

ANSYS 有限元 分析应用教程

Engineering Application of Finite
Element Analysis on ANSYS

赵 晶 王世杰 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

ANSYS 有限元分析应用教程

Engineering Application of Finite Element Analysis on ANSYS

赵 晶 王世杰 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2014

内 容 提 要

本书从有限元方法理论、软件介绍及使用、工程分析示例等方面,全方位详细介绍了 ANSYS 有限元分析软件的使用和解决工程实际的分析方法;内容全面,理论与实际操作相结合。

本书可供高等理工科学院相关专业的本科生或硕士研究生使用,也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 有限元分析应用教程 / 赵晶, 王世杰编著. —
北京: 冶金工业出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-5024-6562-9

I. ①A… II. ①赵… ②王… III. ①有限元分析—
应用程序—教材 IV. ①O241. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 083201 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6562-9

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2014 年 6 月第 1 版, 2014 年 6 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 18.75 印张; 449 千字; 284 页

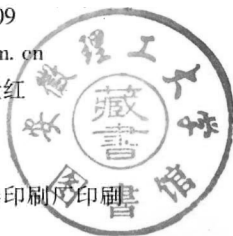
42.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



前 言

ANSYS 是目前国内外使用最广泛的计算机辅助分析软件之一, 经过 40 多年的发展, 其强大的求解功能和良好的用户界面深受广大用户欢迎。ANSYS 软件是一个集结构、热工、流体、电磁和声学于一体的大型通用有限元分析软件, 该软件很好地实现了前、后处理, 分析求解及多场耦合分析统一数据库功能。同时, 它也是世界上第一个通过 ISO9001 质量认证的分析设计类软件。ANSYS 软件广泛应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、材料成形、能源交通、国防军工、电工电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地质、水利、日用家电等工业及科学研究等领域。ANSYS14.0 是目前最新的 ANSYS 版本。

本书共分 15 章。主要内容为有限元方法与 ANSYS 简介、单元、模型的建立、网格划分、加载、求解、后处理、线性静力学分析、非线性分析、热分析、屈曲分析、模态分析、瞬态动力学分析、谱分析、接触问题分析。

此外, 本书中包含 14 个典型工程示例, 包含了一般常见的工程分析问题, 涉及领域广泛。每个工程示例都有详尽的 GUI 操作步骤讲解, 配以大量的图片, 读者能够逐步学习分析技巧, 提高软件的应用能力。同时, 每个示例都提供 APDL 命令流, 读者可以根据需求选择软件使用方法。通过大量的示例训练, 用户可快速掌握 ANSYS 软件复杂的分析步骤、方法和使用技巧。

本书既适用于初级和中高级用户使用, 也可作为专业人士的工程实用参考书, 还可作为大学本科及研究生的教材使用。

本书主要由沈阳工业大学的赵晶和王世杰等编著, 其中第 5 章和第 6 章由王慧明编写, 第 7 章和第 8 章由汤赫男编写。本书是在作者多年的 ANSYS 使用经验的基础上编写而成的, 试图向读者提供一本内容丰富、讲解简练的 ANSYS 使用参考书。限于作者水平, 加之时间仓促, 书中必存在不当之处, 恳请广大读者不吝指教。

编 者

2013 年 12 月 10 日 于沈阳工业大学

目 录

1 有限元方法与 ANSYS 简介	1
1.1 有限元方法的基本原理	1
1.1.1 有限元法的要点	1
1.1.2 有限元法的特性	2
1.1.3 有限元方法的基本求解过程	3
1.2 ANSYS 简介	4
1.2.1 ANSYS 的功能	4
1.2.2 ANSYS 14.0 的启动	5
1.2.3 ANSYS 程序结构	7
1.2.4 ANSYS 分析的基本过程	7
2 单元	9
2.1 单元插值和形函数	9
2.2 常用单元介绍	9
2.2.1 结构单元	9
2.2.2 热分析单元	18
2.2.3 梁单元	26
2.2.4 弹簧单元	28
3 模型的建立	31
3.1 ANSYS 建模概述	31
3.1.1 直接建模	31
3.1.2 实体建模	31
3.1.3 导入 CAD 模型	32
3.2 ANSYS 的坐标系	32
3.2.1 坐标系分类	32
3.2.2 全局坐标系与局部坐标系	34
3.2.3 显示坐标系	37
3.2.4 节点坐标系和单元坐标系	37
3.2.5 结果坐标系	37
3.2.6 工作平面	37
3.2.7 坐标系的激活	39
3.3 自下向上建模	40

