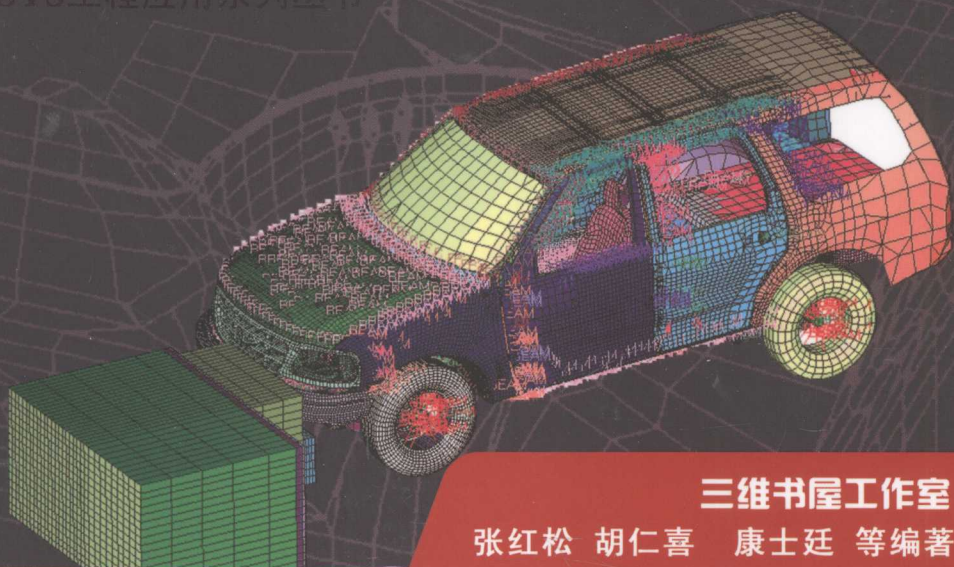


ANSYS工程应用系列丛书



三维书屋工作室

张红松 胡仁喜 康士廷 等编著

ANSYS

14.5/LS-DYNA

视频操作 ■ 源文件 ■ 最终效果

非线性有限元分析实例指导教程



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

013070330

0241.82
108-3

ANSYS 14.5/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程

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



北航

C1678815

02 41.82

108-3

013070330

内 容 简 介

ANSYS 14.5/LS-DYNA 作为世界上最著名的通用显式非线性动力分析程序,能够模拟真实世界的各种复杂几何非线性、材料非线性和接触非线性问题,特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题,同时可以求解传热、流体及流固耦合问题。

全书主要分为两大部分:第一部分介绍了 ANSYS14.5/LS-DYNA 软件所涉及的基础知识、应用方法及要点,主要包括:CAE 技术及其发展、单元的特性及定义、材料模型及其选用、有限元建模技术、加载与约束、求解及其监控、后处理等。第二部分结合实例介绍了 LS-DYNA 的一些典型应用,主要包括:工业产品跌落测试分析、冲压回弹分析、鸟撞发动机风挡分析、轧制成形分析、冲击分析、侵彻分析等,并在其中穿插讲述了一些新的模块、新的方法。

本书适合理工院校本科高年级学生和研究生作为专业学习辅导教材,也可以作为各行各业工程技术人员的工程设计参考手册。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 14.5/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程/张红松等编著. —3 版. —北京:机械工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-111-43815-1

I. ①A… II. ①张… III. ①非线性—有限元分析—应用程序
IV. ①0241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 201565 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

北京中兴印刷有限公司印刷

2013 年 9 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24.75 印张·608 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43815-1

ISBN 978-7-89405-014-4(光盘)

定价:66.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010)88379782

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着计算力学、计算数学、工程管理学,特别是信息技术的飞速发展,数值模拟技术日趋成熟。数值模拟可以广泛应用到土木、机械、电子、能源、冶金、国防军工、航天航空等诸多领域,并对这些领域产生了深远的影响。

