


清华大学  
Tsinghua University



## ANSYS/LS-DYNA简介



陆新征  
清华大学土木工程系  
2004.6.

清华大学  
Tsinghua University



## LS-DYNA的历史



- 1976年，由美国Lawrence Livermore实验室开发
- 1988年成立Livermore Software Technology Corporation (LSTC)
- 1996年与ANSYS公司合作，用ANSYS作为DYNA的前后处理

清华大学  
Tsinghua University




## LS-DYNA的主要应用领域




- 汽车碰撞
- 武器研究
- 铸造成型
- 跌落分析
- 振动和动力仿真

清华大学  
Tsinghua University



## 常用的隐式有限元程序



$$\Delta u = F_{\text{ext}} - F_{\text{int}}(u) - M\ddot{u}$$

刚度矩阵求逆

需要迭代求解

## 显式有限元分析

1. 对时间中心差分

$$\ddot{u}(t) = M^{-1}[P(t) - F_{\text{int}}(t)]$$

$$K(u)\Delta u = F_{\text{ext}} - F_{\text{int}}(u) - M\ddot{u}$$

$$\dot{u}(t + \frac{\Delta t}{2}) = \dot{u}(t - \frac{\Delta t}{2}) + \ddot{u}(t) \cdot \Delta t$$

$$u(t + \Delta t) = u(t) + \dot{u}(t + \frac{\Delta t}{2}) \cdot \Delta t$$

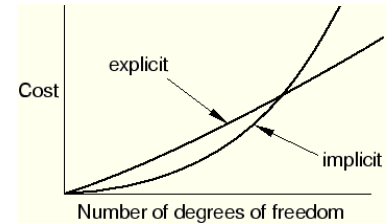
2. 计算单元应变增量
3. 计算内力
4. 回到1

## 隐式显式计算的优点和缺点

- 隐式计算
  - 时间步长增量较大
  - 每个荷载步都能控制收敛，避免误差累积
  - 存在迭代不收敛的问题
  - 计算量随计算规模增大而成超线性增长
- 显式计算
  - 时间步长很小
  - 误差累积
  - 不存在迭代不收敛的问题
  - 计算量随计算规模基本为线性增长

## 特色

- 无需对刚度矩阵求逆，只需对质量矩阵求逆，而质量矩阵往往可以简化为对角阵
- 没有增量步内迭代收敛问题，可以一直计算下去



## 注意事项

- LS-DYNA和ANSYS是两个完全不同的软件，它有自己的求解器、单元、材料、荷载、边界条件。ANSYS只是为其提供先后处理
- LS-DYNA目前还没有很完善的前后处理系统，ANSYS相对而言是比较好的第三方系统。
- ANSYS并没有提供LS-DYNA的全部功能，有些特殊功能需要通过用户自己填写数据卡片输入。

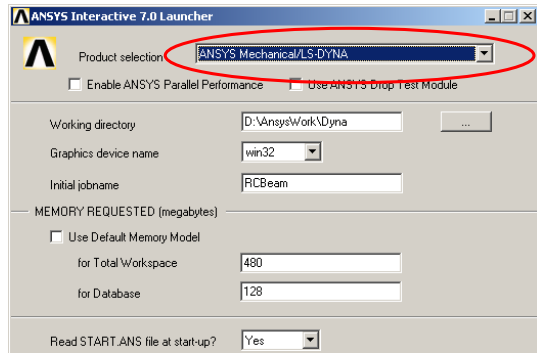
清华大学  
Tsinghua University

## ANSYS运行LS-DYNA的步骤

- 定义单元
- 定义材料
- 定义模型
- 定义接触
- 定义边界条件和荷载
- 定义求解时间
- 求解

清华大学  
Tsinghua University

## 选择功能模块



ANSYS Interactive 7.0 Launcher

Product selection: **ANSYS Mechanical/LS-DYNA**

Enable ANSYS Parallel Performance  Use ANSYS Drop Test Module

Working directory: D:\Ansys\Work\LDyna

Graphics device name: win32

Initial jobname: PCBBeam

MEMORY REQUESTED (megabytes)

Use Default Memory Model

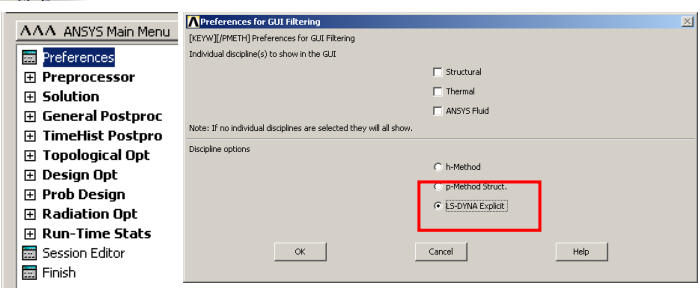
for Total Workspace: 480

for Database: 128

Read START.ANS file at start-up? Yes

清华大学  
Tsinghua University

## 选择功能组件



AAA ANSYS Main Menu

Preferences for GUI Filtering  
[IEW][PMETH] Preferences for GUI Filtering  
Individual discipline(s) to show in the GUI

Structural  
 Thermal  
 ANSYS Fluid

Note: If no individual disciplines are selected they will all show.

