

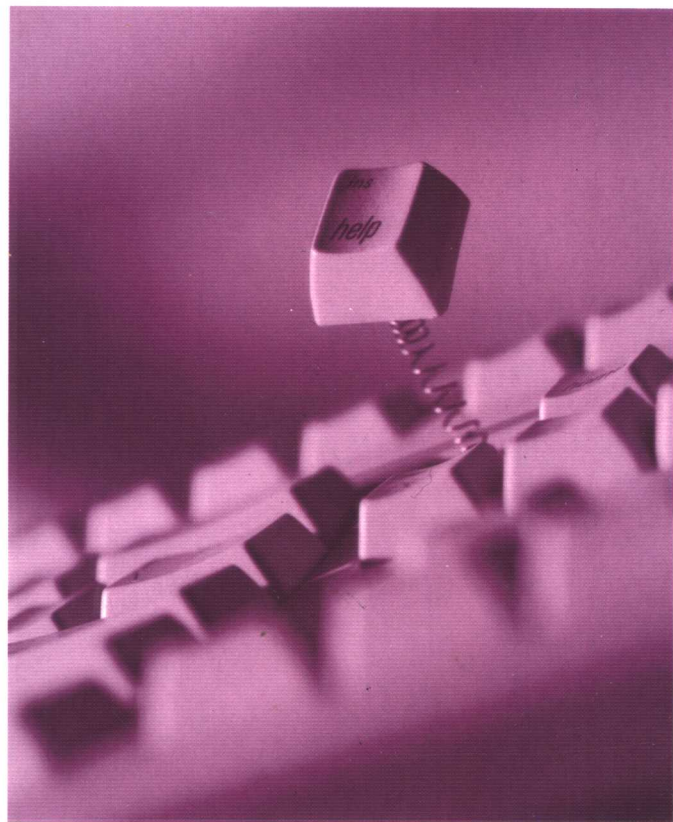
万水
ANSYS技术丛书

ANSYS

LS-DYNA

动力分析方法与工程实例

尚晓江 苏建宇 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水 ANSYS 技术丛书

ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与 工程实例

尚晓江 苏建宇 等编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

LS-DYNA 是功能齐全的显式动力分析软件,其算法特别适合于分析各类复杂动力学问题,如爆炸、结构冲击、金属加工成型等高度非线性问题,同时还可以求解各种流体以及流固耦合问题。

本书通过三篇十五章系统地介绍了 LS-DYNA 显式动力分析方法及其工程应用方面的主要问题。工程实例部分涉及到金属结构冲击屈曲分析、打桩施工过程中桩身的动应力分析、高速弹丸侵彻厚钢板、框架结构的地震反应、工业产品的跌落仿真、工程爆破以及拆除等具体的工程领域。在内容安排上由浅入深,兼顾到初学者、一般使用者以及科研和工程高级分析人员的实际需要。

本书适合作为土木、机械、航空、工业设计以及力学等相关专业研究生或高年级本科生学习非线性结构数值分析及 LS-DYNA 软件应用课程的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例 / 尚晓江等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

(万水 ANSYS 技术丛书)

ISBN 7-5084-3440-4

I. A… II. 尚… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS/LS-DYNA
IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 138837 号

书 名	ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例
作 者	尚晓江 苏建宇 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 20.25 印张 488 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	38.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

LS-DYNA 是功能齐全的显式动力分析软件,可以模拟各种复杂的非线性动态过程。其基本显式算法以及多物质 ALE 等高级算法特别适合于分析各类高度非线性的结构动力学问题,还可以求解各种流体以及流固耦合非线性动力学问题。

本书是一本系统介绍 LS-DYNA 显式动力分析方法的书。由于 ANSYS 分析环境应用的广泛性,本书在分析实例的建模过程中主要以 ANSYS 作为建模工具,这对于熟悉 ANSYS 建模的读者来说无疑是非常方便的。

本书的一个写作特色就是以 LS-DYNA 的关键字为线索,串联相关章节的内容。这是因为,无论是采用 ANSYS 或者别的前处理程序进行建模,归结到最后,都是向 LS-DYNA 计算程序递交一个格式完全相同的关键字信息输入文件。

