —北京:国防工业出版社,2012.5  
ISBN 978-7-118-08020-9

I. ①A... II. ①胡... ②任... ③龙... III. ①有限元分  
析-应用软件, ANSYS 13.0-教材 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 063332 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21½ 字数 528 千字

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 45.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

# 前 言

ANSYS 是当前使用最广泛、功能最强大的有限元分析软件。在选择其作为有限元分析计算软件之前,首先需要了解它能做什么,接下来才是利用它来怎么做。本书是在《ANSYS 11.0 有限元分析入门与提高》的基础上,结合 ANSYS 公司推出的最新版 ANSYS 13.0 的最新特点编著而成的,目的是帮助初学者及中级用户掌握和熟悉 ANSYS 13.0 的基本使用方法。

## 1. ANSYS 简介

ANSYS 公司成立于 1970 年,是目前世界上 CAE 行业中最大的公司之一。ANSYS 13.0 软件有多种分析能力,包括简单线性静态分析和复杂非线性动态分析。它用来求解结构、流体、电力、电磁场及碰撞等问题的解,包含了预处理、解题程序以及后处理和优化等模块,将有限元分析、计算机图形学和优化技术等相结合,已成为解决现代工程学问题必不可少的有力工具。

## 2. 本书的内容

利用 ANSYS 13.0 进行有限元分析的基本流程实际上很简单,即建模、网格划分、加载、求解及结果后处理。本书的安排始终贯穿这一思想,全书共 8 章。

(1) 第 1 章对 ANSYS 13.0 的基本功能、界面环境等作了简单的介绍,并详细介绍了带孔矩形板受拉有限元分析实例,使读者能尽快地对采用 ANSYS 13.0 软件进行有限元分析有一个基本的认知过程。

(2) 第 2 章~第 6 章分别对 ANSYS 有限元分析的各个过程进行了详细的讨论,包括实体建模、网格划分、施加载荷及求解、通用后处理和历程后处理,并结合轴承座和汽车连杆这两个实例进行详细说明,以操作为出发点,但又不单纯地局限于操作。

(3) 第 7 章详细介绍了 ANSYS 结构分析的基本概念及相关实例操作,包括结构静力分析、模态分析、谐波响应分析、瞬态动力学分析、谱分析及屈曲分析,几乎适合于整个机械行业的各种工程分析。

(4) 第 8 章介绍了结构优化设计的相关概念,有利于读者对工程实际问题的进一步优化设计分析。

## 3. 本书的特点

本书主要针对初学者,由浅入深地介绍了 ANSYS 13.0 的基本操作功能。和其他书籍相比,本书有如下特点:

(1) 版本最新,适用于 ANSYS 13.0 版本。

(2) 开篇给读者一个简单的实例,让读者快速入门,掌握 ANSYS 13.0 软件的使用流程和方法,而不是罗列各种新增功能、界面介绍等内容。

(3) 全书争取做到一个知识点对应一个实例,而不是简单地罗列知识点。在讲解实例时,不是空洞地讲解如何操作,而是给读者一个具体的应用场景。

(4) ANSYS 的功能十分强大,如果每个知识点都配有实例,那么本书内容将会十分庞大,定价也会偏高。因此本书只对典型知识进行讲解,对于与其类似的知识则一笔带过。

(5) 考虑到学习的连贯性,对实例的设计十分讲究,对于一些相关联的知识点,通过轴承座和汽车连杆两个实例贯穿 ANSYS 操作过程整个章节,让读者能够享受到实例操作的乐趣。

(6) 为了读者操作方便,本书配有光盘,让读者可以从中直接读取现成的例子进行相应的分析;力争让读者以最直接且简单的方式快速掌握 ANSYS 13.0 软件。

(7) 在每一章的结尾还附了一部分练习题,通过每章后面的操作练习,对照光盘里面的答案或提示,读者可亲自动手测验一下自己对知识的掌握程度。

(8) 该书每章都配有相应的实例分析,可分别按交互式操作 GUI 和命令流两种方式进行操作,书本上主要以交互式操作为主,光盘中附有每个实例及课后习题的交互式操作和命令流操作。

需要再三指出的是:ANSYS 13.0 只是一个软件工具,对它的学习要秉着“战略上藐视,战术上重视”的态度。本书不遗余力的强调利用 ANSYS 13.0 分析问题的基本流程,读者一定要从整体上把握。

#### 4. 编著分工及致谢

本书由胡国良、任继文、龙铭共同编著,并由胡国良负责统筹规划。具体分工如下:胡国良(第1章、第2章、第4章),龙铭(第3章、第5章),任继文(第6章、第8章),胡爱闯(第7章)。

编著完稿过程中还得到了茹毅、王少龙及李海燕同学的校对,在此表示感谢!