3.3.1	关键点	40
3.3.2	线	40
3.3.3	面	41
3.3.4	体	42
3.4	自上向下建模	42
3.4.1	自上向下建模	42
3.4.2	定义体	43
3.5	建立有限元模型	44
3.5.1	节点	44
3.5.2	单元	45
3.6	导入 CAD 模型	47
3.7	参数化建模	48
3.7.1	参数化建模概念	48
3.7.2	使用参数	48
3.7.3	APDL 中控制程序	52
3.8	布尔运算	53
3.8.1	交运算	53
3.8.2	加运算	54
3.8.3	减运算	55
3.8.4	分割运算	56
3.8.5	搭接运算	56
3.8.6	互分运算	57
3.8.7	黏接运算	57
4	网格划分	58
4.1	有限元网格概论	58
4.2	设定单元属性	58
4.2.1	定义单元属性	58
4.2.2	分配单元属性	59
4.3	网格划分控制	61
4.3.1	ANSYS 网格划分工具	61
4.3.2	映射网格划分中单元的默认尺寸	63
4.3.3	局部网格划分控制	64
4.3.4	内部网格划分控制	64
4.3.5	生成过渡棱锥单元	66
4.3.6	将退化的四面体单元转化为非退化的形式	66
4.3.7	执行层网格划分	67
4.4	自由网格划分和映射网格划分控制	67
4.4.1	自由网格划分	67
4.4.2	映射网格划分	68
4.5	实体模型有限元网格划分控制	71

4.5.1	用 xMESH 命令生成网格	72
4.5.2	生成带方向节点的梁单元网格	72
4.5.3	在分界线或者分界面处生成单位厚度的界面单元	74
4.6	延伸和扫略生成有限元模型	74
4.6.1	延伸生成网格	75
4.6.2	扫略生成网格	76
4.7	修正有限元模型	78
4.7.1	局部细化网格	78
4.7.2	移动和复制节点和单元	81
4.7.3	控制面、线和单元的法向	81
4.7.4	修改单元属性	82
4.8	编号控制	82
4.8.1	合并重复项	83
4.8.2	编号压缩	83
4.8.3	设定起始编号	84
5	加载	85
5.1	载荷的概念	85
5.2	载荷步、子步和平衡迭代	85
5.2.1	载荷步	85
5.2.2	子步	85
5.2.3	平衡迭代	86
5.3	跟踪中时间的作用	86
5.4	阶跃与斜坡载荷	86
5.5	定义载荷	87
5.5.1	自由度约束	87
5.5.2	对称与反对称约束	87
5.5.3	施加力载荷	89
5.5.4	施加表面载荷	90
5.5.5	施加体积载荷	91
5.5.6	施加惯性载荷	92
5.5.7	施加轴对称载荷和反作用力	94
5.5.8	施加表格形式载荷	94
5.5.9	施加函数形式载荷	95
5.6	设置载荷步选项	96
5.6.1	通用选项	96
5.6.2	动力学分析选项	99
5.6.3	非线性选项	99
5.6.4	输出控制	99
5.7	创建多载荷步文件	100