ANSYS 14.5/LS-DYNA 作为世界上最著名的通用显式非线性动力分析程序,能够模拟真实世界的各种复杂几何非线性、材料非线性和接触非线性问题,特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题,同时可以求解传热、流体及流固耦合问题。

全书主要分为两大部分:第一部分介绍了 ANSYS14.5/LS-DYNA 软件所涉及到的基础知识、应用方法及要点,主要包括:CAE 技术及其发展、单元的特性及定义、材料模型及其选用、有限元建模技术、加载与约束、求解及其监控、后处理等。第二部分结合实例介绍了 LS-DYNA 的一些典型应用,主要包括:工业产品跌落测试分析、冲压回弹分析、鸟撞发动机风挡分析、轧制成形分析、冲击分析、侵彻分析等,并在其中穿插讲述了一些新的模块、新的方法。

理论与实践的结合是本书的最大特点之一,具有很强的可读性和实用性。

本书配有 1 张多媒体教学光盘,光盘包含本书所用到的数据文件、所有实例命令流文件以及所有实例操作过程 AVI 动画文件,这对读者使用 ANSYS14.5/LS-DYNA 将有很大的帮助。

本书由三维书屋工作室总策划,河南工程学院的张红松,军械工程学院的胡仁喜以及石家庄三维书屋文化传播有限公司的康士廷主要编写。参加编写的还有:刘昌丽、张日晶、孟培、万金环、闫聪聪、卢园、杨雪静、郑长松、张俊生、李瑞、董伟、王玉秋、王敏、王玮、王义发、王培合、辛文彤、路纯红、周冰、王艳池等。

由于编者的水平有限,加之时间仓促,书中纰漏在所难免,恳请广大读者登录网站 www.sjzsanweishuwu.com 或联系 win760520@126.com 不吝赐教!

编 者

目 录

前言

第 1 章 CAE 与 LS-DYNA 的发展	1
1.1 CAE 技术及其发展	2
1.2 LS-DYNA 的特点及应用	3
1.2.1 LS-DYNA 的功能特点	3
1.2.2 LS-DYNA 的应用领域	5
1.2.3 LS-DYNA 的文件系统	7
1.2.4 LS-DYNA 分析的一般流程	8
1.3 显式与隐式时间积分	9
第 2 章 ANSYS/LS-DYNA 的单元特性及定义	11
2.1 ANSYS/LS-DYNA 的单元特性	12
2.1.1 LINK160 杆单元	12
2.1.2 BEAM161 梁单元	13
2.1.3 SHELL163 薄壳单元	16
2.1.4 SOLID164 实体单元	19
2.1.5 COMBI165 弹簧阻尼单元	20
2.1.6 MASS166 质点质量单元	21
2.1.7 LINK167 缆单元	23
2.2 定义显式动力单元	24
2.2.1 过滤图形界面	24
2.2.2 选择单元类型	25
2.2.3 定义单元选项	25
2.2.4 定义单元实常数	26
2.3 简化积分与沙漏	26
2.3.1 简化积分单元	26
2.3.2 沙漏概述	27
2.3.3 沙漏控制技术	27
2.3.4 单元综合要点	28
第 3 章 LS-DYNA 材料模型及其选用	29
3.1 材料定义流程	30
3.1.1 利用图形用户界面 (GUI) 输入材料模型的流程	30
3.1.2 用命令定义材料模型	32
3.1.3 材料模型选择要点	33
3.2 弹性材料模型	33
3.2.1 线弹性材料	33
3.2.2 非线性弹性模型	36
3.3 非线性无弹性模型	39

