



ANSYS工程应用系列

ANSYS 12.0

有限元分析

从入门到精通

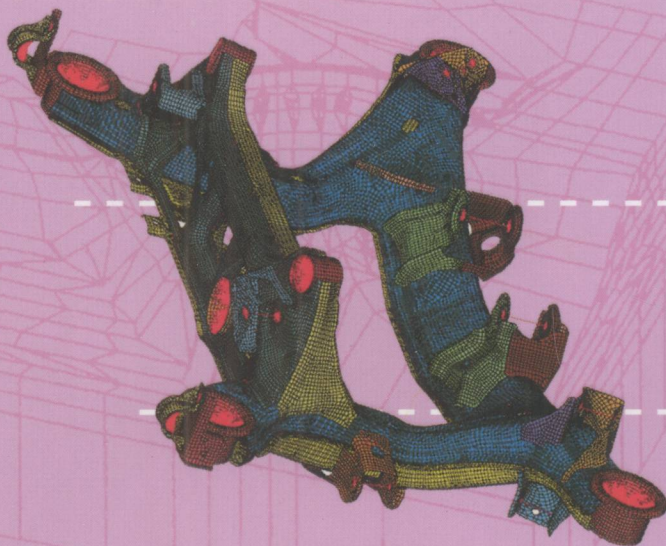
视频操作 ■ 源文件 ■ 最终效果

三维书屋工作室

张红松 胡仁喜 康士廷 等编著



全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解
实用典型的实例引导



本丛书包含各书目分别由ANSYS工程应用领域的专家和学者执笔编写，书中融入了他们多年研究的经验和体会，为了便于读者快速掌握ANSYS工程开发技巧，书中引用大量的工程案例。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

前 言

有限单元法作为数值计算方法中在工程分析领域应用较为广泛的一种计算方法,自20世纪中叶以来,以其独有的计算优势得到了广泛地发展和应用,已出现了不同的有限元算法,并由此产生了一批非常成熟的通用和专业有限元商业软件。随着计算机技术的飞速发展,各种工程软件也得以广泛应用。ANSYS 软件以它的多物理场耦合分析功能而成为CAE 软件的应用主流,在工程分析应用中得到了较为广泛的应用。

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析(FEA)软件,它是世界范围内增长最快的 CAE 软件,能够进行包括结构、热、声、流体以及电磁场等学科的研究,在核工业、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、生物医药、轻工、地矿、水利、日用家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 的功能强大,操作简单方便,现在它已成为国际最流行的有限元分析软件,在历年 FEA 评比中都名列第一。目前,中国 100 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件。

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS12.0 为依据,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 具体工程应用方法。书中尽量避开了繁琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者使用该软件的经验,实例部分采用 GUI 方式一步一步地对操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令,在每个实例的后面列出了分析过程的命令流文件。

本书分为两部分,第一部分为操作基础篇,详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法,分为 6 章:第 1 章介绍 ANSYS 概述;第 2 章介绍几何建模;第 3 章介绍划分网格;第 4 章介绍施加载荷;第 5 章介绍求解;第 6 章介绍后处理。第二部分为专题实例篇,按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧。共分为 10 章:第 7 章介绍静力学分析;第 8 章介绍模态分析;第 9 章介绍谐响应分析;第 10 章介绍瞬态动力学分析;第 11 章介绍谱分析;第 12 章介绍非线性分析;第 13 章介绍接触问题分析;第 14 章介绍结构屈曲分析;第 15 章介绍优化设计;第 16 章介绍热分析。

本书附有一张多媒体光盘,光盘中除了有每一个实例 GUI 实际操作步骤的视频以外,还以文本文件的格式给出了每个实例的命令流文件,用户可以直接调用。

本书由三维书屋工作室总策划,河南工程学院的张红松博士后、军械工程学院的胡仁喜博士和康士廷主编,张日晶、王培合、左昉、王玉秋、许洪、王义发、刘昌丽、熊慧、王敏、周冰、董伟、李瑞、王兵学、袁涛、王渊峰、李世强、周广芬、王艳池、李鹏、陈丽芹、孟清华、李广荣、郑长松、王佩楷、王文平、张俊生、路纯红、阳平华等参加了资料整理和编排工作。