6	求解	101
6.1	选择求解器	101
6.2	求解器的类型	101
6.2.1	稀疏矩阵直接解法求解器	101
6.2.2	预条件共轭梯度法求解器	102
6.2.3	雅可比共轭梯度法求解器	102
6.2.4	不完全乔里斯基共轭梯度法求解器	102
6.2.5	二次最小残差求解器	102
6.3	在某些类型结构分析使用特殊求解控制	103
6.3.1	使用简化求解菜单	103
6.3.2	使用“求解控制”对话框	103
6.4	获得解答	104
6.5	求解多载荷步	105
6.5.1	使用多步求解法	105
6.5.2	使用载荷步文件法	105
7	后处理	106
7.1	后处理功能概述	106
7.1.1	ANSYS 后处理类型	106
7.1.2	结果文件	106
7.1.3	后处理可用的数据类型	106
7.2	通用后处理器	107
7.2.1	数据文件选项	107
7.2.2	查看结果汇总	107
7.2.3	读入结果	107
7.2.4	图形显示结果	109
7.2.5	列表显示结果	110
7.2.6	查询结果	112
7.2.7	输出选项	113
7.2.8	单元表	114
7.2.9	路径查看	118
8	线性静力学分析	120
8.1	线性静力学分析概述	120
8.1.1	线性结构力学知识基础	120
8.1.2	有限元模型属性	122
8.2	线性静力学分析过程	124
8.3	非均匀截面梁受扭矩分析示例	124
8.3.1	问题描述与分析	124
8.3.2	前处理	125

8.3.3	加载与求解	127
8.3.4	后处理	128
8.3.5	命令流	130
9	非线性分析	131
9.1	非线性分析概述	131
9.1.1	几何非线性	131
9.1.2	材料非线性	132
9.2	静态非线性分析基本过程	134
9.2.1	前处理	134
9.2.2	加载与求解	138
9.2.3	后处理	139
9.3	桁架大变形分析示例	140
9.3.1	问题描述与分析	140
9.3.2	前处理	141
9.3.3	加载与求解	144
9.3.4	后处理	145
9.3.5	命令流	147
9.4	多线性各向同性强化材料应力-应变分析示例	149
9.4.1	问题描述与分析	149
9.4.2	前处理	149
9.4.3	加载与求解	152
9.4.4	后处理	153
9.4.5	命令流	154
10	热分析	156
10.1	热分析概述	156
10.1.1	热分析概述	156
10.1.2	热分析基本原理	156
10.2	热分析的基本步骤	158
10.2.1	稳态热分析	158
10.2.2	瞬态热分析	162
10.3	稳态热分析示例——换热管的热分析	165
10.3.1	问题描述	165
10.3.2	前处理	165
10.4	钢球淬火过程温度分析示例	172
10.4.1	定义工作文件名及文件标题	172
10.4.2	定义单元类型及材料属性	172
10.4.3	生成有限元模型	173
10.4.4	施加载荷和求解	173
10.4.5	后处理	175

10.5	换热管的热应力分析示例	178
10.5.1	恢复数据库文件	178
10.5.2	改变工作标题和分析类型	178
10.5.3	设置材料属性	178
10.5.4	施加结构分析载荷及求解	179
10.5.5	后处理	181
11	屈曲分析	183
11.1	屈曲分析概述	183
11.2	线性屈曲分析步骤	184
11.2.1	前处理	184
11.2.2	求取静态解	184
11.2.3	求取屈曲解	184
11.2.4	后处理	185
11.3	非线性屈曲分析步骤	185
11.3.1	前处理	185
11.3.2	加载与求解	185
11.3.3	后处理	186
11.4	中间铰支增强稳定性线性分析	186
11.4.1	问题描述与分析	186
11.4.2	前处理	186
11.4.3	求取静态解	188
11.4.4	求取屈曲解	191
11.4.5	后处理	191
11.4.6	命令流	192
11.5	中间铰支增强稳定性非线性分析	193
11.5.1	问题描述与分析	193
11.5.2	前处理	193
11.5.3	加载与求解	193
11.5.4	后处理	195
12	模态分析	200
12.1	模态分析概述	200
12.2	模态分析过程	200
12.2.1	前处理	200
12.2.2	加载与求解	201
12.2.3	后处理	204
12.2.4	施加预应力效应	206
12.3	带集中质量结构扭振分析	206
12.3.1	问题描述	206
12.3.2	前处理	206

