



## ANSYS入门及学习方法

陆新征  
清华大学土木工程系  
2004. 3.

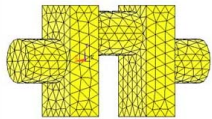


## ANSYS软件简介

- ANSYS软件诞生于上实际70年代，在有限元的发展史上，一直作为一个重要成员存在，在激烈的市场竞争中，生存下来并不断发展壮大，目前是世界上最有影响的有限元软件之一

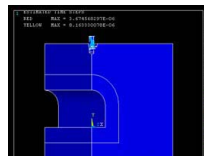


## ANSYS软件的主要特点



工程应用

合纵联横



## 工程应用

- 以服务实际工程为背景
- 尽量使用成熟的技术，减少理论研发的风险
- 增加软件功能，尽量扩展软件的应用领域
- 考虑实际工程需要，提供便捷的前后处理手段
- 精心编制大量的帮助文档以及良好的售后服务、培训等

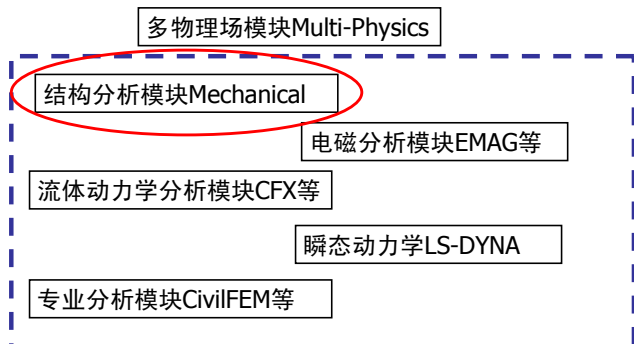
## 合纵联横

- 以ANSYS软件本身为平台，为其他各专业有限元软件提供前后处理支持
- 以ANSYS的销售网络代理大量有限元产品的销售及维护工作
- 将高度专业化功能分包或代理，减少开发难度，分担风险
- 和多个相关软硬件厂商结成良好的伙伴关系，共同扩大市场占有率

## ANSYS的学习方法

- 现在市面上有很多ANSYS的入门书籍，入门学习的难度现在已经很小了
- 先结合自己要做的项目研究找一个小的例子过一遍，掌握基本功能
- 一些特殊功能需要仔细阅读用户手册
- 学会使用各个相关讨论区(Okok, 傲雪, simwe)
- 有限元后期分析结果严重依赖前期建模工作，所以应多花些时间来研究模型如何建立

## ANSYS的主要功能模块



## Mechanical

- 广义的力学模块
- 包括：
  - 结构分析
  - 稳态，瞬态热分析
  - 渗流分析



## 与土木工程相关的功能

- 静力分析
- 动力分析
- 瞬态分析
- 谱分析
- 屈曲分析



## 牵涉到的非线性领域

- 材料非线性
- 几何非线性
- 状态（接触）非线性
- 单元非线性



## 与土木的相关一些特别功能

- 螺栓
- 混凝土
- 索
- Beam 18x 系列
- 复合材料



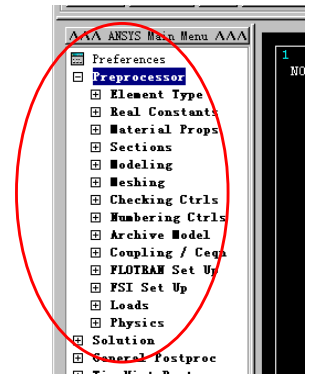
## 有限元分析问题的组成

- 对几何模型的模拟（建立几何模型）
- 对物理模型的模拟（建立材料模型）
- 对工艺过程的模拟（建立分析过程）
- 结果的整理和判断
- 参数的调整

## 常用模块组成

- 通用前处理模块(Pre7)
- 求解模块(Solu)
- 通用后处理模块(Post1)
- 时程后处理模块(Post26)
- 优化模块(Optim)

## 通用前处理模块



## 通用前处理模块

- 单元选择 ←
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分 → 直接建立节点和单元
- 模型局部调整
- 施加荷载

