

ANSYS

Fluids

Structures

Electronics

Systems

ANSYS有限元 分析基础

李汉龙 隋英 韩婷 主编



國防工業出版社
National Defense Industry Press

ANSYS 有限元分析基础

主 编 李汉龙 隋 英 韩 婷
副主编 王凤英 孙丽华 徐启程 缪淑贤
参 编 闫红梅 刘 丹 艾 瑛 郑 莉
赵恩良 杜利明 路 辉 董连红

国防工业出版社

地址：北京市海淀区中关村大街22号 邮编：100080
发行部电话：(010) 88240777 发行部传真：(010) 88240777
编辑部电话：(010) 88240777 编辑部传真：(010) 88240777

内 容 简 介

本书根据 ANSYS 18.0 编写,内容包括 ANSYS 软件介绍、ANSYS 实体建模、ANSYS 网格划分、施加载荷及求解、通用后处理、时间历程后处理、ANSYS 有限元分析的应用、ANSYS 常用命令流共八章。书中配备了较多的实例,这些实例是学习 ANSYS 必须掌握的基本技能。同时给出了部分练习及其参考答案。

本书由浅入深,由易到难,既可作为在职教师学习 ANSYS 的自学用书,也可作为有限元分析培训班学生的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 有限元分析基础/李汉龙,隋英,韩婷主编. —北京:国防工业出版社,2017. 5

ISBN 978-7-118-11363-1

I. ①A… II. ①李… ②隋… ③韩… 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(2017)第 111066 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 24 字数 592 千字

2017 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 59.00 元

(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 是当前功能最强大的有限元分析型软件,在选择它作为有限元分析计算软件之前,首先应该了解它能做什么,接着才是利用它来怎样做。为了帮助初学者掌握好这个功能强大的有限元分析型软件,我们结合 ANSYS 公司推出的最新版 ANSYS 18.0,同时参考了有限元分析的相关资料,编写了本书。

本书从介绍 ANSYS 软件基本应用开始,重点介绍了 ANSYS 实体建模、ANSYS 网格划分、施加载荷及求解、通用后处理、时间历程后处理、ANSYS 有限元分析的应用、ANSYS 常用命令流,并通过具体的实例,使读者一步一步地随着编者的思路完成学习;同时,本书在许多章后面都作出了归纳总结,并给出了练习题。书中所给实例具有技巧性而又道理显然,可使读者思路畅达,将所学知识融会贯通、灵活运用,达到事半功倍之效。本书所使用的素材包含文字、图形、图像等,有的为编者自己制作,有的来自于互联网。使用这些素材的目的是希望给读者提供更为完善的学习资料。

本书第 1 章由王凤英、杜利明编写;第 2 章由李汉龙编写;第 3 章和第 4 章 4.1~4.3 节由隋英编写;第 4 章 4.4 节和 4.5 节由路辉编写;第 5 章由郑莉编写;第 6 章由刘丹编写;第 7 章由闫红梅编写;第 8 章由艾瑛编写;前言和参考文献由韩婷编写和整理。孙丽华、徐启程、缪淑贤、赵恩良对本书的编写提出了许多建议和意见。全书由李汉龙统稿,李汉龙、隋英、韩婷审稿。本书的编写和出版得到了国防工业出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢!