3.3.1	与应变率无关的各向同性材料模型	40
3.3.2	与应变率相关的各向同性材料模型	43
3.3.3	与应变率相关的各向异性材料模型	48
3.3.4	考虑失效的材料模型	53
3.3.5	弹塑性流体动力学材料模型	55
3.3.6	粘弹塑性材料模型	56
3.4	泡沫材料模型	58
3.4.1	低密度闭合多孔的聚氨酯泡沫	58
3.4.2	粘性泡沫材料模型	59
3.4.3	低密度氨基甲酸乙酯泡沫	60
3.4.4	可压扁泡沫材料模型	61
3.4.5	正交异性可压扁 Honeycomb 蜂窝结构	61
3.5	状态方程相关的材料模型	63
3.5.1	线性多项式状态方程	63
3.5.2	Gruneisen 状态方程	64
3.5.3	Tbbulated 状态方程	64
3.6	离散单元模型	65
3.6.1	弹簧的材料模型	65
3.6.2	阻尼器模型	69
3.6.3	索模型	70
3.7	刚性体模型	71
第4章	建立几何实体模型	73
4.1	常用的基本概念	74
4.1.1	建模前的规划	74
4.1.2	ANSYS/LS-DYNA 的单位制	74
4.1.3	ANSYS 坐标系	75
4.1.4	坐标系的激活与删除	77
4.1.5	工作平面	78
4.1.6	组件与组元	79
4.1.7	工作环境设置	80
4.2	ANSYS 实体建模	83
4.2.1	自底向上建模	83
4.2.2	自顶向下建模	86
4.2.3	布尔操作	88
4.2.4	布尔运算失败时建议采取的一些措施	92
4.2.5	其他常用实体建模方式	93
4.2.6	图元的显示	94
4.3	从 CAD 系统中导入实体模型	94
4.3.1	生成 IGES (.igs) 格式文件	95

4.3.2	ANSYS/LS-DYNA 调 IGES 文件.....	97
第 5 章	建立有限元模型	99
5.1	设置单元属性	100
5.1.1	为实体模型指定属性	100
5.1.2	使用总体的属性设置	101
5.1.3	修改单元属性	101
5.2	控制网格密度	102
5.2.1	智能网格划分	102
5.2.2	单元尺寸控制	102
5.2.3	单元类型控制	103
5.2.4	网格类型控制	103
5.2.5	改变网格	105
5.3	网格拖拉与扫掠	106
5.3.1	网格拖拉	106
5.3.2	网格扫掠	108
第 6 章	LS-DYNA 的接触及其定义	110
6.1	接触算法与接触类型	111
6.1.1	常用基本概念	111
6.1.2	LS-DYNA 的接触算法	112
6.1.3	LS-DYNA 的接触类型	113
6.2	接触界面的定义与控制	116
6.2.1	定义接触界面	116
6.2.2	列表和删除接触	119
6.2.3	接触界面的控制选项	119
6.2.4	穿透问题及解决措施	121
6.2.5	接触分析注意问题	122
第 7 章	载荷、初始条件和约束	123
7.1	施加载荷	124
7.1.1	定义数组参数、载荷曲线	124
7.1.2	施加载荷	126
7.2	施加初始条件	127
7.3	施加约束	129
7.3.1	施加约束	129
7.3.2	施加转动约束	129
7.3.3	滑动或周期性边界约束	129
7.3.4	无反射边界条件	130
7.3.5	定义特殊约束	131
7.4	点焊和阻尼控制	131
7.4.1	点焊	131

7.4.2	阻尼控制	132
第 8 章	求解与求解控制	133
8.1	求解基本参数设定	134
8.1.1	计算时间控制	134
8.1.2	输出文件控制	137
8.1.3	高级求解控制	139
8.1.4	输出 K 文件	142
8.2	求解与求解监控	142
8.2.1	求解过程描述	142
8.2.2	求解监控	143
8.2.3	求解中途退出的原因	144
8.2.4	负体积产生的原因	144
8.3	重启动	145
8.3.1	新的分析	145
8.3.2	简单重启动	145
8.3.3	小型重启动	146
8.3.4	完全重启动	147
8.4	LS-DYNA 输入数据格式	147
8.4.1	关键字文件的格式	147
8.4.2	关键字文件的组织关系	148
第 9 章	ANSYS/LS-DYNA 后处理	150
9.1	ANSYS 后处理	151
9.1.1	通用后处理器 POST1	151
9.1.2	时间历程后处理器 POST26	155
9.2	LS-PREPOST4.0 后处理	161
9.2.1	LS-PREPOST 4.0 程序界面	161
9.2.2	下拉菜单	162
9.2.3	图形绘制	163
9.2.4	图形控制区	163
9.2.5	动画控制区	164
9.2.6	主菜单	165
9.2.7	鼠标键盘操作	172
第 10 章	产品的跌落测试分析	173
10.1	跌落测试分析概述	174
10.2	跌落测试模块 DTM	174
10.2.1	DTM 模块的启动	174
10.2.2	跌落测试分析基本流程	174
10.2.3	跌落测试分析参数设置	176
10.3	PDA 跌落测试分析	179