## 单元选择

- ANSYS单元命名规则

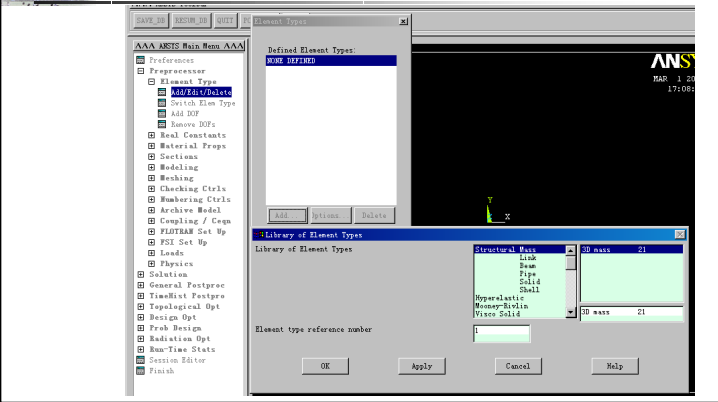
Solid 65

单元属性

单元编号

Shell, Plane, Beam, Mass, Link, Combin, Cont, Targe

## 单元选择



## 单元附加选项

- Key Option
  - 用于定义单元内部的一些功能选择（积分点布置，应力输出.....）
- Real Constant
  - 用于定义一些单元的几何属性或附加功能（板的厚度，混凝土的配筋率，接触面的摩擦系数）
- Section
  - 用于定义一些梁、板单元的截面性质

## 举例 Beam 3

- 平面2节点梁单元
  - Key Option
  - 有3个Key Option选项:
  - Key Option(6): 是否输出单元坐标节点荷载
  - Key Option(9): 是否输出梁其他截面的结果
  - Key Option(10): 梁表面荷载定义是绝对坐标还是相对坐标

## 举例 Beam 3 (续)

- Real Constant
  - AREA: 截面积
  - IZZ: 惯性矩
  - HEIGHTS: 梁高度
  - SHEARZ: 剪切变形参数
  - ISTRN: 初始应变
  - ADDMAS: 附加质量

## 注意事项

- 单元在ANSYS当中是作为一个最基本的功能组成部分，除了普通的单元以外，接触、自由度耦合、预应力等大量功能也是基于单元而设立的
- ANSYS为了保证其程序的通用性和可扩展性，对一些新功能以增加新单元的形式加以引入（16x系列单元族）
- 使用单元前，应仔细阅读帮助文件中关于单元使用方法和理论的相关章节

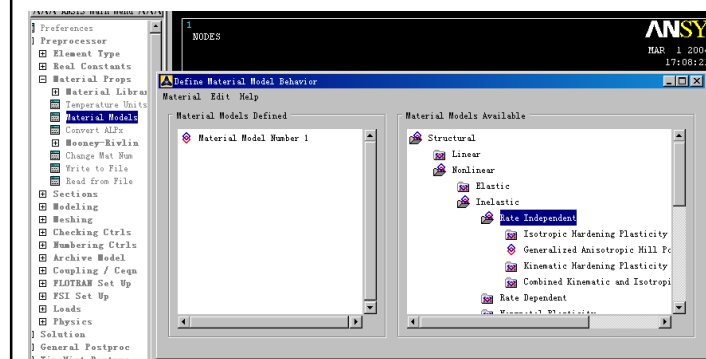
## 通用前处理模块

- 单元选择
  - 材料定义
  - 几何建模
  - 网格划分
  - 模型局部调整
  - 施加荷载
- 直接建立节点和单元

## 材料选择

- 基本材料属性
  - 弹性模量，泊松比，密度，热容，导热率，阻尼比
- 附加材料属性(Data table)
  - 屈服，开裂，硬化

## 材料选择



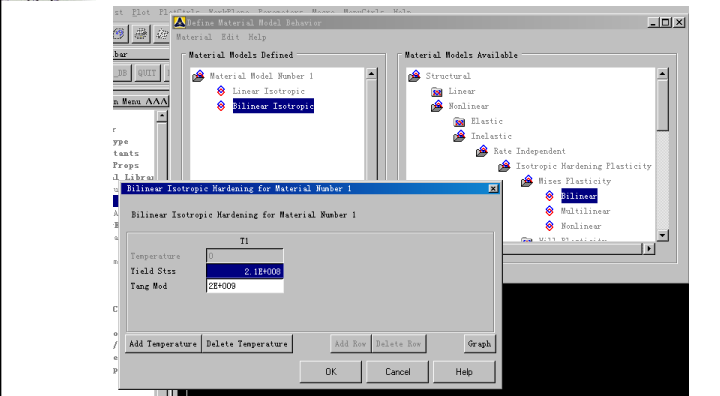
## 常用材料模型

- 双线性弹塑性 (包括等强硬化与随动硬化): 低强度钢材
- 多线性弹塑性 (包括等强硬化与随动硬化): 高强钢材, 混凝土
- Drucker-Prager: 土
- Concrete: 混凝土, 岩石

## 举例: 一级钢材

- 基本材料属性
  - 弹性模量 200GPa, 泊松比0.3, 密度 7800kg/m<sup>3</sup>
- 附加材料属性: 等强硬化双线性弹塑性
  - BISO
  - 屈服强度215MPa
  - 硬化模量2GPa