本书参考了国内外出版的一些教材,见本书所附参考文献,在此表示谢意。由于水平所限,书中不足之处在所难免,恳请读者、同行和专家批评指正。

本书配有程序和数据资源包,可以到国防工业出版社“资源下载”栏目下载(www.ndip.cn),或发邮件至 896369667@QQ.com 索取。

编 者
2017 年 4 月

目 录

第 1 章	ANSYS 软件介绍	1
1.1	有限元分析概述	1
1.1.1	有限元分析简介	1
1.1.2	有限元分析步骤	1
1.1.3	ANSYS 软件的发展历程	2
1.1.4	ANSYS 软件基本功能	4
1.1.5	ANSYS 18.0 新功能	6
1.2	ANSYS 18.0 软件安装	7
1.3	ANSYS 18.0 工作界面	11
1.3.1	启动 ANSYS 18.0	11
1.3.2	ANSYS 18.0 经典主界面	12
1.3.3	ANSYS 18.0 的退出	22
1.3.4	ANSYS 18.0 的文件格式	23
1.4	ANSYS Workbench 18.0	23
1.4.1	ANSYS Workbench 简介	23
1.4.2	ANSYS 18.0 Workbench 启动	24
1.4.3	ANSYS Workbench 18.0 的主界面	24
1.4.4	Workbench 项目管理	27
1.4.5	设置项属性	28
1.4.6	Workbench 文件管理	28
1.5	ANSYS 18.0 案例入门	29
1.5.1	提出问题	29
1.5.2	定义参数	30
1.5.3	创建几何模型	32
1.5.4	划分网格	34
1.5.5	施加荷载	37
1.5.6	求解	38
1.5.7	结果分析	39
1.6	本章小结	41
	习题 1	41
	习题 1 答案	41

第2章 ANSYS 实体建模	42
2.1 ANSYS 实体建模基本方法	42
2.1.1 自底向上建模	42
2.1.2 自顶向下建模	42
2.1.3 布尔运算的使用	42
2.1.4 拖拉或旋转实体模型	43
2.1.5 移动和复制实体模型	43
2.2 ANSYS 坐标系的操作	43
2.2.1 总体坐标系	43
2.2.2 局部坐标系	45
2.2.3 显示坐标系	48
2.2.4 节点坐标系	49
2.2.5 单元坐标系	51
2.2.6 结果坐标系	52
2.3 ANSYS 工作平面的使用	52
2.3.1 显示和设置工作平面	52
2.3.2 定义工作平面	54
2.3.3 旋转和平移工作平面	55
2.4 自底向上建模的操作	56
2.4.1 定义及操作关键点	56
2.4.2 选择、查看和删除关键点	60
2.4.3 定义及操作线	61
2.4.4 选择、查看和删除线	65
2.4.5 定义及操作面	66
2.4.6 选择、查看和删除面	71
2.4.7 定义及操作体	71
2.4.8 选择、查看和删除体	75
2.5 自顶向下建模的操作	76
2.5.1 矩形面原始对象的建立	76
2.5.2 圆或环形面原始对象的建立	77
2.5.3 正多边形面原始对象的建立	78
2.5.4 长方体原始对象的建立	80
2.5.5 柱体原始对象的建立	81
2.5.6 多棱柱原始对象的建立	82
2.5.7 球体或部分球体原始对象的建立	82
2.5.8 锥体或圆台原始对象的建立	83
2.5.9 环体或部分环体原始对象的建立	83
2.6 布尔运算	84
2.6.1 布尔运算的基础设置	84

2.6.2	交运算	85
2.6.3	加运算	86
2.6.4	减运算	86
2.6.5	切割运算	88
2.6.6	搭接运算	89
2.6.7	分割运算	89
2.6.8	黏结运算	90
2.7	修改模型	90
2.7.1	移动图元	90
2.7.2	复制图元	91
2.7.3	镜像图元	91
2.7.4	缩放图元	92
2.7.5	转换图元坐标系	93
2.7.6	组件和部件的操作	93
2.7.7	通过组件和部件选择实体	95
2.8	ANSYS 实体建模综合实例	95
2.8.1	轴承座实体	95
2.8.2	汽车连杆实体	106
2.8.3	联轴体实例	114
2.9	本章小结	121
	习题 2	122
	习题 2 答案	122
第 3 章	ANSYS 网格划分	126
3.1	定义单元属性	126
3.1.1	定义单元类型	126
3.1.2	定义常数	128
3.1.3	定义材料参数	129
3.1.4	分配单元属性	133
3.2	网格划分控制	134
3.2.1	网格划分工具	135
3.2.2	Smart Size 网格划分控制	136
3.2.3	尺寸控制	138
3.2.4	单元形状控制	142
3.2.5	网格划分器选择	143
3.3	实体模型网格划分	146
3.3.1	关键点网格划分	147
3.3.2	线网格划分	147
3.3.3	面网格划分	147
3.3.4	体网格划分	148

