第三章

物理模型定义

主要内容

1. 材料模式（ADINA，ADINA-T，ADINA-F ）
2. 单元类型（ADINA，ADINA-T，ADINA-F）
3. 定义几何属性
4. 定义边界与载荷条件

材料模式

菜单：Model\Materials

图标： 

ADINA采用材料表（Material Table）方式管理模型中的材料定义，每中材料具有唯一的材料标号，将在单元组（Element Group）定义中引用；

说明：

1. 针对不同的模块，定义材料参数的菜单和图标是相同的；

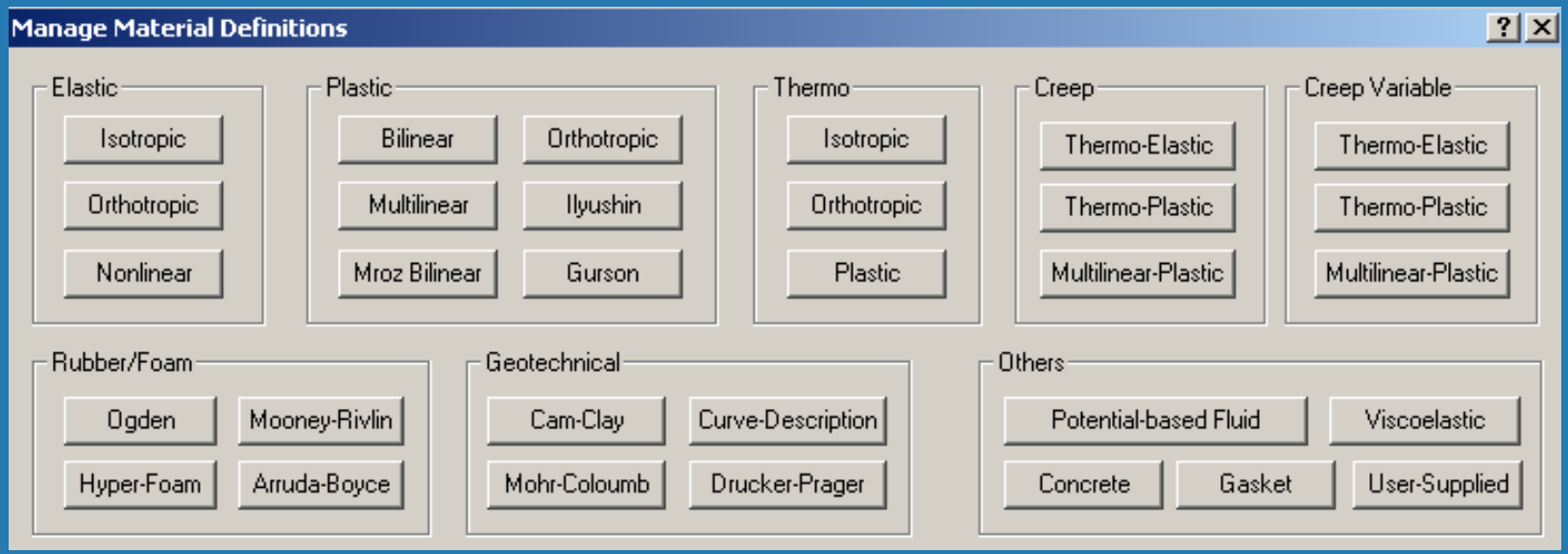
2. 针对不同模块，材料的本构不同，需要的参数也不同；

3. 任何几何元素必须要有材料的定义才能够进行分析（离散单元除外）；几何体赋予何种材料特性的操作是由网格划分时指定的Element Group确定的；

4. 由Nastran等有限元数据接口读入的有限元模型中不同材料的单元都属于不同的Element Group；

ADINA结构模块的材料模式

材料模式



结构材料表

- 线弹
- 非线弹
- 塑性
- 热本构
- 蠕变
- 橡胶/泡沫
- 粘弹
- 垫片材料
- 势流体
- 岩土
- 混凝土
- 多孔介质
- 用户定义
- …

各向同性弹性：

弹性模量：Young’s Module

泊松比：Possion’s ratio

密度：Desity

热膨胀系数：Coef. Of thermal

说明：

1．必须指定弹性模量和泊松比；

2．当进行静力分析时，密度可以不输入；当进行动力分析时，必须指定密度；

3．当进行线性热－结构耦合分析时(通常仅在结构模块中施加已知的温度分布)，必须指定热膨胀系数；

4．不必输入的数据用0替代；

5．此材料适用于小应变分析中；

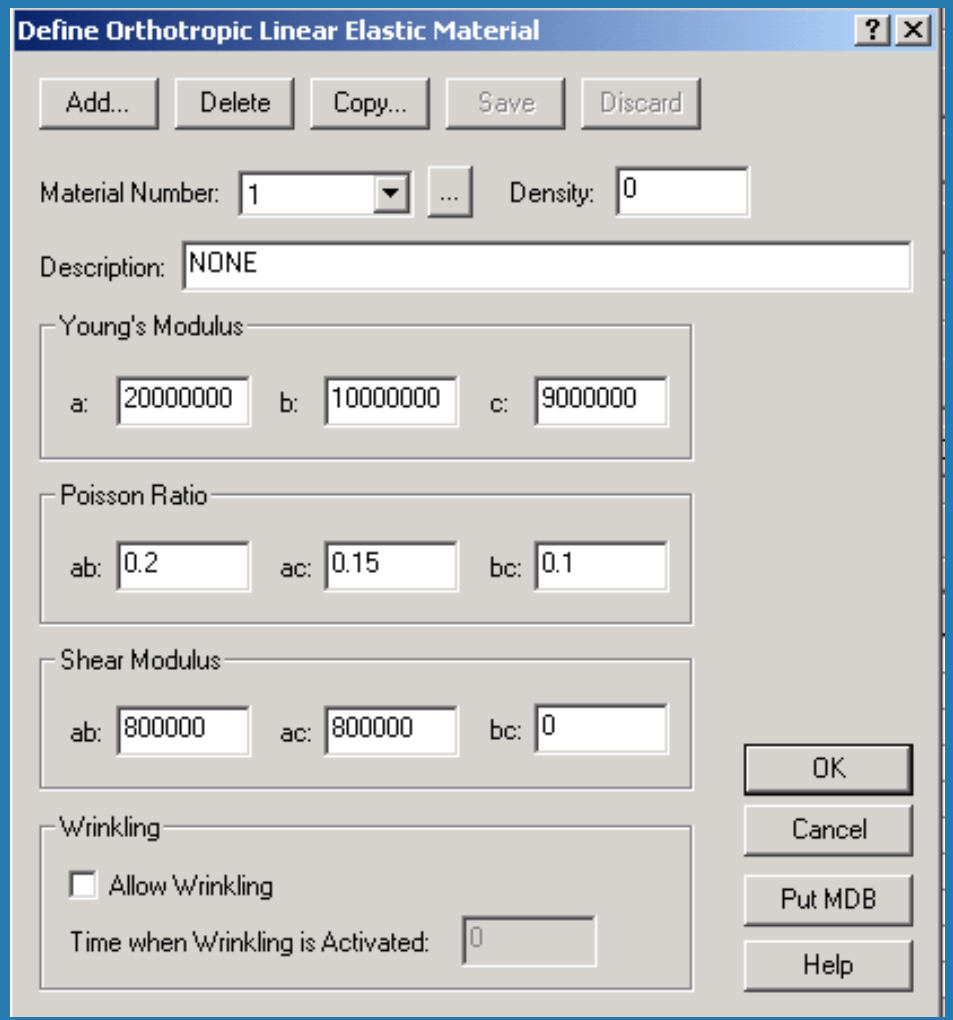
正交各向异性材料：

弹性模量：包括a，b，c三个材料主轴方向模量

泊松比：包括ab，ac，bc三个泊松比

剪切模量：包括ab，ac，bc三个方向剪切模量

密度：



说明：

1. 当进行3D分析时，必须指定所有参数，除静力分析不必给定密度外；

2. 当进行2D分析时，要指定弹性模量泊松比以及ab向剪切模量共7个参数；

3. Wrinkling选项用于模拟丝织物的面内失稳起皱现象；

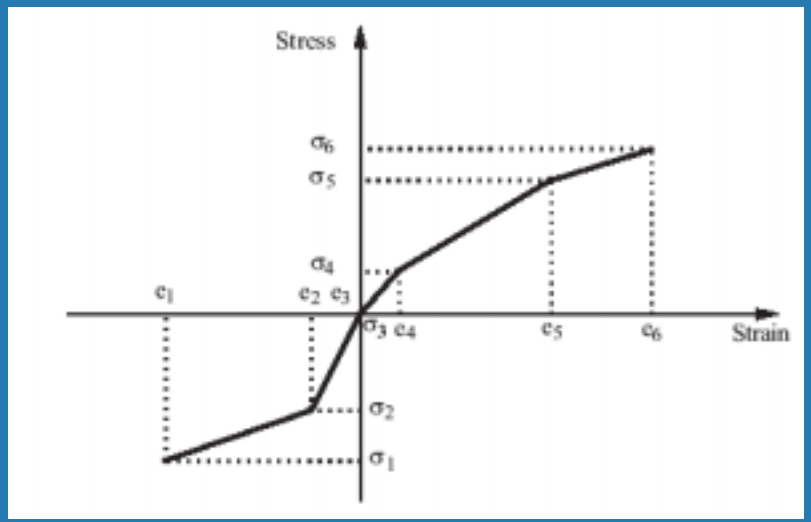
非线性弹性材料：

此非线性弹性材料通过输入应力－应变关系曲线；

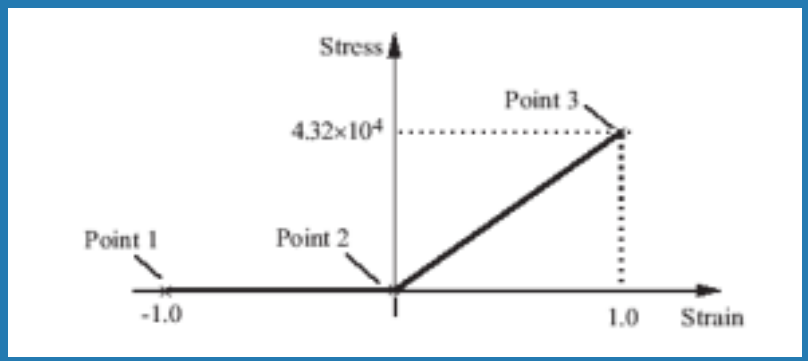
应力应变曲线可以在参数表中输入，也可以给定已经定义的曲线的标号；

另外一个参数是密度；

说明：用于TRASS单元，常用来模拟物理条件中非线性弹簧或Gap；



用于非线性弹簧模拟的材料曲线



用于Gap模拟的材料曲线

双线性塑性:

必须输入参数：

弹性模量；

泊松比；

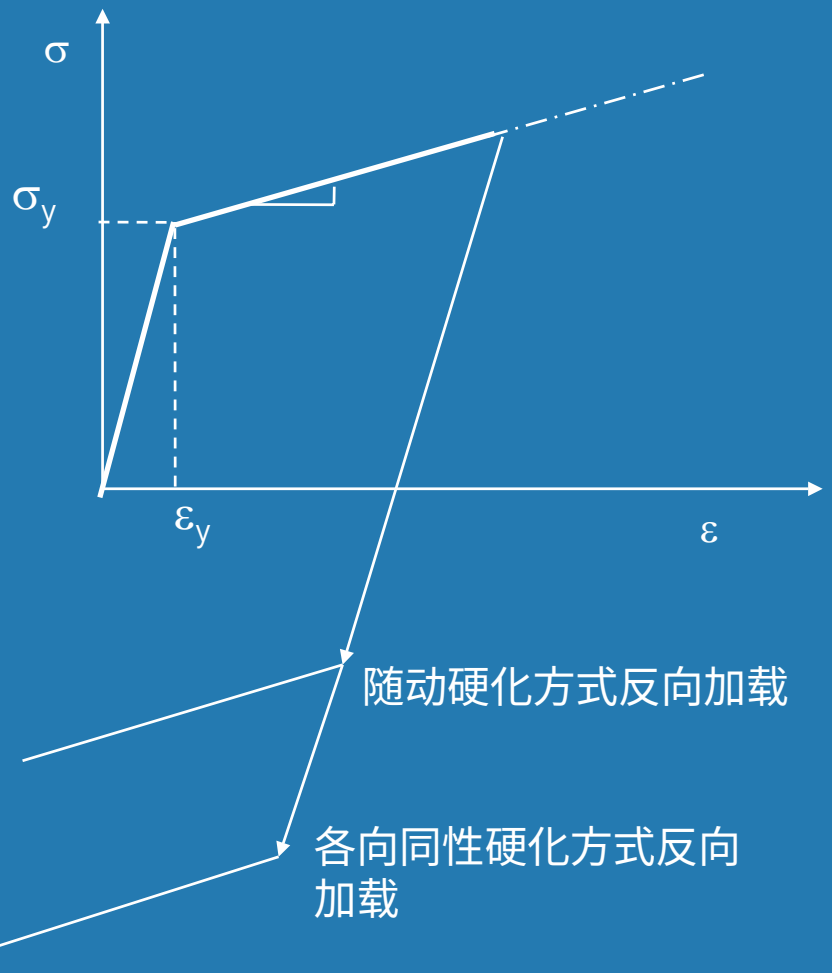
屈服应力；

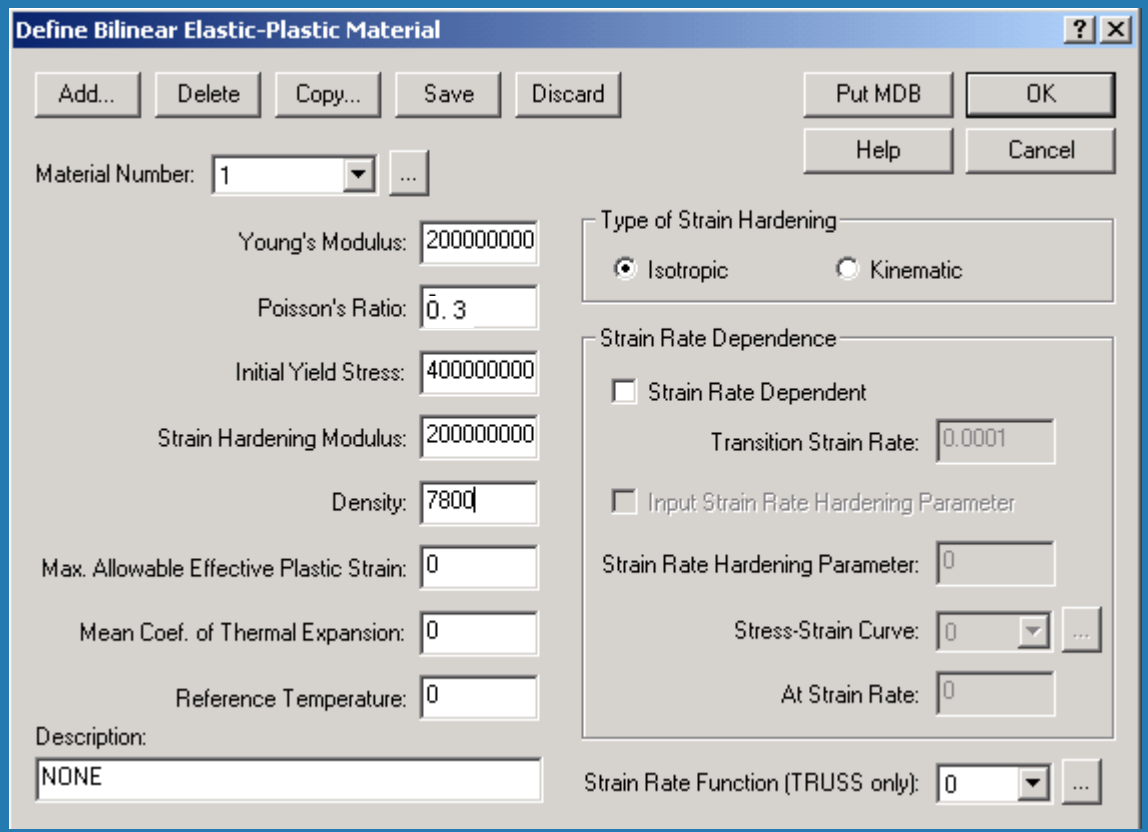
切线模量；

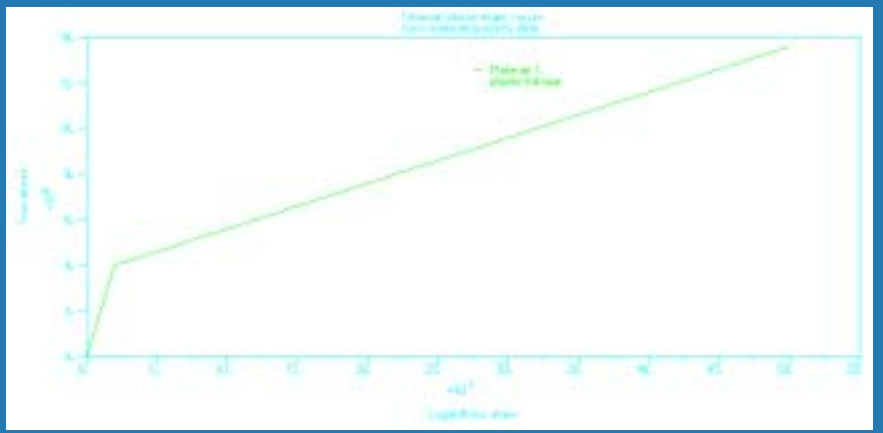
硬化方式（Transverse或Isotropic方式任选其一）

从PI平面看，各向同性硬化方式，屈服圆位于中心，逐步扩大；随动硬化方式屈服圆大小保持不变，但中心位置发生移动。随动硬化这种特性导致受拉后反向加载屈服应力降低，称为包兴格效应。

