

---

# 管道应力分析快速入门讲座

主讲人： 唐麒

## 目 录

第一章	管道应力分析的主要内容-----	3
第二章	建立模型-----	4
第三章	静力计算结果-----	14

## 第一章 管道应力分析的主要内容

1.管道应力分析分为静力分析和动力分析。

静力分析包括：

1) 压力荷载和持续荷载作用下的一次应力计算——防止塑性变形破坏 (W+P)；

一次应力：是指由于外加荷载，如压力，重力和内压等的作用而产生的应力。

一次应力的特点是：它满足与外加荷载的平衡关系，随外加荷载的增加而增加，且无自限性，当其值超过材料的屈服极限时，管道将产生塑性变形而破坏。

2) 管道热胀冷缩以及端点附加位移等位移荷载作用下的二次应力计算——防止疲劳破坏 (T)；

二次应力：是由于管道受温度影响变形受到约束而产生的应力，它不直接与外力平衡。二次应力的特点是具有自限制性，当管道局部屈服和产生小量变形时应力就能降低下来。

3) 管道对设备作用力的计算——防止作用力太大，保证设备正常运行；

4) 管道支吊架的受力计算——为支吊架设计提供依据；

5) 管道上法兰的受力计算——防止法兰汇漏。

动力分析包括：

1) 管道自振频率分析——防止管道系统共振；

2) 管道强迫振动响应分析——控制管道振动及应力；

3) 往复压缩机（泵）气（液）柱频率分析——防止气柱共振；

4) 往复压缩机（泵）压力脉动分析——控制压力脉动值。

总结：我们分析出来要得到的结果重点就是一次应力、二次应力、设备管口的受力和管道支吊架的受力。

2.管道应力分析合格的标准

1) 管道上各点的一次应力和二次应力值应小于许用应力范围；

2) 管道对设备管口的推力和力矩应在允许的范围內；

3) 管道支吊架受力应能满足支吊架本身结构强度和与之生根的土建结构强度；

4) 管道的最大位移量应能满足管道布置的要求。

## 第二章 建立模型

### 1. 配置参数

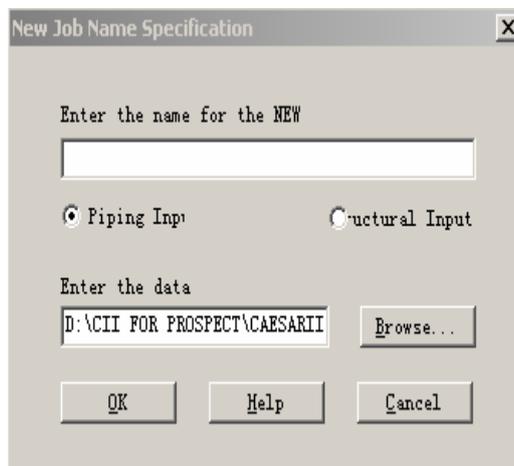
点击软件的 **configuration** 配置按钮，进行配置参数。然后将**环境温度**、**单位**、**弹簧标准**和**自动保存时间**调整到正确数值。