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 软件的培训教材,也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。另外,由于时间仓促,加之作者的水平有限,缺点和错误在所难免,恳请专家和广大读者不吝赐教,联系 win760520@126.com 批评指正。

作者

ANSYS 12.0 有限元分析从入门到精通

三维书屋工作室

张红松 胡仁喜 康士廷 等编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS12.0 为依据,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 的具体工程应用方法。

书中尽量避开了繁琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者使用该软件的经验,实例部分采用 GUI 方式一步一步地对操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令,在每个实例的后面列出了分析过程的命令流文件。

本书前 7 章为操作基础,详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法:第 1 章 ANSYS 概述;第 2 章几何建模;第 3 章建模实例;第 4 章划分网格;第 5 章施加载荷;第 6 章求解;第 7 章后处理。后 9 章为专题实例,按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧:第 8 章静力学分析;第 9 章接触问题分析;第 10 章模态分析;第 11 章非线性分析;第 12 章谐响应分析;第 13 章瞬态动力学分析;第 14 章谱分析;第 15 章结构屈曲分析;第 16 章优化设计。

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 软件的培训教材,也可作为从事结构分析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

ANSYS12.0 有限元分析从入门到精通/张红松等编著. —北京:机械工业出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 111 - 29580 - 8

I. A… II. 张… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS12.0 IV. 0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 009609 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 33 印张 · 819 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29580 - 8

ISBN 978 - 7 - 89451 - 413 - 4(光盘)

定价: 69.00 元(含 1CD)

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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部:(010)68993821

前 言

有限单元法作为数值计算方法中在工程分析领域应用较为广泛的一种计算方法,自20世纪中叶以来,以其独有的计算优势得到了广泛地发展和应用,已出现了不同的有限元算法,并由此产生了一批非常成熟的通用和专业有限元商业软件。随着计算机技术的飞速发展,各种工程软件也得以广泛应用。ANSYS 软件以它的多物理场耦合分析功能而成为 CAE 软件的应用主流,在工程分析应用中得到了较为广泛的应用。

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析(FEA)软件,它是世界范围内增长最快的 CAE 软件,能够进行包括结构、热、声、流体以及电磁场等学科的研究,在核工业、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、生物医药、轻工、地矿、水利、日用家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 的功能强大,操作简单方便,现在它已成为国际最流行的有限元分析软件,在历年 FEA 评比中都名列第一。目前,中国 100 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件。

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS12.0 为依据,对 ANSYS 分析的基本思路、操作步骤、应用技巧进行了详细介绍,并结合典型工程应用实例详细讲述了 ANSYS 具体工程应用方法。书中尽量避开了繁琐的理论描述,从实际应用出发,结合作者使用该软件的经验,实例部分采用 GUI 方式一步一步地对操作过程和步骤进行了讲解。为了帮助用户熟悉 ANSYS 的相关操作命令,在每个实例的后面列出了分析过程的命令流文件。

本书分为两部分,第一部分为操作基础篇,详细介绍了 ANSYS 分析全流程的基本步骤和方法,分为 6 章:第 1 章介绍 ANSYS 概述;第 2 章介绍几何建模;第 3 章介绍划分网格;第 4 章介绍施加载荷;第 5 章介绍求解;第 6 章介绍后处理。第二部分为专题实例篇,按不同的分析专题讲解了各种分析专题的参数设置方法与技巧。共分为 10 章:第 7 章介绍静力学分析;第 8 章介绍模态分析;第 9 章介绍谐响应分析;第 10 章介绍瞬态动力学分析;第 11 章介绍谱分析;第 12 章介绍非线性分析;第 13 章介绍接触问题分析;第 14 章介绍结构屈曲分析;第 15 章介绍优化设计;第 16 章介绍热分析。

本书附有一张多媒体光盘,光盘中除了有每一个实例 GUI 实际操作步骤的视频以外,还以文本文件的格式给出了每个实例的命令流文件,用户可以直接调用。

本书由三维书屋工作室总策划,河南工程学院的张红松博士后、军械工程学院的胡仁喜博士和康士廷主编,张日晶、王培合、左昉、王玉秋、许洪、王义发、刘昌丽、熊慧、王敏、周冰、董伟、李瑞、王兵学、袁涛、王渊峰、李世强、周广芬、王艳池、李鹏、陈丽芹、孟清华、李广荣、郑长松、王佩楷、王文平、张俊生、路纯红、阳平华等参加了资料整理和编排工作。