12.3.3	加载与求解	209
12.3.4	后处理	210
12.3.5	命令流	210
12.4	音叉固有频率分析	212
12.4.1	问题描述与分析	212
12.4.2	前处理	212
12.4.3	加载与求解	214
12.4.4	后处理	215
12.4.5	命令流	216
13	瞬态动力学分析	218
13.1	瞬态动力学分析概述	218
13.1.1	完全法(Full Method)	218
13.1.2	模态叠加法(Mode Superposition Method)	218
13.1.3	减缩法(Reduced Method)	219
13.2	瞬态动力学分析的基本步骤	219
13.2.1	前处理	219
13.2.2	建立初始条件	219
13.2.3	设定求解控制器	220
13.2.4	设定其他求解选项	222
13.2.5	施加载荷	222
13.2.6	设定多载荷步	224
13.2.7	瞬态求解	224
13.2.8	后处理	224
13.3	有阻尼自由振动分析示例	226
13.3.1	问题描述	226
13.3.2	前处理	226
13.3.3	求解	229
13.3.4	后处理	231
13.3.5	命令流	235
14	谱分析	237
14.1	谱分析概述	237
14.1.1	响应谱	237
14.1.2	动力设计分析方法(DDAM)	237
14.1.3	功率谱密度(PSD)	237
14.2	谱分析的基本步骤	238
14.2.1	前处理	238
14.2.2	模态分析	238
14.2.3	谱分析	238
14.2.4	扩展模态	240

14.2.5	合并模态	241
14.2.6	后处理	242
14.3	支撑平板的动力效果分析示例	243
14.3.1	问题描述	243
14.3.2	前处理	244
14.3.3	模态分析	249
14.3.4	谱分析	252
14.3.5	POST1 后处理	255
14.3.6	谐响应分析	257
14.3.7	POST26 后处理	259
14.3.8	命令流	261
15	接触问题分析	264
15.1	接触问题概论	264
15.1.1	接触问题分类	264
15.1.2	接触单元	264
15.2	接触分析的基本设置	265
15.2.1	建立模型并划分网格	265
15.2.2	识别接触对	265
15.2.3	定义刚性目标面	266
15.2.4	定义柔性接触面	267
15.2.5	设置实常数和单元关键点	269
15.2.6	控制刚性目标面的运动	269
15.2.7	定义求解选项和载荷步	270
15.3	接触问题实例	271
15.3.1	分析问题	271
15.3.2	模型建立	271
15.3.3	划分网格	275
15.3.4	接触对建立	275
15.3.5	施加载荷并求解	278
15.3.6	后处理	279
15.3.7	命令流方式	280
	参考文献	284

1 有限元方法与 ANSYS 简介

1.1 有限元方法的基本原理

有限单元法(或称有限元法)是当今工程分析中获得最广泛应用的数值计算方法。由于它的通用性和有效性很好,受到工程技术界的高度重视。伴随着计算机科学和技术的快速发展,现已成为计算机辅助设计(CAD)及辅助制造(CAM)的重要组成部分。

有限元法的基本思想是将一个连续变化的求解区域进行离散化,即把求解区域分割成彼此以节点互相联系的有限个单元,在单元内假设近似解的插值多项式,用有限个节点上的未知参数来表示单元特征,然后使用适当的方法,将各个单元的关系组合成含有这些未知数的方程组。求解方程组,即可得到各节点处的未知参数,并利用插值函数求出近似解。

1.1.1 有限元法的要点

在工程或物理问题的数学模型(基本变量、基本方程、求解域和边界条件等)确定以后,有限元法作为对其进行分析的数值计算方法的要点可归纳为:

(1) 将一个表示结构或连续体的求解域离散为若干个子域(单元),并通过它们边界上的结点相互联结成为组合体。图 1-1 表示将一个二维多连通求解域离散为若干个单元的组合物体。图 1-1(a)和(b)分别表示采用四边形和三角形单元离散的图形。各个单元通过它们的角结点相互联结。

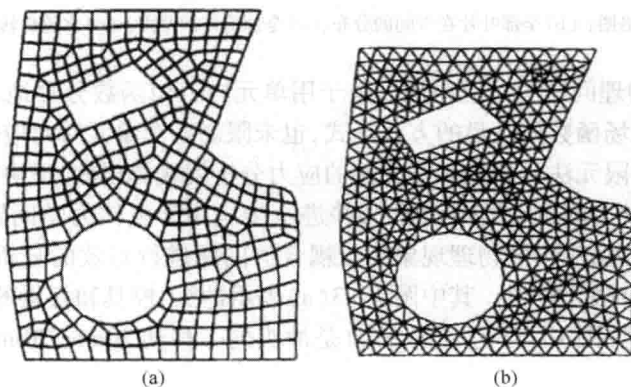


图 1-1 二维多连通域的有限元离散
(a) 四边形单元; (b) 三角形单元

(2) 用每个单元内所假设的近似函数来分片地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场函数(或其导数)在单元各个结点上的数值和与其对应的