感谢李黎明、邓凡平等专家学者,正是通过讲授他们的著作使本人受益匪浅,同时本书也吸收了这些教材中的精华。另外,本书编写过程中还参阅了国内外相关论文论著,主要的都已列举于参考文献中,如有遗漏深表歉意!

由于本书涉及范围广,作者学识有限,加之时间仓促,难免会有疏漏或不当之处,欢迎广大读者及业内人士予以指正。如果读者在阅读本书的过程中遇到问题或有其他意见或建议,请发邮件至:glh@ecjtu.jx.cn。

编者

2012年5月

# 目 录

<b>第 1 章 ANSYS 13.0 简介</b> .....	1
1.1 有限元分析基本概念 .....	1
1.1.1 有限元分析基本思想 .....	1
1.1.2 有限元基本构成 .....	2
1.1.3 有限元分析基本步骤 .....	3
1.2 ANSYS 13.0 的基本功能 .....	3
1.3 ANSYS 13.0 的新功能 .....	4
1.4 ANSYS 13.0 的基本操作 .....	9
1.4.1 ANSYS 13.0 的启动方式 .....	9
1.4.2 ANSYS 13.0 的图形用户界面 .....	11
1.4.3 ANSYS 13.0 的文件格式 .....	13
1.5 有限元分析实例 .....	14
1.5.1 提出问题 .....	14
1.5.2 定义参数 .....	14
1.5.3 创建几何模型 .....	18
1.5.4 划分网格 .....	20
1.5.5 施加载荷 .....	22
1.5.6 求解 .....	23
1.5.7 结果分析 .....	24
1.5.8 结果比较 .....	26
1.6 本章小结 .....	29
1.7 练习题 .....	29
<b>第 2 章 实体建模</b> .....	30
2.1 ANSYS 建模基本方法 .....	30
2.1.1 实体建模方法 .....	30
2.1.2 直接生成法建模 .....	32
2.1.3 从 CAD 图形中导入实体模型 .....	32

2.1.4	三种建模方法的优缺点	32
2.2	坐标系及其操作	33
2.2.1	总体坐标系及其操作	33
2.2.2	局部坐标系及其操作	35
2.2.3	显示坐标系及其操作	37
2.2.4	节点坐标系及其操作	38
2.2.5	单元坐标系及其操作	40
2.2.6	结果坐标系及其操作	40
2.3	工作平面及使用	41
2.3.1	显示和设置工作平面	41
2.3.2	定义工作平面	43
2.3.3	旋转和平移工作平面	44
2.4	自底向上建模	45
2.4.1	定义及操作关键点	45
2.4.2	选择、查看和删除关键点	47
2.4.3	定义及操作线	48
2.4.4	选择、查看和删除线	51
2.4.5	定义及操作面	52
2.4.6	选择、查看和删除面	54
2.4.7	定义体	54
2.4.8	选择、查看和删除体	55
2.5	自顶向下建模	56
2.5.1	建立矩形面原始对象	56
2.5.2	建立圆或环形面原始对象	57
2.5.3	建立正多边形面原始对象	59
2.5.4	建立长方体原始对象	60
2.5.5	建立柱体原始对象	61
2.5.6	建立多棱柱原始对象	61
2.5.7	建立球体或部分球体原始对象	62
2.5.8	建立锥体或圆台原始对象	63
2.5.9	建立环体或部分环体原始对象	63
2.6	布尔运算	64
2.6.1	布尔运算的基础设置	64
2.6.2	交运算	65
2.6.3	加运算	69