### 2. 创建文件

文件名用 **New** 新文件按钮来定义，具体操作方法如下：

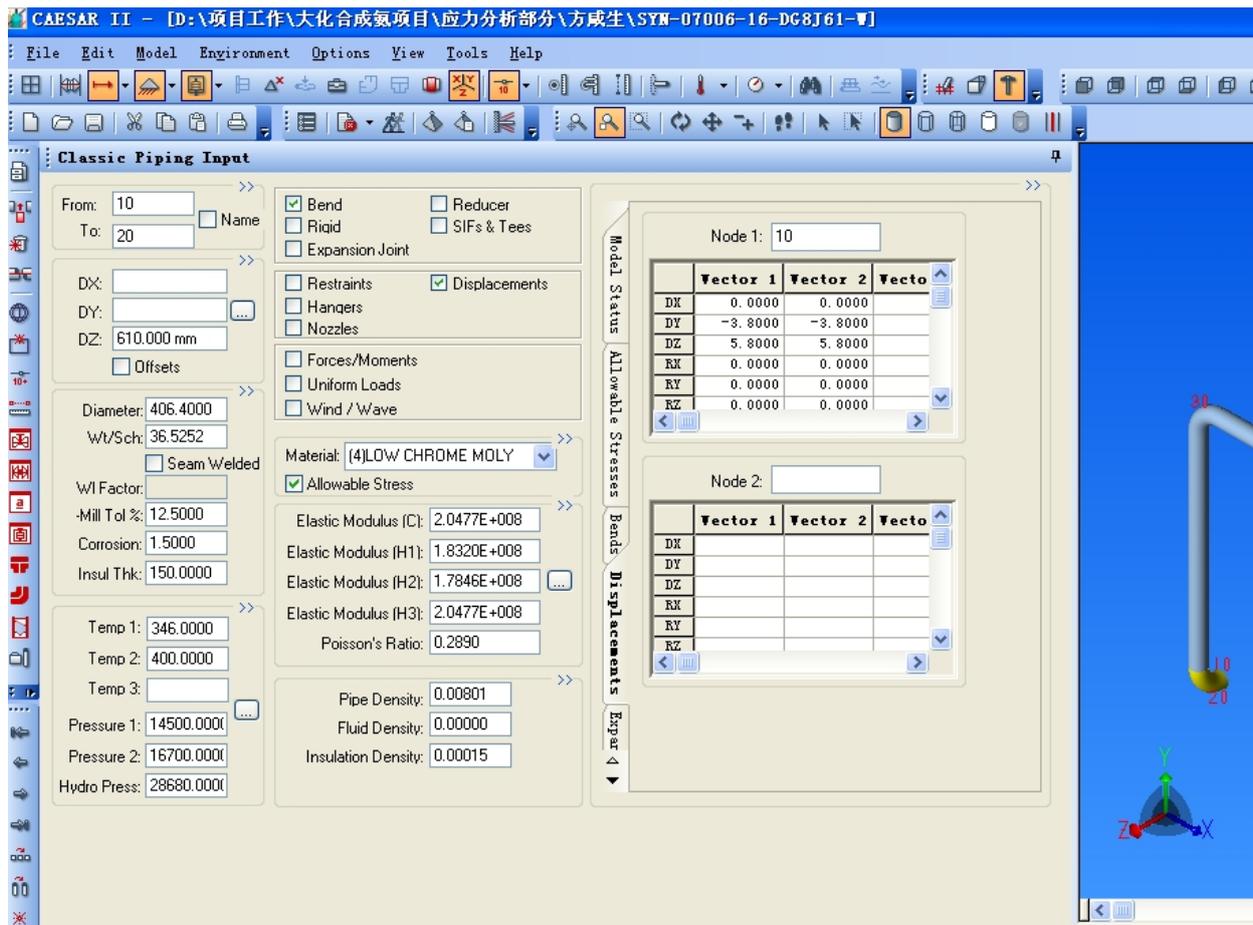
用户开始一个新的分析时，选择 **File** 菜单中的 **New**（或者单击 **New** 图标），输入一个文件名和文件名所在的路径，然后选择 **Piping Input** 管道模型按钮。



### 3. 开始建模

管道系统静力分析需要将诸如计算条件（温度、压力等）、管子材料特性（杨氏弹性模量、线膨胀系数、基本许用应力等）、管子尺寸（直径、壁厚、长度）空间走向、约束方式等作为基本数据输入。这些数据沿管道有所变化，在**发生变化的地方设立节点**（比如**弯头，三通，异径管，支吊架，温度变化，材料变化等**），这样，整个管系被划分成许多**单元，每个单元由两个节点组成**。CAESARII 5.0 采用逐个单元输入的方法，单元的输入以

填表的方式完成，该表格在程序中称为 Spreadsheet，一个单元对应一页 Spreadsheet。



其中栏内提示符含义：

<b>From</b>	当前单元起始节点
<b>To</b>	当前单元终止节点
<b>DX</b>	当前单元在X方向上的投影
<b>DY</b>	当前单元在Y方向上的投影
<b>DZ</b>	当前单元在Z方向上的投影
<b>Offsets</b>	当前单元是否有偏差值，有则双击，然后输入有关数据
<b>Diameter</b>	当前单元管子外径
<b>Wt/Sch</b>	当前单元管子壁厚
<b>Corrosion</b>	当前单元管子腐蚀裕量
<b>Insul Thk</b>	当前单元保温层厚度
<b>Temp 1</b>	当前单元第一个计算温度（操作温度）
<b>Temp2</b>	当前单元第二个计算温度（设计温度）
<b>Temp3</b>	当前单元第三个计算温度
<b>Pressure1</b>	当前单元第一个计算压力（操作压力）
<b>Pressure2</b>	当前单元第二个计算压力（设计压力）
<b>Bend</b>	当前单元终止节点是否有弯管，有则双击，然后在现弯管定义栏
<b>Rigid</b>	当前单元是否是刚性元件（一般用来模拟阀门等刚度很大的管道器材）

Expansion Joint	当前单元是否是波纹膨胀节，是则双击，然后出现波纹膨胀节定义栏
SIF&Tees	当前单元终止节点是否有应力增强件或三通，有则双击，然后出现应力增强件或三通定义栏
Restraints	是否有约束，有则双击，然后出现约束定义栏
Displacements	是否有位移荷载，有则双击，然后出现位移荷载定义栏
Hangers	是否有弹簧支吊架，有则双击，然后出现弹簧支吊架定义栏
Nozzles	是否有管嘴，有则双击，然后出现管嘴定义栏
Forces/Moments	是否有集中荷载，有则双击，然后出现集中荷载定义栏
Uniform Loads	是否有分布荷载，有则双击，然后出现分布荷载定义栏
Wind	是否有风荷载，有则双击，然后出现风荷载定义栏
Material	当前单元材料序号，当材料定以后以下四项自动出现
Allowable Stress	当前单元基本许用应力（自动出现）
Elastic Modulus	当前单元杨氏弹性模量（自动出现）
Poisson's Ratio	当前单元泊松比（自动出现）
Pipe Density	当前单元管子质量密度（自动出现）
Fluid Density	当前单元管内流体质量密度
Insulation	当前单元隔温层质量密度