以上参数可以确定双线性弹塑性材料曲线，如右图。




Define Bilinear Elastic-Plastic Material
Add...
Delete
Copy...
Save
Discard
Put MDB
OK
Help
Cancel
Material Number: 1
Young's Modulus: 200000000
Poisson's Ratio: 0.3
Initial Yield Stress: 400000000
Strain Hardening Modulus: 200000000
Density: 7800
Max. Allowable Effective Plastic Strain: 0
Mean Coef. of Thermal Expansion: 0
Reference Temperature: 0
Description:
NONE
Type of Strain Hardening
Isotropic
Kinematic
Strain Rate Dependence
Strain Rate Dependent
Transition Strain Rate: 0.0001
Input Strain Rate Hardening Parameter
Strain Rate Hardening Parameter: 0
Stress-Strain Curve: 0
At Strain Rate: 0
Strain Rate Function (TRUSS only): 0



材料输入实例

其它参数：

密度：动力分析输入；

极限应变（Max. Allowable effective Strain）：考虑材料破坏时输入；

热膨胀系数：考虑热－结构耦合线性分析中指定；

应变率强化参数b（Strain Hardening Parameter）：考虑应变率强化效应时输入，如右式中所示；

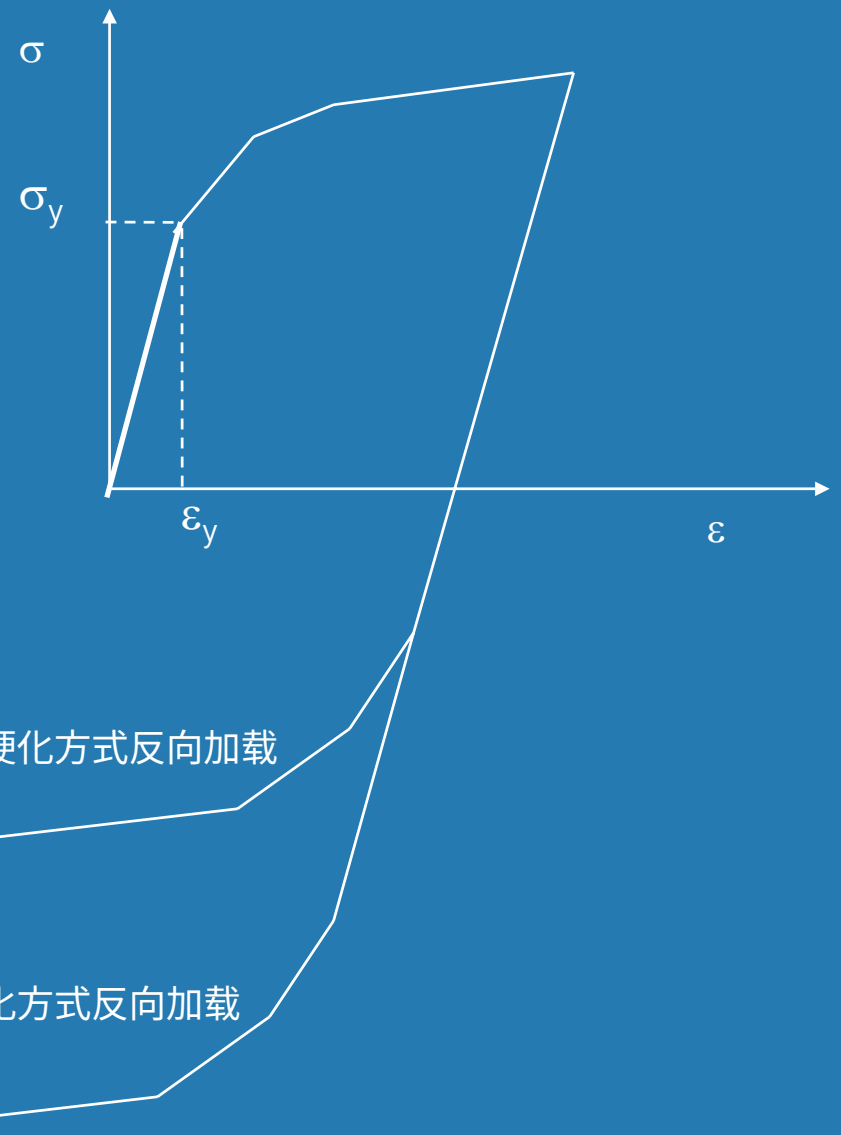
考虑应变率效应时，也可以通过输入不同应变率水平下的一组strain-stress曲线，由ADINA求解时自动计算b值；

$$\sigma_y = \sigma_y^0 \left[1 + b \ln\left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right]$$

应变率对当前屈服应力的影响

多线性塑性材料(MultiLinear)：

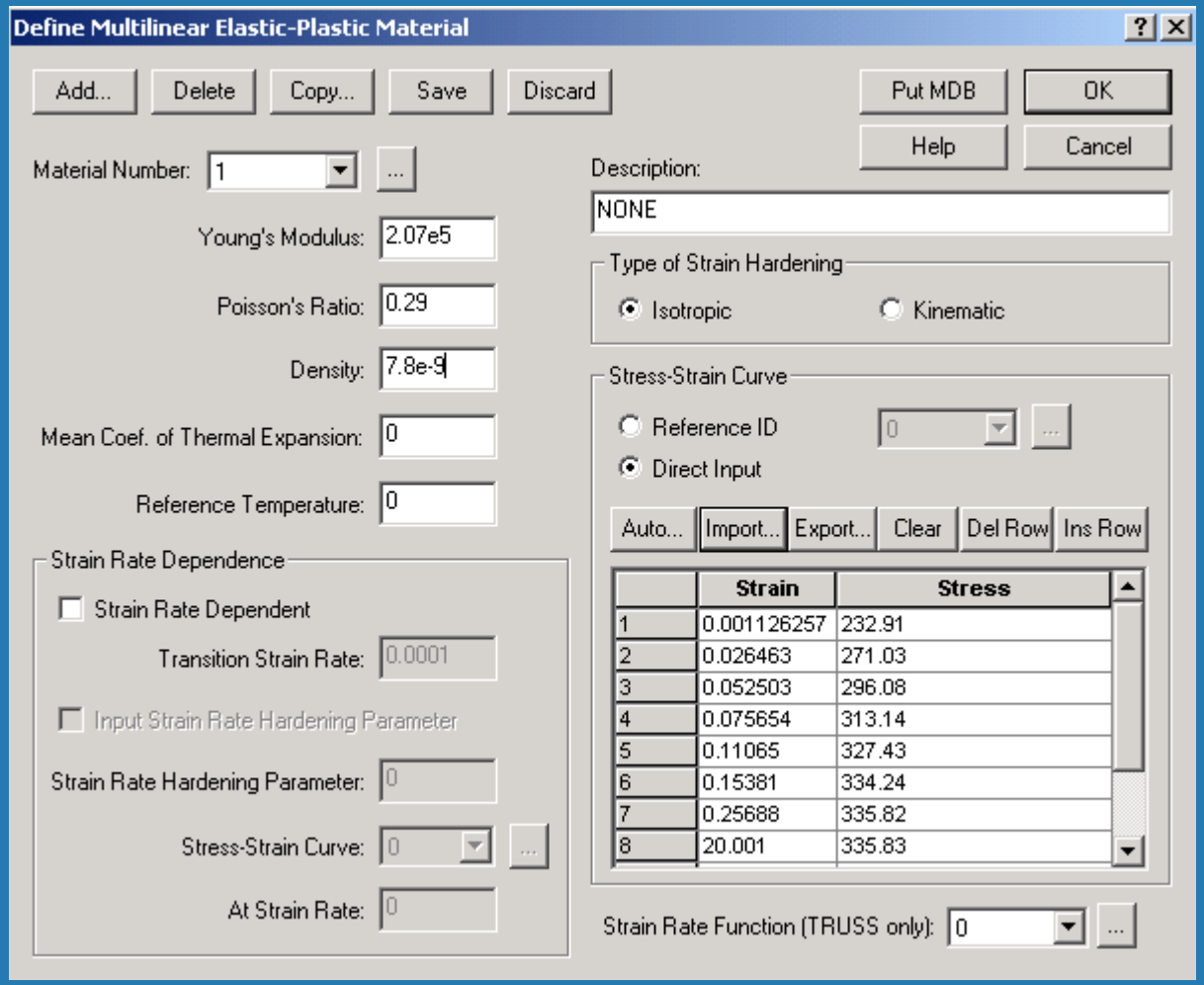
与双线性塑性类似，只是在加载和卸载过程中呈现多线性特征；



说明：

1．通过strain-stress曲线定义，不再具有确定切线模量的参数；

2．应变率效应的算法同双线性模型。



输入材料参数示例

说明：应力－应变曲线一般存为TXT文件，需要时可以自动读入；

正交各向异性塑性材料(Orthotropic)：

必须输入参数包括：

弹性模量（a,b,c）

泊松比(ab,ac,bc)

剪切模量(ab,ac,bc)

屈服应力（三个单拉a,b,c，三个纯剪切ab,ac,bc）

Hill参数：1. 由初始屈服应力计算得到；或

2. 输入Lankford系数，即R0，R45，R90

直接输入Hill方程的常数（共6个）；

硬化模量（Strain Harden Moduli）：三种方式任选其一,其中Strain Harden Moduli方式必须指定六个方向的硬化模量；

说明：此材料模式常用于模拟各向异性特征明显的板成形冷轧钢板和纤维增强复合材料板；

Mroz Bilinear(双线性塑性模型):

输入的参数要确定：

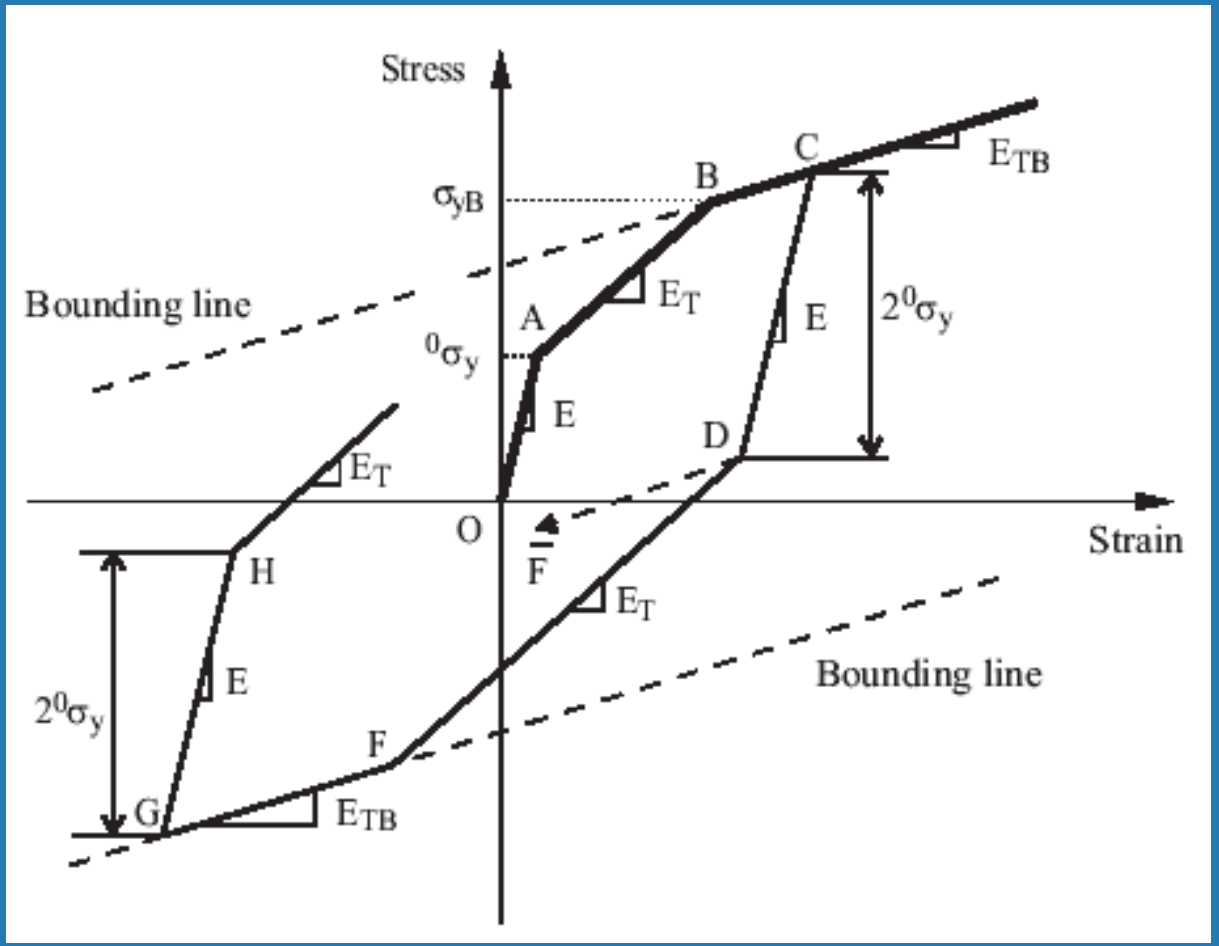
弹性模型；

泊松比；

切线模量1；Et

切线模量2；Etb

初始屈服应力；$^{0}\sigma_y$



说明：加载卸载路径严格位于上下Bounding Line，卸载规则比较特别。

Gurson塑性模型:

说明：

1. Gurson是一种基于微尺度材料描述，主要用来模拟韧性材料受载下的空穴集聚和断裂问题等材料研究；

2. 采用特殊的屈服函数，将材料中的空穴体积和压力作为变量；参考理论手册P268；

3. 用于2D、3D实体单元；

输入参数包括：

弹性模量；

泊松比；

屈服应力；

初始空穴体积分数；

Ilyushin双线性塑性模型：

说明：

1. 采用Ilyushin屈服准则和流动准则；

2. 其它特征与简单双线性模型相同；

$$'f_y = '\bar{Q}_M + '\bar{Q}_B + \left|\bar{Q}_{MB}\right|\gamma - '\sigma_y^2 = 0$$

Ilyushin屈服准则(γ为Ilyushin数)