2.6.4	减运算 .....	70
2.6.5	切割运算 .....	72
2.6.6	搭接运算 .....	76
2.6.7	分割运算 .....	77
2.6.8	黏结运算 .....	78
2.7	模型修改 .....	79
2.7.1	移动图元 .....	79
2.7.2	复制图元 .....	80
2.7.3	镜像图元 .....	81
2.7.4	缩放图元 .....	81
2.7.5	转换图元坐标系 .....	82
2.8	运用组件 .....	83
2.8.1	组件和部件的操作 .....	83
2.8.2	通过组件和部件选择实体 .....	84
2.9	综合实例 1——轴承座实体建模 .....	84
2.10	综合实例 2——汽车连杆实体建模 .....	91
2.11	本章小结 .....	96
2.12	练习题 .....	96
<b>第 3 章</b>	<b>网格划分 .....</b>	<b>99</b>
3.1	定义单元属性 .....	99
3.1.1	定义单元类型 .....	99
3.1.2	定义实常数 .....	101
3.1.3	定义材料参数 .....	102
3.1.4	分配单元属性 .....	105
3.2	网格划分控制 .....	106
3.2.1	网格划分工具 .....	107
3.2.2	Smart Size 网格划分控制 .....	108
3.2.3	尺寸控制 .....	110
3.2.4	单元形状控制 .....	113
3.2.5	网格划分器选择 .....	114
3.3	实体模型网格划分 .....	117
3.3.1	关键点网格划分 .....	118
3.3.2	线网格划分 .....	118
3.3.3	面网格划分 .....	119



3.3.4	体网格划分 .....	119
3.3.5	网格修改 .....	121
3.4	网格检查 .....	123
3.4.1	设置形状检查选项 .....	123
3.4.2	设置形状限制参数 .....	124
3.4.3	确定网格质量 .....	125
3.5	直接法生成有限元模型 .....	125
3.5.1	节点定义 .....	126
3.5.2	单元定义 .....	130
3.6	综合实例 1——轴承座实体模型的网格划分 .....	134
3.7	综合实例 2——汽车连杆实体模型的网格划分 .....	136
3.8	小结 .....	140
3.9	练习题 .....	141
<b>第 4 章</b>	<b>施加载荷及求解 .....</b>	<b>142</b>
4.1	加载概述 .....	142
4.1.1	载荷类型 .....	142
4.1.2	载荷施加方式 .....	143
4.1.3	载荷步、子步和平衡迭代 .....	144
4.1.4	载荷步选项 .....	145
4.1.5	载荷的显示 .....	146
4.2	载荷的定义 .....	146
4.2.1	自由度约束 .....	146
4.2.2	集中载荷 .....	150
4.2.3	表面载荷 .....	153
4.2.4	体载荷 .....	161
4.2.5	特殊载荷 .....	162
4.3	求解 .....	163
4.3.1	选择合适的求解器 .....	163
4.3.2	求解多步载荷 .....	165
4.3.3	求解 .....	167
4.4	综合实例 1——轴承座模型载荷施加及求解 .....	168
4.5	综合实例 2——汽车连杆模型载荷施加及求解 .....	171
4.6	小结 .....	173
4.7	练习题 .....	173

<b>第 5 章 通用后处理器</b> .....	174
5.1 通用后处理器概述 .....	174
5.1.1 通用后处理器处理的结果文件 .....	174
5.1.2 结果文件读入通用后处理器 .....	175
5.1.3 浏览结果数据集信息 .....	175
5.1.4 读取结果数据集 .....	176
5.1.5 设置结果输出方式与图形显示方式 .....	179
5.2 图形显示计算结果 .....	179
5.2.1 绘制变形图 .....	180
5.2.2 绘制等值线图 .....	181
5.2.3 绘制矢量图 .....	184
5.2.4 绘制粒子轨迹图 .....	185
5.2.5 绘制破裂图和压碎图 .....	185
5.3 路径操作 .....	186
5.3.1 定义路径 .....	186
5.3.2 观察沿路径的结果 .....	188
5.3.3 进行沿路径的数学运算 .....	190
5.4 单元表 .....	190
5.4.1 创建和修改单元表 .....	191
5.4.2 基于单元表的数学运算 .....	192
5.4.3 根据单元表绘制结果图形 .....	193
5.5 载荷组合及其运算 .....	194
5.5.1 创建载荷工况 .....	194
5.5.2 载荷工况的读写 .....	195
5.5.3 载荷工况数学运算 .....	195
5.6 综合实例 1——桁架计算 .....	196
5.7 综合实例 2——轴承座及汽车连杆后处理分析 .....	202
5.7.1 轴承座后处理分析 .....	202
5.7.2 汽车连杆后处理分析 .....	203
5.8 本章小结 .....	204
5.9 练习题 .....	204
<b>第 6 章 时间历程后处理器</b> .....	205
6.1 定义和存储变量 .....	205