10.3.1	启动 DTM 模块	179
10.3.2	打开几何实体模型	180
10.3.3	定义单元类型、实常数	181
10.3.4	定义材料模型	182
10.3.5	生成有限元模型	183
10.3.6	生成 PART	187
10.3.7	定义接触	188
10.3.8	跌落分析基本参数设置	189
10.3.9	观察分析结果	190
10.3.10	命令流实现	192
第 11 章	板料冲压及回弹分析	196
11.1	显式-隐式序列求解	197
11.1.1	求解分析的显式部分	198
11.1.2	为了进行隐式分析改变作业名	198
11.1.3	关闭单元的形状检查	198
11.1.4	转换单元类型	199
11.1.5	修改隐式单元的几何形状	200
11.1.6	移走不需要的单元	200
11.1.7	重新定义边界条件	200
11.1.8	输入应力	201
11.1.9	进行隐式求解	201
11.2	板料冲压成形模拟	202
11.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	202
11.2.2	定义单元类型、实常数、材料模型	202
11.2.3	创建几何实体模型	208
11.2.4	定义接触	212
11.2.5	定义约束	213
11.2.6	施加载荷	214
11.2.7	求解控制与求解	216
11.2.8	观察分析结果	218
11.2.9	命令流实现	221
11.3	回弹分析	224
11.3.1	为了进行隐式分析改变作业名	224
11.3.2	关闭单元的形状检查	225
11.3.3	转换单元类型	225
11.3.4	修改隐式单元的几何形状	226
11.3.5	移走不需要的单元	226
11.3.6	重新定义边界条件	227
11.3.7	输入应力	227

11.3.8	进行隐式求解	228
11.3.9	检查回弹结果	228
11.3.10	命令流实现	229
第 12 章	鸟撞发动机风挡模式	231
12.1	隐式-显式序列求解	232
12.1.1	进行隐式求解	232
12.1.2	为进行显式求解改变作业名	232
12.1.3	改变单元类型	233
12.1.4	移走额外约束	234
12.1.5	写来自隐式分析的节点结果	234
12.1.6	施加所需的接触、载荷条件	235
12.1.7	初始化模型的几何形状	235
12.1.8	进行显式分析	236
12.2	鸟撞发动机风挡模拟	236
12.2.1	进行隐式求解	236
12.2.2	隐式求解的命令流实现	247
12.2.3	为进行显式求解改变作业名	254
12.2.4	改变单元类型、材料模型、实常数	254
12.2.5	移走额外约束	256
12.2.6	写来自隐式分析的节点结果	257
12.2.7	施加所需的接触、载荷条件	257
12.2.8	初始化模型的几何形状	260
12.2.9	进行显式分析	261
12.2.10	命令流实现	263
12.2.11	后处理	265
第 13 章	金属塑性成形模拟	267
13.1	金属塑性成形数值模拟	268
13.1.1	金属塑性成形数值模拟概述	268
13.1.2	塑性成形有限元模拟优点	268
13.1.3	塑性成形中的有限元方法	268
13.2	楔横轧轧制成形模拟	269
13.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	270
13.2.2	定义单元类型、实常数、材料模型	270
13.2.3	建立模具有限元模型	277
13.2.4	定义接触	285
13.2.5	定义约束	285
13.2.6	定义载荷	286
13.2.7	定义模具的质量中心	288
13.2.8	求解控制与求解	290