本书分为三篇,内容安排上由浅入深,包括软件操作、算法原理和工程应用三方面,兼顾到初学者、一般使用者以及科研和工程高级分析人员的实际需要。

第 1 篇以 ANSYS/LS-DYNA 的基本操作过程作为主线,结合一个空心金属壳冲击刚性平台的演示性例子进行讲解。目的是帮助具有一定 ANSYS 使用基础的读者尽快学会 LS-DYNA 显式动力分析方法。

第 2 篇是学习 LS-DYNA 的提高篇,旨在引导读者进一步学习 LS-DYNA 的关键字文件、LS-POST 后处理技术、各种显式算法(包括动态接触算法以及各种高级算法和求解控制技术)、单元特性和材料模型。

第 3 篇提供一系列 LS-DYNA 工程实例的分析过程。内容涉及金属结构冲击屈曲分析、打桩施工过程中桩身的动应力分析、高速弹丸侵彻厚钢板、框架结构的地震反应、工业产品的跌落仿真、工程爆破以及拆除等具体的工程领域。考虑到初学人员学习中可能遇到的困难,书中列举的例题的难度和复杂程度都比较适中,这有助于初学者打好 LS-DYNA 分析的基础。我们认为只要基本概念清楚,基本操作熟练,就不难结合自身的专业背景和本书介绍的基本操作方法,由浅入深地进行一些有特色的专业问题的分析。

在本书编写过程中参阅了大量与非线性动力学理论和数值分析方面相关的书籍和资料,其中包括 LS-DYNA 的理论手册以及关键字手册,也包括一些已公开发表的与 LS-DYNA 显式分析相关的文献。在书后的参考文献中列出了一些主要的参考资料,但还有很多未能专门列出,在这里一并向相关单位和个人的工作表示衷心的感谢。北京理工大学的乔继延博士后向作者提供了关于爆炸分析的资料。此外,还要感谢中国水利水电出版社编辑人员为本书出版而付出的辛勤劳动。

本书主要由尚晓江、苏建宇、魏久安负责编写,参加编写和文字录入工作的还有王化锋、赵海峰、石伟兴、李文颖、聂慧萍、卢靖、蒋迪、袁志达、邱峰、杨海波、潘冠群、

李德聪、史雪松、张永芳、王惠平、杨伟、刘金兴、张骥、张炯曦等。

由于编写时间仓促和编写者水平的局限，书中不当或错误之处在所难免，敬请读者朋友批评指正。作者联系方式：shj_cas@sina.com。

编 者

2005 年 11 月

目 录

前言

第 1 篇 基础学习篇

第 1 章 ANSYS/LS-DYNA 基础知识	2
1.1 LS-DYNA 计算程序的发展过程	2
1.2 LS-DYNA 程序的分析功能与应用范围	3
1.2.1 LS-DYNA 动力分析功能综述	3
1.2.2 LS-DYNA 行业应用范围	4
1.3 ANSYS/LS-DYNA 的工作环境	8
1.4 ANSYS/LS-DYNA 的一般分析过程	11
1.5 ANSYS/LS-DYNA 的程序组织和文件系统	12
1.6 LS-DYNA 显式动力分析的基本概念	14
第 2 章 建立显式动力分析的模型	16
2.1 显式动力分析建模概述	16
2.1.1 建模的一般流程	16
2.1.2 建模的基本原则	17
2.2 常用的基本概念	18
2.2.1 坐标系与建模工作平面	18
2.2.2 组元、PART 与 PART 集	20
2.2.3 刚体	22
2.3 开始一个新的分析	23
2.3.1 工作环境初始化设置	23
2.3.2 定义单元类型及相关的实参数	24
2.3.3 定义分析所需的材料模型	26
2.4 ANSYS 建模常用操作及命令群组	27
2.5 按自底向上的顺序建立几何模型	29
2.6 实体建模与各种实体操作	32
2.6.1 体素的概念及其建立	32
2.6.2 布尔操作及相关的命令	34
2.6.3 其他常用的实体建模操作	36
2.7 建立有限元模型	38
2.7.1 自由网格与映射网格	38