## 输入方法

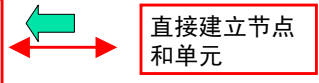


## 注意事项

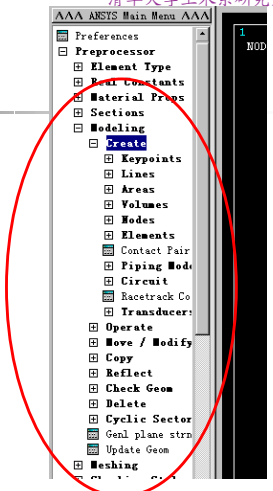
- ANSYS提供的材料属性并不算丰富, 只提供了最必须的一些材料属性
- ANSYS的一些材料和单元选择密切相关, 很多材料模型只能用于特定单元
- ANSYS的材料定义有些是为特殊功能模块设计的, 需要弄清楚哪些材料模型ANSYS集成了, 哪些没有集成

## 通用前处理模块

- 单元选择
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分
- 模型局部调整
- 施加荷载



## 建立模型

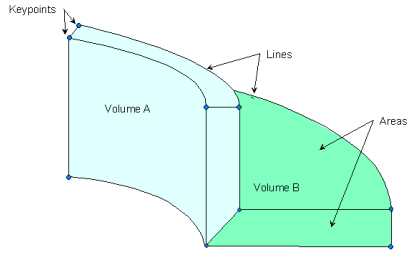


## 建立模型

- 几何方式建模
- 通过点、线、面、体等几何组件建立分析对象的几何模型（不包括力学行为等物理行为）
- 建模完成后再赋予相应的物理属性准备网格划分

## 几何模型

- ANSYS的几何模型严格按照“点-线-面-体”来组成





## 建模注意事项

- 建立复杂模型时，务必清晰了解模型中几何元素的拓扑关系
  - 体由哪些面组成，面由哪些线组成，线的顶点和终点等
- ANSYS的建模功能在各个版本中进步是最快的，但是建模过程中仍然推荐仔细控制模型的几何形状
- 准确且逻辑关系清晰的模型是成功分析的重要条件，即使ANSYS解决不了，也很容易转到其他程序

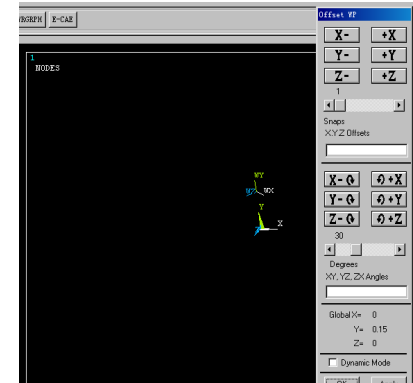
## 学会使用选择集

- ANSYS允许用户对模型中的各个元素（点，线，面，体，节点，单元）建立集合，按集合对这些元素进行操作
- 对于复杂模型，建立关系清晰的集合模型会大大方便后续分析工作
- 推荐：对相同属性的元素都建立相应的选择集，后续分析直接对这些选择集进行操作

## 工作平面Work Plane

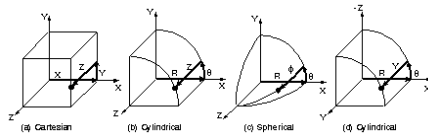
- ANSYS建模时，默认的坐标系是工作平面坐标系
- 调整工作平面坐标系的位置、角度等，可以进行各种复杂的体变换操作
  - Reflect, Divide....

## 变换工作平面



## 坐标系

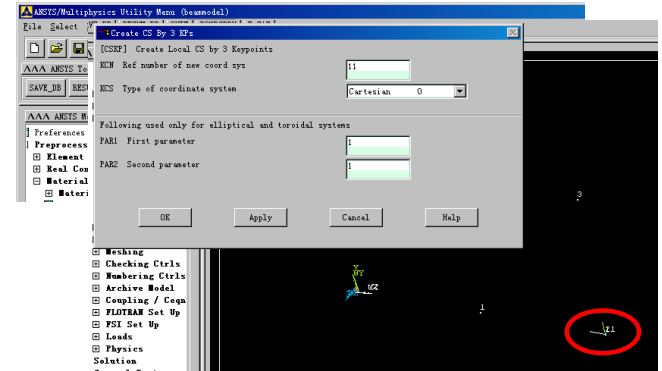
- 全局坐标系(Global)
- 直角坐标系
- 柱坐标系
- 球坐标系
- 结果坐标系