3.4	网格检查	150
3.4.1	设置形状检查选项	150
3.4.2	设置形状限制参数	151
3.4.3	确定网格质量	152
3.5	网格的修改	152
3.6	综合实例 1——轴承座实体模型的网格划分	154
3.7	综合实例 2——汽车连杆实体模型的网格划分	157
3.8	本章小结	160
习题 3		160
习题 3 答案		161
第 4 章	施加载荷及求解	169
4.1	加载概述	169
4.1.1	载荷类型	169
4.1.2	载荷施加方式	170
4.1.3	载荷步、子步和平衡迭代	171
4.1.4	载荷步选项	172
4.1.5	载荷步显示	173
4.2	载荷的定义	174
4.2.1	自由度约束	174
4.2.2	集中载荷	179
4.2.3	表面载荷	183
4.2.4	体载荷	193
4.3	求解	194
4.3.1	选择合适的求解器	194
4.3.2	求解多步载荷	196
4.3.3	求解	198
4.4	综合实例 1——轴承座模型载荷施加及求解	199
4.5	综合实例 2——汽车连杆模型载荷施加及求解	203
4.6	本章小结	207
习题 4		207
习题 4 答案		208
第 5 章	通用后处理器	210
5.1	通用后处理器概述	210
5.1.1	通用后处理器处理的结果文件	210
5.1.2	结果文件读入通用后处理器	211
5.1.3	浏览结果数据集信息	212
5.1.4	读取结果数据集	213
5.1.5	设置结果输出方式与图形显示方式	215

5.2	图形显示计算结果	216
5.2.1	绘制变形图	216
5.2.2	绘制等值线图	217
5.2.3	绘制矢量图	220
5.2.4	绘制粒子轨迹图	221
5.2.5	绘制破裂图和压碎图	221
5.3	路径操作	222
5.3.1	定义路径	222
5.3.2	观察沿路径的结果	224
5.3.3	进行沿路径的数学运算	226
5.4	单元表	226
5.4.1	创建和修改单元表	226
5.4.2	基于单元表的数学运算	228
5.4.3	根据单元表绘制结果图形	229
5.5	载荷组合及其运算	230
5.5.1	创建载荷工况	230
5.5.2	载荷工况的读写	231
5.5.3	载荷工况数学运算	231
5.6	综合实例 1——桁架计算	232
5.7	综合实例 2——轴承座及汽车连杆后处理分析	239
5.7.1	轴承座后处理分析	239
5.7.2	汽车连杆后处理分析	240
5.8	本章小结	242
	习题 5	242
	习题 5 答案	242
第 6 章	时间历程后处理器	243
6.1	定义和存储变量	244
6.1.1	变量定义	244
6.1.2	变量存储	246
6.1.3	变量的导入	247
6.2	变量的操作	248
6.2.1	数学运算	248
6.2.2	变量与数组相互赋值	248
6.2.3	数据平滑	251
6.2.4	生成响应频谱	251
6.3	查看变量	252
6.3.1	图形显示	252
6.3.2	列表显示	255
6.4	动画技术	256

6.4.1	直接生成动画	257
6.4.2	通过动画帧显示动画	257
6.4.3	动画播放	259
6.5	综合实例——钢球温度计算	260
6.5.1	问题描述	260
6.5.2	GUI 操作步骤	260
6.6	本章小结	269
习题 6		269
习题 6 答案		270
第 7 章	ANSYS 结构分析及应用	271
7.1	结构分析概述	271
7.1.1	结构分析定义	271
7.1.2	结构分析的类型	271
7.1.3	结构分析所使用的单元	272
7.1.4	材料模式界面	272
7.1.5	阻尼	273
7.1.6	求解方法	275
7.2	结构静力分析	275
7.2.1	结构静力分析求解步骤	276
7.2.2	实例 1——钢支架结构静力分析	276
7.2.3	实例 2——六角扳手结构静力分析	283
7.2.4	更多的结构静力分析实例	300
7.3	结构非线性分析	301
7.3.1	结构非线性分析概述	301
7.3.2	结构非线性分析基本步骤	302
7.3.3	实例 1——悬臂梁几何非线性分析	302
7.3.4	实例 2——钢棒单轴拉伸非线性分析	305
7.3.5	其他例子	308
7.4	模态分析	309
7.4.1	模态分析简介	309
7.4.2	模态分析步骤	309
7.4.3	实例——飞机机翼模态分析	312
7.5	谐波响应分析	318
7.5.1	谐波响应分析简介	318
7.5.2	谐波响应分析步骤	319
7.5.3	谐波响应分析实例	320
7.6	屈曲分析	323
7.6.1	屈曲分析简介	323
7.6.2	屈曲分析步骤	324