2.7.2	网格划分的基本设置	40
2.7.3	形成有限单元网格的操作	41
2.8	定义接触信息	42
2.9	一个演示性的例子——模型的建立	44
2.9.1	问题描述与分析的规划	44
2.9.2	创建分析模型	45
2.9.3	定义接触面	48
第 3 章	载荷、约束与边界条件	51
3.1	显式分析荷载概述	51
3.2	施加显式分析的荷载	53
3.3	施加初始条件	55
3.4	施加边界条件	56
3.5	施加约束条件	57
3.6	一个演示性的例子（续）——加载	59
第 4 章	显式分析求解	62
4.1	分析的基本参数设定	62
4.1.1	设定 LS-DYNA 的计算终止时间	62
4.1.2	显式分析参数控制选项	63
4.1.3	计算过程中文件的输出控制	65
4.2	求解过程与重新启动	67
4.2.1	求解过程的描述	67
4.2.2	求解过程的监控	69
4.2.3	重新启动	70
4.3	一个演示性的例子（续）	71
第 5 章	ANSYS 后处理	73
5.1	显式分析后处理概述	73
5.2	通用后处理器 POST1 的使用	73
5.3	时间历程后处理器 POST26 的使用	74
5.3.1	时间历程变量观察器	74
5.3.2	POST26 的后处理过程	77
5.3.3	读取 ASCII 结果信息	79
5.4	报告生成器 Report Generator 的使用	80
5.5	一个演示性的例子（续）——后处理	80

第 2 篇 深入提高篇

第 6 章	LS-DYNA 关键字文件	86
--------------	----------------------------	-----------

6.1	关键字文件概述	86
6.1.1	什么是 LS-DYNA 关键字文件	86
6.1.2	关键字文件的一般格式与组织关系	87
6.2	模型信息关键字	87
6.2.1	节点、单元以及部件信息	88
6.2.2	材料及状态方程关键字	90
6.2.3	边界条件及接触信息	91
6.3	初始条件、约束及加载关键字	93
6.3.1	初始条件信息关键字	93
6.3.2	约束信息关键字	93
6.3.3	加载关键字	94
6.4	其他常见关键字	95
6.5	关键字编辑与修改	96
6.6	关键字文件举例	97
第 7 章	LS-PREPOST 后处理	102
7.1	LS-PREPOST 概述与基本工作环境	102
7.1.1	LS-PREPOST 概述	102
7.1.2	LS-PREPOST 程序界面说明	103
7.1.3	鼠标键盘操作	104
7.2	下拉菜单的功能	104
7.3	图形绘制区域	106
7.4	常用的显示控制按钮	106
7.5	动画播放控制台	107
7.6	主菜单的常用操作	108
7.6.1	Fcomp 菜单	109
7.6.2	SelPar 菜单	110
7.6.3	Ident	111
7.6.4	History	112
7.6.5	Color 菜单项	114
7.6.6	Splitw 菜单项	115
7.6.7	Output 菜单项	115
7.6.8	Ascii 菜单项	116
第 8 章	LS-DYNA 常用算法及特殊分析选项	117
8.1	三维 SOLID 单元的基本显式算法	117
8.1.1	基本方程和控制条件	117
8.1.2	有限元空间离散	118
8.1.3	显式时间积分与时步控制	122

8.2	LS-DYNA 的动态接触算法简介	123
8.2.1	基本概念及方法概述	123
8.2.2	各种接触类型的特性	125
8.3	特殊求解控制技术	126
8.3.1	沙漏控制技术	126
8.3.2	质量缩放与混合时间积分	127
8.4	ALE 和 Euler 方法简介	128
8.5	自适应网格划分及 SPH 算法简介	130
第 9 章	LS-DYNA 的单元特性	132
9.1	显式单元概述	132
9.2	杆件结构单元	132
9.3	2-D 及 3-D 实体单元	135
9.4	薄壳单元	138
9.5	质量、弹簧以及阻尼单元	140
第 10 章	LS-DYNA 的材料模型	144
10.1	ANSYS/LS-DYNA 材料模型概述	144
10.2	弹性材料模型	145
10.2.1	线弹性材料模型	145
10.2.2	非线性弹性材料模型	147
10.3	塑性材料模型	149
10.4	状态方程及相关的材料模型	156
10.5	离散单元模型	157
10.5.1	弹簧的材料模型	158
10.5.2	阻尼器模型	161
10.5.3	索模型	162
10.6	刚性体模型	163