## 重要的体元素布尔操作

- Add: 将两个体合并为一个体
- Subtract: 两个体相减
- Overlap: 两个体叠加
- Glue: 两个体合并公用面
- Divide: 分割两个体

## 坐标系设置

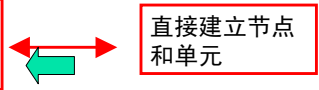


## 注意事项

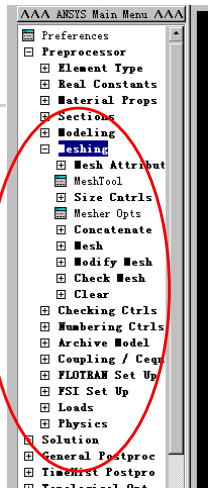
- 灵活利用工作平面和体操作可以实现各种复杂变换，但是变换过程可能需要经过若干步骤
- 建立完复杂形体后，建议将复杂形体分割为若干个简单的形体，便于后期分网操作
- 主要是经验的积累

## 通用前处理模块

- 单元选择
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分
- 模型局部调整
- 施加荷载



## 网格划分



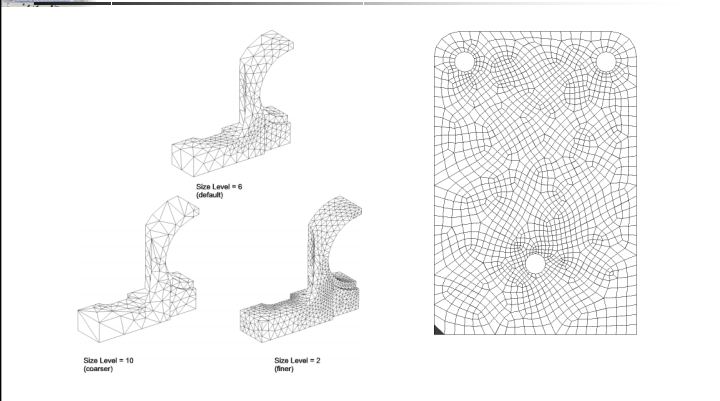
## 网格划分

- ANSYS主要提供了三种网格划分方式:
- 自由网格划分(Free)
- 映射网格划分(Mapped)
- 扫略网格划分(Sweep)

## 自由网格划分

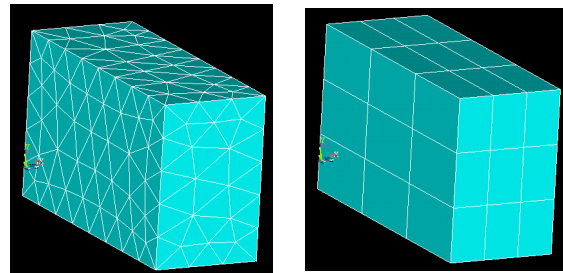
- Smart网格划分—根据模型曲率来决定网格划分
- 根据单元大小、或者线分段、面分割来划分网格
- 二维网格划分问题不大，三维网格划分目前自由网格划分只能划分四面体网格，不能划分六面体网格

## 自由网格划分例子



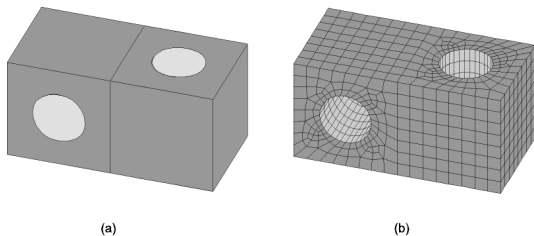
## 映射网格划分

- 当体的面数量少于6个时可以使用映射网格划分
- 可以划分6面体单元



## 扫略网格划分

- 当体有两个对应的面时，可以使用扫略网格划分来建立6面体网格

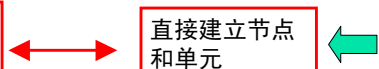


## 网格划分的注意事项

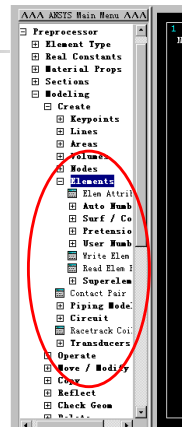
- 建立几何模型的时候就尽量考虑分网的方便
- 在对体分网前最好先对体所附着的线进行分割，控制该边的网格密度，必要是还可以对面进行网格划分，以更好控制网格形态
- 分网很少一遍成功，分网前最好保存存档，条件允许的情况下尽量多试一些分网方案，以求得精度和计算代价的均衡

