



ANSYS工程应用系列丛书



ANSYS Workbench 13.0 有限元分析从入门到精通

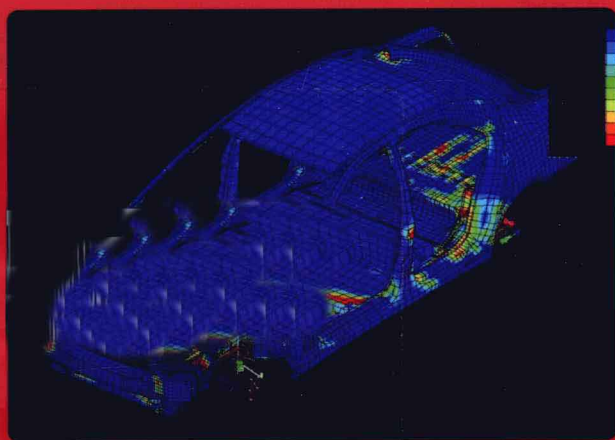


视频操作 ■ 源文件 ■ 最终效果

三维书屋工作室

陆爽 孙明礼 丁金福 胡仁喜 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

ANSYS Workbench 13.0 有限元分析 从入门到精通

三维书屋工作室

陆爽 孙明礼 丁金福 胡仁喜 等编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS 13.0 为依据,对 ANSYS Workbench 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 Workbench 的具体工程应用方法。

本书前 9 章为操作基础,详细介绍了 ANSYS Workbench 分析全流程的基本步骤和方法:第 1 章为 ANSYS Workbench 13 的基础;第 2 章为 ANSYS Workbench 项目管理;第 3 章为 DesignModeler 图形用户界面;第 4 章为草图模式;第 5 章为三维特征;第 6 章为高级三维建模;第 7 章为概念建模;第 8 章为一般网格控制;第 9 章为 Mechanical 简介。后 6 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 10 章为静力学分析;第 11 章为模态分析;第 12 章为热分析;第 13 章为线性屈曲分析;第 14 章为结构非线性分析;第 15 章为优化设计。

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

ANSYS Workbench 13.0 有限元分析从入门到精通/陆爽等编著. —北京:机械工业出版社,2012.3

ISBN 978-7-111-38356-7

I. ①A… II. ①陆… III. ①有限元分析—应用程序
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 096625 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:曲彩云 责任编辑:曲彩云

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21 印张·516 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38356-7

ISBN 978-7-89433-464-0(光盘)

定价:59.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379782

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

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，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。

Workbench 是 ANSYS 公司开发的新一代协同仿真环境，与传统 ANSYS 相比较，Workbench 有利于协同仿真、项目管理，可以进行双向的参数传输，具有复杂装配件接触关系的自动识别、接触建模功能，可对复杂的几何模型进行高质量的网格处理，自带可定制的工程材料数据库，方便操作者进行编辑、应用，支持所有 ANSYS 的有限元分析功能。

本书以 ANSYS 的最新版本 ANSYS 13.0 为依据，对 ANSYS Workbench 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 Workbench 的具体工程应用方法。

本书前 9 章为操作基础，详细介绍了 ANSYS Workbench 分析全流程的基本步骤和方法：第 1 章为 ANSYS Workbench 13.0 基础；第 2 章为 ANSYS Workbench 项目管理；第 3 章为 DesignModeler 图形用户界面；第 4 章为草图模式；第 5 章为三维特征；第 6 章为高级三维建模；第 7 章为概念建模；第 8 章为一般网格控制；第 9 章为 Mechanical 简介。后 6 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 10 章为静力结构分析；第 11 章为模态分析；第 12 章为热分析；第 13 章为线性屈曲分析；第 14 章为结构非线性分析；第 15 章为优化设计。

本书附有一张多媒体光盘，光盘中除了有每一个实例操作步骤的视频以外，还给出了每个实例的源文件，用户可以直接调用。

本书由三维书屋工作室总策划，胡仁喜、浙江师范大学的陆爽、孙明礼和丁金福老师主要编写，其中陆爽执笔编写了第 1~6 章，孙明礼执笔编写了 7~11 章，丁金福执笔编写了 12~15 章。张日晶、王培合、王玉秋、王义发、刘昌丽、王敏、周冰、董伟、李瑞、王兵学、袁涛、王渊峰、康士廷、王艳池、孟清华、李广荣、郑长松、王佩楷、王文平、张俊生、路纯红、阳平华等也参加了编写工作。

