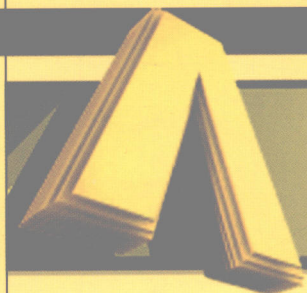


时党勇 李裕春 张胜民 编著



基于ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析



清华大学出版社

时党勇 李裕春 张胜民 编著

基于ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了 LS-DYNA 的功能特点、发展沿革、文件系统、输入数据格式、常用前后处理器和 ANSYS/LS-DYNA 8.1 的操作使用方法及注意事项,并重点给出 18 个典型算例的求解流程。算例主要包括弹体对目标的侵彻、炸药在岩土中的爆炸、泰勒杆冲击、爆炸成型弹丸和聚能射流的形成等。一些算例分别采用了不同的计算模型(二维或三维)和算法(平面应变、轴对称、自适应网格、ALE、欧拉或多物质材料方法),并对计算结果进行了比较。算例计算模型准确,步骤简明扼要,可操作性强,所有算例均附有 K 文件。

本书可以作为理工科院校和科研院所的有关专业高年级本科生、研究生及教师学习使用 ANSYS/LS-DYNA 的教材或参考书,也可以作为汽车、国防军工、电子、石油、航空航天、土木工程、造船、制造和建筑等行业的工程技术人员学习 ANSYS/LS-DYNA 的参考资料。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析/时党勇,李裕春,张胜民编著. — 北京:清华大学出版社,2005.1
ISBN 7-302-10135-3

I. 基… II. ①时… ②李… ③张… III. ①有限元分析—应用程序,ANSYS—高等学校—教材
②机械设计:计算机辅助设计—应用软件,LS-DYNA 8.1—高等学校—教材 IV. ①O241.82
②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 133444 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:刘 颖

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:24.25 字数:502 千字

版 次:2005 年 1 月第 1 版 2005 年 10 月第 2 次印刷

书 号:ISBN 7-302-10135-3/TB·85

印 数:3001~5000

定 价:39.00 元

前 言

经过将近三年的精心筹划和写作,这本书终于完成了。

LS-DYNA 是世界上著名的显式动力分析有限元程序,可以精确可靠地处理各种高度非线性问题,如碰撞分析、爆炸分析、冲压成型分析、常规武器设计、跌落分析、热分析和流固耦合分析等。该软件自 20 世纪 90 年代引入国内以来,在汽车、国防军工、电子、石油、航空航天、制造和建筑等行业得到越来越广泛的应用。

笔者在多年学习和研究 LS-DYNA 的过程中,一方面深深感受到其功能的强大,另一方面也体会到精通 LS-DYNA 的不易。LS-DYNA 由于其独特的算法和运行机制,除要求使用者具备扎实的有限元、力学和数学等知识外,也非常强调使用者的实践和反复练习体会。目前,公开出版的 LS-DYNA 学习资料非常少,清华大学出版社曾于 2003 年初出版了《基于有限元软件 ANSYS 7.0 的结构分析》一书。在该书第八章“ANSYS/LS-DYNA 使用基础”中,简单介绍了 ANSYS/LS-DYNA 的使用方法,并给出两个具体而详实的算例(侵彻和爆炸),非常便于初学者学习,算是第一本公开发行的与 LS-DYNA 有关的图书。从网上资料来看,尽管有很多有限元资讯网站,例如 LSTC 公司网站(www.lstc.com)和中国仿真互动网(www.simwe.com),提供了许多学习 LS-DYNA 的范例,但这些资料大多比较简单,有些只给出结果图片,都没有具体介绍这些范例求解过程的详细操作步骤和方法,使得许多使用者不得要领。此外,LS-DYNA 的前后处理器多达几十种,初学者在选择上也面临诸多困惑。

鉴于 LS-DYNA 的使用者尤其是初学者的迫切需求,笔者在自我总结的基础上,精选了 18 个算例,以 ANSYS/LS-DYNA 8.1 为工具,详细而具体地介绍了这些算例的 step by step 流程。算例内容主要涉及炸药在空气、水和岩土中的爆炸、弹体对目标的侵彻、泰勒杆冲击、爆炸成型弹丸和聚能射流的形成等方面,一些算例分别采用了不同的计算模型和算法并进行了比较。读者在依照操作流程完成计算后,可以迅速掌握 ANSYS/LS-DYNA 8.1 的操作使用方法,加深对 LS-DYNA 的理解,有经验的读者可以将一些简化模型扩展到全尺寸模型或考虑更复杂的情况进行计算。书中各算例均给出了求解所需的 K 文件,供读者参阅。

