

# 第一章 LS-DYNA 简介

## 1.1 LS-DYNA 发展概况

DYNA 程序系列最初是 1976 年在美国 Lawrence Livermore National Lab. 由 J.O.Hallquist 博士主持开发完成的, 主要目的是为武器设计提供分析工具, 后经 1979、1981、1982、1986、1987、1988 年版的功能扩充和改进, 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 创建 LSTC 公司, 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, 进一步规范和完善 DYNA 的研究成果, 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(汽车碰撞、气囊、安全带、假人)、薄板冲压成型过程模拟, 以及流体与固体耦合(ALE 和 Euler 算法)等新功能, 使得 LS-DYNA 程序系统在国防和民用领域的应用范围进一步扩大, 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 等程序合成一个软件包, 称为 LS-DYNA, PC 版的前后处理采用 ETA 公司的 FEMB, 新开发的后处理器为 LS-POST。

1996 年 LSTC 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。

2001 年 5 月推出 960 版, 它在 950 版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 增加了前处理器的功能, 2003 年初在 LS-POST 的基础上发布了 LS-PREPOST1.0 版。

## 1.2 分析能力

LS-DYNA 程序 960 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(30 多种接触类型)程序。它以 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); 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 具有很广泛的分析功能, 可模拟许多二、三维结构的物理特性:

- ◆非线性动力分析
- ◆热分析
- ◆失效分析
- ◆裂纹扩展分析
- ◆接触分析
- ◆准静态分析
- ◆欧拉场分析

- ◆任意拉格朗日-欧拉（ALE）分析
- ◆流体-结构相互作用分析
- ◆实时声场分析
- ◆多物理场耦合分析（结构、热、流体、声场等）

### 1.3 材料模型

LS-DYNA 程序目前有 140 多种金属和非金属材料模型可供选择，如弹性、弹塑性、超弹性、泡沫、玻璃、地质、土壤、混凝土、流体、复合材料、炸药及起爆燃烧、刚性及用户自定义材料，并可考虑材料失效、损伤、粘性、蠕变、与温度相关、与应变率相关等性质。

### 1.4 单元库

LS-DYNA 程序现有 16 种单元类型，有二维、三维单元，薄壳、厚壳、体、梁单元，ALE、Euler、Lagrange 单元等。各类单元又有多种理论算法可供选择，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，单元计算速度快，节省存储量，可以满足各种实体结构、薄壁结构和流体-固体耦合结构的有限元网格剖分的需要。

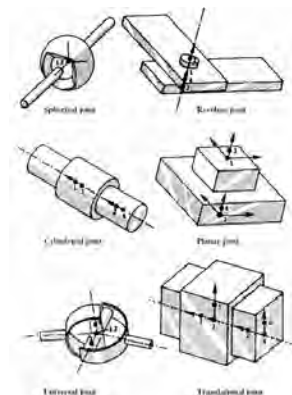
960 版本有 SPH（Smoothed Particle Hydrodynamics）算法，SPHE 算法（光顺质点流体动力算法）是一种无网格 Lagrange 算法，最早用于模拟天体物理问题，后来发现解决其它物理问题也是非常有用的工具，如连续体结构的解体、碎裂、固体的层裂、脆性断裂等。SPH 算法可以解决许多常用算法解决不了的问题，是一种非常简单方便的解决动力学问题的研究方法。由于它是无网格的，它可以用于研究变形很大的结构，具体说明参见单元章节。

### 1.5 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。现有 40 多种接触类型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力摩擦(库伦摩擦、粘性摩擦和用户自定义摩擦模型)、热传导和固连失效等。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，高速弹丸对靶板的穿甲模拟计算等,关于各种接触的区别和说明具体参见第三章基本概念和第十章汽车碰撞仿真分析。

### 1.6 初始条件、载荷和约束

- 初始速度、初应力、初应变、初始动量（模拟脉冲载荷）；
- 高能炸药起爆；
- 节点载荷、压力载荷、体力载荷、热载荷、重力载荷；
- 循环约束、对称约束（带失效）、无反射边界；
- 给定节点运动（速度、加速度或位移）、节点约束；
- 铆接、焊接（点焊、对焊、角焊）；



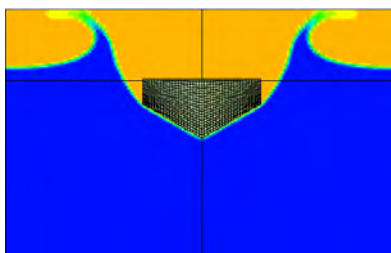
- 二个刚性体之间的连接—球形连接、旋转连接、柱形连接、平面连接、万向连接、平移连接;
- 位移/转动之间的线性约束、壳单元边与固体单元之间的固连;
- 带失效的节点固连。

## 1.7 ALE 和 Euler 算法

LS-DYNA 程序具有 Lagrange 算法和 Euler 算法, Lagrange 算法的单元网格附着在材料上, 随着材料的流动而产生单元网格的变形。但是在结构变形过于巨大时, 有可能使有限元网格造成严重畸变, 引起数值计算的困难, 甚至程序终止运算。

ALE 算法和 Euler 算法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。ALE 算法先执行一个或几个 Lagrange 时步计算, 此时单元网格随材料流动而产生变形, 然后执行 ALE 时步计算: (1) 保持变形后的物体边界条件, 对内部单元进行重分网格, 网格的拓扑关系保持不变, 称为 Smooth Step; (2) 将变形网格中的单元变量 (密度、能量、应力张量等) 和节点速度矢量输运到重分后的新网格中, 称为 Advection Step。用户可以选择 ALE 时步的开始和终止时间, 以及其频率。Euler 算法则是材料在一个固定的网格中流动, 在 LS-DYNA 中只要将有关实体单元标志 Euler 算法, 并选择输运(advection)算法就可以了。LS-DYNA 还可将 Euler 网格与全 Lagrange 有限元网格方便地耦合, 以处理流体与结构在各种复杂载荷条件下的相互作用问题

具体说明参见第十一章流固耦合分析。



物体跌落水面

## 1.8 不可压缩流场分析

LS-DYNA 不可压缩流求解器是 960 版新增加的功能, 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。

LS-DYNA 不可压缩流求解器是基于隐式时间积分、显式时间积分两种算法的。它的显式算法(一阶精度), 解耦动量守恒方程并减少了对内存的需求, 但带来损失部分精度。另一方面, 由于显式算法满足扩散和 CFD 稳定性条件, 又可提高计算精度。因此, 采用单点积分和沙漏稳定性的显式算法被证明在不可压缩流求解分析中是简便、高效的。

LS-DYNA 不可压缩流求解器的二阶精度算法, 采用了恒定质量的预置算法和物质质量的校正算法, 合理解耦了速度场和压力场, 从而减少了计算 Navier-Stokes 方程对 CPU 和内存的需求。二阶精度算法, 可用于分析流场中的涡流, 而且很容易推广应用到流体力学领域中湍流现象的计算分析。