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，不足之处在所难免，恳请专家和广大读者不吝赐教，登录 www.sjzsanweishuwu.com 或联系 win760520@126.com 批评指正。

作者

目 录

前言

第 1 章 ANSYS Workbench 13.0 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	4
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
1.4 ANSYS Workbench 概述	7
1.4.1 ANSYS Workbench 的特点	7
1.4.2 ANSYS Workbench 应用分类	8
1.5 ANSYS Workbench 分析的基本过程	9
1.5.1 前处理	9
1.5.2 加载并求解	10
1.5.3 后处理	10
1.6 ANSYS Workbench 13.0 的设计流程	11
1.7 ANSYS Workbench 系统要求和启动	11
1.7.1 系统要求	11
1.7.2 启动	12
1.8 ANSYS 13.0 的界面	12
第 2 章 ANSYS Workbench 项目管理	14
2.1 工具箱	15
2.2 项目概图	16
2.2.1 系统和模块	17
2.2.2 模块的类型	17
2.2.3 了解模块状态	18
2.2.4 项目概图中的链接	19
2.3 Workbench 选项窗口	19
2.4 Workbench 文档管理	20
2.4.1 目录结构	20
2.4.2 显示文件明细	21
2.4.3 打包文件	22
2.5 创建项目概图实例	22
第 3 章 DesignModeler 图形用户界面	25
3.1 启动 DesignModeler	26
3.2 图形界面	28

3.2.1	操作界面介绍.....	28
3.2.2	Workbench 窗口定制.....	29
3.2.3	DesignModeler 主菜单.....	30
3.2.4	DesignModeler 工具栏.....	32
3.2.5	属性栏窗格.....	32
3.2.6	DesignModeler 和 CAD 类文件交互.....	32
3.3	选择操作.....	34
3.3.1	基本鼠标功能.....	34
3.3.2	选择过滤器.....	35
3.4	视图操作.....	37
3.4.1	图形控制.....	37
3.4.2	光标模式.....	38
3.5	右键弹出菜单.....	38
3.5.1	插入特征.....	39
3.5.2	显示/隐藏目标.....	40
3.5.3	特征/部件抑制.....	40
3.5.4	Go To 特征.....	40
3.6	帮助文档.....	42
第 4 章	草图模式.....	43
4.1	DesignModeler 中几何体的分类.....	44
4.2	绘制草图.....	44
4.2.1	长度单位制.....	44
4.2.2	创建新平面.....	45
4.2.3	创建新草图.....	46
4.2.4	草图的隐藏与显示.....	47
4.3	工具箱.....	47
4.3.1	草绘工具箱.....	47
4.3.2	修改工具箱.....	48
4.3.3	标注工具箱.....	50
4.3.4	约束工具箱.....	51
4.3.5	设置工具箱.....	52
4.4	草绘附件.....	53
4.4.1	标尺工具.....	53
4.4.2	正视于工具.....	53
4.4.3	撤消工具.....	54
4.5	草图绘制实例——垫片草图.....	54
第 5 章	三维特征.....	59
5.1	建模特性.....	60
5.1.1	拉伸.....	60

5.1.2	旋转	63
5.1.3	扫掠	64
5.1.4	放样	65
5.1.5	抽壳	66
5.2	修改特征	67
5.2.1	等半径倒圆	67
5.2.2	变半径倒圆	68
5.2.3	顶点倒圆	68
5.2.4	倒角	68
5.3	体操作	69
5.3.1	镜像	69
5.3.2	移动	70
5.3.3	缝合	70
5.3.4	简化	71
5.3.5	旋转	71
5.3.6	切除材料	71
5.3.7	印记面	72
5.3.8	切片	72
5.4	高级体操作	72
5.4.1	阵列特征	72
5.4.2	布尔操作	73
5.4.3	直接创建几何体	74
5.5	三维特征实例 1——联轴器	75
5.5.1	新建模型	75
5.5.2	拉伸模型	75
5.5.3	拉伸底面	76
5.5.4	拉伸大圆孔	78
5.5.5	拉伸生成键槽	79
5.5.6	拉伸小圆孔	79
5.6	三维特征实例 2——机盖	81
5.6.1	新建模型	81
5.6.2	旋转模型	81
5.6.3	阵列筋	83
5.6.4	创建底面	85
第 6 章	高级三维建模	88
6.1	建模工具	89
6.1.1	激活和冻结体	89
6.1.2	体抑制	89
6.1.3	多体零件	90