本书的重点在于介绍 ANSYS/LS-DYNA 8.1 的使用方法和操作流程,以及模型建立的方法技巧与后处理程序的使用。由于 LS-DYNA 的复杂性,书中不当和错误之处,

敬请广大读者批评指正。读者如有疑难、意见、建议或需本书算例 K 文件的电子版,可发送邮件至 pla414100@sina.com 或 sdyyds2004@sina.com 或 liyuchunmail@sina.com。

作 者
2004 年 12 月

目 录

第 1 章 LS-DYNA 简介	1
1.1 学习 LS-DYNA 的指导思想	1
1.2 数值模拟技术的工程应用	2
1.3 LS-DYNA 发展沿革	6
1.4 LS-DYNA 970 的功能特点	7
1.5 LS-DYNA 与其他 CAE 软件的比较	12
1.6 LS-DYNA 文件系统	15
1.7 LS-DYNA 输入文件数据格式	16
1.8 LS-DYNA 常用前后处理器	18
第 2 章 ANSYS/LS-DYNA 8.1 使用方法	25
2.1 ANSYS/LS-DYNA 8.1 的主要特征	25
2.2 前处理	29
2.2.1 定义单元类型	29
2.2.2 定义材料属性	31
2.2.3 建立实体和有限元模型	35
2.2.4 PART 和刚性体	59
2.2.5 定义接触	63
2.2.6 加载、约束和初始速度定义	68
2.2.7 求解设置	73
2.2.8 LS-DYNA 输入文件(K 文件)的生成与修改	80
2.3 求解和过程控制	82
2.3.1 递交关键字文件	82
2.3.2 求解过程转换开关	84
2.3.3 重启动分析	85
2.4 后处理	89
2.4.1 ANSYS 后处理	89
2.4.2 LS-PREPOST 后处理	92

第 3 章 弹体对目标的侵彻	96
3.1 弹体对两层间隔金属靶的侵彻	96
3.1.1 弹体侵彻两层间隔金属靶的二维拉格朗日方法	96
3.1.2 弹体侵彻两层间隔金属靶的二维 ALE 方法	119
3.1.3 弹体侵彻两层间隔金属靶的三维拉格朗日方法	130
3.2 高速弹丸侵彻混凝土靶板	150
3.2.1 问题描述	151
3.2.2 建模分析	151
3.2.3 求解步骤	152
3.2.4 后处理	160
3.3 高速弹体侵彻水介质	165
3.3.1 问题描述	165
3.3.2 建模分析	166
3.3.3 求解步骤	166
3.3.4 后处理	178
第 4 章 炸药的破坏效应	184
4.1 装药爆炸对钢板的破坏效应	184
4.1.1 问题描述	184
4.1.2 建模分析	184
4.1.3 求解步骤	185
4.1.4 后处理	195
4.2 炸药在土壤内部爆炸作用	199
4.2.1 问题描述	199
4.2.2 建模分析	199
4.2.3 求解步骤	201
4.2.4 后处理	210
4.3 集团装药无限水域中爆炸	216
4.3.1 问题描述	216
4.3.2 建模分析	217
4.3.3 求解步骤	217
4.3.4 后处理	230

4.4	集团装药浅层水中爆炸	235
4.4.1	问题描述	235
4.4.2	建模分析	235
4.4.3	求解步骤	236
4.4.4	后处理	244
第5章	成型装药的爆炸作用	250
5.1	爆炸成型弹丸的形成	250
5.1.1	爆炸成型弹丸的二维模拟	250
5.1.2	爆炸成型弹丸的三维模拟	264
5.2	聚能射流的形成	282
5.2.1	线型聚能射流的二维模拟	282
5.2.2	圆锥罩聚能射流的二维模拟	297
5.3	线型聚能射流形成及侵彻钢板	313
5.3.1	问题描述	313
5.3.2	建模分析	313
5.3.3	求解步骤	313
5.3.4	后处理	326
第6章	泰勒杆冲击	331
6.1	泰勒杆冲击的拉格朗日方法	331
6.1.1	问题描述	331
6.1.2	建模分析	331
6.1.3	求解步骤	332
6.1.4	后处理	337
6.2	泰勒杆冲击的 ALE 方法	340
6.2.1	建模分析	340
6.2.2	求解步骤	340
6.2.3	后处理	342
6.3	泰勒杆冲击的欧拉方法	346
6.3.1	建模分析	346
6.3.2	求解步骤	347
6.3.3	后处理	353