Discipline options

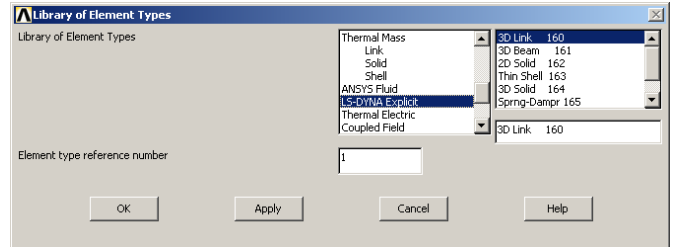
h-Method  
 p-Method Struct.  
 LS-DYNA Explicit

OK Cancel Help

清华大学  
Tsinghua University

## 定义单元

- ANSYS 16x系列单元族



Library of Element Types

Library of Element Types

Thermal Mass	3D Link	160
Link	3D Beam	161
Solid	2D Solid	162
Shell	Thin Shell	163
ANSYS Fluid	3D Solid	164
LS-DYNA Explicit	Spring-Dampr	165
Thermal Electric	BD Link	160
Coupled Field		

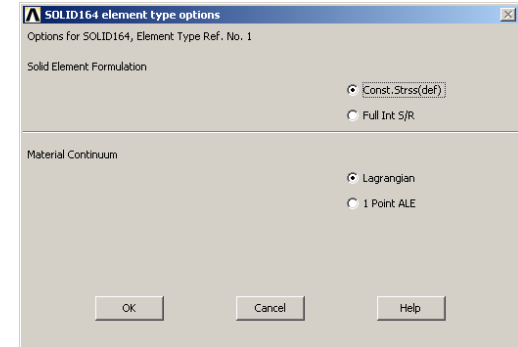
Element type reference number: 1

OK Apply Cancel Help

## ANSYS/LS-DYNA单元类型

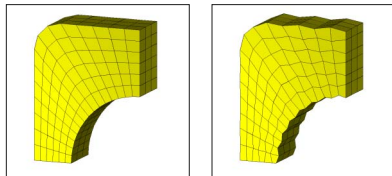
- LINK160: 显式 pin-jointed 桁架单元(similar to LINK8)
- BEAM161: 显式梁单元(similar to BEAM4)
- SOLID162: 显式平面单元(similar to Plane42)
- SHELL163: 显式薄壳单元(similar to SHELL181)
- SOLID164: 显式块单元(similar to SOLID45)
- COMBI165: 显式弹簧与阻尼单元 (similar to COMBIN14)
- MASS166: 显式结构质量 (similar to MASS21)
- LINK167: 显式索单元 (similar to LINK10)

## 常用的单元形式: Solid 164

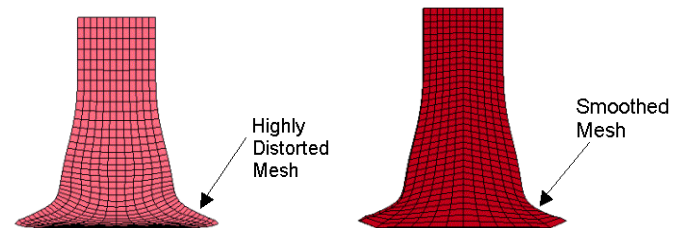


## 积分方式

- 缩减积分和全积分
- 缩减积分: 只有一个高斯积分点
- 全积分:  $2 \times 2 \times 2$ 个积分点
- 缩减积分速度快, 但会有沙漏变形问题



## Lagrangian网格和ALE网格



清华大学  
Tsinghua University

## 常用的单元形式: Shell 163

**SHELL163 element type options**  
Options For Thin Shell163, Element Type Ref. No. 2

Element Formulation: Belytschko(def)

Quadrature Rule: 3x3 Gauss (def)