13.2.9	命令流实现	292
13.2.10	后处理	297
第 14 章	冲击动力学问题的分析	300
14.1	薄壁方管屈曲分析	301
14.1.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	301
14.1.2	建立有限元模型	302
14.1.3	定义接触	306
14.1.4	定义边界条件	306
14.1.5	施加冲击载荷	311
14.1.6	求解控制设置	312
14.1.7	求解及求解过程控制	314
14.1.8	命令流实现	314
14.1.9	后处理	316
14.2	自适应网格方法概述	319
14.2.1	h-adaptive 方法	319
14.2.2	r-adaptive 方法	321
14.2.3	开启网格自适应	321
14.2.4	自适应网格高级控制	322
14.3	薄壁方管的自适应屈曲分析	324
14.3.1	创建 PART	324
14.3.2	开启网格自适应	324
14.3.3	自适应网格高级控制	325
14.3.4	命令流实现	325
14.3.5	求解结果对比	327
第 15 章	侵彻问题的分析	329
15.1	LS-DYNA 侵彻问题模拟概述	330
15.1.1	侵彻问题的研究方法	330
15.1.2	侵彻问题的数值模拟	330
15.2	弹丸侵彻靶板分析	331
15.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	331
15.2.2	建立有限元模型	332
15.2.3	定义接触	340
15.2.4	定义边界条件	341
15.2.5	定义弹丸初始速度	344
15.2.6	求解控制设置	344
15.2.7	求解及求解过程控制	346
15.2.8	命令流实现	346
15.2.9	后处理	350
第 16 章	ALE、SPH 高级分析	354

16.1	ALE 方法	355
16.1.1	Lagrange、Euler、ALE 方法	355
16.1.2	ALE 方法理论基础	357
16.1.3	执行一个 ALE 分析	360
16.2	无网格方法概述	361
16.2.1	无网格方法基本思想	362
16.2.2	无网格方法的发展历程	362
16.2.3	无网格方法的优缺点	363
16.2.4	部分无网格方法简介	364
16.3	SPH 方法	366
16.3.1	SPH 方法的本质	366
16.3.2	SPH 的基本理论	366
16.3.3	LS-DYNA 中的 SPH 算法	367
16.3.4	SPH 方法主要的关键字说明	370
附录 A	最常用的关键字	373
附录 B	常用建模操作命令	375
	参考文献	380

第 1 章

CAE 与 LS-DYNA 的发展

本章首先介绍 CAE 技术及其有关基本知识，并由此引出了 ANSYS/LS-DYNA 的最新版本 14.5。接着还讲述了 LS-DYNA 的发展历程、功能特点、应用领域以及分析流程等。最后还比较了显式和隐式时间积分。

学 习 要 点

- CAE 的优越性
- 典型 CAE 软件介绍
- LS-DYNA 的发展历程、特点及应用
- LS-DYNA 的文件系统及分析流程
- 显式与隐式时间积分

1.1 CAE 技术及其发展

传统的产品设计流程往往都是首先由客户提出产品相关的规格及要求,然后由设计人员进行概念设计,接着由工业设计人员对产品进行外观设计及功能规划,之后再由工程人员对产品进行详细设计。设计方案确定以后,便进行开模等投产前置工作。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,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。

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的进步。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阶层与客户沟通。在批量生产阶段,可以协助工程技术人员在重新设计时,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 后产品流程图。