6.1.1	变量定义 .....	206
6.1.2	变量存储 .....	207
6.1.3	变量的导入 .....	208
6.2	变量的操作 .....	209
6.2.1	数学运算 .....	209
6.2.2	变量与数组相互赋值 .....	210
6.2.3	数据平滑 .....	211
6.2.4	生成响应频谱 .....	212
6.3	查看变量 .....	213
6.3.1	图形显示 .....	213
6.3.2	列表显示 .....	215
6.4	动画技术 .....	217
6.4.1	直接生成动画 .....	217
6.4.2	通过动画帧显示动画 .....	217
6.4.3	动画播放 .....	219
6.5	综合实例——钢球温度计算 .....	219
6.5.1	问题描述 .....	219
6.5.2	GUI 操作步骤 .....	219
6.6	小结 .....	227
6.7	练习题 .....	227
<b>第 7 章</b>	<b>ANSYS 结构分析及应用 .....</b>	<b>228</b>
7.1	结构分析概述 .....	228
7.1.1	结构分析定义 .....	228
7.1.2	结构分析的类型 .....	228
7.1.3	结构分析所使用的单元 .....	229
7.1.4	材料模式界面 .....	229
7.1.5	阻尼 .....	229
7.1.6	求解方法 .....	232
7.2	结构静力分析 .....	232
7.2.1	结构静力分析求解步骤 .....	233
7.2.2	实例 1——钢支架结构静力分析 .....	233
7.2.3	实例 2——六角扳手结构静力分析 .....	239
7.2.4	更多的结构静力分析实例 .....	256
7.3	结构非线性分析 .....	257

7.3.1	结构非线性分析概述	257
7.3.2	结构非线性分析基本步骤	258
7.3.3	实例1——悬臂梁几何非线性分析	258
7.3.4	实例2——钢棒单轴拉伸非线性分析	262
7.3.5	其他例子	265
7.4	模态分析	266
7.4.1	模态分析简介	266
7.4.2	模态分析步骤	266
7.4.3	实例——飞机机翼模态分析	269
7.5	瞬态动力学分析	274
7.5.1	瞬态动力学分析简介	274
7.5.2	瞬态动力学分析步骤	275
7.5.3	瞬时动力学分析实例	277
7.6	谐波响应分析	282
7.6.1	谐波响应分析简介	282
7.6.2	谐波响应分析步骤	282
7.6.3	谐波响应分析实例	283
7.7	谱分析	287
7.7.1	谱分析简介	287
7.7.2	谱分析步骤	288
7.7.3	谱分析实例	289
7.8	屈曲分析	296
7.8.1	屈曲分析简介	297
7.8.2	屈曲分析步骤	297
7.8.3	屈曲分析实例	300
7.8.4	其他例子	304
7.9	本章小结	305
<b>第8章</b>	<b>ANSYS 结构优化设计</b>	<b>306</b>
8.1	优化设计基本概念	306
8.2	优化设计的过程与步骤	308
8.2.1	生成分析文件	309
8.2.2	建立优化参数	312
8.2.3	指定分析文件	312
8.2.4	声明优化变量	312

8.2.5 选择优化工具或优化方法 .....	315
8.2.6 指定优化循环控制方式 .....	317
8.2.7 进行优化分析 .....	318
8.2.8 查看优化结果 .....	319
8.3 优化设计实例 .....	321
8.3.1 问题描述 .....	321
8.3.2 GUI 操作步骤 .....	321
8.4 小结 .....	328
8.5 练习题 .....	329
<b>参考文献</b> .....	<b>330</b>

# 第 1 章 ANSYS 13.0 简介

ANSYS 是融结构、热、流体、电磁和声学于一体的大型 CAE 通用有限元分析软件。产品广泛应用于航空、航天、电子、车辆、船舶、交通、通信、建筑、电子、医疗、国防、石油、化工等众多行业。

ANSYS 成立于 1970 年，致力于工程仿真软件和技术的研究，在全球众多行业中，被工程师和设计师广泛采用。

ANSYS 公司是美国匹兹堡大学力学系教授、有限元法的权威、著名的力学专家 John Swanson 博士于 1970 年创建而发展起来的，其总部位于美国宾夕法尼亚州的 Canonsburg。到目前为止，ANSYS 在全球设立了 60 多个战略销售点，拥有 1700 多名员工。此外，ANSYS 还建立了涵盖 40 多个国家或地区的渠道合作伙伴网络，是世界 CAE 行业最大的公司之一。