### 3.1 安装温度

程序中安装温度的缺省值是 21℃。此值可以修改，具体操作方法是：

- 1.在 Spreadsheet 下，点击 Kaux 菜单下的 Special Execution Parameters, 调出 Special Execution Parameters 子菜单。
- 2.移动光标至 Ambient Temperature 处，键入新安装温度。

### 3.2 计算温度

CAESARII 软件允许定义 9 种计算温度，在 Spreadsheet 的 Temp 处输入。

### 3.3 计算压力

CAESARII 软件允许定义 9 种计算压力，在 Spreadsheet 的 Pressure 处输入。

### 3.4 管内流体密度

输入此值是为了计入流体的质量。当存在气液两相流体时，应输入平均密度。在 Spreadsheet 的 Fluid Density 处输入。

### 3.5 腐蚀裕量

CAESARII 认为腐蚀裕量会降低管道承受持续荷载的能力，而并不影响管道柔性。此值在 Spreadsheet 的 Corrosion 处输入。

### 3.6 保温层

对保温层，输入厚度和质量密度，在 Spreadsheet 的 Insul 和 Insulation 处输入。

### 3.7 管材特性

管材特性包括杨氏弹性模量，泊松比，线膨胀系数，质量密度以及基本许用应力。

CAESARII 有自带的材料数据库，但是大部分为美标 ASTM 材料，常用的八种材料是：

1-LOW CARBON STEEL	低碳钢（20、Q235B、16Mn 等）
2-HIGH CARBON STEEL	高碳钢
3-CARBON MOLY STEEL	碳钼钢
4-LOW CHROME MOLY STEEL	低铬钼钢（15CrMoG，12Cr1MoVG 等）
5-MED CHROME MOLY STEEL	中铬钼钢
6-AUSTENITIC STAINLESS STEEL	奥氏体不锈钢（304、316、321、347 等）
7-STRAIGHT CHROMIUM STEEL	纯铬钢
8-TYPE 310 STAINLESS STEEL	310 型不锈钢

然后我们专业自己建立了常用的国内牌号材料，包括 20，Q235B，20G，16Mn，15CrMoG，12Cr1MoVG，0Cr18Ni9，00Cr18Ni12Mo2Ti，以及镍基合金材料 Inconel600 等。

大家只需要将 UMAT1.BIN 这个文件拷贝到 COADE\CAESAR II 5.00\System 文件夹中便可以使用这些自定义的材料

我们在选用某种材料时，在 Spreadsheet 的 Material 处输入序号，那么杨氏弹性模量、泊松比、线膨胀系数、质量密度随之相应自动显示出来。并且还可以自动计算出不同温度下，不同材料的许用应力值。

在 Spreadsheet 的 Allowable Stress 处双击出现基本许用应力输入栏如下图所示。

其中各提示符含义如下：

SC	安装温度下的基本许用应力
SH1	第一个计算温度下的基本许用应力
SH2	第二个计算温度下的基本许用应力
SH3	第三个计算温度下的基本许用应力
F1	对应第一个计算温度的应力循环降低系数
F2	对应第二个计算温度的应力循环降低系数
F3	对应第三个计算温度的应力循环降低系数
Eff	纵向焊缝系数
Code	应力验算标准，ANSI B31.1或B31.3等
Sy	定义最小屈服应力

其中各提示符含义如下：

SC	安装温度下的基本许用应力
SH1	第一个计算温度下的基本许用应力
SH2	第二个计算温度下的基本许用应力
SH3	第三个计算温度下的基本许用应力
F1	对应第一个计算温度的应力循环降低系数
F2	对应第二个计算温度的应力循环降低系数
F3	对应第三个计算温度的应力循环降低系数
Eff	纵向焊缝系数
Code	应力验算标准，ANSI B31.1或B31.3等
Sy	定义最小屈服应力