第 3 篇 工程实例篇

第 11 章	冲击动力问题的仿真分析	166
11.1	LS-DYNA 分析冲击动力问题的注意事项	166
11.2	打桩过程中桩身的动应力分析	167
11.2.1	问题描述与分析过程规划	167
11.2.2	建模与计算	167
11.2.3	结果后处理及分析	175
11.3	薄壁钢管在轴向冲击作用下的屈曲	180
11.3.1	建立分析模型	180

11.3.2	分析选项设置与递交求解	187
11.3.3	结果观察与分析	190
第 12 章	侵彻动力问题的分析	193
12.1	LS-DYNA 模拟侵彻问题的一般方法	193
12.2	分析实例: 钢弹丸以一定角度斜侵彻厚钢板	194
12.2.1	问题描述与分析过程规划	194
12.2.2	建立分析模型	195
12.2.3	递交求解与结果分析	211
第 13 章	地震作用下建筑结构的振动过程仿真	220
13.1	LS-DYNA 结构地震作用仿真概述	220
13.1.1	地震波及其在 LS-DYNA 程序中的输入	220
13.1.2	结构地震作用分析方法简介	221
13.1.3	LS-DYNA 程序在结构动力时程分析中的应用	222
13.2	某多层框架建筑的弹性时程分析	223
13.2.1	问题描述与分析过程规划	223
13.2.2	建模与加载	224
13.2.3	求解与结果分析	230
13.3	多层框架建筑的弹塑性时程分析	236
第 14 章	工业产品的跌落过程仿真	238
14.1	跌落测试数值仿真概述	238
14.2	ANSYS/LS-DYNA 跌落测试模块 DTM	239
14.2.1	ANSYS/LS-DYNA 跌落分析的基本流程	239
14.2.2	一些特殊的选项	241
14.3	一个简单例题——空调冷凝器外箱的跌落分析	242
14.3.1	建立对象模型	243
14.3.2	参数设置与计算	252
14.3.3	观察分析结果	254
第 15 章	工程爆破问题的仿真分析	257
15.1	爆炸问题数值模拟概述	257
15.2	土中爆炸扩腔过程的数值模拟	259
15.2.1	分析过程的规划	259
15.2.2	建模以及求解	260
15.2.3	观察分析结果	269
15.3	烟囱爆破拆除过程的简化分析	274
15.3.1	爆破拆除原理及数值分析概述	274
15.3.2	一个烟囱爆破倒塌的简化分析	275
附录 A	ANSYS 的 ED 命令及相应关键字	290

附录 B 常用 ANSYS 建模命令参考293

附录 C *SECTION 关键字及单元算法选项.....303

附录 D 常用材料模型及关键字.....308

附录 E 协调单位及导出方法.....310

参考文献311

第 1 篇 基础学习篇

本篇内容导读

近年来,结构动力仿真研究工作和工程应用都取得了迅速的发展。20 世纪 90 年代中后期,著名的通用显式动力分析程序 LS-DYNA 被引入中国,很快在相关的工程领域中得以广泛应用,目前已成为国内科研人员开展数值实验的有力工具。

本篇是学习 LS-DYNA 的入门篇,旨在引导初学者由浅入深地了解和掌握 LS-DYNA 显式动力仿真软件的基本知识和基本操作,考虑到 ANSYS 分析环境使用的广泛性,本篇内容组织上以 ANSYS/LS-DYNA 仿真分析操作为主线,结合一个空心金属球壳冲击刚性平台的演示性例子,介绍显式动力建模、加载、求解以及后处理的全过程。同时也将对 LS-DYNA 的后处理器 LS-PREPOST 的基本操作方法及 LS-DYNA 程序关键字 Keyword 进行简单介绍。

由于 LS-DYNA 软件包的分析功能十分强大,其中包含很多专业性特别强的模块,因此在具体操作的介绍中,本篇只结合 ANSYS 前处理介绍最为基础和常用的部分,通常是初学者必须掌握的关键操作和基本功。有了本篇的基础,读者很容易在其专业领域中上手进行一些简单问题的数值仿真分析。在使用中继续学习和提高,实际上是最为高效的学习复杂分析软件的途径。一些高级的内容,将在下一篇中进行介绍。