ANSYS 公司重点开发开放灵活的、对设计直接进行仿真的解决方案，提供从概念设计到最终测试产品研发全过程的统一平台，同时追求快速、高效和成本意识的产品开发。ANSYS 公司于 2006 年收购了在流体仿真领域处于领导地位的美国 Fluent 公司，于 2008 年收购了在电路和电磁仿真领域处于领导地位的美国 Ansoft 公司。通过整合，ANSYS 公司成为全球最大的仿真软件公司。目前，ANSYS 整个产品线包括结构分析(ANSYS Mechanical)系列、流体动力学(ANSYS CFD(FLUENT/CFX))系列、电子设计(ANSYS ANSOFT)系列以及 ANSYS Workbench 和 EKM 等。

## 1.1 有限元分析基本概念

### 1.1.1 有限元分析基本思想

目前在工程领域内常用的数值模拟方法有：有限单元法、边界单元法、离散单元法和有限差分法等。但从实用性和使用范围来说，有限单元法是随着计算机发展而被广泛应用的一种有效的数值计算方法。

有限单元法的基本思想最早出现在 20 世纪 40 年代初期。直到 1960 年，美国的克拉夫(Clough R. W.)在一篇论文中首次使用“有限元法”这个名词。在 20 世纪 60 年代末 70 年代初，有限单元法的理论基本上成熟，并开始陆续出现商业化的有限元分析软件。

有限元法的出现与发展有着深刻的工程背景。20 世纪 40 年代~50 年代，美国、英国等国的制造业有了大幅度的发展。随着飞机结构的逐渐变化，准确地了解飞机的静态特性和动态特性越来越显得重要，但是传统的分析设计方法不能满足这种需求，因此工程设计人员开始寻求一种更加适合分析的方法，有限单元法的思想随之应运而生。

有限单元法的基本思想是：将连续的结构离散成有限个单元，并在每一个单元中设定有限个节点，将连续体看成是只在节点处相联系的一组单元的集合体，同时选定场函数的节点值作为基本未知量，并在每一单元中假设一插值函数以表示单元中场函数的分布规律，进而

利用力学中的某些变分原理去建立用以求解节点未知量的有限元法方程，从而将一个连续域中的无限自由度问题转化为离散域中的有限自由度问题。一经求解就可以利用解得的节点值和设定的插值函数确定单元上以至整个集合体上的场函数。

有限元离散过程中，相邻单元在同一节点上场变量相同达到连续，但未必在单元边界上任一点连续；在把载荷转化为节点载荷的过程中，只是考虑单元总体平衡，在单元内部和边界上不用保证每点都满足控制方程。

由于单元可以设计成不同的几何形状，因此可灵活地模拟和无限逼近复杂的求解域。显然，如果插值函数满足一定要求，随着单元数目的增加，解的精度会不断提高而最终收敛于问题的精确解。从理论上讲，无限增加单元的数目可以使数值分析解最终收敛于问题的精确解，但这却增加了计算机计算所耗费的时间。在实际工程应用中，只要所得的数据能够满足工程需要就足够了。因此，有限元分析方法的基本策略就是在分析的精度和分析的时间上找到一个最佳平衡点。

## 1.1.2 有限元基本构成

### 1. 单元(Element)

结构单元网格划分中的每一个小块体称为一个单元。常见的单元类型有线单元、三角形和四边形面单元、四面体和六面体单元。由于单元是组成有限元模型的基础，因此单元的类型对于有限元分析至关重要。一个有限元程序所提供的单元种类越多，这个程序的功能越强大。ANSYS 13.0 提供了 100 多种单元类型，可以模拟和分析绝大多数的工程问题。

在 ANSYS 程序分析中，常用的有限单元有 Link 单元、Beam 单元、Block 单元和 Plane 单元。

**Link 单元：**此单元为线性单元，有 2 个节点，即线段的两个端点，每个节点有 3 个位移自由度，没有转动自由度，此单元主要用于桁架结构的模拟分析。

**Beam 单元：**此单元主要用于分析细长结构梁的弯曲问题，而 Link 单元只能分析细长结构的受压和受拉时候的情况。与 Link 单元相比，梁单元增加了转动自由度，即角位移自由度。

**Block 单元：**Block 单元分为平面问题和空间问题两种，平面形式的 Block 单元为 4 个节点的四边形单元或 8 个节点的四边形单元。平面 Block 单元主要用于平面应变和平面应力问题的分析，也可用于轴对称问题的模拟。空间形式的 Block 单元则为 8 个~20 个节点的六面体单元，主要用于空间结构问题的分析。在默认情况下，Block 单元的每个节点只有位移自由度而没有转动自由度。但在具体分析过程中，可以通过程序菜单给每个节点增加转动自由度。