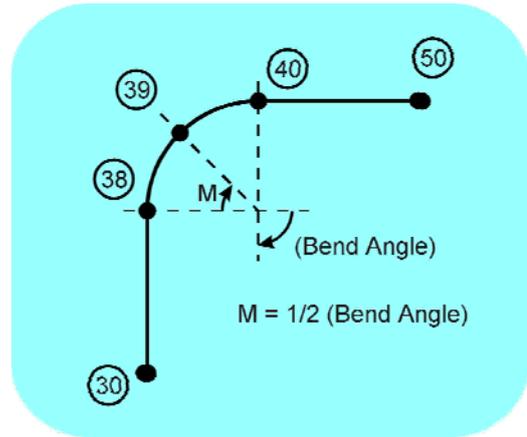
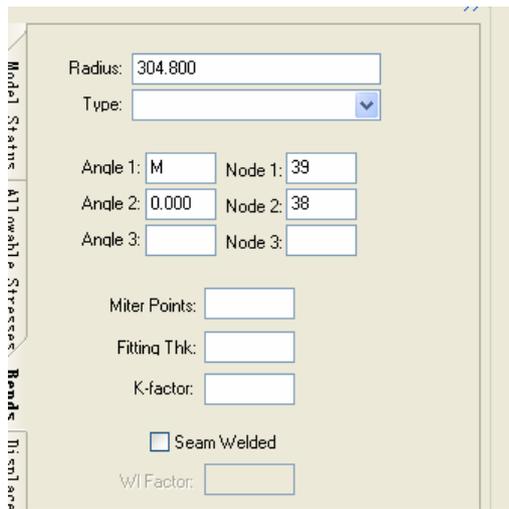
## 4 模型单元

### 4.1 直管

对于直管，输入长度、直径以及壁厚。在 Spreadsheet 中的 DX, DY, DZ 处输入直管单元在坐标轴上的投影，在 Diameter 处输入管道外径，在 Wt/Sch 处输入壁厚。

### 4.2 弯管

对于弯管，输入直径、壁厚以及弯曲半径。在 Spreadsheet 中，移动光标至 Bend 处双击，表示单元终点处有弯管，屏幕右边随之出现弯管输入栏，如下图所示。



Bends

各提示符含义如下：

<b>Radius</b>	弯曲半径，默认值为1.5倍的公称直径。
<b>Type</b>	弯管类型，留空表示弯管两端为焊接连接填1表示一端为法兰连接另一端焊接连接；填2表示两端均为法兰连接
<b>Angle#1</b>	Node#1的转弯角度
<b>Node#1</b>	弯管上的节点，用于细分弯管
<b>Angle#2</b>	Node#2的转弯角度
<b>Node#2</b>	弯管上的节点，用于细分弯管
<b>Angle#3</b>	Node#3的转弯角度
<b>Node#3</b>	弯管上的节点，用于细分弯管
<b>Miter</b>	焊接弯管（虾米腰弯管）块数
<b>Fitting</b>	弯管壁厚，留空意为当前弯管壁厚与直管壁厚相等

### 4.3 异径管

双击 reducer，输入需要变化到的另一个管道外径和壁厚。

### 4.4 三通

对于三通，主要是确定平面内应力加强系数和平面外应力加强系数。移动光标至 Spreadsheet 的 SIF&Tees 处双击，屏幕右边随之出现相应的输入栏，如下图所示。

SIF&Tees

栏中各提示符含义如下：

Node	三通所在节点
Type	三通类型
SIF(i)	平面内应力加强系数
SIF(o)	平面外应力加强系数
Pad Thk	加强板厚度
Ftg Ro	支管连接的最大接合半径
Crotch	挤压成形焊接三通的分歧点外径

CAESAR II 5.0 版给出十七种类型选择。其中常用的有以下几种：

1-REINF.FAB.TEE	板加强三通（需要输入加强板厚度）
2-UNREINF.FAB.TEE	非加强三通
3-WELDING.TEE	焊接三通
4-SWEEPOLET	马鞍（加强）接头
5-WELDOLET	焊接接头
6-EXTRUDED WELDOLET	挤压成形焊接三通

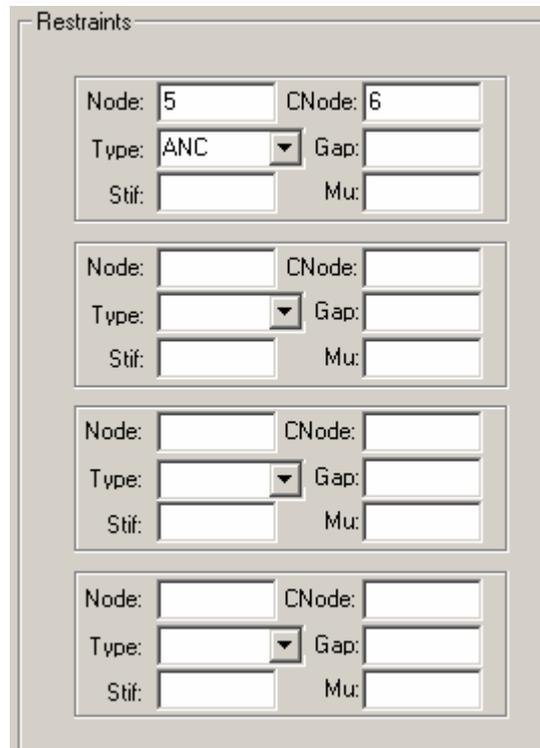
#### 4.5 阀门和法兰

阀门和法兰的输入项相同，需输入长度和重量。阀门和法兰通常被认为是刚性元件。输入的方法是移动光标至 Spreadsheet 的 Rigid 处双击，然后在右边屏幕的 Rigid Weight 后