7.6.3 屈曲分析实例..... 326

7.6.4 其他例子 331

7.7 本章小结 332

第8章 ANSYS 常用命令流..... 333

8.1 过程和数据库命令 333

8.2 参数化设计命令 334

8.3 前处理器固体模型生成命令 335

8.4 前处理器网格剖分命令 350

8.5 求解命令 356

8.6 一般后处理器命令 358

8.7 结构分析命令 362

8.8 其他命令 364

参考文献 370

1.1 有限元分析概述

1.1.1 有限元分析简介

有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)是利用数学近似的方法对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟,具有把无限自由度问题的求解过程离散化,把原来连续的弹性体变成有限个单元的集合,对每一个单元假定一个合适的(较简单的)近似解,然后推求整个结构的满足条件(如结构的平衡条件),从而得到问题的解,因为实际问题在离散过程中被简化,所以这个解不是准确解,而是近似解。多数实际问题难以得到准确解,而通过有限元法得到的解虽然不是精确解,但其计算精度高,能适应各种复杂情况,满足工程的应用需求,因此,有限元法成为行之有效的工程分析手段。

由于有限元分析能够对整个连续体进行离散化,将复杂连续体分解成小的单元,因此适用于任意复杂的几何结构,也便于处理不同的边界条件。在满足条件下,单元越小,节点越多,有限元数值解的精度就越高。但随着单元的细分,需处理的数据量变得非常庞大,采用手工方式难以完成,因此必须借助计算机的大存储量和高计算速度等。另外,有限元分析的过程非常适用计算机程序设计自动完成,因此,有限元分析随着计算机技术的发展而得到了迅速的发展。目前,在所有有限元分析软件中,最为有名、应用范围最广的为ANSYS公司推出的ANSYS软件,该软件可广泛应用于航空航天、机械工程、土木工程、生物工程、生物医学、核工业、电子、造船、能源、地质、水利、轻工等一般工业及科学研究。随着分析技术的进步,将更多的设计分析概念不断引入到ANSYS软件,使得ANSYS软件功能不断丰富和完善,求解速度越来越快,求解规模越来越大,操作也越来越方便。

1.1.2 有限元分析步骤

- 采用有限元法分析问题可采用如下步骤。
- (1) 问题及求解域定义。即根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。
 - (2) 求解域离散化。将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组

第 1 章 ANSYS 软件介绍

本章概要

- 有限元分析概述
- ANSYS 18.0 软件安装
- ANSYS 18.0 工作界面
- ANSYS Workbench 18.0
- ANSYS 18.0 案例入门

1.1 有限元分析概述

1.1.1 有限元分析简介

有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)是利用数学近似的方法对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟,其基本思想是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它将求解域看成是由许多被称为有限元的小的互连子域组成,对每一单元假定一个合适的(较简单的)近似解,然后推导求解这个域总的满足条件(如结构的平衡条件),从而得到问题的解,因为实际问题在抽象过程中被简单化,所以这个解不是准确解,而是近似解。大多数实际问题难以得到准确解,而通过有限元法得到的解虽不是精确解,但其计算精度高,能适应各种复杂情况,满足工程的应用需求,因此,有限元法成为行之有效的工程分析手段。

由于有限元分析能够对整个连续体进行离散化,将复杂连续体分解成小的单元,因此适用于任意复杂的几何结构,也便于处理不同的边界条件。在满足条件下,单元越小、节点越多,有限元数值解的精度就越高。但随着单元的细分,需处理的数据量变得非常庞大,采用手工方式难以完成,因此必须借助计算机的大存储量和高计算速度等优势。另外,有限元分析的过程非常适合用计算机程序设计自动完成,因此,有限元分析随着计算机技术的发展而得到了迅速的发展。目前,在所有有限元分析软件中,最为有名、应用范围最广的为 ANSYS 公司推出的 ANSYS 软件,该软件可广泛应用于航空航天、机械工程、土木工程、车辆工程、生物医学、核工业、电子、造船、能源、地矿、水利、轻工等一般工业及科学研究。随着分析技术的进步,许多新的设计分析概念不断充实到 ANSYS 软件,使得 ANSYS 软件功能不断丰富和完善,求解速度越来越快,求解规模越来越大,操作也越来越方便。