第 1 章 ANSYS/LS-DYNA 基础知识

本章导读

近年来,非线性结构动力仿真分析方面的研究工作和工程应用取得了很大的发展。20 世纪 90 年代中后期,著名的通用显式动力分析程序 LS-DYNA 被引入中国,在相关的工程领域中迅速得到广泛的应用,已成为国内科研人员开展数值实验的有力工具。

LS-DYNA 的显式算法特别适合于分析各种非线性结构冲击动力学问题,如爆炸、结构碰撞、金属加工成形等高度非线性性的问题,同时还可以求解传热、流体以及流固耦合问题。

LSTC 公司和 ANSYS 公司合作推出的 ANSYS/LS-DYNA 软件,结合了 LS-DYNA 强大的显式动力分析方法与 ANSYS 的前后处理功能。对于曾经接触过 ANSYS 结构分析的读者而言,该程序无疑是最理想的辅助动力分析工具。

本章的目的在于全面介绍 ANSYS/LS-DYNA 的基础知识,包括下面的几个主题:

- ◇ LS-DYNA 计算程序的发展过程
- ◇ LS-DYNA 的分析功能与应用范围
- ◇ ANSYS/LS-DYNA 的工作环境
- ◇ ANSYS/LS-DYNA 的一般分析过程
- ◇ ANSYS/LS-DYNA 的程序组织和文件系统
- ◇ LS-DYNA 显式动力分析的基本概念

1.1 LS-DYNA 计算程序的发展过程

1976 年,美国 Lawrence Livermore 国家实验室 J. O. Hallquist 博士主持开发完成了 DYNA 程序系列,主要目的是为武器设计提供分析工具。

1986 年部分 DYNA 源程序在 Public Domain (北约局域网) 发布,从此在研究和教育机构广泛传播,被公认为是显式有限元程序的先导,是目前所有显式求解程序的基础代码。

1988 年, J. O. Hallquist 创建 LSTC 公司 (Livermore Software Technology Corporation), 推出 LS-DYNA 程序系列,主要包括显式 LS-DYNA2D、LS-DYNA3D,隐式 LS-NIKE2D、LS-NIKE3D、热分析 LS-TOPAZ2D、LS-TOPAZ3D,前后处理 LS-MAZE、LS-ORION、LS-INGRID、LS-TAURUS 等商用程序,逐步规范和完善程序的分析功能,陆续推出 930 版 (1993 年) 和 936 版 (1995 年),同时增加了汽车安全性分析、金属板的冲压成形以及流固耦合 (ALE 算法和 Eluer 算法),使得 LS-DYNA 程序系统的应用范围不断扩大,并建立起完备的软件质量保证体系。

1997 年, LSTC 公司将 LS-DYNA2D、LS-DYNA3D、LS-TOPAZ2D、LS-TOPAZ3D 等程序合成一个软件包,称为 LS-DYNA (940 版), PC 版的前处理采用 ETA 公司的 FEMB,同时新开发了后处理程序 LS-POST。

此后, LS-DYNA 又经过多次改进和扩充。

1999年8月, LS-DYNA 发布 950 版本, 增加了 LS-NIKE2D、LS-NIKE3D 隐式分析模块, 确定了软件的发展策略, 即通过一个求解核心解决 Implicit 与 Explicit 问题。此外还在以前版本的基础上增加了一些新的材料模型和计算功能, 如边界元法和 SPH 法。

LS-DYNA960 版于 2001 年 5 月发布, 它在 950 版的基础上增加了不可压缩流体求解模块, 并增加了一些新的材料模型和新的接触算法。

时隔不到两年, LS-DYNA 970 版于 2003 年 3 月面世, 是目前 LS-DYNA 的最新版本。970 版除了秉承以往版本强大的运算能力之外, 更加精益求精地不同计算领域及方法上做了进一步的整合。

在 LS-DYNA 发展历程中, 与 ANSYS 的合作是具有重要意义的事件之一。1996 年, LSTC 公司和 ANSYS 公司开始进行技术和市场方面的合作, 共同推出了 ANSYS/LS-DYNA 的第一个版本 5.5, 目前最新版本的 ANSYS/LS-DYNA 已支持 LS-DYNA970 的大部分功能。