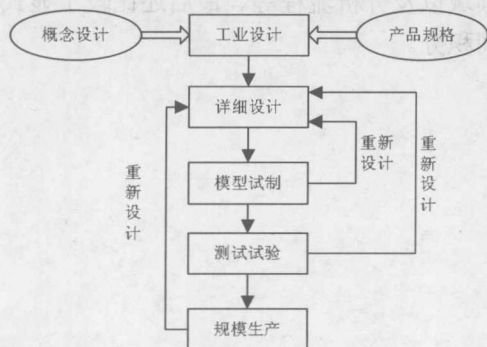


图 1-1 传统产品设计流程图

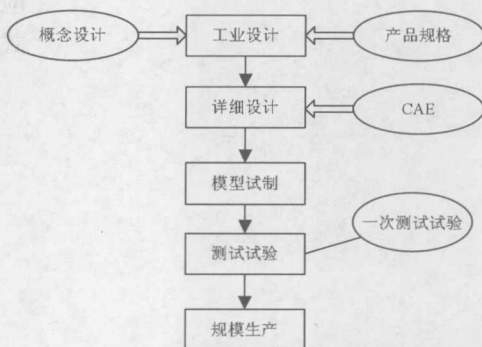


图 1-2 引入 CAE 后产品流程图

以电子产品为例,80%的电子产品都可能受到高速撞击,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,如:

- 1) 试验发生的历程很短,很难观察试验过程的现象;
- 2) 测试条件难以控制,试验的重复性很差;
- 3) 试验时很难测量产品内部特性和观察内部现象;
- 4) 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,通过相应软件对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即使产品通过测试规范提供了可能。

CAE 的优越性:

(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,费用是极其昂贵的,并且存在一定的危险,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,数值模拟软件可以复制移植、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%。

总之,CAE 已经与理论分析、试验研究成为科学技术探索研究的 3 个相互依存、不可缺少的手段。

正如美国著名数学家拉克斯(P. Lax)所说:“科学计算是关系到国家安全、经济发展和科技进步的关键性环节,是事关国家命脉的大事。”

1.2 LS-DYNA 的特点及应用

1.2.1 LS-DYNA 的功能特点

LS-DYNA 是世界上最著名的通用显式非线性动力分析程序,能够模拟真实世界的各种复杂几何非线性(大位移、大转动和大应变)、材料非线性(140 多种材料动态模型)和接触非线性(50 多种)问题,特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题,同时可以求解传热、流体及流固耦合问题。

在工程应用领域被广泛认可为最佳的分析软件包,与试验的无数次对比证实了其计算的可靠性。

LS-DYNA 以 Lagrange 算法为主, 兼有 ALE 和 Euler 算法; 以显式求解为主, 兼有隐式求解功能; 以结构分析为主, 兼有热分析、流体-结构耦合功能; 以非线性动力分析为主, 兼有静力分析功能 (如动力分析前的预应力计算和薄板冲压成形后的回弹计算); 它计算的可靠性已经被无数次试验所证明, 因此在工程应用领域被认为是最佳的分析软件包。

其特点主要包括以下方面:

1. 强大的分析能力

LS-DYNA 不仅有非线性动力学分析、多刚体动力学分析, 还有热分析、流体分析; 不仅有结构——热耦合分析, 还有有限元——多刚体动力学耦合分析、多物理场耦合分析; 不仅有失效分析, 还有裂纹扩展分析; 不仅有设计优化, 还有并行处理等。

2. 丰富的材料模型库

目前 LS-DYNA 拥有近 150 种金属和非金属材料模型, 涵盖金属、塑料、玻璃、泡沫材料、编织品、橡胶 (人造橡胶)、蜂窝材料、复合材料、混凝土和土壤、炸药、推进剂、粘性流体等各种材料, 同时还支持用户自定义材料。

3. 易用的单元库

目前 LS-DYNA 具有体单元、薄/厚壳单元、梁单元、焊接单元、离散单元、束和索单元、安全带单元、节点质量单元、SPH 单元等, 而且各种单元又有许多算法可供选择。

4. 充足的接触方式

目前 LS-DYNA 拥有 50 多种可供选择的接触分析方式, 使 LS-DYNA 不仅可以求解各种柔体对柔体、柔体对刚体、刚体对刚体等接触问题, 而且可以分析接触表面的静动力摩擦、固连失效以及流体与固体的界面等问题。

5. 自适应网格剖分功能

自动剖分网格技术通常用于薄板冲压变形模拟、薄壁结构受压屈曲、三维锻压问题等大变形情况, 使弯曲变形严重的区域皱纹更加清晰准确。对于三维锻压问题, LS-DYNA 主要有两种方法: 自适应网格剖分和任意拉格朗日—欧拉网格 (ALE)。