插值函数来表达(此表达式通常表示为矩阵形式)。由于在联结相邻单元的结点上,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多自由度问题转换为求解场函数结点值的有限自由度问题。

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

1.1.2 有限元法的特性

从有限元法的上述要点可以理解它所固有的特性:

(1)对于复杂几何构形的适应性。由于单元在空间可以是一维、二维或三维的,而且每一种单元可以有不同的形状,例如三维单元可以是四面体、五面体或六面体,同时各种单元之间可以采用不同的联结方式,例如两个面之间可以是场函数保持连续,也可以是场函数的导数保持连续,还可以仅是场函数的法向分量保持连续。这样一来,工程实际中遇到的非常复杂的结构或构造都可能离散为由单元组合体表示的有限元模型。图 1-2 是一水轮机转轮的有限元模型。转轮由上冠、下环和 13 个叶片组成,分别用三维块体单元和壳体单元离散。叶片之间的水用三维流体单元离散。

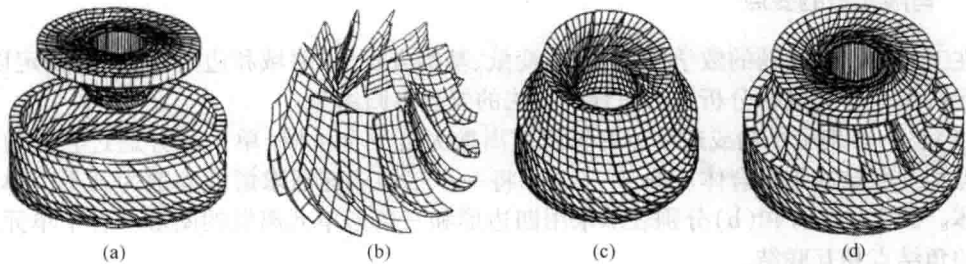


图 1-2 水轮机转轮的有限元模型

(a)上冠和下环的网格图;(b)全部叶片在空间的分布;(c)全部流体网格图;(d)水轮机转轮网格图(俯视图)

(2)对于各种物理问题的可应用性。由于用单元内近似函数分片地表示全求解域的未知场函数,并未限制场函数所满足的方程形式,也未限制各个单元所对应的方程必须是相同的形式,所以尽管有限元法开始是对线弹性的应力分析问题提出的,很快就发展到弹塑性问题、黏弹塑性问题、动力问题,屈曲问题等,并进一步应用于流体力学问题、热传导问题等。而且可以利用有限元法对不同物理现象相互耦合的问题进行有效的分析。图 1-3 表示金属板料成形过程的有限元模拟。其中图 1-3(a)表示冲头、模具和板料的图形;图 1-3(b)是它们的有限元模型;图 1-3(c)、(d)、(e)是冲头向下移动 20mm、30mm、40mm 时板料有限元模型的变形图。

图 1-4 是一载有假人的整个汽车以速度 $v = 1.56\text{m/s}$ 撞击刚性墙壁动态响应过程的有限元模拟。图 1-4(a)是整车和假人的有限元模型。它由 16000 个壳体单元、刚体、弹簧、阻尼器以及特殊联结件组成。图 1-4(b)和(c)分别是 $t = 40\text{ms}$ 和 70ms 时汽车和假人的变形图。