1.1.2 有限元分析步骤

采用有限元法分析问题可采用如下步骤:

- (1) 问题及求解域定义。即根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。
- (2) 求解域离散化。将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组

成的离散域,习惯上称为有限元网络划分。显然,单元越小(网格越细),离散域的近似程度越好,计算结果也越精确,但计算量也越增大,因此求解域的离散化是有限元法的核心技术之一。

(3) 确定状态变量及控制方法。一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示,为适合有限元求解,通常将微分方程化为等价的泛函形式。

(4) 单元推导。对单元构造一个适合的近似解,即推导有限单元的列式,包括选择合理的单元坐标系、建立单元试函数、以某种方法给出单元各状态变量的离散关系,从而形成单元矩阵(结构力学中称刚度阵或柔度阵)。

(5) 总装求解。将单元总装形成离散域的总矩阵方程(联合方程组),反映对近似求解域的离散域的要求,即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。总装是在相邻单元节点进行,状态变量及其导数连续性建立在节点处。

(6) 联立方程组求解和结果解释。有限元法最终导致联立方程组。联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。求解结果是单元节点处状态变量的近似值。对于计算结果的质量,可通过与设计准则提供的允许值比较来评价,从而确定是否需要重复计算。

综上可知,有限元分析可分成前置处理、计算求解和后置处理三个阶段。前置处理是建立有限元模型,完成单元网格划分;后置处理则是采集处理分析结果,使用户能简便提取信息,了解计算结果。

1.1.3 ANSYS 软件的发展历程

1963 年,ANSYS 的创办人 John Swanson 博士任职于美国宾州匹兹堡西屋公司的太空核子实验室。当时他的工作之一是为某个核子反应火箭作应力分析。为了工作上的需要,Swanson 博士写了一些程序来计算加载温度和压力的结构应力和变位。几年后,他在 Wilson 博士的有限元素法热传导程序的基础上,扩充了很多三维分析的程序,包括板壳、非线性、塑性、潜变、动态全程等。此程序当时命名为 STASYS (Structural Analysis SYstem)。1969 年,Swanson 博士离开西屋,在临近匹兹堡的自家车库中创立了自己的公司 Swanson Analysis Systems Inc (SA-SI)。1970 年,商用软件 ANSYS 宣告诞生。

1979 年,ANSYS 3.0 开始在 VAX 11-780 迷你计算机上执行。此时,ANSYS 已经由定格输入模式演化到指令模式,并可以在 Tektronix 4010 及 4014 单色向量绘图屏幕上显示图形。稍为像样一点的模型,通常需要 20~30min 来显示隐线图型。节点和元素都必须一笔一笔地建立,完全没有办法导入外部几何模型。用户大量使用 NGEN、EGEN、RPnnn 等指令来建构模型。当时已有简单的几何前处理器 PREP7。

1984 年,ANSYS 4.0 开始支持 PC。当时使用的芯片是 Intel 286,使用指令互动的模式,可以在屏幕上绘出简单的节点和元素。不过这时还没有 Motif 规格的图型界面,前置处理、后置处理及求解都在不同的程序上执行。

1994 年,Swanson Analysis Systems, Inc. 被 TA Associates 并购。同年,该公司在底特律的 AUTOFACT 94 展览会上宣布了新的公司名称 ANSYS。

1996 年,ANSYS 推出 5.3 版。此版是 ANSYS 第一次支持 LS-DYNA。1997—1998 年间,ANSYS 开始向美国许多著名教授和大学实验室发送教育版,期望能从学生及学校扎根推广 ANSYS。

2001 年,ANSYS 首先和 International TechneGroup Incorporated 合作推出了 CADfix for ANSYS 5.6.2/5.7,以解决由外部汇入不同几何模型图文件的问题,接着先后并购了 CADOE S.A 及 ICEM CFD Engineering。同年 12 月,6.0 版开始发售。此版的离散(Sparse)求解模块有显著