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 软件的培训教材,也可作为从事结构分析相关行业的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。另外,由于时间仓促,加之作者的水平有限,缺点和错误在所难免,恳请专家和广大读者不吝赐教,联系 win760520@126.com 批评指正。

作者

目 录

前言

第 1 章 ANSYS 基础	1
1.1 CAE 软件简介	2
1.2 有限元法简介	3
1.2.1 有限元法的基本思想	3
1.2.2 有限元法的特点	4
1.3 ANSYS 简介	5
1.3.1 ANSYS 的发展	5
1.3.2 ANSYS 的功能	6
1.3.3 ANSYS12.0 的新特点	7
1.3.4 ANSYS12.0 的启动	8
1.3.5 ANSYS12.0 运行环境配置	9
1.4 程序结构	10
1.4.1 处理器	10
1.4.2 文件格式	10
1.4.3 输入方式	11
1.4.4 输出文件类型	11
1.5 ANSYS 分析的基本过程	11
1.5.1 前处理	12
1.5.2 加载并求解	12
1.5.3 后处理	12
1.5.4 实例导航	13
第 2 章 几何建模	15
2.1 几何建模概论	16
2.1.1 自底向上创建几何模型	16
2.1.2 自顶向下创建几何模型	17
2.1.3 布尔运算操作	17
2.1.4 拖拉和旋转	18
2.1.5 移动和复制	18
2.1.6 修改模型 (清除和删除)	18
2.1.7 从 IGES 文件几何模型导入到 ANSYS	19
2.2 坐标系简介	20
2.2.1 总体和局部坐标系	20
2.2.2 显示坐标系	22
2.2.3 节点坐标系	23

82	2.2.4 单元坐标系	24
00	2.2.5 结果坐标系	24
10	2.3 工作平面的使用	25
10	2.3.1 定义一个新的工作平面	26
E0	2.3.2 控制工作平面的显示和样式	26
20	2.3.3 移动工作平面	26
07	2.3.4 旋转工作平面	27
57	2.3.5 还原一个已定义的工作平面	27
27	2.3.6 工作平面的高级用途	27
87	2.4 自底向上创建几何模型	29
87	2.4.1 关键点	30
88	2.4.2 硬点	30
99	2.4.3 线	32
001	2.4.4 面	35
001	2.4.5 体	36
001	2.5 自顶向下创建几何模型 (体素)	37
101	2.5.1 创建面体素	37
E01	2.5.2 创建实体体素	37
401	2.6 使用布尔操作来修正几何模型	39
401	2.6.1 布尔运算的设置	40
201	2.6.2 布尔运算之后的图元编号	40
201	2.6.3 交运算	40
801	2.6.4 两两相交	42
801	2.6.5 相加	43
701	2.6.6 相减	43
801	2.6.7 利用工作平面作减运算	44
011	2.6.8 搭接	45
111	2.6.9 分割	45
111	2.6.10 粘接 (或合并)	46
511	2.7 移动、复制和缩放几何模型	46
511	2.7.1 按照样本生成图元	47
E11	2.7.2 由对称映像生成图元	47
811	2.7.3 将样本图元转换坐标系	48
811	2.7.4 实体模型图元的缩放	48
911	2.8 实例导航	49
151	2.8.1 自底向上建立药柱模型	49
551	2.8.2 布尔操作建立药柱模型	55