第 7 章 跌落分析	358
7.1 问题描述	358
7.2 建模分析	358
7.3 求解步骤	359
7.4 后处理	371
附录 A 流固耦合分析相关关键字	377
附录 B 爆炸分析相关关键字	378
参考文献	380

第 1 章 LS-DYNA 简介

在对 LS-DYNA 的使用方法、计算实例进行实质性介绍之前,本章对学习 LS-DYNA 的指导思想、LS-DYNA 的功能特点及其相关基础知识予以简明阐述,帮助读者确立 LS-DYNA 的基本意识,为读者掌握实际的显式动力分析计算打下基础。

1.1 学习 LS-DYNA 的指导思想

一种良好的学习指导思想是快速掌握 LS-DYNA 的要诀。

大多数用户都有一种“完美主义”情节,在学习一种软件时总是企图掌握所有的操作。但其实这种完美主义是毫无必要而且也几乎是不可能的。

现在成熟的商业软件功能极为强大,许多功能极为偏僻,即使专业人士也很少使用。计算机软件应用中存在着“二八定律”,即软件 20% 的功能可供用户在 80% 的情况下使用,而其余 80% 的功能只是为用户在 20% 的情况下准备的。即使用户花费巨大的精力,弄通了软件的所有功能,绝大部分功能在一般情况下都是用不到的。读者不妨以常见的 Word 软件为例,看看自己掌握的 Word 操作在其全部功能中所占的比重。如果不是专业的字处理人员,一般来说掌握的 Word 操作是相当有限的,但只要掌握了 Word 这些非常有限的、常用的操作,进行普通的文字处理就已经是绰绰有余的了。

初学者掌握一种软件的关键是如何快速掌握这种软件最常用的 20% 功能。就应用而言,“在游泳中学会游泳”、现学现用是最好的学习软件的方式。没有必要将一种软件的所有功能都了如指掌。掌握好软件最常用的 20% 功能,然后再在实践过程中根据需要进行学习软件剩下的功能,比从一开始就企图学会软件所有的功能要容易得多、实用得多。

这种提法的核心是“以速度换成本”,也就是高速。高速是这个时代的特点。不一定要了解所有的东西,而是先使用,在使用的过程中再去了解;否则等你完全了解时,也许它已经过时了。我们要做的不一定是神枪手,而是快枪手。

学习 LS-DYNA,目的就是基于 LS-DYNA 进行各种显式动力分析。掌握 LS-DYNA 好坏程度的标准不是“知道不知道”,不是 LS-DYNA 的名词记住了多少,命令背得熟不熟,而是会不会用 LS-DYNA 来进行实际问题的计算。因此,掌握最重要、最常见的操作是最必需的,余下的“枝枝末末”等用户在解决实际问题中慢慢去领会、掌握。

LS-DYNA 中常用的操作比较有限,掌握好常用的操作就足够一般的用户进行实际计算了——事实上对一个初学者而言,想一步掌握 LS-DYNA 所有的功能几乎是不可能

的,当然也是不必要的。

在理解各种常用操作的含义和实现手段后,通过大量的典型实例练习可以提高读者的动手能力。在实例中学习 LS-DYNA,操作技巧、实际计算能力能得到同步提高,这与哈佛 MBA 的“案例式教学”道理是一样的。在后续章节中,介绍各种分析技巧的同时,将配备各式实例,详细阐述它们的计算过程,方便读者理解和掌握。

对绝大部分 LS-DYNA 用户来说,LS-DYNA 不是一个专业,不是一种理论课程,而是一门工具。因此应当强调以应用为目的,以应用为出发点,不然就算背熟各种命令,不会实际计算仍是枉然。

学习 LS-DYNA 时,不应从理论入手,不应从命令入手,而应从实际问题入手,力争做到学以致用,急用先学、立竿见影,而不必过分强调理论的必需性、学科的系统性和完整性,会解决具体的问题才是最重要的。