的改进,不但速度增快,而且内存空间需求大为减小。

2002年4月,ANSYS推出6.1版,Motif格式图型界面被新的版面取代(用户仍可使用旧界面)。此新的界面是由Tcl/tk所发展出来的。此版亦支持Intel Itanium 64位芯片及Windows XP的组合。同年10月,ANSYS推出7.0版,离散求解模块有更进一步的改进,在接触分析方面亦有一些重大的改进和加强。7.0版亦加入了AI Workbench Environment (AWE),这是ANSYS合并ICEM CFD后,采用其技术来改进ANSYS的一个重要里程碑。

2003年,CFX加入了ANSYS大家庭并正式更名为ANSYS CFX。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6000多个用户解决了大量的实际问题。2003年12月,ANSYS公司推出ANSYS 8.0,同时推出最新产品CFX、CART3D、Workbench、Paramesh、FE Modeler以及Feko等。

2006年2月,ANSYS公司收购Fluent。Fluent公司是全球著名的CAE仿真软件供应商和技术服务商。Fluent软件应用先进的CFD(计算流体动力学)技术帮助工程师和设计师仿真流体、热、传导、湍流、化学反应,以及多相流中的各种现象。

2008年,ANSYS完成了对Ansoft公司的一系列收购,Ansoft和ANSYS的结合可用于所有涉及机电一体化产品的领域,使得工程师可以分别从器件级、电路级和系统级来综合考虑一个复杂的电子设计。在ANSYS Workbench环境中进行交互仿真可以让工程师进行紧密结合的多物理场仿真,这对整个机械电子设计领域起到重要的支撑作用。

2009年6月,ANSYS 12.0在中国正式推出,ANSYS 12.0不仅在计算速度上进行了改进,而且增强了软件的几何处理、网格划分和后处理等能力。另外,它还将创新的、耳目一新的数值模拟技术引入各主要物理学科。这些改进代表了数值模拟驱动产品的发展道路又向前迈出了一步。

2011年7月,ANSYS公司收购了模拟软件提供商Apache Design Solutions。Apache Design Solutions公司设计的软件可以使得工程师设计和模拟高性能电子产品中的低能耗集成电路系统(多出现于平板电脑、智能手机、LCD电视、笔记本电脑及服务器设备中),而且此次收购Apache Design Solutions有助于填补ANSYS在集成电路解决方案领域的空白。2011年12月,ANSYS 14.0正式发布,该版本在放大工程、复杂系统的模拟、高性能计算(HPC)等领域具有新的优势。

2012年5月29日,ANSYS收购Esterel Technologies公司。Esterel的SCADE解决方案有助于软件和系统工程人员设计、仿真和生产嵌入式软件,即飞机、铁路运输、机动车、能源系统、医疗设备和其他使用中央处理单元的工业产品中的控制代码。现代产品的系统日趋复杂,通常由硬软件和电子线路组成。例如,当今复杂的飞机、铁路和机动车产品往往拥有数以千万行的嵌入式软件代码,这些代码可用于飞行控制、机舱显示、发动机控制和驾驶人员辅助系统等多种用途。对于安全与合规要求较高的嵌入式软件开发而言,Esterel已成为用户的首选。

2013年4月3日,ANSYS收购EVEN,后者成为ANSYS在瑞士的全资子公司。总部位于苏黎世的EVEN公司拥有12名雇员,是ANSYS的合作伙伴,该公司将复合材料结构分析技术应用于ANSYS Composite PrepPost产品中。该产品与ANSYS Workbench中的ANSYS Mechanical以及ANSYS Mechanical APDL紧密结合。复合材料包含两种或两种以上属性迥异的材料。

由于具备质量轻、强度高、弹性好等优点,复合材料已成为汽车、航空航天、能源、船舶、赛车和休闲用品等多种制造领域的标准材料。因此,在过去的 10 年中,复合材料的使用量快速增长。复合材料的大量应用也推动了对于新的设计、分析和优化技术的需求。EVEN 是复合材料仿真领域的领先者,本次收购凸显了 ANSYS 对于这种新兴技术的高度重视。2013 年 12 月,ANSYS 推出新的版本 ANSYS 15.0,其独特的新功能为指导和优化产品设计带来了最优的方法。ANSYS 15.0 在结构、流体和电磁仿真技术等方面都有重要的进展。此外,该版本可满足工程多物理场仿真的工作需求。其中在结构领域,ANSYS 15.0 可帮助用户更深入地洞察复合材料仿真。新的流体动力学求解功能使旋转机械的仿真更加精确。在电磁领域,ANSYS 15.0 提供了最全面的机设计过程。ANSYS 15.0 继续加强了 ANSYS 前处理功能在业界的领先地位;无论是哪种类型的物理场仿真,新版本都能帮助用户快速、准确地为各种尺度的模型和复杂结构生成网格。此外,ANSYS 15.0 还进一步巩固了公司在高性能计算(HPC)领域的全球领先地位,将已经是同类最佳性能的求解速度提升了 5 倍。