## 通用前处理模块

- 单元选择
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分
- 模型局部调整
- 施加荷载



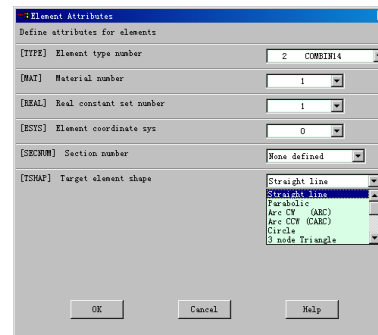
## 直接建立单元



## 直接建立单元

- 建立节点
- 直接通过节点建立单元
- 可以通过APDL批量建立单元
- 可以通过读入其他分网软件模型
- 一些特殊单元只能通过这种方法建立（钢筋与混凝土之间的粘结节点）

## 例子



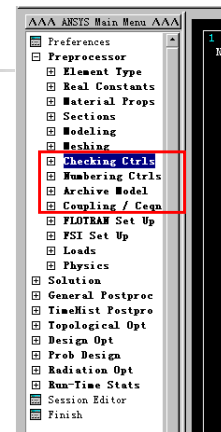
## 通用前处理模块

- 单元选择
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分
- 模型局部调整
- 施加荷载

直接建立节点  
和单元



## 模型局部调整



## 模型局部调整

- 元素编号的合并与压缩
- 自由度的耦合
- 接触对的生成
- 特殊单元的添加
- 对模型进行复查
- 根据模型大小调整内存，硬盘空间分配

## 通用前处理模块

- 单元选择
- 材料定义
- 几何建模
- 网格划分
- 模型局部调整
- 施加荷载

直接建立节点  
和单元



清华大学  
Tsinghua University

清华大学土木系研究生学术讲座

## 施加荷载

AAA ANSYS Main Menu AAA

- Preferences
- Preprocessor
  - Element Type
  - Real Constants
  - Material Props
  - Sections
  - Modeling
  - Meshing
  - CheckingCtrls
  - NumberingCtrls
  - Archive Model
  - Coupling / Cequa
  - FLOTRAN Set Up
  - FSI Set Up
  - Loads**
  - Analysis Type
  - Define Loads
  - Load Step Opt
  - Physics
- Solution
  - General Postproc
  - TimeHist Postpro
  - Topological Opt
  - Design Opt
  - Prob Design
  - Radiation Opt
  - Run-Time Stats
  - Session Editor
  - Finish

清华大学  
Tsinghua University

清华大学土木系研究生学术讲座

## 施加荷载

- ANSYS结构分析里面的荷载主要有以下一些：
  - 位移
  - 集中力（弯矩）
  - 分布力
  - 加速度
  - 激励谱（位移，速度，加速度）
  - 温度

清华大学  
Tsinghua University

清华大学土木系研究生学术讲座

## 例子

Apply F/M on Nodes

[F] Apply Force/Moment on Nodes

Lab Direction of force/mom

Apply as

If Constant value then:

VALUE Force/moment value

OK Apply Cancel Help

清华大学  
Tsinghua University

清华大学土木系研究生学术讲座

## 求解模块

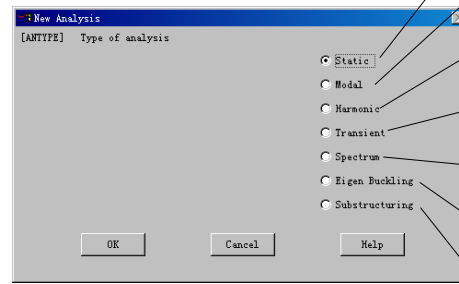
AAA ANSYS Main Menu AAA

- Preferences
- Preprocessor
- Solution**
- Analysis Type
- Define Loads
- Load Step Opts
- Solve
- FSI Set Up
- General Postproc
- TimeHist Postpro
- Topological Opt
- Design Opt
- Prob Design
- Radiation Opt
- Run-Time Stats
- Session Editor
- Finish

## 求解模块

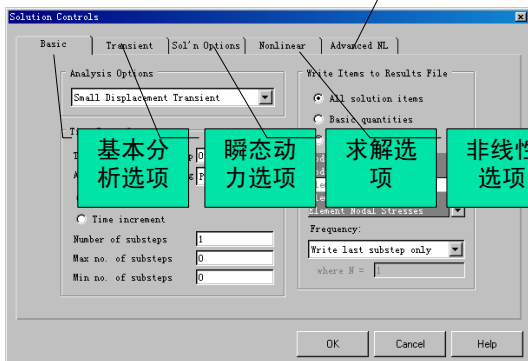
- 分析问题的类型
- 设定分析参数
- 添加荷载条件
- 建立荷载工况
- 求解

