

ANSYS 18.0/LS-DYNA

非线性有限元分析 实例指导教程

视频操作 源文件 最终效果

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。

学习交流QQ群：540685255

登录QQ群提供本书安装下载地址

学习咨询网站：www.sjzswsw.com

按照前言提示或扫描封四二维码登录网盘下载电子资料



三维书屋工作室

胡仁喜 康士廷 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

ANSYS 18.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程

三维书屋工作室

胡仁喜 康士廷 等编著



机械工业出版社

ANSYS 18.0 / LS-DYNA 作为世界上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。

本书主要分为两大部分:第一部分介绍了 ANSYS18.0/LS-DYNA 软件所涉及的基础知识、应用方法及要点。第二部分结合实例介绍了 LS-DYNA 的一些典型应用,并在其中穿插讲述了一些新的模块、新的方法。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 18.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程/胡仁喜等编著.
—4 版.—北京:机械工业出版社,2018.8
ISBN 978-7-111-60773-1

I. ①A… II. ①胡… III. ①非线性—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(2018)第 202932 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:孙 炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2018 年 9 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·25.75 印张·630 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-60773-1

定价:89.00 元

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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

编辑热线:010-88379782

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

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于土木、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 18.0/LS-DYNA 作为世界上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。

本书分为两大部分:第一部分介绍了 ANSYS 18.0/LS-DYNA 软所涉及的基础知识、应用方法及要点,主要包括:CAE LS-DYNA 的发展,LS-DYNA 的单元特性及定义,LS-DYNA 材料模型及其选用,建立有限元模型,LS-DYNA 的接触及其定义,载荷、初始条件和约束,求解与求解控制,ANSYS 18.0/LS-DYNA 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:产品的跌落测试分析,板料冲压及回弹分析,鸟撞发动机风挡模拟,模拟塑性成形模拟,冲击动力学问题的分析,侵彻问题的分析,ALE、SPH 高级分析等,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。

随书配送的电子资料包中包含所有实例的素材源文件,并制作了全程实例配音讲解动画 AVI 文件。读者可以登录百度网盘地址:<http://pan.baidu.com/s/1qY19MIK> 下载,密码:we6b。链接失效备用网址:<https://pan.baidu.com/s/1hsQZP3I>, 密码:3o3e(需要先注册一个百度网盘才能下载)。

本书由三维书屋工作室总策划,胡仁喜和康士廷主要编写。刘昌丽、闫聪聪、杨雪静、宫鹏涵、孟培、李亚莉、解江坤、秦志霞、张亭、毛璐、吴秋彦、甘勤涛、李兵、王敏、孙立明、王玮、王培合、王艳池、王义发、王玉秋、朱玉莲、徐声杰、张俊生、王兵学等也参加了部分编写工作。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中纰漏在所难免,恳请广大读者不吝赐教,可登录网站 www.sjzswsw.com 或发邮件至邮箱 win760520@126.com。也欢迎加入三维书屋图书学习交流群(QQ: 180284277)交流探讨。

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
1.1.1 CAE 技术流程	2
1.1.2 CAE 的优越性	3
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	24
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	27
2.3.1 简化积分单元	27
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	29
第3章 ANSYS/LS-DYNA 材料模型及其选用	30
3.1 材料定义流程	31
3.1.1 利用图形用户界面 (GUI) 输入材料模型的流程	31
3.1.2 用命令定义材料模型	33
3.1.3 材料模型选择要点	34
3.2 弹性材料模型	34

3.2.1	线弹性材料	34
3.2.2	非线性弹性模型	38
3.3	非线性无弹性模型	40
3.3.1	与应变率无关的各向同性材料模型	41
3.3.2	与应变率相关的各向同性材料模型	44
3.3.3	与应变率相关的各向异性材料模型	50
3.3.4	考虑失效的材料模型	54
3.3.5	弹塑性流体动力学材料模型	57
3.3.6	黏弹塑性材料模型	58
3.4	泡沫材料模型	60
3.4.1	低密度闭合多孔的聚氨酯泡沫	60
3.4.2	黏性泡沫材料模型	62
3.4.3	低密度氨基甲酸乙酯泡沫	63
3.4.4	可压扁泡沫材料模型	64
3.4.5	正交异性可压扁 Honeycomb 蜂窝结构	65
3.5	与状态方程相关的材料模型	67
3.5.1	线性多项式状态方程	67
3.5.2	Gruneisen 状态方程	67
3.5.3	Tbbulated 状态方程	69
3.6	离散单元模型	69
3.6.1	弹簧的材料模型	69
3.6.2	阻尼模型	73
3.6.3	索模型	74
3.7	刚性体模型	75
第 4 章	建立几何实体模型	78
4.1	常用的基本概念	79
4.1.1	建模前的规划	79
4.1.2	ANSYS/LS-DYNA 的单位制	79
4.1.3	ANSYS 坐标系	80
4.1.4	坐标系的激活与删除	82
4.1.5	工作平面	83
4.1.6	组件与组元	84
4.1.7	工作环境设置	85
4.2	ANSYS 实体建模	88
4.2.1	自底向上建模	88
4.2.2	自顶向下建模	91
4.2.3	布尔操作	93
4.2.4	布尔运算失败时建议采取的一些措施	97
4.2.5	其他常用实体建模方式	98