2015 年 1 月,ANSYS 16.0 正式发布,该版本提供的高级功能可帮助工程师快速推动产品创新,大幅改进了包括结构、流体、电子、系统工程解决方案的整个产品组合,让工程师能够验证完整的虚拟原型。其主要优势体现在实现电子设备的互连、仿真各种类型的结构材料、简化复杂流体动力学工程问题、基于模型的系统和嵌入式软件开发、全新推出的统一多物理场环境等方面。

2016 年 1 月,ANSYS 17.0 正式发布,该版本使得结构、流体、电磁和系统等各学科领域的工程师,在其产品开发过程中实现了跨越式提升。新一代 ANSYS(NASDAQ:ANSS)行业领先工程仿真解决方案为产品开发的未来巨大突破做好了充分准备,其生产力、深入洞察能力以及性能都得到了大幅提升,在智能设备、自动驾驶汽车乃至节能机械设备等一系列产业计划中实现了前所未有的发展。

2017 年 1 月,ANSYS 18.0 正式发布,该版本不仅采用全新的 Modelica 图形建模编辑器、最新降阶模型接口,还能与 Modelon 的模型库无缝兼容,可帮助用户设计完整的电气系统。此外,ANSYS 18.0 还包含一些全新的特性功能,可帮助工程师以前所未有的精度来求解更多的 CFD 问题。突破性的谐波分析可实现速度提升 100 倍的精确涡轮机械仿真。此外,ANSYS 18.0 还推出了 CFD Enterprise,这是首款面向企业 CFD 专家的解决方案,能帮助他们从容应对最难解的问题。

1.1.4 ANSYS 软件基本功能

ANSYS 软件功能强大,主要包括以下几个方面:

1. 结构静力分析

结构静力分析是有限元分析方法中最常用的应用领域。“结构”这个术语是一个广义的概念,它包括:土木工程结构,如桥梁和建筑物;汽车结构,如车身骨架;海洋结构,如船舶结构;航空结构,如飞机机身等;机械零部件,如活塞、传动轴等。静力分析计算在固定不变的载荷作用下结构的效应,它不考虑惯性和阻尼的影响,静力分析可以计算那些固定不变的惯性载荷对结构的影响(如重力和离心力),以及那些可以近似为等价静力作用的随时间变化载荷(如通常在许多建筑规范中所定义的等价静力风载和地震载荷)。

2. 结构动力分析

动力学分析用来确定惯性(质量效应)和阻尼起重要作用时,结构或构件的动力学特性。

与静力分析不同,动力分析要考虑荷载随时间的变化,以及阻尼和惯性,这类荷载包括交变力、冲击力、随机力等。ANSYS 可以求解的动力学问题包括瞬态动力,模态、谐波响应,以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荷载发生不成比例的变化,而 ANSYS 程序可以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,可使用动力学分析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

热分析用于计算一个系统或部件的温度分布及其他热物理参数,如热量的获取或损失、热梯度、热流密度等。热分析在许多工程应用中扮演重要角色,如内燃机、涡轮机、换热器、管路系统、电子元件等。ANSYS 热分析基于能量守恒原理的热平衡方程,用有限元法计算各节点的温度,并导出其他热物理参数。ANSYS 热分析包括热传导、热对流及热辐射三种热传递方式。此外,还可以分析相变、有内热源、接触热阻等问题。

6. 电磁场分析

电磁场分析主要用于电磁场问题的分析,包括静磁场分析、瞬态磁场分析、交变磁场分析、电场分析、高频电磁场分析等,可用于螺纹管、调机器、发动机、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. 计算流体动力学信息