学习 LS-DYNA,应当拿着书对着计算机学。边学习边实践,“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行”。用户的 LS-DYNA 水平和他的上机时间、实际计算的多少是紧密相关的。学习过程中,用户可以大胆地实践各种操作,这样可以加深加速对一知半解操作的理解,甚至会收到意想不到的奇妙效果。千万不要担心出错,即使出错,也可以重新再来。

1.2 数值模拟技术的工程应用

许多常规武器设计、工程爆破、爆炸加工、工程防护、高压合成新材料和爆炸灾害的防护等工程分析问题,从理论上可以归结为以下几个内容:

- (1) 炸药在各种形式初始冲能作用下的起爆;
- (2) 爆轰的传播与控制;
- (3) 爆轰产物的运动;
- (4) 爆炸对薄层介质的驱动加速;
- (5) 爆炸加载下应力波的传播及材料的破坏;
- (6) 炸药在空气、混凝土、岩土和水中爆炸;
- (7) 高速碰撞,弹丸、长杆及射流对目标的侵彻;
- (8) 爆炸加载下材料的化学反应及相变。

这些内容所涉及的过程通常用流体力学和弹塑性动力学模型来描述,根据情况采用一维或多维空间,综合化学反应方程、反应率方程、热传导方程和材料本构关系等,成为包含有线性和非线性偏微分方程、常微分方程、积分方程、泛函方程及代数方程的一个封闭方程组,根据具体情况有不同的初始条件和边界条件。这些方程只有在极其简化情况下才可以得到一些解析解,一般只限于包含两个自变量的平面问题。这种方法在有限的情况下是可行的,但是过多的简化可能导致过大误差,甚至产生错误的结果。随着科学

与生产的发展,解析解已经远远不符合要求,人们把注意力转向数值解,因为数值解对控制方程的限制宽得多,可以得到更接近实际情况的解。因此,人们在广泛吸收现代数学、力学理论的基础上,借助现代科学技术的产物——计算机来获得满足工程要求的数值解,这就是数值模拟技术。数值模拟是现代工程学形成和发展的重要推动力之一。

目前在爆炸冲击效应技术领域主要的数值模拟方法包括有限单元法、有限差分法、有限体积法等。有限差分方法是先建立微分方程组(控制方程),然后用网格覆盖空间域和时间域,用差分近似替代控制方程中的微分,进行近似的数值解,有限差分方法在流体力学和爆炸力学中得到广泛应用。有限元方法是先将连续的求解域分解成有限个单元,组成离散化模型,然后求其近似的数值解。有限元包括结构有限元和动力有限元,动力有限元适合于计算边界形状复杂或者包含物质界面的强动载问题计算,便于编制通用程序,在冲击问题的模拟计算方面得到了迅速发展和广泛应用。有限体积法是在物理空间将偏微分方程转化为积分形式,然后在物理空间中选定的控制体积上把积分形式守恒定律直接离散的一类数值方法,适用于任意复杂的几何形状的求解区域,是在吸收了有限元方法中函数的分片近似的思想,以及有限差分方法的一些思想发展起来的高精度算法,目前已在复杂区域的高速流体动力学数值模拟中得到广泛应用。

有限差分方法和动力有限元方法的发展已经较为成熟,是目前冲击荷载作用下的动力结构响应数值计算中应用最多的两种方法,但结构为不连续介质时(如混凝土、裂隙岩体等),人们又发展了离散元方法、有限块体方法、数值流形法等来解决此类问题的计算。

在20世纪七八十年代,国外(主要是美国)以桑地亚、劳伦斯利弗莫尔等国家实验室为代表的一批研究机构,对爆炸冲击效应数值模拟进行了大量的研究,编制了一大批有影响的计算机程序,其中有代表性的就有三十多个,典型的如CTH和HULL等。这些程序从离散方法上分为三类:有限差分法(FDM)、有限元法(FEM)、有限体积法(FVM)。从采用的坐标类型大体可分为两种类型:拉格朗日型和欧拉型,后来又发展了任意拉格朗日——欧拉方法(ALE)和耦合拉格朗日——欧拉方法(CEL)。近年来,无网格法,特别是光滑质点动力学法(SPH)在冲击爆炸效应计算中得到了广泛应用,由于SPH法不用网格,没有网格畸变问题,所以能在拉格朗日格式下处理大变形问题,同时,SPH法允许存在材料界面,可以简单而精确地实现复杂的本构行为,也适用于材料在爆炸冲击作用下材料破坏计算。