**Plane 单元：**此单元主要用于模拟空间的薄壁问题，每个节点有 6 个自由度。

此外，ANSYS 程序的单元库中还有 Mass 单元、Pipe 单元、Shell 单元和 Fluid 单元等。关于某个具体单元的特性和使用方法，可参考 ANSYS 程序在线帮助中的单元库手册。

### 2. 节点(Node)

节点就是考虑工程系统中的一个点的坐标位置，构成有限元系数的基本对象，具有其物理意义的自由度。该自由度为结构系统受到外力后系统的反应。

### 3. 自由度(Degree of Freedom)

前面提到，节点具有某种程度的自由度，以表示工程系统受到外力后的反应结果。要知道节点的自由度数，请查看 ANSYS 自带的帮助文件，那里对每种单元类型都作了详尽的介绍。

### 1.1.3 有限元分析基本步骤

采用有限元法分析问题的过程如图 1-1 所示。其基本步骤如下：

- (1) 建立求解域并将其离散化为有限单元，即将连续体问题分解成节点和单元等个体问题。
- (2) 选择合适的形函数，即选择一个用单元节点解描述整个单元解的连续函数。
- (3) 对每个单元建立单元刚度矩阵。
- (4) 按照一定节点编码顺序，将各个单元刚度矩阵叠加以构造结构整体刚度矩阵。
- (5) 施加边界条件、初始条件和载荷。
- (6) 写出以节点自由度(DOF)为未知量的结构整体刚度方程，求解后得到节点上的自由度值。

**说明：**节点自由度(DOF)在结构应力、应变分析中一般指节点的位移，在热分析中一般指节点温度值，在流体力学问题中一般指节点处的压力或流速。

(7) 根据节点的值和形函数，得到其他的物理量，如应力、支座反力、弯矩图、热流量等。

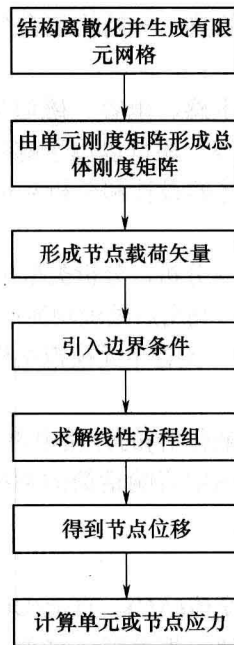


图 1-1 有限元求解过程

## 1.2 ANSYS 13.0 的基本功能

ANSYS 软件功能强大，并不是其他商业软件可比拟的，其基本功能主要包括以下几个方面。

### 1. 结构静力分析

用来求解外载荷引起的位移、应力和力，很适合于求解惯性及阻尼对结构响应影响并不显著的问题，这种分析类型广泛应用于机械工程和结构工程。静力分析包括非线性静力分析，如塑性、蠕变、膨胀、大变形、大应变及接触问题等。非线性静力分析通常通过逐渐施加载荷完成，以获得精确解。



## 2. 结构动力分析

用来求解随时间变化的载荷对结构或部件的影响，与静力分析不同的是，动力分析要考虑载荷随时间的变化及阻尼和惯性影响。这类载荷包括交变力(旋转机械)、冲击力(冲击或爆炸)、随机力(地震)及其他瞬态力(诸如桥上的运动载荷)。ANSYS 可求解下列类型的动力学分析问题，如瞬态动力、模态、谐波响应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。

## 4. 动力学分析

ANSYS 可分析大型三维柔体运动。当运动的积累影响起主要作用时，可使用这些功能分析复杂结构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

程序可处理热传递的 3 种基本类型，即传导、对流和辐射。热传递的 3 种基本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相分析能力，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

主要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，还可以用于螺线管、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. 计算流体动力学分析

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，并可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

主要用来研究在含有流体(气体、液体等)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。这些功能可以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

主要用于分析二维或三维结构对交流(AC)、直流(DC)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，包括静态分析、模态分析、谐波响应分析和瞬态响应分析。

## 10. 疲劳、断裂及复合材料分析

ANSYS 程序提供了专门的单元和命令来进行和疲劳、断裂及复合材料相关的工程问题的求解分析。

# 1.3 ANSYS 13.0 的新功能

蕴含了一系列最新和最先进功能的 ANSYS 13.0，凭借高可信度的仿真结果，帮助客户更快速、便捷和低成本地开发新产品。新版本在三大领域体现全新价值：

(1) 更高精确性和保真度。随着工程设计要求和设计复杂性的增加，仿真软件必须能够产