ANSYS/LS-DYNA 的推出, 使得熟悉 ANSYS 操作的用户可以充分地利用 ANSYS 的仿真分析环境来实现 LS-DYNA 显式分析的建模以及计算结果的后处理。如果已经熟悉 ANSYS, 那么在这个基础上将很容易上手使用 ANSYS/LS-DYNA 来处理各种动态问题。

1.2 LS-DYNA 程序的分析功能与应用范围

1.2.1 LS-DYNA 动力分析功能综述

LS-DYNA 是功能齐全的非线性显式分析程序包, 可以求解各种几何非线性、材料非线性和接触非线性问题。其显式算法特别适合于分析各种非线性结构冲击动力学问题, 如爆炸、结构碰撞、金属加工成形等高度非线性的问题, 同时还可以求解传热、流体以及流固耦合问题。其算法特点是以 Lagrange 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、流固耦合功能; 以非线性动力分析为主, 兼有静力分析功能(如预应力结构动力分析前的预应力计算以及金属板材冲压成形后的回弹分析), 是军用和民用相结合的通用结构分析非线性有限元程序。

LS-DYNA 具有丰富的单元库, 具有二维、三维实体单元, 薄、厚壳单元, 梁单元以及 ALE、Eulerian、Lagrangian 单元等, 各类单元又有多种算法可供选择, 具有大位移、大应变和大转动性能, 单元积分采用沙漏粘性阻尼以克服零能模式, 计算速度快, 可满足各种实体结构、薄壁结构和流固耦合问题的有限元网格剖分的需要。关于 LS-DYNA 单元的具体类型以及算法选项将在后面专列一章进行介绍。

在材料模型方面, LS-DYNA 目前拥有近 150 余种金属和非金属材料模型, 涵盖了弹性、弹塑性、超弹、泡沫、玻璃、地质、土壤、混凝土、流体、复合材料、炸药、刚体等各种材料模型以及多种气体状态方程, 可以考虑材料的失效、损伤、粘性、蠕变、与温度相关、与应变率相关等材料性质。此外, 程序还支持用户自定义材料功能。

LS-DYNA 的全自动接触分析功能非常易于使用, 有 50 多种可供选择的接触分析方式, 可以求解各种柔性体与柔性体、柔性体与刚性体、刚性体与刚性体之间的接触问题, 并可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。此外, LS-DYNA 程序采用材料失效和侵蚀接触(Eroding Contact)算法, 可以成功地分析高速弹丸对靶板的穿甲过程。关于

详细的算法原理和接触分析选项可参阅本书的第 8 章及附录的相关内容。

1.2.2 LS-DYNA 行业应用范围

LS-DYNA 已经在很多工业领域得到了深入广泛的应用，解决了许多理论分析和实验不容易解决的问题，有力地促进这些行业的技术发展，产生了深远的影响。表 1-1 所示为 LS-DYNA 在各种工程领域中的应用及其涉及到的一些具体的行业性技术问题。

表 1-1 LS-DYNA 显式动力分析的工程应用领域

工程应用领域	具体的行业问题
航空航天工程	飞机结构冲击动力学仿真分析，火箭级间分离模拟
土木建筑工程	地震工程、工程爆破拆除、混凝土结构分析
国防工业	侵彻动力学分析，战斗部结构分析，爆炸冲击效应分析
汽车工业	整车结构分析、假人、气囊、安全带的模拟
石油工业	管道动力学、流固耦合振动的分析、石油平台结构的分析与设计
加工制造业	金属以及塑料的切割、冲压、锻造、铸造、挤压/拉伸成形过程的模拟
电子工业	电子产品的跌落测试分析
材料工程	新材料的研制和变形特性分析

下面是一系列在文献中发表的 LS-DYNA 的分析实例。

如图 1-1 所示是 LS-DYNA 分析程序在航空航天领域中的应用实例，即空中的飞鸟与高速飞行物撞击过程的分析，其中用到了多物质流固耦合技术以及 ALE 算法。