ANSYS 流体单元用于流体动力学分析,分析类型包括瞬态或稳态。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,包括对流换热效应。

8. 声场分析

声场分析主要用来研究声波在含有流体(气体、液体等)的介质中的传播,或分析浸在流体中的固体结构的动态特性,包括声波在容器内流体介质中的传播、声波在固体介质中的传播、水下结构的动力分析、无限表面吸收单元等,这些功能可以用来确定音箱话筒的频率响应,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

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和机械载荷的响应,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、瞬态响应分析,以及交流、直流、时变电载荷或机械载荷分析。

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分析求解和疲劳、断裂及复合材料相关的工程问题。

11. 多耦合场分析

多耦合场分析就是考虑两个或多个物理场之间的相互作用。ANSYS 统一数据库及多物理场分析并存的特点保证了可方便地进行耦合场分析,允许的耦合类型有热-应力、磁-热、

磁-结构、流体流动-热、流体-结构、热-电、电-磁-热-流体-应力。

12. 优化设计

ANSYS 程序提供多种优化方法,包括零阶方法和一阶方法等。对此,ANSYS 提供了一系列的“分析-评估-修正”的过程。此外,ANSYS 程序还提供了一系列的优化工具以提高优化过程的效率。

1.1.5 ANSYS 18.0 新功能

与以前版本相比,该版本的优势主要体现在以下方面。

1. 全新的图形建模环境有助于对完整的物理系统进行仿真

ANSYS 18.0 采用支持业界标准的 Modelica 语言,基于图标的全新图形建模环境,可轻松完成对完整物理系统的建模。Simplorer 涵盖了众多学科,如流体动力、液体冷却以及机械动力学等。此外,适用于耦合机械-热行为的新型降阶模型(ROM)生成器也能帮助用户对基于三维物理场的模型进行系统级别的分析和重复利用。

2. 增强的互操作性可显著提升复杂系统的集成度

Simplorer 可针对 FMI 协同仿真、系统模型识别、系统工程流程连接以及嵌入式软件闭环测试提供全新的支持,从而能在各种仿真技术的互用性方面大幅增强自身的竞争能力。新型 Systems Engineering Gateway 可将 Simplorer 中的物理系统仿真与 ANSYS SCADE Architect 中的系统架构设计相连接,而通过全新的闭环系统测试方法则能对采用 ANSYS SCADE Suite 创建的嵌入式软件模型进行验证。

3. 能为 ANSYS 物理与嵌入式求解器添加系统仿真

ANSYS 18.0 中的 ANSYS Simplorer Entry 能将多物理场分析与优化进一步扩展至系统级。现在,用户在任何涉及 ANSYS Mechanical、Fluids、Electromagnetics 和 Embedded Software 计算的设计中均包含系统分析。Simplorer Entry 提供了可用于全套 Simplorer 产品的所有语言、模型库、求解器和接口,唯一的限制就是仿真的模型大小。对于 ANSYS SCADE 用户而言,Simplorer Entry 是一款功能强大的平台,既适用于在系统对物理的工厂行为进行建模,同时也能对嵌入式控件进行测试。

4. 采用谐波分析 CFD 可提升 100 倍的速度并获得准确、可靠的涡轮机械分析结果

以前,对每一行中每个叶片的流程都必须煞费苦心地计算,这使得这项工作的代价太过高昂。为了求解频域中的这些问题,ANSYS 18.0 谐波分析(HA)CFD 应运而生,不但将求解速度提升了 100 倍,而且显著降低了硬件要求,用户仅需计算每行中的一个叶片即可获得完整的叶轮解。

5. 前期仿真可优化磁性频率响应和热管理

利用 ANSYS 18.0 的 ANSYS AIM,可对变压器、转换器和汇流条等电磁设备进行磁频响应和热管理(包括感应涡电流/位移电流和感应加热等)的前期仿真。AIM 中统一的用户界面、优化的工作流程和自动自适应求解功能使用户能够轻松评估电磁设计中的磁性能和热性能。

6. 快速定义现实世界的边界条件

ANSYS AIM 18.0 中更强大的表达式功能,提供了针对流体边界条件、与解相关的表达式,以及针对结构边界条件、与位置相关的表达式。利用这些最新的表达式功能,可快速定义真实世界的各种边界条件,轻松启动产品设计。