## 分析问题的类型



- 静力
- 模态
- 谐振
- 瞬态动力
- 谱分析
- 特征值屈曲
- 子结构

## 分析选项



高级非线性选项

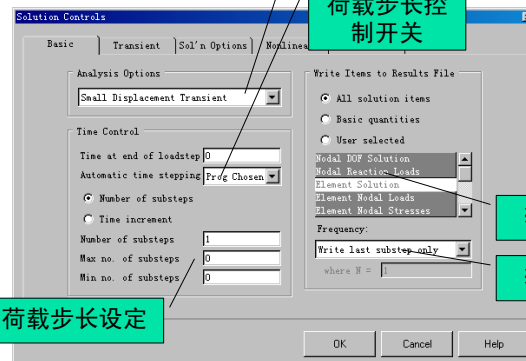
基本分析选项

瞬态动力选项

求解选项

非线性选项

## 基本选项



大变形开关

荷载步长控制开关

荷载步长设定

输出结果

输出频率



## 瞬态动力分析参数

荷载加载方式

瑞雷阻尼系数

积分方法

## 求解器选项

方程求解器

重启动文件

## 非线性控制选项

非线性控制开关

收敛标准

荷载折半限制

## 高级非线性（弧长法）

非线性控制开关

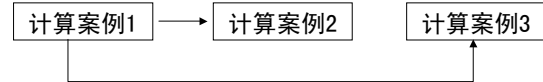
收敛标准

## 荷载步文件(Load Step)

- 可以批量输入运行荷载
- 注意和Load Case之间的区别
  - Load Step 荷载之间存在一定的先后顺序关系
  - Load Case 荷载之间没有内在关系

## 重新启动分析(Restart)

- 可以沿着以前的计算结果，继续进行后续计算
- 在Restart分析中，边界条件(荷载等)可以继承
- 单元生死等非荷载条件往往不能继承
- 参数往往不能继承

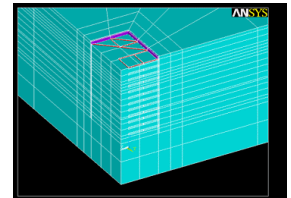


## 求解

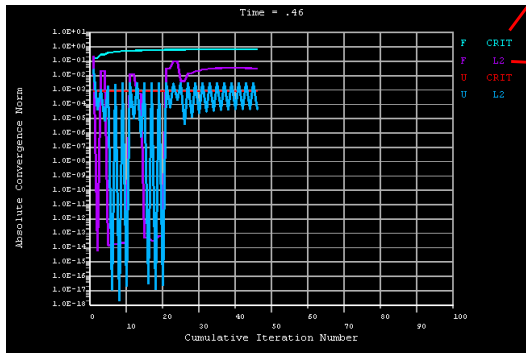
- 求解的选择
- 执行当前荷载(Current)
- 按荷载步执行(LS)

## 单元生死

- 一种特殊的状态非线性，模拟一些分析模型变化带来的非线性
- 杀死：单元刚度趋于零，单元内力释放
- 激活：单元刚度恢复，单元应力、应变为零



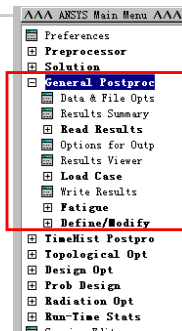
## 求解过程中的图形输出内容



收敛标准

误差范数

## 通用后处理模块

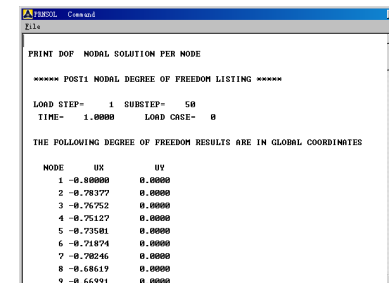


## 后处理的主要功能

- 结果的文字输出(Result List)
- 结果的云图输出(Result Contour)
- 结果的矢量输出(Result Vector)
- 结果的路径输出(Result Mapping)
- Element Table的提取
- Load Case 及其组合