输入参数：

弹性模量；

泊松比；

屈服应力；

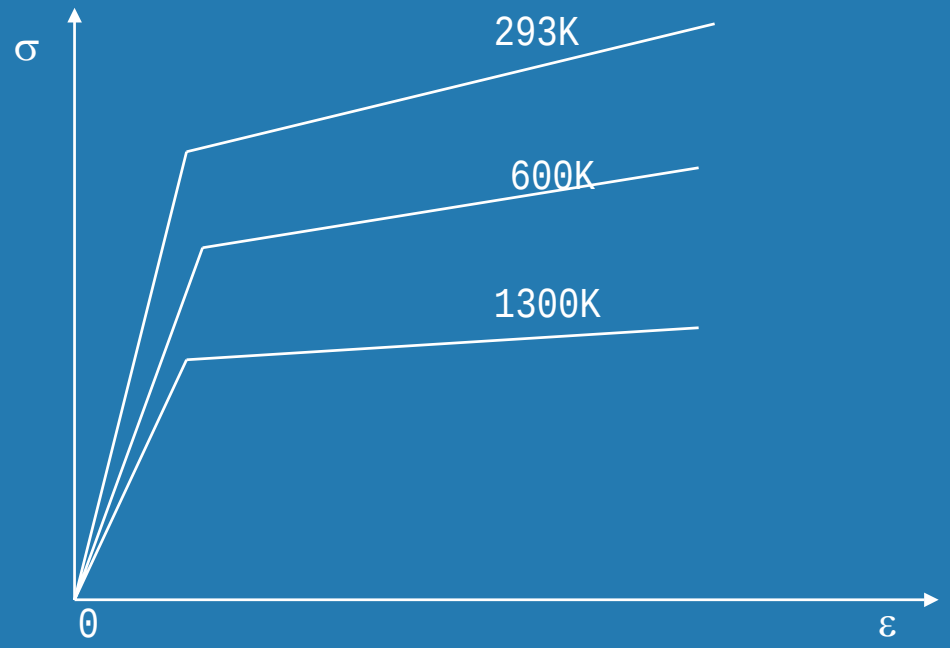
Ilyushin数；

切线模量；

密度；

材料模式

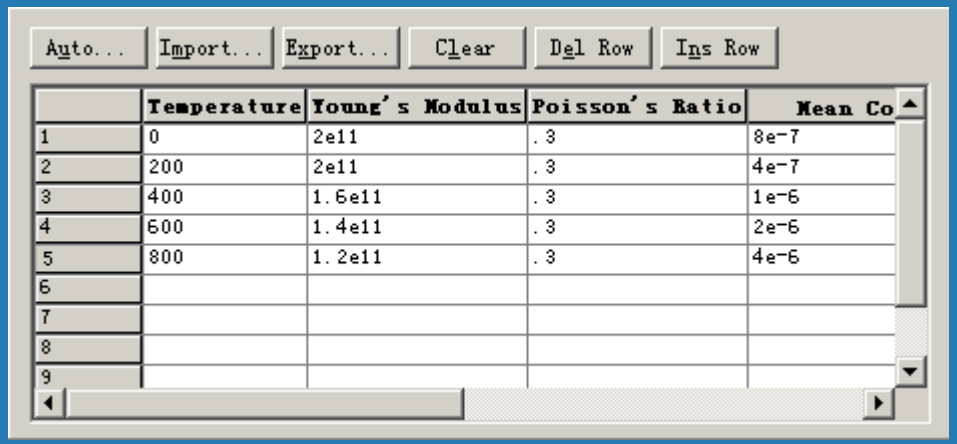
非线性温度相关材料：



说明：

1．几种材料类似，都采用输入不同温度下的结构性能确定其本构特性，如右图是一种弹塑性材料的输入数据；

2．不同温度之间的结构特性由插值方法获得。



	Temperature	Young's Modulus	Poisson's Ratio	Mean Co
1	0	2e11	.3	8e-7
2	200	2e11	.3	4e-7
3	400	1.6e11	.3	1e-6
4	600	1.4e11	.3	2e-6
5	800	1.2e11	.3	4e-6
6				
7				
8				
9				

温度相关材料结构参数定义方式

共分为三种类型，参考温度无关材料模式：

- 各向同性弹性材料
- 正交各向异性弹性材料
- 各向同性塑性材料

蠕变（Creep）材料：

说明：

1. 蠕变材料中应变最多包括热应变、时间相关的塑性应变、时间相关的蠕变应变；

2. 提供四种方式计算蠕变应变：分别称为Law1～Law3(主要用于金属材料)和Lubby2（主要用于岩土、混泥土长期蠕变）模型；见右侧模型；

3.可以选择应变硬化（Strain Hardening）和时间硬化（Time Hardening）两种方式；

Law1，输入3参数：

$$e^c = a_0 \sigma^{a_1} t^{a_2}$$

Law2，输入7参数：

$$e^c = F(1 - e^{-Rt}) + Gt$$

其中：

$$F = a_0 e^{a_1 \sigma} \qquad R = a_2 (\frac{\sigma}{a_3})^{a_4} \qquad G = a_5 e^{a_6 \sigma}$$

Law3，输入8参数：

$$e^c = S \cdot T \cdot e^{-H}$$

其中：

$$S = a_0 \sigma^{a_1} \qquad T = t^{a_2} + a_3 t^{a_4} + a_5 t^{a_6} \qquad H = \frac{a_7}{\theta + 273.16}$$

Lubby2，输入6参数：

$$e^c = \left[\frac{1}{G_k(\overline{\sigma})}\exp\left(-\frac{G_k(\overline{\sigma})}{\eta_k(\overline{\sigma})}t\right)+\frac{t}{\eta_M(\overline{\sigma})}+\frac{1}{G_k(\overline{\sigma})}\right]\overline{\sigma}$$

其中：

$$\eta_M(\overline{\sigma}) = \eta_M^* e^{m\overline{\sigma}}$$

$$G_k(\overline{\sigma}) = G_k^* e^{k_1\overline{\sigma}_1}$$

$$\eta_k(\overline{\sigma}) = \eta_k^* e^{k_2\overline{\sigma}}$$

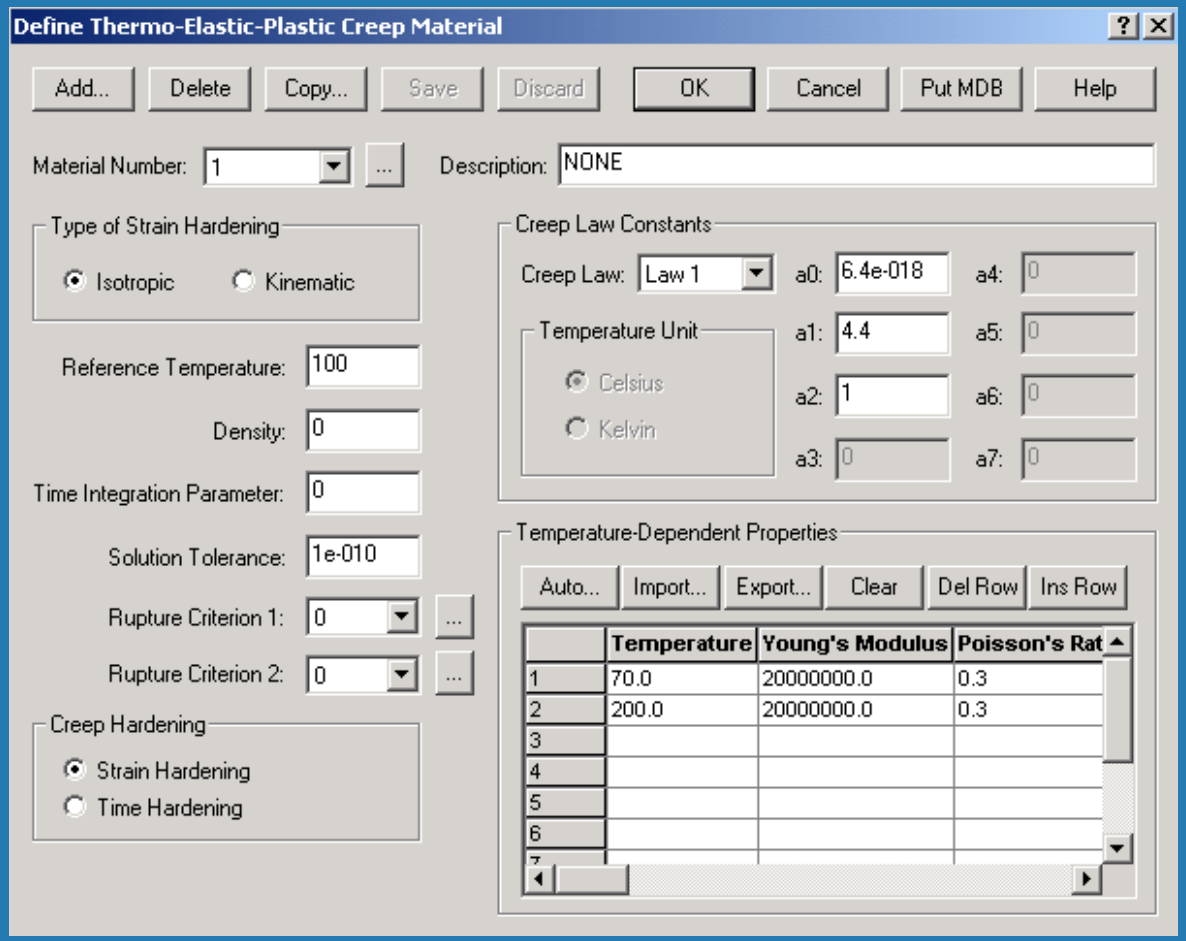
说明(续)：

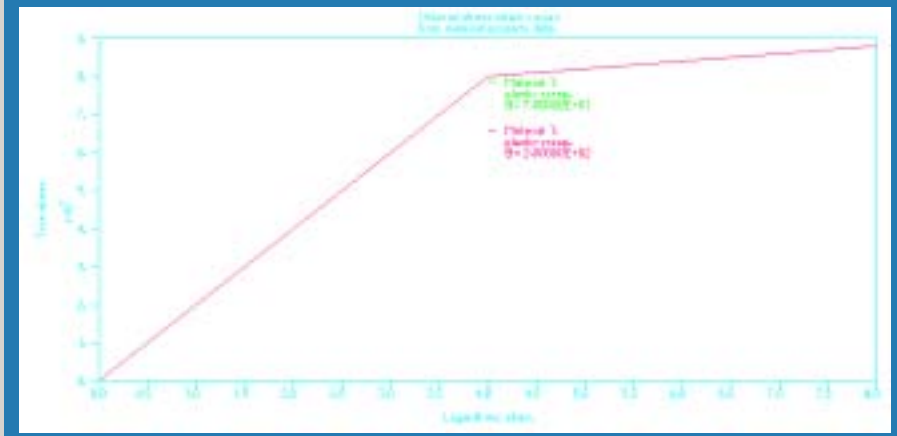
4．可以考虑蠕变破坏（Rapture），共有两个方式：曲线输入；另一种是输入三个材料参数，通过应力不变量定义的破坏模型如下；

$$\alpha J_3('\sigma)+\beta J_1('\sigma)+(1-\alpha-\beta)J_2('\sigma)\le\overline{\sigma}_u$$

输入三参数的破坏模型

材料模式





三参数蠕变输入参数示例

蠕变变参数材料（Creep Variable）：

说明：

1. 与前面的Creep模型类似，主要使用Law3和Lubby2蠕变应变算法；

2. 区别是Law3和Lubby2中所有参数（在Creep模型中为常数），可以随温度变化；

高次Mooney Rivlin橡胶材料：

材料参数包括：

C1～C9

D1～D2

体积模量

$$
\begin{aligned}
{}_0^{\prime}W = {} & C_1\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)+C_2\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)+C_3\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)^2+C_4\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)+ \\
& C_5\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)^2+C_6\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)^3+C_7\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)^2\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)+ \\
& C_8\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)^2+C_9\left({}_0^{\prime}I_2-3\right)^3+D_1\left(\exp\left(D_2\left({}_0^{\prime}I_1-3\right)\right)-1\right)
\end{aligned}
$$

Mooney Rivlin橡胶的应变能函数

说明：

1. 当只输入C1时，方程为简单弹性；
2. 当只输入C1和C2时，方程为标准的两项Mooney－Rivlin方程；
3. D1～D2通常在模拟生物肌体（Tissue）时采用；

Ogden橡胶材料：

材料参数包括:

μ1～μ9；

α1～α9；

体积模量；

$$ {}_0^tW = \sum_{n=1}^{9}\left(\frac{\mu_n}{\alpha_n}\left[{}^t\lambda_1^{\alpha_n} + {}^t\lambda_2^{\alpha_n} + {}^t\lambda_3^{\alpha_n} - 3\right]\right) $$

Ogden橡胶的应变能函数

说明：

当只输入μ1～μ3， α1～α3时，方程为标准的6参数Ogden应变能方程。

Arruda Boyce橡胶材料：

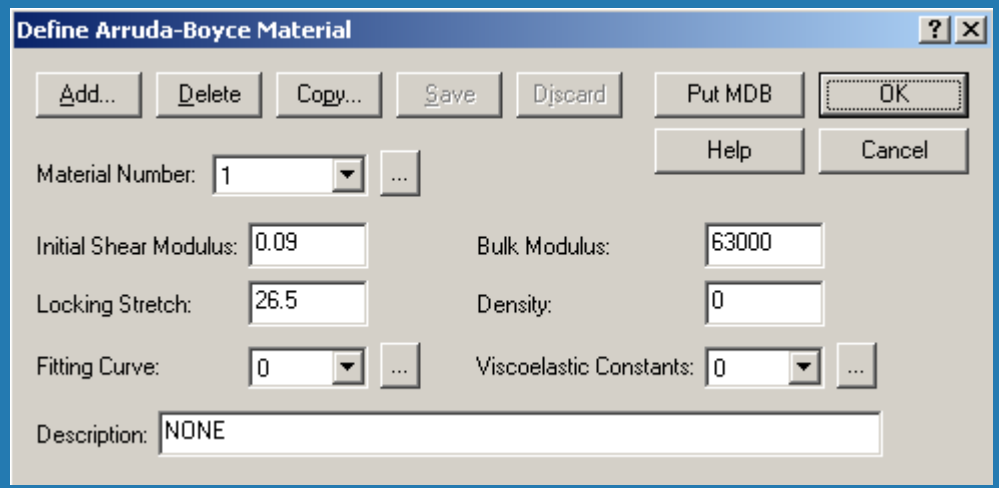
输入参数包括：

初始剪切模量；

材料常数γ_m ；

$$ {}_0^tW = \mu \sum_{i=1}^{5} \left[\frac{C_i}{\lambda_m^{2i-2}} \left({}_0^tI_1^i - 3^i \right) \right] $$

Arruda Boyce橡胶的应变能函数



Hyper foam泡沫材料：

材料参数：

μ_n ；

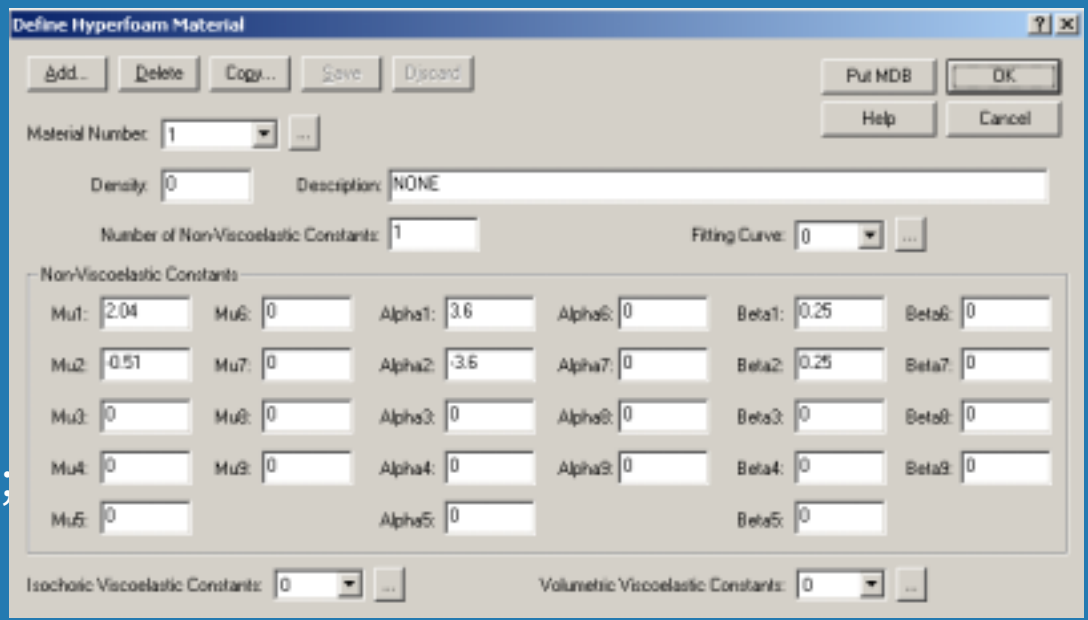
α_n ；

β_n ；

N最大值为9；

$$ {}_0^tW = \sum_{n=1}^{N} \frac{\mu_n}{\alpha_n} \left[{}^t\lambda_1^{\alpha_n} + {}^t\lambda_2^{\alpha_n} + {}^t\lambda_3^{\alpha_n} - 3 + \frac{1}{\beta_n} \left({}_0^tJ_3^{-\alpha_n\beta_n} - 1 \right) \right] $$