Layered Composite Mode:  Non-Composite  Composite

Integration rule ID [1-9999]: 0

清华大学  
Tsinghua University

## Shell163重要算法

- Belytschko-Tsay (BT, KEYOPT(1)=2, default):
  - 简单壳单元
  - 非常快
  - 翘曲时易出错
- Belytschko-Wong-Chiang (BWC, KEYOPT(1)=10):
  - 速度是BT单元的 1.25 倍
  - 适用于翘曲分析
- Belytschko-Leviathan (BL, KEYOPT(1)=8):
  - CPU 时耗为BT单元的 1.4 倍
  - 仍在开发中
  - 第一个具有物理沙漏控制的单元
- S/R co-rotational Hughes-Liu (S/R CHL, KEYOPT(1)=7):
  - 没有沙漏的壳单元
  - 计算耗时较多

清华大学  
Tsinghua University

## 常用的单元形式: Beam 161

**BEAM161 element type options**  
Options for BEAM161, Element Type Ref. No. 3

Element Formulation Options:  Hughes-Liu  B-S resultant  B-S full intogn.  B-S tubular

Quadrature rule to be used:  1 intp. point  2x2 Gauss (def)  3x3 Gauss  3x3 Lobatto  4x4 Gauss

Int.rule-arbitrary.section(1-9999): 0

Cross section type:  Rectangular  Tubular  Arbitrary

清华大学  
Tsinghua University

## Beam 161的截面形式

Type 1: I-beam section

Type 2: Channel section

Type 3: Angle section

Type 4: T-section

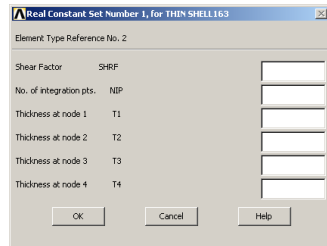
Type 5: Rectangular tubing

Type 6: Z-section

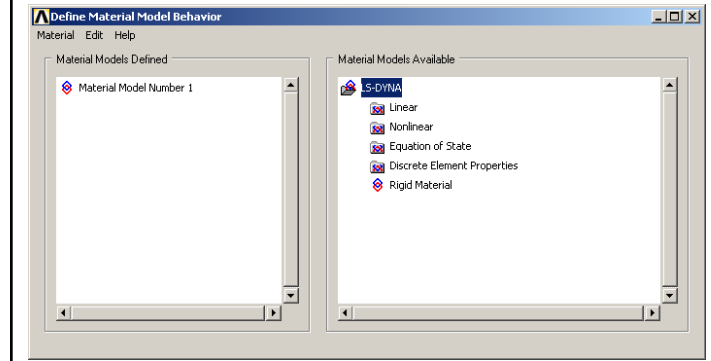
Type 7: Trapezoidal section

## 实参数

- LS-DYNA的实参数和普通ANSYS模型基本一致，一般是给出单元的截面几何尺寸等信息。



## 定义材料



## 说明

- LS-DYNA是一个完全独立的软件，所以对材料的定义也和ANSYS完全不同
- ANSYS/LS-DYNA 提供了 ANSYS中不具备的材料模型：
  - 应变率相关塑性模型
  - 温度敏感塑性材料
  - 应力和应变失效准则模型
  - 空材料
  - 状态方程模型

## 材料类型列表

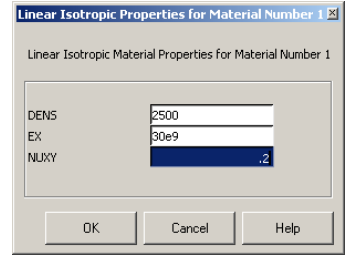
- Linear Elastic
  - Isotropic (with Fluid Option)
  - Orthotropic
  - Anisotropic
- Plasticity
  - Rate Independent (2)
  - Rate Sensitive (8)
- Composite Damage
- Concrete
- Other
  - Rigid bodies
  - Cables
  - Fluid
- Nonlinear Elastic
  - Blatz-Ko Rubber
  - Mooney-Rivlin
  - Viscoelastic
- Foam
  - Isotropic (4)
  - Orthotropic
- Equation of State
  - Temp. & strain rate dependent plasticity
  - Null materials

## 材料基本属性与状态方程

- 材料基本属性
  - 弹性模量，密度，泊松比.....
- 状态方程(EOS)
  - 常规条件下的结构材料，不使用状态方程
  - 流体，使用状态方程
  - 高速、高压变形的结构材料需附带状态方程。

## 材料的基本属性(1)

- 线弹性材料



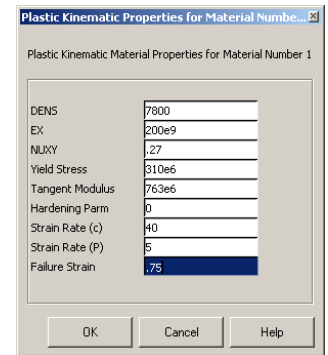
## 材料的基本属性(2)

- 以 Plastic Kinematic 为例

$$\sigma_Y = \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{n}} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_p^{eff})$$