输入重量。

## 4.6 约束

约束的意义广泛，可以是各式各样的支吊架，也可以是设备嘴子。以下是普通支吊架和设备嘴子的输入方法，具体作法是移动光标至 Restraints 处双击，随之屏幕显示如下图所示：



Restraints

约束类型主要有以下几种：

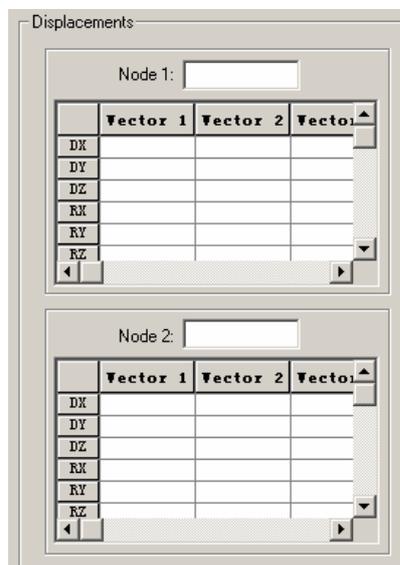
X	表示约束是+X和-X两方向的
Y	表示约束是+Y和-Y两方向的
Z	表示约束是+Z或-Z两方向的
RX	表示约束是+RX和-RX两角方向的
RY	表示约束是+RY和-RY两角方向的
RZ	表示约束是+RZ和-RZ两角方向的
+X或-X	表示约束是+X或-X单方向的
+Y或-Y	表示约束是+Y或-Y单方向的（+Y表示刚性支架或者吊架）
+Z或-Z	表示约束是+Z或-Z单方向的
+RX或-RX	表示约束是+RX或-RX单角方向的
+RY或-RY	表示约束是+RY或-RY单角方向的
+RX或-RZ	表示约束是+RZ或-RZ单角方向的
ANC	表示约束是全固定的

栏中各提示符含义如下：

Node	约束所在节点
Type	约束的类型
Stif	约束刚度
Gap	约束间隙（一般用于导向架）
Mu	摩擦系数（钢对钢取0.3）
Cnode	与Node相关连的节点

#### 4.7 附加位移（通常用于带有附加位移的设备管口）

在 Spreadsheet 的 Displacement 处双击，随之屏幕右边出现附加位移输入栏，如下图所示：



Displacements

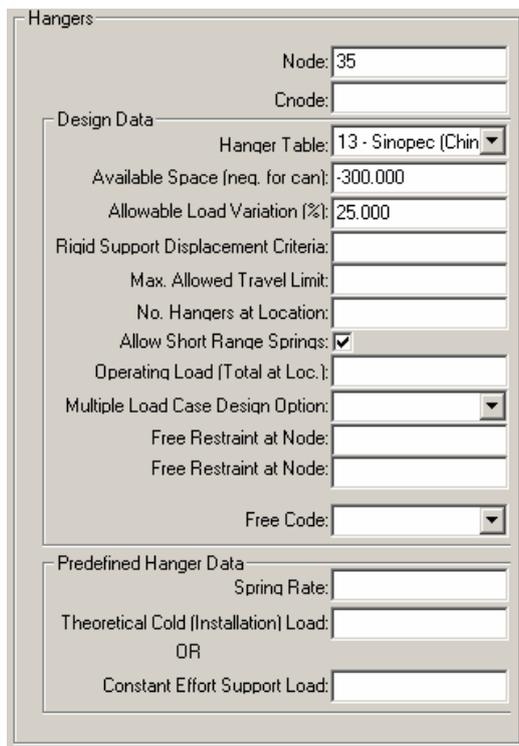
各项符号含义如下：

Node	位移荷载作用节点
$D_x$	节点在X方向的线位移
$D_y$	节点在Y方向的线位移
$D_z$	节点在Z方向的线位移
$R_x$	节点在X方向的角位移
$R_y$	节点在Y方向的角位移
$R_z$	节点在Z方向的角位移