6.2	高级工具.....	90
6.2.1	命名选择.....	90
6.2.2	中面.....	91
6.2.3	包围.....	93
6.2.4	对称特征.....	94
6.2.5	填充.....	94
6.2.6	切片.....	94
6.2.7	面删除.....	96
6.3	高级三维建模实例——铸管.....	96
6.3.1	导入模型.....	96
6.3.2	填充特征.....	97
6.3.3	简化模型.....	98
第7章	概念建模.....	99
7.1	概念建模工具.....	100
7.1.1	从点生成线.....	100
7.1.2	从草图生成线.....	100
7.1.3	从边生成线.....	101
7.1.4	修改线体：分割边.....	101
7.2	横截面.....	102
7.2.1	横截面树形目录.....	102
7.2.2	横截面编辑.....	102
7.3	面操作.....	105
7.3.1	从线建立面.....	105
7.3.2	从草图创建面.....	106
7.3.3	面修补.....	106
7.3.4	边接合.....	107
7.4	概念建模实例——框架结构.....	107
7.4.1	新建模型.....	107
7.4.2	创建草图.....	108
7.4.3	创建线体.....	109
7.4.4	创建横截面.....	110
7.4.5	创建梁之间的面.....	111
7.4.6	生成多体零件.....	111
第8章	一般网格控制.....	113
8.1	网格划分概述.....	114
8.1.1	ANSYS 网格划分应用程序概述.....	114
8.1.2	网格划分步骤.....	114
8.1.3	分析类型.....	114
8.2	全局网格控制.....	116

8.2.1	相关性 and 关联中心	116
8.2.2	全局单元尺寸	117
8.2.3	初始尺寸种子	117
8.2.4	平滑和过渡	118
8.2.5	跨度中心角	119
8.2.6	高级尺寸功能	120
8.3	局部网格控制	121
8.3.1	局部尺寸	122
8.3.2	接触尺寸	125
8.3.3	细化	125
8.3.4	映射面划分	126
8.3.5	匹配控制	127
8.3.6	收缩控制	128
8.3.7	膨胀	129
8.4	网格工具	129
8.4.1	生成网格	129
8.4.2	截面位面	130
8.4.3	命名选项	131
8.5	网格划分方法	132
8.5.1	自动划分方法	132
8.5.2	四面体	132
8.5.3	扫掠	135
8.5.4	多区域	135
8.6	网格划分实例 1——两管容器网格划分	136
8.6.1	定义几何	137
8.6.2	初始网格	138
8.6.3	命名选项	139
8.6.4	膨胀	139
8.6.5	截面位面	140
8.7	网格划分实例 2——四通管网格划分	140
8.7.1	定义几何	141
8.7.2	Mechanical 默认与 CFD 网格	142
8.7.3	截面位面	143
8.7.4	使用面尺寸	145
8.7.5	局部网格划分	147
第 9 章	Mechanical 简介	149
9.1	启动 Mechanical	150
9.2	Mechanical 界面	150
9.2.1	Mechanical 菜单栏	151

9.2.2	工具栏.....	151
9.2.3	树形目录.....	153
9.2.4	属性窗格.....	153
9.2.5	绘图区域.....	154
9.2.6	应用向导.....	154
9.3	基本分析步骤.....	155
9.4	一个简单的分析实例——铝合金弯管头.....	156
9.4.1	问题描述.....	156
9.4.2	项目概图.....	157
9.4.3	前处理.....	158
9.4.4	求解.....	161
9.4.5	结果.....	161
9.4.6	报告.....	162
第 10 章	静力结构分析.....	164
10.1	几何模型.....	165
10.1.1	质量点.....	165
10.1.2	材料特性.....	166
10.2	分析设置.....	166
10.3	载荷和约束.....	167
10.3.1	加速度和重力加速度.....	168
10.3.2	集中力和压力.....	168
10.3.3	约束.....	169
10.4	求解模型.....	170
10.5	后处理.....	170
10.6	静力结构分析实例 1——连杆基体强度校核.....	173
10.6.1	问题描述.....	173
10.6.2	前处理.....	175
10.6.3	求解.....	178
10.6.4	结果.....	178
10.7	静力结构分析实例 2——联轴器变形和应力校核.....	180
10.7.1	问题描述.....	180
10.7.2	项目概图.....	180
10.7.3	前处理.....	180
10.7.4	求解.....	183
10.7.5	结果.....	184
10.7.6	报告.....	185
第 11 章	模态分析.....	186
11.1	模态分析方法.....	187
11.2	模态系统分析步骤.....	187