- 双线性硬化模型 ( $\sigma_y$  and  $E_{tan}$ )
- 硬化参数  $\beta$  在 0 (kinematic) 和 1 (isotropic) 之间
- 失效应变决定删除失效单元。

## 1018 Steel (SI)



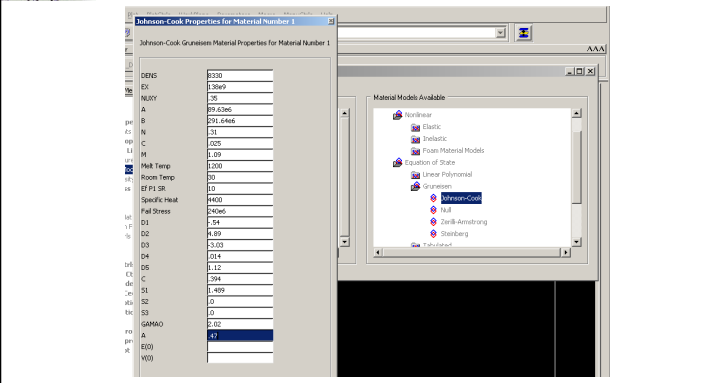
## 材料的状态方程

- 仅用于描述材料的体积变形行为：  
 $p=f(v, r, E, T)$   
 v:相对体积  
 r:密度  
 E:内能  
 T:温度
- 结构材料在高压（6~10GPa）或高速（100m/s以上）碰撞等变形条件下，采用状态方程
- 物质燃烧等化学反应过程必须由状态方程控制。

## 常用的状态方程

- \*eos\_linear\_polynomial(线性多项式)
- \*eos\_jwl (炸药)
- \*eos\_gruneisen (结构材料)
- \*eos\_ignition\_and\_growth\_of\_reaction\_in\_he (推进剂燃烧)
- \*eos\_tabulated (列表方式)

## 例子：高导无氧铜(聚能装药药型罩常用材料)



## 建模和划分网格

- 与一般ANSYS有限元分析基本相同
- 需要注意：
- 单元大小不宜差距过大
- 尽量不要使用四面体单元



清华大学  
Tsinghua University

## LS-DYNA的专门选项

- 定义Part
- 定义接触
- 定义边界约束
- 定义初速度
- 定义荷载

AAA ANSYS Main Menu AAA

- Element Type
- Add/Edit/Delete
- Switch Elem Type
- Real Constants
- Material Props
- Shell Elem Ctrls
- Modeling
- Meshing
- Checking Ctrls
- Numbering Ctrls
- Archive Model
- LS-DYNA Options
- Parts Options
- Assembly Options
- Inertia Options
- Contact
- Constraints
- Initial Velocity
- Loading Options
- Spotweld
- Path Operations
- Solution
- General Postproc
- TimeHist Postpro

清华大学  
Tsinghua University

## 定义Part和Node\_list

- 大型有限元程序一般都对元素进行一定的分组，以便后续操作：
  - ANSYS: Component
  - MARC & ABAQUS: Set
  - LS-DYNA: Part, NODE\_LIST
- ANSYS/LS-DYNA中，可通过定义Node Component来定义Node\_list

清华大学  
Tsinghua University

## Part和Component的功用：

- 1. 定义和删除两个实体之间的接触 (EDCGEN 和 EDCDELE 命令)
- 2. 定义刚体载荷与约束 (EDLOAD 与 EDCRB 命令)
- 3. 读取时间历程材料数据 (EDREAD 命令)
- 4. 向模型的组元施加阻尼(EDDAMP 命令)

清华大学  
Tsinghua University

## 接触定义

AAA ANSYS Toolbar

AAA ANSYS Main Menu AAA

Preferences

- Element Type
- Material Props
- Meshing
- Checking Ctrls
- Numbering Ctrls
- Archive Model
- Coupling / Cean
- LS-DYNA Options
- Parts Options
- Assembly Options
- Inertia Options
- Dynamic Contact**
- Advanced Controls
- Additional Params
- List Entities
- Select and Plot
- Delete Entity
- Deactivate Entity
- Activate Entity
- Constraints
- Initial Velocity
- Loading Options

AAA ANSYS Main Menu AAA

Dynamic Contact

- Center Box
- Advanced Controls
- Additional Params
- List Entities
- Select and Plot
- Delete Entity
- Deactivate Entity
- Activate Entity

Static Friction Coefficient

Dynamic Friction Coefficient

Exponential Decay Coefficient

Viscous Friction Coefficient

Viscous Damping Coefficient

Birth time for contact

Death time for contact

BOOXID: Contact box

BOOXID: Target box

OK Apply Cancel Help

## 接触的类型

- Single Surface
  - 用户无需定义接触对，程序自动搜索接触，适用与接触情况复杂或自接触问题
- Node to Surface
  - 用户需定义接触对，适用与小面积与大面积之间的接触
- Surface to Surface
  - 用户需定义接触对，适用与大面积之间的接触