注：带负号表示作用方向与坐标方向相反。

#### 4.8 弹簧支吊架

在 Spreadsheet 状态下双击 Hangers，屏幕上出现弹簧输入菜单，如下图所示：



Hangers

菜单中各项含义如下：

Node	弹簧所在节点
Cnode	弹簧根部节点，不使用则可不填
Hanger Table	弹簧表CAESARII软件搜录了19家弹簧制造公司的新产品数据，键入?号可以列出这些公司名称；键放序号表示选择相应弹簧表
Available Space(neg.for)	弹簧支或弹簧吊可用空间，填负数（通常-1000）指弹簧支
Allowable Load Variation(%)	弹簧荷载允许变化率
Rigid Support Displacement	弹簧转为一般刚性支承的位移控制量
Max. Allowed Travel Limit	弹簧允许最大位移，填0.001，程序将选择恒力支吊架
No.Hangers at Location	1表示一个弹簧,2表示两个弹簧并联使用(通常用在立管上)填负数为最大允许并联数
Allow Short Range Spring (0-No,1-Yes)	是否允许使用短程弹簧，填0为否，填1为是
Operating Load (Total at)	当前弹簧总工作荷载
Multiple Load Case Design	多工况下的弹簧选择方式，键入序号选择
Free Restraints at Node	输入约束被释放的节点，用以确定弹簧基本荷载
Free Restraints at Node	输入约束被释放的节点，用以确定弹簧基本荷载
Free	Code(1-Y,2-XY,3-XY,4-XYZ,5-All)
Spring	Rate
Theoretical	Cold
Constant	Effort

建模步骤：1 输入参数，2 编节点号，3 建模

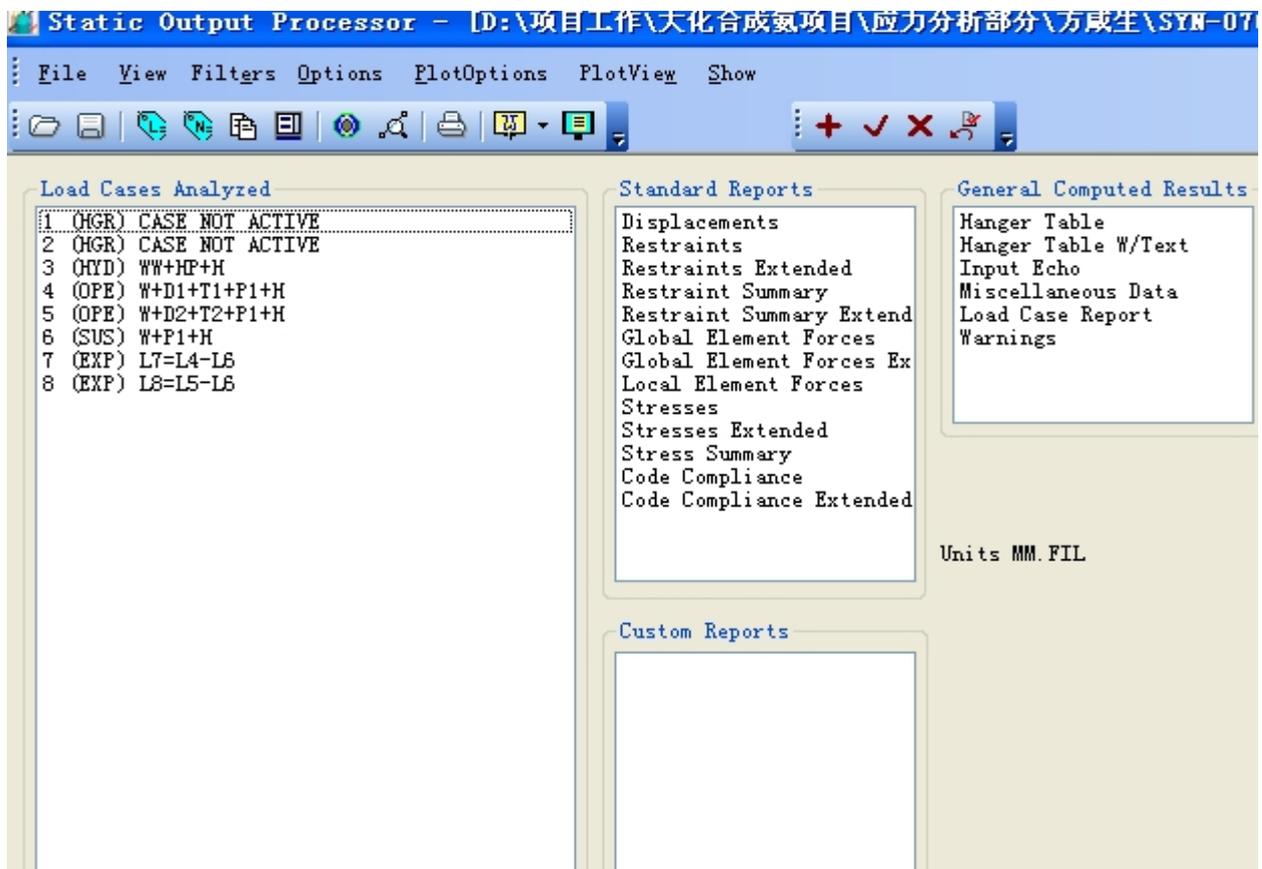
## 第三章 静力计算结果

建立完模型后就可以点击 **Batch Run**，程序然后将自动进行数据检查和静力计算。在检查无误后，程序自动进入计算状态，约过十秒钟（根据模型复杂程度），将会计算出结果。