45	2.8.3 导入 SolidWorks 中创建的药柱模型	58
44	第 3 章 建模实例	60
25	3.1 几何模型的输入实例	61
26	3.1.1 输入 IGES 单一实体	61
26	3.1.2 输入 SAT 单一实体	63
26	3.1.3 输入 SAT 实体集合	65
27	3.1.4 输入 Parasolid 单一实体	70
27	3.1.5 输入 Parasolid 实体集合	72
27	3.2 对输入模型修改实例	75
29	3.3 自主建模实例	78
30	3.3.1 自顶向下建模实例	78
30	3.3.2 自底向上建模实例	88
29	第 4 章 划分网格	99
22	4.1 有限元网格概论	100
26	4.2 设定单元属性	100
27	4.2.1 生成单元属性表	100
27	4.2.2 在划分网格之前分配单元属性	101
27	4.3 网格划分的控制	103
29	4.3.1 ANSYS 网格划分工具 (MeshTool)	104
24	4.3.2 单元形状	104
24	4.3.3 选择自由或映射网格划分	105
24	4.3.4 控制单元边中节点的位置	105
24	4.3.5 划分自由网格时的单元尺寸控制 (SmartSizing)	106
24	4.3.6 映射网格划分中单元的默认尺寸	106
24	4.3.7 局部网格划分控制	107
24	4.3.8 内部网格划分控制	108
24	4.3.9 生成过渡棱锥单元	110
24	4.3.10 将退化的四面体单元转化为非退化的形式	111
24	4.3.11 执行层网格划分	111
24	4.4 自由网格划分和映射网格划分控制	112
24	4.4.1 自由网格划分	112
24	4.4.2 映射网格划分	113
24	4.5 给实体模型划分有限元网格	118
24	4.5.1 用 xMESH 命令生成网格	118
24	4.5.2 生成带方向节点的梁单元网格	119
24	4.5.3 在分界线或者分界面处生成单位厚度的界面单元	121
22	4.6 延伸和扫略生成有限元模型	122

251	4.6.1 延伸 (Extrude) 生成网格	122
251	4.6.2 扫略 (VSWEEP) 生成网格	123
251	4.7 修正有限元模型	127
271	4.7.1 局部细化网格	127
271	4.7.2 移动和复制节点和单元	130
281	4.7.3 控制面、线和单元的法向	131
281	4.7.4 修改单元属性	132
281	4.8 直接通过节点和单元生成有限元模型	133
281	4.8.1 节点	133
281	4.8.2 单元	135
281	4.9 编号控制	137
281	4.9.1 合并重复项	137
281	4.9.2 编号压缩	138
281	4.9.3 设定起始编号	139
281	4.9.4 编号偏差	139
291	4.10 实例导航	140
291	4.10.1 采用智能分网	141
291	4.10.2 采用扫略分网	142
291	4.10.3 采用延伸分网	147
291	第 5 章 施加载荷	152
291	5.1 载荷概论	153
291	5.1.1 什么是载荷	153
291	5.1.2 载荷步、子步和平衡迭代	154
291	5.1.3 时间参数	155
291	5.1.4 阶跃载荷与坡道载荷	156
291	5.2 施加载荷	156
291	5.2.1 实体模型载荷与有限单元载荷	157
291	5.2.2 施加载荷	157
291	5.2.3 利用表格来施加载荷	163
291	5.2.4 轴对称载荷与反作用力	165
291	5.2.5 利用函数来施加载荷和边界条件	167
291	5.3 设定载荷步选项	168
291	5.3.1 通用选项	168
291	5.3.2 非线性选项	172
291	5.3.3 动力学分析选项	172
291	5.3.4 输出控制	173
291	5.3.5 Biot-Savart 选项	174

151	5.3.6 谱分析选项	175
151	5.3.7 创建多载荷步文件	175
151	5.4 实例导航	176
151	5.4.1 单载荷步的施加	177
161	5.4.2 多载荷步的施加	179
181	5.4.3 表格及函数载荷的施加	183
185	第 6 章 求解	185
186	6.1 求解概论	186
187	6.1.1 使用直接求解法	187
187	6.1.2 使用稀疏矩阵直接解法求解器	187
187	6.1.3 使用雅克比共轭梯度法求解器	187
188	6.1.4 使用不完全分解共轭梯度法求解器	188
188	6.1.5 使用预条件共轭梯度法求解器	188
189	6.1.6 使用自动迭代解法选项	189
189	6.1.7 获得解答	189
190	6.2 利用特定的求解控制器来指定求解类型	190
190	6.2.1 使用 Abridged Solution 菜单选项	190
191	6.2.2 使用求解控制对话框	191
192	6.3 多载荷步求解	192
192	6.3.1 多重求解法	192
193	6.3.2 使用载荷步文件法	193
194	6.3.3 使用数组参数法(矩阵参数法)	194
195	6.4 重新启动分析	195
196	6.4.1 重新启动一个分析	196
199	6.4.2 多载荷步文件的重启动分析	199
201	6.5 预测求解时间和估计文件大小	201
202	6.5.1 估计运算时间	202
202	6.5.2 估计文件的大小	202
202	6.5.3 估计内存需求	202
203	6.6 实例导航	203
203	6.6.1 单载荷步求解	203
203	6.6.2 多载荷步求解	203
204	第 7 章 后处理	204
205	7.1 后处理概述	205
205	7.1.1 什么是后处理	205
205	7.1.2 结果文件	205
206	7.1.3 后处理可用的数据类型	206