11.2.1	几何体和质点	187
11.2.2	接触区域	187
11.2.3	分析类型	188
11.2.4	载荷和约束	189
11.2.5	求解	189
11.2.6	检查结果	189
11.3	模态分析实例 1——机盖壳体强度校核	189
11.3.1	问题描述	189
11.3.2	项目概图	190
11.3.3	前处理	190
11.3.4	求解	193
11.3.5	结果	193
11.4	模态分析实例 2——长铆钉预应力	195
11.4.1	问题描述	195
11.4.2	项目概图	195
11.4.3	前处理	196
11.4.4	求解	198
11.4.5	结果	199
11.5	模态分析实例 3——机翼	201
11.5.1	问题描述	201
11.5.2	项目概图	201
11.5.3	前处理	203
11.5.4	求解	204
11.5.5	模态分析	205
第 12 章	热分析	209
12.1	热分析模型	210
12.1.1	几何模型	210
12.1.2	材料属性	210
12.2	装配体	210
12.2.1	实体接触	210
12.2.2	导热率	211
12.2.3	点焊	212
12.3	热环境工具栏	212
12.3.1	热载荷	212
12.3.2	热边界条件	213
12.4	求解选项	214
12.5	结果和后处理	215
12.5.1	温度	215
12.5.2	热通量	216

12.5.3	响应热流速.....	216
12.6	热分析实例 1——变速器上箱盖.....	216
12.6.1	问题描述.....	217
12.6.2	项目概图.....	217
12.6.3	前处理.....	217
12.6.4	求解.....	222
12.6.5	结果.....	222
12.7	热分析实例 2——齿轮泵基座.....	225
12.7.1	问题描述.....	225
12.7.2	项目概图.....	225
12.7.3	前处理.....	226
12.7.4	求解.....	230
12.7.5	结果.....	231
第 13 章	线性屈曲分析.....	233
13.1	屈曲概述.....	234
13.2	屈曲分析步骤.....	234
13.2.1	几何体和材料属性.....	235
13.2.2	接触区域.....	235
13.2.3	载荷与约束.....	235
13.2.4	设置屈曲.....	235
13.2.5	求解模型.....	236
13.2.6	检查结果.....	237
13.3	线性屈曲分析实例 1——挺杆.....	237
13.3.1	问题描述.....	237
13.3.2	项目概图.....	238
13.3.3	创建草图.....	239
13.3.4	Mechanical 前处理.....	241
13.3.5	求解.....	242
13.3.6	结果.....	242
13.4	线性屈曲分析实例 2——升降架.....	243
13.4.1	问题描述.....	244
13.4.2	项目概图.....	244
13.4.3	Mechanical 前处理.....	245
13.4.4	求解.....	247
13.4.5	结果.....	248
第 14 章	结构非线性分析.....	249
14.1	非线性分析概论.....	250
14.1.1	非线性行为的原因.....	250
14.1.2	非线性分析的基本信息.....	251

14.2	结构非线性一般过程.....	253
14.2.1	建立模型.....	253
14.2.2	分析设置.....	254
14.2.3	查看结果.....	256
14.3	接触非线性结构.....	257
14.3.1	接触基本概念.....	257
14.3.2	接触类型.....	257
14.3.3	刚度及渗透.....	257
14.3.4	Pinball 区域.....	258
14.3.5	对称/非对称行为.....	260
14.3.6	接触结果.....	261
14.4	结构非线性实例 1——刚性接触.....	262
14.4.1	问题描述.....	262
14.4.2	项目概图.....	262
14.4.3	绘制草图.....	263
14.4.4	创建面体.....	263
14.4.5	更改模型类型.....	264
14.4.6	修改几何体属性.....	265
14.4.7	添加接触.....	266
14.4.8	划分网格.....	266
14.4.9	分析设置.....	269
14.4.10	求解.....	271
14.4.11	查看求解结果.....	272
14.4.12	接触结果后处理.....	273
14.5	结构非线性实例 2——O 形圈.....	276
14.5.1	问题描述.....	276
14.5.2	项目概图.....	276
14.5.3	绘制草图.....	277
14.5.4	创建面体.....	278
14.5.5	添加材料.....	279
14.5.6	修改几何体属性.....	281
14.5.7	添加接触.....	283
14.5.8	划分网格.....	285
14.5.9	分析设置.....	286
14.5.10	求解.....	289
14.5.11	查看求解结果.....	290
第 15 章	优化设计.....	292
15.1	优化设计概论.....	293
15.1.1	ANSYS 优化方法.....	293