由于数值模拟技术计算精度和可靠性高,其计算结果已经成为各类工程问题分析的依据。数值模拟把计算力学的理论成果、算法转换为工程实际问题,将最新的计算机技术、软件工具、算法和工程知识结合在一起,对教学、科研、设计、生产、管理、决策等都有很大的应用价值,为此世界各国均投入了相当多的资金和人力进行研究。数值模拟的重要性主要体现在以下几个方面:

(1) 数值模拟在某种意义上比理论和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) 数值模拟可以直观地显示出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;还可以显示出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、昂贵的甚至是难以实施的试验,如反应堆的爆炸事故、核爆炸的过程与效应等。

(3) 数值模拟促进了试验的发展,为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为可靠的理论指导。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,数值模拟软件是可以进行拷贝移植、重复利用,并可进行适当修改而满足不同情况的需求。

可以说,继理论分析和科学试验之后,数值模拟已成为科学技术发展的主要手段之一。随着软件技术和计算机技术的发展,目前国际上数值模拟软件发展呈现出以下一些趋势:

(1) 由二维扩展为三维

早期计算机的能力十分有限,受计算费用和计算机储存能力的限制,数值模拟程序大多是一维或二维的,只能计算垂直碰撞或球形爆炸等特定问题。随着第三代、第四代计算机的出现,才开始研制和发展更多的三维计算程序。现在,计算程序一般都由二维扩展到了三维,如 LS-DYNA2D 和 LS-DYNA3D、AUTODYN2D 和 AUTODYN3D。

(2) 从单纯的结构力学计算发展到求解许多物理场问题

数值模拟分析方法最早是从结构化矩阵分析发展而来,逐步推广到板、壳和实体等连续体固体力学分析,实践证明这是一种非常有效的数值模拟方法。近年来数值模拟方法已发展到流体力学、温度场、电传导、磁场、渗流等问题的求解计算,最近又发展到求解几个交叉学科的问题。例如内爆炸时,空气冲击波使墙、板、柱产生变形,而墙、板、柱的变形又反过来影响到空气冲击波的传播,这就需要用固体力学和流体动力学的数值模拟结果交叉迭代求解。

(3) 从单一坐标体系发展多种坐标体系

数值模拟软件在开始阶段一般采用单一坐标,或采用拉格朗日坐标或采用欧拉坐标,由于这两种坐标自身的缺陷,计算分析问题的范围都有很大的限制。为克服这种缺陷,采用了三种方法,一是两个程序简单组合,如 CTH—EPIC,爆炸与侵彻由不同的程序分开计算;二是在同一程序中采用多种坐标体系,如 DYNA3D 中早期采用的是拉格朗日

坐标,最新版的 LS-DYNA3D 除原有类型外,新加了欧拉方法以及拉格朗日与欧拉耦合方法,而最近几年才发展的 DYTRAN 则是拉格朗日型的 LS-DYNA3D(1988 版)与欧拉型的 PISCES 的整合体;三是采用新的计算方法,如 SPH 等。

(4) 由求解线性问题进展到分析非线性问题

随着科学技术的发展,线性理论已经远远不能满足设计的要求。诸如岩石、土壤、混凝土等,仅靠线性计算理论就不足以解决遇到的问题,只有采用非线性数值算法才能解决。众所周知,非线性的数值模拟是很复杂的,它涉及到很多专门的数学问题和运算技巧,很难为一般工程技术人员所掌握。为此,近年来国外一些公司花费了大量的人力和资金,开发了诸如 LS-DYNA3D、ABAQUS 和 AUTODYN 等专长于求解非线性问题的有限元分析软件,并广泛应用于工程实践。这些软件的共同特点是具有高效的非线性求解器以及丰富和实用的非线性材料库。

(5) 增强可视化的前置建模和后置数据处理功能

早期数值模拟计算机软件的研究重点在于推导新的高效率求解方法和高精度单元。随着数值模拟方法的逐步完善,尤其是计算机运算速度的飞速发展,整个计算系统用于求解运算的时间越来越少,而数据准备和运算结果的表现问题却日益突出。在现在的工程工作站上,求解一个包含 10 万个方程的有限元模型只需要几十分钟。但如果用手工方式来建立这个模型,然后再处理大量的计算结果则需用几周的时间。可以毫不夸张地说,工程师在分析计算一个工程问题时,有 80% 以上的精力都花在数据准备和结果分析上。因此目前几乎所有的商业化数值模拟程序系统都有功能很强的前置建模和后置数据处理模块。在强调“可视化”的今天,很多程序都建立了对用户非常友好的 GUI,使用户能以可视图形方式直观快速地进行网格自动划分,生成有限元分析所需数据,并按要求将大量的计算结果整理成变形图、等值分布图,便于极值搜索和所需数据的列表输出。