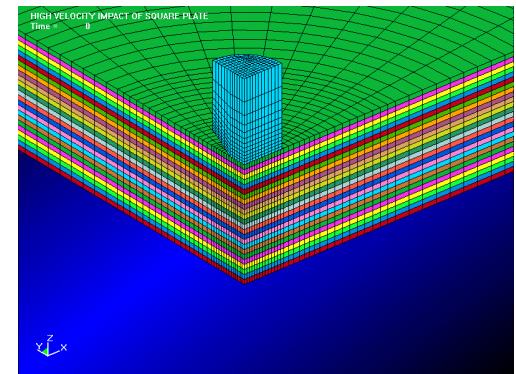
## 常用接触行为(1)

- General
- Automatic
  - 适用于大多数情况的接触
  - General在壳体接触中搜索范围更大一些

## 常用接触行为(2)

- Eroding Contact
  - 允许当外层单元失效后，继续对内层单元进行接触分析
  - 对于侵彻、破坏分析很有用
- Tie-break Contact
  - 材料初始是连接在一起的，当外力达到一定程度后，界面张开破坏

## Eroding+Tie-break的例子



清华大学  
Tsinghua University

## Contact-Box

- 为了节省接触计算时间，LS-DYNA允许用户定义一个接触搜索空间，当接触发生在这个空间里的时候就进行接触分析，否则就不予考虑

OPTION Box Option

Add  
 Delete  
 List

BOIID Box ID Number 1

XMIN Minimum X coordinate 0

XMAX Maximum X coordinate 0

YMIN Minimum Y coordinate 0

YMAX Maximum Y coordinate 0

ZMIN Minimum Z coordinate 0

ZMAX Maximum Z coordinate 0

清华大学  
Tsinghua University

## 使用Part定义接触对

- 与ANSYS不同，LS-DYNA的接触对是用节点集定义的
- LS-DYNA中只需将接触双方的所有节点各自定义接触对，而后LS-DYNA会自动搜索接触面

Contact Options

Contact and Target Definitions

Contact Component or Part no. 1

Target Component or Part no. 4

NALL  
 NSTRUC  
 NPAR  
 NLOAD

清华大学  
Tsinghua University

## 边界约束

- LS-DYNA中可以定义节点的包括位移，速度，加速度的边界约束（在ANSYS中，约束还可以施加在面或线上，实质是施加在节点上）
- LS-DYNA中，边界约束只能为零，非零的边界约束是通过荷载或者初速度施加的

清华大学  
Tsinghua University

## 施加边界约束GUI操作

AAA ANSYS Main Menu AAA

Preferences

Preprocessor

Element Type

Real Constants

Material Props

Shell Elem Ctrl

Modeling

Meshing

Checking Ctrl

Numbering Ctrl

Archive Model

Coupling / Creep

LS-DYNA Options

Parts Options

Assembly Options

Inertia Options

Constraint

Constraints

Apply

On Lines

On Areas

On Nodes

Rotated Nod

Additional Nc

Symm Brdry

Non-Rd Brd

Local CS

1 ELEMENTS

MAT HOM

U

CP

ANSYS

JUN 2 2004

23:58:16

清华大学 Tsinghua University

## 施加初速度



定义节点点集

定义平动速度

定义角速度

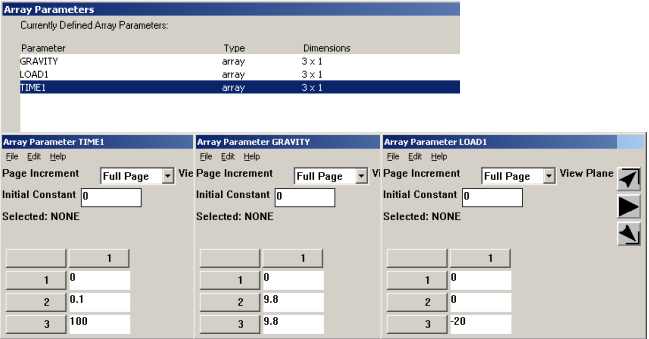
清华大学 Tsinghua University

## 定义荷载

- LS-DYNA中荷载都与时间有关，因此，定义荷载一般由以下几部分组成
  - 对加载节点定义Nodal Component
  - 分别建立描述时间和荷载的数组
  - 将以数组表示的荷载历程加到节点集上

清华大学 Tsinghua University

## 定义数组



Parameter	Type	Dimensions
GRAVITY	array	3 x 1
LOAD1	array	3 x 1
TIME1	array	3 x 1