我们可以直接使用程序推荐的工况组合，如果没有特殊荷载或者不进行特别计算，程序推荐的工况组合已足够使用，即**选择 Recommend**，出现 **Recommend Load Cases**，**选择 Yes**。如果有特殊荷载，如风荷载、地震荷载等等，或者，用户想进行一些特点的计算，这时用户可对程序推荐的工况组合进行修改，键入自己所需要的工况组合。

静力计算结果菜单分为三部分：荷载工况选项区、结果数据选项区、输出格式选项区。

如下图所示



工况解释：

HGR	表示弹簧使用状态
HYD	表示充水试验状态
SUS	表示冷态（一般指安装状态）
OPE	表示热态（一般指工作状态）
EXP	表示纯热态，包括温度和附加位移
OCC	表示临时荷载状态

### 3.1 一次应力校核

在静力计算结果菜单(Static Output Processor)中,选择 Load Cases Analyzed 下的(SUS) W+P1+H 和 Standard Reports 中的 Stresses, 然后选择 Options 菜单中的 View Reports, 屏幕显示如下

```

NODE   Bending Stress  Torsion Stress  SIF In Plane  SIF Out Plane  Code Stress  Allowable Stress  Ratio
          KPa          KPa
-----
Piping Code: B31.3 -2004, April 29, 2005

CODE STRESS CHECK PASSED      : LOADCASE 6 (SUS) W+P1+H

Highest Stresses: (    KPa    )
CodeStress Ratio:      31.5  @Node   40
Code Stress:          40264.9  Allowable:  127999.4
Axial Stress:         36491.1  @Node   29
Bending Stress:       3913.0  @Node   40
Torsion Stress:        681.4  @Node  100
Hoop Stress:          80185.6  @Node   19
3D Max Intensity:    106029.3  @Node  100

      10      2194.1      120.2      1.159      1.000      38501.6      127999.4      30.1
      19      234.4      -128.6      1.159      1.000      36264.3      127999.4      28.3
    
```

屏幕上有关字符的含义:

<b>CODE STRESS CHECK PASSED</b>	表示应力检查通守, 如检查不通过; 则显示: <b>CODE STRESS CHECK FAILED</b>
ELEMENT NODES	单元节点
SIF'S IN/OUT PLANE	表面内/平面外应力加强系数
HIGHEST STRESSES	最大应力值
Kpa	表示应力值的单位为千帕
<b>Ratio</b>	表示综合应力 (CODE STRESS) 所占许用应力 (ALLOWABLE STRESS) 的百分比, 大于1则不合格
CODE STRES	综合应力
BENDING STRESS	弯曲应力
TORSIONAL STRESS	扭转应力
AXIAL STRESS	轴向应力
ALLOWABLE STRESS	许用应力
3D MAX INTENSITY	三维最大应力

如果综合应力 (CODE STRESS) 小于许用应力 (ALLOWABLE STRESS), 一次应力校核通过, 否则不通过。根据屏幕 HIGHEST STRESSES 所对应的 @NODE 可知道最大应力点所在的位置。我们一般把一次应力 Ratio 控制在 80% 以内会更加安全, 如果是低温管道一次应力 Ratio 需控制在 50% 以内。

### 3.2 二次应力校核

在应力计算结果菜单 (Static Output Processing) 中, 选择 Load Cases Analyzed 下的 (EXP) L7=L4-L6 和 (EXP) L8=L5-L6, Standard Reports 中的 Stresses, 然后选择 Options 菜单中的 View Reports, 屏幕显示如下所示。

NODE	Bending Stress KPa	Torsion Stress KPa	SIF In Plane	SIF Out Plane	Code Stress KPa	Allowable Stress KPa	Ratio %
Piping Code: B31.3 -2004, April 29, 2005							
CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 7 (EXP) L7=L4-L6							
Highest Stresses: ( KPa )							
CodeStress Ratio: 14.7 @Node 110							
Code Stress: 45969.1 Allowable: 312661.7							
Axial Stress: 1159.7 @Node 29							
Bending Stress: 39725.2 @Node 110							
Torsion Stress: 18175.3 @Node 10							
Hoop Stress: 0.0 @Node 19							
3D Max Intensity: 47589.8 @Node 110							
10	19607.9	-18175.3	1.159	1.000	41301.7	313047.8	13.2
19	28709.1	11823.3	1.159	1.000	37193.8	315285.2	11.8

如果综合应力 (CODE STRESS) 小于许用应力 (ALLOWABLE STRESS), 二次应力校核通过, 否则不通过。根据屏幕 HIGHEST STRESSES 所对应的 @NODE 可知道最大应力点所在的位置。