4.2.6	图元的显示	98
4.3	从 CAD 系统中导入实体模型	99
4.3.1	生成 IGES (.igs) 格式文件	99
4.3.2	ANSYS/LS-DYNA 调入 IGES 文件	101
第 5 章	建立有限元模型	104
5.1	设置单元属性	105
5.1.1	为实体模型指定属性	105
5.1.2	使用总体的属性设置	106
5.1.3	修改单元属性	106
5.2	控制网格密度	107
5.2.1	智能网格划分	107
5.2.2	单元尺寸控制	107
5.2.3	单元类型控制	108
5.2.4	网格类型控制	109
5.2.5	改变网格	111
5.3	网格拖拉与扫掠	111
5.3.1	网格拖拉	111
5.3.2	网格扫掠	112
第 6 章	LS-DYNA 的接触及其定义	115
6.1	接触算法与接触类型	116
6.1.1	常用基本概念	116
6.1.2	LS-DYNA 的接触算法	117
6.1.3	LS-DYNA 的接触类型	118
6.2	接触界面的定义与控制	121
6.2.1	定义接触界面	121
6.2.2	列表和删除接触	124
6.2.3	接触界面的控制选项	124
6.2.4	穿透问题及解决措施	126
6.2.5	接触分析应注意的问题	127
第 7 章	载荷、初始条件和约束	128
7.1	施加载荷	129
7.1.1	定义数组参数、载荷曲线	129
7.1.2	施加载荷	131
7.2	施加初始条件	132
7.3	施加约束	134
7.3.1	施加约束	134
7.3.2	施加转动约束	134
7.3.3	滑动或周期性边界面约束	135
7.3.4	无反射边界条件	136

7.3.5	定义特殊约束	137
7.4	点焊和阻尼控制	137
7.4.1	点焊	137
7.4.2	阻尼控制	138
第 8 章	求解与求解控制	139
8.1	求解基本参数设定	140
8.1.1	计算时间控制	140
8.1.2	输出文件控制	142
8.1.3	高级求解控制	145
8.1.4	输出 K 文件	148
8.2	求解与求解监控	148
8.2.1	求解过程描述	148
8.2.2	求解监控	149
8.2.3	求解中途退出的原因	150
8.2.4	负体积产生的原因	150
8.3	重启动	151
8.3.1	新的分析	151
8.3.2	简单重启动	151
8.3.3	小型重启动	152
8.3.4	完全重启动	153
8.4	LS-DYNA 输入数据格式	153
8.4.1	关键字文件的格式	154
8.4.2	关键字文件的组织关系	155
第 9 章	ANSYS/LS-DYNA 后处理	156
9.1	ANSYS 后处理	157
9.1.1	通用后处理器 POST1	157
9.1.2	时间历程后处理器 POST26	161
9.2	LS-PREPOST 4.0 后处理	167
9.2.1	LS-PREPOST 4.0 程序界面	167
9.2.2	下拉菜单	168
9.2.3	图形绘制	168
9.2.4	图形控制区	168
9.2.5	动画控制区	169
9.2.6	主菜单	170
9.2.7	鼠标键盘操作	177
第 10 章	产品的跌落测试分析	178
10.1	跌落测试分析概述	179
10.2	跌落测试模块 DTM	179
10.2.1	DTM 模块的启动	179

10.2.2	跌落测试分析基本流程	179
10.2.3	跌落测试分析参数设置	181
10.3	PDA 跌落测试分析	184
10.3.1	启动 DTM 模块	184
10.3.2	打开几何实体模型	185
10.3.3	定义单元类型、实常数	186
10.3.4	定义材料模型	187
10.3.5	生成有限元模型	188
10.3.6	生成 PART	192
10.3.7	定义接触	193
10.3.8	跌落分析基本参数设置	194
10.3.9	观察分析结果	195
10.3.10	命令流	197
第 11 章	板料冲压及回弹分析	202
11.1	显式-隐式序列求解	203
11.1.1	求解分析的显式部分	204
11.1.2	为了进行隐式分析改变作业名	204
11.1.3	关闭单元的形状检查	204
11.1.4	转换单元类型	205
11.1.5	修改隐式单元的几何形状	206
11.1.6	移走不需要的单元	206
11.1.7	重新定义边界条件	206
11.1.8	输入应力	206
11.1.9	进行隐式求解	207
11.2	板料冲压成形模拟	208
11.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	208
11.2.2	定义单元类型、实常数、材料模型	208
11.2.3	创建几何实体模型	214
11.2.4	定义接触	218
11.2.5	定义约束	219
11.2.6	施加载荷	221
11.2.7	求解控制与求解	223
11.2.8	观察分析结果	225
11.2.9	命令流实现	228
11.3	回弹分析	232
11.3.1	为了进行隐式分析改变作业名	232
11.3.2	关闭单元的形状检查	232
11.3.3	转换单元类型	233
11.3.4	修改隐式单元的几何形状	233