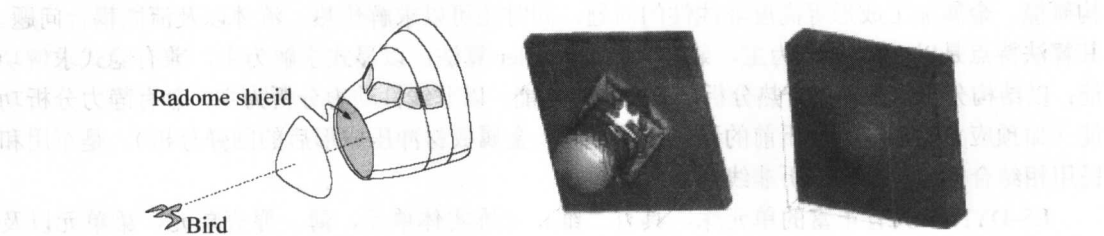


图 1-1 鸟撞飞行物的过程仿真

如图 1-2 所示是 LS-DYNA 在结构分析中的应用实例，分析对象为钢结构的柱脚锚栓，该分析的难点在于正确建立各部件之间的接触关系。

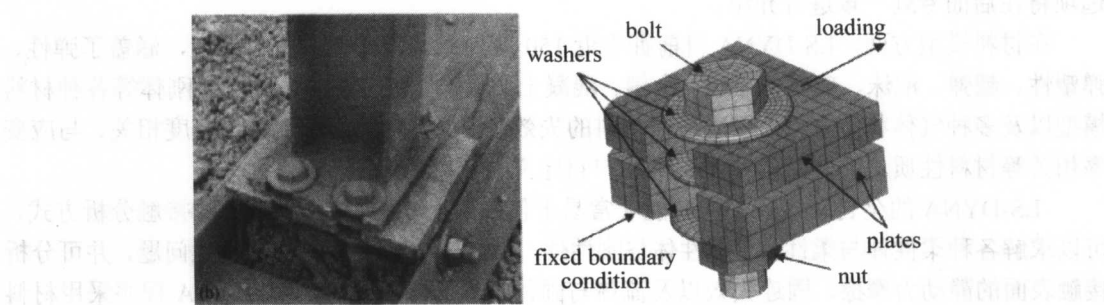


图 1-2 钢结构柱脚锚栓的仿真分析

如图 1-3 所示为利用 LS-DYNA 进行钢结构构件的屈曲分析, 比较了有无加筋构造的薄壁钢柱试件的屈曲形态。

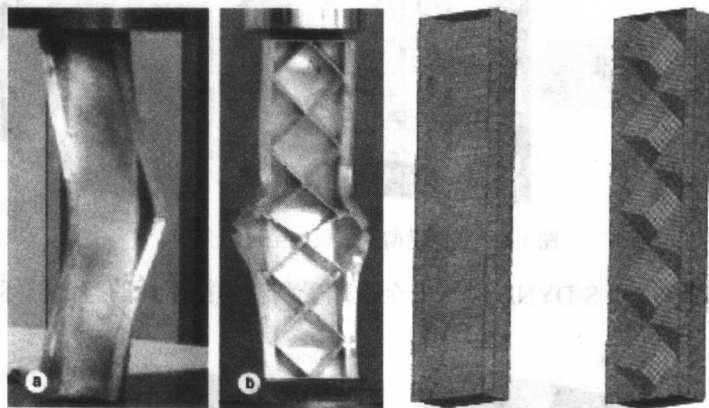


图 1-3 钢柱的失稳屈曲分析

如图 1-4 所示为利用 LS-DYNA 分析城市地下铁道通过过程中, 周围介质的波动效应以及可能引起的地表震动问题, 为了节约计算机时, 采用了半个模型。在波动问题的分析中, 必须克服有限模型的边界面反射效应, LS-DYNA 程序提供的无反射边界正好可解决这一问题。