085	7.2 通用后处理器 (POST1)	206
885	7.2.1 将数据结果读入数据库	206
885	7.2.2 列表显示结果	213
885	7.2.3 图像显示结果	220
808	7.2.4 映射结果到某一路径上	227
118	7.2.5 表面操作	233
518	7.2.6 将结果旋转到不同坐标系中显示	236
518	7.3 时间历程后处理 (POST26)	237
518	7.3.1 定义和储存 POST26 变量	239
818	7.3.2 检查变量	240
818	7.3.3 POST26 后处理器的其他功能	242
818	7.4 实例导航	244
818	7.4.1 通用后处理器	244
818	7.4.2 时间历程处理器	256
918	第 8 章 静力分析	259
838	8.1 静力分析介绍	260
838	8.1.1 结构静力分析简介	260
838	8.1.2 静力分析的类型	261
838	8.1.3 静力分析基本步骤	261
838	8.2 实例——悬臂梁的横向切应力分析	262
840	8.2.1 问题的描述	262
148	8.2.2 GUI 路径模式	262
848	8.2.3 命令流模式	274
848	第 9 章 接触问题分析	276
848	9.1 接触问题概论	277
848	9.1.1 一般分类	277
848	9.1.2 接触单元	277
828	9.2 接触分析的步骤	278
128	9.2.1 建立模型, 并划分网格	279
128	9.2.2 识别接触对	279
828	9.2.3 定义刚性目标面	279
828	9.2.4 定义柔性体的接触面	281
828	9.2.5 设置实常数和单元关键点	283
808	9.2.6 控制刚性目标的运动	284
808	9.2.7 给变形体单元施加必要的边界条件	284
808	9.2.8 定义求解和载荷步选项	285
808	9.2.9 求解	286

200	9.2.10 检查结果	286
200	9.3 实例——陶瓷套管的接触分析	288
210	9.3.1 问题描述	288
220	9.3.2 GUI 方式	288
225	9.3.3 命令流方式	303
230	第 10 章 模态分析	311
230	10.1 模态分析概论	312
235	10.2 模态分析的基本步骤	312
239	10.2.1 建模	312
240	10.2.2 加载及求解	313
245	10.2.3 扩展模态	316
244	10.2.4 观察结果和后处理	318
244	10.3 实例——压电变换器的自振频率分析	318
250	10.3.1 问题描述	318
250	10.3.2 GUI 模式	319
260	10.3.3 命令流模式	333
260	第 11 章 非线性分析	336
265	11.1 非线性分析概论	337
265	11.1.1 非线性行为的原因	337
265	11.1.2 非线性分析的基本信息	338
265	11.1.3 几何非线性	340
265	11.1.4 材料非线性	341
274	11.1.5 其他非线性问题	346
275	11.2 非线性分析的基本步骤	346
275	11.2.1 前处理 (建模和分网)	346
275	11.2.2 设置求解控制器	347
275	11.2.3 设定其他求解选项	349
278	11.2.4 加载	350
275	11.2.5 求解	351
279	11.2.6 后处理	351
275	11.3 实例——螺栓的蠕变分析	353
285	11.3.1 问题描述	353
285	11.3.2 GUI 路径模式	353
285	11.3.3 命令流	362
285	第 12 章 谐响应分析	364
285	12.1 谐响应分析概论	365
285	12.1.1 完全法 (Full Method)	366