(3)建立于严格理论基础上的可靠性。因为用于建立有限元方程的变分原理或加权余量法在数学上已证明是微分方程和边界条件的等效积分形式。只要原问题的数学模型是正

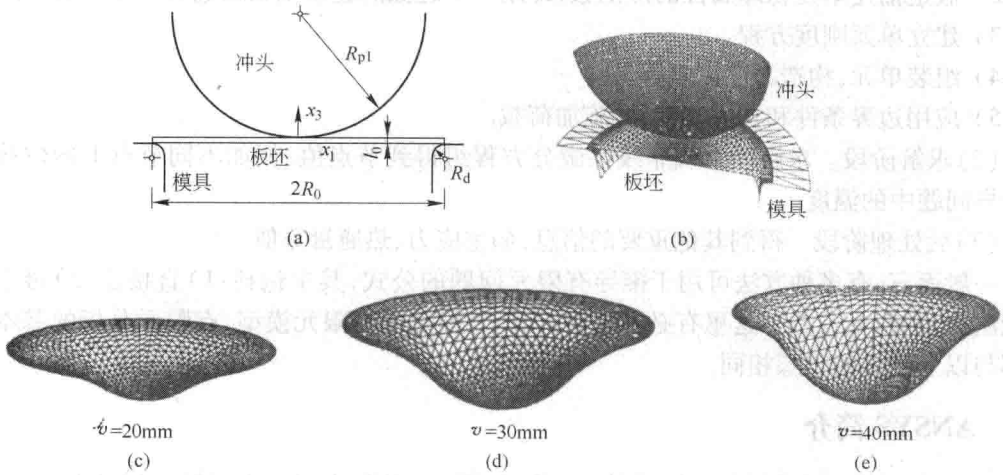


图 1-3 金属板料成形过程的有限元模拟

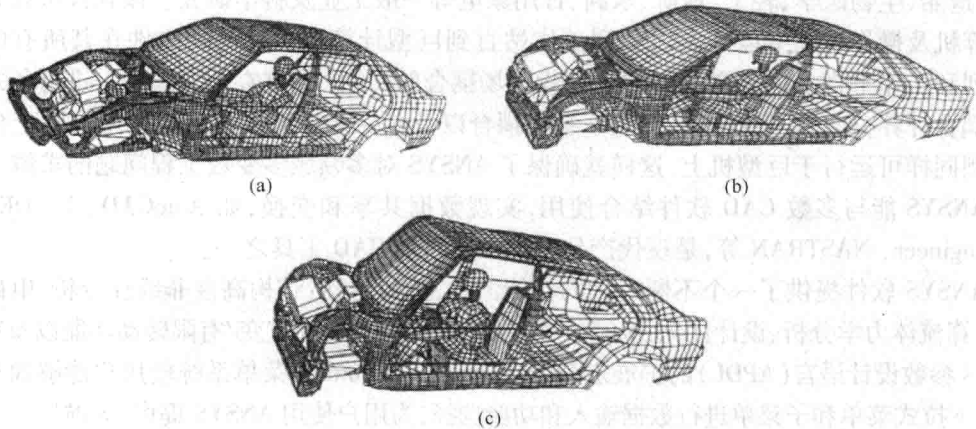


图 1-4 载有假人的汽车撞击刚性墙壁的有限元模拟

确的,同时用来求解有限元方程的算法是稳定、可靠的,则随着单元数目的增加,即单元尺寸的缩小,或者随着单元自由度数目的增加及插值函数阶次的提高,有限元解的近似程度将不断地被改进。如果单元是满足收敛准则的,则近似解最后收敛于原数学模型的精确解。

(4) 适合计算机实现的高效性。由于有限元分析的各个步骤可以表达成规范化的矩阵形式,最后导致求解方程可以统一为标准的矩阵代数问题,特别适合计算机的编程和执行。随着计算机软硬件技术的高速发展,以及新的数值计算方法的不断出现,大型复杂问题的有限元分析已成为工程技术领域的常规工作。

1.1.3 有限元方法的基本求解过程

有限元分析由以下基本步骤组成。

(1) 前处理阶段:

1) 建立求解域,并将之离散化成有限个单元,即将问题分解成节点和单元。

- 2) 假定描述单元物理属性的形函数,即用一个近似的连续函数描述每个单元的解。
- 3) 建立单元刚度方程。
- 4) 组装单元,构造总刚度矩阵。
- 5) 应用边界条件和初值条件,并施加荷载。