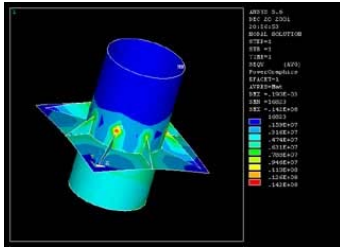
## 计算结果的文字输出

- 通过列表的方式输出计算结果
- 输出数据文件



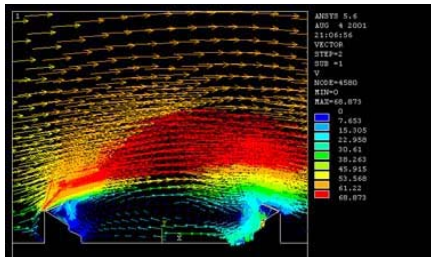
## 计算结果的云图输出

- Contour Plot



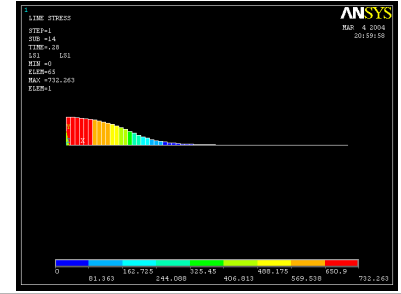
## 计算结果的矢量输出

- Vector Plot



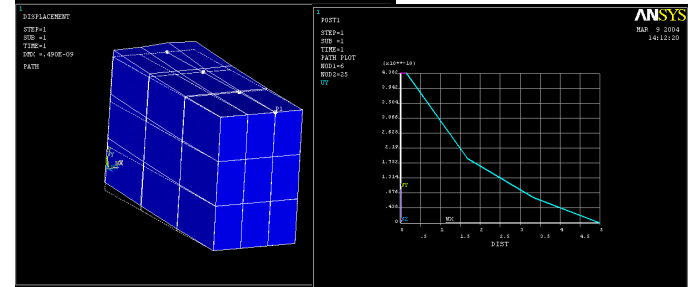
## 线性单元的云图输出

- 需要先定义Element Table
- 再到Contour Plot里面设定Line Element Result



## 计算结果的路径输出

- 定义路径Path
- 把结果映射到路径上去(Path Mapping)



清华大学 清华大学土木工程系研究生学术讲座

## Element Table

- 单元的一些专门结果存放于Element Table (梁单元的应力.....)

清华大学 清华大学土木工程系研究生学术讲座

## 例子

Name	Item	I	J
FX	SMISC	1	14
MY	SMISC	2	15
MZ	SMISC	3	16
MX	SMISC	4	17
SFZ	SMISC	5	18

清华大学 清华大学土木工程系研究生学术讲座

## Load Case及其组合

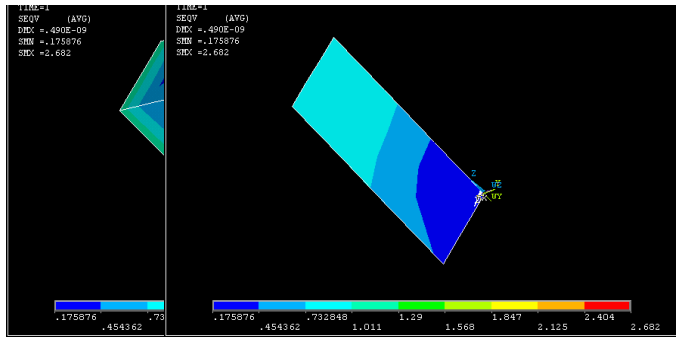
- 多个计算结果可以使用定义Load Case的方法分别存放
- 这些Load Case可以进行数学运算(荷载分项系数), 并加以组合, 得到荷载组合效果

清华大学 清华大学土木工程系研究生学术讲座

## 截面结果的输出

- PlotCtrls->Style->Section/Hidden Line Options
- 选择Working Plan
- 通过调整工作面位置, 得到各个截面的输出结果

# 例子



# 时程后处理模块(Post26)

- Preferences
- Preprocessor
- Solution
- General Postproc
  - TimeHist Postpro**
  - Variable Viewer
  - Settings
  - Store Data
  - Define Variables
  - Read LSDB/ANSA Data
  - List Variables
  - List Extremes
  - Graph Variables
  - Math Operations
  - Table Operations
  - Smooth Data
  - Generate Spectrum
  - Reset Postproc
- Topological Opt

# 例子

Time History Variables - themodel.rst

File Help

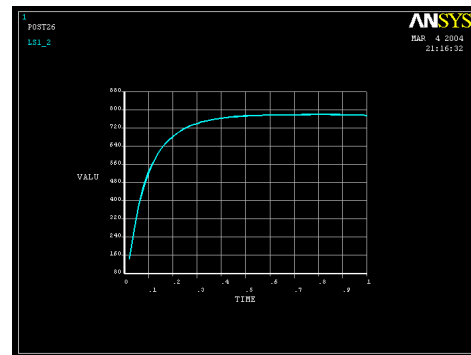
AAA Variable list

Name	Element	Node	Result Item	Minimum	Maximum	Y-Axis
TIME			Time	0.02	1	C
LS1_2	1	1	Lane stress Q5,13	144.892	776.74	C

AAA Calculator

Calculator interface with fields for MIN, MAX, BCL, STD, DIS, ABS, DIV, INV, and various mathematical operators.