450	12.1.2 减缩方法 (Reduced Method)	366
452	12.1.3 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	366
454	12.1.4 3种方法的共同局限性	367
452	12.2 谐响应分析的基本步骤	367
452	12.2.1 建立模型 (前处理)	367
454	12.2.2 加载和求解	368
454	12.2.3 观察模型 (后处理)	374
454	12.3 实例——弹簧质子系统的谐响应分析	375
454	12.3.1 问题描述	376
458	12.3.2 GUI 模式	376
454	12.3.3 命令流方式	389
458	第13章 瞬态动力学分析	391
458	13.1 瞬态动力学概论	392
454	13.1.1 完全法 (Full Method)	392
454	13.1.2 模态叠加法 (Mode Superposition Method)	392
454	13.1.3 减缩法 (Reduced Method)	393
454	13.2 瞬态动力学的基本步骤	393
454	13.2.1 前处理 (建模和分网)	393
454	13.2.2 建立初始条件	394
454	13.2.3 设定求解控制器	395
454	13.2.4 设定其他求解选项	396
454	13.2.5 施加载荷	397
454	13.2.6 设定多载荷步	397
454	13.2.7 瞬态求解	399
454	13.2.8 后处理	399
454	13.3 实例——哥伦布阻尼的自由振动分析	401
454	13.3.1 问题描述	401
454	13.3.2 GUI 模式	402
454	13.3.3 命令流模式	415
454	第14章 谱分析	417
454	14.1 谱分析概论	418
454	14.1.1 响应谱	418
454	14.1.2 动力设计分析方法 (DDAM)	418
454	14.1.3 功率谱密度 (PSD)	419
454	14.2 谱分析的基本步骤	419
454	14.2.1 前处理	419
454	14.2.2 模态分析	419

14.2.3	谱分析	420
14.2.4	扩展模态	422
14.2.5	合并模态	424
14.2.6	后处理	425
14.3	实例——支撑平板的动力效果分析	427
14.3.1	问题描述	427
14.3.2	GUI 路径模式	427
14.3.3	命令流	454
第 15 章	结构屈曲分析	457
15.1	结构屈曲概论	458
15.2	结构屈曲分析的基本步骤	458
15.2.1	前处理	458
15.2.2	获得静力解	458
15.2.3	获得特征值屈曲解	459
15.2.4	扩展解	461
15.2.5	后处理(观察结果)	462
15.3	实例——桁架结构屈曲分析	463
15.3.1	问题描述	463
15.3.2	GUI 路径模式	463
15.3.3	命令流	478
第 16 章	ANSYS 基础	483
16.1	优化设计概论	484
16.2	优化设计的基本步骤	486
16.2.1	生成分析文件	486
16.2.2	建立优化过程中的参数	489
16.2.3	进入 OPT 处理器, 指定分析文件	490
16.2.4	指定优化变量	490
16.2.5	选择优化工具或优化方法	491
16.2.6	指定优化循环控制方式	492
16.2.7	进行优化分析	493
16.2.8	查看设计序列结果	494
16.3	实例——框架结构的优化设计	495
16.3.1	问题描述	495
16.3.2	GUI 方式	495
16.3.3	命令流方式	510

第 1 章

ANSYS 概述

本章首先介绍 CAE 技术及其有关基本知识，并由此引出了 ANSYS 的最新版本 12.0。讲述了新版本功能特点以及 ANSYS 程序结构和分析基本流程。

本章提纲挈领地介绍了 ANSYS 的基本知识，主要目的是给读者提供一个 ANSYS 感性认识。

学 习 要 点

- CAE 软件简介
- ANSYS 简介
- ANSYS12.0 产品及其功能
- ANSYS 分析的基本过程

1.1 CAE 软件简介

由图 1-1 可以发现，各项产品测试皆在设计流程后期方能进行。因此，一旦发生问题，除了必须付出设计成本，而且相关前置作业也需改动，而且发现问题越晚，重新设计所付出的成本将会越高，若影响交货期或产品形象，损失更是难以估计，为了避免此情形的发生，预期评估产品的特质便成为设计人员的重要课题。