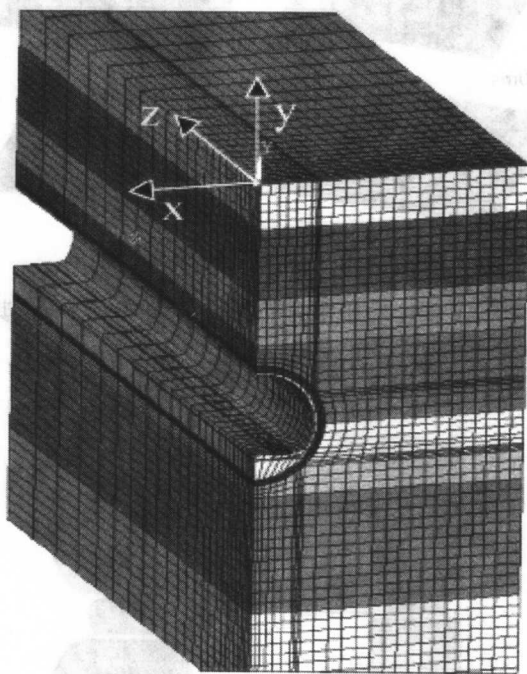


图 1-4 城市地铁运行过程的地下震动模拟(半模型)

如图 1-5 所示为 LS-DYNA 在军工行业的应用实例, 分析的问题为高速运动的弹丸击穿金属板。结果显示了网格的变形以及金属板被击穿过程中的应力分布情况。

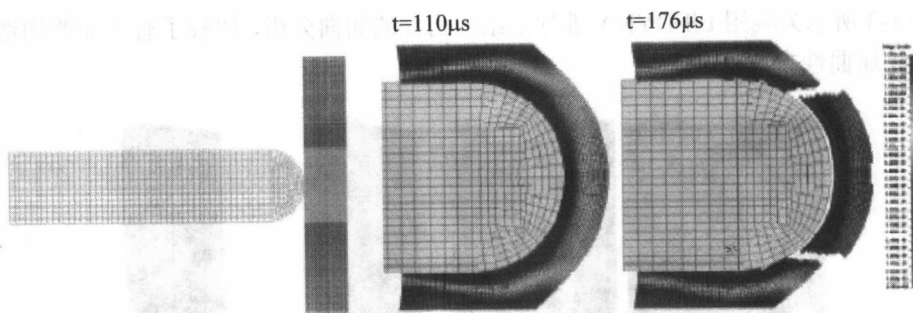


图 1-5 弹丸侵彻金属板的全过程分析

如图 1-6 所示是通过 LS-DYNA 分析安全玻璃受到物体撞击后的整个破坏过程。

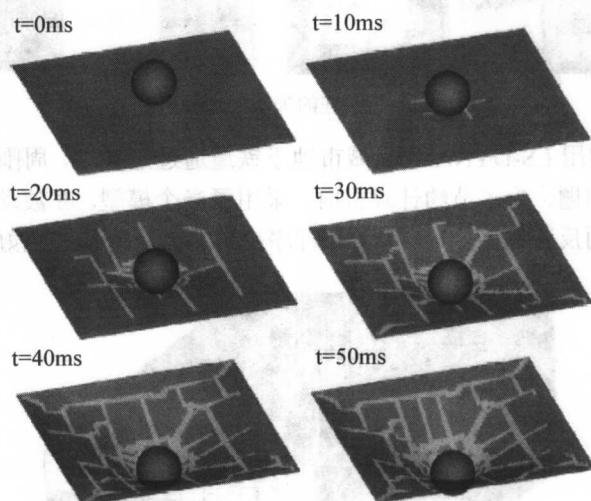


图 1-6 安全玻璃的撞击破坏过程

如图 1-7 所示是 LS-DYNA 程序在机械工程中应用的一个案例，其目的是分析机械系统的机轴之间的临界摩擦问题。

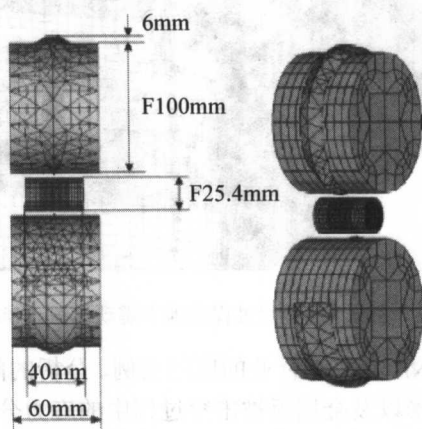


图 1-7 机轴间的临界摩擦分析