# 绘制时间历程关系



## 结构优化模块

- ☐ Preferences
- ☐ Preprocessor
- ☐ Solution
- ☐ General Postproc
- ☐ TimeHist Postpro
- ☐ Topological Opt
- ☐ **Design Opt**
  - ☐ Analysis File
  - ☐ Design Variables
  - ☐ State Variables
  - ☐ Objective
  - ☐ Controls
  - ☐ Method/Tool
  - ☐ Run
  - ☐ Design Sets
  - ☐ Opt Database
- ☐ Prob Design
- ☐ Radiation Opt
- ☐ Run-Time Stats

## 基本功能步骤

- 定义分析命令流
- 定义设计变量
- 定义状态变量
- 定义目标变量
- 定义分析方法
- 计算

## ANSYS的命令流语言APDL

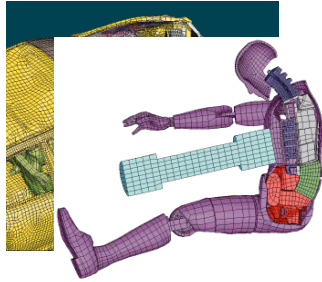
- ANSYS所有计算过程中，一切GUI操作都对应于一个字符命令
- 字符命令存放于工作目录下Jobname.log文件中
- 熟练使用GUI和命令流交互操作可以有效减小工作量

## 例子

- ET,1,SOLID45
- k,2,0,0,1
- ANTYPE,0
- FK,2,FZ,-1
- tf=0.169

## ANSYS的专用分析模块

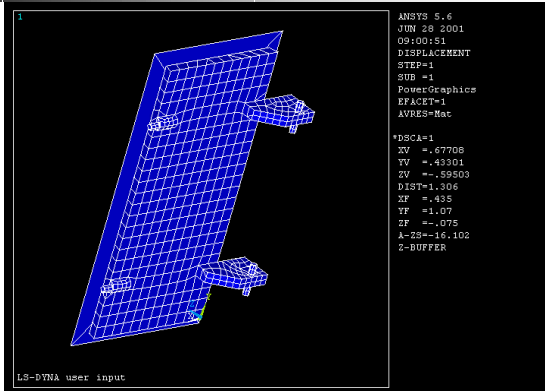
- 碰撞动力分析模块LS-DYNA
- 三大分支
  - LS-DYNA
  - OASYS
  - DYTRAN



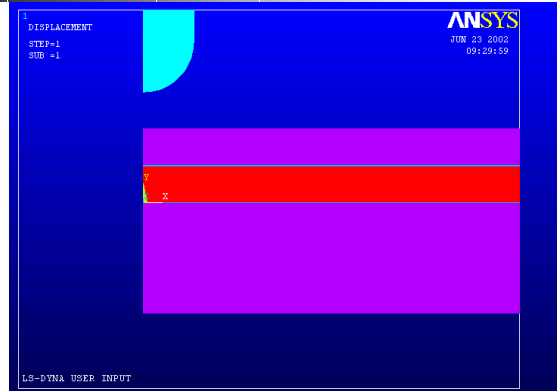
## DYNA的特点

- 显式动力分析，可以处理大量的复杂非线性问题
- 独特的材料库和单元库，适用与一些特殊目的
  - TNT材料，人体组织.....
- 可以用于土木的时程分析

## 应用例子(1)

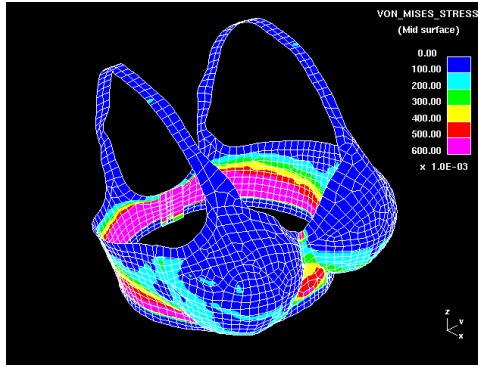


## 应用例子(2)





## 应用例子(3)



## DYNA与ANSYS

- ANSYS提供了DYNA的一些基本前后处理功能
- ANSYS输DYNA计算所需的数据文件\*.k
- LS-POST
- ANSYS POST

## CivilFEM模块

- 西班牙公司在ANSYS软件上附加的功能自模块
- 数十万条VC编码
- 加入一些设计规范和专门荷载的自动分析
- 桥梁施工模拟，预应力模拟，截面模拟