Hyper foam泡沫材料的应变能函数



说明：

1. 用于模拟高可压缩泡沫材料；
2. 由Ogden模型导出，考虑体积应变；
3. 变形能函数包含独立的剪切变形和体积变形项；

- 试验曲线拟合

以上材料方程中的常数可以直接输入，也可以由单轴拉伸、纯剪、等双轴拉伸试验数据自动拟合出来；可给出任何一个试验曲线或所有试验曲线。

输入试验的曲线数据可以是工程应变或，伸长比与拉力的关系；

试验曲线拟合成应变能函数则提供很多算法；

注意：参考理论手册中3.8.5。

- 单元选择

各种橡胶材料基本为不可压缩材料（泊松比接近0.5），用户可选择使用u/p单元；

- 粘弹效应（Viscoelastic）

所有的橡胶/泡沫类材料都可以包含粘弹效应；即：

1. 以时间变形表示橡胶材料的模量衰减，采用 Maxwell 松弛函数或 Kelvin 蠕变函数表示模量衰减特性；

2. 粘弹项分解为等体积（剪切）变形（ isochoric deformation ）和体积变形（ volumetric deformation ）两部分；

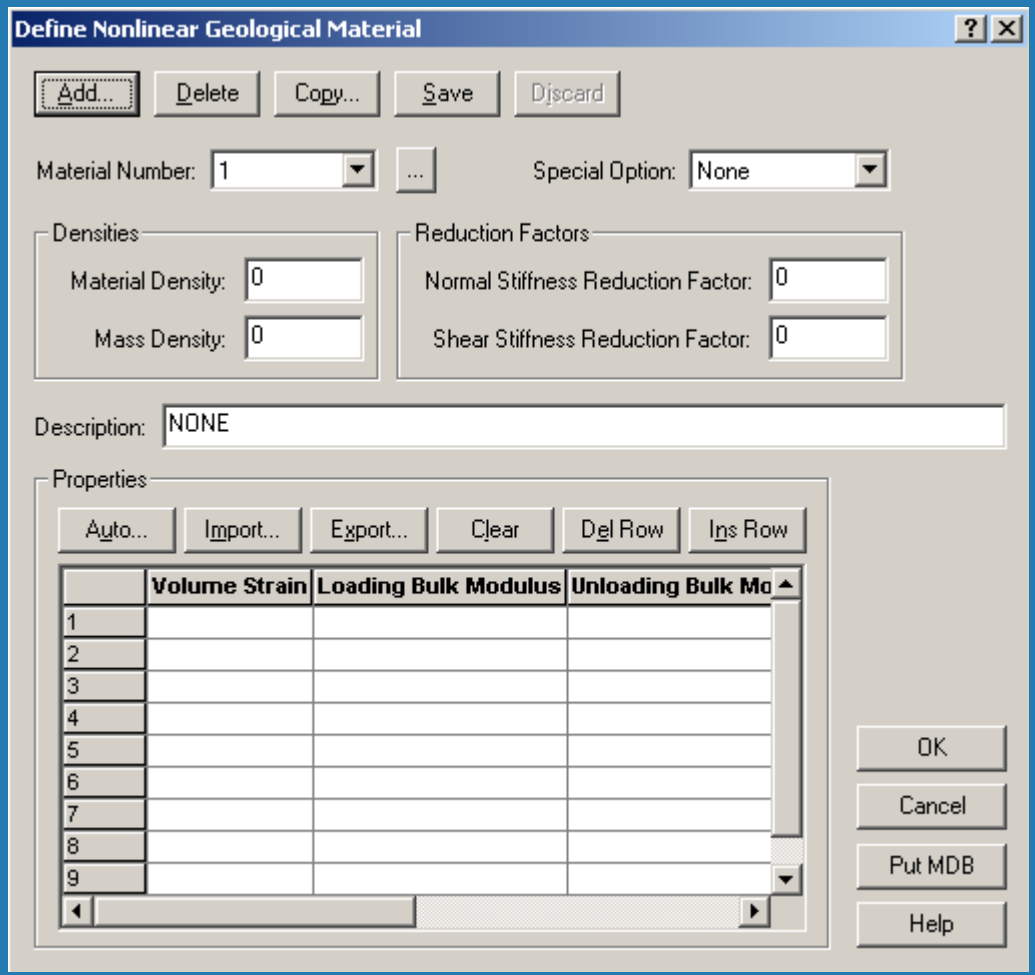
曲线描述的岩土材料：

输入参数：

体积模量－体积应变关系曲线；

剪切模量－体积应变关系曲线；

可考虑In-Situ Gravity Pressure导致的失效。



莫尔库仑模型：

输入参数：

弹性模量

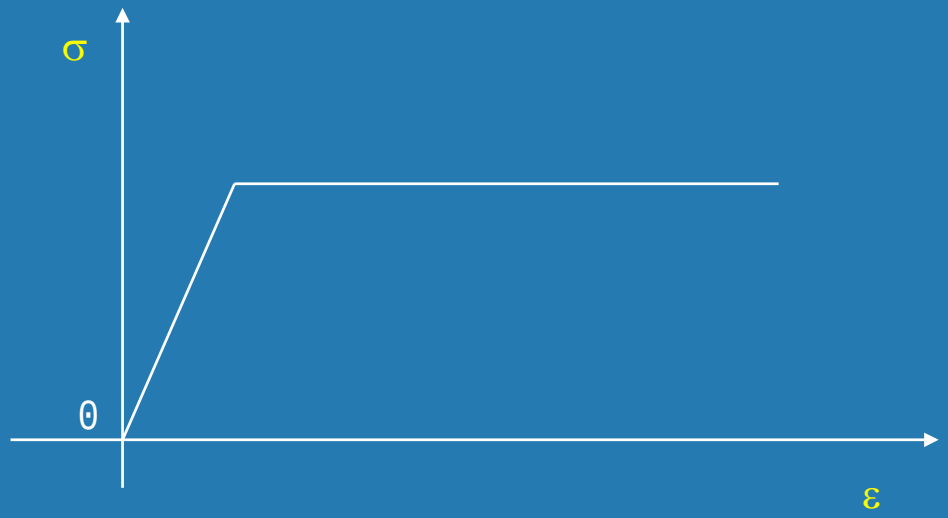
泊松比

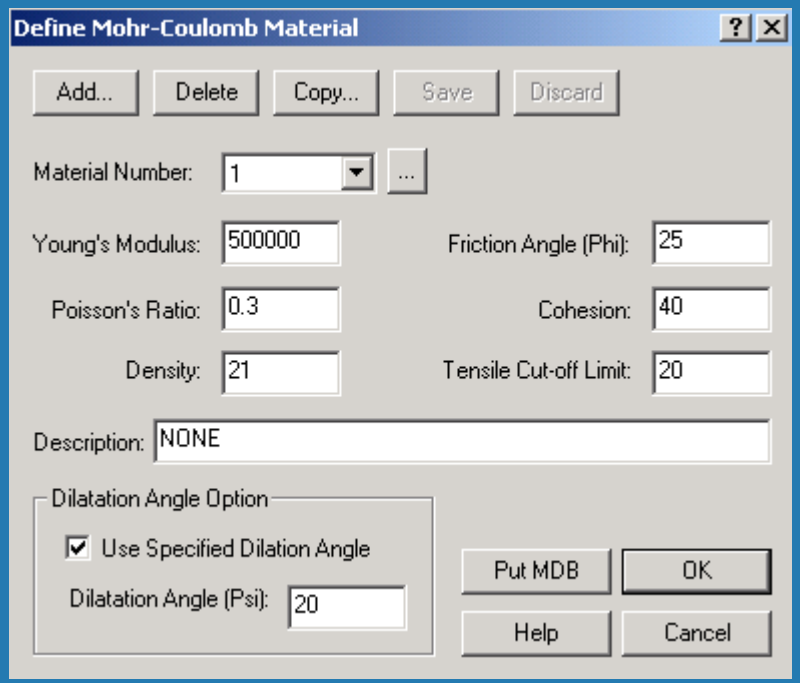
密度

摩擦角（Friction Angle）

粘结度（Cohesion）

膨胀角（Dilatation Angle）ψ：可选，一般小于摩擦角。





说明：

1. 弹性－理想塑性模型，不能考虑多数岩土具备的硬化特征；
2. 屈服面为多边形；

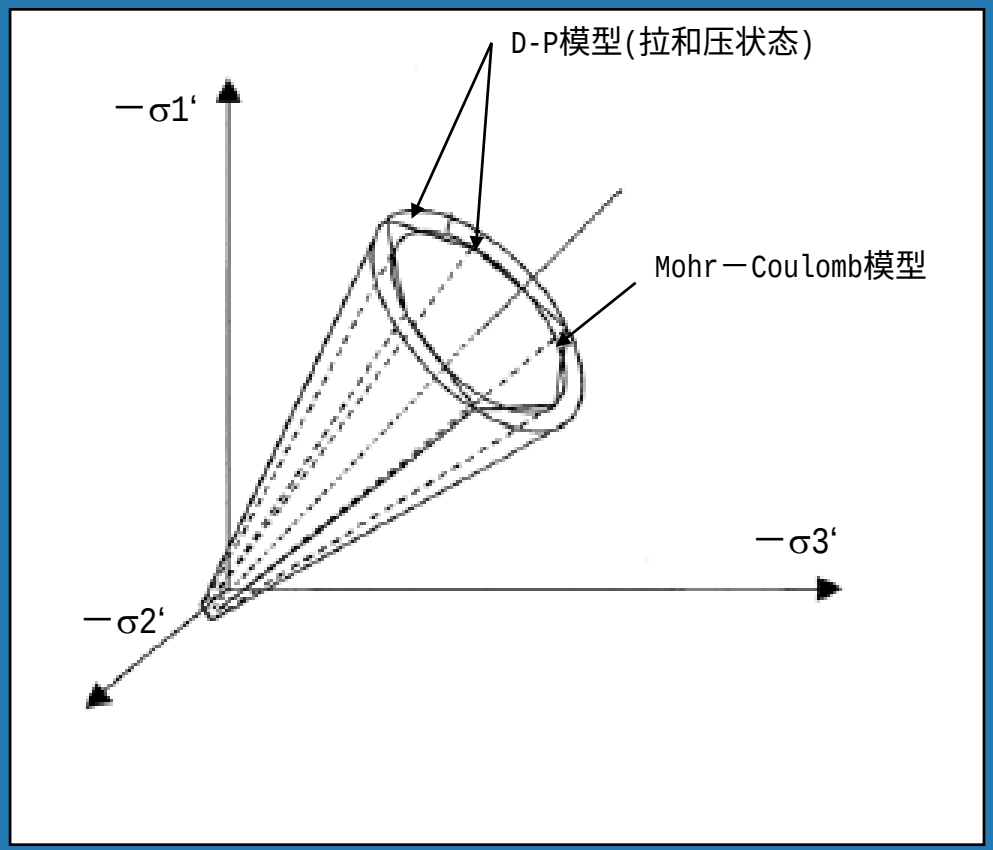
Druker－Prager Cap 硬化岩土材料:

说明：

1. DP模型的屈服面在主应力空间内成锥形；

2. 垂直于PI平面看，DP屈服面为圆，(莫尔库仑屈服面为多边形）；

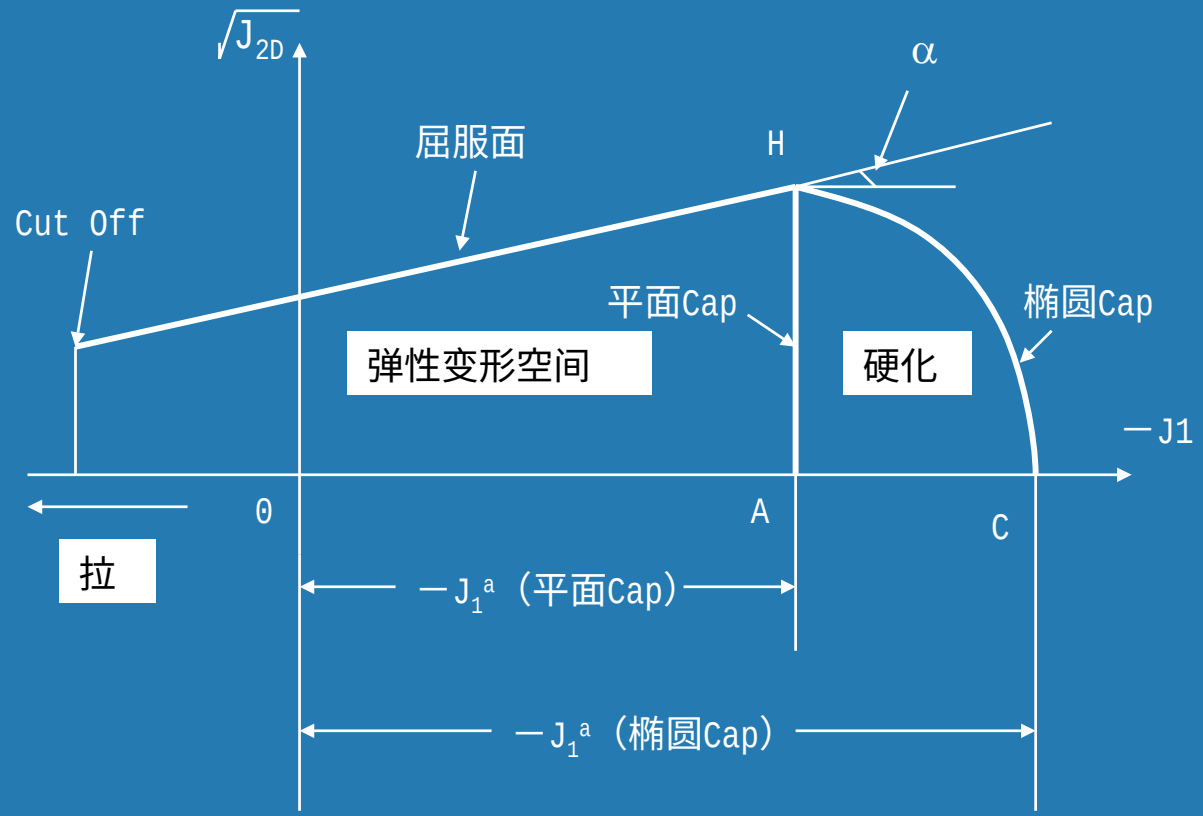
3. 因此DP模型可以看作是莫尔库仑模型的拉压失效空间；



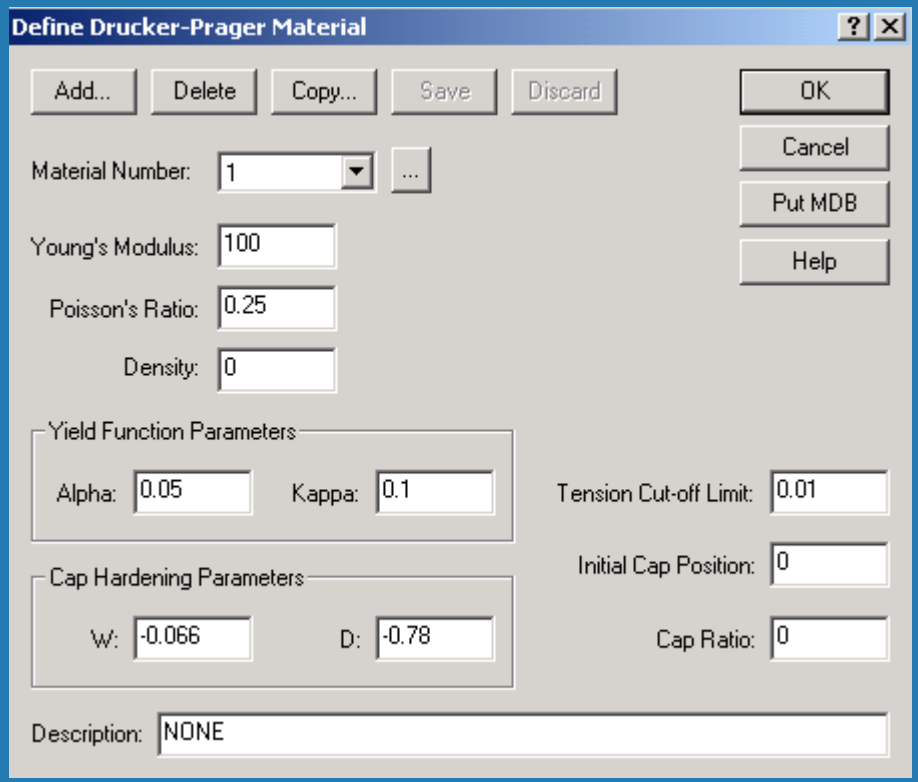
DP模型屈服面示意

两种Cap硬化方式：

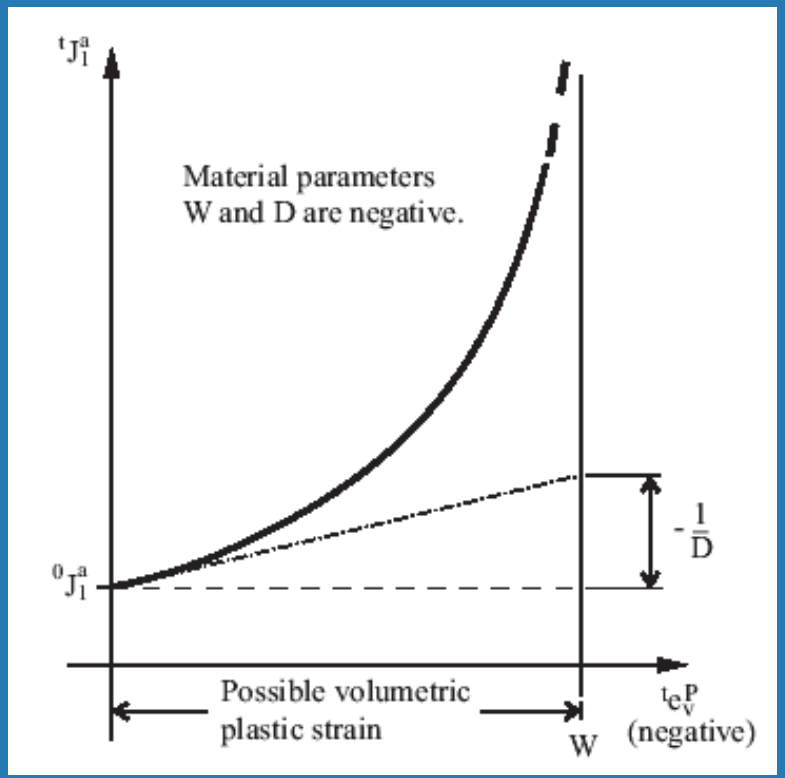
1. 平面硬化（Plan Hardening）；
2. 椭圆硬化（Eliptical Hardening）；