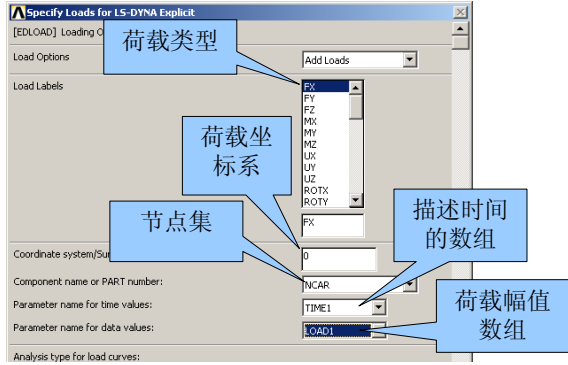
Node	Value
1	0
2	0.1
3	100

Node	Value
1	0
2	9.8
3	9.8

Node	Value
1	0
2	0
3	-20

清华大学 Tsinghua University

## 加载



荷载类型

荷载坐标系

节点集

描述时间的数组

荷载幅值数组

清华大学  
Tsinghua University

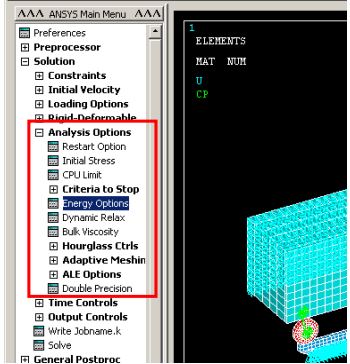
## 求解控制

- 计算参数
- 计算时间
- 计算步长
- 选择输出结果
- 求解

清华大学  
Tsinghua University

## 计算参数

- 重启动控制
- 能量控制
- 沙漏变形控制



AAA ANSYS Main Menu AAA

- Preferences
- Preprocessor
- Solution
  - Constraints
  - Initial Velocity
  - Loading Options
  - Rigid-Deformable
  - Analysis Options
    - Restart Option
    - Initial Stress
    - CPU Limit
    - Criteria to Stop
      - Hourglass Ctrl
      - Dynamic Relax
      - Bulk Viscosity
      - Hourglass Ctrl
      - Adaptive Meshin
      - ALE Options
      - Double Precision
    - Time Controls
    - Output Controls
      - Write Jobname.k
      - Solve
  - General Postproc

ELEMENTS  
MAT NUM  
U  
CP

清华大学  
Tsinghua University

## 重启动控制

- ANSYS/LS-DYNA提供了3种不同的重启动模式
- Simple Restart
- Small Restart
- Full Restart (可以实现施加初应力或修改模型)



Restart Options for LS-DYNA Explicit

[EDSTAR] Restart Options for LS-DYNA Explicit

Restart Option: New Analysis

Words of memory requested: [ ]

Binary file scale factor: [ ]

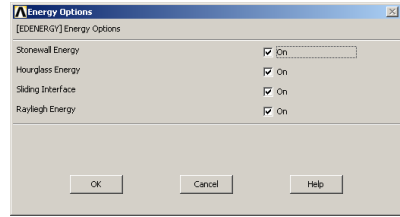
File name for dump files: [ ]

OK Apply Cancel Help

清华大学  
Tsinghua University

## 能量控制

- 最好将能量控制都打开以保证计算结果的真实性



Energy Options

[EDENERGY] Energy Options

Stresswork Energy:  On

Hourglass Energy:  On

Sliding Interface:  On

Rayleigh Energy:  On

OK Cancel Help

清华大学  
Tsinghua University

## 沙漏变形控制

- LS-DYNA通过沙漏阻尼来控制沙漏变形，有多种沙漏阻尼算法
- 在ANSYS中，仅提供Standard沙漏阻尼算法，通过调整沙漏阻尼的系数来控制沙漏变形
- 沙漏阻尼的系数在0.05~0.15之间



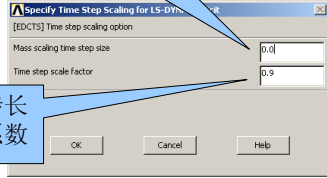
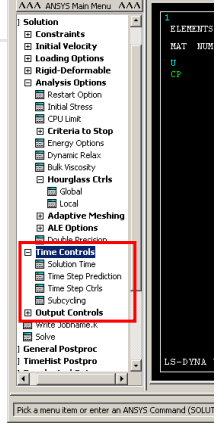
清华大学  
Tsinghua University