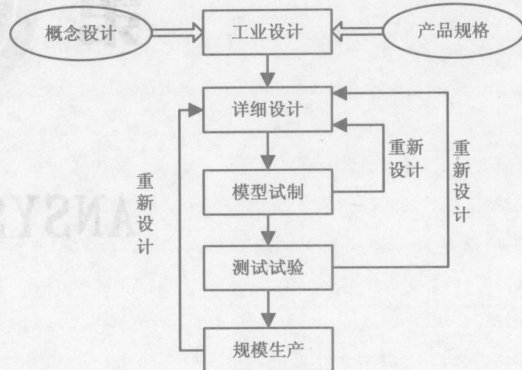


图 1-1 传统产品设计流程图

计算力学、计算数学、工程管理学特别是信息技术的飞速发展极大地推动了相关产业和学科研究地进步。有限元、有限体积及差分等方法与计算机技术相结合，诞生了新兴的跨专业和跨行业的学科。CAE 作为一种新兴的数值模拟分析技术，越来越受到工程技术人员的重视。在产品开发过程中引入 CAE 技术后，在产品尚未批量生产之前，不仅能协助工程人员做产品设计，更可以在争取订单时，作为一种强有力的工具协助营销人员及管理人员与客户沟通；在批量生产阶段，可以协助工程技术人员在重新更改时，找出问题发生的起点。在批量生产以后，相关分析结果还可以成为下次设计的重要依据。图 1-2 所示为引入 CAE 后产品设计流程图。

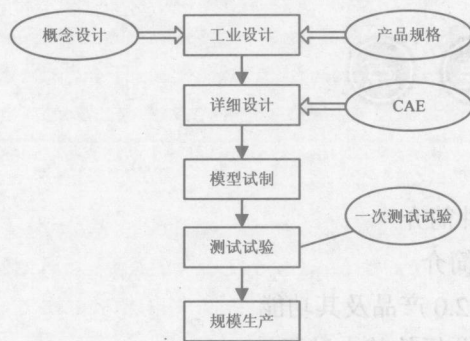


图 1-2 引入 CAE 后产品设计流程图

以电子产品为例, 80%的电子产品都来自于高速撞击, 研究人员往往耗费大量的时间和成本, 针对产品做相关的质量试验, 最常见的如落下与冲击试验, 这些不仅耗费了大量的研发时间和成本, 而且试验本身也存在很多缺陷, 表现在:

- ◇ 试验发生的历程很短, 很难观察试验过程的现象。
- ◇ 测试条件难以控制, 试验的重复性很差。
- ◇ 试验时很难测量产品内部特性和观察内部现象。
- ◇ 一般只能得到试验结果, 而无法观察试验原因。

引入 CAE 后可以在产品开模之前, 透过相应软件对电子产品模拟自由落下试验(Free Drop Test)、模拟冲击试验(Shock Test)以及应力应变分析、振动仿真、温度分布分析等求得设计的最佳解, 进而为一次试验甚至无试验可使产品通过测试规范提供了可能。

CAE 重要性:

(1) CAE 本身就可以看作一种基本试验。计算机计算弹体的侵彻与炸药爆炸过程以及各种非线性波的相互作用等问题, 实际上是求解含有很多线性与非线性的偏微分方程、积分方程以及代数方程等的耦合方程组。利用解析方法求解爆炸力学问题是非常困难的, 一般只能考虑一些很简单的问题。利用试验方法费用昂贵, 还只能表征初始状态和最终状态, 中间过程无法得知, 因而也无法帮助研究人员了解问题的实质。而数值模拟在某种意义上比理论与试验对问题的认识更为深刻、更为细致, 不仅可以了解问题的结果, 而且可随时连续动态地、重复地显示事物的发展, 了解其整体与局部的细致过程。

(2) CAE 可以直观地显示目前还不易观测到的、说不清楚的一些现象, 容易为人理解和分析; 还可以显示任何试验都无法看到的发生在结构内部的一些物理现象。如弹体在不均匀介质侵彻过程中的受力和偏转; 爆炸波在介质中的传播过程和地下结构的破坏过程。同时, 数值模拟可以替代一些危险、昂贵的甚至是难于实施的试验, 如反应堆的爆炸事故, 核爆炸的过程与效应等。

(3) CAE 促进了试验的发展, 对试验方案的科学制定、试验过程中测点的最佳位置、仪表量程等的确定提供更可靠的理论指导。侵彻、爆炸试验费用是昂贵的, 并存在一定危险, 因此数值模拟不但有很大的经济效益; 而且可以加速理论、试验研究的进程。

(4) 一次投资, 长期受益。虽然数值模拟大型软件系统的研制需要花费相当多的经费和人力资源, 但和试验相比, 数值模拟软件是可以进行复制移植、重复利用, 并可进行适当修改而满足不同情况的需求。据相关统计数据, 应用 CAE 技术后, 开发期的费用占开发成本的比例, 从 80%~90% 下降到 8%~12%。

1.2 有限元法简介

1.2.1 有限元法的基本思想

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