两种Cap硬化示意



材料参数输入示例



输入参数的物理意义示意

剑桥模型 (Cam-Clay Pressure Dependent Plastic Model)：

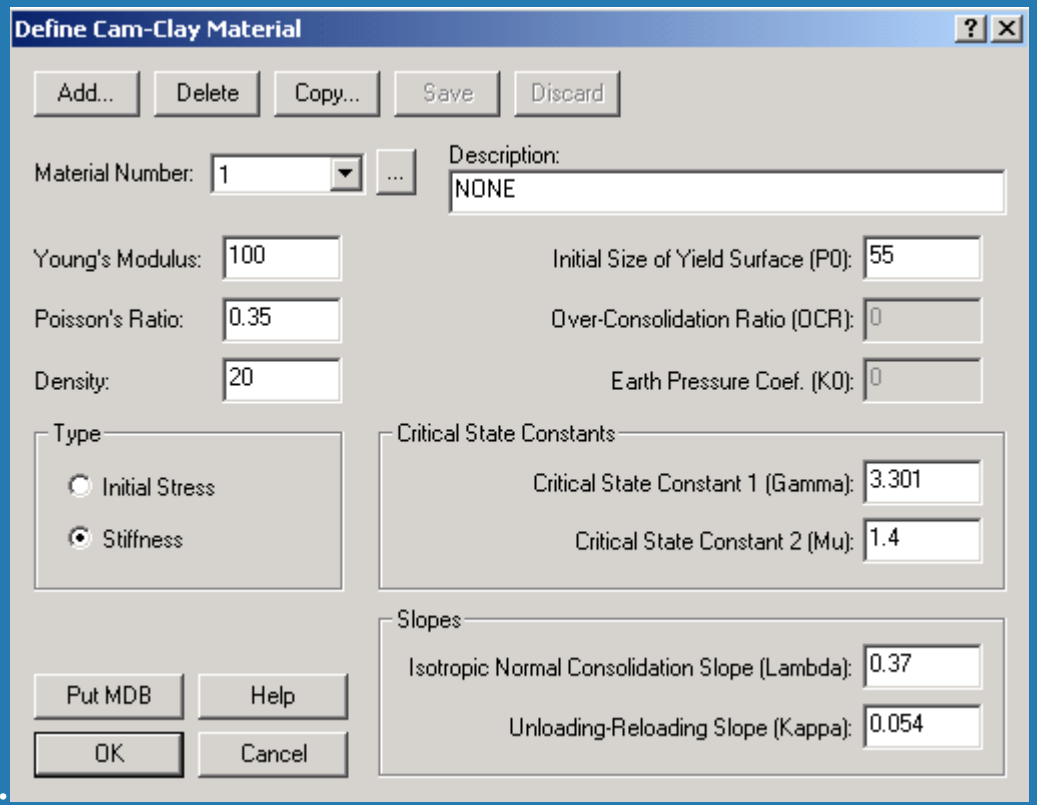
输入参数：

弹性模量

泊松比

初始屈服面计算方式:initial Stress

Initial Stiffness



说明：

1. 最好的模拟粘土的本构模型；
2. 包含弹性体积应变和静水压的非线性关系；
3. 考虑固结和超固结状态下的应变强化和软化；
4. 考虑破坏；

混泥土（Concrete）：

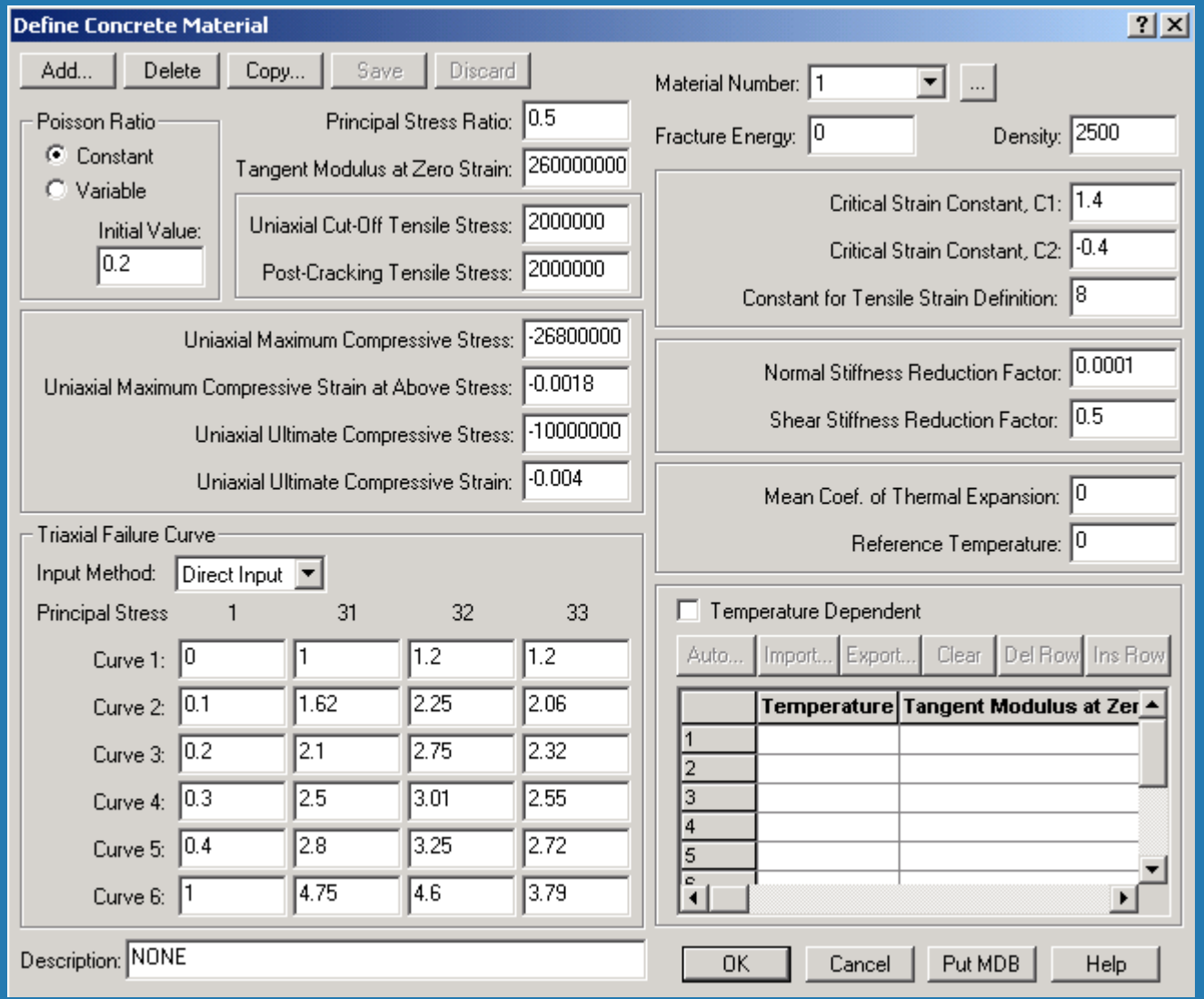
非线性混泥土模型；

三轴失效可采用：

直接输入数据；

Kupfer算法；

Sandia算法；

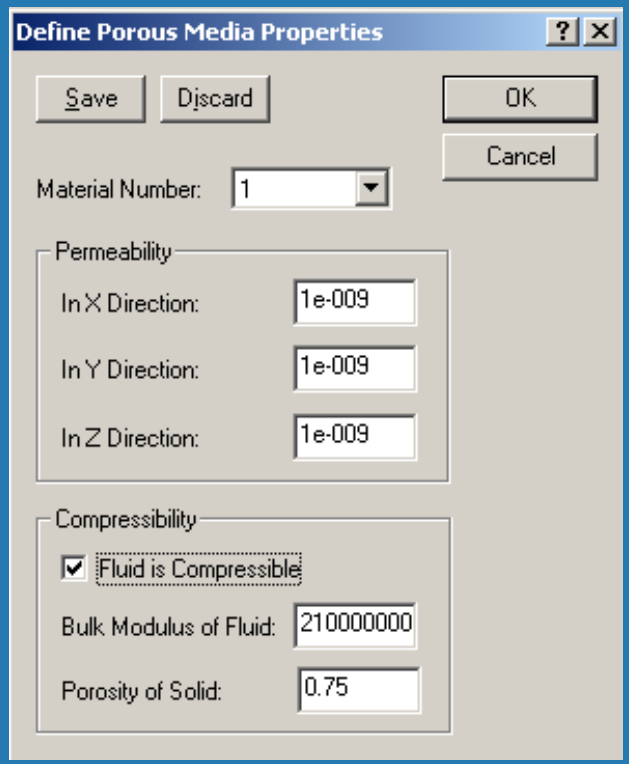


多孔介质（Porous）：

菜单：Model/Materials/Porous Media Property

输入参数：

X、Y、Z方向的渗透系数；



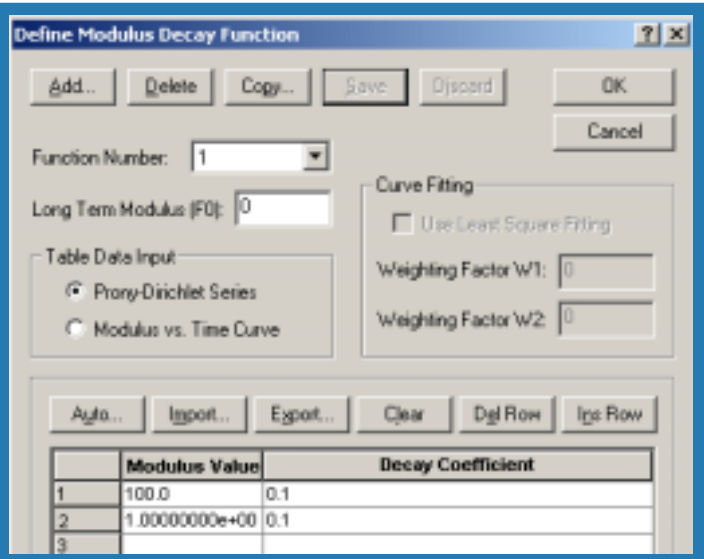
说明：多孔介质属性为结构材料的附属属性，只有在定义Element Group中的Element Options中选择Porous Media时，才能定义某种结构材料的多孔介质属性；

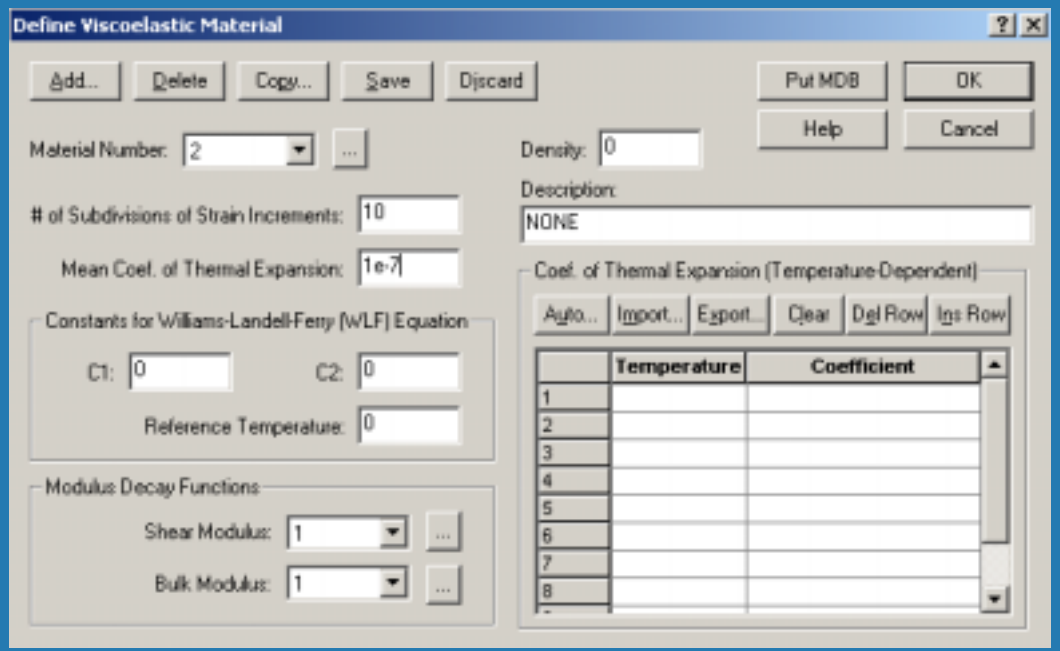
粘弹材料（Viscoelastic）：

输入参数主要为：

体积模量衰减曲线；

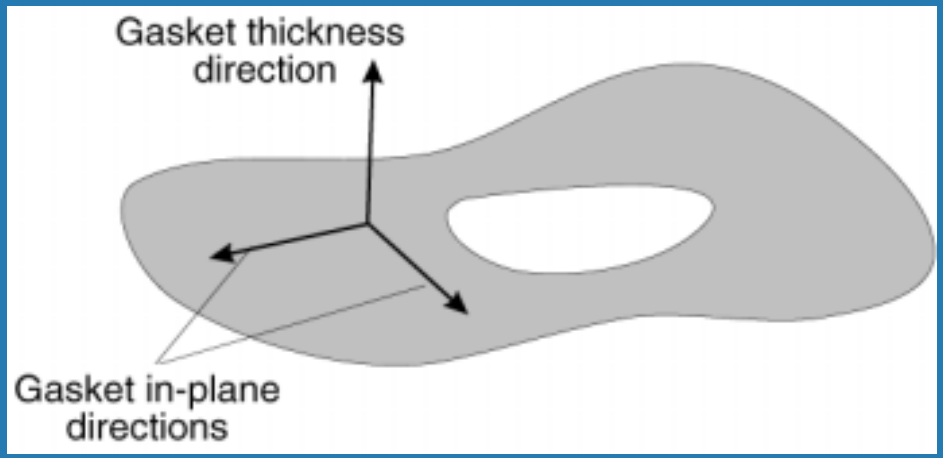
剪切模量衰减曲线；



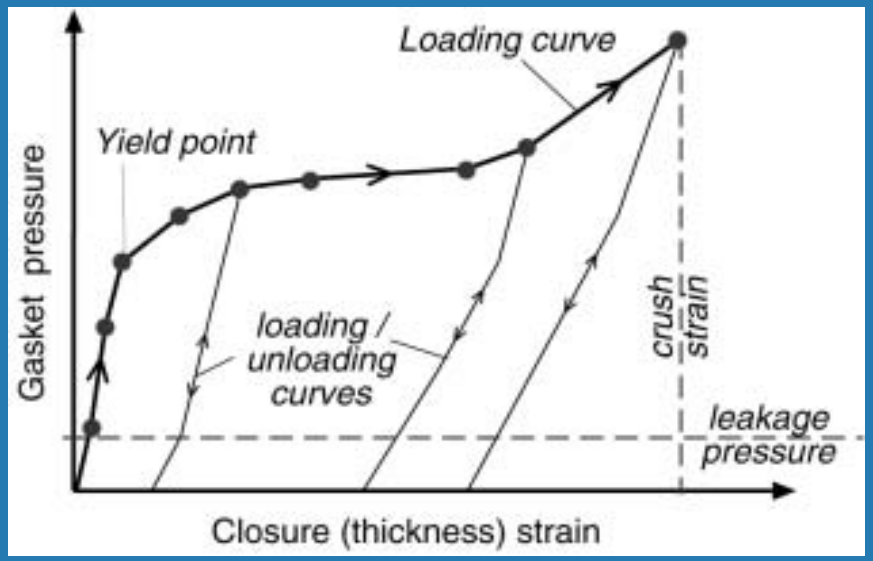


材料模式

垫片材料(Gasket):