(6) 与 CAD 软件的无缝集成

与通用 CAD 软件的集成使用,即在用 CAD 软件完成结构设计后,自动生成有限元网格并进行计算,如果分析的结果不符合设计要求则重新进行构造和计算,直到满意为止,从而极大地提高了设计水平和效率。今天,工程师可以在集成的 CAD 和数值模拟软件环境中快捷地解决一个在以前无法应付的复杂工程分析问题。所以当今所有的商业化有限元系统商都开发了和 CAD 软件(例如 AutoCAD、Pro/ENGINEER、Unigraphics、SolidEdge、SolidWorks、IDEAS 等)连接的接口。

(7) 工作平台多样化

早期的数值模拟软件基本上是在大中型计算机上开发和运行的,后来又发展到以工程工作站(Engineering Work Station, EWS)上,它们的共同特点都是采用 UNIX 操作系统。PC 机的出现使计算机的应用发生了根本性的变化,工程师渴望在办公桌上完成复杂工程分析的想法成为现实。但是早期的 PC 机采用 16 位 CPU 和 DOS 操作系统,内存

中的公共数据块受到限制,因此当时计算模型的规模不能超过 1 万阶方程。Microsoft Windows 操作系统和 32 位的 Intel Pentium 处理器的推出,为 PC 机用于有限元分析提供了必需的软件和硬件支撑平台。当前国际上著名的有限元程序研究和发展机构都纷纷将他们的软件移植到 Windows 平台上。现在 64 位的 PC 机已经问世,最高档 PC 机的求解能力已和中低档的 EWS 不相上下。

1.3 LS-DYNA 发展沿革

LS-DYNA 程序最初称为 DYNA 程序,由 J. O. Hallquist 博士于 1976 年在美国 Lawrence Livermore National Laboratory(美国三大国防实验室之一)主持开发完成,其时间积分采用中心差分格式,当时主要用于求解三维非弹性结构在高速碰撞、爆炸冲击下的大变形动力响应,其目的主要是为北约组织的武器结构设计提供分析工具。软件推出后深受广大用户的青睐。以后经过 1979、1981、1982、1986、1987、1988 年版的功能扩充和不断改进,DYNA 程序已经成为国际著名的非线性动力分析软件,在武器结构设计、内弹道和终点弹道、军用材料研制等方面得到了广泛的应用。

1988 年 J. O. Hallquist 博士创建 LSTC 公司,DYNA 程序走上商业化发展历程,并更名为 LS-DYNA。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。为进一步规范和完善 DYNA 程序的研究成果,LSTC 公司陆续推出 930 版(1993 年)、936 版(1994 年)、940 版(1997 年),增加了汽车安全性分析、薄板冲压成型过程模拟,以及流体与固体耦合(ALE 和欧拉算法)等新功能,使得 DYNA 程序在国防和民用领域的应用范围扩大,并建立了完备的质量保证体系。

1997 年 LSTC 公司将 LS-DYNA2D、LS-DYNA3D、LS-TOPAZ2D、LS-TOPAZ3D 等程序合为一个软件包,称为 LS-DYNA(940 版)。由于 LS-DYNA 计算功能强大,世界上十余家著名数值模拟软件公司(如 ANSYS、MSC. software、ETA 等)纷纷与 LSTC 公司合作,极大地加强了 LS-DYNA 的前后处理能力和通用性。LS-DYNA 的 PC 版前后处理器采用 ETA 公司的 FEMB,新开发的后处理器为 LS-POST。1996 年 LSTC 公司与 ANSYS 公司合作推出 ANSYS/LS-DYNA,大大增强了 LS-DYNA 的分析能力,用户可以充分利用 ANSYS 的前后处理和统一数据库的优点。

1999 年 8 月 LSTC 公司推出 LS-DYNA 950 版。2001 年 5 月,LSTC 公司推出了 960 版,在 950 版的基础上增加了不可压缩流体求解程序模块,并增加了一些新的材料模型和新的接触计算功能。从 2001 年到 2003 年初,LSTC 公司不断完善 960 版的新功能,2003 年 3 月正式发布 970 版,并对 LS-DYNA 的通用后处理器 LS-POST 增加了部分前