11.3.5	移走不需要的单元	234
11.3.6	重新定义边界条件	234
11.3.7	输入应力	235
11.3.8	进行隐式求解	235
11.3.9	检查回弹结果	236
11.3.10	命令流实现	237
第 12 章	鸟撞发动机风挡模拟	238
12.1	隐式-显式序列求解	239
12.1.1	进行隐式求解	239
12.1.2	为进行显式求解改变作业名	239
12.1.3	改变单元类型	240
12.1.4	移走额外约束	242
12.1.5	写入来自隐式分析的节点结果	242
12.1.6	施加所需的接触、载荷条件	242
12.1.7	初始化模型的几何形状	242
12.1.8	进行显式分析	243
12.2	风挡抗鸟撞模拟	243
12.2.1	进行隐式求解	244
12.2.2	隐式求解的命令流实现	257
12.2.3	为进行显式求解改变作业名	264
12.2.4	改变单元类型、材料模型、实常数	264
12.2.5	移走额外约束	266
12.2.6	写来自隐式分析的节点结果	267
12.2.7	施加所需的接触、载荷条件	267
12.2.8	初始化模型的几何形状	271
12.2.9	进行显式分析	272
12.2.10	命令流实现	273
12.2.11	后处理	276
第 13 章	金属塑性成形模拟	278
13.1	金属塑性成形数值模拟	279
13.1.1	金属塑性成形数值模拟概述	279
13.1.2	塑性成形有限元模拟优点	279
13.1.3	塑性成形中的有限元方法	279
13.2	楔横轧轧制成形模拟	280
13.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	281
13.2.2	定义单元类型、实常数、材料模型	281
13.2.3	建立模具有限元模型	288
13.2.4	定义接触	297
13.2.5	定义约束	298

13.2.6	定义载荷	299
13.2.7	定义模具的质量中心	300
13.2.8	求解控制与求解	303
13.2.9	命令流实现	305
13.2.10	后处理	310
第 14 章 冲击动力学问题的分析		314
14.1	薄壁方管屈曲分析	315
14.1.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	315
14.1.2	建立有限元模型	316
14.1.3	定义接触	321
14.1.4	定义边界条件	321
14.1.5	施加冲击载荷	326
14.1.6	求解控制设置	327
14.1.7	求解及求解过程控制	329
14.1.8	命令流实现	329
14.1.9	后处理	331
14.2	自适应网格方法概述	334
14.2.1	h-adaptive 方法	335
14.2.2	r-adaptive 方法	336
14.2.3	开启网格自适应	337
14.2.4	自适应网格高级控制	337
14.3	薄壁方管的自适应屈曲分析	339
14.3.1	创建 PART	339
14.3.2	开启网格自适应	340
14.3.3	自适应网格高级控制	340
14.3.4	命令流实现	341
14.3.5	求解结果对比	343
第 15 章 侵彻问题的分析		345
15.1	LS-DYNA 侵彻问题模拟概述	346
15.1.1	侵彻问题的研究方法	346
15.1.2	侵彻问题的数值模拟	346
15.2	弹丸侵彻靶板分析	347
15.2.1	启动 ANSYS/LS-DYNA	347
15.2.2	建立有限元模型	349
15.2.3	定义接触	356
15.2.4	定义边界条件	357
15.2.5	定义弹丸初始速度	360
15.2.6	求解控制设置	361
15.2.7	求解及求解过程控制	362

15.2.8	命令流实现	362
15.2.9	后处理	366
第 16 章	ALE、SPH 高级分析	370
16.1	ALE 算法	371
16.1.1	Lagrange、Euler、ALE 算法	371
16.1.2	ALE 算法理论基础	373
16.1.3	执行一个 ALE 分析	376
16.2	无网格方法概述	377
16.2.1	无网格方法基本思想	378
16.2.2	无网格方法的发展历程	378
16.2.3	无网格方法的优缺点	379
16.2.4	部分无网格方法简介	380
16.3	SPH 方法	382
16.3.1	SPH 方法的本质	382
16.3.2	SPH 方法的基本理论	382
16.3.3	LS-DYNA 中的 SPH 算法	384
16.3.4	SPH 主要的关键字说明	386
附录 A	最常用的关键字	389
附录 B	常用建模操作命令	391
参考文献		396