垫片材料主轴示意



加载卸载路径

说明：

1. 包括两种垫片模型：full gasket 和简单垫片模型 (simple gasket，简单垫片模型忽略了垫片面内所有变形；全垫片模型考虑面内的弹性变形；
2. 受压产生非线性弹性－单向塑性变形 (unidirectional plasticity)，并且有多种卸载路径；
3. 垫片根据应力状态判断其工作状态: open, closed, sealed, leaked or crushed。

材料模式

主要输入参数：

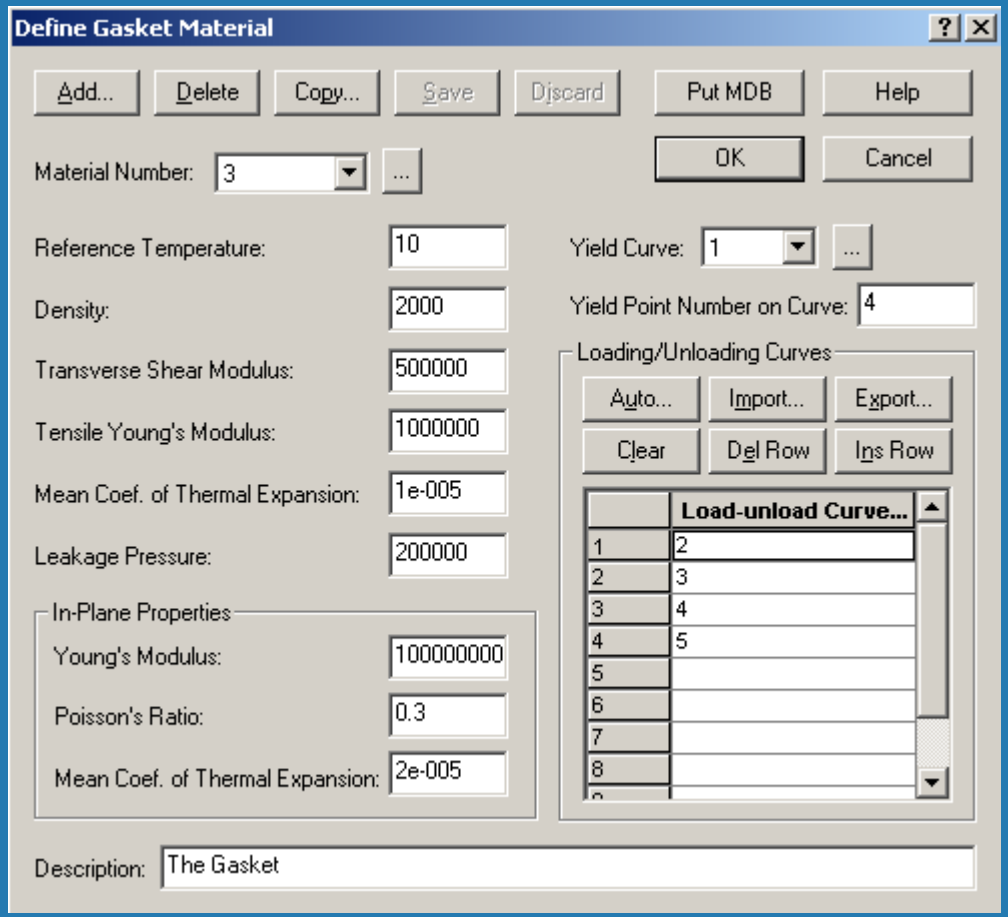
厚度方向弹性模量；

面内弹性模量；

面内泊松比；

泄漏压力（Leakage Pressure）；

加载卸载曲线；



输入参数示例

应变量度：

说明：

1. 小变形分析可以使用工程应变或格林应变或对数应变；
2. 大变形分析使用对数应变，对应真实应力量度；
3. 橡胶/泡沫类材料通常使用Stretch作为应变量度；

ADINA中应变量度

Engineering, or nominal strain:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Green-Lagrange strain:

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\frac{l^2 - l_0^2}{l_0^2}$$

Logarithmic, or true strain:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \int_{l_0}^{l} \frac{dl}{l}$$

Stretch:

$$\lambda = \frac{l}{l_0}$$

Engineering Strain	Green-Lagrange Strain	Logarithmic Strain
0.001	0.00100	0.000995
0.005	0.00501	0.004988
0.010	0.01005	0.009950
0.05	0.05125	0.04879
0.10	0.105	0.09531
0.50	0.625	0.4055

ADINA-T 材料模式及参数

ADINA-T 材料总体说明：

一．根据物理现象，ADINA-T模块中的材料模式主要分为四类：

1．热传导

热传导本构由热传导系数K和比热C确定；

2．热对流

热对流本构由热对流系数h 及环境温度（或与环境温度之差）确定；

3．热辐射

由热辐射系数和Stefan-Boltzmann常数确定；

4．其它

Seepage材料（类比于热传导本构）

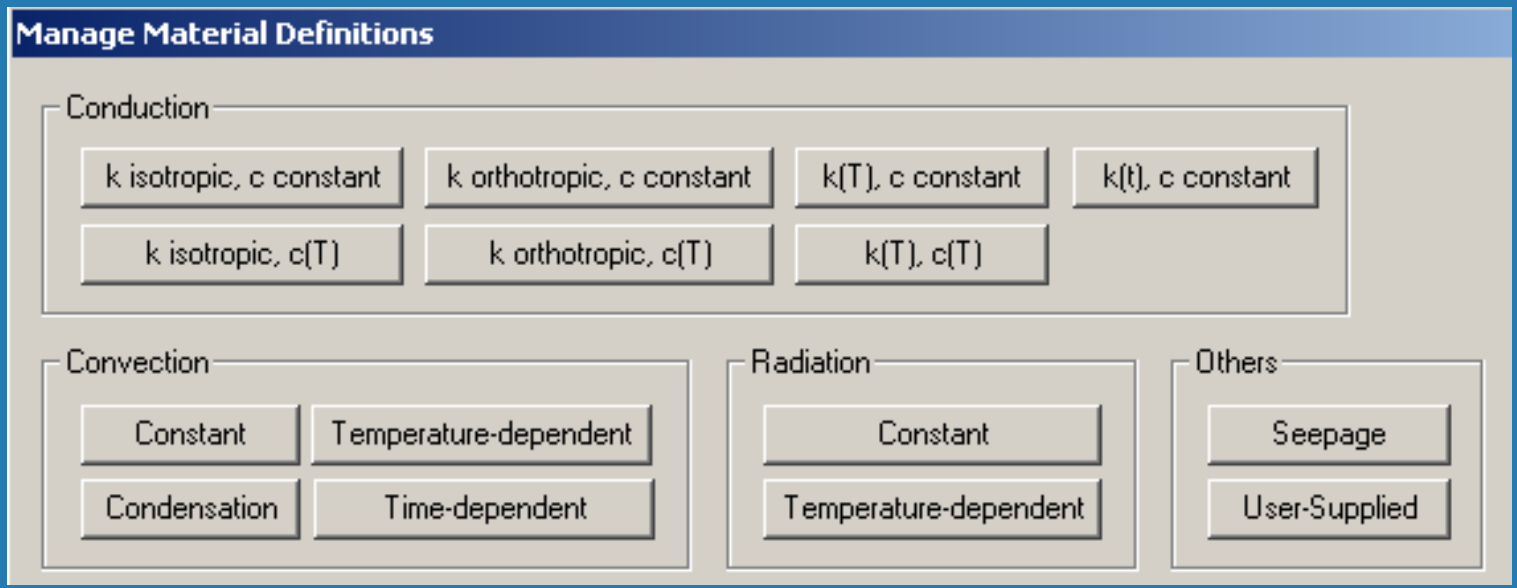
二．所有热本构参数分为线性和非线性

1. 线性的参数一般为常数，如常热传导系数，表示结构在不同的温度时具有相同的传热性能；

2. 非线性的参数是变化的参数，主要随温度或时间变化；参数输入往往通过表格输入实现；

三．所有热本构参数可分为各向同性和各向异性

1. 各向同性参数与材料空间位置无关；各向异性参数首先定义材料方向（材料坐标系），不同方向需指定不同的参数；如各向异性热传导系数K（a，b，c）共三个；



ADINA-T材料表（其中的T表示温度变量、t表示时间变量）

材料模式

热传导本构及输入参数：

K Isotropic，C Constant：输入参数为K和C；

K Orthotropic，C Constant：输入参数为K（a，b，c）和C；

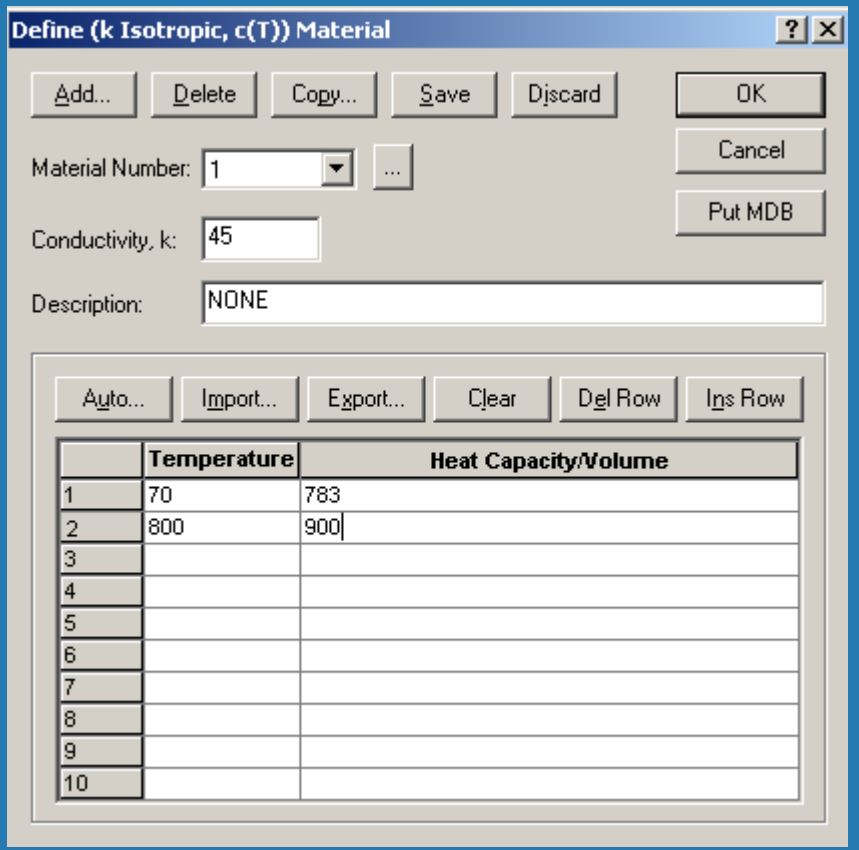
K（T），C Constant：输入参数为C，不同温度下的K值表；

K（t），C Constant：输入参数为C，不同时刻K值表；

K Isotropic，C（T）：输入参数为K，不同温度下的C值表；

K Orthotropic，C（T）：输入参数为K（a，b，c）以及不同温度下的C值表；

K（T），C（T）：输入参数为K，C值随温度变化表；



材料参数示例（各向同性、热传导系数恒定、比热随温度变化）

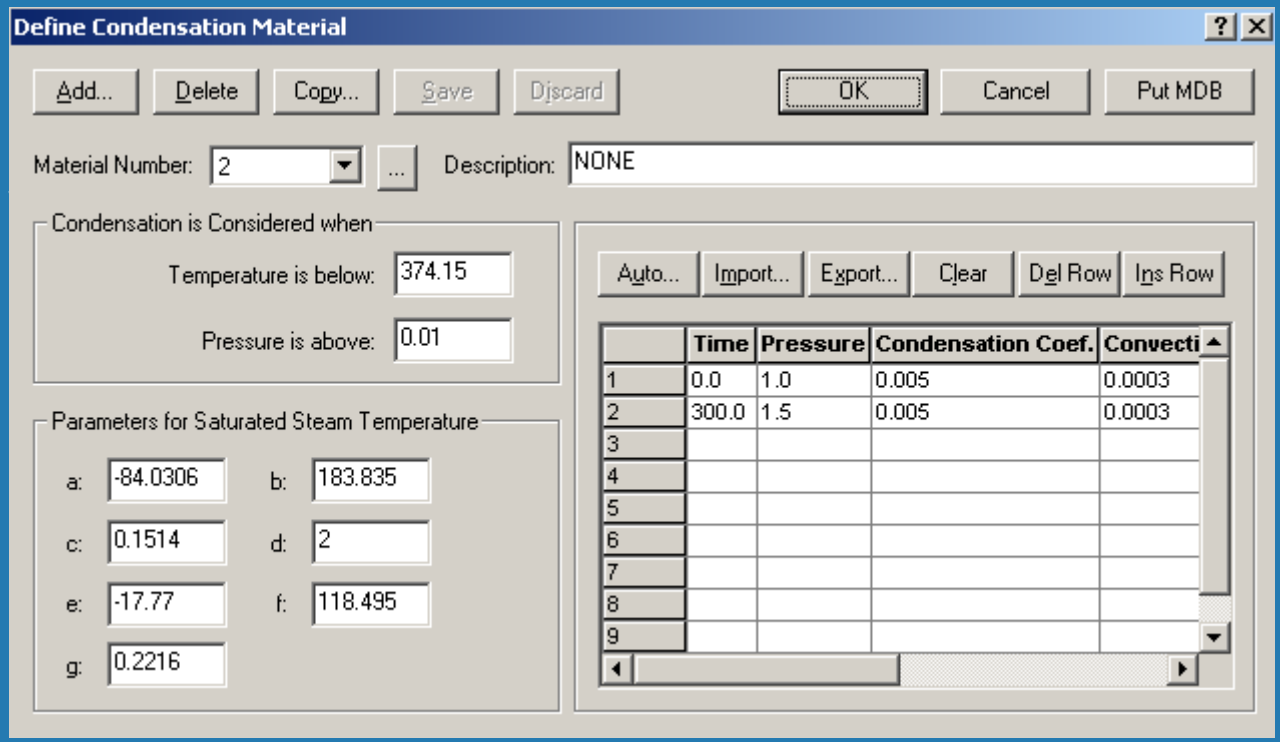
热对流问题：

Constant：输入热对流换热系数h；

随温度变化：输入$h(T)$；

随时间变化：输入$h(t)$；

凝结问题： $h(t)$和$\alpha\ (t)$，瞬态热分析



凝结问题输入参数示例

热辐射本构：

Constant:输入常辐射系数e和stefan-Boltzmann常数；

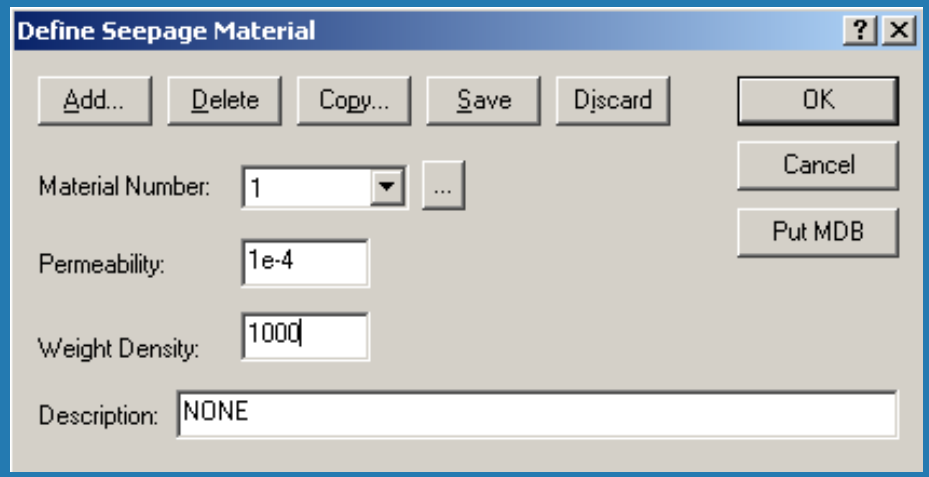
温度相关系数：输入e（T）和stefan-Boltzmann常数；

Seepage本构：

输入参数为：

渗透系数；

比重；



渗流参数定义

说明：

渗流分析对模型在坐标系中的位置有严格要求，请参加ADINA-T理论手册中相关说明。

ADINA－F材料模式及参数

总体说明：

1. ADINA-F求解N－S方程以及质量方程、能量方程、本构方程；

2. 由于理论上根据不同流动状态对N－S方程以及质量方程、能量方程的处理不同，相应问题的本构方程也将随之变化；

3. 以流动状态划分，ADINA-F中区分的流动状态为:

完全不可压缩流（Incompressible）

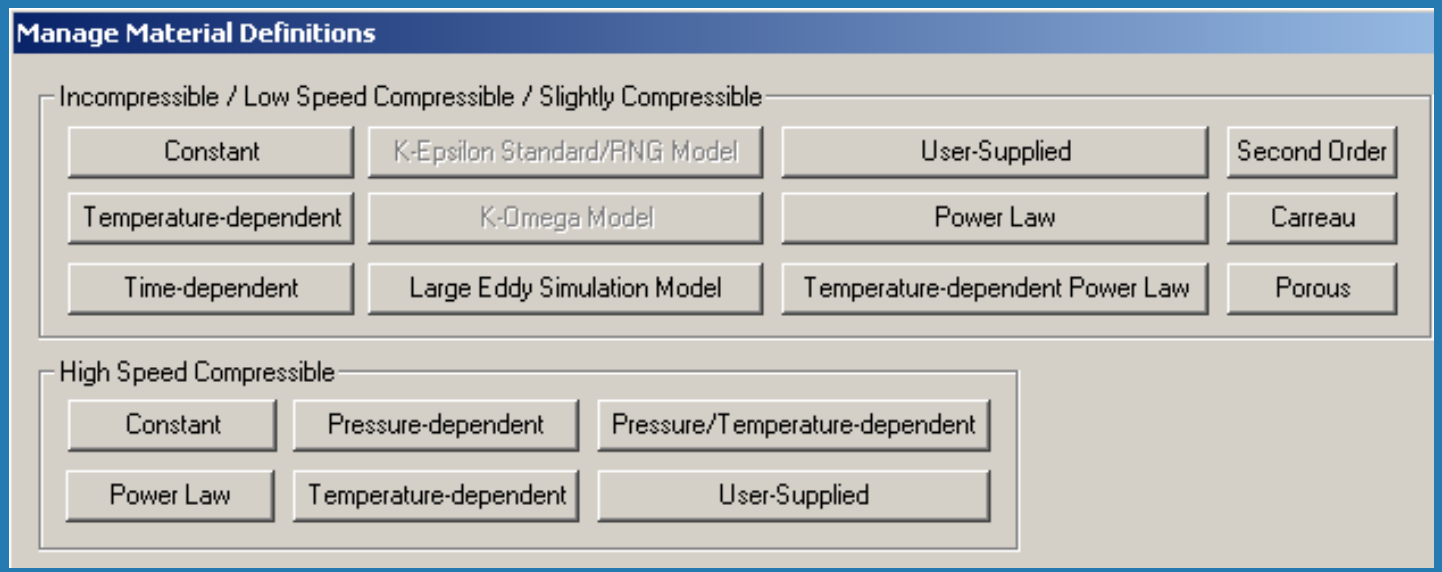
微可压缩流（Slightly Compressible）

低速可压缩流（Low Speed Compressible）

高速可压缩流（High Speed Compressible）；

3. 完全不可压缩流（Incompressible）、微可压缩流（Slightly Compressible）、低速可压缩流（Low Speed Compressible）三种流动中本构方程和参数非常类似；

4. 高速可压缩流（High Speed Compressible）主要用于空气动力学分析，其本构参数与以上几种流动状态有较大的区别；因此高速可压缩流本构参数单独介绍；



ADINA-F 材料表

常参数本构（不随流动状态或时间发生变化）：

本构需要的所有参数包括：

ρ：密度

μ：粘度

g：重力加速度

Cp：等压比热

Cv：等容比热

κ：热传导系数

q^B：内热生成功率

β：热膨胀系数

θ_0 ：参考温度

σ：表面张力

κ：体积模量（缺省1E+20）

说明：

1．除体积模量的缺省值为1E+20外，其它参数缺省值为0；

2．不可压缩流体，假设体积模量为无穷大；同时强迫Cv＝Cp；所以可不输入体积模型和等体积比热；同时如果是热无关问题，k、Cp、 q^B 、β、θ_0 也可以不考虑；即对热无关的不可压缩流体，输入的参数为ρ、μ、g、σ，如果不考虑重力影响和流体表面张力，只需输入ρ、μ；（ g、σ 采用缺省值0；但对自由液面问题和VOF中的问题，通常应输入g；）

3．对于微可压缩流体，需要指定体积模量用于计算压力对体积的改变一项，其它参数使用与不可压缩流体相同；

说明（续）：

4．低速可压缩流体中，流体密度由温度、压力相关的状态方程计算，因此不需要体积模量和密度；其它所有参数必须输入；

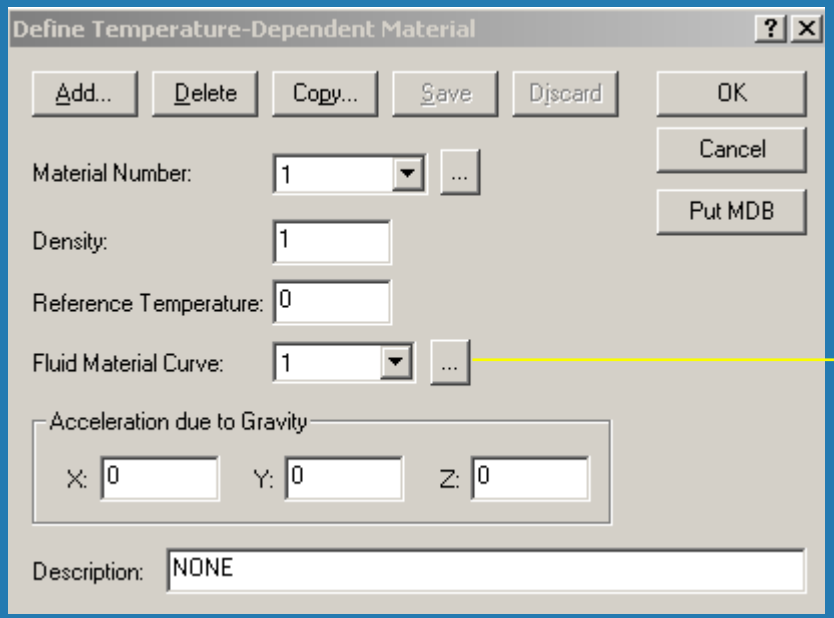
时间相关(Time Dependent Model) 模型：

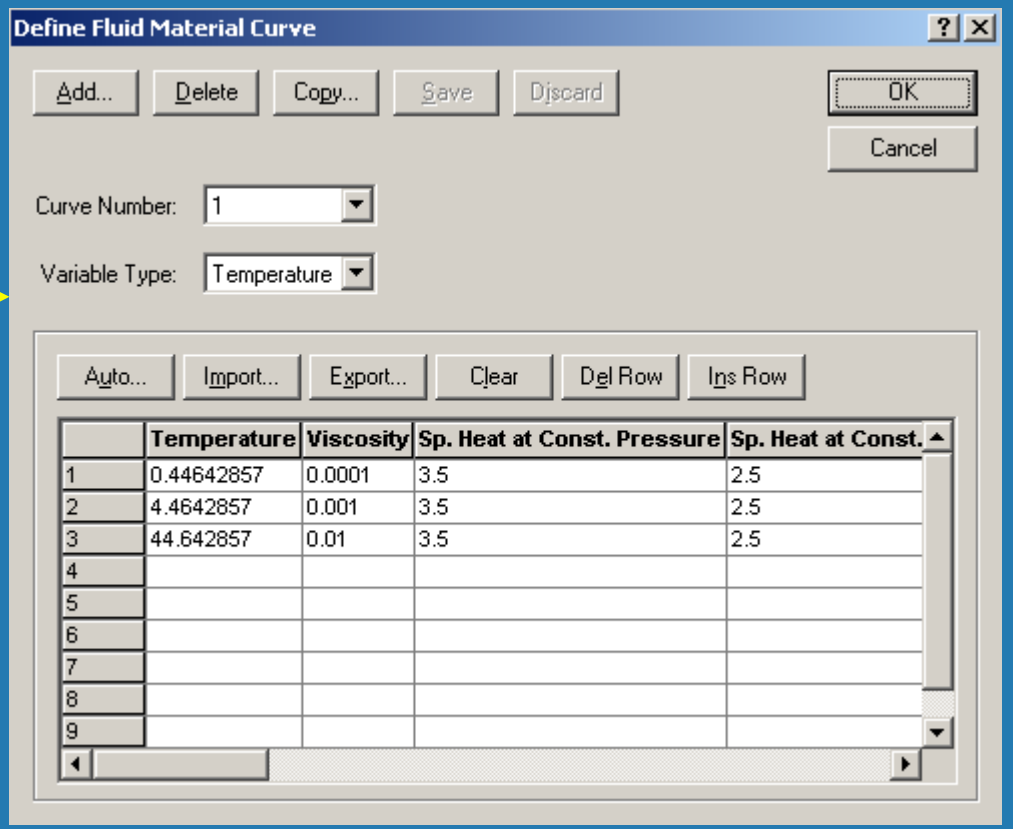
定义参数μ、 Cp、Cv、k、 q^B 、β、 σ、 κ随时间变化，
其它所有参数使用与常参数模型完全相同；

说明：这种材料常用在稳态（Steady-State）分析中，逐步控制参数值变化（如降低粘度系数到真实值），目的获得较快的收敛或更加合理的初始条件。

温度相关(Temperature Dependent Model) 模型：

定义参数μ、 Cp、Cv、k、 q^B 、β、 σ、 κ随温度变化，
其它所有参数使用与常参数模型完全相同；





时间温度相关材料参数示例

幂模型（Power Law）：

用幂方程表示粘度系数变化，如右侧方程所示；

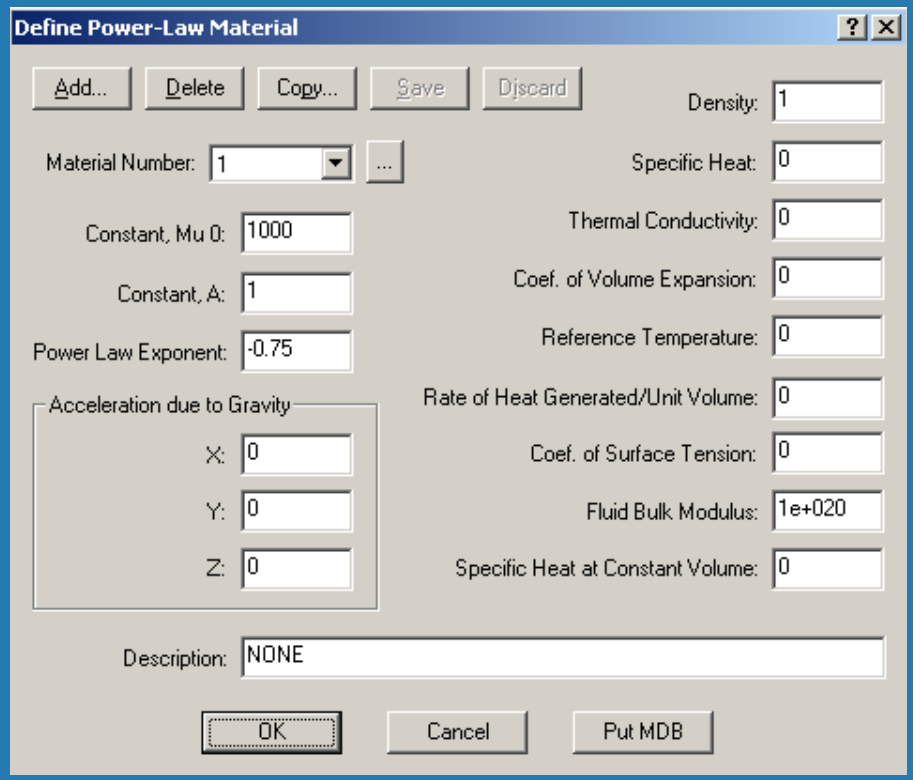
需输入常数A、 μ_0 、n ；

其它参数为常数，并且所有常数使用与常参数模型相同；

为非牛顿流体本构；

$$\mu = \begin{cases} \max\left\{AD^n, \mu_0\right\} & \text{if } n \geq 0 \\ \min\left\{AD^n, \mu_0\right\} & \text{if } n < 0 \end{cases}$$

幂表示μ 的变化



幂模型参数示例

温度相关幂模型（Temperature Dependent Power-Law Model）：

用含温度的幂方程表示粘度系数变化，如右侧方程所示；

需输入常数A、 μ_0 、C、n ；

其它参数为常数，并且所有常数使用与常参数模型相同；

为非牛顿流体本构，只能用于热相关问题求解；

$$\mu = \begin{cases} \max\left\{AD^n e^{C\theta}, \mu_0\right\} & \text{if } n \geq 0 \\ \min\left\{AD^n e^{C\theta}, \mu_0\right\} & \text{if } n < 0 \end{cases}$$

含温度的幂方程表示μ 的变化

二阶模型（Second Order Model）：

由温度相关幂模型变化而来，用含温度的幂方程表示粘度系数变化，如右侧方程所示；

需输入常数A、 μ_0 、C、E、F、G、H ；

其它参数为常数，并且所有常数使用与常参数模型相同；

为非牛顿流体本构，只能用于热相关问题求解；

$$\mu = \begin{cases} \max\left\{ AD^n e^{C\theta+E\theta^2}, \mu_0 \right\} & \text{if } n \geq 0 \\ \min\left\{ AD^n e^{C\theta+E\theta^2}, \mu_0 \right\} & \text{if } n < 0 \end{cases}$$

其中： $n = F + G\ln D + H\theta$

Carreau Model：

$$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty)\left(1 + AD^2\right)^n$$

μ 的变化方程

需输入常数A、 μ_0 、n ；

其它参数为常数，并且所有常数使用与常参数模型相同；

为非牛顿流体本构；

大涡（零阶）模型（Large Eddy）：

粘度和热传导系数是变化的，由右侧零阶方程确定其变化；

额外输入参数为方程中的k_D、Pr两个常数；

所有参数使用与常参数方程相同；

$$\mu = \mu_0 + \mu_t \equiv \mu_0 + \sqrt{2}\rho k_D^2 \Lambda^2 D$$

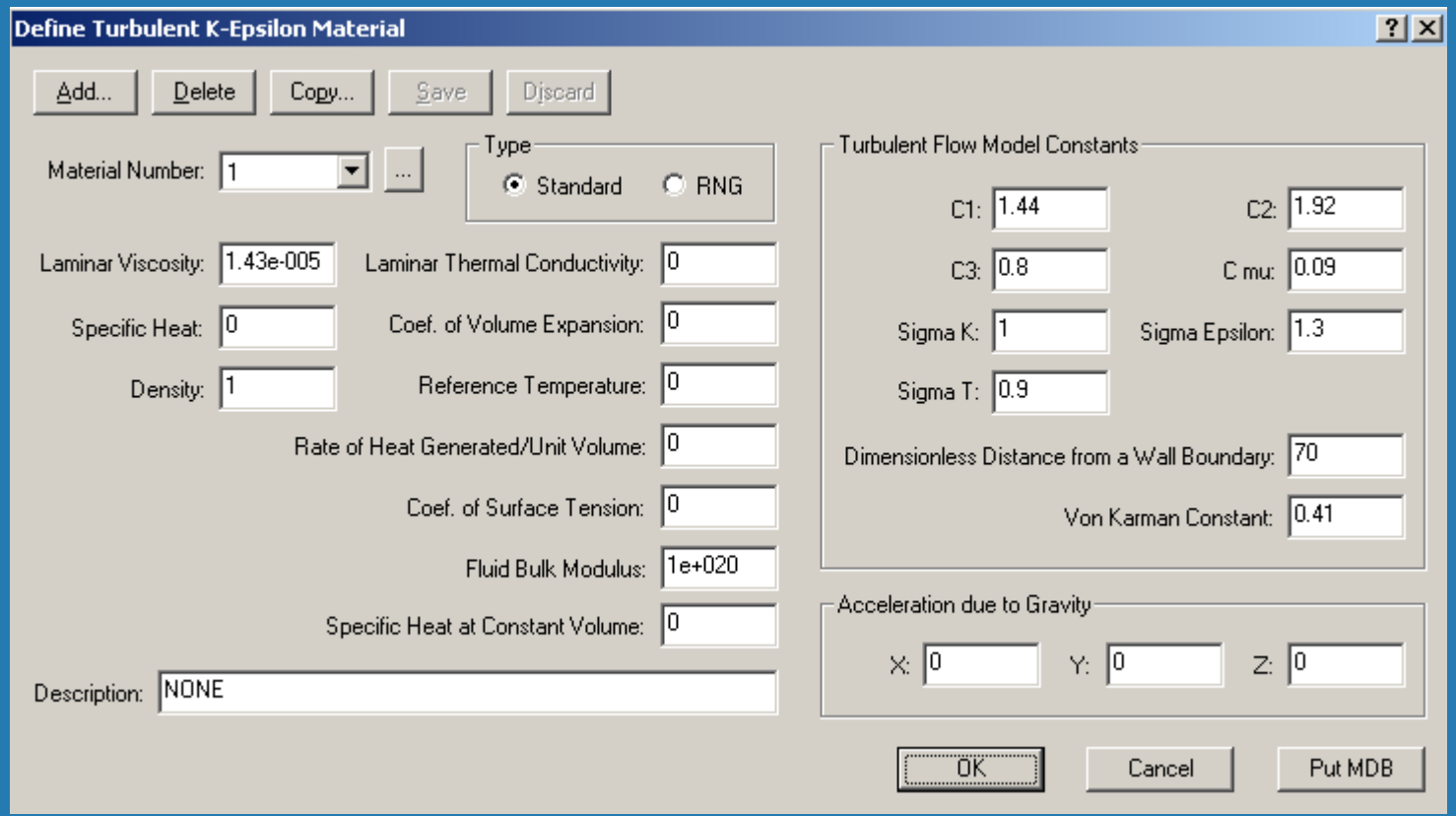
$$k = k_0 + k_t \equiv k_0 + \frac{\mu_t C_p}{\mathrm{Pr}}$$