15.1.2	定义参数.....	293
15.1.3	Design Explorer 优化类型.....	294
15.2	优化设计界面.....	294
15.2.1	Design Explorer 用户界面.....	294
15.2.2	Design Explorer 数据参数界面.....	294
15.2.3	读入 APDL 文件.....	294
15.3	优化设计实例 1——板材拓扑优化设计.....	295
15.3.1	问题描述.....	296
15.3.2	项目概图.....	296
15.3.3	创建模型.....	297
15.3.4	前处理.....	298
15.3.5	求解.....	302
15.3.6	结果.....	303
15.4	优化设计实例 2——连杆六西格玛优化设计.....	304
15.4.1	问题描述.....	304
15.4.2	项目概图.....	304
15.4.3	Mechanical 前处理.....	305
15.4.4	设置求解.....	307
15.4.5	六西格玛设计.....	309
附录 A	ANSYS Workbench 菜单栏命令.....	317
附录 B	有限元知识架构.....	320
附录 C	ANSYS Workbench 帮助文件说明.....	320

第 1 章

ANSYS Workbench 13.0 基础

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

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

学

习

要

点

- CAE 软件简介
- 有限元法简介
- ANSYS 简介
- ANSYS Workbench 概述
- ANSYS Workbench 分析的基本过程
- ANSYS Workbench 13.0 的设计流程
- ANSYS Workbench 系统要求和启动

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。

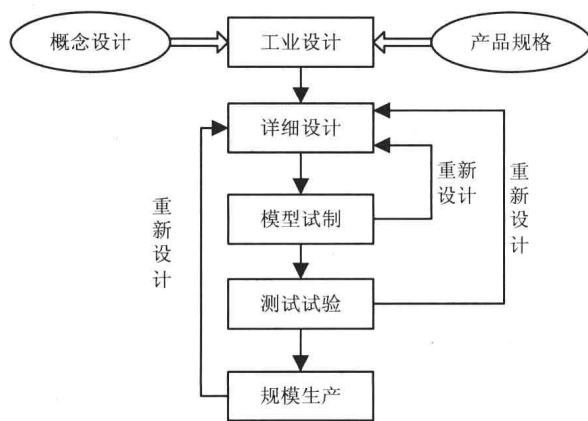


图 1-1 传统产品设计流程图

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作产品设计，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。

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。

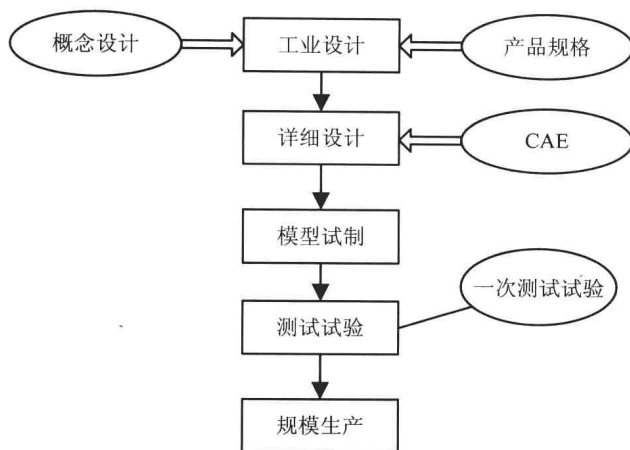


图 1-2 引入 CAE 后产品设计流程图

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,如核反应堆的爆炸事故,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。据相关统计数据显示,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

有限元的基本概念: 把一个原来是连续的物体划分为有限个单元,这些单元通过有限个节点相互连接,承受与实际载荷等效的节点载荷,并根据力的平衡条件进行分析,然后根据变形协调条件把这些单元重新组合成能够整体进行综合求解。有限元法的基本思想——离散