第 1 章

CAE 与 LS-DYNA 的发展

本章首先介绍 CAE 技术及其有关基础知识，并由此引出了 ANSYS/LS-DYNA 的新版本 18.0。接着讲述了 LS-DYNA 的功能特点、应用领域、文件系统及分析的一般流程等。最后比较了显式和隐式时间积分。

学 习 要 点

- CAE 技术及其发展
- LS-DYNA 的特点及应用
- 显式与隐式时间积分

图 1-1 CAE 与 LS-DYNA 的发展流程图

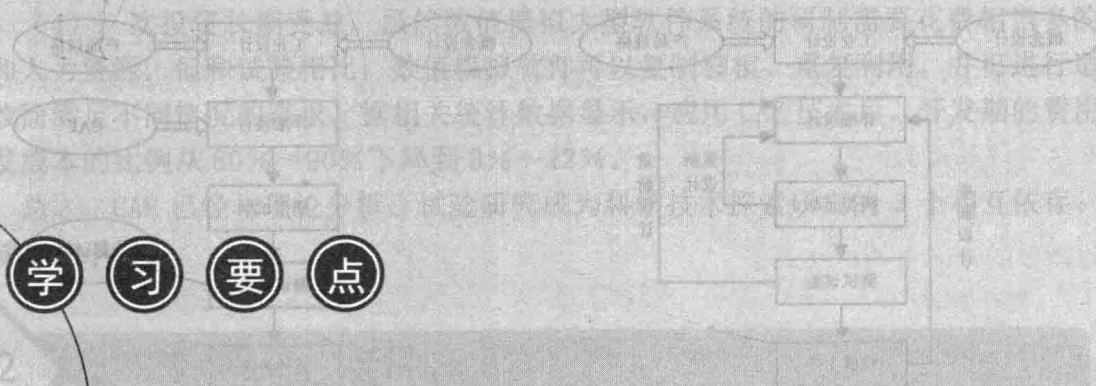


图 1-2 CAE 与 LS-DYNA 的发展流程图

本章首先介绍 CAE 技术及其有关基础知识，并由此引出了 ANSYS/LS-DYNA 的新版本 18.0。接着讲述了 LS-DYNA 的功能特点、应用领域、文件系统及分析的一般流程等。最后比较了显式和隐式时间积分。

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 可以看出，各项产品测试均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，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。为了避免此情况的发生，预期评估产品的特质便成为设计人员的重要课题。

1.1.1 CAE 技术流程

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 后产品设计流程图。

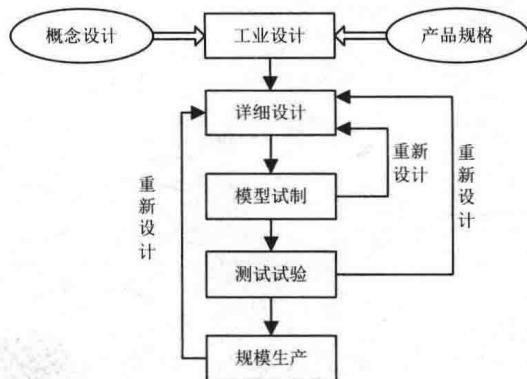


图1-1 传统产品设计流程图

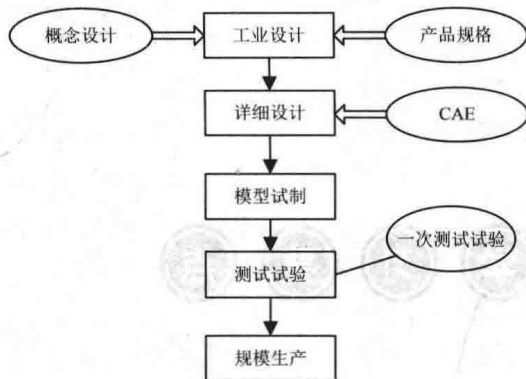


图1-2 引入CAE后产品设计流程图

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，具体如下：

- 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。

1.1.2 CAE 的优越性

(1) CAE 本身就可以看做一种基本试验。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、细致,不仅可以了解问题的结果,而且可以随时连续动态地、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 2 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。

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。

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); 其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很好的分析软件包。

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、黏性流体等各种材料, 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, 该算法限于非黏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、黏性流体动力学现象。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,可以模拟的模型尺寸小至 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 LS-DYNA 程序的高度非线性动力分析功能有进一步的感性认识。