6. ALE 列式和 Euler 列式

ALE 列式和 Euler 列式可以克服单元严重畸变引起的数值计算困难, 并实现流体-固体耦合的动态分析。

7. SPH 算法

SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 光滑质点流体动力算法是一种无网格 Lagrange 算法, 最早用于模拟天体物理问题, 后来发现解决其他物理问题, 如连续体结构的解体、碎裂、固体的层裂、脆性断裂等, 也是非常有用的工具。SPH 算法可以解决许多常用算法解决不了的问题, 是一种非常简单方便的解决动力学问题的研究方法。由于它是无网格的, 可以用于研究很大的不规则结构, 适用于超高速碰撞、靶板贯穿等过程的计算模拟。

8. 边界元法

LS-DYNA 程序采用边界元法 BEM (Boundary Element Method) 求解流体绕刚体或变形体的稳态或瞬态流动, 该算法限于非粘性和不可压缩的附着流动。

9. 隐式求解

用于非线性结构静动力分析, 包括结构固有频率和振型计算。LS-DYNA 中可以交替使用隐式求解和显式求解, 进行薄板冲压成形的回弹计算、结构动力分析之前施加预应力等。

10. 热分析

LS-DYNA 程序有二维和三维热分析模块, 可以独立运算, 也可以与结构分析耦合, 可进行稳态热分析, 也可进行瞬态热分析, 用于非线性热传导、静电场分析和渗流计算。

11. 不可压缩流场分析

LS-DYNA 不可压缩流求解器用于模拟分析瞬态、不可压、粘性流体动力学现象。求解器中采用了超级计算机的算法结构, 在确保有限元算法优点的同时, 计算性能得到大幅度提高, 从而在广泛的流体力学领域具有很强的适用性。

12. 跌落测试分析

80% 的电子产品损坏大都来源于跌落碰撞, 利用 ANSYS/LS-DYNA 中提供的跌落测试的程序模块, 用户可以更加高效地分析产品的跌落过程。

13. 强大的软硬件平台支持

LS-DYNA 支持几乎所有类型的工作站和操作平台, 并支持平行运算, 可以针对不同的系统进行平行处理运算, 包括 MPP (Massively Parallel) 和 SMP (Share Memory Parallel)。

1.2.2 LS-DYNA 的应用领域

LS-DYNA 作为典型的结构非线性分析工具, 可以模拟模型尺寸小至 DNA、IC, 大至土木工程, 航空航天工业。主要的结构力学相关领域几乎都有 LS-DYNA 的应用案例, 它有力促进了这些行业的技术发展, 影响是十分深远的。其应用领域如下:

(1) 汽车工业。主要有碰撞分析、气囊设计、乘客被动安全、部件加工等。

(2) 航空航天。主要有鸟撞、叶片包容、飞机结构冲击力分析、碰撞坠毁分析、冲击爆炸及动态载荷、火箭级间分离模拟分析、宇宙垃圾碰撞、特种复合材料设计等。

(3) 制造业。几乎所有成形过程如冲压、锻造、铸造、切割等都可以用 LS-DYNA 模拟。

(4) 建筑业。可以用于地震安全、混凝土结构、爆破拆除、公路桥梁设计等问题分析。

(5) 国防。内弹道和终点弹道; 装甲和反装甲系统; 穿甲弹与破甲弹设计; 战斗部结构设计; 冲击波传播; 侵彻与开坑; 空气、水与土壤中爆炸; 核废料容器设计等。

(6) 电子领域。跌落分析、包装设计、热分析、电子封装。

(7) 石油工业。液体晃动、完井射孔、管道设计、爆炸切割、事故模拟、海上平台设计。

(8) 其他应用。玻璃成形、生物医学、体育器材 (高尔夫球杆, 高尔夫球, 棒球杆, 头盔) 设计。

下面介绍一些国内外文献发表的 LS-DYNA 程序工程应用的典型实例, 以便读者对