μ、k零阶方程

K-ε，K-ω 湍流模型：

湍流方程引进的常数必须输入，ADINA-F提供缺省值；

不可压缩湍流模型参数示例



常参数模型（Constant）：

本构需要的参数为：

μ：粘度

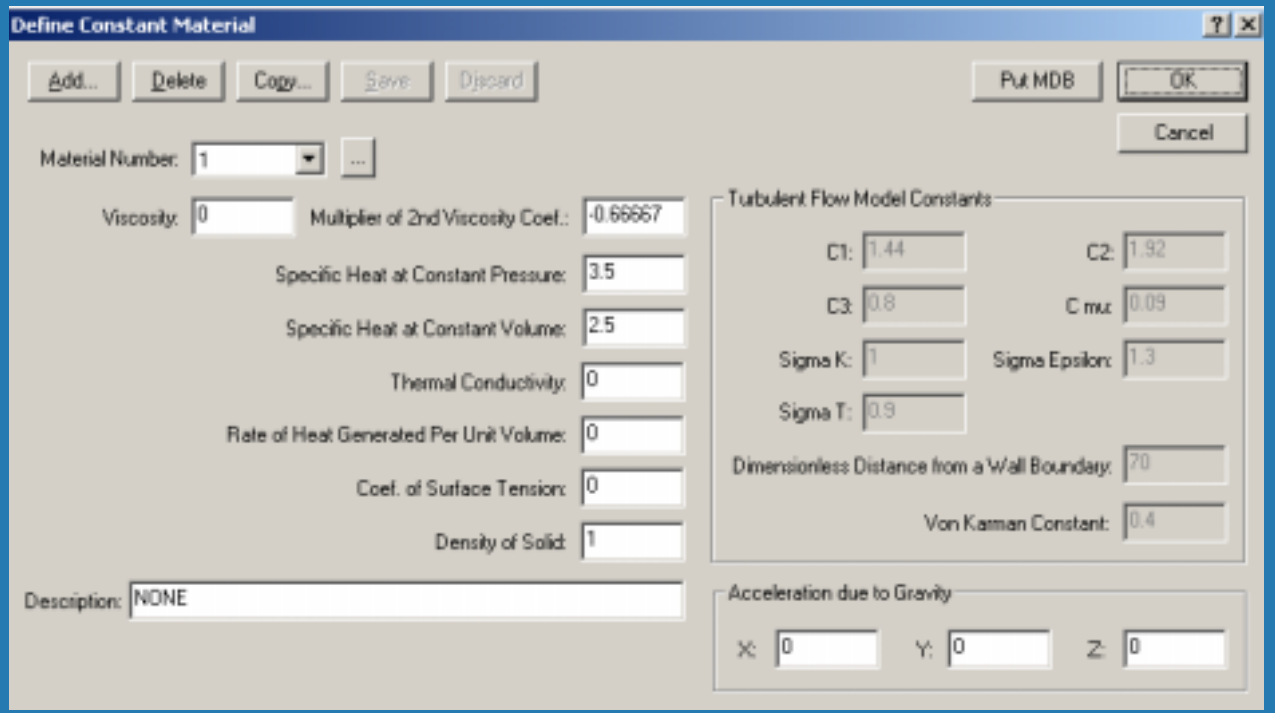
μ_2：粘度比

Cp：等压比热

Cv：等容比热

K：热传导系数

q^B：内热生成功率



常参数模型参数示例

说明：

1. 所有参数为常数；
2. 最简单、使常使用的模型；

幂模型（Power Law Model）：

引入粘度和热传导系数的幂指数方程表示其变化；

引入的常数需用户输入，共6个；

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{\theta}{\theta_\mu}\right)^{m_\mu} \frac{\theta_\mu + S_\mu}{\theta + S_\mu}$$

$$k = k_0 \left(\frac{\theta}{\theta_k}\right)^{m_k} \frac{\theta_k + S_k}{\theta + S_k}$$

μ、k幂指数方程

温度相关模型（Temperature Dependent Model）：

定义μ、 Cp、Cv、k、 qB随温度变化关系；

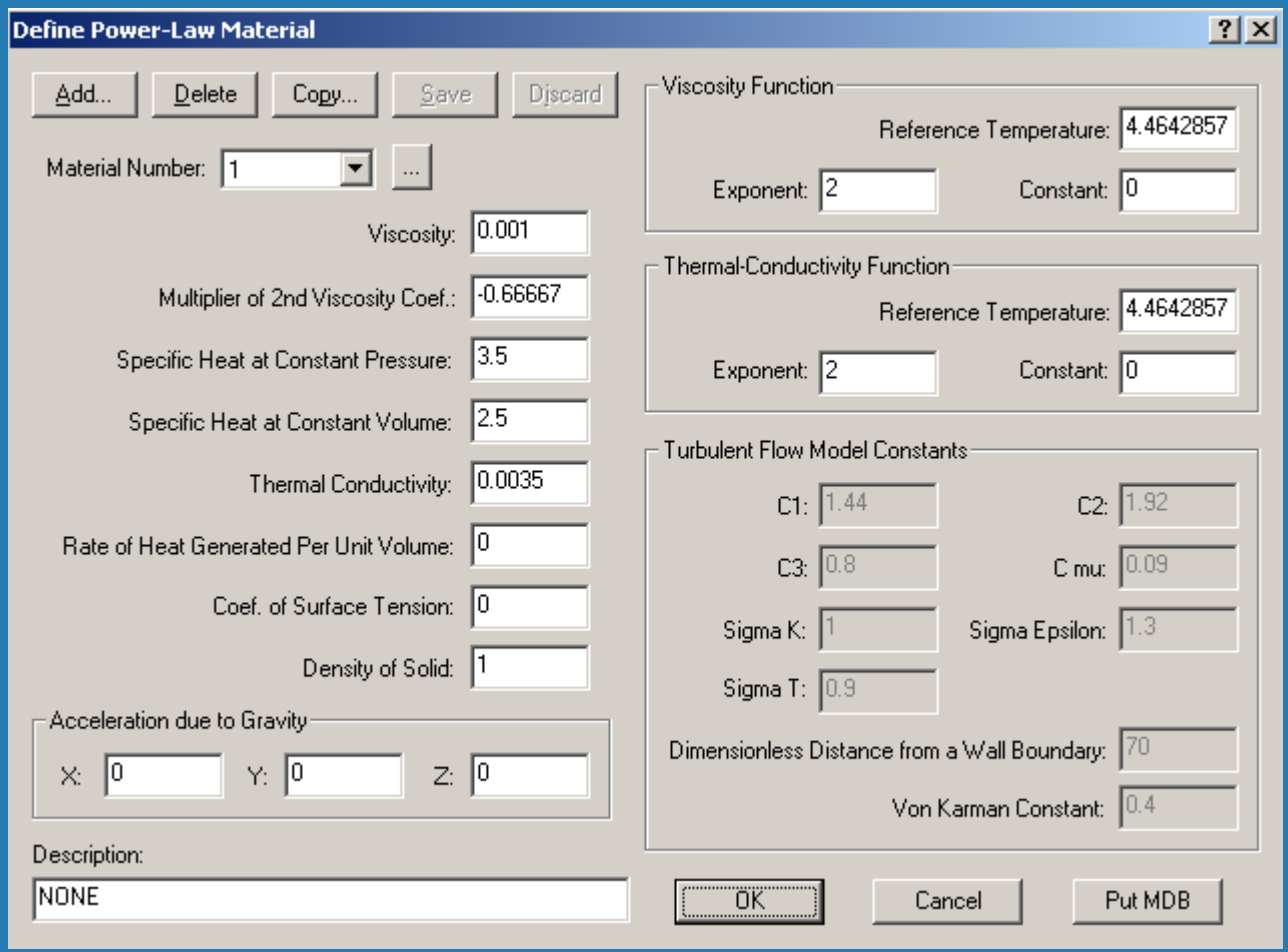
压力相关模型（Pressure Dependent Model）：

定义μ、 Cp、Cv、k、 qB随压力变化关系；

温度压力相关模型（ Temperature& Pressure Dependent Model）：

定义μ、 Cp、Cv、k、 qB随温度、压力变化关系；

ADINA-F－高速可压缩流－幂/温度相关/压力相关/温度&压力相关模型



幂相关模型参数示例

K-ε湍流模型：

湍流方程引进的常数必须输入，ADINA-F提供缺省值；

多孔介质材料（Porous）：

用于不可压缩、微可压、低速可压流体分析中；

与常参数模型相比，额外参数为：

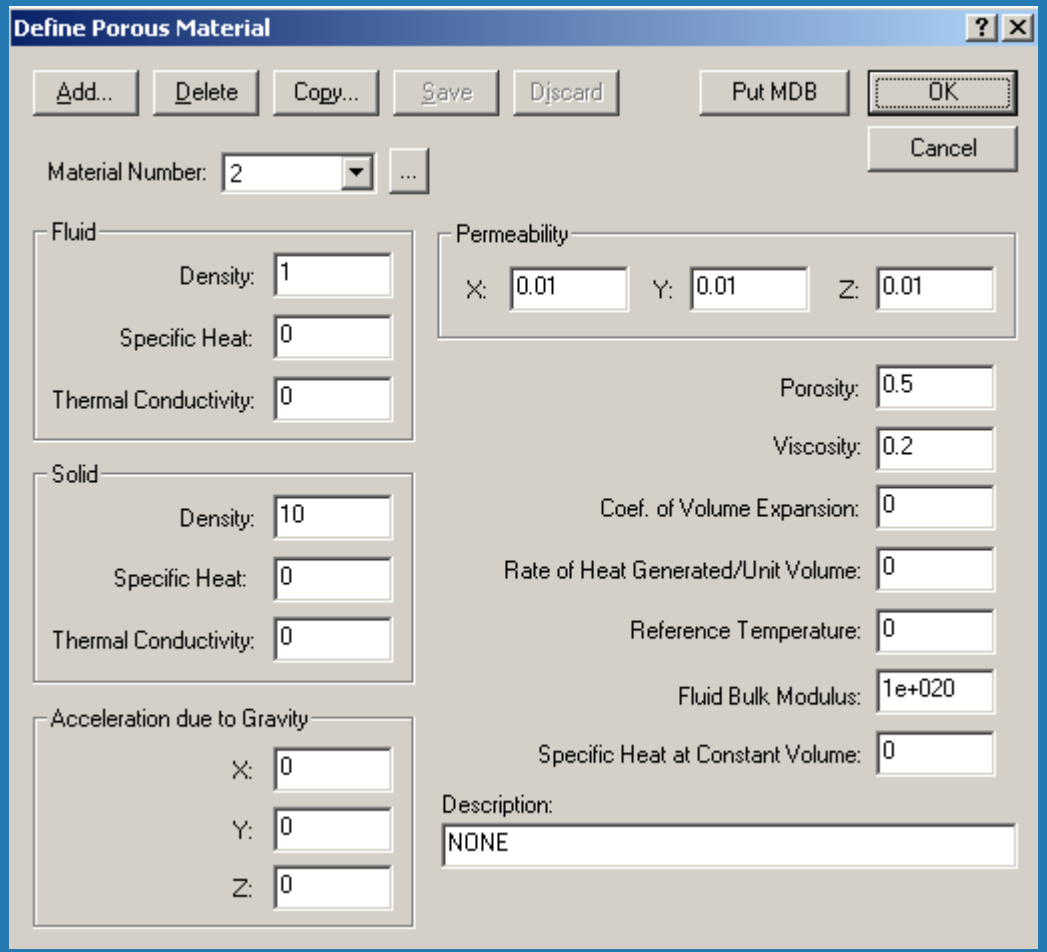
ρ_s：固体密度

Cps：固体等压比热

Ks：固体热传导系数

ϕ：孔隙率

κ：渗透率系数



多孔介质参数示例

材料模式

菜单：Model/Mass Transfer/Mass Transfer Materials

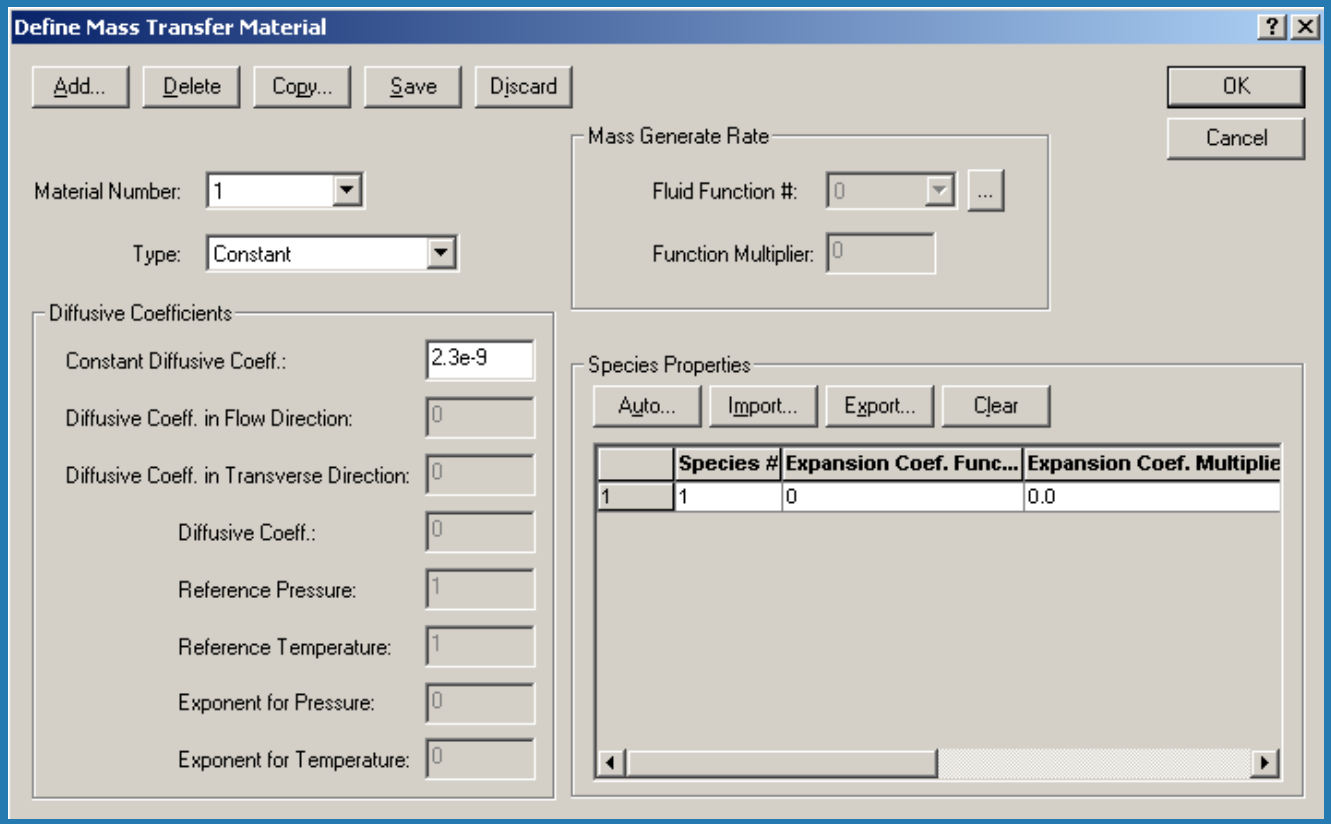
用于定义各个组份的扩散系数，共有四种方式：

Constant：常数

Flow Direction Related：速度方向相关

Power Law：幂方程

User Supplied：用户自定义



定义多组份材料

说明：

1. 必须在Model/Flow Assumption中定义Mass Transfer分析及组份数目，才能定义组份材料；
2. 定义的组份材料必须在Meshing/Element Group中的Mass Transfer选项中激活才能参与计算；