## 时间控制

- 整个模型的计算时间
- 计算的时间步长

时间步长的质量缩放

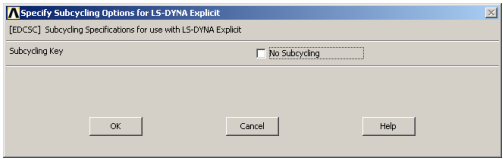
时间步长比例系数

清华大学  
Tsinghua University

## 子循环

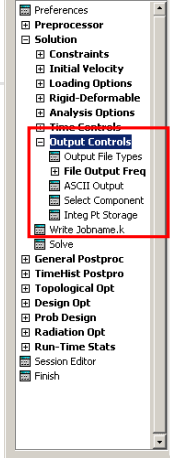
- 在模型中单元尺寸大小差异悬殊时，可以打开子循环功能，使大小单元可以使用不同的时间步长，减少计算时间

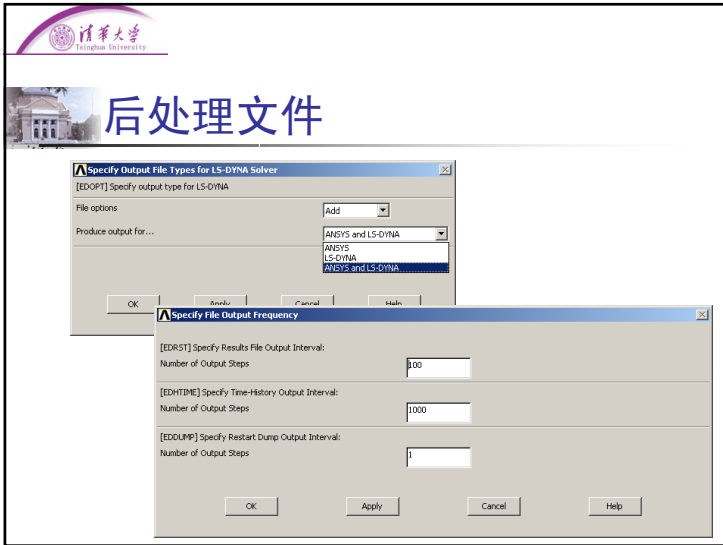


清华大学  
Tsinghua University

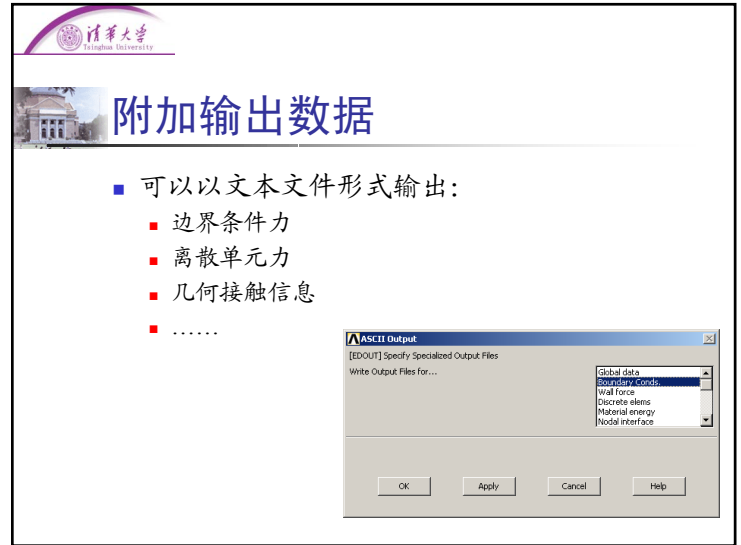
## 选择输出结果

- 结果文件形式
- 结果文件步数
- 附加输出结果



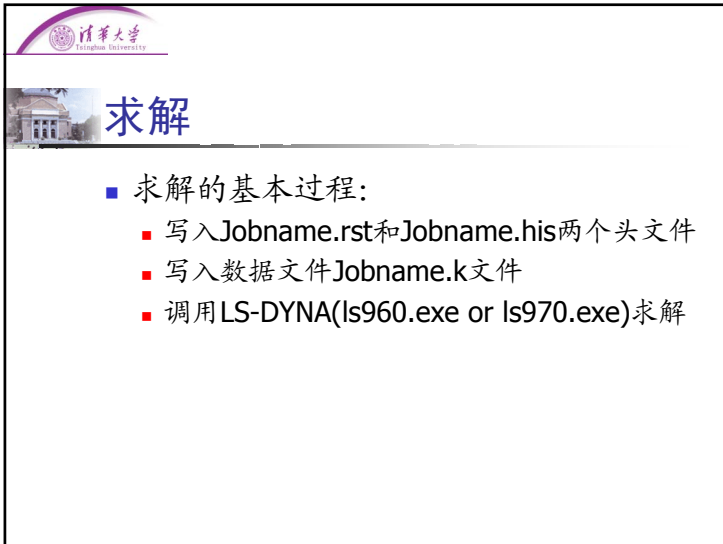


## 后处理文件



■ 可以以文本文件形式输出:

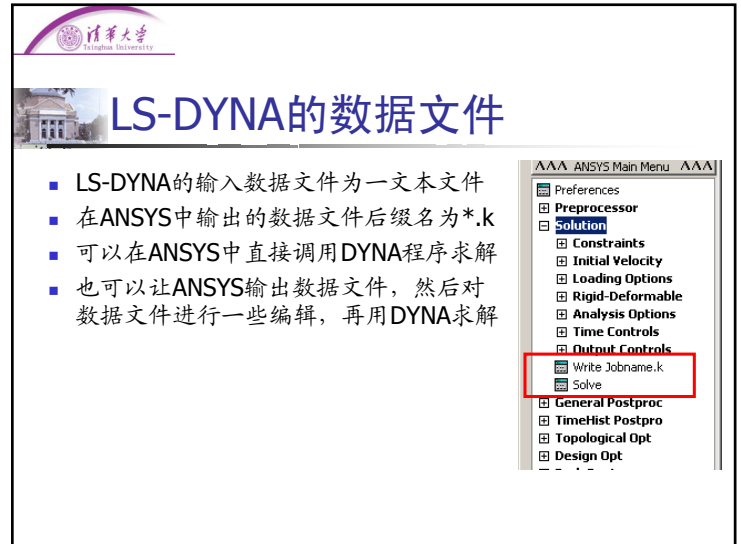
- 边界条件力
- 离散单元力
- 几何接触信息
- .....



## 求解

■ 求解的基本过程:

- 写入Jobname.rst和Jobname.his两个头文件
- 写入数据文件Jobname.k文件
- 调用LS-DYNA(ls960.exe or ls970.exe)求解



## LS-DYNA的数据文件

- LS-DYNA的输入数据文件为一文本文件
- 在ANSYS中输出的数据文件后缀名为\*.k
- 可以在ANSYS中直接调用DYNA程序求解
- 也可以让ANSYS输出数据文件，然后对数据文件进行一些编辑，再用DYNA求解





清华大学  
Tsinghua University

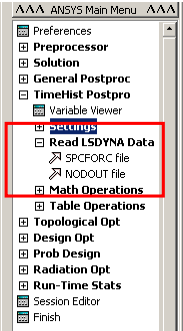
## 几个常用的关键字

- \*DATABASE\_FORMAT: 定义输出的格式
- \*NODE: 定义节点
- \*SECTION\_.....: 定义不同属性单元的基本信息
- \*MAT\_.....: 定义材料
- \*PART: 定义part
- \*ELEMENT\_.....: 定义单元
- \*DEFINE\_CURVE: 定义curve
- \*CONTACT\_.....: 定义接触
- \*CONTROL\_TIMESTEP: 定义计算时间步长
- \*CONTROL\_TERMINATION: 定义总计算时间
- \*DATABASE\_BINARY\_D3PLOT: 结果文件输出时间间隔

清华大学  
Tsinghua University

## 后处理

- Post1 可以得到节点、单元的应力应变等
  - Jobname.rst
- Post26 可以得到各种时程关系
  - Jobname.his
  - 节点位移
  - 节点反力



清华大学  
Tsinghua University

## Explicit-implicit联合求解

- ANSYS提供了在LS-DYNA和ANSYS/Implicit之间交互模型和结果，进行联合求解的方法
- 对于复杂非线性过程，使用LS-DYNA，对于普通结构问题，使用ANSYS，充分发挥二者的优点
- 主要步骤:
  - 保存计算结果
  - 改变单元
  - 读入变形和应力结果

清华大学  
Tsinghua University

## 单元变换

Explicit Element Type	Implicit Element Type
<u>LINK160</u>	<u>LINK8</u>
<u>BEAM161</u>	<u>BEAM4</u>
<u>SHELL163</u>	<u>SHELL181</u>
<u>SOLID164</u>	<u>SOLID185</u>
<u>COMBI165</u>	<u>COMBIN14</u>
<u>MASS166</u>	<u>MASS21</u>
<u>LINK167</u>	<u>LINK10</u>

Main Menu > Preprocessor > Element Type > Switch Elem Type



## 读入变形和应力

- Explicit-implicit
  - RIMPORT(Main Menu> Solution> Loads> Apply> Structural-Other> Import Stress)
- Implicit-explicit
  - 输出implicit的结果(REXPORT[Main Menu> Solution> Constraints> Read Disp])
  - 读入到explicit中(EDDRELAX[Main Menu> Solution> Analysis Options> Dynamic Relax])



谢 谢!