### 3.3 管道热态时各点位移

在计算结果菜单中, 选择 (OPE) W+D1+T1+P1, 然后选择 Standard Reports 中的 Displacements, 最后选择 Options 菜单中的 View Reports, 屏幕将显示如下:

## DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 4 (OPE) W+D1+T1+P1+H

NODE	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	3.200	-2.600	0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
19	5.414	-1.949	0.184	0.0378	-0.0187	0.0255
20	5.677	-0.508	0.690	0.0740	-0.0281	0.0497
28	0.159	14.783	8.986	0.0744	-0.0413	0.0505
29	0.414	16.228	9.545	0.0393	-0.0351	0.0260
30	1.697	16.874	9.866	0.0152	-0.0247	0.0000
40	2.668	16.858	10.002	0.0022	-0.0229	-0.0056
48	4.566	16.740	10.225	-0.0231	-0.0163	-0.0160
49	5.805	15.984	10.413	-0.0427	-0.0036	-0.0383
50	5.989	14.505	10.859	-0.0731	0.0041	-0.0572
53	3.968	8.982	13.700	-0.1023	0.0507	-0.0681
54	3.255	7.310	13.951	-0.1092	0.0654	-0.0716
55	2.448	5.920	12.960	-0.1128	0.0870	-0.0737
60	2.230	5.644	12.525	-0.1133	0.0892	-0.0730
70	-6.846	-3.548	-3.552	-0.0766	0.0804	-0.0478
78	-7.041	-3.734	-3.987	-0.0750	0.0777	-0.0471
79	-6.972	-4.375	-5.505	-0.0578	0.0488	-0.0407
80	-5.757	-4.808	-6.310	-0.0459	0.0216	-0.0306

屏幕上有关字符的含义：

Displacements (mm)	线位移（单位：mm）
<b>DX</b>	<b>X方向的位移</b>
<b>DY</b>	<b>Y方向的位移</b>
<b>DZ</b>	<b>Z方向的位移</b>
Rotation(deg.)	角位移（单位：度）
<b>RX</b>	<b>X方向的角位移</b>
<b>RY</b>	<b>Y方向的角位移</b>
<b>RZ</b>	<b>Z方向的角位移</b>

### 3.4 约束力

#### (1) 冷态时管道约束受力

在计算结果菜单中，选择（SUS）W+P1，然后选择 Standard Reports 中的 Restraints Summary Extend，最后选择 Options 菜单中的 View Reports，屏幕显示如下：

RESTRAINT SUMMARY EXTENDED REPORT: Loads On Restraints  
CASE 6 (SUS) W+P1+H

NODE	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
------	-----------	----------	----------	----------	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 6 (SUS) W+P1+H

10	Displ. Reaction									
	6 (SUS)	-154	-21667	121	565	10	-13977	-0.000	-0.000	0.000
	MAX	154/ 6	21667/ 6	121/ 6	565/ 6	10/ 6	13977/ 6	0.000/ 6	0.000/ 6	0.000/ 6
60	Prog Design VSH									
	6 (SUS)	0	-26420	0	0	0	0	0.202	0.368	0.036
	MAX	0/ 6	26420/ 6	0/ 6	0/ 6	0/ 6	0/ 6	0.202/ 6	0.368/ 6	0.036/ 6
70	Prog Design VSH									
	6 (SUS)	0	-11690	0	0	0	0	0.029	-0.047	0.036
	MAX	0/ 6	11690/ 6	0/ 6	0/ 6	0/ 6	0/ 6	0.029/ 6	0.047/ 6	0.036/ 6
100	Displ. Reaction									
	6 (SUS)	154	-5271	-121	-1136	353	2454	0.000	-0.000	-0.000
	MAX	154/ 6	5271/ 6	121/ 6	1136/ 6	353/ 6	2454/ 6	0.000/ 6	0.000/ 6	0.000/ 6

屏幕上有有关字符的含义：

<b>FX</b>	<b>X方向的力</b>
<b>FY</b>	<b>Y方向的力</b>
<b>FZ</b>	<b>Z方向的力</b>
<b>MX</b>	<b>X方向的力矩</b>
<b>MY</b>	<b>Y方向的力矩</b>
<b>MZ</b>	<b>Z方向的力矩</b>
<b>DX</b>	<b>X方向的位移</b>
<b>DY</b>	<b>Y方向的位移</b>
<b>DZ</b>	<b>Z方向的位移</b>

注：对于约束受力，沿坐标轴正向为正，沿坐标轴负向为负。

对于约束所受力矩，按右手螺旋定则，大拇指指向，沿坐标轴正向为正，沿坐标轴负向为负。

## (2) 热态时管道约束受力

在计算结果菜单中，选择 (OPE) W+D1+T1+P1，然后选择 Standard Reports 中的 Restraints Summary Extend，屏幕将显示热态时管道约束受力。