(2) 求解阶段。求解线性或非线性微分方程组得到节点值,例如不同节点上的位移或热传导问题中的温度。

(3) 后处理阶段。得到其他重要的信息,如主应力、热通量等值。

一般而言,有多种方法可用于推导有限元问题的公式,其中包括:1) 直接法;2) 最小总势能法;3) 加权余数法。这里有必要指出,无论怎样建立有限元模型,有限元分析的基本步骤都与以上列举的步骤相同。

1.2 ANSYS 简介

ANSYS 软件是融合结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,可广泛用于核工业、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、日用家电等一般工业及科学研究。该软件可在大多数计算机及操作系统中运行,从 PC 到工作站直到巨型计算机,ANSYS 文件在其所有的产品系列和工作平台上均兼容。ANSYS 多物理场耦合的功能,允许在同一模型上进行各式各样的耦合计算,如:热-结构耦合、磁-结构耦合以及电-磁-流体-热耦合,在 PC 上生成的模型同样可运行于巨型机上,这样就确保了 ANSYS 对多领域多变数工程问题的求解。

ANSYS 能与多数 CAD 软件结合使用,实现数据共享和交换,如 AutoCAD、I-DEAS、Pro/Engineer、NASTRAN 等,是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。

ANSYS 软件提供了一个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、大应变/有限转动功能以及利用 ANSYS 参数设计语言 (APDL) 的扩展宏命令功能。基于 Motif 的菜单系统使用户能够通过对话框、下拉式菜单和子菜单进行数据输入和功能选择,为用户使用 ANSYS 提供“导航”。

1.2.1 ANSYS 的功能

ANSYS 的功能包括:

(1) 结构分析:

- 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、超弹性及蠕变等。
- 2) 模态分析——计算线性结构的自振频率及振形,谱分析是模态分析的扩展,用于计算由随机振动引起的结构应力和应变(也叫做响应谱或 PSD)。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 特征屈曲分析——用于计算线性屈曲载荷并确定屈曲模态形状(结合瞬态动力学分析可以实现非线性屈曲分析)。
- 6) 专项分析——断裂分析、复合材料分析、疲劳分析。

专项分析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。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。

(2)热分析。热分析一般不是单独的,其后往往进行结构分析,计算由于热膨胀或收缩不均匀引起的应力。热分析包括以下类型:

1)相变(熔化及凝固)——金属合金在温度变化时的相变,如铁碳合金中马氏体与奥氏体的转变。

2)内热源(例如电阻发热等)——存在热源问题,如加热炉中对试件进行加热。

3)热传导——热传递的一种方式,当相接触的两物体存在温度差时发生。

4)热对流——热传递的一种方式,当存在流体、气体和温度差时发生。

5)热辐射——热传递的一种方式,只要存在温度差时就会发生,可以在真空中进行。

(3)电磁分析。电磁分析中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、耗能及磁通量泄漏等。磁场可由电流、永磁体、外加磁场等产生。磁场分析包括以下类型:

1)静磁场分析——计算直流电(DC)或永磁体产生的磁场。

2)交变磁场分析——计算由于交流电(AC)产生的磁场。

3)瞬态磁场分析——计算随时间随机变化的电流或外界引起的磁场。

4)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、电场及电阻热等。

5)高频电磁场分析——用于微波及RF无源组件,波导、雷达系统、同轴连接器等。

(4)流体分析。流体分析主要用于确定流体的流动及热行为。流体分析包括以下类型:

1)CFD(Coupling Fluid Dynamic 耦合流体动力)——ANSYS/FLUENT 提供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。

2)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。

3)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力压力。

4)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。耦合场分析主要考虑两个或多个物理场之间的相互作用。如果两个物理场之间相互影响,单独求解一个物理场是不可能得到正确结果的,因此需要一个能够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)。

1.2.2 ANSYS 14.0 的启动

用交互式方式启动 ANSYS:选择“开始”>“程序”>“ANSYS 14.0”>“Mechanical APDL(ANSYS)”即可启动。界面如图 1-5 所示,或者选择“开始”>“程序”>“ANSYS 14.0”>“ANSYS Product Launcher”进入运行环境设置,如图 1-6 所示,设置完成之后单击“Run”