处理功能,2003年初在LS-POST的基础上发布了LS-PREPOST 1.0版。

1.4 LS-DYNA 970 的功能特点

LS-DYNA 作为世界上最著名的通用显式动力分析程序,能够模拟真实世界的各种复杂问题,特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成型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 源程序曾在北约的局域网 Pubic Domain 公开发布,因此广泛传播到世界各地的研究机构和大学。从理论和算法而言,LS-DYNA 是目前所有的显式求解程序的鼻祖和理论基础,在工程应用如汽车安全性设计、武器系统设计、金属成型、跌落仿真等领域被广泛认可为最佳的分析软件包。

LS-DYNA 程序 970 版是功能齐全的几何非线性(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 多种接触模式)程序,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型后的回弹计算),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 功能特点包括:

1. 分析能力强大

利用 LS-DYNA 可以进行的分析包括:

- (1) 非线性动力学分析;
- (2) 多刚体动力学分析;
- (3) 准静态分析(钣金成型等);
- (4) 热分析;
- (5) 结构—热耦合分析;
- (6) 流体分析(包括流体与结构相互作用分析、不可压缩流体 CFD 分析);
- (7) 有限元—多刚体动力学耦合分析(MADYMO、CAL3D);
- (8) 水下冲击;
- (9) 失效分析;
- (10) 裂纹扩展分析;
- (11) 实时声场分析;
- (12) 优化设计;
- (13) 多物理场耦合分析。

2. 材料模型丰富

LS-DYNA 程序目前有 140 余种金属和非金属材料可供选择,如弹性、塑料、玻璃、泡沫、编制品、金属、橡胶、蜂窝材料、复合材料、混凝土和土壤、炸药、推进剂、粘性流体以及用户自定义材料(UDM),并可以考虑材料失效、损伤、粘性、蠕变、状态方程、与温度相关等性质。

3. 单元类型众多

LS-DYNA 程序的单元类型众多(四边形壳单元、三角形壳单元、膜单元、六面体厚壳单元、二维实体单元、三维实体单元、梁单元和安全带单元、焊单元、离散单元、束和索单元、安全带单元、节点质量单元、SPH 单元等),各类单元又有多种理论算法可供用户选择。这些单元采用 Lagrange 列式增量解法,具有大位移、大应变和大转动性能,单点积分并用沙漏粘性阻尼以克服零能模式,单元计算速度快,节省储存量,并且精度良好,可以满足各种实体结构和薄壁结构的网格剖分需要。此外,还有 Euler 六面体单元、Euler 边界单元以及 ALE(arbitrary lagrange euler)六面体单元,可以用于流体网格划分和构成流体—结构的交界面。

4. 接触分析功能

LS-DYNA 程序的全自动接触分析功能易于使用,功能强大,非常有效,有 50 多种选择可以求解下列接触问题:变形体对变形体的接触,变形体对刚体的接触,刚体对刚体的接触、板壳结构的单面接触(屈曲分析),与刚性墙接触,表面与表面的固连,节点与表面的固连,壳边与壳面的固连,流体与固体的界面等,并可考虑接触表面的静动摩擦力(库仑摩擦、粘性摩擦和用户自定义摩擦模型)和固连失效。这种技术成功地用于整车碰撞研究、乘员与柔性气囊或安全带接触的安全性分析、薄板与冲头和模具接触的金属成型、水下爆炸对结构的影响等。其他例如采用材料失效和侵蚀接触(eroding contact)可以进行高速弹体对靶板的侵蚀模拟计算。程序处理接触—碰撞界面主要采用节点约束法、对称罚函数法和分配参数法。

5. 初始条件、载荷和约束功能

LS-DYNA 程序中,初始条件、荷载和约束的定义包括:

- (1) 初始速度、初应力、初应变、初始动量(模拟脉冲载荷);
- (2) 高能炸药起爆设置;
- (3) 节点载荷、压力载荷、体力载荷、热载荷、重力载荷;
- (4) 循环约束、对称约束(带失效)、透射边界;
- (5) 给定节点运动(速度、加速度或位移)、节点约束;
- (6) 铆接、焊接(点焊、对焊、角焊);
- (7) 二个刚性体之间的连接—球形连接、旋转连接、柱形连接、平面连接、平移连接;
- (8) 位移/转动之间的线性约束、壳单元边与固体单元之间的固连;